Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

L'HYDROXYDE DE SODIUM

TP
245
.S7
S6314
1984

Canada

juillet 1984

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

TP
245
.S7
S63
1984

collection
ENVIROGUIDE

L'HYDROXYDE DE SODIUM

CENTRE DE DOCUMENTATION CSL
103, McGILL, 2ième étage
MONTRÉAL (Québec) H2Y 2E7
Tél.: (514) 283-2762
Fax: (514) 283-2451

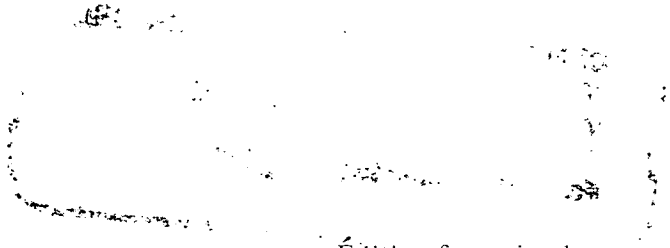
SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
JUILLET 1984
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication distribuée par la Section des publications
du Service de la protection de l'environnement,
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8



Édition française de
Sodium Hydroxide
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. En 48-10/12-1984F
ISBN 0-662-92902-0
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VIII
	Liste des tableaux	VIII
	Abréviations et symboles	IX
	Définitions	XI
	Sigles	XII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	3
3	**Production, transport et commerce**	13
3.1	Qualités et titres des produits	13
3.2	Fabricants au Canada	13
3.3	Autres fournisseurs ou distributeurs	14
3.4	Principaux itinéraires empruntés pour le transport	14
3.5	Volume de production	15
3.6	Fabrication industrielle	15
3.6.1	Information générale	15
3.6.2	Gisements et extraction de matières premières	15
3.6.3	Traitement des matières premières	16
3.6.4	Procédés de fabrication	16
3.6.5	Sous-produits et produits associés	18
3.7	Principales utilisations au Canada	19
3.8	Principaux acheteurs au Canada	19
4	**Manutention du produit et compatibilité**	21
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	21
4.1.1	Transport en vrac	21
4.1.1.1	Wagons-citernes	21
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	25
4.1.1.3	Citernes transportables	25
4.1.2	Récipients d'expédition	27
4.2	Déchargement	28
4.2.1	Matériel et techniques de déchargement des wagons-citernes	28
4.2.2	Matériel et techniques de déchargement des véhicules-citernes routiers	35
4.2.3	Spécifications et matériaux de fabrication du matériel de déchargement	35
4.3	Compatibilité avec les matériaux	43
5	**Fuite et migration du produit**	44
5.1	Aperçu général	44
5.2	Nomogrammes des fuites	44
5.2.1	Introduction	44
5.2.2	Nomogrammes	45
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	45
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps	45
5.2.3	Exemples de calcul	45
5.3	Dispersion dans l'atmosphère	45
5.4	Comportement dans l'eau	47
5.4.1	Introduction	47
5.4.2	Nomogrammes	47
5.4.2.1	Nomogrammes s'appliquant aux cours d'eau non soumis à la marée	48
5.4.2.2	Nomogrammes s'appliquant aux lacs et aux plans d'eau calme	48
5.4.3	Exemple de calcul	58
5.4.3.1	Teneur en polluant dans un cours d'eau non soumis aux marées	58

5.4.3.2	Teneur moyenne en polluant dans les lacs ou les plans d'eau calme	58
5.5	Comportement sous la surface	59
5.5.1	Introduction	59
5.5.2	Équations décrivant le mouvement de l'hydroxyde de sodium dans le sol	59
5.5.3	Coefficient de perméabilité en milieu saturé de l'hydroxyde de sodium	59
5.5.4	Types de sol	61
5.5.5	Nomogrammes de migration	61
5.5.6	Exemple de calcul	66
6	**Protection de l'environnement**	67
6.1	Limites proposées ou imposées	67
6.1.1	Qualité de l'eau	67
6.1.2	Qualité de l'air	67
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	67
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux Etats-Unis	67
6.2.2	Mesures de toxicité	67
6.2.2.1	Toxicité en eau douce	67
6.2.2.2	Toxicité en eau salée	68
6.3	Études sur le milieu aquatique	68
6.4	Études des effets	69
6.5	Dégradation	69
7	**Protection de la santé**	70
7.1	Normes d'exposition recommandées	70
7.2	Données sur l'irritation	70
7.2.1	Contact avec la peau	70
7.2.2	Contact avec les yeux	71
7.3	Seuil de perception des propriétés	71
7.3.1	Odeur	71
7.3.2	Goût	71
7.4	Études à long terme	71
7.4.1	Inhalation	71
7.4.2	Ingestion	73
7.4.3	Exposition intrapéritonéale	73
7.4.4	Données sur la mutation	73
7.5	Symptômes d'exposition	73
7.5.1	Inhalation	73
7.5.2	Ingestion	74
7.5.3	Contact avec la peau	74
7.5.4	Contact avec les yeux	74
7.6	Toxicité pour l'homme des produits de décomposition et de combustion	75
7.6.1	Hydrogène	75
8	**Compatibilité chimique**	76
8.1	Compatibilité de l'hydroxyde de sodium avec divers produits chimiques	76
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	81
9.1	Mesures recommandées	81
9.1.1	Risques d'incendie	81
9.1.2	Agents d'extinction	81
9.1.3	Mesures à prendre en cas de déversements	81
9.1.3.1	Généralités	81
9.1.3.2	Déversements sur le sol	81
9.1.4	Nettoyage et traitement	82
9.1.4.1	Déversements sur le sol	82
9.1.4.2	Déversements dans l'eau	82
9.1.4.3	Généralités	82
9.1.5	Élimination	82
9.1.6	Mesures de protection	82

9.1.7	Précautions spéciales	83
9.2	Équipements, matériel et technique spécialisées d'intervention	84
10	**Cas de déversements accidentels**	85
10.1	Déraillement d'un wagon-citerne	85
11	**Identification et dosage**	86
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)	86
11.1.1	Titrage	86
11.2	Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)	86
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau (analyses quantitatives)	86
11.3.1	Titrage	86
11.3.2	Photométrie de flamme	87
11.4	Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)	87
11.5	Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives)	87
11.5.1	Photométrie de flamme	87
11.6	Dosage du polluant dans le sol (analyse qualitative)	88
12	**Références et bibliographie**	89
12.1	Références	89
12.2	Bibliographie	95

LISTE DES FIGURES

1 Diagramme de phase du point de congélation et du système $NaOH/H_2O$ 9
2 Densité des solutions 10
3 Solubilité dans l'eau 10
4 Tension de vapeur en fonction de la température 11
5 Viscosité en fonction de la température 11
6 Diagramme de phase 12
7 Wagon-citerne – classe 111A6 23
8 Véhicules-citernes routiers 26
9 Fût typique 33
10 Déchargement d'un wagon-citerne 34
11 Perforation de la paroi inférieure d'un wagon-citerne 45
12 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps d'écoulement 46
13 Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement 46
14 Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant dans un cours d'eau non soumis aux marées 49
15 Distance en fonction du temps 50
16 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal 51
17 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique 52
18 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente 53
19 Alpha en fonction de delta 54
20 Teneur maximale en fonction de delta 55
21 Volume d'eau en fonction du rayon 56
22 Teneurs moyennes en fonction du volume d'eau 57
23 Migration dans le sous-sol 60
24 Plan d'utilisation des nomogrammes 62
25 Migration dans le sable grossier 63
26 Migration dans le sable limoneux 64
27 Migration dans le till argileux 65

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 8
2 Spécifications relatives aux wagons-citernes 21
3 Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 111A60W1 24
4 Spécifications relatives aux véhicules-citernes routiers 27
5 Spécifications relatives aux citernes transportables 27
6 Spécifications relatives aux récipients pour l'hydroxyde de sodium anhydre 28
7 Spécifications relatives aux récipients pour les solutions d'hydroxyde de sodium 29
8 Dimensions des fûts en acier 32
9 Dimensions des fûts en fibre 32
10 Compatibilité avec les matériaux 36
11 Matériaux 43

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®-C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales

TT min.	Teneur toxique minimale	V évap.	Vitesse d'évaporation
u	Vitesse du vent	^{o}Bé	Degré Baumé
μ	Viscosité	^{o}C	Degré Celsius
vap	Vapeur	ϕ	Diamètre
vol.	Volume	x	Distance sous le vent
V	Vitesse d'écoulement	₩	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction
V biod.	Vitesse de biodégradation		

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). –Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

L'hydroxyde de sodium se présente comme un solide blanc, en paillettes ou en poudre, ou sous forme de solution aqueuse claire. Ce produit est inodore.

Synonymes
Soude caustique, hydrate de sodium, caustique blanc, lessive alcaline, (sodium hydroxide en anglais).

N^{os} d'identification
UN 1823 (solide); UN 1824 (solutions); CAS 1310-73-2; STCC 4935235 (sec); STCC 4935240 (liquide); STCC 4935243 (solution à 52 p. 100).

Qualités et titres
Qualités habituelles et qualité «rayonne».
Solutions aqueuses: 50 et 73 p. 100 (titres communs).
Anhydre: titre de 98,5 p. 100 (le titre varie selon le fabricant, habituellement de 96 à 99 p. 100).

Dangers immédiats
Incendie. – L'hydroxyde de sodium n'est pas combustible; toutefois, la forme anhydre au contact de l'eau peut générer suffisamment de chaleur pour enflammer des matériaux combustibles.
Effet sur l'homme. – L'hydroxyde de sodium est très corrosif pour tous les tissus s'il y a contact.
Effet sur l'environnement. – L'hydroxyde de sodium à de fortes concentrations est nocif pour les espèces aquatiques.

