

ÉTUDES ET  
RECHERCHES  
EN TRANSPORTS



# ÉVALUATION DES SYSTÈMES D'ENTREPOSAGE ET DE CHARGEMENT DE CHLORURE DE SODIUM

LUCIE PARROT  
NATHALIE PROVOST  
CAROLINE VALLÉE  
DONALD GAUTHIER

SYSTÈMES  
DE TRANSPORT



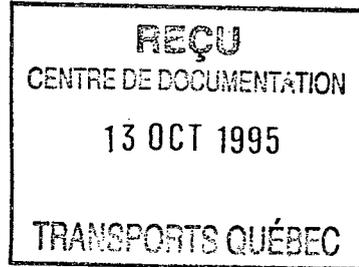
CANQ  
TR  
362

Québec 

Canada 

377833

MINISTÈRE DES TRANSPORTS  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,  
21<sup>e</sup> ÉTAGE  
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA  
G1R 5H1



**ÉVALUATION DES SYSTÈMES D'ENTREPOSAGE ET  
DE CHARGEMENT DE CHLORURE DE SODIUM**

*Don. Gen. Non*

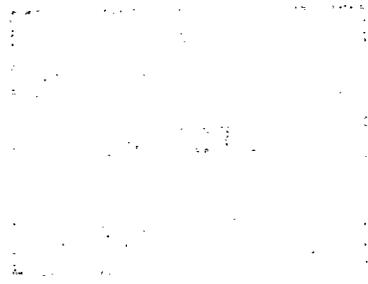
*CAN/D*

*TR*

*362*

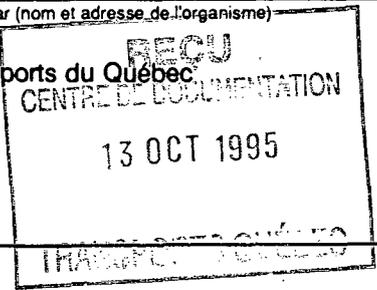
## **Avertissement**

«Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du ministère des Transports du Québec ou de Transports Canada».



Dépôt légal, 3<sup>e</sup> trimestre 1995  
Bibliothèque nationale du Québec  
ISBN 2-550-25026-5



Titre et sous-titre du rapport <b>Évaluation des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium</b>				N° du rapport Transports Québec <b>RTQ-95-03</b>			
				Rapport d'étape <input type="checkbox"/>	An	Mois	Jour
				Rapport final <input checked="" type="checkbox"/>	94	12	02
				N° du contrat (RRDD-AA-CCXX) <b>1220-91-0702</b>			
Auteur(s) du rapport <b>Lucie Parrot, Nathalie Provost, Caroline Vallée, Donald Gauthier</b>				Date du début d'étude <b>93-04-23</b>		Date de fin d'étude <b>94-12-19</b>	
				Chargé de projet <b>Annie Santer</b>		Coût de l'étude <b>125 000 \$</b>	
Etude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) <b>Valorex, société affiliée au groupe Soprin 375, boul. Roland-Therrien, bureau 400 Longueuil (Québec) J4H 4A6</b>				Etude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) <b>Ministère des Transports du Québec Transports Canada</b>			
							
But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires <b>Optimisation des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium. Cette étude a été menée dans le cadre de l'Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement des transports avec un partage des coûts équivalent pour les deux parties.</b>							
Résumé du rapport <p>Le présent rapport donne les résultats d'une étude menée pour le compte du ministère des Transports du Québec sur l'optimisation des procédés d'entreposage des sels et déglaçants, et comprenant une analyse des besoins dans ce domaine ainsi qu'une recherche documentaire sur les méthodes utilisées couramment dans le monde. Il traite des diverses solutions novatrices permettant d'améliorer les méthodes de gestion courantes ou de remplacer ces dernières par d'autres plus économiques et mieux appropriées. Il décrit également comment la méthode de gestion retenue pour la gestion des stocks de sel influe sur les coûts, facteur déterminant dans le dimensionnement des entrepôts à implanter dans une région.</p> <p>Une grille d'analyse a permis de mettre en évidence les liens entre choix d'une solution d'entreposage, coûts afférents et méthode de gestion des stocks. Des recommandations sont formulées, tout en tenant compte des caractéristiques particulières d'un site d'implantation.</p>							
Nbre de pages <b>102</b>	Nbre de photos	Nbre de figures <b>18</b>	Nbre de tableaux <b>26</b>	Nbre de références bibliographiques	Langue du document <input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais		Autre (spécifier)
Mots-clés <b>Entreposage du sel; substance déglaçante; igloo; dôme; abri; silo</b>				Autorisation de diffusion <input checked="" type="checkbox"/> Diffusion autorisée <input type="checkbox"/> Diffusion interdite			
				Signature du directeur général <i>Liquori Huse</i>		Date <b>95/08/28</b>	



1. N° de la publication de Transports Canada <b>TP 12306F</b>		2. N° de l'étude <b>7876</b>		3. N° de catalogue du destinataire	
4. Titre et sous-titre <b>Évaluation des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium</b>				5. Date de la publication <b>Novembre 1994</b>	
				6. N° du document de l'organisme exécutant	
7. Auteur(s) <b>Lucie Parrot, Nathalie Provost, Caroline Vallée et Donald Gauthier</b>				8. N° de dossier — Transports Canada <b>ZCD1465-595-2</b>	
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant <b>Soprin 375, boul. Roland-Therrien, bureau 400 Longueuil (Québec) J4H 4A6</b>				10. N° de dossier — ASC	
				11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada	
12. Nom et adresse de l'organisme parrain <b>Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest 6<sup>e</sup> étage Montréal (Québec) H3B 1X9</b>				13. Genre de publication et période visée <b>Final</b>	
				14. Agent de projet <b>C. Guérette</b>	
15. Remarques additionnelles (Programmes de financement, titres de publications connexes, etc.) <b>Cette étude a été menée dans le cadre de l'Entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement des transports avec un partage des coûts équivalent pour les deux parties.</b>					
16. Résumé <p>Le présent rapport donne les résultats d'une étude menée pour le compte du ministère des Transports du Québec sur l'optimisation des procédés d'entreposage des sels déglaçants, et comprenant une analyse des besoins dans ce domaine ainsi qu'une recherche documentaire sur les méthodes utilisées couramment dans le monde. Il traite des diverses solutions novatrices permettant d'améliorer les méthodes de gestion courantes ou de remplacer ces dernières par d'autres plus économiques et mieux appropriées. Il décrit également comment la méthode de gestion retenue pour la gestion des stocks de sel influe sur les coûts, facteur déterminant dans le dimensionnement des entrepôts à implanter dans une région.</p> <p>Une grille d'analyse a permis de mettre en évidence les liens entre choix d'une solution d'entreposage, coûts afférents et méthode de gestion des stocks. Des recommandations sont formulées, tout en tenant compte des caractéristiques particulières d'un site d'implantation.</p> <p>La recherche a été financée au titre de l'Entente Canada-Québec de développement économique et régional — Entente auxiliaire pour le développement des transports.</p>					
17. Mots clés <b>Entreposage du sel, substance déglaçante, igloo, dome, abri, silo</b>			18. Diffusion <b>Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.</b>		
19. Classification de sécurité (de cette publication) <b>Non classifiée</b>		20. Classification de sécurité (de cette page) <b>Non classifiée</b>		21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages <b>102</b>
					23. Prix

1. Transport Canada Publication No. <b>TP 12306F</b>		2. Project No. <b>7876</b>		3. Recipient's Catalogue No.	
4. Title and Subtitle <b>Évaluation des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium</b>				5. Publication Date <b>November 1994</b>	
				6. Performing Organization Document No.	
7. Author(s) <b>Lucie Parrot, Nathalie Provost, Caroline Vallée and Donald Gauthier</b>				8. Transport Canada File No. <b>ZCD1465-595-2</b>	
9. Performing Organization Name and Address <b>Soprin 375 boul. Roland-Therrien, bureau 400 Longueuil (Québec) J4H 4A6</b>				10. DSS File No.	
				11. DSS or Transport Canada Contract No.	
12. Sponsoring Agency Name and Address <b>Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West 6th Floor Montreal, Quebec H3B 1X9</b>				13. Type of Publication and Period Covered <b>Final</b>	
				14. Project Officer <b>C. Guérette</b>	
15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.) <b>This work was carried out under the Canada-Québec Sub-Agreement on Transportation Development with 50/50 cost sharing.</b>					
16. Abstract <p>This report describes a study on the optimization of road salt storage facilities. Conducted for the Quebec ministry of transportation, the study included an analysis of ministry needs and a review of existing facilities throughout the world. The report discusses various options for the enhancement of present facilities or for their replacement with a more appropriate low-cost system. It also explains how inventory control can reduce salt management costs, an important factor in determining the size of facilities throughout a territory.</p> <p>The report examines the relationship between the preferred types of facilities, their costs, and the associated inventory management practices. It concludes with recommendations that take into account specific site characteristics.</p> <p>The study was financed under the Canada-Quebec Economic and Regional Development Agreement – Subsidiary Agreement on Transportation Development.</p>					
17. Key Words <b>Salt storage, de-icing material, igloo, dome, shelter, silo</b>			18. Distribution Statement <b>Limited number of copies available from the Transportation Development Centre</b>		
19. Security Classification (of this publication) <b>Unclassified</b>		20. Security Classification (of this page) <b>Unclassified</b>		21. Declassification (date) <b>—</b>	22. No. of Pages <b>102</b>
				23. Price <b>—</b>	

## ENTENTE AUXILIAIRE CANADA-QUÉBEC SUR LE DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS

Le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec ont conclu, le 14 décembre 1984, une entente de développement économique et régional dans laquelle les transports ont été identifiés comme l'une des priorités stratégiques.

Découlant de cette entente sur le développement économique et régional, une entente auxiliaire sur le développement des transports fut conclue le 8 juillet 1985. Cette entente auxiliaire a pour but de favoriser la coordination des efforts du gouvernement du Canada et du gouvernement du Québec dans le domaine des transports, et ce, afin d'appuyer le développement économique et régional en facilitant la circulation des personnes et des biens dans et entre les différentes régions du Québec et du Canada de même qu'avec l'étranger.

Parmi les cinq volets prévus à l'entente auxiliaire se retrouve un programme de recherche et de développement dont l'objectif est d'augmenter et d'accélérer l'effort de recherche et de développement dans le domaine des transports au Québec en visant la préservation et le renforcement des capacités manufacturières de ce secteur, de même que l'augmentation de la productivité du système de transport afin de s'assurer qu'il bénéficie des progrès technologiques et reste hautement concurrentiel.

Ce programme comporte quatre secteurs principaux :

- la technologie des systèmes de transport routier;
- la technologie des systèmes de transport ferroviaire;
- les applications de la micro-informatique et de la micro-électronique en transport;
- l'intermodalité des transports.

## SOMMAIRE

Le rapport qui suit décrit une étude effectuée pour le ministère des Transports du Québec concernant l'optimisation des entrepôts de sel déglaçant. Cette étude a été financée par l'entente auxiliaire Canada-Québec sur le développement des transports comme projet conjoint des deux gouvernements. Après avoir analysé les besoins d'entreposage, une recherche a été réalisée dans certains pays pour connaître les systèmes d'entreposage actuellement utilisés.

Cette recherche n'a pas permis de découvrir de systèmes innovateurs satisfaisants les besoins du MTQ pour l'entreposage du sel, mais elle a permis de trouver quelques pistes d'amélioration. Les systèmes qui ont été évalués sont :

- système actuel, igloo ou entrepôt avec l'utilisation d'un chargeur pour entreposer le sel et pour charger les épandeurs;
- igloo ou entrepôt avec convoyeur pour entreposer le sel et chargeur pour charger les épandeurs;
- semi-caveau permettant l'entreposage en déversant le sel directement par le haut, avec chargeur pour remplir les épandeurs;
- entrepôt-silo avec convoyeurs pour un entreposage et un chargement entièrement automatisés;
- deux igloos sur le même site, avec convoyeur pour l'entreposage du sel et chargeur pour remplir les épandeurs.

Les systèmes sont décrits et évalués en détail dans le rapport.

Il est apparu qu'aucun système ne puisse satisfaire tous les besoins dans tous les sites. Il fallait donc trouver une méthode de sélection de la solution en fonction du volume saisonnier à traiter pour chaque site. Or, là encore, une seule solution ne pouvait satisfaire les besoins de tous les sites. Il a donc été décidé que l'élément discriminant pour le choix du système dépendrait de la méthode de gestion des stocks à appliquer. En effet, selon les principes de juste à temps et de distribution, le niveau de service et le risque de ruptures de stocks sont des éléments critiques qui influencent directement les quantités à emmagasiner et, par le fait même, la dimension des entrepôts. Il faut donc statuer sur ces éléments avant de choisir le type d'entrepôt. Une grille d'analyse regroupe les critères pour le choix du type d'entrepôt en fonction de la consommation annuelle, de la capacité de l'entrepôt et du risque de rupture de stock acceptable par le Ministère. Plusieurs solutions sont donc proposées pour chaque cas :

- pour une consommation annuelle de moins de 500 tonnes : entrepôt rectangulaire de 500 tonnes avec chargeur;
- pour une consommation annuelle entre 500 et 1 500 tonnes : entrepôt rectangulaire de 500 tonnes avec chargeur ou igloo de 1 500 tonnes avec chargeur, selon le risque de rupture désiré;
- pour une consommation annuelle entre 1 500 et 3 000 tonnes : igloo de 1 500 tonnes avec chargeur ou convoyeur pour le remplir selon le risque acceptable par le Ministère;
- pour une consommation de plus de 8 000 tonnes : il s'agit de placer deux entrepôts ensemble et de leur appliquer les mêmes principes.

Finalelement, pour conclure, il faut :

- appliquer les options qui améliorent les entrepôts actuels, lorsque pertinent;
- construire les nouvelles installations à l'épreuve du gel;
- appliquer des principes d'optimisation sur la gestion des stocks de sel de façon à réduire les coûts en maintenant les risques au plus bas niveau.

Les solutions proposées sont enfin comparées au diagnostic tel qu'il avait été indiqué au début de l'étude, de façon à s'assurer qu'elles y répondent bien.

## **REMERCIEMENTS**

L'équipe désire remercier tous les collaborateurs, particulièrement le personnel du ministère des Transports du Québec qui a fourni toute l'information nécessaire à la réalisation de l'étude et qui a participé activement aux ateliers de travail. Il faut aussi remercier la Société immobilière du Québec pour sa participation à l'étude des coûts des systèmes actuels et tous les fournisseurs qui ont eux aussi fourni des renseignements sur les coûts et d'autres données concernant les systèmes envisagés.

Enfin, nous remercions les divers organismes (ministères et gouvernements) des pays qui nous ont envoyé rapidement les renseignements concernant leur façon de faire et leurs listes de fournisseurs. Sans cet apport, l'étude aurait été incomplète.

Finalelement, nous voulons souligner la participation active et soutenue du comité du projet qui a guidé la démarche, commenté les résultats partiels et soutenu l'équipe de conception.

## TABLE DES MATIÈRES

	page
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>PROBLÉMATIQUE .....</b>	<b>3</b>
<b>OBJECTIFS DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>5</b>
Objectifs particuliers .....	5
Étapes requises .....	5
<b>MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>7</b>
Plan de travail de l'analyse de la valeur .....	8
Recherche d'information .....	8
Analyse fonctionnelle .....	9
Recherche d'idées .....	10
Développement .....	10
Recommandations .....	10
Équipe multidisciplinaire .....	11
<b>REVUE DE LA SITUATION ACTUELLE .....</b>	<b>13</b>
Caractéristiques physico-chimiques du NaCl .....	13
Caractéristiques des sites actuels .....	14
Statistiques sur les entrepôts .....	17
Renseignements complémentaires .....	19
Diagnostic .....	19
<b>PROCESSUS ACTUEL ET ANALYSE DES BESOINS .....</b>	<b>21</b>
Processus actuel .....	21
Analyse des processus actuels .....	30
Analyse des besoins .....	31
Forces et faiblesses des systèmes actuels .....	33
<b>CARACTÉRISATION DES BESOINS .....</b>	<b>35</b>
Spécifications fonctionnelles .....	35
Synthèse des spécifications fonctionnelles .....	42

<b>INVENTAIRE DES SYSTÈMES EXISTANTS .....</b>	<b>43</b>
Aperçu des systèmes existants .....	43
Description des systèmes envisagés .....	44
Système actuel, entrepôt rectangulaire et igloo, système 1 .....	44
Entrepôt avec convoyeur, système 2 .....	46
Silo en acier, système 3 .....	47
Caveau, système 4 .....	49
Silo dans le roc (bunker) système 5 .....	50
Comparaison des systèmes envisagés .....	51
 <b>ÉVALUATION DES SYSTÈMES ENVISAGÉS .....</b>	 <b>53</b>
Évaluation fonctionnelle .....	53
Évaluation complémentaire .....	56
Explication de l'élimination du silo, du «bunker» et du caveau .....	57
Silo .....	57
Caveau et «bunker» .....	58
Synthèse de l'évaluation .....	58
 <b>DESCRIPTIONS DES PROPOSITIONS .....</b>	 <b>59</b>
Options proposées .....	59
Systèmes proposés .....	63
Igloo avec un mode d'entreposage et de chargement par chargeur (système actuel) .....	64
Igloo actuel avec un convoyeur mobile pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement .....	65
Entrepôt rectangulaire avec un chargeur pour l'entreposage et le chargement .....	67
Entrepôt rectangulaire avec un convoyeur pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement .....	68
Semi-caveau où l'entreposage se fait par gravité et le chargement par chargeur .....	70
Entrepôt-silo automatisé .....	72
Deux igloos sur le même site avec un convoyeur pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement .....	74
Coûts de construction des systèmes proposés .....	74
Systèmes avec igloo .....	74
Entrepôt rectangulaire .....	75

Entrepôt semi-caveau .....	78
Entrepôt-silo .....	79
Résumé des coûts de construction .....	80
Coût global des systèmes et options proposées .....	80
<b>GESTION DES STOCKS.....</b>	<b>87</b>
Gestion des stocks .....	87
Concepts de base .....	87
Autres considérations .....	90
Le juste à temps .....	92
<b>RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>93</b>
Évaluation des systèmes selon les volumes saisonniers et les modes de gestion des stocks .....	93
Évaluation des systèmes proposés .....	94
Consommation hivernale de moins de 500 tonnes .....	94
Consommation hivernale entre 500 et 1 500 tonnes .....	97
Consommation entre 1 500 et 3 000 tonnes .....	97
Consommation hivernale de 3 000 à 8 000 tonnes .....	98
Consommation hivernale de plus de 8 000 tonnes .....	99
Synthèse des recommandations .....	99
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>101</b>

## LISTE DES FIGURES

page

Figure 1 :	Étapes du mandat.....	7
Figure 2 :	Pourcentage des sites par volume saisonnier .....	18
Figure 3 :	Pourcentage des sites par nombre de livraisons .....	18
Figure 4 :	Schéma séquentiel du processus d'entreposage et de chargement du sel .....	21
Figure 5 :	Arbre fonctionnel .....	32
Figure 6 :	Igloo actuel .....	45
Figure 7 :	Convoyeur suspendu .....	46
Figure 8 :	Convoyeur mobile .....	46
Figure 9 :	Vue d'ensemble des silos .....	47
Figure 10 :	Silo vertical avec descriptions .....	48
Figure 11 :	Caveau dans le roc .....	49
Figure 12 :	Silo dans le roc (bunker) .....	50
Figure 13 :	Igloos actuels .....	66
Figure 14 :	Entrepôts rectangulaires .....	69
Figure 15 :	Concept du semi-caveau .....	71
Figure 16 :	Concept de l'entrepôt-silo .....	73
Figure 17 :	Niveaux du stock de réserve par rapport au niveau de service .....	89
Figure 18 :	Exposition aux ruptures des stocks par rapport à la fréquence des commandes .....	91

## LISTE DES TABLEAUX

page

Tableau 1 :	Résumé des sites .....	16
Tableau 2 :	Sous-processus : entreposage du sel .....	23-24
Tableau 3 :	Sous-processus : chargement du sel .....	25-26
Tableau 4 :	Sous-processus : assurance-qualité .....	27
Tableau 5 :	Sous-processus : gestion du sel .....	28-29
Tableau 6 :	Analyse des processus .....	30
Tableau 7 :	Cahier des charges fonctionnel .....	36-41
Tableau 8 :	Liste des systèmes recensés et rejetés .....	43
Tableau 9 :	Liste des systèmes recensés et conservés .....	44
Tableau 10 :	Résumé des coûts de construction des systèmes envisagés .....	51
Tableau 11 :	Résumé de l'évaluation selon le CDCF des systèmes envisagés .....	54
Tableau 12 :	Avantages et inconvénients des systèmes envisagés .....	55-56
Tableau 13 :	Évaluation complémentaire .....	57
Tableau 14 :	Options proposées .....	60-61
Tableau 15 :	Coût d'investissement et retour sur l'investissement .....	62
Tableau 16 :	Systèmes proposés .....	63
Tableau 17 :	Estimation du coût de construction d'un igloo .....	75
Tableau 18 :	Comparaison du coût de construction .....	76
Tableau 19 :	Résumé de l'estimation de l'entrepôt rectangulaire de Sainte-Sophie-de-Lévrard effectué par SOPRIN .....	77
Tableau 20 :	Coût de construction d'entrepôt rectangulaire pour différentes capacités .....	78
Tableau 21 :	Estimation préliminaire du coût de construction du semi-caveau .....	78
Tableau 22 :	Estimation préliminaire du coût de construction d'un entrepôt-silo .....	79
Tableau 23 :	Résumé des coûts de construction des solutions proposées .....	80
Tableau 24 :	Sommaire des coûts globaux des systèmes .....	81-82
Tableau 25 :	Évaluation synthèse des systèmes proposés .....	83-86
Tableau 26 :	Grille d'analyse .....	95-96

## INTRODUCTION

Ce document présente les résultats de l'évaluation des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium utilisables par le ministère des Transports du Québec pour l'entretien hivernal. Cette évaluation vise à s'interroger sur la conception et le mode opérationnel des installations d'entreposage et de chargement actuellement en utilisation au MTQ.

Pour réaliser cette étude, les besoins que doivent satisfaire les systèmes ont été analysés. Ils ont servi de référentiel pour faire le diagnostic des systèmes existants et pour évaluer les systèmes qui sont actuellement utilisés sur le marché mondial. Il a donc été possible de déterminer les systèmes permettant d'améliorer la situation actuelle ou les idées susceptibles d'optimiser les systèmes existants.

Le rapport décrit de manière séquentielle les résultats obtenus au cours de la démarche. À la suite de l'énoncé de la problématique et des objectifs, la méthodologie est présentée. Elle décrit l'approche retenue pour atteindre les objectifs précis de ce mandat et les outils utilisés.

Les chapitres suivants traitent de l'analyse des besoins. Dans un premier temps, la revue de la situation actuelle précise les données de base quant aux sites d'entreposage et aux spécificités du chlorure de sodium. Elle permet de connaître les aspects contraignants ou favorables qui caractérisent les systèmes existants. Dans un second temps, la connaissance des fonctions et la caractérisation de celles-ci décrivent les besoins auxquels doivent répondre les systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium pour satisfaire le MTQ.

La suite est orientée vers le développement des solutions. Après avoir présenté et analysé à partir de l'analyse des besoins, les systèmes inventoriés les plus intéressants sont évalués plus à fond. Cette évaluation est présentée et suivie des possibilités découlant de la recherche d'optimisation. Le développement des choix débouche sur une série de recommandations qui pourraient apporter des solutions répondant aux besoins du Ministère.

## PROBLÉMATIQUE

Dans les pays à climat froid ou tempéré, l'entretien hivernal est considéré par les gestionnaires des réseaux routiers comme une tâche prioritaire. C'est pourquoi chaque année, le ministère des Transports du Québec achète et entrepose quelque 700 000 tonnes de chlorure de sodium pour le déglacage de son réseau routier.

Pour entreposer le chlorure de sodium, il existe actuellement au Québec environ 200 sites dont 83 sont de type «igloo»; les autres sont surtout des entrepôts rectangulaires. Or, ces installations servant à l'entreposage du sel sont vieillissantes. De plus, certains sites d'entreposage ont même fait à l'occasion l'objet de contestations de la part d'organismes tels que la CSST ou le ministère de l'Environnement et de la Faune.

Compte tenu des quantités entreposées, des coûts s'y rattachant et de la priorité toujours grandissante de conserver le réseau routier sécuritaire, le ministère des Transports doit revoir certains aspects de l'entreposage du chlorure de sodium. Cela s'effectue au moment où le ministère des Transports planifie la reconstruction des installations les plus détériorées. Dans ce contexte, il y a donc lieu de revoir les pratiques d'entreposage du chlorure de sodium.

## **OBJECTIFS DE L'ÉTUDE**

Dans ce contexte, l'objectif du ministère des Transports consiste à revoir la conception et le mode opérationnel des installations d'entreposage et de chargement du chlorure de sodium.

### **Objectifs particuliers**

De manière plus précise, le Ministère possède les objectifs suivants :

- diminuer, voire réduire à zéro, les coûts et les délais de chargement des épandeurs;
- opérer l'unité d'entreposage et de chargement sans main-d'oeuvre spécialisée et ce, dans le respect des lois, normes et règlements de la Commission de la santé et de la sécurité au travail (CSST);
- allonger la vie utile des installations (au moins 20 ans) tout en diminuant les coûts d'entretien entraînés par la manipulation de matériaux corrosifs;
- acquérir ou ériger les nouvelles installations à des coûts acceptables et comparables, inférieurs même à ceux des installations actuelles pour des inventaires similaires et ce, dans le respect des lois, normes et règlements du ministère de l'Environnement et de la Faune;
- assurer un contrôle quantitatif du sel chargé dans les épandeurs.

Le Ministère souhaite aussi :

- réduire les délais de manipulation du sel aggloméré par suite d'anomalies;
- diminuer les coûts de stockage des matériaux dans ses entrepôts;
- favoriser le développement de l'industrie québécoise pour la conception ou la fabrication de ses installations d'entreposage et de chargement du chlorure de sodium.

### **Étapes requises**

Pour atteindre ces objectifs, sept étapes principales ont été requises pour cette étude qui tente de rencontrer les exigences du Ministère et de tendre vers une optimisation dans une optique globale et innovatrice.

Ces sept étapes sont les suivantes :

1. Tracer le profil physico-chimique du chlorure de sodium utilisé par le ministère des Transports. Cette notion permet de connaître les principales caractéristiques du produit à entreposer.
2. Décrire les différents modes et procédures d'entreposage et de chargement actuellement en usage au ministère des Transports.
3. Connaître les contraintes et nécessités à rencontrer dans le choix d'un système d'entreposage et de chargement.

4. Dresser l'inventaire des différents systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium actuellement disponibles sur le marché mondial et, le cas échéant, ceux en développement.
5. Effectuer pour chacun des systèmes une évaluation comparative détaillée pour déterminer leur capacité à satisfaire les objectifs du Ministère et à tenir compte des contraintes et nécessités énoncées à la troisième étape.
6. Élaborer un concept d'entreposage et de chargement rencontrant les objectifs cités, dans l'optique où les systèmes existants ne répondent pas aux objectifs décrits.
7. Sur la base de l'évaluation et de la conception, recommander au comité de suivi du projet le ou les systèmes retenus.

Les trois premières étapes visent la compréhension du besoin. Les quatre suivantes sont axées sur le développement de recommandations répondant aux besoins du MTQ.

## MÉTHODOLOGIE

Pour rencontrer les objectifs précédemment cités, la démarche proposée est basée sur la méthodologie de l'analyse de la valeur. Cette méthode systématique a pour objectif d'optimiser le rapport qualité/coût d'un produit. L'analyse de la valeur utilise un plan de travail rigoureux et implique la participation d'une équipe de travail multidisciplinaire dans la conception ou la reconception de produit. La démarche emprunte donc le plan de travail de l'analyse de la valeur et l'adapte au contexte particulier de l'évaluation des systèmes d'entreposage du sel.