Données relatives aux propriétés physiques

	Anhydre	Solutions	
		50 %	73 %
État (15 °C; 1 atm)	Solide	Liquide	Solide
Point d'ébullition	1390 °C	140 à 145 °C	188 à 193 °C
Point de fusion	318 °C	12 - 13 °C	62 - 63 °C
Inflammabilité	Non combustible	Non combustible	Non combustible
Masse volumique	2,130 g/cm^3 (20 °C)	1,529 g/cm^3 (15,6 °C)	1,730 g/cm^3 (70 °C)
Solubilité	109 g/100 ml (20 °C)		
Seuil de perception par l'appareil olfactif	Inodores		
Comportement (dans l'eau)	Descend au fond, se dissout et se mélange en produisant de la chaleur.		

Dangers pour l'environnement
L'effet nocif de l'hydroxyde de sodium est surtout une conséquence de l'élévation du pH. La plupart des poissons d'eau douce ne tolèrent pas un pH supérieur à 8,4.

Dangers pour l'homme

Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH): 200 mg/m^3 (poussières ou brumes).

Effets en cas d'inhalation. – Les poussières et les brumes endommagent les voies respiratoires supérieures.

Effets en cas de contact. – Sous forme solide ou liquide, il peut provoquer de graves brûlures à tous les tissus humains. De multiples petites brûlures peuvent être causées par les poussières ou les brumes. Le contact avec les yeux peut provoquer des dommages sévères ou permanents.

Dispositions immédiates à prendre

- En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Avertir le fabricant. Arrêter l'écoulement et confiner le déversement si cela ne présente aucun risque. Éviter l'inhalation et le contact avec les poussières et brumes. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

- En cas d'incendie

L'hydroxyde de sodium n'est pas combustible.

Mesures d'intervention d'urgence

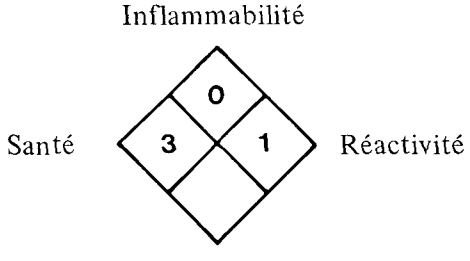
- Hydroxyde de sodium répandu sur le sol

Contenir le déversement à l'aide de barrages ou dévier vers une surface imperméable. Pour le produit sous forme solide, ramasser rapidement le produit à la pelle et le déposer dans des récipients en acier. Pour le produit sous forme liquide, absorber les petites quantités à l'aide de sable, de vermiculite ou d'autres matériaux absorbants inertes et déposer par la suite dans des récipients d'acier. On peut également récupérer le polluant à l'aide d'un appareil aspirateur.

- Hydroxyde de sodium déversé dans l'eau

Confiner l'eau polluée au moyen de déversoirs, de barrages ou d'un dispositif de dérivation. Utiliser une pompe de dragage ou une pompe à vide pour la récupération du produit et des dépôts de fond. Le phosphate de sodium monobasique (NaH_2PO_4) peut être utilisé sur place comme agent de neutralisation.

Évaluation du risque selon la NFPA (étatsunienne)



2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Propriétés physiques

	Anhydre	Solutions	
		50 %	73 %
Aspect	Solide cristallin de translucide à blanc (Kirk-Othmer, 1978)	Incolore à blanc (Kirk-Othmer, 1978)	Incolore à blanc (Kirk-Othmer, 1978)
État à l'expédition	Solide	Liquide	Liquide (à une température élevée)
État physique (15 °C; 1 atm)	Solide (Kirk-Othmer, 1978)	Liquide (Hooker, PIM)	Solide (Hooker, PIM)
Point de fusion	318 °C (CRC, 1980; Kirk-Othmer, 1978)	11 °C (Hooker, PIM)	62 °C (Hooker, PIM)
Point de congélation		12 à 13 °C (Kirk-Othmer, 1978)	62 à 63 °C (Kirk-Othmer, 1978)
Point d'ébullition	1390 °C (CRC, 1980; Kirk-Othmer, 1978)	140 à 145 °C (Dow MSDS, 1979; GE, 1978; Dow, 1980)	188 à 193 °C (Dow, 1980)
Densité relative (Eau = 1)	2,130 (20 °C) (CRC, 1980; Dow, 1980; Kirk-Othmer, 1978)	1,530 (15,6 °C) (Merck, 1976) (Dow, 1980)	1,730 (70 °C) (Dow, 1980)
Masse volumique	2,130 g/cm^3 (20 °C) (Raznjevic, 1976)	1,529 g/cm^3 (15,6 °C) (Kirk-Othmer, 1978)	
Masse volumique (en vrac)	709,6 kg/m^3 (cristallin) (Chemtech) 1001,2 kg/m^3 (paillettes) (Chemtech) 662,7 kg/m^3 (poudre) (Chemtech)		

Propriétés relatives à la combustion

Inflammabilité	Non combustible mais peut, au contact de l'eau, dégager suffisamment de chaleur pour enflammer des matériaux combustibles (NFPA, 1978). Ne supportera pas la combustion (Kirk-Othmer, 1978)
Produits de décomposition	Thermodynamiquement stable, s'évapore à 1390 °C à 1 atm sans décomposition (Eblin, 1968; Bailar, 1973)
Comportement dans un incendie	La réaction avec des métaux amphotères tels que l'aluminium, l'étain et le zinc génère de l'hydrogène qui peut former un mélange explosif (Kirk-Othmer, 1978)

Solubilité dans l'eau	42 g/100 ml (0 °C) (Hooker, PIM) 109 g/100 ml (20 °C) (Hooker, PIM) 347 g/100 ml (100 °C) (Hooker, PIM)

dans d'autres substances courantes		Soluble dans la glycérine (Merck, 1976; CRC, 1980). Insoluble dans l'acétone et dans l'éther diéthylique (CRC, 1980). Méthanol: 30,8 g/100 g MeOH (28 °C) (Bailar, 1973) Éthanol: 7,2 g/100 g EtOH (28 °C) (Bailar, 1973)	
Autres propriétés			
Masse molaire de la substance pure	39,998 (Kirk-Othmer, 1978)		
Composition caractéristique de la qualité commerciale	> 96 % NaOH (96,4 % NaOH habituellement)	50 % NaOH 50 % H_2O	73 % NaOH 27 % H_2O
Indice de réfraction	1,3576 (CRC, 1980; Kirk-Othmer, 1978)		
Viscosité	4 mPa · s (350 °C) (GE, 1978; Dow, 1980)	73 mPa · s (21,1 °C) (Hooker, PIM)	27 mPa · s (65,6 °C) (Hooker, PIM)
Hygroscopicité	Absorbe rapidement le dioxyde de carbone et l'eau de l'air (Merck, 1976)		
Chaleur latente de fusion	167,4 kJ/kg (Kirk-Othmer, 1978)		
Chaleur de formation	426,3 kJ/mol (anhydre) α: 10 562 kJ/kg β : 10 665 kJ/kg (Kirk-Othmer, 1978) gaz: 5181 kJ/kg (CRC, 1983)		
Chaleur de vaporisation	3307,572 kJ/kg à 101 kPa (anhydre) (Raznjevic, 1976)	-469,6 kJ/mol (aqueux) (CRC, 1980)	
Chaleur de solution	Anhydre: -1113,4 kJ/kg à 25 °C (CRC, 1980)	$NaOH \cdot H_2O$: -535,7 kJ/kg à 25 °C (CRC, 1980)	
Chaleur de transition ($\alpha \rightarrow \beta$)	Anhydre: 103,3 kJ/kg (Kirk-Othmer, 1978)		
Température de transition ($\alpha \rightarrow \beta$)	Anhydre: 299,6 °C (Kirk-Othmer, 1978)		
Énergie du réseau	22176 kJ/kg (CRC, 1980)		
Chaleur de cristallisation	$NaOH \cdot H_2O$: 1310 kJ/kg (Dow, 1980) $NaOH \cdot 3{,}5\ H_2O$: 582 kJ/kg (Dow, 1980)		
Coefficient de dilatation volumique	$0{,}84 \times 10^{-4}/°K$ (20 °C) (solide) (Raznjevic, 1976)		
Conductivité thermique		0,710 W/m · °K (76,7 °C) (Hooker, PIM)	0,720 W/m · °K (76,7 °C) (Hooker, PIM)

Conductivité électrique	$0{,}0212\ ohm^{-1} \cdot m^{-1}$ (fondu à 320 °C) (anhydre) (Dow, 1981)		
Capacité thermique massique			
à pression constante	59,53 J/mol · °C (Janaf, 1971)	3,203 kJ/kg · °K (Hooker, PIM)	2,676 kJ/kg · °K (Hooker, PIM)
pH de la solution aqueuse		14 (5% en poids) (Merck, 1976)	
		13 (0,5% en poids) (Merck, 1976)	
		12 (0,05% en poids) (Merck, 1976)	

Information générale

Les hydroxydes des métaux alcalins sont les plus basiques de tous les hydroxydes car les métaux alcalins sont les plus électropositifs de tous les métaux. À l'intérieur du groupe 1A, la force basique augmente en fonction de l'augmentation de la dimension du cation; ainsi, l'hydroxyde de sodium est la base la plus faible des hydroxydes stables du groupe 1A (NaOH < KOH < RbOH < CsOH).

Les hydroxydes de Na, K, Rb et Cs sont très stables en ce qu'ils retiennent l'hydrogène sans perte d'eau à une température dépassant de beaucoup leur point de fusion. Ils s'évaporent sous forme d'hydroxyde au lieu de d'abord se déshydrater et puis s'évaporer comme les oxydes. Leurs points d'ébullition diminuent avec l'augmentation de la masse atomique du métal alcalin.