Le diagramme qui suit illustre le parallèle entre le plan de travail de l'analyse de la valeur et les étapes requises pour la réalisation de ce mandat.

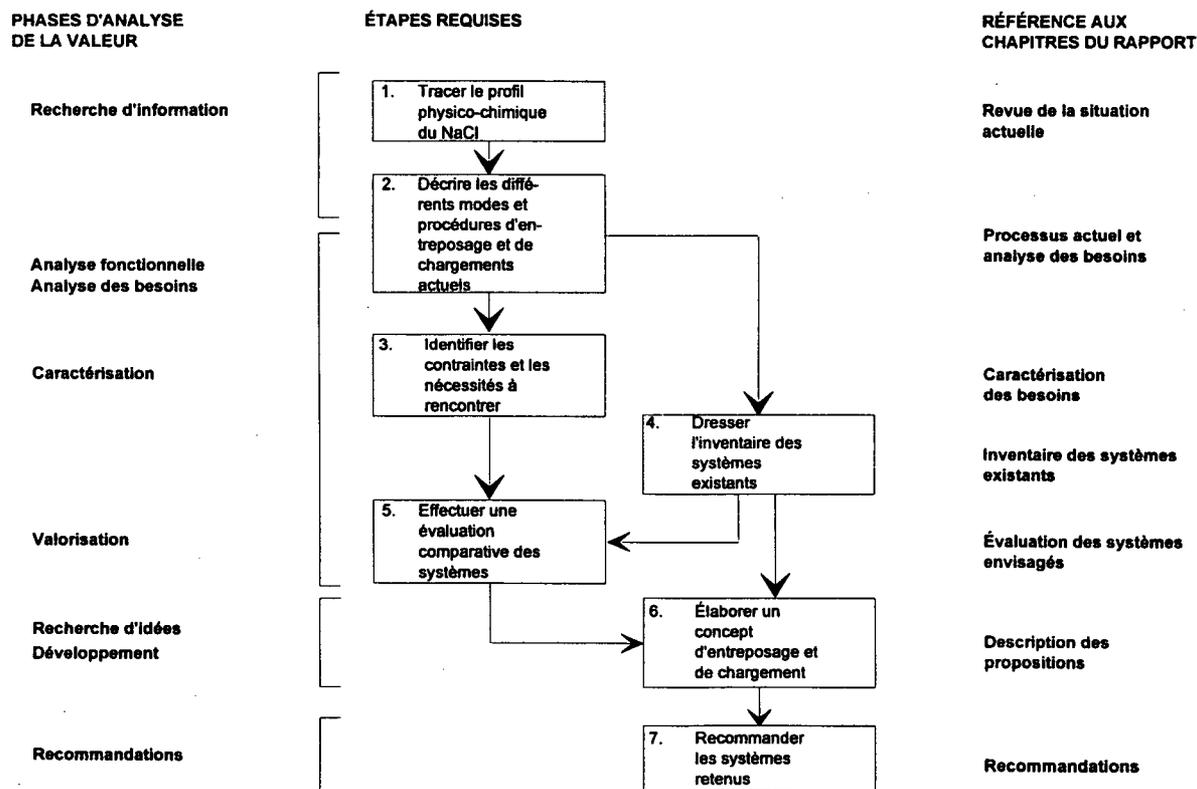


Figure 1 : Étapes du mandat

## **Plan de travail de l'analyse de la valeur**

Le plan de travail de l'analyse de la valeur amène l'équipe de travail à se questionner sur tous les aspects de l'étude. Ce faisant, il remet en cause les aspects fondamentaux du projet. Cinq étapes composent le plan de travail :

- recherche d'information;
- analyse fonctionnelle, analyse des besoins;
- caractérisation;
- valorisation;
- recherche d'idées, développement des idées;
- recommandations.

### ***Recherche d'information***

Cette phase permet d'abord de définir les orientations et le plan d'action de l'analyse. Un premier rapport d'étape conclut cette préparation et indique les grandes lignes de la planification et de la logistique requise pour réaliser l'étude.

La recherche d'information permet aussi de colliger toutes les données de base quant au sujet de l'étude. Cette phase donne une bonne perception des exigences, des objectifs et des contraintes qui caractérisent l'entreposage du chlorure de sodium tel qu'il est fait maintenant.

Dans un premier temps, les demandes d'information à des spécialistes ont permis de dresser le profil physico-chimique du sel. De plus, des visites de sites ont permis de se familiariser avec les procédures actuelles d'entreposage, de repérer certains problèmes d'opération, en plus de constater, sur place, les caractéristiques des entrepôts. Les sites ont été indiqués par le ministère des Transports. En plus des sites appartenant au MTQ, les installations de la ville de Sainte-Catherine, qui appartiennent à la Coopérative Fédérée, ont été visitées.

Enfin, la collecte de données est aussi fondée sur des entrevues avec des personnes responsables de domaines particuliers. Les entrevues ont permis de :

- se familiariser avec les contraintes environnementales, autant à l'intérieur qu'à l'extérieur immédiat des entrepôts;
- prendre connaissance des problèmes de santé et de sécurité vécus aux sites d'entreposage et de chargement du sel;
- prendre connaissance des contraintes relatives à la manutention du sel tant au point de vue de l'assurance-qualité que des coûts engendrés par l'opération;
- cerner le problème de contrôle quantitatif du sel.

L'analyse séquentielle des modes de travail complète l'information recueillie. Cette analyse précise les processus actuels et démarre l'analyse fonctionnelle. Elle relie les phases de collecte d'information et d'analyse fonctionnelle.

En parallèle à la collecte de données sur les systèmes utilisés actuellement au Québec, la recherche d'information a été complétée par l'inventaire des systèmes existants. Cet exercice chevauche la prochaine étape; l'analyse fonctionnelle orientant la veille technologique vers les vrais besoins. Des contacts ont été établis avec les responsables du déglacage dans plusieurs pays afin d'effectuer un balayage le plus large possible. Plusieurs manufacturiers ont été contactés pour connaître les systèmes et les produits disponibles. De plus, des universitaires ont été consultés concernant certaines technologies de pointe.

### ***Analyse fonctionnelle***

L'analyse fonctionnelle permet d'énoncer le besoin sous une forme de fonctions d'usage; c'est-à-dire selon la finalité, sans référence aux solutions techniques susceptibles d'y répondre. Cette expression fonctionnelle du besoin est capitale car :

- la qualité d'un produit se mesure par son adéquation au besoin; il est donc indispensable d'exprimer ce besoin le plus précisément possible;
- les coûts d'un produit sont reliés aux exigences formulées dans l'expression du besoin.

Ainsi, l'analyse fonctionnelle préserve toutes les chances d'émergence de l'innovation. Elle permet de cerner la problématique et d'orienter l'inventaire des solutions potentielles. Trois sous-phases composent l'analyse fonctionnelle : l'analyse des besoins, la caractérisation et la valorisation.

### ***Analyse des besoins***

L'analyse des besoins est d'abord fondée sur l'analyse séquentielle du processus d'entreposage et de chargement. Les fonctions, exprimées à l'aide d'un verbe et d'un nom, sont énoncées par l'équipe de travail qui décrit, pas à pas, le mode opératoire.

L'examen de l'environnement complète l'analyse des besoins. Cette technique place le sujet étudié dans son contexte d'ensemble et permet d'exprimer de manière exhaustive tous les besoins qu'il doit satisfaire. Ces informations sont ensuite organisées de manière logique dans un arbre fonctionnel illustrant les besoins à satisfaire et la finalité auxquels le système se rattache.

### ***Caractérisation***

La caractérisation des fonctions vise à préciser de manière quantitative et qualitative les besoins. Elle consiste à énoncer les critères d'appréciation de chaque fonction, leur niveau et leur flexibilité. Un critère

d'appréciation représente le caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée. Les niveaux peuvent représenter l'objectif imposé ou souhaité. La flexibilité représente une indication sur la possibilité de moduler un niveau recherché pour un critère (norme AFNOR, NF X50-151).

Toutes ces informations sont ensuite exprimées dans un document appelé cahier des charges fonctionnel ou spécifications fonctionnelles qui servira de grille d'évaluation des systèmes répertoriés ou conçus, à une étape ultérieure.

Le cahier de charges fonctionnel intègre les objectifs du Ministère quant aux systèmes d'entreposage. Il est complété par les critères de sélection en matière d'entreposage et de chargement. Le cahier de charges fonctionnel structure la valorisation et donne une grille précise d'évaluation des systèmes recensés.

#### *Valorisation*

L'évaluation des systèmes se fait à partir de la caractérisation et est complétée par l'évaluation des coûts de chacune d'elle. Cette étape permet de connaître les systèmes possédant le meilleur potentiel pour satisfaire les besoins et atteindre les objectifs du MTQ.

#### **Recherche d'idées**

Le remue-méninge, technique de créativité, est utilisé pour rechercher des idées d'amélioration des systèmes envisagés et retenus à la suite de leur évaluation. Cette phase permet de repérer les axes d'optimisation des systèmes actuels et des solutions innovatrices.

#### **Développement**

Le but de la phase de développement est de bâtir des solutions qui répondent le mieux aux critères et objectifs du Ministère en matière de chargement et d'entreposage. Le développement des idées découvertes à la phase précédente demande une recherche d'information complémentaire quant à leur faisabilité, à leur «maintenabilité», à la sécurité et à l'évaluation des coûts. Cette phase permet d'analyser l'impact des différentes propositions sur les méthodes de travail et sur les processus.

#### **Recommandations**

Le développement des idées est conclu par l'élaboration des recommandations constituant les résultats finaux de la démarche. Cette phase précise les solutions retenues et situe les systèmes d'entreposage et de chargement dans le contexte plus global du déglacage des routes. Cette phase vise à introduire la mise en place des recommandations et à préciser les éléments clés du plan d'implantation.

## Équipe multidisciplinaire

Le succès d'une étude d'analyse de la valeur repose sur l'expertise des personnes y participant et sur leur complémentarité. Cette équipe doit être composée de personnes connaissant tous les aspects de la problématique. Dans le cadre de cette étude, l'équipe a été impliquée dans les phases d'analyse fonctionnelle, de recherche d'idées et de développement. Les autres étapes ont été assurées par l'équipe de la firme.

Les personnes ayant participé à cette étude sont :

Luc Bergeron	Chef, Service des opérations;
Victor Bérubé	Adjoint à l'entretien, district de Mont-Joli;
Gérard Bluteau	Chef, Division des opérations, Québec;
Michel Brown	Ingénieur, Division viabilité hivernale;
Claude Guérette	Centre de développement de Transports Canada;
Jean-Gilles Marcotte	Chef, Division des opérations, Cap-Santé;
Bernard Morin	Service géotechnique et géologie;
Lucien Tremblay	Chef, Division des opérations, Laurier-Station;
Annie Santer	ARPSE, Service de la coordination de la recherche;
Miville Villeneuve	Chef de district, Lachute.

Équipe de la firme :

Jean Bouchard	Ingénieur, Soprin;
Donald Gauthier	Ingénieur, spécialiste de manutention, Soprin;
Lucie Parrot	Ingénieure, animatrice, Soprin;
Caroline Vallée	Ingénieure, estimation, Soprin;
Francine Constantineau	Ingénieure, chargée de projet, Soprin.

## REVUE DE LA SITUATION ACTUELLE

Ce chapitre présente les systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium déjà en place. Ce constat permet de se familiariser avec la problématique. Entre autres, on souhaite connaître quelles sont les procédures utilisées pour remplir et vider l'entrepôt, quels sont les impacts des modes de travail sur la conception des entrepôts et quelles sont les conditions, contraintes et occasions caractérisant le contexte actuel.

### Caractéristiques physico-chimiques du NaCl

Les caractéristiques du sel servent à mieux comprendre les contraintes liées à sa manipulation et à sa conservation. Ces informations servent aussi de base au développement du cahier de charges fonctionnel présenté au chapitre *Caractérisation des besoins*. Les caractéristiques suivantes sont tirées d'une étude réalisée par monsieur Guy Fréchette.

#### *Norme appliquée au MTQ*

La norme utilisée au devis d'achat de sel est basée sur la norme BNQ-2410-200 - Chlorure de sodium. Toutefois, les critères de pureté, d'humidité et de granulométrie du MTQ sont plus souples.

#### *Pureté en chlorure de sodium exigée par le MTQ*

- 93,5 % de NaCl;
- entre 93,5 % et 90 %, des pénalités sont imposées aux fournisseurs;
- à moins de 90 %, il y a possibilité de refus.

#### *Degré d'humidité accepté*

- moins de 1,5 % d'humidité;
- à plus de 1,5 %, des pénalités sont imposées.

#### *Exigences granulométriques*

La taille des grains acceptés est de :

Taille	Pourcentage accepté par taille
10 mm	100 %
5 mm	20 à 90 %
2,5 mm	11 à 60 %
0,630 mm	0 à 11 %

### *Caractéristiques chimiques et physiques*

- le sel n'absorbe pas ou peu l'humidité;
- un poids spécifique de 1 282 kg/m<sup>3</sup> est utilisé pour calculer l'espace d'entreposage.

### *Action du NaCl*

- le sel attaque grandement l'acier;
- le sel attaque peu ou pas l'aluminium, l'acier inoxydable, les alliages d'aluminium, les bitumes, les mélanges bitumineux, le verre, les plastiques, les céramiques, le bois, les élastomères, les produits caoutchoutés, les scellants et les peintures;
- le sel provoque l'écaillage du béton, mais certains bétons résistent bien à son action.

### *Effets du NaCl sur l'environnement*

- le sel peut être nuisible à la végétation et aux sols;
- le sel peut contaminer les eaux des puits et des étangs.

De plus, selon les critères de qualité de l'eau du ministère de l'Environnement et de la Faune, les chlorures constituent une nuisance d'ordre esthétique. C'est-à-dire qu'à plus de 250 mg/l, le goût de l'eau est affecté. Quant aux critères liés à la vie aquatique, des facteurs de 860 mg/l (toxicité aiguë) et de 230 mg/l (toxicité chronique) s'appliquent aux chlorures lorsqu'ils sont associés au potassium, au calcium et au magnésium, et non pas au sodium comme dans le cas qui nous intéresse.

### *Toxicité*

- le sel est légèrement toxique à grande concentration;
- il est inoffensif pour la peau;
- il est un irritant moyen pour les yeux.

### **Caractéristiques des sites actuels**

Pour comprendre la problématique, il est important, dans un premier temps, de décrire les sites d'entreposage. Les 200 sites d'entreposage actuels sont composés principalement d'entrepôts rectangulaires, toutefois 83 entrepôts sont de type «igloo».

En général, les entrepôts rectangulaires ont des murs en bois de 4,5 mètres de haut qui reposent sur des murs de soutènement en béton de 4,3 mètres avec empattements à l'épreuve du gel. Des fermes de bois constituent la structure du toit qui est recouverte de bardeaux. Le pavage sert de plancher à l'entrepôt. Une large ouverture donne accès à l'entrepôt.

Les igloos sont, habituellement, constitués d'un toit de bois de forme arrondie, rappelant un dôme, d'un diamètre de 30 mètres ayant une toiture de bardeaux reposant sur un mur de béton de 1,2 mètre de hauteur appuyé directement sur le pavage sans fondation à l'épreuve du gel. Un accès permet d'entrer à l'intérieur.

Pour prendre connaissance des modes actuels d'entreposage et de chargement du sel, des visites de sites ont été faites dans cinq établissements appartenant au ministère des Transports et un équivalent appartenant à la Coopérative Fédérée. Les visites ont permis de connaître les différentes caractéristiques de ces entrepôts.

Le tableau de la page suivante résume les différentes caractéristiques des sites visités. Ce tableau met en évidence les différences d'un site à un autre, en particulier quant aux besoins saisonniers à satisfaire et aux quantités livrées à la fois. Ces différences sont d'autant plus particulières que les capacités des entrepôts, quelle que soit leur configuration, sont sensiblement les mêmes.

Le tableau indique aussi la difficulté à remplir à pleine capacité les entrepôts. En effet, dans les cas d'Anjou et de Saint-Jérôme, la hauteur d'empilement n'atteint pas plus de la moitié de la hauteur de l'entrepôt. De plus, les personnes interviewées soulignent que le sel est manipulé à plusieurs reprises entre son départ chez le fournisseur et son arrivée dans l'épandeur. Selon ces personnes, ces manipulations répétées devraient être réduites puisqu'elles rendent le sel plus poudreux et, par conséquent, moins efficace pour le déglacage. Cette constatation a été confirmée par les personnes qui ont participé à l'atelier de travail.

**Tableau 1: Résumé des sites**

SITUATION ACTUELLE - SITES VISITÉS					
Site	Anjou	Authier	St-Jérôme	Napierville	Ste-Catherine
Région desservie	Centre-est Montréal	Ouest Montréal	Basses Laurentides	Rive-sud Montréal	N'appartient pas à la SIQ
Type d'entrepôt	Igloo 15 m haut	Rectangulaire 1109 m <sup>2</sup> x moins de 9 m de haut	Rectangulaire 31,5 m x 17,5 m x 7,7 m	Igloo 15 m haut	Igloos et hangars servant à entreposer des engrais et de la potasse
Capacité	3000 tonnes	4500 tonnes	3000 tonnes	3000 tonnes	-
Besoin saisonnier	10 000 t sel 200 t abrasifs	30 000 t sel 400 t abrasifs	11 000 t sel 6 000 t abrasifs	12 000 t sel 6 000 abrasifs	
Quantité livrée à la fois	500 - 600 t/5 h	1 200 - 1 500 t/8 h	300 - 500 t	800 t	200 à 300 t/h
Chargeur	1,5 m <sup>3</sup>	1,5 m <sup>3</sup>	1,5 m <sup>3</sup>	1,3 m <sup>3</sup>	convoyeur
Empilement: hauteur durée	3,6 m haut 7 min/camion	> 7 min/camion	3,0 m haut	6 min/camion	igloos presque pleins
Flotte d'épandeurs (camions de 10 à 12 t)	1/3 MTQ 2/3 privés		1/2 MTQ 1/2 entrepreneurs	1/4 MTQ 3/4 entrepreneurs	
Durée du chargement des épandeurs	3 à 5 min	> 3 - 5 min	3 - 5 min	10 min	

Un déchargement typique de sel prend environ deux (2) minutes, quel que soit le site.

Les personnes interviewées mentionnent aussi que, souvent, l'ouverture des portes est trop petite. En effet, aux entrepôts d'Anjou et de Saint-Jérôme, la taille réduite de l'ouverture nuit aux manipulations.

Dans les sites où il y a de longues opérations, il y a risque d'accumulation de monoxyde de carbone et de poussière de sel. Ces substances affectent les employés qui ont à travailler dans l'entrepôt.

Dans les trois premiers sites, Anjou, Authier et Saint-Jérôme, les personnes rencontrées disent que le sel attaque le chargeur. Il s'use donc rapidement à cause de la corrosion. En contrepartie, les personnes de Napierville disent que le chargeur est en bon état et elles mentionnent aussi que l'entretien est fait régulièrement.

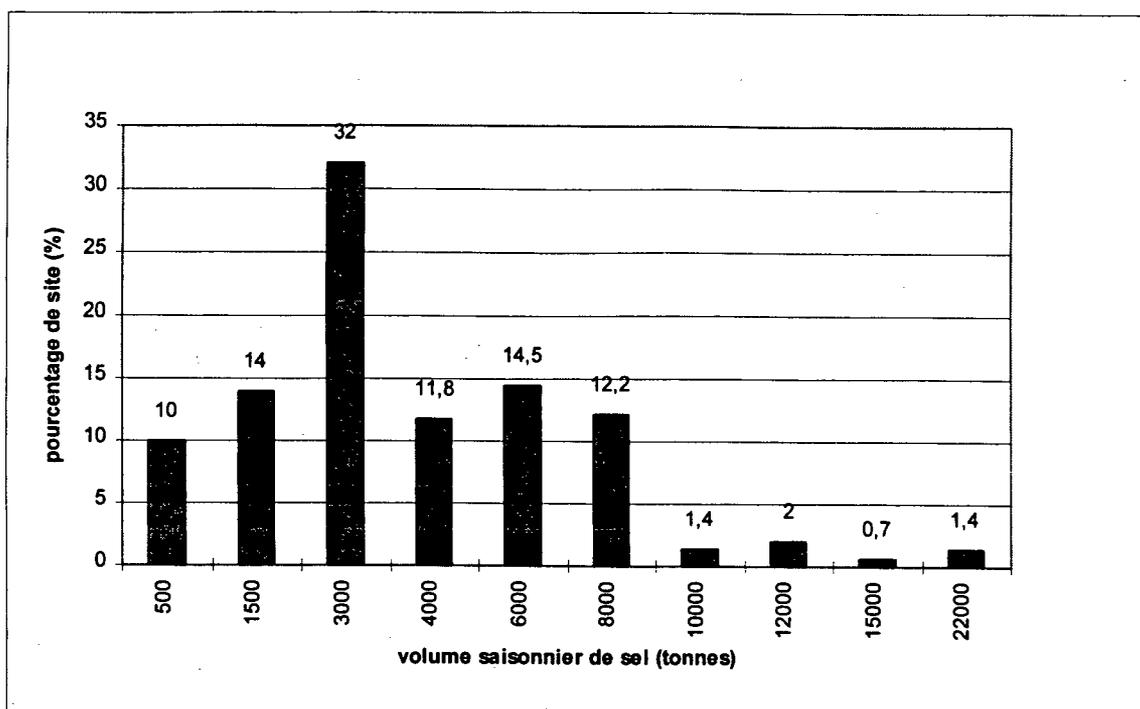
Le dernier élément signalé est lié à la difficulté de gérer la quantité de sel. Dans tous les sites du MTQ visités, sauf celui de Napierville qui possède une balance, il y a une différence entre la quantité estimée de sel déposée dans les épandeurs et celle achetée. Cette différence est toujours défavorable au MTQ. Il manque donc de contrôle de quantité.

## **Statistiques sur les entrepôts**

Quelques renseignements sur les entrepôts québécois permettent de décrire les bâtisses opérées par le MTQ.

Le premier tableau indique la variation du volume saisonnier des divers entrepôts. Il varie de moins de 500 tonnes métriques à plus de 20 000 tonnes. En fait, les proportions sont réparties ainsi :

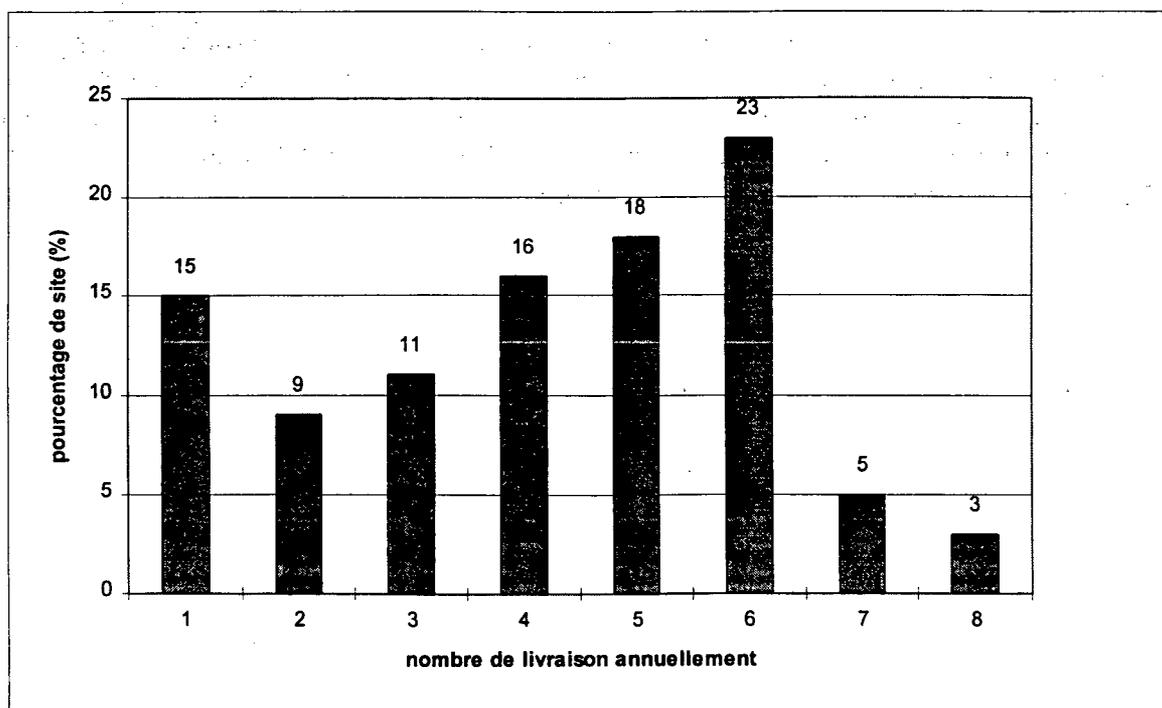
- 10 % sont des sites à très faible consommation, de moins de 500 tonnes inclusivement;
- 14 % sont des sites à consommation faible, entre 500 et 1 500 tonnes inclusivement;
- 32 % sont des sites à consommation moyenne, entre 1 500 tonnes et 3 000 tonnes inclusivement;
- 39 % sont des sites à consommation élevée, entre 3 000 tonnes et 8 000 tonnes inclusivement;
- 5 % sont des sites à très forte consommation, de plus de 8 000 tonnes.



**Figure 2 : Pourcentage des sites par volume saisonnier**

Il faut noter que quelques sites ne sont pas recensés dans cette liste par manque de données. Ces données sont tirées du document de commande de sel 1987-1988.

Il est aussi intéressant d'analyser le nombre de livraisons annuelles par site (Liste des livraisons de NaCl, 1992-1993). Ces renseignements indiquent encore une fois l'écart entre les différents sites.



**Figure 3 : Pourcentage des sites par nombre de livraisons**

En fait, ces renseignements confirment la remarque faite à la section précédente quant à la diversité des besoins. Dans certains cas, une seule livraison de sel comble tous les besoins pour l'hiver. Dans d'autres cas, des livraisons fréquentes sont requises. En effet, si on considère que l'hiver dure environ cinq mois, certains sites doivent être remplis toutes les trois semaines.

On constate donc que les besoins varient d'un site à l'autre :

- les entrepôts sont situés dans des lieux demandant une gestion différente du sel;
- les entrepôts sont plus ou moins loin du dépôt de sel;
- les entrepôts desservent un réseau routier plus ou moins dense.

Les besoins auxquels doit répondre chaque entrepôt sont donc variables, selon le volume et la facilité d'entreposage.

### **Renseignements complémentaires**

Des rencontres ont complété les recherches entreprises pour cerner tous les aspects du jugement tiré de l'analyse. En ce qui a trait à l'impact des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium sur l'environnement, il est important de chercher à isoler le sel du milieu environnant. Quant aux enjeux de santé et sécurité au travail, trois éléments ressortent :

- l'accumulation de CO et de NO<sub>2</sub> dans les entrepôts;
- la poussière de sel en suspension;
- le risque de blessures sur les épandeurs de sel.

### **Diagnostic**

À la suite des visites et grâce à l'information recueillie, il est possible de définir la problématique liée aux systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium au ministère des Transports du Québec. Ces problèmes devront être intégrés à la définition du besoin présentée au chapitre suivant. Six éléments majeurs ont été cernés :

- 1- L'**environnement** doit être protégé d'une contamination possible (nappe phréatique, puits artésien), de façon à ne pas nuire ni à la population environnante, ni à la faune ou la flore se trouvant à proximité du site d'entreposage. On doit aussi éviter la pollution visuelle ou celle causée par le bruit lorsque le site se trouve en zone habitée.
- 2- La **manutention** du sel doit être minimisée, car plus le sel est manipulé, plus il a tendance à se défaire en poussière, état dans lequel il est moins efficace. En outre, toute manutention inutile prend du temps, coûte de l'argent, use l'équipement et met en contact le sel et les personnes.

- 3- Les installations actuelles permettent difficilement d'effectuer des **manoeuvres sécuritaires et efficaces**. En effet, les accès limitent les mouvements des chargeurs et des camions. Ils occasionnent ainsi des collisions et des dommages aux bâtiments d'entreposage.
- 4- Les **conditions de travail** actuelles sont difficiles. Plusieurs personnes se plaignent de peau sèche, de yeux irrités, de lèvres gercées en plus d'avoir à respirer des poussières de sel en suspension et des émanations de monoxyde de carbone provenant des chargeurs qui circulent dans les entrepôts mal ventilés. De plus, des accidents ont eu lieu lorsque des employés montaient sur les épandeurs pour enlever ou émietter les blocs de sel.
- 5- Le **contrôle des quantités** est imprécis. Il faut procéder à des ajustements régulièrement. Un écart de 10 % peut exister entre les quantités fournies et celles achetées. Le sel est compté au «godet» près.
- 6- Les **conditions d'opération des systèmes** d'entreposage et de chargement changent grandement d'un site à l'autre. Les volumes saisonniers à entreposer et le nombre de livraisons annuelles varient donc beaucoup. Cette dernière problématique concerne l'ensemble des entrepôts de sel, elle est liée principalement à la localisation des entrepôts sur tout le territoire du Québec.

## PROCESSUS ACTUEL ET ANALYSE DES BESOINS

Ici, le processus actuel d'entreposage et de chargement est décrit de façon à compléter la problématique. Il constitue le point de comparaison avec l'analyse des besoins permettant de connaître les forces et les faiblesses des systèmes en place.

Le processus actuel de manipulation du sel n'est pas officiellement décrit au MTQ. Pour le faire, l'analyse des séquences de travail a été réalisée en atelier pour préciser les actions qui sont réalisées lors de l'entreposage du sel et du chargement des épandeurs. Cette analyse a été complétée par les observations faites lors de visites de sites.

L'examen du milieu, seconde technique d'analyse des besoins, place les systèmes dans un contexte plus large. Ce faisant, il est possible de préciser de manière exhaustive les exigences à satisfaire. L'arbre fonctionnel, développé ensuite, ordonne ces informations et sert à organiser en une hiérarchie logique la grille utilisée pour analyser les processus.

### Processus actuel

Le processus actuel d'entreposage et de chargement du sel vise à fournir du sel dans toutes les régions du Québec. En tout, six sous-processus composent le processus de chargement et d'entreposage. Ceux-ci sont reliés les uns aux autres comme le montre le schéma suivant.

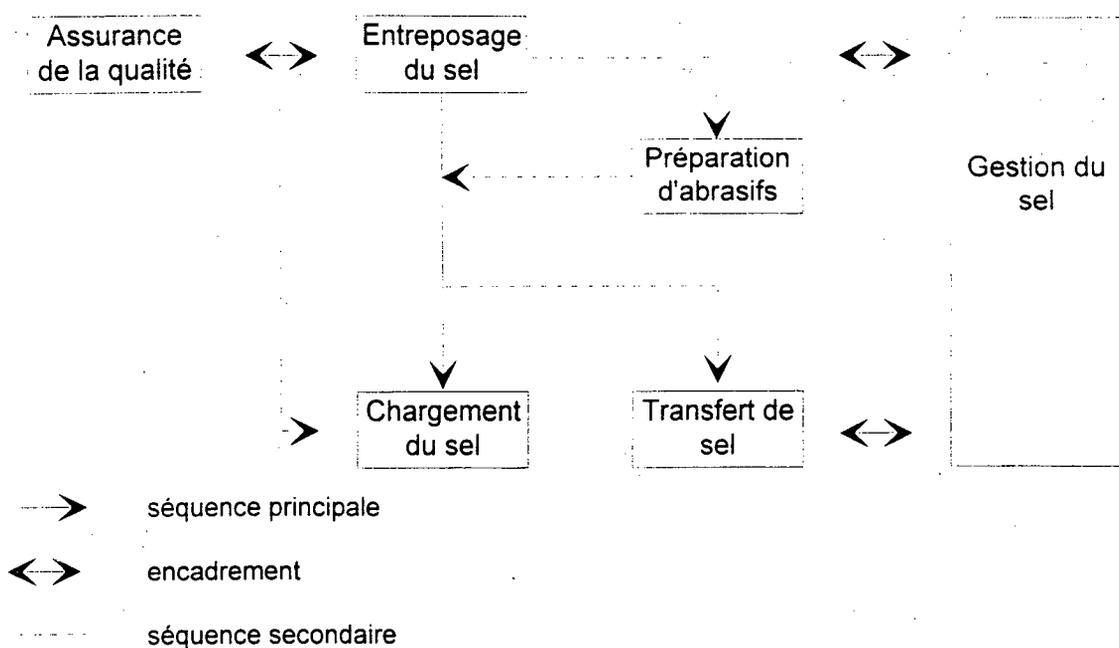


Figure 4 : Schéma séquentiel du processus d'entreposage et de chargement du sel

Deux sous-processus, l'entreposage du sel et le chargement du sel, forment la séquence principale du processus. C'est-à-dire qu'ils regroupent les activités de base sans lesquelles les systèmes ne fonctionnent pas. En résumé, l'entreposage se fait en livrant le sel, en le déchargeant dans ou à l'extérieur de l'entrepôt et en l'amoncelant à l'intérieur. Le chargement se fait en allant chercher le sel et en chargeant l'épandeur.

La séquence principale est encadrée par deux autres processus : l'assurance-qualité et la gestion du sel. Le premier sert à vérifier la qualité du sel reçu. Celui de gestion du sel vise à mesurer la quantité de sel qui entre et qui sort de l'entrepôt. Toutefois, les moyens mis en oeuvre pour y arriver sont plutôt rudimentaires et imprécis puisque les quantités qui sortent sont comptées au «godet» près.

Ces quatre sous-processus sont décrits aux pages 29 à 35. Pour chaque sous-processus, sont précisés :

- le client;
- l'objectif du sous-processus, c'est-à-dire le but à atteindre par l'ensemble des opérations;
- l'intervenant responsable, soit la personne ou le groupe qui réalise les opérations;
- la description de l'opération ou de l'action accomplie;
- le niveau de responsabilité requis, c'est-à-dire quels types d'opération composent le sous-processus;
- l'intrant et l'extrant de l'opération.

Les processus de préparation d'abrasifs et de transfert de sel sont effectués au besoin. Dans ces cas, ils s'intègrent à la séquence principale. Et, finalement, le dernier sous-processus est composé d'actions diverses liées aux contraintes particulières de la CSST, du MEF et de la SIQ. Ces actions complètent le processus et ont pour but de faire la jonction avec d'autres systèmes du Ministère, notamment les ressources humaines, les normes de conception et le processus de location des immeubles.

Tableau 2 : Sous-processus : entreposage du sel

OBJECTIF: ENTREPOSER DU SEL		CLIENT: MTQ								
INTERVENANT	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION	Exécution	Transport	Contrôle	Décision	Documentation	Approbation	INTRANT	EXTRANT OU PRODUIT LIVRABLE	REMARQUE
Fournisseur	Recevoir la commande					●		commande	livraison	
(intervenant hors du processus du MTQ)	Assurer la qualité			●				sel	bon sel testé	
	Organiser les livraisons				●			commande	calendrier de livraison	respecter délais
	Engager transporteur				●			liste de transporteurs	choix du transporteur	
	Facturer la livraison					●		quantité pesée livrée	facture	
Transporteur	Livrer le sel		●					commande	sel	camions de 18 à 32 t, 2 min par camion, de 300 à 1 500 t par jour
(intervenant hors du processus du MTQ)	Recevoir un bordereau					●		bordereau	signature	
	Émettre un coupon					●		commande	coupon de transport	
	Reculer dans l'entrepôt		●							
	Lever la benne	●								

Tableau 2 : Sous-processus : entreposage du sel

OBJECTIF: ENTREPOSER DU SEL		CLIENT: MTQ								
INTERVENANT	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION	Exécution	Transport	Contrôle	Décision	Documentation	Approbation	INTRANT	EXTRANT OU PRODUIT LIVRABLE	REMARQUE
Transporteur (suite)	Décharger le sel	●						camion	tas de sel	
	Sortir de l'entrepôt		●							
Receveur	Vérifier le sel			●				camion de sel	sel vérifié	inspection visuelle
	Recevoir le coupon					●		coupon de transport	coupon au magasinier	
	Accepter le sel				●			camion qui arrive	sel déchargé	selon conditions
Préposé entreposage	Assister le transporteur		●					camion qui recule	sel déchargé	
	Stocker le sel	●						tas de sel	sel empilé	avec chargeur, 3 m de haut, 7 min par camion reçu
	Éviter les corps étrangers et les intrusions			●				tas de sel contaminé	tas de sel propre	

Tableau 3 : Sous-processus : chargement du sel

OBJECTIF: REMPLIR LES ÉPANDEURS			CLIENTS: ENTREPRENEURS, MTQ, MUNICIPALITÉS							
INTERVENANT	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION	Exécution	Transport	Contrôle	Décision	Documentation	Approbation	INTRANT	EXTRANT OU PRODUIT LIVRABLE	REMARQUE
Préposé au chargement	Aller chercher le sel		●					chargeur vide	chargeur plein	1,5 m3, minimiser délais
(M.T.Q., municipalité. ou contracteur)	Charger l'épandeur	●						épandeur vide	épandeur plein	10 à 12 tonnes
	Compter le sel			●						Par godet
	Remplir bordereau					●			heures, quantité, route	
	Refuser chargement				●			épandeur vide	épandeur vide	selon directives
	Éviter contamination	●						sel propre	sel propre	
Opérateur camion-épandeur	Établir besoin				●			camion vide ou en partie	camion plein ou en partie	
	Venir chercher sel		●					épandeur vide	épandeur plein	
	Stationner au bon endroit		●							
	Attendre chargement	●						épandeur vide	épandeur plein	de 3 à 10 min variable si utilise convoyeur pour charger

Tableau 3 : Sous-processus : chargement du sel

OBJECTIF: REMPLIR LES ÉPANDEURS			CLIENTS: ENTREPRENEURS, MTQ, MUNICIPALITÉS							
INTERVENANT	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION	Exécution	Transport	Contrôle	Décision	Documentation	Approbation	INTRANT	EXTRANT OU PRODUIT LIVRABLE	REMARQUE
Opérateur camion-épandeur (suite)	Placer le sel		●					sel en vrac	chargement optimisé	
	Mettre la toile	●						sel non couvert	sel couvert	pas tout le monde
	Briser les mottes	●						sel en mottes	sel en granules	
	Signer la réception					●		bordereau	bordereau signé	pas fonction du système
	Épandre le sel		●							pas fonction du système

Tableau 4 : Sous-processus : assurance-qualité

OBJECTIF: OBTENIR UN SEL DE QUALITÉ		CLIENTS: ENTREPRENEURS, MTQ, MUNICIPALITÉS								
INTERVENANT	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION	Exécution	Transport	Contrôle	Décision	Documentation	Approbation	INTRANT	EXTRANT OU PRODUIT LIVRABLE	REMARQUE
Assurance-qualité	Échantillonner le sel			●				tas de sel	échantillons	pour laboratoire
(ou tout autre à qui cette tâche a été déléguée)	Vérifier l'humidité			●				sel reçu	sel testé	au quai
	Vérifier la granulométrie			●				sel reçu	sel testé	au laboratoire
	Vérifier la pureté			●				sel reçu	sel testé	au laboratoire
	Vérifier le transport			●				sel reçu	sel testé	conditions
	Vérifier l'humidité			●				sel reçu	sel testé	à la réception
	Faire autres tests			●				sel reçu	sel testé	sur demande
	Transmettre les rapports					●		données	rapports	pour gestion
	Accepter/refuser le sel				●			sel livré	sel accepté ou non	selon qualité
	Recommander le prix				●			sel mauvaise qualité	nouveau prix	selon qualité

Tableau 5 : Sous-processus : gestion du sel

OBJECTIF: GÉRER LES QUANTITÉS DE SEL				CLIENTS: MTQ						
INTERVENANT	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION	Exécution	Transport	Contrôle	Décision	Documentation	Approbation	INTRANT	EXTRANT OU PRODUIT LIVRABLE	REMARQUE
Magasinier	Compiler les entrées	●						sel arrivé	inventaire à jour	
	Compiler les sorties	●						sel sorti	inventaire à jour	
	Commander le sel				●			sel commandé	pas de rupture de stock	
	Saisir les données	●						données	statistiques	
	Préparer les documents					●		données	rapports	
	Coordonner la réception				●			commandes	calendrier de réception	avec contremaître
Chef d'équipe	Choisir le matériau					●		sel + abrasifs	mélange	selon conditions climatiques
	Surveiller l'épandage				●			M.T.Q. ou contracteurs		en dehors du système
	Diriger le personnel				●					en dehors du système

Tableau 5 : Sous-processus : gestion du sel

OBJECTIF: GÉRER LES QUANTITÉS DE SEL				CLIENTS: MTQ						
INTERVENANT	DESCRIPTION DE L'OPÉRATION	Exécution	Transport	Contrôle	Décision	Documentation	Approbation	INTRANT	EXTRANT OU PRODUIT LIVRABLE	REMARQUE
Contremaître	Gérer/planifier les opérations				●			diverses opérations	déroulement des opérations «smooth»	réception et expédition de sel et d'abrasifs
	Signifier les besoins annuels				●			statistiques de consommation	commande	réception et expédition de sel et d'abrasifs
	Commander le sel				●			statistiques de consommation	commande	réception et expédition de sel et d'abrasifs
	Négocier les prix						●	sel de mauvaise qualité	nouveau prix	
	Accepter/refuser le sel						●	sel de mauvaise qualité	sel accepté ou non	
	Gérer l'entretien				●			système déficient	système réparé	
Chef de district	Gérer le budget d'opération			●				statistiques	budget	responsable
	Établir les besoins				●			besoins de construction	immobilisation	
	Interfacer avec d'autres	●								MENVIQ, CSST, SIQ

## Analyse des processus actuels

À l'aide de la description des processus, il est possible de découvrir certaines lacunes. Celles-ci orientent l'analyse des besoins et indiquent les zones qui demandent à être optimisées.

L'élément qui ressort le plus distinctement des processus est l'importance des opérations de contrôle, de décision, de documentation et d'approbation. En effet, tel qu'on peut le voir au tableau suivant, sur 67 opérations effectuées, seulement 29 sont liées à l'exécution et au transport. Or, l'exécution des tâches et le transport de sel devraient constituer les principales opérations du processus. En effet, ces dernières contribuent directement à la finalité du processus.

Les opérations de contrôle, de décision, de documentation et d'approbation servent à la gestion du système. Par contre, elles représentent souvent des opérations qui alourdissent le processus. Par exemple, si on pouvait être certain de la qualité du sel livré, il ne serait plus nécessaire de faire toutes les vérifications. Le processus en serait donc simplifié. Cette démarche liée aux façons de faire devra compléter le choix des nouveaux systèmes.

Sous-processus	Nb. total d'opérations	Nb. d'op. d'exécution	Nb. d'op. de transport	Nb. d'autres opérations
Entreposage de sel (lié au processus du MTQ)	6	1	1	4
Chargement du sel	15	5	5	5
Assurance de la qualité	10	--	--	10
Gestion du sel	18	4	--	14
Préparation d'abrasifs	5	3	1	1
Transfert de sel	4	2	1	1
Divers	9	1	--	8
Total	67	16	8	43

Tableau 6 : Analyse des processus

## Analyse des besoins

L'analyse des besoins par la méthode de l'examen du milieu donne une vue globale des actions que doivent réaliser les systèmes d'entreposage et de chargement. Ces fonctions sont organisées de manière logique dans l'arbre fonctionnel. Cet arbre permet de déterminer les finalités de chaque action et de vérifier la raison d'être de chacune d'elle. Les actions inutiles ou redondantes sont ainsi repérées.

L'arbre fonctionnel, inséré à la page 38, indique que les systèmes d'entreposage et de chargement du sel servent d'abord à **fournir un produit déglaçant**. Ils doivent donc permettre au Ministère de disposer de fondant en quantité et en qualité suffisante pour qu'il assure la sécurité des routes en hiver. Pour atteindre ce but, six grandes actions doivent être accomplies.

- **Entreposer le sel**, c'est-à-dire opérer un système d'entreposage, assister le transporteur qui livre le sel, recevoir ce sel et optimiser le volume d'entreposage. Ce groupe fonctionnel est au coeur de l'analyse. Il se résume à deux actions fondamentales : opérer le système et recevoir le sel. Deux éléments particuliers sont à considérer dans ce contexte. D'une part, l'optimisation de l'espace est un objectif à atteindre; d'autre part l'assistance au transporteur facilite le processus, toutefois cette activité pourrait être éliminée.
- **Charger le sel**, c'est-à-dire opérer le système de chargement des épandeurs et y placer le sel. Ce groupe fonctionnel vise à ce que les épandeurs soient remplis de façon efficace.
- **Assurer une bonne qualité de sel**, c'est-à-dire contrôler la qualité du sel à l'arrivée, à l'entreposage et au chargement. Dans ce groupe fonctionnel, les caractéristiques du sel commandées sont vérifiées à l'arrivée et elles sont maintenues constantes au cours du processus d'entreposage et de chargement. Quelques moyens à mettre en place pour assurer la qualité sont indiqués dans ce groupe fonctionnel.
- **Gérer la quantité de sel**, c'est-à-dire vérifier les entrées et les sorties de sel, «interfacier» avec le système d'inventaire, fournir des statistiques de consommation et indiquer la quantité restante. Ce groupe fonctionnel fait le lien entre les systèmes d'entreposage et de chargement et le système d'achat du Ministère. Il permet de faire un suivi des volumes de sel en stock.
- **Respecter les objectifs opérationnels désirés**, c'est-à-dire résister à diverses conditions telles que les intempéries, la corrosion et le vandalisme, s'adapter au matériel roulant actuel, entretenir le système et éviter la contamination. Ce groupe fonctionnel permet de définir les contraintes qui doivent être considérées par les systèmes.
- **Fournir un mélange abrasif**, c'est-à-dire pouvoir mélanger le sel avec du sable et stocker ce mélange en tas, à l'extérieur. Les mélanges abrasifs servent aussi à la viabilité hivernale. Dans ce contexte, les systèmes d'entreposage et de chargement doivent permettre ces opérations.

Les besoins à satisfaire avec les systèmes d'entreposage et de chargement sont, somme toute, relativement simples. Par contre, les contraintes à respecter sont nombreuses et demandent une analyse approfondie.

**ARBRE FONCTIONNEL**  
juin 1993

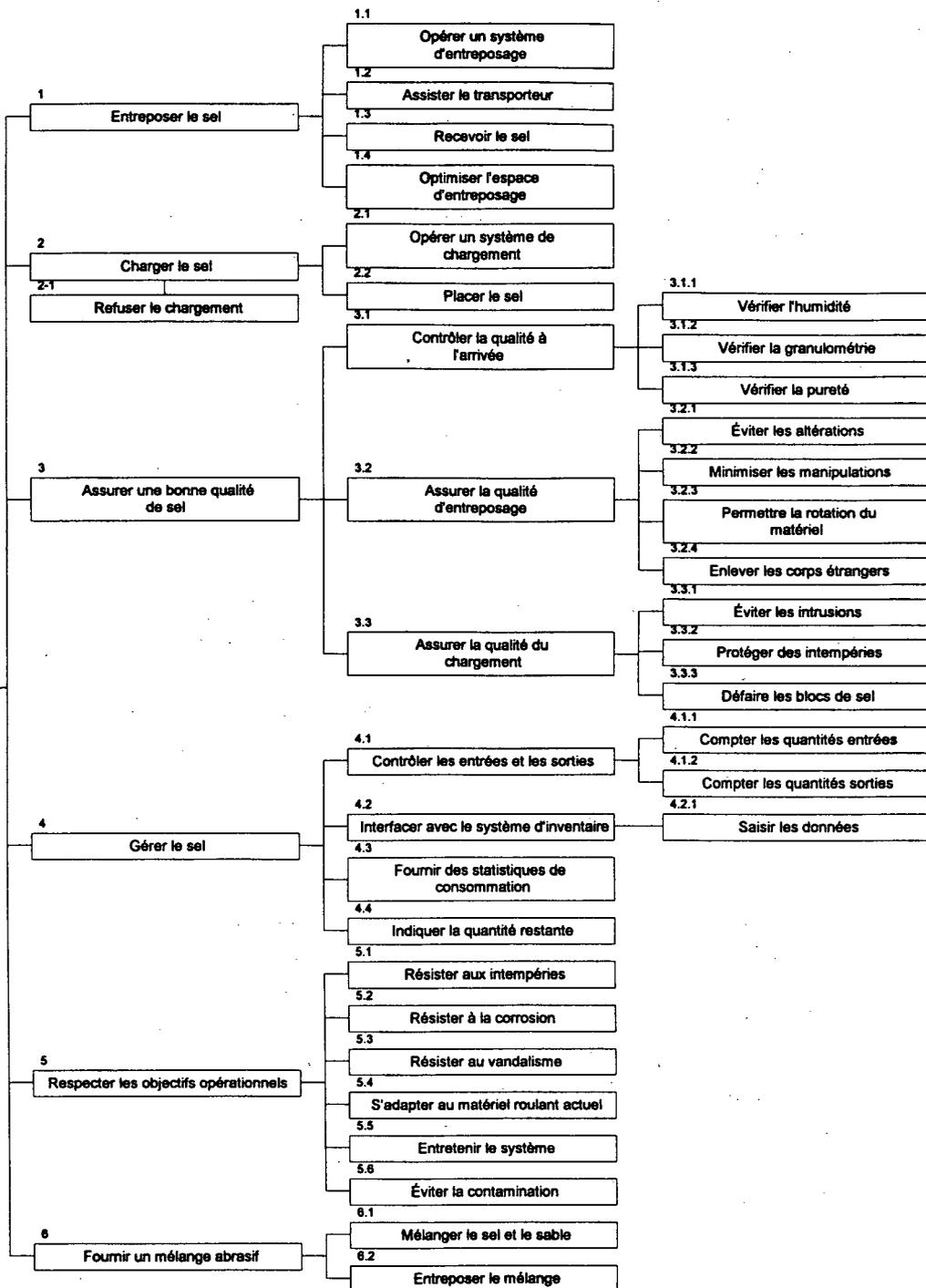
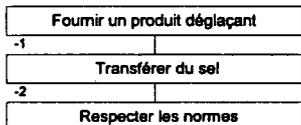
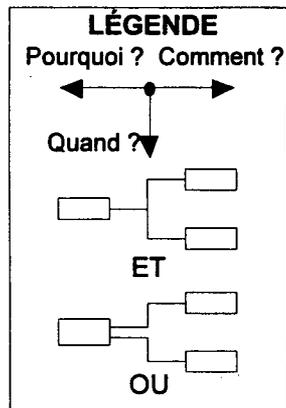


Figure 5 : Arbre fonctionnel

L'arbre se lit de gauche à droite en répondant à la question «comment» et de droite à gauche en répondant à la question «pourquoi».

## **Forces et faiblesses des systèmes actuels**

L'analyse des besoins comparée au processus actuel permet d'établir un diagnostic des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium. Celui-ci vient compléter la problématique et permet de connaître les pistes d'améliorations requises.

La plus grande force du système actuel réside dans la simplicité de son fonctionnement. En effet, peu d'équipements sont utilisés et ceux-ci sont connus et d'opération facile. Le système est aussi très souple; on peut se réapprovisionner en sel autant de fois qu'il est nécessaire et remplir les entrepôts selon la demande. Ainsi, le sel est toujours disponible.

Toutefois, à l'analyse des besoins, on voit que certains éléments de la problématique, relevés au chapitre précédent, ne sont pas couverts.

1. L'optimisation de l'espace d'entreposage n'est pas réalisée. Les entrepôts actuels ne sont pas remplis à pleine capacité. Il faut donc considérer cet élément dans la recherche d'une option innovatrice.
2. Il y a plusieurs manipulations pour effectuer l'entreposage et le chargement. Pour chaque opération, au moins deux manipulations sont requises, soit du camion de livraison à l'entrepôt où le chargeur met le sel en tas et de l'entrepôt à l'épandeur. Selon l'expérience de l'opérateur, les deux opérations peuvent nécessiter quelques ou plusieurs manipulations. Ces opérations pourraient être combinées ou optimisées. De plus, l'opération du chargeur dans un milieu clos, comme un entrepôt, cause des problèmes liés à la qualité de l'air, auxquels il faut remédier.
3. Les systèmes ne protègent que très peu le sel lors des livraisons. En effet, là où il y a des livraisons fréquentes, celles-ci peuvent être effectuées dans des conditions pluvieuses, exposant ainsi le sel aux intempéries. De plus, les portes des entrepôts laissent entrer la pluie, la neige et les contaminants.
4. Le système actuel ne permet pas la gestion des quantités de sel. Il n'y a pas de pesée, les quantités sont estimées à vue d'oeil. Les besoins qui sont liés à ces fonctions ne sont donc pas satisfaits.

## CARACTÉRISATION DES BESOINS

L'analyse des besoins précise les actions qui doivent être réalisées. Cependant, la conception et l'évaluation de système demandent une documentation plus précise du besoin. Dans ce chapitre, les caractéristiques des besoins à satisfaire sont présentées. Les spécifications fonctionnelles d'un système de chargement et d'entreposage de chlorure de sodium servent ensuite de référentiel afin d'évaluer les systèmes inventoriés. Ainsi, la capacité de répondre aux besoins du Ministère sera évaluée sur une base factuelle.

### Spécifications fonctionnelles

Les spécifications fonctionnelles comprennent :

- La liste des fonctions reliées à l'atelier, aux visites, aux entrevues et au devis; les fonctions étant ce que le système doit accomplir.
- Les critères d'appréciation de chaque fonction énoncée par l'équipe de travail ou incluant les objectifs et critères du Ministère; c'est ce qu'on mesure pour évaluer la performance d'un système.
- Le niveau, c'est-à-dire le «chiffre» associé à chaque critère (l'objectif à atteindre).
- La flexibilité de chaque niveau : jusqu'à quel point on tient au critère et à son niveau ou quelles sont les conditions maximales et minimales qui sont rencontrées pour chaque fonction.
- Certaines remarques pertinentes à la fonction ou au critère.

Les flexibilités sont exprimées, dans certains cas, selon le barème suivant :

- F0 : flexibilité nulle, niveau impératif,
- F1 : flexibilité faible, niveau peu négociable;
- F2 : flexibilité bonne, niveau négociable;
- F3 : flexibilité forte, niveau très négociable.

Dans ce document, on retrouve aussi les objectifs et critères précisés au devis par le Ministère.

L'organisation du cahier des charges est fondée sur la structure de l'arbre fonctionnel et pour chaque fonction énoncée, les critères sont définis. Par exemple, pour la fonction «Respecter les normes CSST, MEF, SIQ», les critères sont les normes elles-mêmes. Celles du MEF indiquent, entre autres, un critère concernant la contamination de l'eau qui possède un niveau de 250 mg/l pour l'ion chlore. Ce niveau constitue un maximum. C'est-à-dire que les systèmes à mettre en place doivent respecter les normes en empêchant une concentration d'ion chlore supérieure à 250 mg/l dans l'environnement.

Ce document peut donc devenir, en le faisant évoluer avec les besoins, la référence pour le développement des systèmes du MTQ. Il oriente la recherche et la conception.