Ils peuvent être sublimés, sans modifications, de 350 à 400 °C, les vapeurs étant principalement constituées de dimères $(MOH)_2$. La stabilité thermique des hydroxydes est à peu près proportionnelle à leur basicité, plus la masse atomique du métal est élevée, plus la stabilité thermique est élevée (Bailar, 1973; Cotton, 1972).

L'hydroxyde de sodium pur est un solide cristallin translucide, blanchâtre, très déliquescent qui absorbe l'humidité et le bioxyde de carbone présents dans l'air résultant en la formation de carbonate de sodium (Na_2CO_3). Il est très soluble dans l'eau et forme des solutions incolores dont la viscosité s'accroît rapidement avec l'augmentation de la teneur. Les solutions sont très alcalines et même avec une teneur moyenne la corrosivité est très élevée (Kirk-Othmer, 1978).

L'hydroxyde de sodium, en solution aqueuse, peut former, selon la teneur, six hydrates différents constitués de 1, 2, 3,5, 4, 5 et 7 molécules d'eau respectivement. La formation des hydrates est exothermique; ainsi, la dilution des solutions d'hydroxyde de sodium dégagera de la chaleur. Ce fait est démontré par les tableaux suivants qui présentent les températures de dilution de l'hydroxyde de sodium anhydre et de la dilution à 50 p. 100 de la solution à 73 p. 100 (Kirk-Othmer, 1978; Bailar, 1973).

La chaleur dégagée par la dissolution de l'hydroxyde de sodium ou par la dilution d'une solution peut élever la température du liquide au-dessus du point d'ébullition de la solution ce qui produit ainsi des soubresauts violents dans la solution. L'eau ajoutée à une grande quantité d'hydroxyde de sodium à 73 p. 100, produit une éruption violente (Kirk-Othmer, 1978).

L'hydroxyde de sodium est produit et souvent expédié sous différentes formes anhydres mais seule une faible quantité est effectivement utilisée de cette façon. L'utilisation est presque exclusivement réservée aux solutions aqueuses de teneurs inférieures à 50 p. 100. La solution à 73 p. 100 peut être une forme économique pour un usager important mais celle-ci est habituellement diluée et refroidie avant d'être stockée. Un grand avantage de la dilution est qu'elle

Température de dissolution du NaOH anhydre (Dow, 1980)*

Température initiale de l'eau, °C	Température résultante (°C) de	
	Solution à 50 p. 100	Solution à 73 p. 100
4	100	61,1
16	107,2	65,6
27	113,9	68,3
38	121,7	71,1
Pt. d'ébullition	144,7	–

*Basé sur la dilution du NaOH en paillettes ou solide à 24 °C.

Température de dilution de la solution à 73 p. 100 jusqu'à 50 p. 100 (Hooker, PIM)

	Température initiale de la solution à 73 p. 100, °C				
	82,2	87,8	93,3	98,9	104,4
Température de l'eau ajoutée, °C	Température résultante de la solution à 50 p. 100, °C				
4,4	112,8	115,6	118,9	121,7	125
10	115	117,8	120,6	123,3	126,7
15,6	117,2	120	122,8	125,6	128,9
21,1	119,4	122,2	125	127,8	130,6
26,7	121,7	124,4	127,2	130	132,8

élimine la nécessité de posséder de l'équipement de manutention et de stockage très dispendieux en nickel. Elle abaisse également le point de congélation de la solution et réduit la quantité de vapeur nécessaire pour chauffer les citernes de stockage et les lignes de transfert.

La dilution de 37,85 m^3 d'une solution d'hydroxyde de sodium à 73 p. 100 requiert environ 29,53 m^3 d'eau pour produire environ 61,32 m^3 d'une solution d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100. Puisque cette dilution entraîne une élévation considérable de la température de la solution, celle-ci doit être refroidie au minimum à 40 °C afin de réduire l'effet corrosif important sur l'équipement de stockage et de manutention constitué de fer et d'acier. Les techniques de dilution appropriées peuvent être obtenues des fabricants.

En général, en dépit des frais de transport additionnels occasionnés par le plus grand volume, une fois l'eau ajoutée, la solution à 50 p. 100 est plus pratique et plus économique, en raison du coût élevé de l'équipement de manutention nécessaire pour la solution à 73 p. 100 (Kirk-Othmer, 1978; Hooker, PIM; Dow, 1980). La courbe de congélation n'est pas très prononcée pour les solutions d'hydroxyde de sodium à concentration de 65 à 75 p. 100; dans cette plage de concentrations, les solutions gèlent à environ 62 °C. La solution à 73 p. 100 demeure liquide à 62 °C

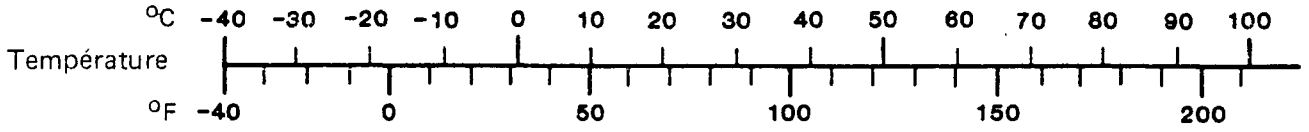
et peut être manipulée à l'état liquide tant que la température est maintenue à plus de 62 °C. À des concentrations supérieures à 74 p. 100, il faut des températures plus élevées pour maintenir la solution à l'état liquide. Une solution à 50 p. 100 demeure à l'état liquide à la température ambiante (Kirk-Othmer, 1978).

Les réactions chimiques de l'hydroxyde de sodium sont celles qu'on peut attendre d'une base forte. Les solutions aqueuses réagissent avec les acides faibles pour former des sels de sodium. Il réagit avec les alcools pour former l'alcoxyde correspondant. La précipitation des métaux solubles sous forme d'hydroxydes est largement utilisée dans l'industrie et pour la lutte contre la pollution. En effet, l'élimination presque totale des métaux solubles peut être réalisée par précipitation et décantation, produisant ainsi un effluent acceptable pour le rejet. Tous les acides organiques réagissent avec l'hydroxyde de sodium pour former des sels solubles, ainsi qu'avec les esters organiques pour former le sel correspondant et un alcool (saponification).

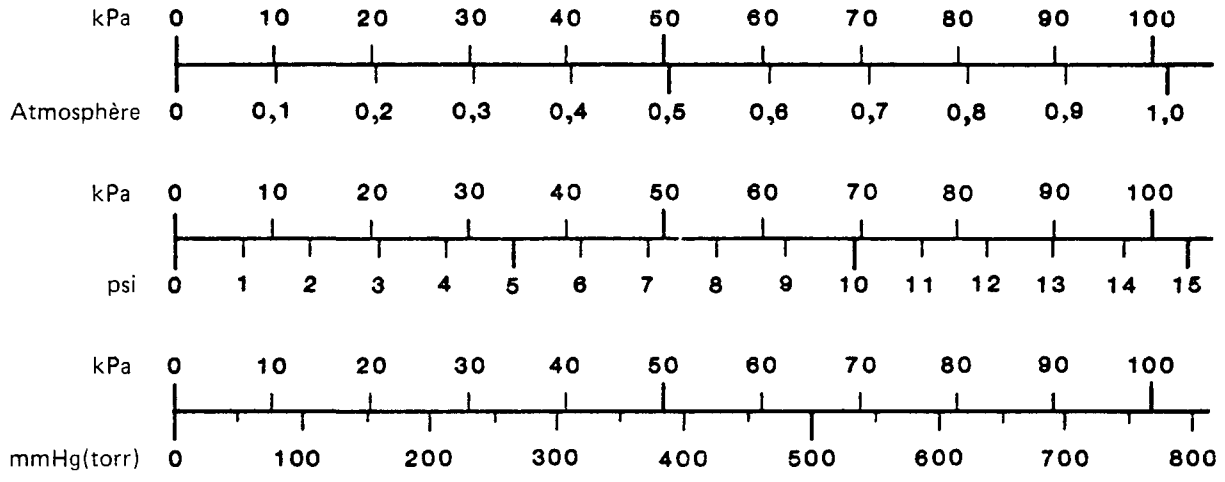
L'hydroxyde de sodium participe à de nombreuses réactions de couplage telle que la réaction de la cellulose $(C_6H_{10}O_5)n$ et de l'acide monochloroacétique $(ClCH_2COOH)$ pour produire le sel de sodium de la carboxyméthylcellulose. La première étape de cette réaction est semblable à celle de la préparation de la rayonne par la méthode du xanthate cellulosique (Kirk-Othmer, 1978; Bailar, 1973).

Tableau 1

HYDROXYDE DE SODIUM — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression — 1 kPa = 1 000 Pa



Viscosité

Dynamique — 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)

1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1 000 J

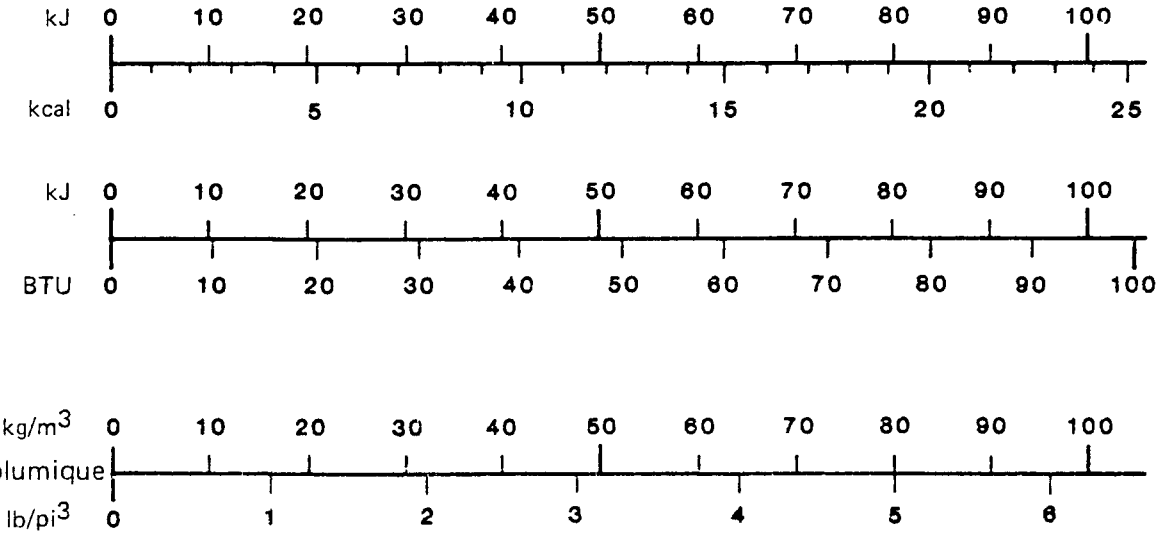


Figure 1

HYDROXYDE DE SODIUM

DIAGRAMME DE PHASE DU POINT DE CONGÉLATION ET DU SYSTÈME $NaOH/H_2O$

Références: Dow, 1980; Kirk-Othmer, 1978; Ullmann, 1975

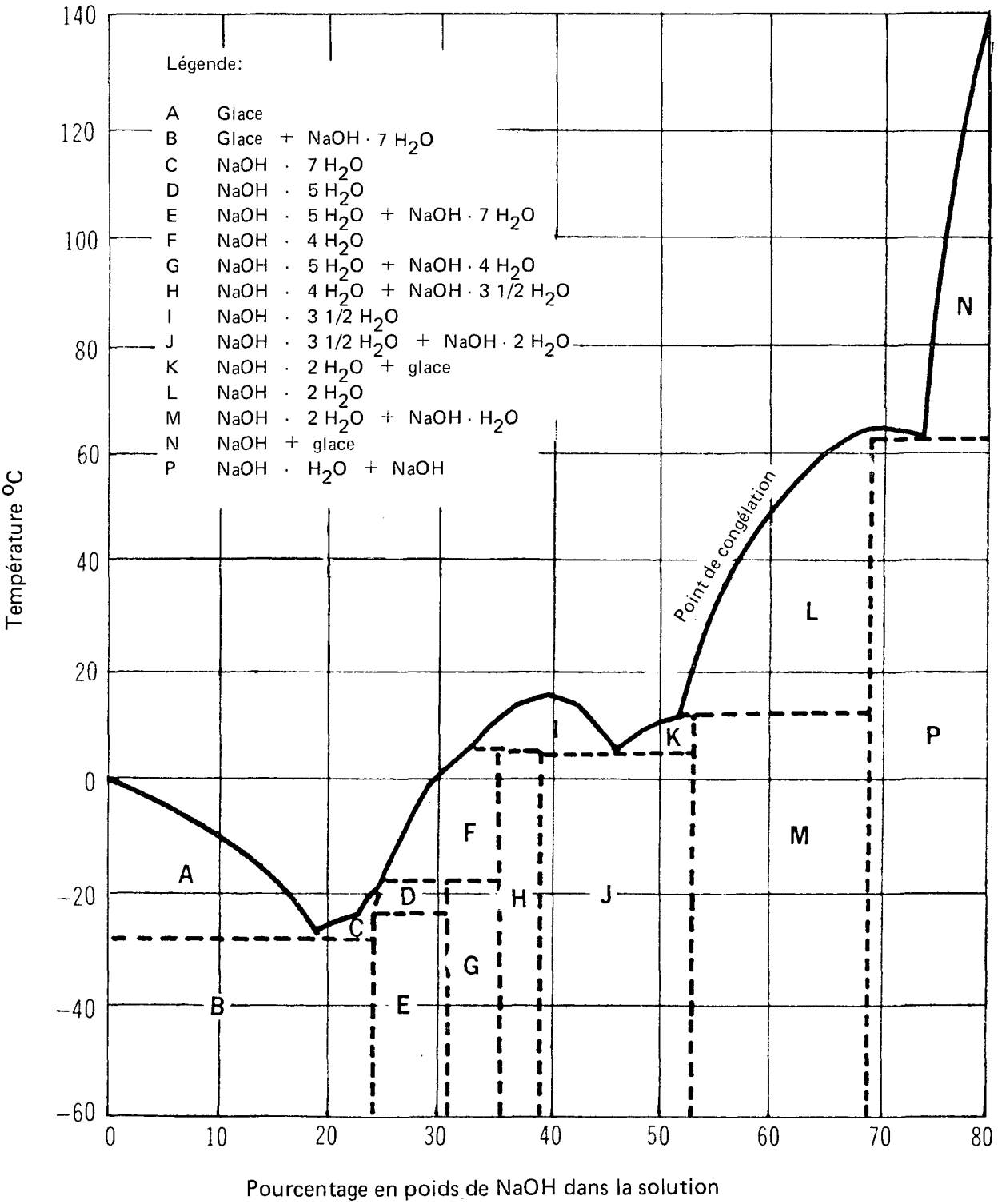


Figure 2

HYDROXYDE DE SODIUM — **DENSITÉ DES SOLUTIONS**