Tableau 7 : Cahier des charges fonctionnel

Cahier des Charges Fonctionnel: Système d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium						
NUMÉRO	FONCTION	CRITÈRE	NIVEAU	FLEX	REMARQUES	
FOURNIR UN PRODUIT DÉGLAÇANT, (SEL ET MÉLANGE ABRASIF) DE FAÇON PRATIQUE ET SÉCURITAIRE						
	Respecter normes CSST, MENVIQ, SIQ	Norme CSST	à identifier			
		- méthodes de travail				
		- ventilation				
		- équipement				
		Norme MENVIQ				
		- contamination eau	250 mg/l		MAX	recommandation pour nappe phréatique et puits
		- bruit	minimum			
		- pollution visuelle	minimum			
		Norme SIQ		à identifier		
		- durée de vie	> 20 ans			
		- coût de construction	< ou = aux installations actuelles			
	Transférer sel d'un site à l'autre	Volume	16 à 32 t/camion			
		Quantité	10 à 500 tonnes			
		Fréquence	2 à 5 fois/saison			
		capacité de chargement	12 camions/h		max	actuellement
		condition	rupture de stock			
		lieu	d'un site à l'autre			
		méthode	pour chargeur et camion			
1.	Entreposer sel					
1.1	Opérer un système d'entreposage	Type de main d'oeuvre	non spécialisée, MTQ			
		Type d'opération	à l'épreuve des erreurs			
		Conditions d'opération	nuit jour conditions extrêmes			

Tableau 7 : Cahier des charges fonctionnel

Cahier des Charges Fonctionnel: Système d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium					
NUMÉRO	FONCTION	CRITÈRE	NIVEAU	FLEX	REMARQUES
		Relève	manuelle ou semi-automatique?		entreposer temporairement à l'extérieur si c'est impossible à l'intérieur ?
1.2	Assister le transporteur	Guide pour se positionner	oui		
1.3	Recevoir le sel	Volume	16 tonnes à 32 tonnes par camion		tonnes métriques
		Délai contractuel	3 jours ouvrables	max	
		Nombre de camions absorbés	10 à 15 par heure		actuellement
		Fréquence des livraisons	1 fois par saison à 15-20 fois par saison		actuellement
			1 -8 fois par saison		maximum possible selon statistiques
		Seuil de livraison	250 tonnes/heure 150 tonnes/heure	max min	vitesse d'entreposage site ordinaire
		Seuil de livraison	± 100 tonnes / h		petit site
Volumes d'entreposage désirés	1000 tonnes 2000 tonnes 3000 tonnes >3000 tonnes		besoin différent selon le site		
1.4	Optimiser l'espace d'entreposage	pourcentage rempli	maximum		
2.	Charger le sel				
2.1	Opérer un système de chargement	Type de main d'oeuvre	non-spécialisée contracteur municipalités	MTQ	
		Type d'opération	à l'épreuve des erreurs		
		Taux de chargement	5 min par épandeur de 9 m <sup>3</sup>	max	
		Vitesse de chargement	3 m <sup>3</sup> / minute	F1	
		File d'attente	15 min	max	

Tableau 7 : Cahier des charges fonctionnel

Cahier des Charges Fonctionnel: Système d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium															
NUMÉRO	FONCTION	CRITÈRE	NIVEAU	FLEX	REMARQUES										
		Espace de manoeuvre	selon camion		sécuritaire										
		Conditions d'opération	Nuit Jour Conditions extrêmes												
		Visibilités des opérations	Bonne												
		Fiabilité	100%	F0	On doit toujours pouvoir charger										
		Relève	manuelle ou semi-automatique?	F0											
		Déversements	Aucun	F2											
2.2	Placer le sel	Utilisation de l'espace de la boîte	Maximum		pour tous les types de boîtes d'épandeurs										
		Déversements	Aucun	F2											
	Refuser chargement	Conditions climatiques	variables												
		Façon de refuser	manuellement ?		bloquer le système										
			automatiquement ?		bloquer le système										
			verbalement ?		ne pas bloquer le système										
3.	Assurer une bonne qualité de sel														
3.1	Contrôler la qualité à l'arrivée														
3.1.1	Vérifier l'humidité	Taux d'humidité	2 % d'humidité max.	F0	test avec humidimètre										
		Niveau de pénalité	à 1,5% et plus		pénalité au fournisseur										
		Suintement d'eau	aucun	F0											
3.1.2	Vérifier la granulométrie	Blocs permis	± 1po		granulométrie										
					<table border="1"> <thead> <tr> <th>tamis</th> <th>% passant</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 mm</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>5 mm</td> <td>20 - 90</td> </tr> <tr> <td>2,5 mm</td> <td>11 - 60</td> </tr> <tr> <td>0,630 mm</td> <td>0 - 11</td> </tr> </tbody> </table>	tamis	% passant	10 mm	100	5 mm	20 - 90	2,5 mm	11 - 60	0,630 mm	0 - 11
tamis	% passant														
10 mm	100														
5 mm	20 - 90														
2,5 mm	11 - 60														
0,630 mm	0 - 11														
		Blocs dangereux	10 cm	max											
		Fréquence des blocs	Rare												
		% de rejets	2%	max											

Tableau 7 : Cahier des charges fonctionnel

Cahier des Charges Fonctionnel: Système d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium						
NUMÉRO	FONCTION		CRITÈRE	NIVEAU	FLEX	REMARQUES
3.1.3		Vérifier la pureté	Pureté	94,50 % min.	F0	selon BNQ
				93 % min		au MTQ
			Pénalités	entre 90 et 93 %		
			Rejet	moins de 90 %		
3.2	Assurer la qualité à l'entreposage					
3.2.1		Éviter l'altération	Caractéristiques du sel	constantes	F0	
3.2.2		Minimiser la manipulation	Nombre de manipulations	minimum		
3.2.3		Permettre la rotation du matériel	FIFO	oui	F1	First in, first out
3.2.4		Enlever les corps étrangers	Recherche	visuelle		Gros morceaux
3.3	Assurer la qualité au chargement					
3.3.1		Éviter les intrusions	Intrusions	Aucune		
3.3.2		Protéger des intempéries	Opérateur	oui	F1	
			Système et sel	oui	F0	
3.3.3		Émietter le sel	Émietteuse	oui		mottes dures
4.	Gérer le sel					
4.1	Contrôle les entrées et sorties					
4.1.1		Compter les quantités entrées	Inspection des quantités	Visuelle		Camion bien plein ou seulement en partie plein
			Compilation	Journalière		
4.1.1.1		Recevoir coupon du transporteur	Nombre de tonnes	16 à 32 t		
			Nom du transporteur	oui		
4.1.2		Compter les quantités sorties	Quantité chargée	Selon camion		'Faire le plein'
				Selon besoin		Possibilité d'arrêter sur demande
4.2	Interfacer avec système d'inventaire actuel		Interfaces	à définir		système 132
4.2.1		Saisir données	Quantité sortie	oui		
			Quantité entrée	oui		
			Heure entrée ou sortie	oui		
			Numéro de circuit	oui		
			Entrepreneur	oui		
			Compilation	oui		

Tableau 7 : Cahier des charges fonctionnel

Cahier des Charges Fonctionnel: Système d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium					
NUMÉRO	FONCTION	CRITÈRE	NIVEAU	FLEX	REMARQUES
4.3	Fournir statistiques de consommation	Température	oui		
		Quantité sortie	oui		
		Quantité entrée	oui		
		Heure entrée ou sortie	oui		
		Numéro de circuit	oui		
		Entrepreneur	oui		
		Compilation	oui		
		Température	oui		au chargement
4.4	Indiquer la quantité restante	Indicateur	oui		
		Précision	5%	F1	
5.	Respecter objectifs opérationnels	Être fiable	100%	F0	
5.1	Résister aux intempéries	Température	-30C à + 30C		
		Pluie	49,2 mm/h maximum 22,9 mm/h minimum		données 1/50 ans pour les villes suivantes: Montréal, Québec, Trois-Rivières, Ottawa, Gaspé, Chicoutimi, Val-D'Or, Sept-Iles, Chibougamau, Sherbrooke
		Neige	415,1 cm maximum 214,0 cm minimum		moyenne par année pour les villes ci-dessus
		Poussières	oui		
5.2	Résister à la corrosion	Présence de sel	oui		
5.3	Résister au vandalisme	Bris de systèmes	minimiser risques		
		Contamination	minimiser risques		
		Accès	limité		
5.4	S'adapter au matériel roulant actuel	Dimensions	à définir		Camions White, Mack, 10-12 roues, semi-remorque
		Rayon de braquage	à définir		
		Poids?	à définir		
5.5	Entretien le système	Type de main d'oeuvre	locale		
		Entretien préventif	l'été		
		Disponibilité des pièces	rapide		

Tableau 7 : Cahier des charges fonctionnel

Cahier des Charges Fonctionnel: Système d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium					
NUMÉRO	FONCTION	CRITÈRE	NIVEAU	FLEX	REMARQUES
		Back-up	oui	FO	
5.6	Éviter contamination nappe phréatique	Seuil eau potable	250 mg/l		
6.	Fournir mélange abrasif	Quantité de sable	750 000 t		pour la province selon conditions climatiques
	Aller chercher sel				ces fonctions sont externes au système d'entreposage et de chargement du sel
6.1	Mélanger sel et sable				
6.2	Entreposer mélange				

## **Synthèse des spécifications fonctionnelles**

Les spécifications fonctionnelles font, de manière marquée, ressortir la vaste gamme de besoins auxquels doivent répondre les systèmes d'entreposage et de chargement. Les capacités des entrepôts varient entre 1 000 et plus de 3 000 tonnes (fonction 1.3); les besoins saisonniers varient entre 100 et 22 000 tonnes; les distances entre le site et les fournisseurs varient aussi grandement. On peut donc supposer qu'une stricte gestion des stocks aura un impact positif sur la satisfaction du besoin. On constate aussi aux fonctions 1.1 et 2.1 que les opérations doivent être faites dans les conditions hivernales extrêmes, de jour comme de nuit. Ces opérations sont de plus réalisées par une main-d'oeuvre non spécialisée.

Dans ce contexte, il faut prévoir que, pour répondre aux besoins, des systèmes adaptables et souples seront requis. Il faut aussi conserver à l'esprit l'importance de ne pas alourdir les modes de travail. Ainsi, les systèmes pourront conserver leur grande qualité, c'est-à-dire la simplicité et la souplesse, car c'est de cette façon que la viabilité hivernale a été maintenue jusqu'à ce jour.

## INVENTAIRE DES SYSTÈMES EXISTANTS

À partir de la compréhension des besoins, les systèmes existants dans certains pays, permettant d'entreposer et de charger le sel, ont été inventoriés. Ce chapitre présente ces systèmes et décrit ceux qui semblent les plus adéquats.

### Aperçu des systèmes existants

Plusieurs organismes ont été contactés en vue d'effectuer le recensement des systèmes d'entreposage et de chargement existants. La liste de ces organismes se retrouve à l'annexe 1. Parmi ceux-ci, plus de la moitié ont répondu à notre demande et ont envoyé de l'information pertinente sur leur système d'entreposage et de chargement. Les documents reçus ont déjà été fournis en référence. Les systèmes répertoriés viennent des pays suivant : Canada, États-Unis, Italie, Norvège, Finlande, Suisse, Autriche, Allemagne et Suède.

Voici la liste de tous les systèmes répertoriés ainsi que le pays où ils sont utilisés. Dans certains cas, les systèmes ne pouvant satisfaire les besoins du Ministère étaient rejetés dès la première évaluation. La raison de ce rejet est donc notée au tableau qui suit.

SYSTÈME	PAYS D'UTILISATION	RAISON DU REJET
Silo en tôle galvanisée	France	-Petite capacité -Problème de gel du sel
Silo en fibre de verre	France, Allemagne	-Petite capacité -Problème de gel du sel
Silo en bois	Suisse, Allemagne, Belgique, Autriche	-Petite capacité -Problème de gel du sel
Dôme en béton	États-Unis	-Coûts élevés

Tableau 8 : Liste des systèmes recensés et rejetés

SYSTÈME	PAYS D'UTILISATION
Entrepôts rectangulaires	Canada, États-Unis, Allemagne, Autriche, Finlande, Norvège, Suède, Suisse
Igloo	Canada, États-Unis, France
Entrepôts avec convoyeurs	Norvège, Finlande, États-Unis
Silo d'acier vitrifié au cobalt	Italie, Autriche
Caveau (entrepôt dans le roc)	Norvège, Finlande
Silo dans le roc (bunker)	Norvège, Finlande

**Tableau 9 : Liste des systèmes recensés et conservés**

### **Description des systèmes envisagés**

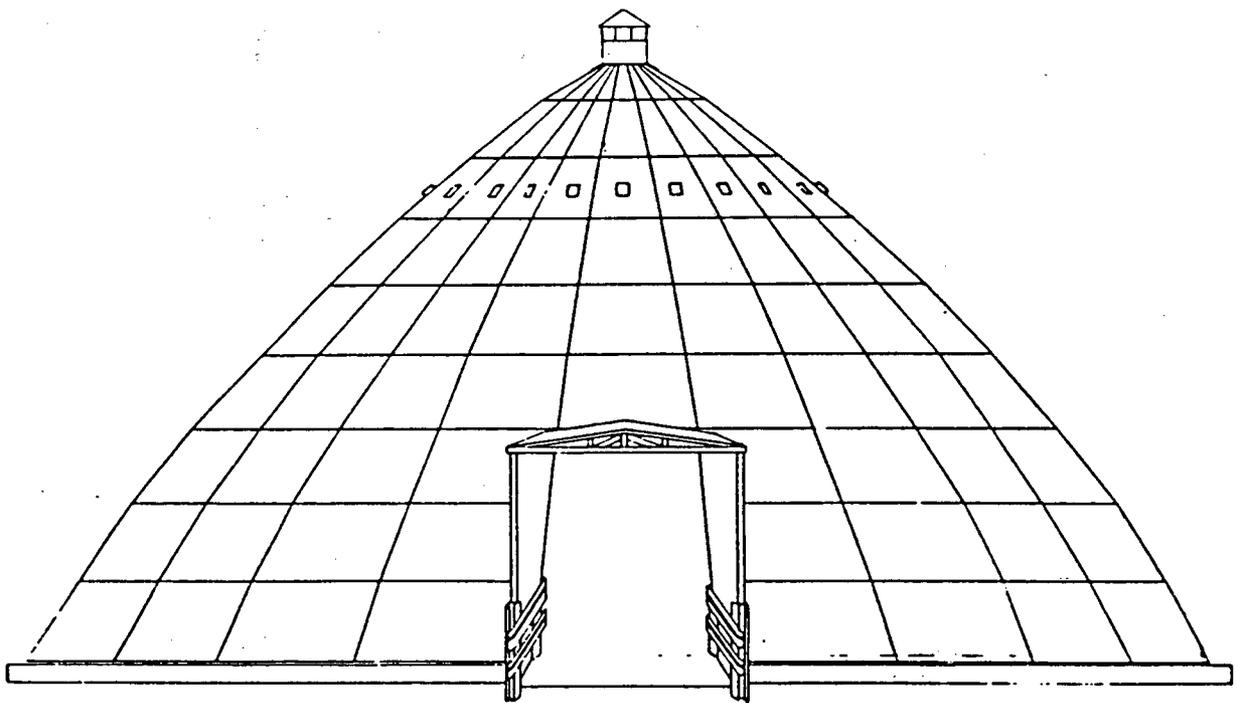
À la suite du recensement, cinq systèmes d'entreposage et de chargement ont été retenus pour évaluation. Ils sont :

- système actuel, entrepôt rectangulaire et igloo (servent de référentiel);
- entrepôt avec convoyeur;
- silo en acier;
- caveau;
- silo dans le roc (bunker).

Les pages suivantes illustrent et décrivent brièvement chacun des systèmes incluant leur coût. Les autres systèmes recensés ne seront pas évalués, car ils ont été rejetés pour les raisons énumérées au tableau précédent, telles que : la taille, les problèmes causés par le gel et le coût élevé.

#### ***Système actuel, entrepôt rectangulaire et igloo, système 1***

Le système tel qu'il existe actuellement, c'est-à-dire un igloo ou un entrepôt rectangulaire sans système d'entreposage ou de chargement automatisé. Seul un chargeur est utilisé pour manipuler le sel. Le processus du système actuel est décrit en détail aux chapitres *Revue de la situation actuelle* et *Processus actuel et analyse des besoins* de ce rapport.

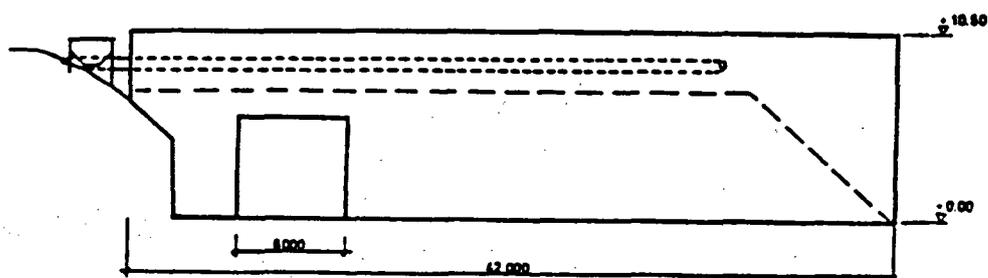


**Figure 6 : Igloo actuel**

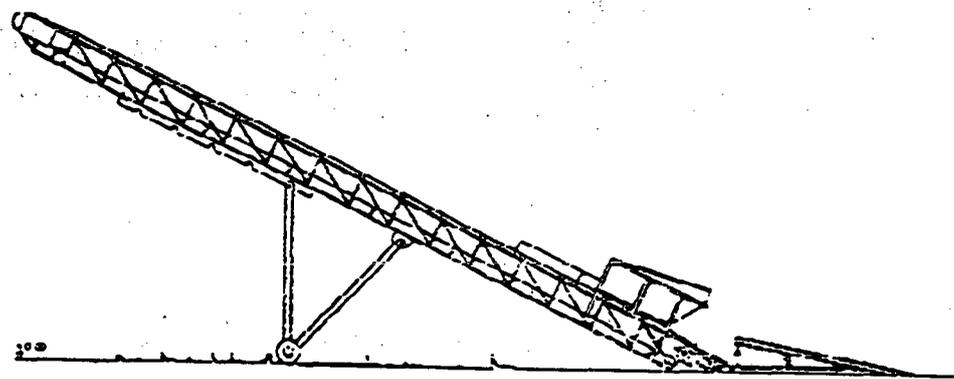
Coût de construction : 200 000 \$ (en moyenne pour un igloo 30 mètres).  
Capacité : environ 1 500 tonnes (1 230 mètres cubes).  
Coût unitaire : 163 \$/mètres cubes + coût du chargeur.

### **Entrepôt avec convoyeur, système 2**

Ce système est composé d'un igloo ou d'un entrepôt rectangulaire avec un convoyeur mobile ou suspendu pour entreposer le sel par le haut de l'entrepôt. Le chargeur est toujours utilisé pour charger les épandeurs. Le sel peut être pesé au remplissage de l'entrepôt et de l'épandeur.



**Figure 7 : Convoyeur suspendu**



**Figure 8 : Convoyeur mobile**

Coût de construction avec convoyeur : 310 000 \$ (igloo et convoyeur).

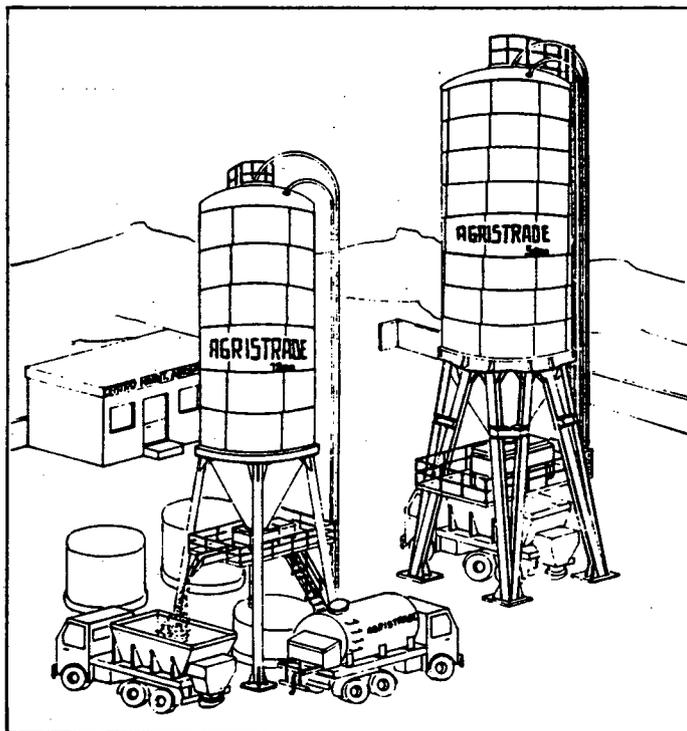
Capacité : 3 000 tonnes (2 460 mètres cubes).

Coût unitaire : 126 \$/mètres cubes + coût du chargeur.

### **Silo en acier, système 3**

Il s'agit d'un silo vertical en matériau empêchant la corrosion et l'adhérence du sel. Le type de silo étudié est en acier vitrifié au cobalt. Le silo inclut un système pneumatique automatique pour le remplissage et un cône de chargement en-dessous avec un mécanisme de pesée pour charger les camions-épandeurs et vérifier les quantités. Le tout se fait automatiquement. Divers accessoires peuvent être inclus :

- canons à air pour garder le sel en granules;
- système de données, ordinateur;
- déshumidificateur;
- vibrateurs pour assurer l'écoulement;
- etc. (voir figure 9).

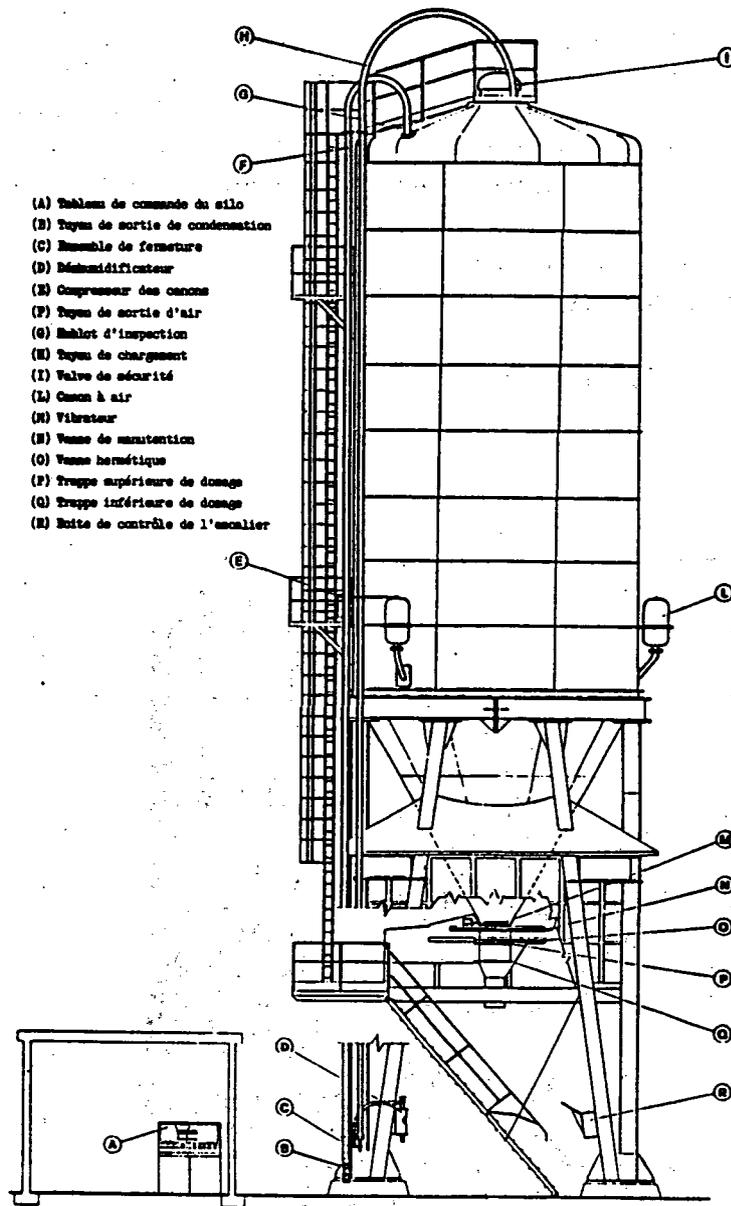


**Figure 9 : Vue d'ensemble des silos**

Coût de construction total : 454 000 \$.

Capacité : 1 000 mètres cubes.

Coût unitaire : 460 \$/mètres cubes.

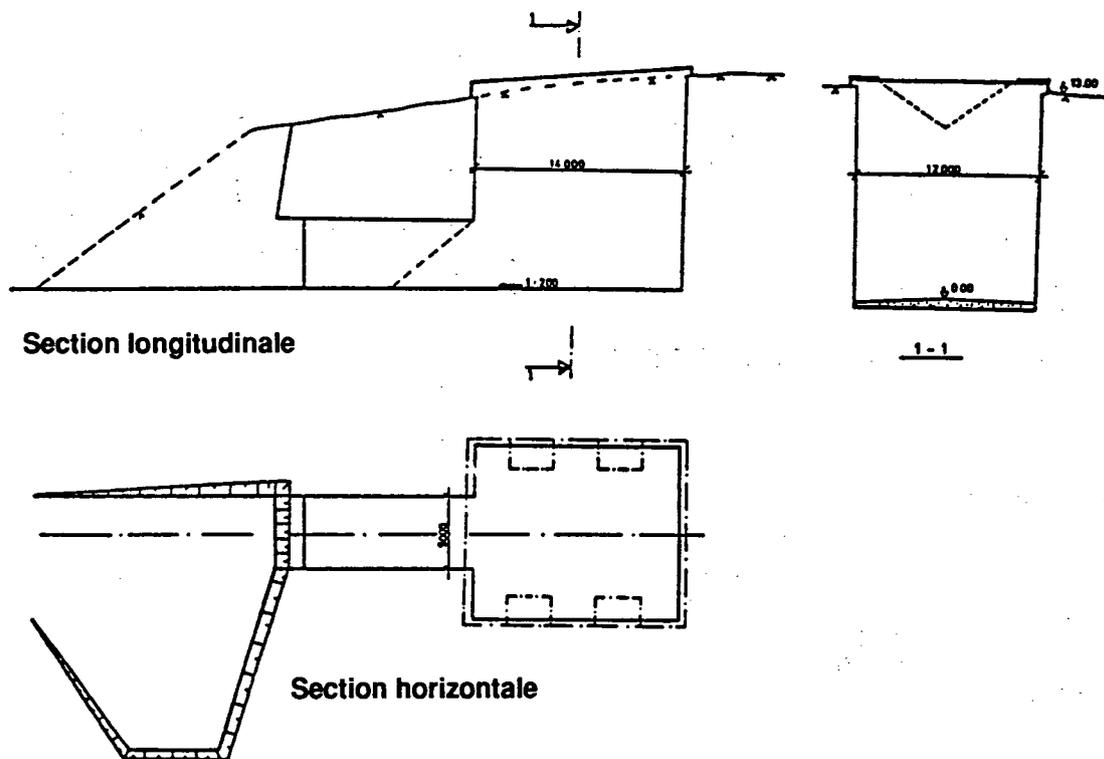


**Figure 10 : Silo vertical avec descriptions**

Note : Les silos peuvent être utilisés pour la préparation de solutions salines conservées dans des réservoirs à leur base.

### **Caveau, système 4**

Le caveau est creusé à même le roc. L'entreposage du sel se fait par le dessus en utilisant la topographie du terrain (chemin d'accès vers le haut du caveau). Le chargement des camions-épandeurs se fait à l'aide d'un chargeur tel qu'il est montré à la figure 11. Ce type de configuration est limité par la nature du sol où il est implanté.



**Figure 11 : Caveau dans le roc**

Coût de construction : 260 000 \$ approximativement.

Capacité : 2 000 mètres cubes.