Référence: Dow, 1980

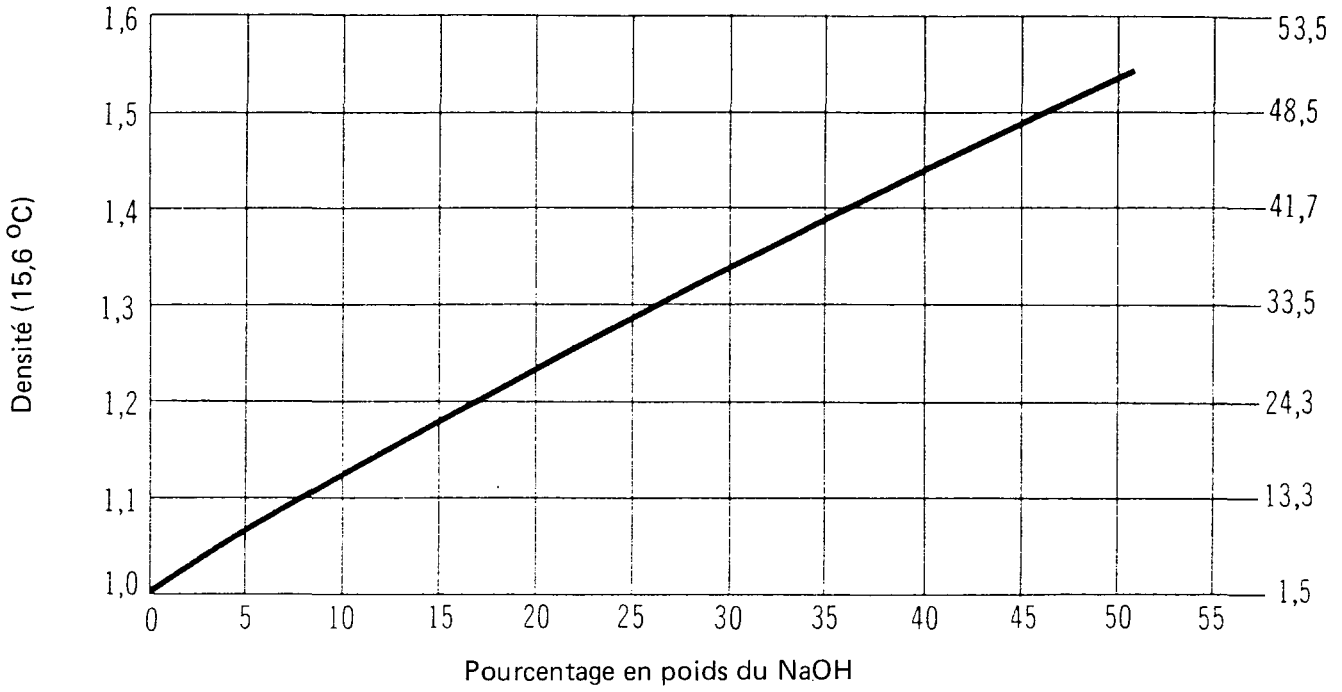


Figure 3

HYDROXYDE DE SODIUM — **SOLUBILITÉ DANS L'EAU**

Référence: Hooker, PIM

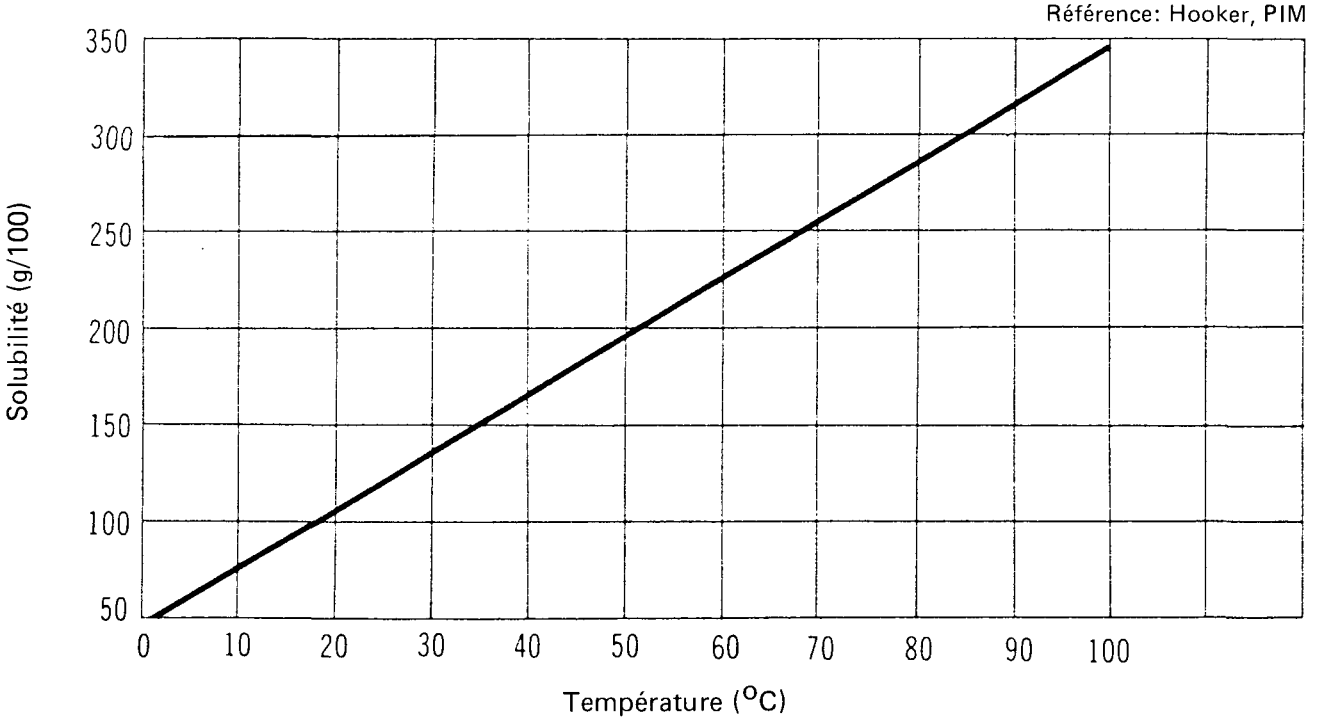


Figure 4

HYDROXYDE DE SODIUM

TENSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Hooker, PIM

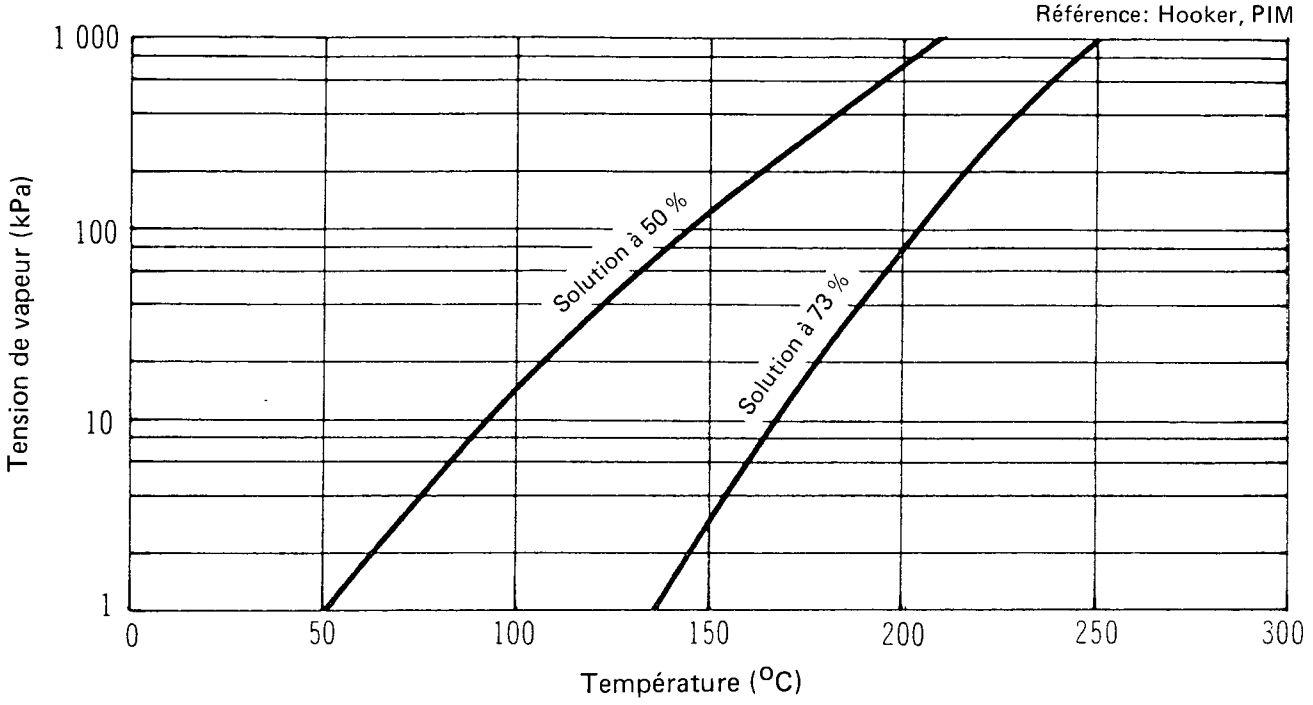


Figure 5

HYDROXYDE DE SODIUM

VISCOSITÉ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Hooker, PIM

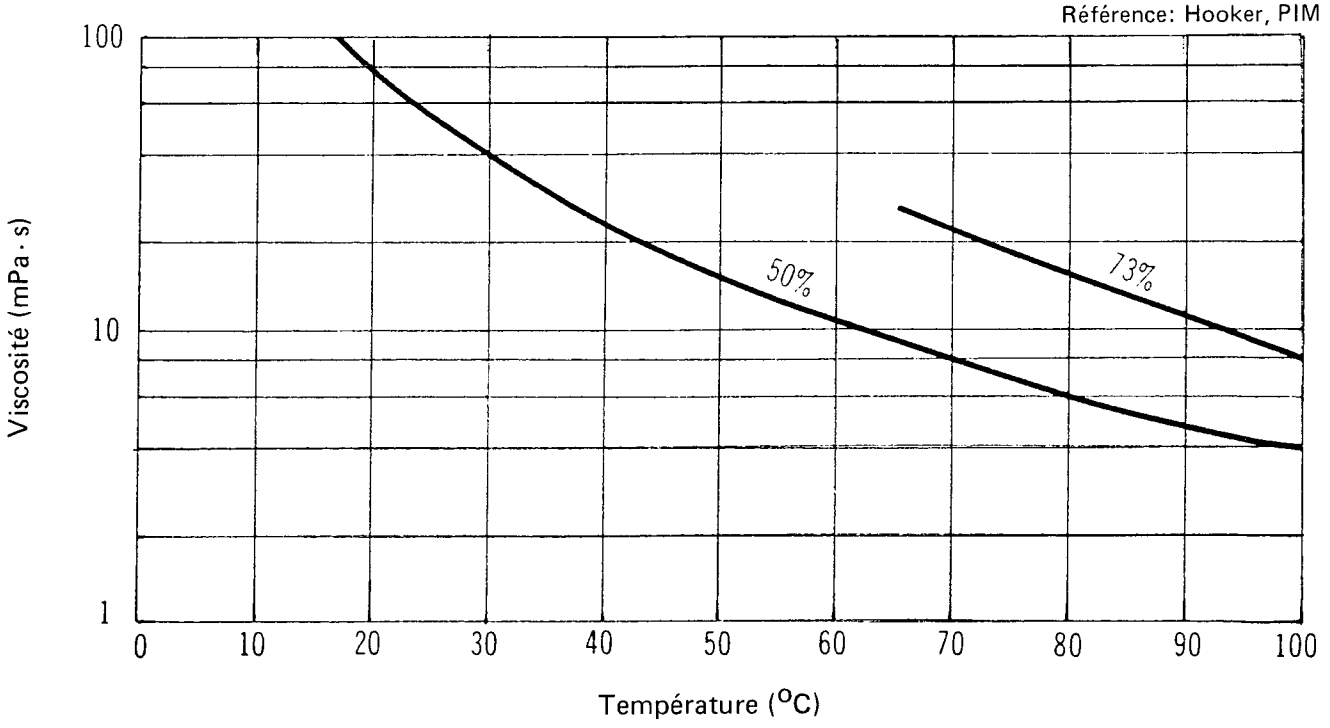
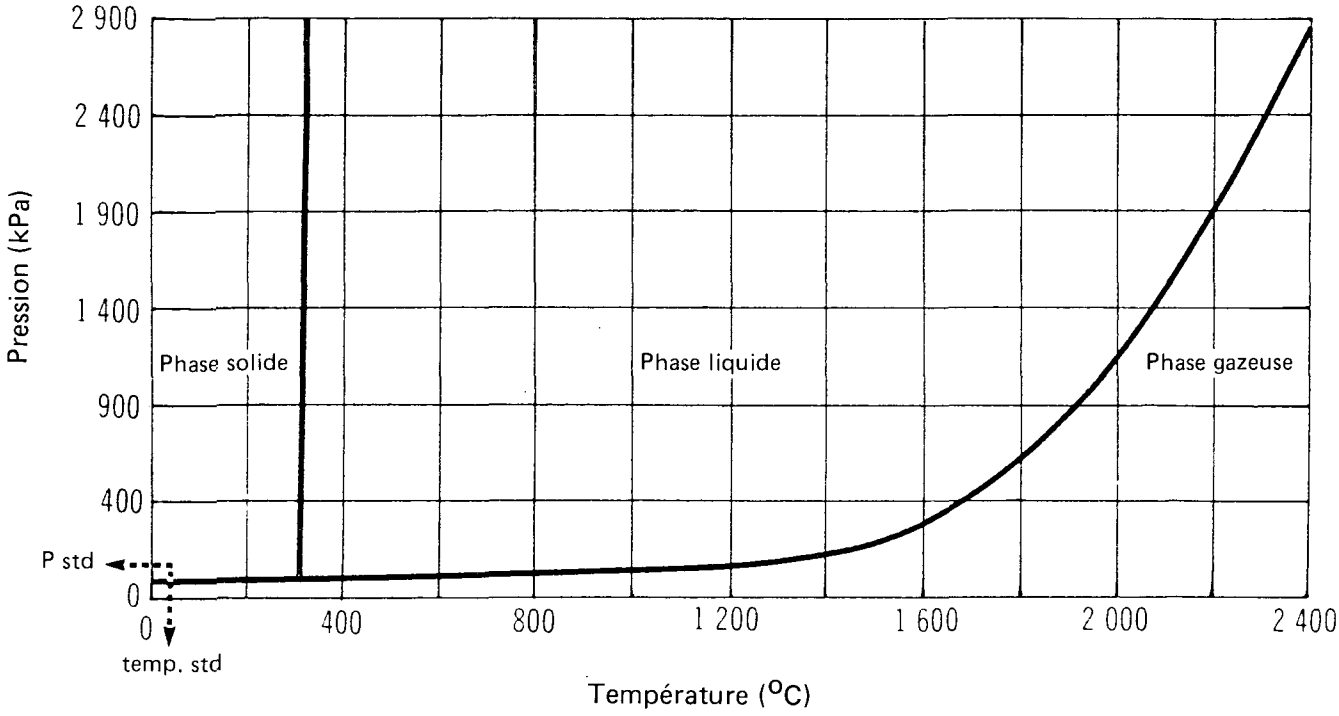


Figure 6

HYDROXYDE DE SODIUM — **DIAGRAMME DE PHASE**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres du produit

L'hydroxyde de sodium est vendu en deux qualités commerciales, la qualité «rayonne» et la qualité «habituelle», et en solide anhydre et en solutions aqueuses de deux titres courants, 50 et 73 p. 100. La substance anhydre est produite et expédiée sous forme solide, en paillettes ou en poudre. La qualité «rayonne» diffère de la qualité «habituelle» par les teneurs respectives en métaux et en chlorures; à tous autres égards, elles sont très semblables. Les concentrations ainsi que les formes utilisées pour le transport sont données dans le tableau qui suit (CIL, MDS; Chemfacts Canada, 1982).

Titre	Forme	Expédition
Anhydre (98,5 % minimum)	paillettes, poudre, grains, boulettes	fûts en acier de 45 à 250 kg, fûts en carton, sacs de polyéthylène de 22,7 kg
Solution (70 à 73 p. 100)	liquide (à une température supérieure à 62 °C)	wagons-citernes, véhicules-citernes routiers
Solution (50 p. 100) (49,0 % minimum à 51,0 % maximum)	liquide (à une température supérieure à 13 °C)	wagons-citernes, véhicules-citernes routiers

3.2 Fabricants au Canada

Le lecteur trouvera ci-dessous des adresses de sièges sociaux; il ne pourra y avoir recours en cas de déversement accidentel.

C.I.L. Inc.
45 Sheppard Avenue East
Willowdale, Ontario
M2N 5W9
(416) 226-6110

Canadian Occidental Petroleum Limited
Hooker Chemical Division
700 Fourth Avenue S.W.
Calgary, Alberta
T2P 0K2
(403) 265-2390

Canso Chemicals Limited
P.O. Box 484
New Glasgow, Nova Scotia
B2H 0K2
(902) 755-1785

Dow Chemical Canada Inc.
P.O. Box 1012
Modeland Road
Sarnia, Ontario
N7T 7K7
(519) 339-3131

FMC Chemicals
570-885 Dunsmuir Street
Vancouver, B.C.
V6C 1N5
(604) 685-6508

Great Lakes Forest Products Ltd.
Duke Street
Dryden, Ontario
P8N 2Z9
(807) 223-2323

Prince Albert Pulp Company Ltd.
Saskatoon Chemicals Division
P.O. Box 1586
Saskatoon, Saskatchewan
S7K 3R3
(306) 652-9456

St. Anne Chemical Co.
8 Prince Arthur Avenue
Toronto, Ontario
M5R 1A9
(416) 968-2900

Stanchem
Division of PPG Industries Canada Limited
5029 St. Ambroise Street
Montreal, Quebec
H4C 2E9
(514) 933-6721

3.3 Autres fournisseurs ou distributeurs
(Corpus, 1983; CBG, 1980)

Bayer (Canada) Inc.
7600 TransCanada Highway
Pointe-Claire, Quebec
H9R 1C8
(514) 697-5550

Diamond Shamrock Canada Limited
1685 Main Street West
P.O. Box 5123, Station E
Hamilton, Ontario
L8S 4L4
(416) 823-7550

International Minerals and
Chemical Corp. (Canada) Ltd.
Box 310
Esterhazy, Saskatchewan
S0A 0X0
(306) 745-3931

Kingsley and Keith
19 Four Seasons Place
P.O. Box 555
Etobicoke, Ontario
M9C 5B1
(416) 626-8383

Pennwalt of Canada Limited
700 Third Line
Oakville, Ontario
L6J 5A3
(416) 827-8986
961-6500

3.4 Principaux itinéraires empruntés pour le transport

Actuellement, les centres de production d'hydroxyde de sodium au Canada sont très dispersés. On en retrouve dans sept provinces sur dix. Les plus importants centres de fabrication se trouvent à proximité de Montréal et Québec (Québec), de Sarnia (Ontario), de Fort Saskatchewan (Alberta) et dans la région continentale inférieure de la Colombie-Britannique et sur l'île Victoria.

Le produit en solution est expédié par les fabricants aux utilisateurs dans des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers, et le produit à l'état solide est expédié en fûts. Les fabricants et les utilisateurs sont dispersés dans tout le Canada.

3.5 Volume de production
(Corpus, 1983)

Société	Emplacement	Capacité nominale kilotonnes/an (1982)
C.I.L.	Bécancour (Qué.)	325
C.I.L.	Cornwall (Ont.)	38,5
C.I.L.	Dalhousie (N.-B.)	31
Canadian Occidental Petroleum	Vancouver (C.-B.)	155
Canadian Occidental Petroleum	Harmac (C.-B.)	31
Canso Chemical	New Glasgow (N.-É.)	20
Dow Chemical Co.	Sarnia (Ont.)	350
Dow Chemical Co.	Fort Saskatchewan (Alb.)	524
FMC Chemicals	Squamish (C.-B.)	75
Great Lakes Forest	Dryden (Ont.)	16
Prince Albert Pulp	Saskatoon (Sask.)	36
St. Anne Chemical	Nackawic (N.-B.)	10
Stanchem (PPG)	Beauharnois (Qué.)	67
TOTAL		1678,5
Production nationale (1982)		1367,4
Importations (1982)		172,7
TOTAL		1540,1

3.6 Fabrication industrielle
(Shreve, 1977; Chemfacts Canada, 1982; Savage, 1979; Chemical Week, 1981)

3.6.1 Information générale. – L'hydroxyde de sodium est surtout fabriqué au Canada par l'électrolyse du chlorure de sodium. Cette réaction produit aussi du chlore. Les cellules à diaphragme ou les cellules à membrane sont généralement utilisées, mais les cellules électrolytiques au mercure peuvent encore exister dans certaines usines.

3.6.2 Gisements et extraction de matières premières. – On trouve des gisements de chlorure de sodium dans plusieurs régions du Canada. Les gisements les plus exploités sont situés dans le sud de l'Ontario, entre Goderich et Sarnia, dans la région de Windsor et du Niagara. À Goderich, les gisements sont exploités par les méthodes classiques d'extraction souterraine, étant donné qu'ils sont relativement peu profonds. Dans les autres régions, où les gisements sont plus profonds (610 m), on extrait le sel par méthode hydraulique en injectant de l'eau ou de la saumure recyclée dans les formations de sel et en amenant à la surface la saumure saturée qui est acheminée par pompage vers les installations de production. Dans le cas des usines moins importantes, par exemple les usines de pâtes et papiers, on amène le sel solide par voie ferrée et on le déverse dans des réservoirs de saturation à l'installation de production.

3.6.3 Traitement des matières premières. – En général, les cellules à membranes et les cellules au mercure ont beaucoup en commun en ce qu'elles doivent être alimentées en saumure concentrée et pure. Cette dernière peut être obtenue en dissolvant du chlorure de sodium pur ou en prévoyant une étape de purification de la saumure d'alimentation en amont de la cellule électrolytique. La cellule à membrane est sujette à l'encrassement par les ions magnésium et calcium qui sont souvent présents dans la saumure d'alimentation. Par contre, les cellules à diaphragme peuvent fonctionner avec des solutions diluées (20 p. 100) et relativement impures comme celles produites par l'extraction en solution des dépôts de sel (Savage, 1979).

3.6.4 Procédés de fabrication. – Trois types de cellules électrolytiques sont utilisées pour la production de l'hydroxyde de sodium et du produit associé, le chlore. Ce sont les cellules à membranes, à diaphragme et au mercure. On rapporte (Chemfacts, 1982) que les cellules au mercure sont peu utilisées actuellement (13 p. 100 de la capacité annuelle pour 1982), l'industrie utilisant surtout les cellules à membranes et les cellules à diaphragme.

La cellule au mercure comporte certains avantages: elle fait appel à des techniques bien connues, elle a subi de nombreuses modifications de conception qui réduisent considérablement les pertes de mercure dans l'environnement et elles fournissent un produit relativement pur. Par contre, elle exige une consommation plus élevée d'électricité et, en dépit des améliorations apportées, la pollution qu'elle entraîne est critiquée par les environnementalistes. C'est pour cette dernière raison qu'elle est aujourd'hui pratiquement absente des usines de production (Chemical Week, 1981), même si, en 1979, environ 50 p. 100 des usines de chlor-alcali l'utilisaient encore (Savage, 1979).