Coût unitaire : 130 \$/mètres cubes.

### Silo dans le roc (bunker) système 5

Le «bunker» est creusé à même le roc avec entreposage du sel par dessus le système précédent. Le chargement des épandeurs se fait par un système automatisé pouvant peser le sel chargé. Ce système est logé dans un corridor sous le «bunker» avec un accès pour les épandeurs et une colonne de ventilation. Ce système est semblable au silo en acier, système 3, mais il est creusé directement dans le roc (voir figure 12). Ce type de configuration est limité par la nature du sol où il est implanté.

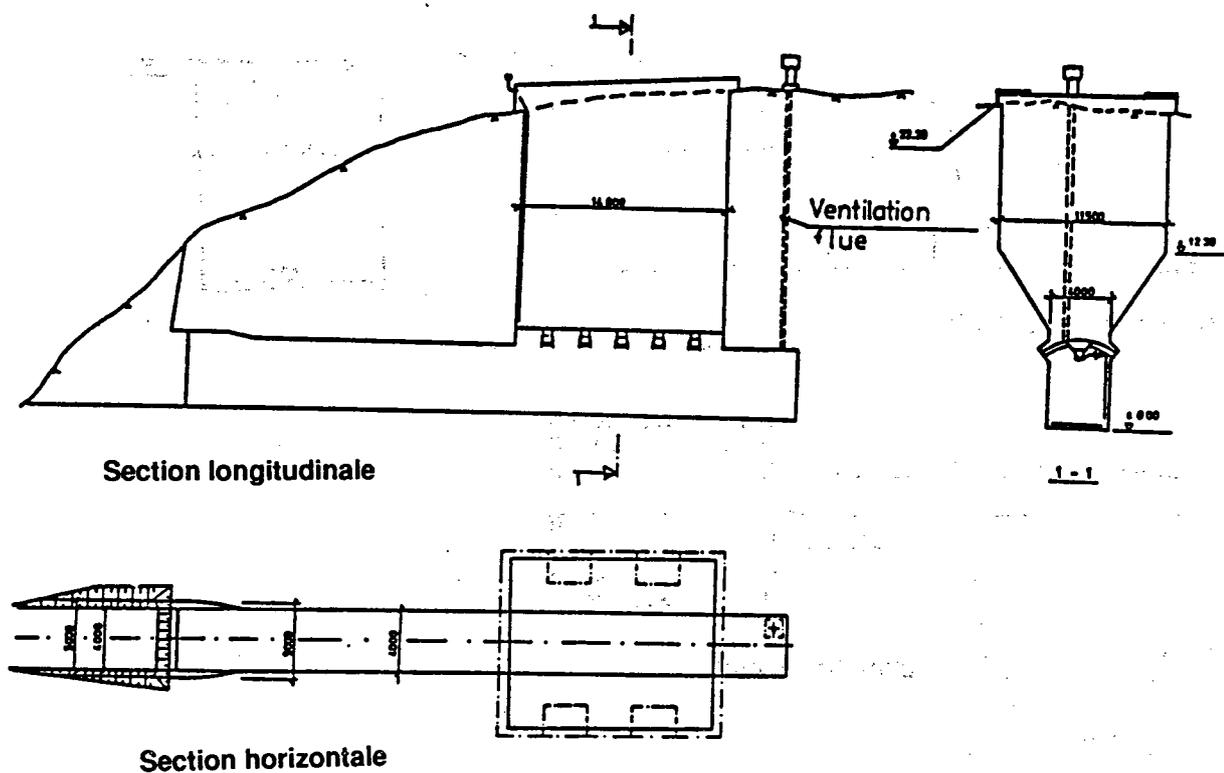


Figure 12 : Silo dans le roc (Bunker)

Coût de construction : 320 000 \$.  
Capacité : 2 000 mètres cubes.  
Coût unitaire : 160 \$/mètres cubes.

## Comparaison des systèmes envisagés

Afin de comparer les cinq systèmes, le tableau suivant résume les coûts de chacun, leur capacité en mètres cubes, et un coût unitaire au mètre cube d'entreposage. Cette façon de comparer entre eux les systèmes d'entreposage permet d'avoir un point commun de comparaison malgré les disparités dans les volumes d'entreposage causées par la technologie utilisée. Il faut noter que ces coûts sont basés sur une estimation préliminaire.

	SYSTÈME	CAPACITÉ	COÛT DE CONSTRUCTION (\$)	COÛT UNITAIRE
1	Système actuel (coût igloo 30 mφ)	1 230 m <sup>3</sup>	200 000 + coût du chargeur	163 \$/m <sup>3</sup>
2	Entrepôt avec convoyeur (igloo 30 mφ avec convoyeur)	2 460 m <sup>3</sup>	310 000 + coût du chargeur	126 \$/m <sup>3</sup>
3	Silo (acier)	1 000 m <sup>3</sup>	454 000	460 \$/m <sup>3</sup>
4	Caveau	2 000 m <sup>3</sup>	260 000 + coût du chargeur	130 \$/m <sup>3</sup>
5	Bunker	2 000 m <sup>3</sup>	320 000	160 \$/m <sup>3</sup>

Tableau 10 : Résumés des coûts de construction des systèmes envisagés

## **ÉVALUATION DES SYSTÈMES ENVISAGÉS**

Les systèmes envisagés au chapitre précédent doivent être évalués en fonction de leur capacité à répondre aux besoins et aux objectifs du Ministère. Cette évaluation permet de savoir si certains systèmes, déjà en opération dans certains pays, répondront mieux que le système actuel aux besoins du Ministère.

L'évaluation des systèmes comprend deux parties : la première est fondée sur le cahier des charges fonctionnel, la seconde est complémentaire et évalue la capacité des systèmes à répondre à certaines contraintes.

### **Évaluation fonctionnelle**

La première partie consiste à évaluer les systèmes selon le cahier des charges fonctionnel, présenté au chapitre portant sur la caractérisation des besoins, de façon à les comparer les uns par rapport aux autres, et ce, fonction par fonction. Leur capacité de répondre aux besoins est ainsi évaluée. Cette évaluation couvre les aspects opératoires des systèmes. Les sept groupes fonctionnels établis à l'analyse des besoins sont présentés au tableau 11 avec le pointage maximum possible. Ce pointage représente le poids relatif accordé à chaque fonction qui indique l'importance des fonctions les unes par rapport aux autres. Le pointage individuel est aussi indiqué au tableau. Ce dernier tient compte de la capacité du système à assurer la fonction et du poids relatif de la fonction. Cette évaluation a été validée par les participants lors de l'atelier.

Le résumé de cette évaluation est présenté à la grille qui suit.

FONCTIONS	Pointage maximum possible	1 actuel	2 convoyeur	3 silo	4 caveau	5 bunker
0. respecter normes	240	153	153	186	183	195
1. entreposer le sel	390	315	350	307	348	348
2. charger le sel	520	407	407	363	409	448
3. assurer qualité du sel	310	173	181	271	235	264
4. gérer le sel	270	115	140	256	119	222
5. respecter objectifs opérationnels	190	139	124	152	148	158
6. fournir abrasifs	80	44	44	32	40	36
<b>TOTAL</b>	<b>2000</b>	<b>1346</b>	<b>1399</b>	<b>1567</b>	<b>1482</b>	<b>1671</b>
<b>RANG</b>		<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>

**Tableau 11 : Résumé de l'évaluation selon le CDCF des systèmes envisagés**

Le total de cette première partie de l'évaluation donne le plus de points et accorde donc la première place au «bunker». Le silo d'acier vitrifié suit. Le caveau détient le troisième rang et, aux derniers rangs, l'entrepôt avec convoyeurs et l'entrepôt actuel. Ceci signifie qu'au point de vue opératoire le «bunker» est plus efficace que tout autre système. L'évaluation fonctionnelle peut ainsi être validée par le tableau des avantages et inconvénients de chaque système où la problématique est reprise.

SYSTÈME	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
1-Système actuel (igloo ou entrepôt)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût de référence</li> <li>- longue durée de vie</li> <li>- fiable</li> <li>- entretien simple</li> <li>- sel toujours disponible et accessible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvaise utilisation du volume d'entreposage</li> <li>- contamination possible de l'environnement immédiat</li> <li>- manutention du sel fréquente</li> <li>- accès difficile à l'intérieur des entrepôts</li> <li>- conditions de travail relativement difficiles</li> <li>- contrôle des quantités déficient</li> </ul>
2-Entrepôt avec convoyeur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle sur la quantité de sel entreposé (à l'entrée)</li> <li>- rotation du sel (first in, first out)</li> <li>- capacité d'entreposage maximisée</li> <li>- lors de l'entreposage: <ul style="list-style-type: none"> <li>· conditions de travail améliorées</li> <li>· temps d'exécution diminué</li> <li>· moins de manutention du sel</li> </ul> </li> <li>- sel toujours disponible et accessible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation d'un chargeur nécessaire pour le chargement des épandeurs</li> <li>- aucune amélioration notable sur l'environnement</li> <li>- conditions de travail identiques au système actuel lors du chargement</li> <li>- pas de contrôle des quantités sorties</li> </ul>
3-Silo d'acier vitrifié au cobalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutention entièrement automatisée</li> <li>- contrôles des quantités à l'entrée et à la sortie</li> <li>- rotation du sel (first in, first out)</li> <li>- manipulation minimisée</li> <li>- inventaire précis</li> <li>- aucun contact du sel avec l'environnement</li> <li>- aucun contact avec les préposés</li> <li>- le transporteur est autonome</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Très coûteux</li> <li>- sensible à l'humidité</li> <li>- problème de gel</li> <li>- problème de congglomération</li> <li>- phénomène d'implosion</li> <li>- fracturation du sel</li> <li>- demande un personnel un peu plus spécialisé ou formé</li> <li>- système n'est pas fiable à 100 % dans nos conditions de température</li> </ul>
4-Caveau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Longue durée de vie</li> <li>- résistance aux intempéries</li> <li>- protection de l'environnement</li> <li>- chargement simplifié (par le haut)</li> <li>- problème de gel éliminé, température constante (si assez creux)</li> <li>- rotation du sel (first in, first out)</li> <li>- possibilité de contrôle visuel des quantités restantes</li> <li>- sel toujours disponible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation d'un chargeur nécessaire au chargement des épandeurs</li> <li>- implantation limitée, dépendant du type de sol</li> <li>- conditions de travail difficile au chargement des épandeurs</li> <li>- pas de contrôle des quantités sorties</li> </ul>

SYSTÈME	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
5-Bunker	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Longue durée de vie</li> <li>- résistance aux intempéries</li> <li>- protection de l'environnement</li> <li>- remplissage simplifié (par le haut)</li> <li>- problème de gel éliminé, température constante (si assez creux)</li> <li>- contrôles des quantités à la sortie</li> <li>- chargement automatisé plus rapide</li> <li>- rotation du sel (first in, first out)</li> <li>- inventaire précis</li> <li>- condition de travail améliorées</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implantation limitée, dépendant du type de sol</li> <li>- demande un personnel un peu plus spécialisé ou formé</li> </ul>

**Tableau 12 : Avantages et inconvénients des systèmes envisagés**

En résumé, les systèmes actuels, avec ou sans convoyeur, ne protègent pas parfaitement l'environnement et les employés. De plus, ils sont plus rudimentaires quant à l'entreposage et au chargement.

Le silo reçoit un pointage élevé parce qu'il répond très bien aux besoins des opérateurs; il est facile à opérer au chargement des épandeurs et à la livraison de sel et il respecte de plus très bien les normes. Toutefois, il est vulnérable à certains problèmes liés au gel.

Le caveau et le «bunker» combinent la simplicité du système actuel et la facilité d'opération du silo. C'est pourquoi ils obtiennent de très bons pointages aux fonctions d'entreposage et de chargement. Il faut cependant tenir compte de la configuration du site qui est particulière.

Pour compléter cette évaluation, avec des éléments plus globaux, une seconde évaluation est proposée.

### Évaluation complémentaire

Cette deuxième évaluation consiste à comparer les systèmes à trois critères absolus, c'est-à-dire que les systèmes peuvent y obtenir une cote «oui» ou «non» selon qu'ils vont satisfaire ou non les critères. Un «non» élimine automatiquement le système concerné. Ces trois critères proviennent des commentaires émis par l'équipe à la présentation des systèmes envisagés. Ils sont :

- **application universelle** : le système peut être appliqué dans n'importe quel site, quelle que soit la nature du terrain;
- **fiabilité du système pour toutes conditions** : le système doit être fiable à 100 %, c'est-à-dire que le sel doit être accessible et disponible dans n'importe quelles conditions;
- **coût global inférieur ou égal au coût actuel** : le coût par tonne du système est équivalent à celui du système actuel.

CRITÈRES	max.	1 actuel	2 convoyeur	3 silo	4 caveau	5 bunker
Application universelle	oui/non	oui	oui	oui	non	non
Fiabilité du système pour toutes conditions	oui/non	oui	oui	non	oui	oui
Coût construction $\leq$ coût actuel	oui/non	oui	oui	non	non	non
	conservé/ éliminé	conservé	conservé	éliminé	éliminé	éliminé

**Tableau 13 : Évaluation complémentaire**

Cette évaluation pousse aux derniers rangs le silo, le caveau et le «bunker» même s'ils sont très efficaces du point de vue opérationnel. En effet, ceux-ci sont intimement liés à la configuration du site et aux caractéristiques du sol; on ne peut donc les implanter partout. Dans le cas du silo, la qualité du sel entreposé influence directement l'efficacité du système. Les palliatifs ne font qu'augmenter les coûts du système qui sont déjà plus élevés que ceux du système actuel.

La prochaine section justifie le rejet de ces trois systèmes.

### **Explication de l'élimination du silo, du «bunker» et du caveau**

Comme les systèmes rejetés à l'évaluation complémentaire obtiennent des scores élevés à l'évaluation fonctionnelle, il est important de décrire leurs lacunes. Celles-ci rendent ces systèmes inadéquats pour répondre aux besoins du Ministère.

#### **Silo**

Le silo a été éliminé parce qu'il *ne peut fonctionner avec un sel dont la qualité est variable*. D'après la documentation italienne reçue sur les silos en acier vitrifié au cobalt, un problème majeur de gel du sel a été signalé. Ce problème s'applique aussi aux silos en béton, système utilisé en Allemagne.

Le sel, entreposé dans un silo, a tendance à geler et est ainsi susceptible de bloquer l'entonnoir de sortie. Ce phénomène est causé par l'effet du taux d'humidité élevé du sel livré, combiné aux basses températures de l'hiver. Par exemple, au Québec, selon les statistiques du Ministère, plus de 36 % (en moyenne) du sel livré dans les trois dernières années avait un taux d'humidité supérieur à 0,8, niveau auquel les problèmes sérieux se présentent. Ainsi, à une température de -12 °C, 60 % de la masse du sel gèlera à l'intérieur du silo; à -22 °C, c'est 70 % de la masse qui gèlera. Le contenu d'humidité du sel est donc déterminant sur la quantité de sel congelé. Pour empêcher le sel de geler et éviter des problèmes de disponibilité du sel, il faudrait le chauffer pour l'assécher à un niveau inférieur à 0,4 d'humidité. Cette solution très coûteuse ne ferait qu'augmenter le coût d'opération du silo qui est déjà plus élevé que le système actuel. Le silo a donc été éliminé.

car il ne peut fonctionner en tout temps avec la qualité du sel livré ici et le risque de ne pouvoir accéder au sel est trop élevé.

Le silo crée aussi un problème de congglomération. La congglomération du sel provoque un bouchon à l'entonnoir de sortie. Il devient donc impossible d'utiliser le sel sans déboucher le silo. La congglomération est provoquée par :

- 1- La fracturation du sel en poudre qui est causée par la manutention du sel par système pneumatique.
- 2- L'effet de la pression exercée sur les grains à la base du silo est causé par la hauteur d'entreposage.

Il y a aussi un risque d'implosion dans le silo. En effet, le phénomène est causé par la croûte qui se forme sur le dessus de la masse de sel, soit par congglomération ou à cause du gel. En se vidant à la base, une voûte de sel se crée au sommet du silo, qui, en s'effondrant, peut endommager la coupole du silo.

Devant ces problèmes et à cause de l'utilisation de plus en plus répandue de saumure, les Italiens ont commencé à mettre en place des usines de fondants abritant des silos de hauteur plus restreinte.

Enfin, un système entièrement automatisé tel qu'un silo présente un coût très élevé. Pour le rentabiliser, il serait nécessaire de modifier la méthode de gestion des stocks de sel de façon à avoir un très gros roulement de sel dans ce genre d'entrepôt.

### **Caveau et «bunker»**

Le caveau et le «bunker» ont été éliminés parce qu'ils ne sont pas des solutions universelles, c'est-à-dire qu'ils *ne peuvent pas être implantés dans n'importe quel site*. Ces sites sont limités à ceux où le sol est composé de roc non fissuré et où le terrain présente une dénivellation appropriée. Le Ministère a donc manifesté ses réticences en rapport avec le «bunker» et le caveau.

### **Synthèse de l'évaluation**

L'équipe a constaté qu'aucun système existant sur le marché ne répond spécifiquement aux besoins du MTQ. Du point de vue fonctionnel, les systèmes actuels présentent certains défauts et, du point de vue de l'évaluation complémentaire, le silo, le caveau et le «bunker» présentent également des lacunes importantes. Toutefois, l'équipe considère que ces systèmes doivent servir de référence afin de trouver des solutions innovatrices.

## **DESCRIPTIONS DES PROPOSITIONS**

Comme les systèmes inventoriés ne répondent pas de manière optimale aux besoins, de nouvelles idées ont été émises pour améliorer les systèmes et répondre à toutes les exigences du Ministère.

Pour découvrir de nouvelles avenues de développement, l'équipe de travail a procédé à une recherche d'idées. Ce chapitre présente les idées émises et retenues. Les solutions sont décrites et les coûts des options, les coûts de construction des systèmes ainsi que les coûts globaux sont estimés de façon préliminaire. Différents systèmes qui peuvent satisfaire les besoins et qui sont adaptables au Ministère sont ainsi proposés.

Les systèmes doivent permettre l'entreposage de quantités variables selon les régions. Ils doivent, de plus, être faciles d'opération pour une main-d'oeuvre non spécialisée, sous toutes conditions climatiques et pour une qualité de sel variable.

La session de créativité a permis d'émettre une série d'idées inspirées des solutions envisagées décrites aux chapitres précédents. Les idées les plus prometteuses ont été retenues, analysées et développées plus à fond par les participants de l'atelier.

Cependant, trois idées ont été rejetées : l'entrepôt avec toile à cause de son mauvais rendement d'entreposage du sel selon les exigences du Ministère et de la forte possibilité de contamination du sol; le chargement sous l'igloo et le chauffage des silos, pour empêcher le sel de geler, à cause des coûts trop élevés.

Les idées restantes ont été classées soit comme système proposé, soit comme option si cela représentait une amélioration au concept d'entreposage actuel. Le développement des systèmes et options a permis de présenter différents systèmes d'entreposage et de chargement de capacité variable; ils sont décrits dans les pages qui suivent. La section suivante décrit les options, tandis que les autres sections présentent les systèmes proposés.

### **Options proposées**

Des options ont été présentées pour améliorer les installations existantes ou les systèmes proposés. Elles augmentent le niveau de qualité atteint par les systèmes. Le tableau qui suit les décrit avec leurs avantages et inconvénients ainsi que les situations où elles sont applicables.

Option	Description	Avantages	Désavantages	Situations où les options sont applicables
Agrandir la porte de l'igloo	Agrandir la porte de l'igloo existant de 1 mètre de chaque côté.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminue les dommages causés à la porte</li> <li>• Diminue les coûts d'entretien</li> <li>• Réduit les risques liés à santé et sécurité du personnel</li> <li>• Accélère le temps de chargement des épandeurs</li> </ul>	Il faut vérifier la capacité structurale de l'igloo avec une porte plus grande	Igloo existant
Utiliser un plus gros chargeur	Utiliser un chargeur de 3 m <sup>3</sup> (avec un plus gros chargeur, il faut agrandir la porte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accélère temps de chargement des épandeurs</li> <li>• Diminue l'émanation de monoxyde de carbone</li> <li>• Réduit la manipulation du sel</li> </ul>	Coût du chargeur	Entrepôt où le volume saisonnier est plus élevé que 1 500 tonnes
Ventiler l'igloo	Installer un ventilateur dans l'igloo	Réduit les risques liés à santé et sécurité du personnel	Coût du ventilateur	Igloo existant et nouveau

Option	Description	Avantages	Désavantages	Situations où les options sont applicables
Installer une balance	Installer une balance sur les chargeurs (cette option est indispensable lors de contrats de vente avec un entrepreneur)	Contrôle les quantités entrées et sorties de sel	Coût de la balance et risque d'augmenter le nombre d'opérations du processus	Partout mais doit faire l'objet d'une décision interne
Construire une rampe pour le chargement	Construire une rampe de chargement et un bassin de rétention	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduit les délais d'attente des épandeurs</li> <li>• Accélère le chargement des épandeurs</li> <li>• Protège l'environnement</li> <li>• Récupère le sel</li> <li>• Permet l'accès facile à la grille des épandeurs avec la pelle du chargeur</li> <li>• Possibilité d'installer une grille fixe<sup>2</sup></li> </ul>	Augmente les coûts de l'installation	Partout mais doit faire l'objet d'une décision interne

**Tableau 14 : Options proposées**

<sup>2</sup> Une grille est d'ailleurs à l'essai au Saguenay - Lac-Saint-Jean selon *Le Journal L'Équipe* (vol. 24, no. 3, avril 1994, p. 7).

Le tableau suivant résume les coûts et les économies réalisables pour les différentes options qui sont applicables aux systèmes déjà mentionnés. Les coûts ont été arrondis à 1 000 \$ près dans le rapport.

OPTION	COÛT D'INVESTISSEMENT	ÉCONOMIE ANNUELLE	PÉRIODE DE RETOUR SUR L'INVESTISSEMENT (PRI)
Agrandir la porte (igloo existant)	3 000 \$	500 \$ en entretien	6 ans
Utiliser un plus gros chargeur (3 m <sup>3</sup> ) et agrandir la porte (si l'igloo est existant)	3 000 \$ si l'igloo est existant	400 \$ à 6 000 \$ pour un volume de 1 500 à 20 000 t	3 ans à 6 ans
	0 \$ si l'igloo est nouveau		1 an
Ventiler l'igloo	10 000 \$	aucune	---
Installer une balance	8 000 \$	aucune	---
Construire une rampe de chargement et un bassin de rétention	30 000 \$	3 000 \$	11 ans pour un volume saisonnier de 20 000 t

**Tableau 15 : Coût d'investissement et retour sur l'investissement**

L'agrandissement de la porte d'un igloo existant coûterait environ 3 000 \$. L'économie en frais de réparation de la porte produit un retour sur l'investissement de 6 ans. De plus, la circulation des équipements en est facilitée.

L'utilisation d'un chargeur de 3 mètres cubes au lieu de 1,5 mètres cubes diminue de moitié le temps de chargement. La différence de coût entre les deux chargeurs serait rentable pour les volumes saisonniers de plus de 1 500 tonnes. Pour les igloos existants, il faudrait de plus agrandir la porte pour permettre le passage du chargeur sans endommager l'igloo.

La ventilation de l'igloo ne procure aucune économie directe sur les infrastructures. Cependant, la qualité de vie des employés pourrait augmenter et, probablement, la productivité.

L'installation d'une balance facilite la gestion des stocks et peut être rentabilisée par la diminution des pertes de sel.

La construction d'une rampe de chargement et d'un bassin de rétention apporterait une réduction (selon l'expérience du MTQ) de 15 % du temps de chargement. Le retour sur l'investissement de 11 ans de cette option n'est pas rentable, même dans les cas de gros volumes saisonniers de sel. La construction d'une rampe de chargement n'est donc pas recommandée.

## Systemes proposés

Le tableau qui suit résume les systèmes proposés et présente la configuration, les dimensions, la capacité et le système d'entreposage et de chargement de chacun.

Configuration	Dimensions	Capacité	Entreposage	Chargement
Igloo (10.2.1)	22 m diamètre	500 t	chargeur	chargeur
Igloo solution actuelle (10.2.1)	30 m diamètre	1 500 t	chargeur	chargeur
Igloo (10.2.2)	30 m diamètre	3 000 t	convoyeur	chargeur
Entrepôt rectangulaire (10.2.3)	12 m x 16.2 m x 7.5 m hauteur libre	500 t	chargeur	chargeur
Entrepôt rectangulaire (10.2.3)	12 m x 48 m x 7.5 m hauteur libre	1 500 t	chargeur	chargeur
Entrepôt rectangulaire (10.2.4)	12 m x 48 m x 7.5 m hauteur libre	3 000 t	convoyeur	chargeur
Semi-caveau <sup>3</sup> (10.2.5)	10 m x 30 m x 5 m de hauteur	1 500 t	par gravité	chargeur
Entrepôt-silo (10.2.6)	13 m x 30 m x 12 m de hauteur	4 000 t	convoyeur	convoyeur
Deux igloos sur le même site (10.2.7)	30 m de diamètre	6 000 t	convoyeur	chargeurs

Tableau 16 : Systemes proposés

<sup>3</sup> Ce système ressemble aux entrepôts semi-souterrains norvégiens identifiés après le recensement.

Les systèmes sont décrits plus en détail dans les pages qui suivent. Les options sont présentées avec chacun de ces systèmes, mais leur application demeure limitée aux situations exposées dans le tableau de la première section.

### ***Igloo avec un mode d'entreposage et de chargement par chargeur (système actuel)***

#### ***Description du bâtiment***

- Toit de bois de forme arrondie, rappelant un dôme préfabriqué en bois ancré aux murs de béton armé avec ou sans fondation.
- Toit de bois de forme arrondie, rappelant un dôme d'un diamètre de 30 mètres (actuel) ou de 22 mètres, selon la capacité d'entreposage demandée.
- Les murs, en raison de leur configuration octogonale, résistent à la poussée du sel. Ils peuvent donc être directement appuyés sur le pavage, sans fondation à l'épreuve du gel. Cependant, le phénomène de gel et de dégel peut produire des mouvements différentiels sur le bâtiment et ainsi causer des fissures aux murs de béton et au toit de bois de forme arrondie, rappelant un dôme. Bien que la Société Immobilière du Québec (SIQ), propriétaire des installations, ne relève encore aucun problème de ce genre, nous conseillons d'appuyer le bâtiment sur des fondations à l'épreuve du gel et, ainsi, d'augmenter la qualité et la durée de vie du bâtiment.
- Une dalle sur sol en béton bitumineux sur un coussin de 750 mm de remblai compacté.
- Une toiture en bardeaux.
- Une porte d'une largeur de 5,6 mètres minimum pour permettre au chargeur de manoeuvrer plus facilement sans endommager la porte.
- Ventilateur (optionnel).
- Capacité d'entreposage effective = 500 tonnes pour igloo de 22 mètres de diamètre.
- Capacité d'entreposage effective = 1 500 tonnes pour igloo de 30 mètres de diamètre.
- Si l'igloo est existant et en bon état nous recommandons d'agrandir la porte de l'igloo de 1 mètre de chaque côté.

#### ***Description du mode d'entreposage et de chargement***

- Au chargeur de 1,5 mètres cubes (voir description du processus au chapitre *Processus actuel et analyse des besoins*)

ou

- au chargeur de 3 mètres cubes si le volume de sel par année > 1 500 tonnes.
- Une balance sur le chargeur pour contrôler les quantités de sel.
- Une rampe de chargement si le volume de sel par année > 18 000 tonnes.

La figure de la page 72 illustre ce système.

## ***Igloo actuel avec un convoyeur mobile pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement***

### *Description du bâtiment*

- La description du bâtiment est la même que pour l'igloo actuel.
- Toit de bois de forme arrondie, rappelant un dôme d'un diamètre de 30 mètres.
- Capacité d'entreposage effective = 3 000 tonnes pour un mur de béton d'une hauteur de 1,2 mètre.

### *Description du mode d'entreposage*

- Un convoyeur et une trémie mobiles partagés, au minimum, entre deux sites et le coût d'investissement est divisé entre l'été et l'hiver\*.
- Le convoyeur est muni d'une balance pour contrôler les quantités de sel.
- Le convoyeur a une longueur de 23 mètres et un poids de 3 600 kilogramme.
- Le convoyeur est de type à courroie construit en acier inoxydable pour résister à la corrosion.
- La trémie basculante montée sur roues est construite en acier inoxydable.
- Le convoyeur est mis en place et déplacé à l'aide d'une camionnette (1 tonne). Un seul opérateur est nécessaire à l'opération.
- Le mécanisme d'inclinaison du convoyeur est actionné par un bouton-poussoir.
- Le camion décharge à l'intérieur ou à l'extérieur de l'entrepôt dans la trémie inclinable basculante.
- Le convoyeur et la trémie sont entreposés à l'extérieur.
- L'entretien du convoyeur consiste à ajuster au besoin la courroie (environ 2 fois par année) et à remplacer les pièces usées, au cours des années, telles que la courroie, les roulements, les rouleaux, la boîte de réduction de vitesse, le moteur, les roues, les mécanismes.
- Vie utile du convoyeur = 20 ans.
- Lorsque l'entreposage est terminé, le convoyeur est abaissé à mesure qu'on le retire avec un camion par la porte de l'entrepôt.

### *Description du mode de chargement*

- Au chargeur de 1,5 mètres cubes (voir description du processus au chapitre *Processus actuel et analyse des besoins*)

ou

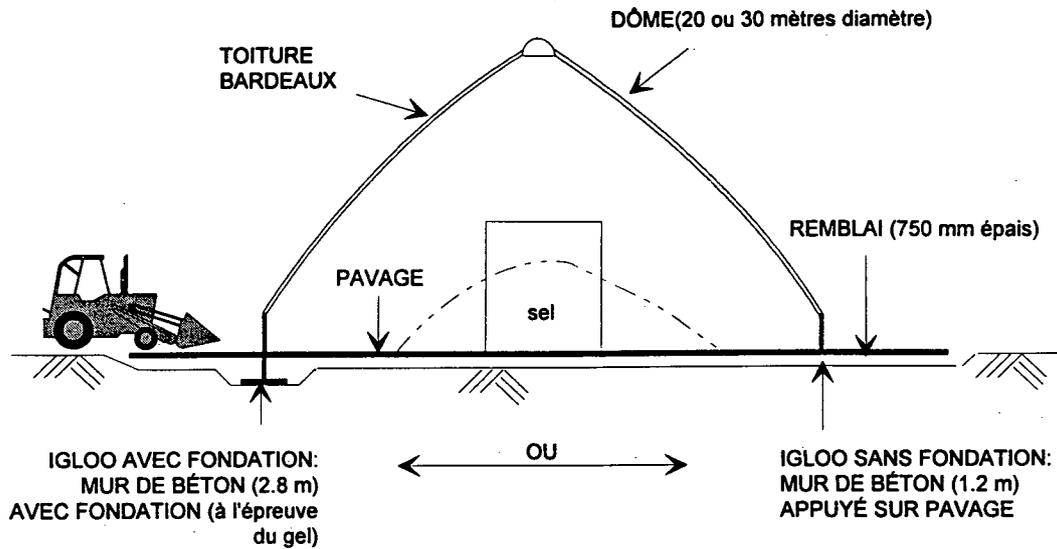
- au chargeur de 3 mètres cubes (optionnel) si le volume de sel par année > 1 500 tonnes.

La figure à la page suivante illustre ce système.

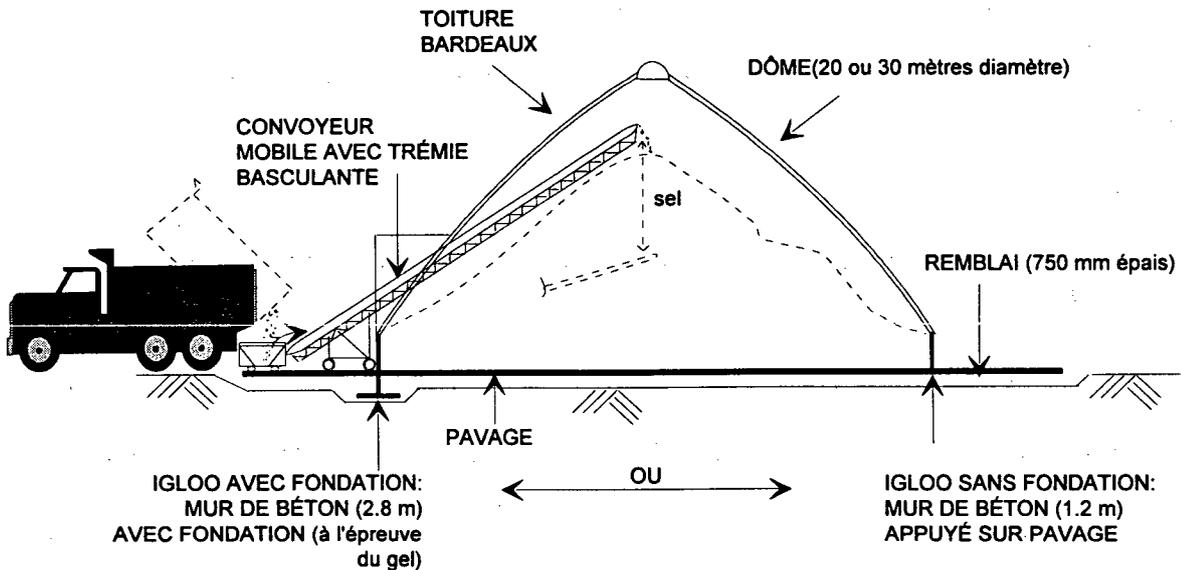
---

\* L'été, le convoyeur peut servir à mettre en tas de la terre, du sable ou du gravier pour les travaux de terrassement.

**IGLOO ACTUEL AVEC CHARGEUR**  
(AVEC OU SANS FONDATION)



**IGLOO ACTUEL AVEC CONVOYEUR**  
(AVEC OU SANS FONDATION)



**Figure 13 : Igloos actuels**

*La pente du convoyeur et de la masse de sel =  $\pm 30^\circ$ ; le dessin n'est pas représentatif*

## **Entrepôt rectangulaire avec un chargeur pour l'entreposage et le chargement**

### *Description du bâtiment*

- Structure en bois appuyée sur des murs de soutènement, en béton armé, ancrés aux empattements, à l'épreuve ou non du gel. Des fondations qui ne sont pas à l'épreuve du gel peuvent causer (comme expliqué pour l'igloo) des fissures importantes dans les murs. Nous recommandons donc des fondations à l'épreuve du gel.
- La dimension du bâtiment et sa capacité sont variables : la largeur (12 mètres) et la hauteur libre (7,5 mètres) sont fixes, la longueur est variable selon la capacité requise, ceci permet de standardiser les plans de conception.
- Une dalle sur sol en béton bitumineux sur un coussin de 750 mm de remblai compacté.
- Une toiture en bardeaux.
- Un revêtement extérieur en tôle métallique.
- Deux portes, une à chaque extrémité du bâtiment pour permettre la rotation (FIFO) du sel. Aucun ventilateur n'est requis, car la ventilation est assurée par les deux portes.

### *Capacité d'entreposage effective*

- 500 tonnes pour une longueur de bâtiment de 16 mètres

ou

1 500 tonnes pour une longueur de bâtiment de 48 mètres (longueur excessive pour une largeur de 12 mètres; revoir le concept).

### *Description du mode de chargement et d'entreposage*

- Au chargeur de 1,5 mètres cubes (voir description du processus au chapitre *Processus actuel et analyse des besoins*)

ou

- au chargeur de 3 mètres cubes (optionnel) si le volume de sel par année > 1 500 tonnes.
- Une balance (optionnel) sur le chargeur pour contrôler les quantités de sel.

La figure à la page 75 illustre ce système.

### ***Entrepôt rectangulaire avec un convoyeur pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement***

#### ***Description du bâtiment***

- La description du bâtiment est la même que pour l'entrepôt rectangulaire.
- Capacité d'entreposage effective = 3 000 tonnes pour une longueur de bâtiment de 48 mètres.

#### ***Description du mode d'entreposage***

La description du mode d'entreposage est la même que pour l'igloo avec convoyeur.

#### ***Description du mode de chargement***

- Au chargeur de 1,5 mètres cubes en utilisant l'accès du bâtiment auprès duquel le sel a été entreposé en premier pour permettre ainsi la rotation du sel (voir description du processus au chapitre *Processus actuel et analyse des besoins*)

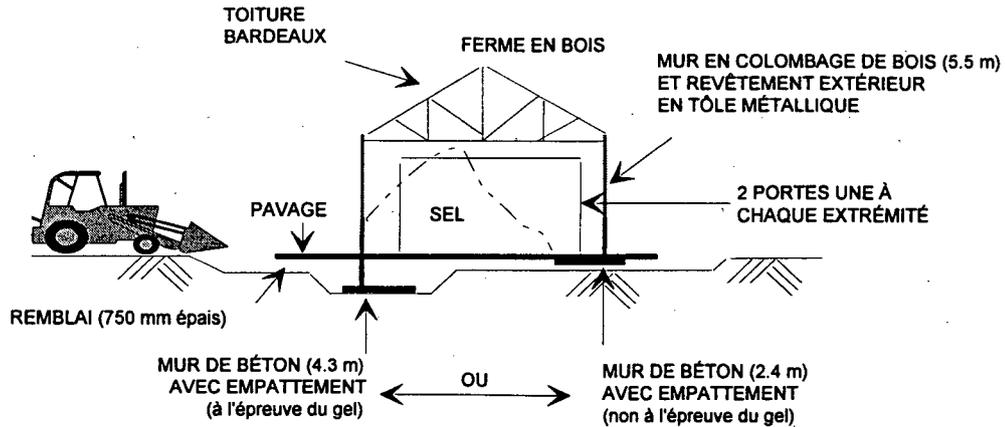
ou

- au chargeur de 3 mètres cubes (optionnel) si le volume de sel > 1 500 tonnes.
- Une balance (optionnel) sur le chargeur pour contrôler les quantités de sel.

La figure à la page suivante illustre ce système.

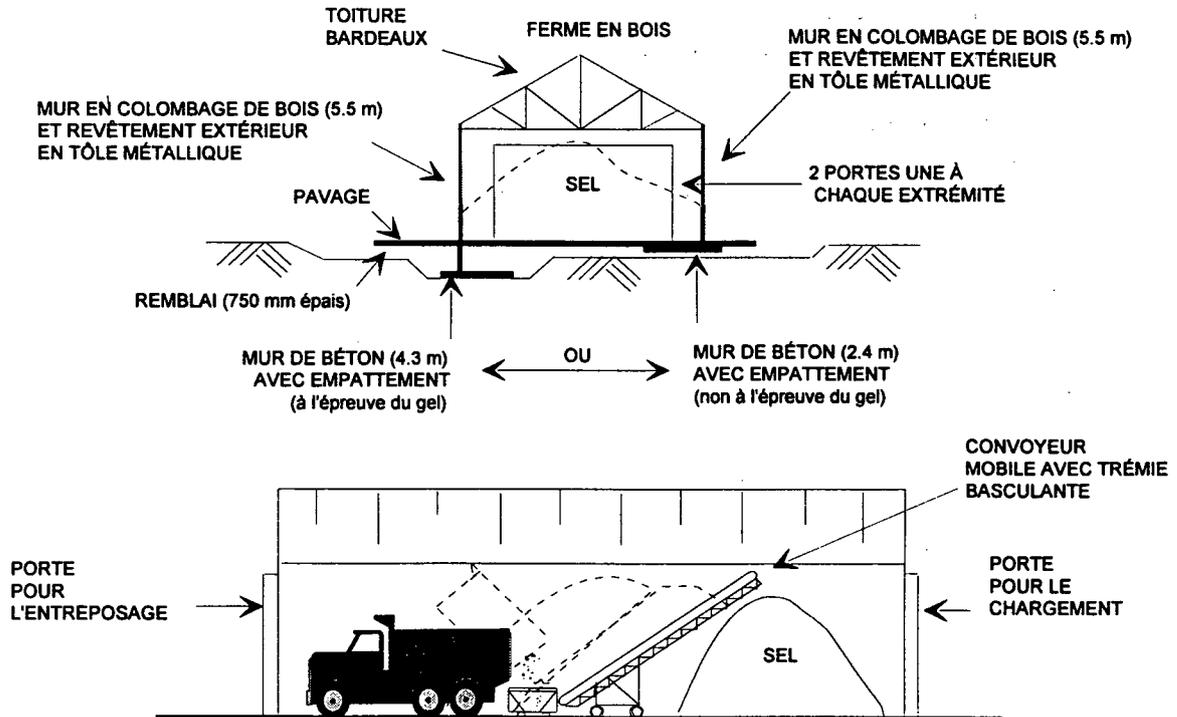
## ENTREPÔT RECTANGULAIRE AVEC CHARGEUR

(AVEC OU SANS MUR DE FONDATION)



## ENTREPÔT RECTANGULAIRE AVEC CONVOYEUR

(AVEC OU SANS MUR FONDATION)



**Figure 14 : Entrepôts rectangulaires**

*La pente du convoyeur et de la masse de sel =  $\pm 30^\circ$ ; le dessin n'est pas représentatif*

## ***Semi-caveau où l'entreposage se fait par gravité et le chargement par chargeur***

### ***Description du bâtiment***

- Structure en béton armé coulé en place, avec fondation à l'épreuve du gel.
- Dimension 30 mètres par 10 mètres par 5 mètres de haut.
- La dalle structurale du toit possède trois ouvertures (trappes) de 5 mètres par 3 mètres pour décharger le sel par gravité.
- La façade avant possède trois portes pour le chargement du sel.
- Une dalle sur sol en béton bitumineux, sur un remblai de 750 mm compacté.
- Capacité d'entreposage effective = 1 000 tonnes.

### ***Description du mode d'entreposage***

- L'entreposage se fait par gravité. Le camion décharge directement sa benne dans une des trois trappes de la dalle structurale du toit. Le sel est ainsi amoncelé le long du mur du fond du caveau de façon à ne pas nuire lors de l'ouverture des portes.
- Le mode d'entreposage par gravité nécessite un terrain dénivelé, naturel ou en remblai, pour ainsi permettre au camion de se placer en haut de l'entrepôt.

### ***Description du mode de chargement***

- Au chargeur de 1,5 mètres cubes par un des trois accès avant du bâtiment
- ou
- au chargeur de 3 mètres cubes (optionnel) si le volume de sel par année est plus grand que 1 500 tonnes.
  - Une balance (optionnel) sur le chargeur pour contrôler les quantités de sel.

La figure de la page suivante illustre le système.

CONCEPT PRÉLIMINAIRE

ENTREPOSAGE PAR GRAVITÉ  
UTILISANT LA TOPOGRAPHIE DU TERRAIN

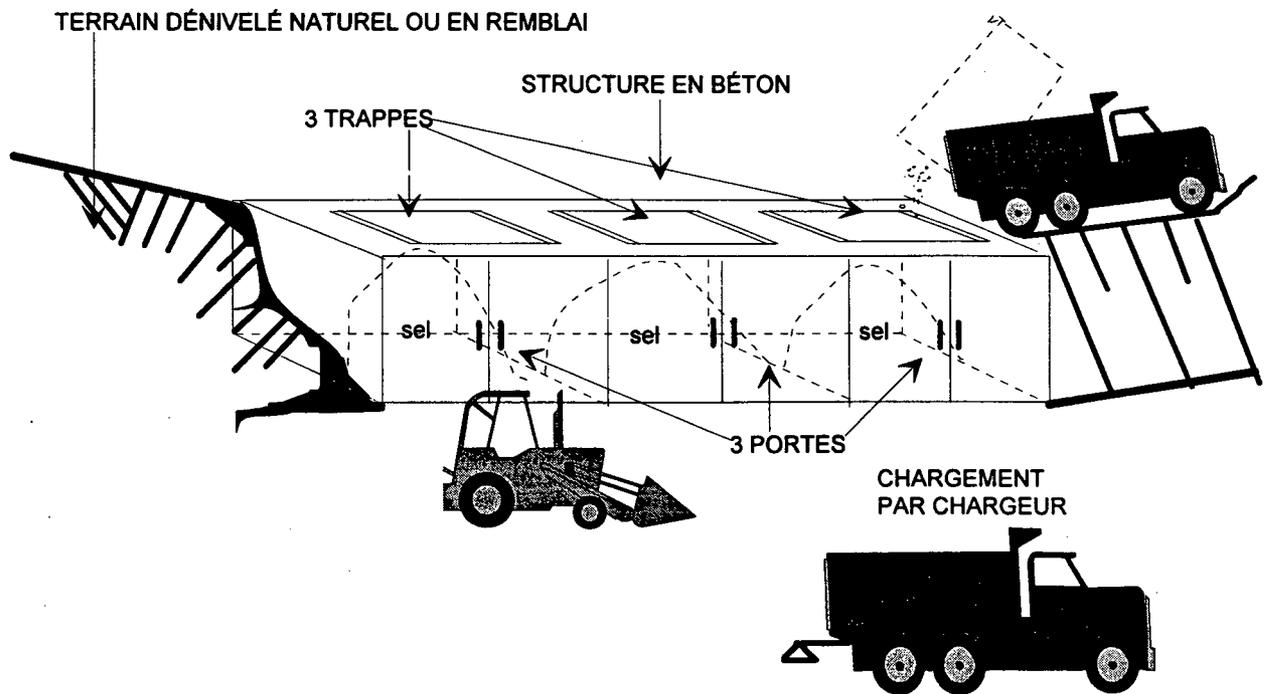


Figure 15 : Concept du semi-caveau

## **Entrepôt-silo automatisé**

### *Description du bâtiment*

- Structure en béton armé coulée sur place, en forme de silo. Le bâtiment est en partie enfoui dans le sol pour isoler le sel et ainsi l'empêcher de geler dans les endroits où le bâtiment est le plus étroit.
- Contrairement au silo, l'entrepôt n'a pas besoin d'être chauffé, car il est isolé par le remblai autour de l'entrepôt.
- Capacité d'entreposage = 4 000 tonnes.

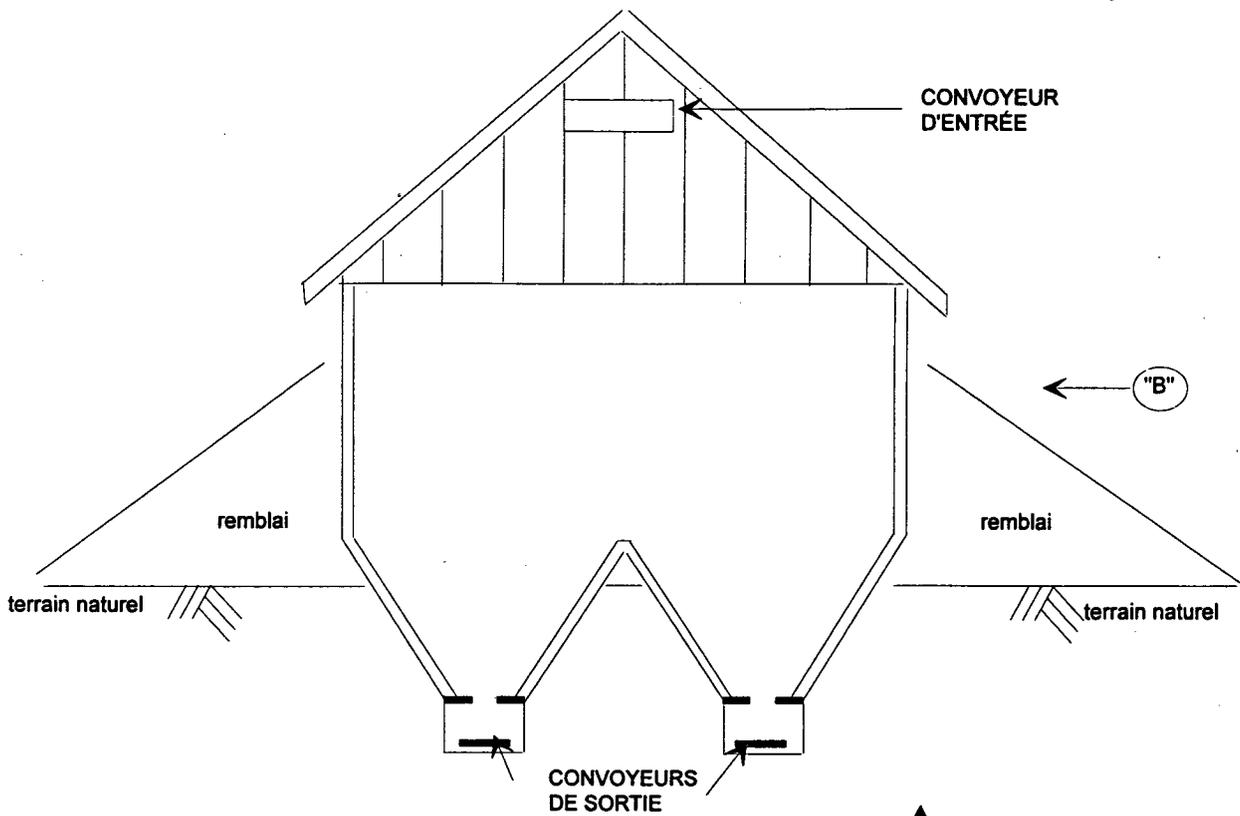
### *Description du mode d'entreposage*

Au convoyeur fixe, l'entrée du sel se fait par le haut de l'entrepôt.

### *Description du mode de chargement*

Par deux convoyeurs fixes. Le sel est déversé sur un des deux convoyeurs par une des trappes situées à l'entonnoir de sortie du bâtiment.

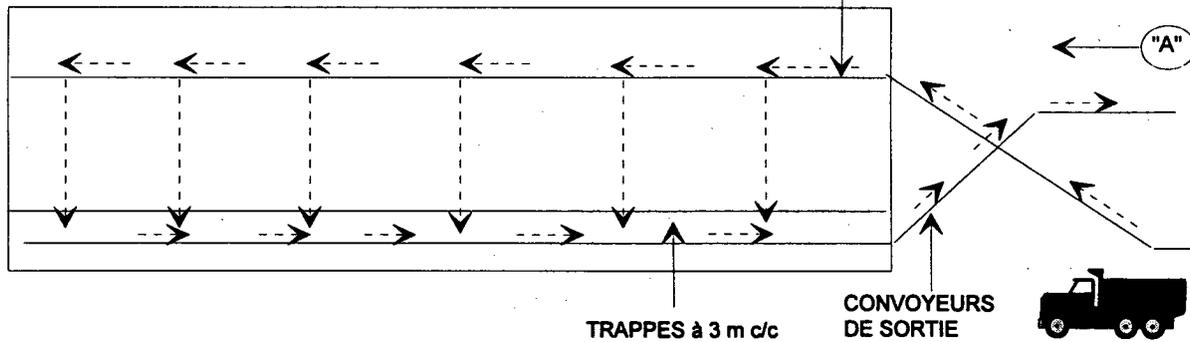
La figure de la page suivante illustre ce système.



**VUE "A"**

↑  
(dessins pas à la même échelle)  
↓

**SYSTÈME DE CONVOYEURS DE L'ENTREPÔT-SILO**



**VUE "B"**

**Figure 16 : Concept de l'entrepôt-silo**

## **Deux igloos sur le même site avec un convoyeur pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement**

### **Description des bâtiments**

- Même description que l'igloo (système actuel).
- Deux igloos, d'un diamètre de 30 mètres, situés côte à côte sur le même site.
- Capacité d'entreposage total effective = 6 000 tonnes pour un mur de béton d'une hauteur de 1,2 mètre.

### **Description du mode d'entreposage**

La description du mode d'entreposage est la même que pour l'igloo avec convoyeur. Toutefois, dans ce cas, le convoyeur est partagé entre deux igloos situés sur le même site, et ne demande aucun transport.

### **Description du mode de chargement**

- Au chargeur de 3 mètres cubes partagé entre les deux igloos.
- Une balance (optionnel) sur le chargeur pour vérifier les quantités de sel.

## **Coûts de construction des systèmes proposés**

Les coûts de construction des systèmes proposés ont été estimés. Ils constituent l'élément principal du coût global des systèmes présentés à la section suivante. Les coûts de construction des deux systèmes avec igloo sont d'abord donnés, suivis des coûts de construction des entrepôts rectangulaires. On complète avec les coûts du semi-caveau et de l'entrepôt-silo.

### **Systèmes avec igloo**

La compagnie Dome Corporation a fourni une liste de prix du toit de bois de forme arrondie, rappelant un dôme, avec la quantité de béton des murs ainsi que la superficie de bardeaux requise. À l'aide de ces données, le coût d'un igloo de 30 mètres de diamètre a été estimé à 203 000 \$ (incluant profit et administration) sans fondations et à 248 000 \$ avec fondations. Le détail de l'estimation est présenté à l'annexe 11, les coûts ont été arrondis au rapport.

DESCRIPTION	COÛT AVEC FONDATIONS	COÛT SANS FONDATIONS
Excavation et remblayage	26 500 \$	22 000 \$
Pavage	12 000 \$	12 000 \$
Mur de béton	54 500 \$	22 500 \$
Dôme	90 000 \$	90 000 \$
Électricité	3 500 \$	3 500 \$
Bardeaux	25 000 \$	25 000 \$
SOUS-TOTAL	211 500 \$	175 000 \$
15% profit et administration	32 000 \$	26 000 \$
<b>TOTAL</b>	<b>243 500 \$</b>	<b>201 000 \$</b>

**Tableau 17 : Estimation du coût de construction d'un igloo**

Pour valider cette estimation, elle a été comparée aux coûts de construction de l'entrepôt de Sainte-Sophie-de-Lévrard, de 30 mètres de diamètre, conçu avec fondations en 1994 par Soprin pour cette municipalité des Laurentides, qui s'élèvent à 240 000 \$. Cette comparaison confirme l'estimation.

Le coût de construction de l'igloo de 22 mètres de diamètre, pour une capacité de 500 tonnes, est estimé à 177 000 \$ avec fondations.

#### ***Entrepôt rectangulaire***

La Société immobilière du Québec (SIQ) nous a fourni les plans et devis de l'entrepôt rectangulaire de Sainte-Sophie-de-Lévrard d'une capacité d'entreposage de 500 tonnes (rempli au chargeur). Les coûts de construction estimés par la SIQ s'élèvent à 129 000 \$ (665 \$/mètres carrés).

Comme les coûts réels de construction ne sont pas disponibles, l'estimation a été refaite avec les prix unitaires de Soprin pour comparer toutes les solutions de l'étude sur une même base. Les coûts de l'entrepôt avec fondations s'élèvent donc à 105 500 \$ (545 \$/mètres carrés).

ÉLÉMENTS	SIQ	SOPRIN
ARCHITECTURE	32 000 \$	20 000 \$
STRUCTURE	72 000 \$	48 000 \$
ÉLECTRICITÉ	3 000 \$	3 500 \$
INFRASTRUCTURE ET PAVAGE	5 000 \$	20 000 \$
SOUS-TOTAL	112 000 \$	91 500 \$
15% (profit et administration)	17 000 \$	14 000 \$
<b>TOTAL</b>	<b>129 000 \$</b>	<b>105 500 \$</b>

**Tableau 18 : Comparaison du coût de construction  
d'un entrepôt rectangulaire avec la SIQ**

Le terrain de l'entrepôt, selon la SIQ, était déjà en grande partie aménagé. Ceci explique la différence importante entre le coût de l'infrastructure estimé à 5 000 \$ par la SIQ et à 20 000 \$ par Soprin.