Le procédé à diaphragme utilise un diaphragme d'asbestos pour la séparation des chambres et le procédé à membranes utilise des membranes sélectives d'ions. Comme le signale un article publié en 1981 (Chemical Week, 1981), de nouvelles cellules sont actuellement mises au point et leur utilisation devrait réduire la consommation d'énergie d'environ 20 p. 100. Le but visé est d'augmenter au maximum l'efficacité des cellules par l'utilisation de nouveaux catalyseurs et de nouvelles membranes de partition. Au Canada, la compagnie Chemetics de Vancouver met au point une nouvelle membrane. On signale que d'autres compagnies font des essais avec une nouvelle cathode qui réduit le dégagement d'hydrogène (Diamond Shamrock-Chardon, Ottawa) mettent au point une cellule hybride qui combine une nouvelle membrane avec des électrodes poreuses catalysées (Occidental Research-Irvine, CA), étudient une version à grandes dimensions d'une cellule qui utilise la technologie GE pour lier les électrodes à la surface de la membrane (Orongio de Nora Lupianti Elettrochimici, Milan, Italie et Dow Chemical) et font des recherches sur la conception et la mise au point de nouvelles membranes (PPG Industries, Asahi Chemical Industry Ltd. et Asahi Glass Co., Tokyo) (Chemical Week, 1981).

Les procédés à diaphragme et au mercure ont aussi été améliorés. L'introduction d'opérations à circuit fermé pour permettre une meilleure réduction des pertes de mercure ou d'asbestos a, sans aucun doute, permis de surmonter quelques-unes des objections environnementales associées à l'usage du mercure. L'existence de divers appareils économisateurs d'énergie tels que les anodes métalliques, de meilleurs matériaux pour diaphragmes et des cathodes recouvertes de nickel Rancy devraient améliorer la durée de vie des cellules électrolytiques à diaphragme. D'ailleurs, on signale que la compagnie CIL à Bécancour, Québec, utilise, avec les cellules à diaphragme de son usine, le procédé ICI-Solvay, qui permet une économie d'énergie de 10 p. 100 (Savage, 1979; Chemical Week, 1981).

De façon générale, l'utilisation de diaphragmes permet de construire des cellules compactes possédant une résistance plus faible car les électrodes peuvent être situées plus près l'une de l'autre. Des versions antérieures permettaient à la solution de chlorure de sodium de migrer

à travers les pores du diaphragme, résultant en la pollution substantielle de l'hydroxyde de sodium produit à la cathode. Le caustique pouvait également migrer de nouveau vers l'anode où il était électrolysé en oxygène ce qui résultait en une dilution du chlore produit et permettait également d'attaquer l'anode. De nombreuses améliorations ont éliminé la plupart de ces inconvénients.

La recherche sur les membranes sélectives d'ions a été entreprise afin de surmonter ces inconvénients. Les nouvelles membranes permettent de produire de l'hydroxyde de sodium d'un titre plus fort et réduisent les coûts de nettoyage en aval de la production. Les membranes sont généralement préparées à partir de fluorocarbones, tels que l'acide perfluorosulfonique (DuPont) et l'acide perfluorocarboxylique (Asahi Chemical et Asahi Glass). L'utilisation de la technique Asahi a été autorisée à l'usine de pâtes et papiers de St. Anne Nackawic (N.-B.) et à la Prince Albert Pulp Co. (Saskatoon, Saskatchewan).

Le but principal visé par les fabricants de membranes est de réduire la consommation d'électricité. À cause d'une chute de voltage au travers de la cellule, l'efficacité du voltage est réduit et on doit donc l'augmenter.

La chute de potentiel observée résulte de l'espacement physique entre les électrodes et la membrane. La compagnie GE a développé un système dont les électrodes sont liées directement à la membrane par l'utilisation d'une poudre servant de conducteur, et d'activité catalytique élevée. Le courant électrique est distribué plus uniformément sur la surface de la membrane et la performance catalytique est améliorée résultant, jusqu'à maintenant, en une économie d'énergie de 20 p. 100. Des appareils faisant appel à cette technique ont été mis au point à l'échelle commerciale et des appareils de plus grandes dimensions seront bientôt prêts et pourront être utilisés par l'industrie (Chemical Week, 1981).

Une autre compagnie (Occidental Research) met actuellement au point un nouveau système hybride qui utilise l'énergie associée à la production d'hydrogène pour purifier et concentrer l'hydroxyde de sodium par électrodialyse et pour générer concuremment une partie de l'énergie électrique en courant direct requise par la cellule de chlore. Ce procédé permet de réduire la consommation d'électricité de 20 p. 100 et la quantité de vapeur requise pour l'évaporation du caustique de la cellule à diaphragme de 75 p. 100. Le but visé par cette recherche est de réduire l'énergie consommée pour la production de 1,128 tonne métrique (1128 kg) d'hydroxyde de sodium et produits associés à 1750 kWh ($6{,}3 \times 10^9$ J) [une cellule à diaphragme type utilise environ 2500 kWh ($9{,}0 \times 10^9$ J)]. La cellule est construite en plastique, utilise des électrodes catalysées poreuses, des espaces très étroits et une membrane à dialyse échangeuse de cations spéciale. La cellule hybride diffère d'une cellule à membrane type en ce qu'elle est complètement libre de chlore et qu'elle peut utiliser des membranes à base d'hydrocarbures peu dispendieuses pour obtenir un produit caustique de la concentration et de la pureté souhaitées. Cet appareil peut également être raccordé directement aux cellules à diaphragme existantes (Chemical Week, 1981)

Les cellules à diaphragme et à membrane types consistent en deux compartiments séparés, dans le premier cas par un diaphragme d'asbestos (certaines variations peuvent exister) et dans le second, par une membrane. Dans le compartiment anodique, les ions chlorure de la saumure sont oxydés à l'anode (habituellement fabriqués à partir d'une formule privée, par exemple à base de graphite) où ils forment d'abord du chlore naissant et par la suite, du chlore gazeux. Dans le compartiment cathodique, les ions sodium sont réduits à la cathode en sodium métallique lequel, à son tour, réagit immédiatement avec l'eau pour former des ions sodium et hydroxyde ainsi que de l'hydrogène gazeux (les cathodes types sont constituées d'une grille en fils d'acier)

(Chemical Week, 1981). La réaction peut être représentée par l'équation suivante:

$$2\,Na^+ + 2\,Cl^- + 2\,H_2O \longrightarrow 2\,Na^+ + 2\,OH^- + H_2\uparrow + Cl_2\uparrow$$

Il faut garder les deux compartiments séparés afin d'éviter que le chlore ne réagisse avec l'hydroxyde, ce qui produirait des chlorates et hypochlorites (ClO_3^- et OCl^-). Dans le cas de la cellule à diaphragme, ce dernier doit être assez poreux pour permettre le passage des ions chlorure et hydroxyde porteurs de courant tout en empêchant le passage du chlore gazeux moléculaire provenant de l'anode ce qui réduirait la teneur en hydroxyde de sodium dans le compartiment cathodique. Le rendement maximum d'une cellule à diaphragme est obtenu lorsque la liqueur cathodique est retirée de la cellule lorsqu'elle contient environ 10 p. 100 d'hydroxyde de sodium et 15 p. 100 de chlorure de sodium (Bailar, 1973). Dans certains complexes industriels, cet effluent de caustique dilué peut être pompé directement dans une autre unité de production et utilisé sous cette forme.

La concentration de la liqueur diluée en qualités commerciales de 50 et 73 p. 100 exige une évaporation qui recristallisera le chlorure de sodium de la solution. La recristallisation peut être effectuée à l'aide d'un évaporateur à effets multiples ou des cristallisateurs éclairs (CIL MDS). La solution à 50 p. 100 d'hydroxyde de sodium de qualité régulière produite à l'aide d'une cellule à diaphragme est de qualité suffisamment élevée pour la plupart des utilisations. Par contre, de la soude caustique de qualité supérieure est requise pour l'industrie de la rayonne, pour la synthèse des alkylaryl sulfonates et pour la régénération des résines échangeuses d'anions. L'hydroxyde de sodium produit à l'aide des cellules à mercure remplit très bien toutes ces exigences. Toutefois, les producteurs se servant de cellules à diaphragme ont consacré beaucoup de temps et d'efforts pour développer des procédés de purification afin d'obtenir une part du marché requérant de plus hautes puretés.

L'un de ces procédés, déjà utilisé depuis plusieurs années aux États-Unis, est la méthode d'extraction à l'ammoniac. On forme d'abord un mélange à deux phases en mélangeant de l'ammoniac anhydre à une solution de soude caustique à 50 p. 100. La phase ammoniacale extrait le chlorure de sodium (NaCl) et tout chlorate de sodium qui se serait formé en même temps que l'hydroxyde de sodium et l'eau. L'autre phase est constituée d'hydroxyde de sodium à 62 p. 100 et est essentiellement libre de sel et de chlorates mais contient un peu d'ammoniac. La phase caustique est séparée de l'autre, puis distillée par séparation flash dans une tour de fractionnement où est récupéré de l'ammoniac presque anhydre. La solution d'hydroxyde de sodium à 62 p. 100 purifiée, peut alors, soit être diluée à 50 p. 100 soit évaporée davantage jusqu'à une teneur de 73 p. 100 ou encore évaporée à sec (Kirk-Othmer, 1978).

Les solutions d'hydroxyde de sodium de la compagnie Dow Chemical USA contient généralement 2 p. 100 de chlorure de sodium (cellule typique à diaphragme); toutefois, ils offrent également des solutions purifiées qui contiennent un peu moins de 0,2 p. 100 et une solution à 50 p. 100 d'une pureté très élevée contenant moins de 50 ppm et une teneur en chlorate de sodium approchant la limite de détection (Dow, 1980).

3.6.5 Sous-produits et produits associés. – Les produits associés de l'électrolyse de la saumure sont le chlore et l'hydrogène. Les sous-produits comprennent l'hypochlorite de sodium et le chlorate de sodium.