L'entrepôt a été réévalué en considérant que les fondations ne sont pas à l'épreuve du gel, c'est-à-dire que les empattements sont directement sous la surface du sol (voir figure 14). Il est possible de construire des murs de soutènement avec empattements à la surface du sol pour résister à la poussée du sel. Cette hypothèse n'est pas favorisée. Elle est toutefois nécessaire pour comparer, sur une même base, l'entrepôt rectangulaire avec l'igloo car, selon la SIQ, l'igloo n'est pas construit à l'épreuve du gel. Ses murs de béton reposent directement sur le pavage (voir figure 13) et, en raison de leur forme, résistent à la poussée du sel.

DESCRIPTION	À l'épreuve du gel	Non à l'épreuve du gel
Excavation et remblayage	16 000 \$	8 000 \$
Pavage	4 000 \$	4 000 \$
Bétonnage (incluant coffrage, béton, armature)	31 000 \$	22 000 \$
Architectures et menuiserie	37 000 \$	37 000 \$
Électricité	3 500 \$	3 500 \$
SOUS-TOTAL	91 500 \$	74 500 \$
Administration et profit (15%)	14 000 \$	12 000 \$
<b>TOTAL</b>	<b>105 500 \$</b>	<b>86 500 \$</b>
COÛT UNITAIRE (par superficie)	545 \$/m <sup>2</sup>	445 \$/m <sup>2</sup>

**Tableau 19 : Résumé de l'estimation de l'entrepôt rectangulaire de Sainte-Sophie-de-Lévrard effectué par Soprin**

À partir de ces données, nous avons établi un tableau des coûts de construction d'entrepôts rectangulaires pour des capacités variables de 500 à 1 500 tonnes. L'estimation a été faite à partir des coûts unitaires de 544\$/mètres carrés et de 455\$/mètres carrés estimés par Soprin pour le projet d'entrepôt de Sainte-Sophie-de-Lévrard.

<b>CAPACITÉ EFFECTIVE</b>	<b>500 TONNES</b>	<b>1 000 TONNES</b>	<b>1 500 TONNES</b>
Superficie	195 m <sup>2</sup>	390 m <sup>2</sup>	585 m <sup>2</sup>
Coût avec fondation à l'épreuve du gel	106 000 \$	213 000 \$	319 000 \$
Coût sans fondation à l'épreuve du gel	87 000 \$	174 000 \$	260 000 \$

**Tableau 20 : Coût de construction d'entrepôt rectangulaire pour différentes capacités**

***Entrepôt semi-caveau***

L'estimation des coûts de construction de l'entrepôt semi-caveau d'une capacité effective de 1 000 tonnes est fondée sur le concept préliminaire. On considère que le terrain naturel est dénivélé et ne nécessite donc pas de remblai supplémentaire. Un coût additionnel devra être calculé si le terrain naturel doit être remblayé pour permettre une dénivellation adéquate à l'implantation du semi-caveau.

<b>DESCRIPTION</b>	<b>À l'épreuve du gel</b>
Excavation et remblayage	55 000 \$
Structure	150 000 \$
Accessoires	23 000 \$
<b>SOUS-TOTAL</b>	<b>228 000 \$</b>
Administration et profit (15%)	34 000 \$
<b>TOTAL</b>	<b>262 000 \$</b>

**Tableau 21 : Estimation préliminaire du coût de construction du semi-caveau**

### **Entrepôt-silo**

L'estimation du coût de construction de l'entrepôt-silo d'une capacité de 4 000 tonnes, est basée sur un concept préliminaire.

<b>DESCRIPTION</b>	<b>À l'épreuve du gel</b>
Excavation et remblayage	48 000 \$
Structure	467 000 \$
Enveloppe	11 000 \$
Électricité	15 000 \$
Toiture	20 000 \$
<b>SOUS-TOTAL</b>	<b>561 000 \$</b>
Administration et profit (15%)	84 000 \$
<b>TOTAL</b>	<b>645 000 \$</b>

**Tableau 22 : Estimation préliminaire du coût de construction d'un entrepôt-silo**

### **Résumé des coûts de construction**

Le tableau suivant résume l'estimation des coûts de construction des différents types d'entrepôts.

<b>ENTREPÔT</b>	<b>Coût avec fondations</b>	<b>Coût sans fondations</b>
IGLOO 22m de diamètre	177 000 \$	147 000 \$
IGLOO 30m de diamètre	243 000 \$	201 000 \$
ENTREPÔT RECTANGULAIRE 12m x 16m	105 000 \$	86 000 \$
ENTREPÔT RECTANGULAIRE 12m x 48m	319 000 \$	259 000 \$
SEMI-CAVEAU	262 000 \$	---
ENTREPÔT-SILO	645 000 \$	---

**Tableau 23 : Résumé des coûts de construction des solutions proposées**

### **Coût global des systèmes et options proposées**

Pour comparer les systèmes sur une même base, les coûts d'opération et d'entretien sont ajoutés aux coûts de construction. Cette évaluation donne ainsi la possibilité de choisir les systèmes les plus rentables selon le contexte.

Le coût global de chaque système a été calculé et il inclut :

- le coût de construction de système avec fondations estimé à la section précédente;
- le coût d'opération estimé selon différentes demandes en volume saisonnier de sel variant de 500 tonnes à 20 000 tonnes;
- le coût d'entretien de l'entrepôt fourni par la SIQ et le coût de la machinerie fourni par les fournisseurs.

Les coûts sont actualisés sur 20 ans. Dans le rapport ils ont été arrondis. Il est important de noter que le coût global n'inclut pas le coût des options qui a été calculé séparément.

Le tableau à la page suivante indique, par volume saisonnier de sel, le coût global de chaque système ainsi que son coût unitaire par tonne de sel saisonnier.

Tableau 24 : Sommaire des coûts globaux des systèmes

Volume saisonnier	500 tonnes		1 500 tonnes		3 000 tonnes		8 000 tonnes		20 000 tonnes	
	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)
igloo capacité=500 t	296 500	592	315 000	210	342 500	114	434 000	54	654 000	33
igloo actuel capacité=1 500 t			381 000	253	408 500	136	500 000	62	720 500	36
igloo avec convoyeur capacité=3 000 t					460 000	153	583 000	67	725 000	36
entrepôt rectangulaire capacité=500 t	225 000	450	244 000	162	271 000	90	363 000	45	583 000	29
entrepôt rectangulaire capacité=1 500 t			455 000	303	482 500	161	574 000	72	794 000	40
entrepôt rectangulaire avec convoyeur capacité=3 000 t					534 000	178	612 000	77	799 000	40

Le coût global comprend le coût de construction du bâtiment, les coûts d'opération, d'entreposage et de chargement du sel actualisés et le coût d'entretien du bâtiment et de la machinerie actualisé.

Tableau 24 : Sommaire des coûts globaux des systèmes

Volume saisonnier	500 tonnes		1 500 tonnes		3 000 tonnes		8 000 tonnes		20 000 tonnes	
	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)	coût global* \$	coût à la tonne (\$/t)
semi-caveau capacité=1 000 t			391 000	261	411 000	137	477 000	60	637 000	32
entrepôt-silo capacité=4 000 t							1 510 000	189	1 510 000	75
deux igloos sur le même site avec convoyeur capacité=6 000 t							1 076 000	134	1 450 000	72

\* Le coût global comprend le coût de construction du bâtiment, les coûts d'opération, d'entreposage et de chargement du sel actualisés et le coût d'entretien du bâtiment et de la machinerie actualisé.

Le sommaire des coûts globaux des systèmes donne donc une évaluation chiffrée de chacun. À première vue, il semble que le système dont l'utilisation est la plus rentable, pour différents contextes, est l'entrepôt rectangulaire d'une capacité de 500 tonnes. Ce système obtient le prix unitaire le plus bas pour tous les volumes saisonniers. Cependant, l'évaluation monétaire ne doit pas à elle seule orienter le choix. Il est important de tenir compte de la satisfaction du besoin. Pour ce faire, il faut considérer la capacité d'y répondre selon le contexte et tenir compte aussi de l'impact de la fréquence des livraisons sur la fiabilité du système.

Or, les résultats de la recherche amènent à constater que des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium qui sont *adaptés aux risques du climat québécois*, qui sont *universels*, de telle sorte qu'il est possible de les installer partout au Québec, pour toutes les quantités de sel consommées, et qui *répondent aux objectifs et besoins* du Ministère, doivent être simples. C'est ainsi que le sel est accessible et disponible en toutes circonstances.

Donc, les systèmes proposés ne présentent pas de grandes découvertes; ils sont simplement constitués des systèmes envisagés, améliorés par des éléments ou des options déjà connus du Ministère. Le tableau qui suit décrit comment les systèmes satisfont les besoins.

Système	Réponse au besoin
Igloo avec des modes d'entreposage et de chargement par chargeur Capacité effective de 500 t ou 1 500 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilité et fiabilité sous toutes conditions d'opération, surtout si l'igloo est construit avec fondation à l'épreuve du gel.</li> <li>• Simplicité d'opération, tout employé non-spécialisé peut opérer le système.</li> <li>• Capacité de répondre aux normes CSST, MENVIQ et SIQ, surtout avec des portes élargies et la ventilation .</li> <li>• Contrôle de quantité possible avec la balance.</li> </ul>

Tableau 25 : Évaluation synthèse des systèmes proposés

Système	Réponse au besoin
<p>Igloo avec convoyeur mobile pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement</p> <p>Capacité effective de 3 000 t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotation du sel possible et capacité d'entreposage maximisée par l'utilisation du convoyeur</li> <li>• Durabilité et fiabilité sous toutes conditions d'utilisation, diminution du nombre de livraisons, on peut donc choisir les belles journées pour le faire.</li> <li>• Simplicité d'opération, tout employé peut opérer les systèmes et diminution du nombre de manipulation par rapport au système précédent.</li> <li>• Capacité de répondre aux normes puisque le convoyeur diminue les opérations à faire à l'intérieur.</li> <li>• Contrôle des quantités possible puisque le convoyeur inclut une balance.</li> <li>• Diminution de la manipulation du sel grâce au convoyeur.</li> <li>• Facilité de préparer les abrasifs.</li> </ul>
<p>Entrepôt rectangulaire avec un chargeur pour l'entreposage et le chargement</p> <p>Capacité effective de 500 t ou 1 500 t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comme pour igloo 1</li> <li>• Flexibilité quant aux dimensions.</li> </ul>

Tableau 25 : Évaluation synthèse des systèmes proposés

Système	Réponse au besoin
Entrepôt rectangulaire avec convoyeur mobile pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement Capacité effective de 3000 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comme pour igloo 2</li> <li>• Flexibilité quant aux dimensions.</li> </ul>
Semi-caveau Capacité effective de 1 000 t	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacité d'entreposage maximisée à cause du chargement par le haut.</li> <li>• Durabilité sous toutes conditions d'opérations.</li> <li>• Simplicité d'opération accrue puisqu'on n'a pas besoin de chargeur à l'entreposage, c'est donc plus rapide.</li> <li>• Diminution du nombre de manipulation du sel puisqu'on dépose directement le sel dans l'entrepôt.</li> <li>• Risque de pénétration de pluie ou de neige lors de l'entreposage par le haut.</li> <li>• Étanchéité des portes du haut à assurer.</li> <li>• Capacité de répondre aux normes puisqu'il y a moins besoin d'opérations intérieures.</li> <li>• Contrôle des quantités possibles si on ajoute une balance au chargeur.</li> </ul>

Tableau 25 : Évaluation synthèse des systèmes proposés

Système	Réponse au besoin
<p>Entrepôt-silo automatisé</p> <p>Capacité effective de 4 000 t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacité d'entreposage maximisée par l'utilisation de convoyeurs.</li> <li>• Durabilité et fiabilité sous toutes conditions d'opération, surtout grâce au système de relève.</li> <li>• Simplicité d'utilisation maximale due à l'automatisme.</li> <li>• Manipulations du sel réduites au minimum.</li> <li>• Respect des normes puisque le sel n'entre pas en contact avec le personnel ou l'environnement.</li> <li>• Contrôle des quantités à l'entrée et à la sortie grâce aux convoyeurs et inventaire précis.</li> <li>• Circulation réduite des camions.</li> </ul>
<p>Deux igloos avec convoyeur mobile pour l'entreposage et un chargeur pour le chargement.</p> <p>Capacité effective de 6 000 t</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comme pour igloo 2.</li> <li>• Partage des équipements de base tel le chargeur et le convoyeur.</li> </ul>

**Tableau 25 : Évaluation synthèse des systèmes proposés**

Les systèmes proposés répondent donc aux besoins du Ministère. Il s'agit maintenant d'évaluer leur capacité de répondre aux divers principes de gestion des stocks. Ces principes sont décrits au chapitre suivant. Ils serviront de guide de décision pour orienter les recommandations.

## GESTION DES STOCKS

Plusieurs systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium sont proposés. Il faut, à ce point de l'étude, établir leur capacité à satisfaire les besoins par rapport aux coûts globaux et ce, en considérant le contexte d'application idéal de chacun d'eux. Ce chapitre clarifie donc les notions requises afin de recommander les systèmes sur une base rigoureuse. D'abord, il faut envisager les principes de gestion des stocks. Cet élément place dans une optique plus large les systèmes et présente les variables globales à considérer.

### Gestion des stocks

Chacune des solutions répond aux besoins du Ministère à sa façon. Mais pour choisir quelle solution est la plus efficace à chaque site, il faut tenir compte de plusieurs facteurs dont l'état actuel de l'entrepôt et le mode de gestion des stocks à adopter.

Avant de recommander une solution ou une autre, ou même une méthode de sélection de la meilleure solution, les concepts de base de gestion des stocks sont introduits.

#### **Concepts de base**

Le but ultime d'un inventaire est de répondre à la demande et ce, au moindre coût. Pour ce faire, l'optimisation de *l'ensemble des paramètres en jeu* permet de maximiser le rendement des opérations hivernales. D'ailleurs, le coût d'entreposage du sel, un des éléments couverts dans le mandat actuel, ne constitue qu'un volet d'un projet d'optimisation global dans lequel il faut obtenir l'équilibre entre les paramètres suivants :

- **Le niveau de service désiré** : dans le cas des entrepôts de sel et dans le contexte de la viabilité hivernale, ce niveau est très élevé (les gestionnaires visent 100 %). Aucun gestionnaire ne désire manquer de sel, car les conséquences et les coûts d'une pénurie pourraient être très importants; par contre, il est très difficile de prévoir la consommation saisonnière du sel et même sa disponibilité au dépôt du fournisseur (selon le contrat, il doit être livré à l'intérieur de trois jours, pour l'instant).
- **Le coût d'entreposage du sel** : c'est-à-dire le coût du système qui est l'élément à optimiser dans le cadre du mandat actuel; il comprend le coût de construction, d'opération et d'entretien de l'entrepôt, de l'équipement et de son entretien, des taxes (exclues du présent mandat) et assurances si applicable, du matériel contaminé ou détérioré s'il est mal conservé.
- **Le coût de commande du sel** : qui peut augmenter en fonction du nombre de fois que l'on commande du sel, à moins de négocier des ententes préalables avec les fournisseurs et d'utiliser des moyens de commande plus efficaces.
- **Le coût du transport du sel** : qui peut aussi augmenter en fonction de la localisation du site par rapport à la source d'approvisionnement.

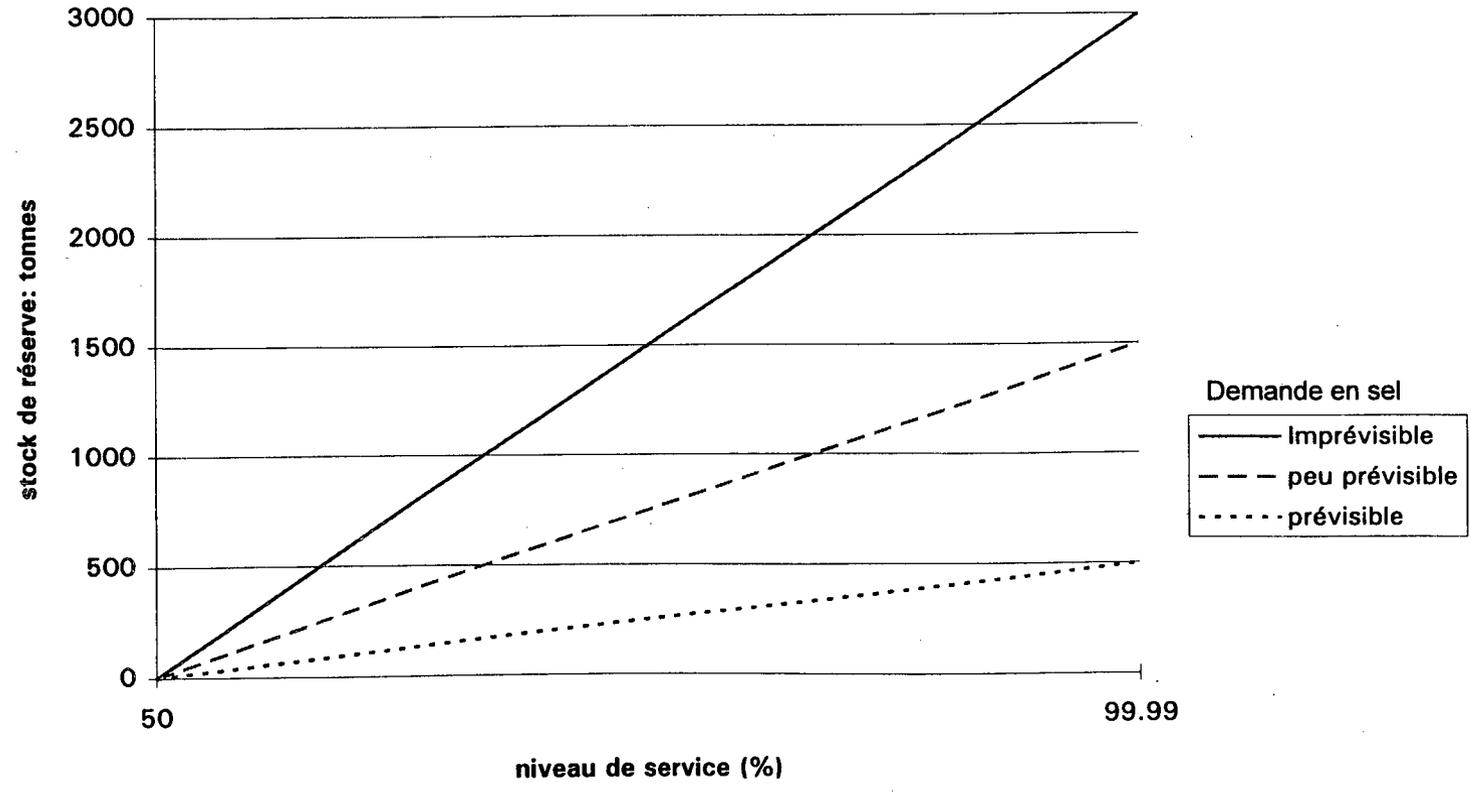
- **Le coût de la main d'oeuvre nécessaire.**
- **La quantité économique à commander**, qui elle-même est fonction de la consommation, du coût de la commande et du coût d'inventaire.

De plus, plusieurs types d'inventaire peuvent être considérés. Dans le cas présent, on retrouve un *inventaire d'anticipation*, que l'on bâtit d'avance pour l'utilisation d'une saison, que l'on complète d'un *inventaire de fluctuation* que l'on garde, car il est difficile de prévoir la demande avec justesse. Les fluctuations sont couvertes par un stock de sécurité ou de réserve dont la quantité est fonction de :

- l'habileté à prévoir la demande avec précision (déviations absolues);
- le temps avant d'obtenir la commande (délai de livraison);
- l'habileté à gérer ce temps de livraison (ententes);
- la quantité demandée (selon les statistiques météo);
- le niveau de service désiré (ruptures de stock).

Tel qu'il est illustré à la figure 17, pour un niveau de service donné, si la prévision de la demande est exacte, le stock de réserve peut être petit. Par contre, comme dans le cas de la consommation de sel déglaçant, la demande est difficilement prévisible; aussi faut-il prévoir un stock de réserve important dans chaque site. En effet, un niveau de service de 50 % indique qu'on peut répondre à la demande 50 % du temps; il n'est donc pas nécessaire d'avoir de stock de réserve. Dans le cas qui nous occupe, les gestionnaires visent un niveau de service de près de 100 %. Il faut donc prévoir un bon stock de réserve dont les coûts sont importants.

Figure 17 : Niveaux du stock de réserve par rapport au niveau de service



SOURCE : G.W. Plossl et O.W. Wight, *Production and inventory control*, p. 109.

### **Autres considérations**

D'autres considérations sont à envisager dans la gestion des stocks de sel. Il s'agit du délai de disponibilité du sel et du volume de livraison. Ces éléments, combinés aux précédents, permettent de calculer le seuil de commande et le niveau de stock maximum à conserver (capacité de l'entrepôt).

Des améliorations dans les ententes avec les fournisseurs permettent de réduire les quantités livrées chaque fois. Il est alors possible de réduire les dimensions des entrepôts, ce qui entraîne aussi une diminution dans le délai de disponibilité. Celui-ci diminuant, il détermine un abaissement du point de commande, ce qui permet alors de diminuer encore davantage la quantité à livrer. Cette dynamique s'établit, jusqu'à ce que l'approvisionnement en sel se fasse entièrement selon le concept juste à temps.

Ce sont donc les ententes avec les fournisseurs qui représentent le premier facteur déterminant de ces progrès. Or, cette façon de procéder (plusieurs petites commandes au lieu d'une seule grosse) expose le Ministère à autant de risques de ruptures de stocks, comme l'illustre la figure 18 de la page suivante. Aussi, pour un niveau de service élevé, tel qu'il est souhaité dans le cas des entrepôts de sel, une augmentation de la quantité commandée, donc une réduction de la fréquence des commandes est préférable. En effet, elle réduit le nombre de ruptures de stocks.

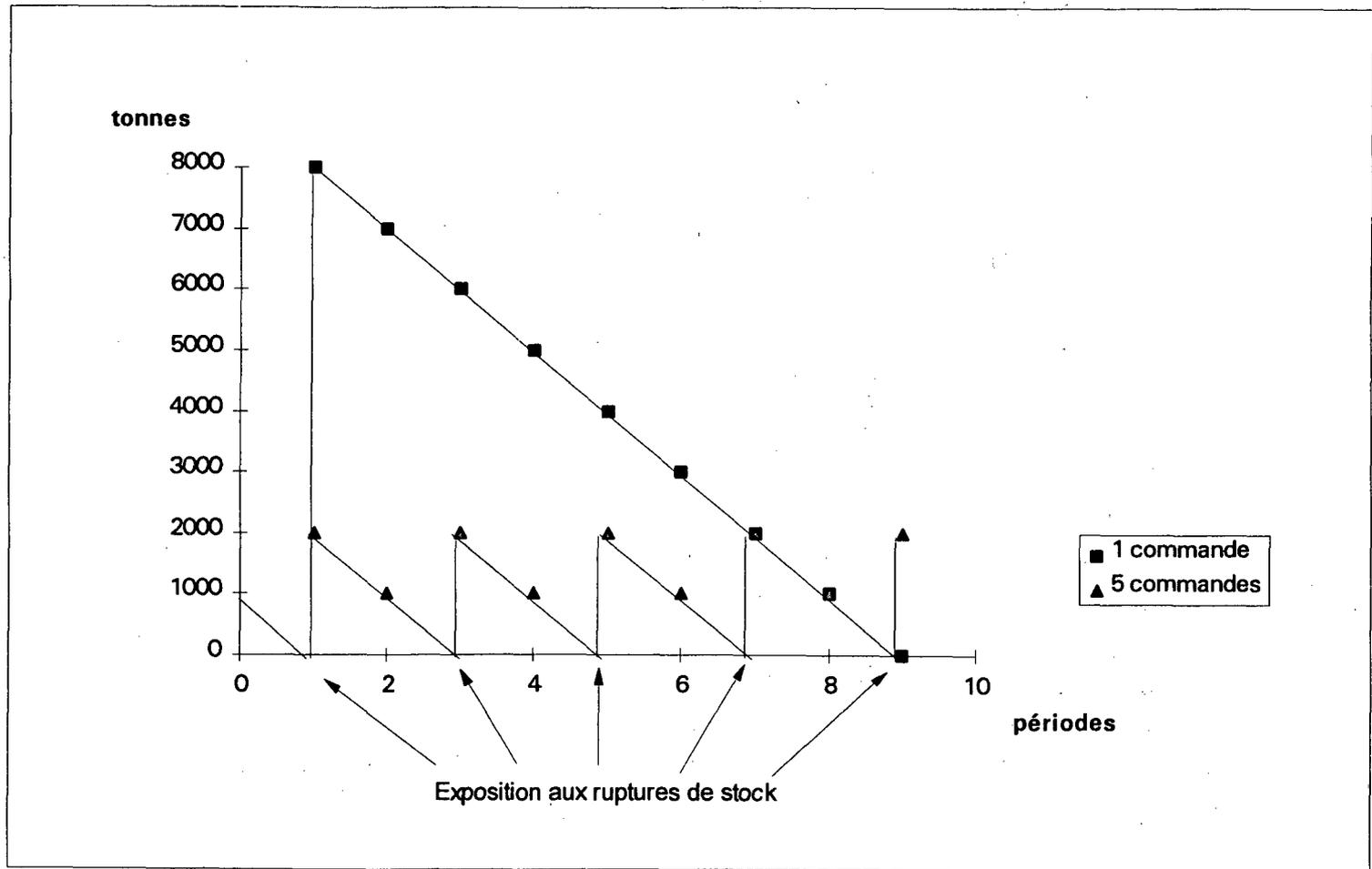
Pour illustrer ces concepts, la consommation journalière a été considérée comme constante. Or, dans la réalité, cette donnée est variable, puisqu'elle dépend directement des conditions météorologiques, ce qui complique le problème. En fait, la consommation peut soit augmenter par rapport aux prévisions, soit diminuer et ce, avant le déclenchement de la commande (causant des problèmes légers tels que stock de réserve inutile) ou après (conséquences potentiellement importantes telles que ruptures de stock).

En résumé, si on veut diminuer le volume de stockage maximum, donc *la dimension des entrepôts*, condition préalable à l'application des résultats de cette étude, il faut :

- **Diminuer le stock de réserve** prévu pour pallier les irrégularités de la consommation par une gestion cas par cas. Il faut de plus s'assurer de ne pas perdre de capacité d'approvisionnement des fournisseurs (problèmes de main-d'oeuvre, de camions ou de sel défectueux). Ce changement dans la gestion des stocks peut impliquer une exposition plus fréquente à des ruptures. Ce risque doit être géré avec soin, car la demande en sel est toujours imprévisible.
- **Diminuer le volume des livraisons** en négociant avec les fournisseurs l'adoption d'équipements de livraison performants et la réduction du délai de livraison. La synchronisation et le nivellement de la demande, s'ils étaient possible, permettraient aussi de réduire les volumes de livraison.

Dans le contexte de la gestion du sel, ces deux actions s'avèrent difficiles à réaliser. La consommation restera irrégulière et les ruptures de stock, seront toujours indésirables. Le seul aspect qu'il est possible d'optimiser est la réduction du délai de livraison.

Figure 18 : Exposition aux ruptures des stocks par rapport à la fréquence des commandes



SOURCE : G.W. Plossl et O.W. Wight; *Production and inventory control*, p. 109.

### **Le juste à temps**

Les contraintes causées par les fournisseurs sont un des aspects les plus problématiques des entreprises. Les livraisons rares, des sources d'approvisionnement dispersées et éloignées nécessitent des stocks importants et influencent donc, *cas par cas*, la fréquence et le volume des livraisons aux entrepôts.

En fait, 10 conditions s'appliquent lorsqu'on veut s'approvisionner en juste à temps. Ces conditions sont difficilement applicables dans le contexte où la demande en sel est imprévisible et où les ruptures des stocks, sont tout à fait indésirables comme actuellement.

Les 10 conditions du juste à temps, adaptées au contexte actuel des entrepôts de sel, sont :

1. s'approvisionner en sel suffisamment pour satisfaire à la demande, lorsque le sel est nécessaire et sans constituer de stocks;
2. avoir des délais d'approvisionnement très courts et une grande souplesse pour répondre à la demande fluctuante;
3. ne s'approvisionner qu'en très petites quantités et oublier donc l'achat en lots importants et la notion de quantité économique;
4. n'acheter que les quantités immédiatement nécessaires;
5. éviter les attentes et les pertes de temps, donc renoncer à un stockage centralisé;
6. apporter les matières (sel et sable) à l'endroit où elles sont nécessaires au lieu de les stocker dans des entrepôts;
7. avoir une excellente fiabilité des équipements pour que le sel soit disponible en tout temps;
8. maîtriser la qualité du sel pour écarter tout problème (agglomération et contamination) et, par conséquent, éviter une probabilité de non-disponibilité du stock;
9. n'acheter que du sel de qualité garantie de façon à éviter la possibilité de rupture des stocks;
10. avoir un personnel polyvalent capable de s'adapter aux nouvelles méthodes de gestion et d'opération et comprenant les nouveaux objectifs de l'entreprise.

Pour tendre vers une telle façon de s'approvisionner sans nécessairement appliquer le juste à temps pur, le Ministère doit simplifier son processus, collaborer avec son personnel, ses clients et ses fournisseurs, et gérer ses stocks site par site.

## RECOMMANDATIONS

À partir des principes de gestion des stocks, les systèmes proposés sont analysés. Les contextes d'utilisation sont ainsi définis en fonction de la capacité à satisfaire les différents besoins dans les différentes situations. Il est ensuite possible d'établir quels sont les systèmes les moins coûteux répondant mieux aux exigences du Ministère. Cette dernière étape permet d'énoncer les recommandations.

### **Évaluation des systèmes selon les volumes saisonniers et les modes de gestion des stocks**

Les principes de gestion des stocks apportent un éclairage nouveau permettant d'évaluer le potentiel de chaque système à répondre aux besoins qui varient d'un contexte à l'autre. En effet, les besoins saisonniers ne sont pas les mêmes pour toutes les régions. Il faut donc chercher à déterminer quel système répond le mieux aux exigences. Pour ce faire, une grille d'analyse a été développée pour orienter la prise de décision vers les recommandations optimales.

Le choix du meilleur système se fait donc d'abord en fonction du volume saisonnier consommé et, ensuite, en fonction de la capacité requise de l'entrepôt, déterminée par le mode de gestion des stocks du Ministère. Si ce mode de gestion détermine qu'un seul remplissage par hiver est préférable pour ne pas risquer de rupture des stocks, alors, la capacité de l'entrepôt doit être égale au volume saisonnier. Sinon, la capacité de l'entrepôt ne pourra absorber qu'une fraction du volume saisonnier selon le nombre de remplissages souhaités par hiver. Lorsque la capacité de l'entrepôt est fixée, le choix du système se fait en fonction du volume annuel, du type de terrain et du coût par mètre cube.

La grille des pages 103 et 104 permet de déterminer la capacité préférable des entrepôts selon les volumes saisonniers et les modes de gestion des stocks. En tenant compte des principes de gestion et d'après notre compréhension de la problématique, il faut considérer que :

- Les cas où un ou deux remplissages, par saison, sont requis ne comportent pas ou peu de risque de rupture des stocks, puisqu'il n'y a qu'une ou deux éventualités de rupture dans la saison. Le MTQ peut donc aisément faire face à cette situation.
- Les cas où trois à cinq remplissages, par saison, sont requis représentent un risque moyen. En effet, il est possible de planifier les remplissages des entrepôts dans des conditions favorables, le risque de rupture des stocks est facile à gérer.
- Les cas où entre cinq et huit remplissages, par saison, sont requis comportent un risque de rupture élevé amoindri si l'entrepôt est près de la source d'approvisionnement. En effet, il faut planifier, dans ce contexte, plusieurs livraisons par hiver. Il faut aussi tenir compte de l'éventualité de ne pouvoir assurer 100 % de niveau de service. À partir de ce stade, les systèmes ne sont plus recommandables si l'on considère les principes énoncés plus tôt.

- Selon ce qui vient d'être énoncé, les cas où plus de huit remplissages sont requis comportent des risques très élevés de rupture des stocks. Cette situation n'est donc pas recommandée dans ce contexte.

Selon cette grille d'analyse, il est possible de recommander un entrepôt dont la capacité représente au plus un cinquième du volume saisonnier. C'est donc dire qu'environ cinq remplissages au maximum seraient requis dans une saison, soit au plus une fois par mois. Il est possible dans certains cas de gérer cette situation. Toutefois, la proximité du dépôt de sel, les conditions climatiques de la région où se trouve le site, influencent cette décision. En effet, des conditions difficiles d'approvisionnement impliquent de prévoir une diminution du nombre de livraisons annuelles. Dans ce contexte, une ou deux livraisons par année serait préférables.

La section suivante reprend les systèmes proposés et définit le contexte d'utilisation le plus approprié.

### **Évaluation des systèmes proposés**

À partir de la grille d'analyse et du sommaire des coûts des systèmes, tableau 23, il est maintenant possible de préciser le cadre d'application des systèmes. Ceux-ci doivent satisfaire les besoins et atteindre les objectifs du Ministère. Ils doivent, de plus, obtenir un niveau de risque acceptable. Le choix final est fondé sur le coût le plus bas.

#### ***Consommation hivernale de moins de 500 tonnes***

Dans le cadre d'une consommation hivernale de moins de 500 tonnes (10 % des cas), deux systèmes répondent au besoin :

- Igloo de 22 mètres de diamètre, d'une capacité de 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement avec chargeur, coût : 592 \$/tonne.
- Entrepôt rectangulaire, d'une capacité de 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement avec chargeur, coût : 450 \$/tonne.

***Ce dernier système est donc recommandé pour un volume saisonnier de moins de 500 tonnes*** parce qu'il répond aux besoins de manipulation, d'approvisionnement saisonnier, de conditions de travail sécuritaires au coût le plus bas.

Tableau 26 : Grille d'analyse

Volume saisonnier	SYSTÈMES PROPOSÉS					
	Igloo avec chargeur ou entrepôt rectangulaire avec chargeur	Semi-caveau	Igloo actuel avec chargeur ou entrepôt rectangulaire avec chargeur	Igloo actuel avec convoyeur ou entrepôt rectangulaire avec convoyeur	Entrepôt-silo	2 igloos avec convoyeurs
	<i>Capacité effective: 500 t</i>	<i>Capacité effective: 1 000 t</i>	<i>Capacité effective: 1 500 t</i>	<i>Capacité effective: 3 000 t</i>	<i>Capacité effective: 4 000 t</i>	<i>Capacité effective: 6 000 t</i>
20 000 t consommation très élevée  5% des sites actuels*	Entreposage très fréquent  risque très élevé de rupture de stock: non recommandé	Entreposage très fréquent entre 8 et 20 fois  risque très élevé de rupture	Entreposage très fréquent entre 6 et 14 fois  risque très élevé de rupture	Entreposage fréquent entre 3 et 7 fois  risque de rupture élevé	Entreposage peu fréquent entre 2 et 5 fois  risque moyen de rupture	Entreposage peu fréquent entre 2 et 4 fois  risque moyen de rupture
8 000 t consommation élevée  39% des sites actuels	Entreposage très fréquent entre 6 et 16 fois  risque très élevé de rupture de stock	Entreposage fréquent entre 3 et 8 fois  risque de rupture élevé	Entreposage peu fréquent entre 2 et 5 fois  risque moyen de rupture	Entreposage peu fréquent entre 1 et 3 fois  peu de risque	Entreposage entre 1 et 2 fois  peu de risque	Entreposage entre 1 et 2 fois  peu de risque

95

\* La moitié de ceux-ci est près des dépôts des fournisseurs, l'autre moitié est considérée loin de ces dépôts

Tableau 26 : Grille d'analyse

Volume saisonnier	SYSTÈMES PROPOSÉS					
	Igloo avec chargeur ou entrepôt rectangulaire avec chargeur	Semi-caveau	Igloo actuel avec chargeur ou entrepôt rectangulaire avec chargeur	Igloo actuel avec convoyeur ou entrepôt rectangulaire avec convoyeur	Entrepôt-silo	2 igloos avec convoyeurs
	<i>Capacité effective: 500 t</i>	<i>Capacité effective: 1 000 t</i>	<i>Capacité effective: 1 500 t</i>	<i>Capacité effective: 3 000 t</i>	<i>Capacité effective: 4 000 t</i>	<i>Capacité effective: 6 000 t</i>
3 000 t consommation moyenne  <b>32% des sites actuels</b>	Entreposage fréquent entre 3 et 6 fois  <b>risque de rupture élevé</b>	Entreposage peu fréquent entre 2 et 3 fois  <b>risque moyen de rupture</b>	Entreposage entre 1 et 2 fois  <b>peu de risque</b>	Entreposage une seule fois  <b>pas de risque</b>	N'optimise pas l'espace  <b>Non recommandé</b>	N'optimise pas l'espace  <b>Non recommandé</b>
1 500 t consommation faible  <b>14% des sites actuels</b>	Entreposage peu fréquent entre 1 et 3 fois  <b>peu de risque</b>	Entreposage peu fréquent entre 1 et 2 fois  <b>peu de risque</b>	Entreposage une seule fois  <b>pas de risque</b>	N'optimise pas l'espace  <b>Non recommandé</b>		
500 t consommation très faible  <b>10,3% des sites actuels</b>	Entreposage une seule fois  <b>pas de risque</b>	N'optimise pas l'espace  <b>Non recommandé</b>				

### **Consommation hivernale entre 500 et 1 500 tonnes**

Dans le cadre d'une consommation hivernale qui varie entre 500 et 1 500 tonnes (14% des cas), cinq systèmes peuvent être intéressants :

- Igloo actuel de 30 mètres de diamètre, d'une capacité de 1 500 tonnes, avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur, qui ne comporte pas de risque de rupture des stocks, coût : 253 \$/tonne.
- Entrepôt rectangulaire, d'une capacité de 1 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur, qui ne comporte pas de risque de rupture des stocks, coût : 303 \$/tonne.
- Semi-caveau d'une capacité de 1 000 tonnes, qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 261 \$/tonne et plus, si le terrain naturel n'est pas dénivélé.
- Igloo de 22 mètres de diamètre, d'une capacité de 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement avec chargeur, qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 210 \$/tonne.
- Entrepôt rectangulaire, d'une capacité de 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur, qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 162 \$/tonne.

***L'entrepôt rectangulaire de 500 tonnes est donc recommandé pour une consommation hivernale de 500 à 1 500 tonnes.*** Toutefois, si la localisation de l'entrepôt présente des difficultés d'approvisionnement majeures, l'igloo actuel de 30 mètres de diamètre d'une capacité de 1 500 tonnes comblerait mieux les besoins du MTQ.

### **Consommation entre 1 500 et 3 000 tonnes**

Dans le cas d'un volume saisonnier de 1 500 à 3 000 tonnes (32 % des cas), cinq systèmes prépondent aux besoins :

- Igloo actuel de 30 mètres de diamètre, d'une capacité de 3 000 tonnes avec modes d'entreposage par convoyeur et de chargement par chargeur, qui ne comporte pas de risque de rupture des stocks, coût : 153 \$/tonne.
- Entrepôt rectangulaire, d'une capacité de 3 000 tonnes avec modes d'entreposage par convoyeur et de chargement par chargeur, qui ne comporte pas de risque de rupture des stocks, coût : 178 \$/tonne.
- Igloo actuel de 30 mètres de diamètre, d'une capacité de 1 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur, qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 136 \$/tonne.

- Entrepôt rectangulaire, d'une capacité de 1 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur, qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 161 \$/tonne.
- Semi-caveau d'une capacité de 1 000 tonnes qui comporte un risque moyen de rupture des stocks, coût : 136 \$/tonne et plus, si le terrain naturel n'est pas dénivélé.

***L'igloo actuel d'une capacité de 1 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur est donc recommandé dans le cas d'une consommation de 1 500 à 3 000 tonnes par saison.*** Cependant, si le risque de rupture des stocks est plus élevé à cause des conditions d'approvisionnement, le même entrepôt pourrait être équipé d'un convoyeur augmentant ainsi sa capacité effective à 3 000 tonnes.

### **Consommation hivernale de 3 000 à 8 000 tonnes**

Si la consommation hivernale est de 3 000 à 8 000 tonnes (39 % des cas), les systèmes qui répondent aux besoins sont :

- Deux igloos de 30 mètres de diamètre, d'une capacité effective de 6 000 tonnes chacun avec modes d'entreposage avec convoyeur et mode de chargement avec chargeur, qui comportent peu de risque de rupture des stocks, coût : 134 \$/tonne.
- Entrepôt-silo automatisé de 4 000 tonnes qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 189 \$/tonne.
- Igloo actuel de 30 mètres de diamètre, d'une capacité de 3 000 tonnes avec modes d'entreposage par convoyeur et de chargement par chargeur, qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 67 \$/tonne.
- Entrepôt rectangulaire, d'une capacité de 3 000 tonnes avec modes d'entreposage par convoyeur et mode de chargement par chargeur, qui comporte peu de risque de rupture des stocks, coût : 77 \$/tonne.
- Igloo actuel de 30 mètres de diamètre, d'une capacité de 1 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur, qui comporte un risque moyen de rupture des stocks, coût : 62 \$/tonne.
- Entrepôt rectangulaire, d'une capacité de 1 500 tonnes avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur, qui comporte un risque moyen de rupture des stocks, coût : 72 \$/tonne.

***Donc, pour une consommation hivernale de 3 000 à 8 000 tonnes, l'igloo actuel avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur est recommandé.*** Dans ce cas, il faut toutefois nuancer la recommandation. En effet, les gros volumes sont plus sujets à une rupture des stocks. Si des difficultés d'approvisionnement sont prévues, le MTQ ne doit pas hésiter à équiper l'igloo de convoyeur, diminuant ainsi les risques.

### **Consommation hivernale de plus de 8 000 tonnes**

Enfin, pour une consommation très élevée de plus de 8 000 tonnes (5 % des cas) par hiver, deux systèmes peuvent satisfaire les besoins :

- Deux igloos de 30 mètres de diamètre, d'une capacité de 3 000 tonnes chacun avec mode d'entreposage avec convoyeur commun et mode de chargement avec chargeur, qui comportent un risque moyen de rupture des stocks, coût : 72 \$/tonne.
- Entrepôt-silo automatisé de 4 000 tonnes qui comporte un risque acceptable de rupture des stocks, coût : 75 \$/tonne.

***Deux igloos de 30 mètres de diamètre est la solution recommandée pour une consommation de plus de 8 000 tonnes.***

### **Synthèse des recommandations**

Les recommandations découlant de l'évaluation des systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium se résument ainsi :

1. Appliquer, lorsque jugé pertinent, les différentes options qui améliorent le fonctionnement des systèmes des entrepôts actuels :
  - agrandir la porte;
  - utiliser un plus gros chargeur pour un volume saisonnier de plus de 1 500 tonnes;
  - ventiler les igloos;
  - installer une balance.
2. Construire des installations permanentes telles que l'igloo ou l'entrepôt rectangulaire avec fondations à l'épreuve du gel.
3. Pour une consommation de moins de 1 500 tonnes de chlorure de sodium par saison (24 % des sites), installer un entrepôt rectangulaire d'une capacité effective de 500 tonnes, avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur.
4. Pour une consommation de 1 500 à 8 000 tonnes de sel par hiver (71 % des sites), conserver l'igloo actuel de 30 mètres de diamètre avec modes d'entreposage et de chargement par chargeur. S'il y a risque de problèmes d'approvisionnement, équiper l'igloo d'un convoyeur pour l'entreposage afin d'optimiser le volume d'entreposage.
5. Pour une consommation de plus de 8 000 tonnes (5 % des sites), installer deux igloos de 30 mètres de diamètre avec mode d'entreposage par convoyeur et mode de chargement par chargeur.

Tel qu'il est décrit à la section *Gestion des stocks*, les recommandations 3, 4 et 5 dépendent des principes de gestion retenus par le MTQ. Dans le cadre de ce rapport, il est proposé de minimiser les risques de ruptures de stock tout en gérant ceux-ci dans une certaine mesure.

Un des éléments qui devait être considéré dans l'évaluation est l'amélioration des modes d'opération. Le diagnostic à ce sujet avait été posé à la section *Analyse des processus actuels* du chapitre sur le processus actuel et l'analyse des besoins. L'ensemble des études réalisées met en évidence que les systèmes actuels possèdent un fonctionnement simple et souple qui permet au MTQ de disposer du sel dont il a besoin.

En ce qui concerne les opérations de gestion qui alourdissent le processus, une analyse est à faire. En effet, les systèmes influencent peu la gestion du sel, la documentation requise et les processus autres que ceux d'entreposage et de chargement.

Enfin, les opérations liées à la qualité du sel, pour être améliorées, demandent une révision des ententes avec les fournisseurs et une remise en question des façons de faire liées à la vérification.

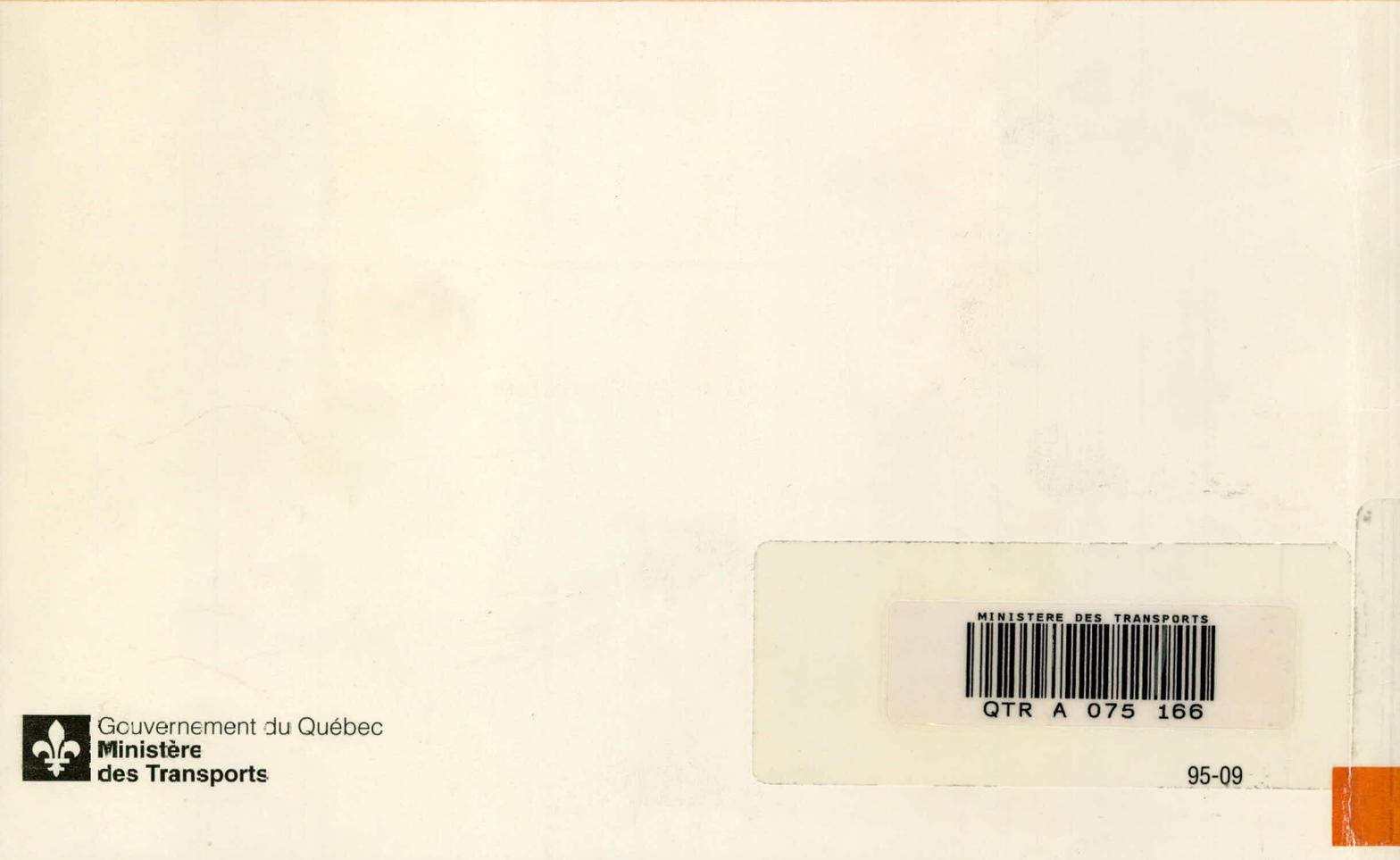
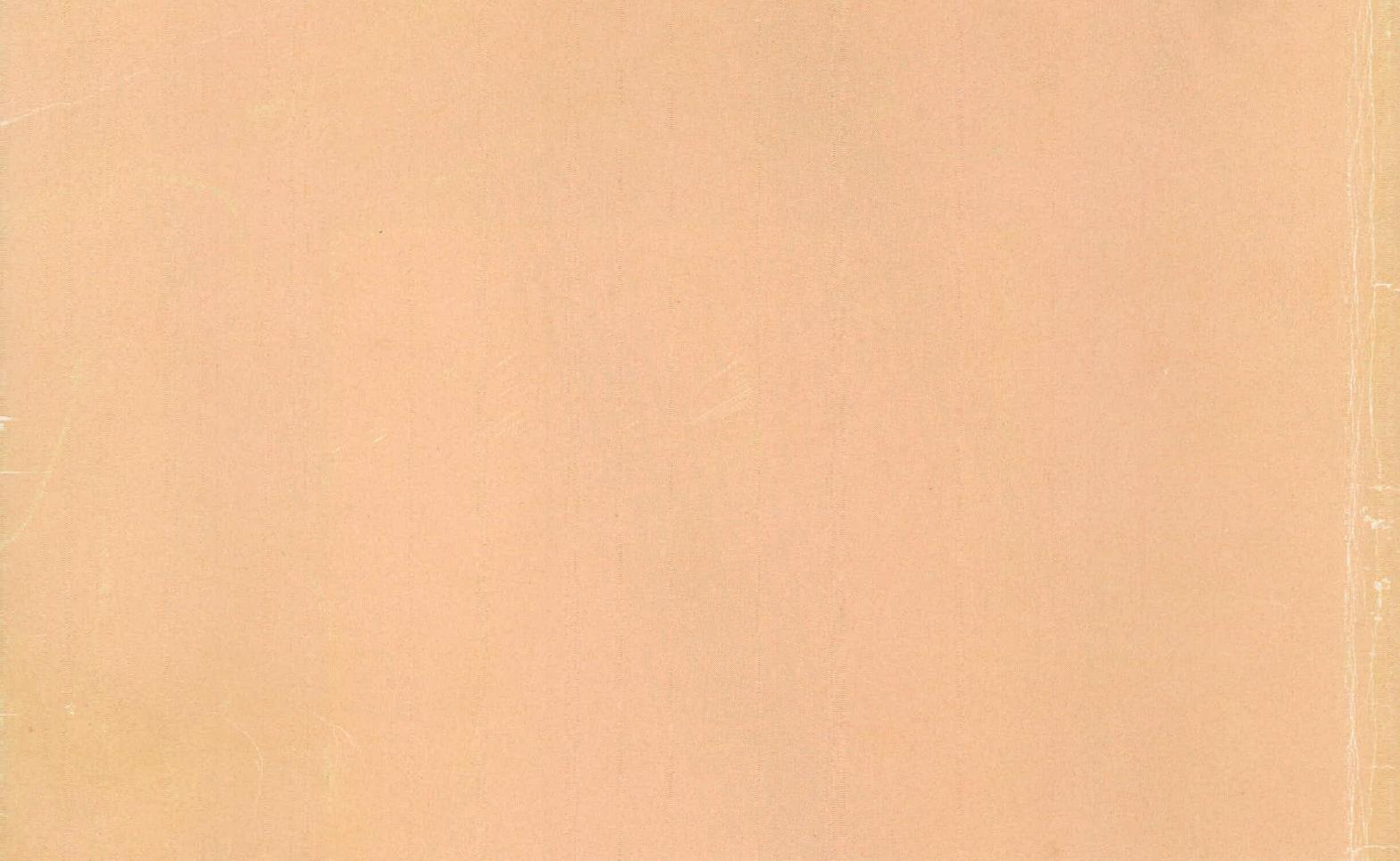
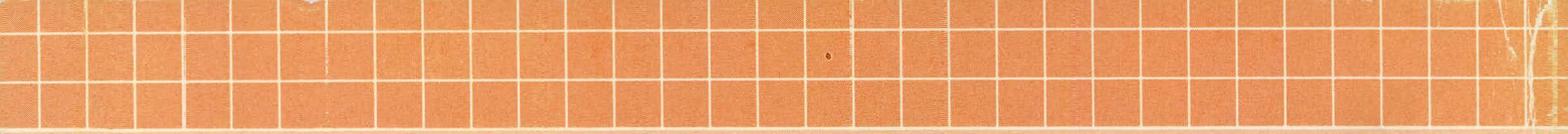
## CONCLUSION

Les systèmes d'entreposage et de chargement de chlorure de sodium doivent répondre à plusieurs besoins. De plus, la problématique liée aux systèmes traite des difficultés associées à l'environnement, à la manutention, à la possibilité de faire des manoeuvres sécuritaires et efficaces, aux conditions de travail difficiles ainsi qu'à la question imprécise des quantités. C'est pourquoi les recommandations apportent, d'une part, des options répondant aux difficultés liées aux installations existantes et, d'autre part, diverses propositions pour de nouvelles installations selon les volumes saisonniers consommés.

Les recommandations répondent à la problématique (présentée au chapitre *Revue de la situation actuelle*) de la manière suivante :

1. **Protection de l'environnement** : la dalle de béton bitumineux isole le sol d'un contact avec le sel. Il est toutefois important de prendre soin, lors de l'entreposage et du chargement, d'éviter d'échapper le sel et, si tel est le cas, de bien le ramasser. L'option liée à la construction d'un bassin de rétention empêche le sel de se propager dans l'environnement et permet aussi de le récupérer facilement.
2. **Manipulation du sel** : l'option liée à l'augmentation de la capacité du chargeur, tout comme l'utilisation d'un convoyeur, le semi-caveau et l'entrepôt-silo permettent de diminuer le nombre de manipulation.
3. **Les manoeuvres sécuritaires et efficaces** : l'option qui propose l'agrandissement de la porte des entrepôts et l'option qui propose d'installer une rampe de chargement, visent à faciliter les opérations de chargement.
4. **Les conditions de travail** : l'option qui suggère d'installer des ventilateurs dans les igloos et celle qui propose de grossir le chargeur améliorent les conditions de travail. En effet, les produits irritants seront plus vite éliminés par la ventilation et l'augmentation de la capacité du chargeur diminuera le temps des émanations de monoxyde de carbone.
5. **Le contrôle des quantités** : l'installation d'une balance au site permet de mieux gérer les quantités de sel consommées.
6. **Les conditions d'opération** : les trois systèmes proposés, l'entrepôt rectangulaire, l'igloo actuel et l'entrepôt-silo, permettent de répondre de façon optimale aux conditions qui varient d'un site à l'autre.

Les recommandations permettent aussi de satisfaire les critères énoncés par le MTQ. En fait, les options apportent aux systèmes actuels qui sont recommandés les fonctions nécessaires pour qu'ils remplissent toutes les exigences du MTQ. Ce mandat démontre que lorsqu'un système est simple, souple et performant, il est difficile de l'optimiser.



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 075 166

95-09