3.7 Principales utilisations au Canada
(Corpus, 1981)

L'hydroxyde de sodium est employé dans la production des produits suivants: pâtes et papiers, alumine, détergents synthétiques, produits de blanchiment, sels de sodium, xanthates, rayonne, pellicule de cellulose, nettoyeurs industriels, textiles et dans les procédés suivants: extraction de l'uranium, raffinage du pétrole, fabrication de produits chimiques, raffinage des huiles végétales et des résines.

3.8 Principaux acheteurs au Canada
(Corpus, 1981)

Abitibi-Price, Smooth Rock Falls, (Ont.) Iroquois Falls (Ont.), Beaupré (Qué.), Kénogami (Qué.)
Admiral Sanitation, Toronto (Ont.)
Alcan, Jonquière (Qué.)
Arliss Chemical, Montréal (Qué.)
BC Forest Products, Crofton, Mackenzie (C.-B.)
BCL Canada, Cornwall (Ont.)
Bartek Chemical, Burlington (Ont.)
Bate Chemical, Toronto (Ont.)
Benson Chemical, Freelton (Ont.)
Boise Cascade, Ft. Frances (Ont.), Miramichi, Kenora (Ont.)
Borden Chemical, Vancouver (C.-B.); Toronto, Cobourg, North Bay, Brampton (Ont.)
Bowaters Newfoundland, Corner Brook (T.-N.)
Bristol Myers, Toronto, Belleville, Stratford (Ont.)
Canada Colors & Chemical, Don Mills (Ont.)
Canada Cellulose, Prince Rupert, Castlegar (C.-B.)
Canadian Forest Products, Pt. Mellon (C.-B.)
Canadian Hanson, Toronto (Ont.)
Canadian International Paper, La Tuque, Matane, Trois-Rivières (Qué.); Toronto, London, Hawkesbury (Ont.)
Caribou Pulp, Quesnel (C.-B.)
Celanese Canada, Edmonton (Alb.)
Colgate-Palmolive, Toronto (Ont.)
Consolidated Bathurst, Pontiac, New Richmond (C.-B.)
Courtaulds, Cornwall (Ont.)
Crestbrook Forest Products, Skookumchuck (C.-B.)
Cromac Chemical, Toronto (Ont.)
Crown Forest Products, Campbell River (C.-B)
Cyanamid Canada, Niagara Falls (Ont.)
Denison Mines, Elliot Lake (Ont.)
Diversey Wyandotte, Mississauga (Ont.)
Domtar, Cornwall, Windsor (Ont.)
Donohue, Clermont (Qué.)
Donohue, Saint-Félicien (Qué.)
Dubois Chemical, Toronto (Ont.)
Economies Lab., Toronto (Ont.)
Eddy Forest Products, Espanola (Ont.)
Erco Industries, Buckingham (Qué.)
Eurocan Industries, Kitimat (C.-B.)
Fraser, Atholville (N.-B.)
Compagnie Gaspésia Limitée (La), Chandler (Qué.)
Great Lakes Forest, Thunder Bay (Ont.)
Gulf Canada, Montréal Est (Qué.), Mississauga, Toronto (Ont.)
Harrisons & Crosfield, Toronto (Ont.)
Hart Chemical, Guelph (Ont.)
Imperial Oil, Sarnia (Ont.)
International Chemical, Brampton (Ont.)
Irving Paper, Saint-Jean (N.-B.)
James River Marathon, Marathon (Ont.)
Kert Chemical, Toronto (Ont.)
Kimberly-Clark of Canada, Terrace Bay (Ont.)
Lake Utopia Paper, St. George (C.-B.)
Lever Detergents, Toronto (Ont.)
M & T Chemicals, Hamilton (Ont.)
MacMillan Bloedel, Harmac, Powell River (C.-B.)
Manfor, Le Pas (Man.)
Les Détergents Myriad Inc. (Qué.)
Northwook Pulp, Prince George (C.-B.)
Ontario Paper, Thorold (Ont.)
Papier Cascades, Cabano (Qué.)
Prince George Pulp and Paper, Prince George (C.-B.)
Proctor & Gamble, Hamilton (Ont.)
Proctor & Gamble Cellulose, Grand Prairie (Alb.)
La Compagnie de Papier QNS Limitée, Baie Comeau (Qué.)
Rayonier Canada, Port Alice, Woodfibre (C.-B.)
Reichold, North Bay, Lindsay, Thunder Bay, Toronto (Ont.)
Rio Algom Mines, Elliot Lake (Ont.)
St. Anne Nackawic, Nackawic (N.-B.)
St. Regis Alberta, Hinton (Alb.)
Saint-Raymond, Desbiens (Qué.)
Suncor, Ft. McMurray (Alb.)
Syncrude Canada, Ft. McMurray (Alb.)

Tahsis, Gold River (C.-B.)
Les Produits forestiers Tembec Inc.,
Témiskamingue, (Qué.)
La Compagnie de Pâtes et Papiers Thurso,
Thurso (Qué.)
Uba Chemical, Mississauga (Ont.)
Union Carbide Canada, Lindsay (Ont.)
Van Waters & Rogers, Richmond (C.-B.)
Weyerhaeuser Canada, Kamloops (C.-B.)
Witco Chemical, Oakville (Ont.)

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. – Les solutions d'hydroxyde de sodium sont expédiées en vrac dans des wagons-citernes, des véhicules-citernes routiers, et des citernes transportables spécialement conçues, de même que dans des fûts et autres récipients spéciaux (voir tableau 6B).

L'hydroxyde de sodium anhydre ou sec est transporté en vrac ou dans des wagons ou des véhicules du type à trémie, ou dans des fûts sous forme de solide, de paillettes et de poudre. Il est aussi expédié dans des sacs de papier ou de plastique à multiples parois. L'hydroxyde de sodium peut aussi être transporté par navires-citernes. Ces navires-citernes sont construits conformément aux normes données dans les publications de l'OMI (Organisation maritime internationale) intitulées: «The Recommendation Code of Construction and Equipment of Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk» et «The International Bulk Chemical Code» en vertu de la convention Solas de 1974 (Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer) et de la conférence MARPOL (Conférence internationale sur la pollution marine) de 1973 et 1978.

Ces codes ont été mis au point afin que soient établies des normes acceptées internationalement pour le transport des produits chimiques dangereux au moyen de règlements au sujet de la structure des navires transporteurs et de l'équipement de ces navires, en tenant compte de la nature de la matière transportée. L'hydroxyde de sodium peut être transporté dans un navire de type III, lequel, par définition «est conçu pour le transport de matières dont la nature exige qu'elles puissent être contenues dans une certaine mesure afin d'augmenter les possibilités de survie en cas d'avarie» (CCPA, 1983).

4.1.1.1 Wagons-citernes. – Les wagons-citernes utilisés pour le transport de l'hydroxyde de sodium répondent aux spécifications des wagons-citernes de classe 103, classe 105A et classe 111A (CCT, 1974). Les spécifications sont décrites au tableau 2 (TCM, 1979).

Tableau 2
Spécifications relatives aux wagons-citernes

Spécification du DOT et de la CCT*	Description
103W	Citerne en acier soudé par fusion, avec dôme. Non isolé ou isolé. Déchargement ou purge par le bas facultatifs.
103AW	Citerne en acier soudé par fusion, avec dôme. Non isolé ou isolé. Dispositif de déchargement par le haut exigé. Déchargement par le bas interdit; purge par le bas facultative.
103BW	Citerne en acier soudé par fusion, avec dôme. Non isolé ou isolé. Citerne garnie de caoutchouc. Dispositif de déchargement par le haut exigé. Déchargement ou purge par le bas interdits.
104W	Citerne en acier soudé par fusion, avec dôme. Isolé. Déchargement ou purge par le bas interdits.
105A100W	Citerne en acier soudé par fusion, avec conduite dans le trou d'homme. Isolé. Dispositif de déchargement par le haut exigé. Déchargement ou purge par le bas interdits. Pression d'épreuve de 690 kPa.

111A60W1	Citerne en acier soudé par fusion, sans dôme. Non isolé ou isolé. Creux minimal 2 %. Indicateur de niveau. Pression d'épreuve de 414 kPa.
111A60F1	Citerne en acier soudé par forgeage, sans dôme. Non isolé ou isolé. Creux minimal de 2 %. Indicateur de niveau. Pression d'épreuve de 414 kPa.
111A100W1	Citerne en acier soudé par fusion, sans dôme. Non isolé ou isolé. Creux minimal de 2 %. Indicateur de niveau. Déchargement par le bas ou purge facultatifs. Pression d'épreuve de 690 kPa.
111A60W2	Citerne en acier soudé par fusion, sans dôme. Non isolé ou isolé. Creux minimal de 2 %. Indicateur de niveau. Dispositif de déchargement par le haut exigé. Déchargement par le bas interdit; purge par le bas facultative. Pression d'épreuve de 414 kPa.
111A60W5	Citerne en acier soudé par fusion, sans dôme. Non isolé ou isolé. Citerne garnie de caoutchouc. Creux minimale de 2 %. Indicateur de niveau. Dispositif de déchargement par le haut exigé. Déchargement ou purge par le bas interdits. Pression d'épreuve de 414 kPa.
111A100W4	Citerne en acier soudé par fusion, sans dôme. Isolé. Indicateur de niveau. Dispositif de déchargement par le haut exigé. Déchargement ou purge par le bas interdits. Pression d'épreuve 690 kPa.
111A100F2	Réservoir en acier soudé par forgeage, sans dôme. Non isolé ou isolé. Sortie minimale de 2 %. Indicateur de niveau. Dispositif de déchargement par le haut exigé. Déchargement par le bas interdit; purge par le bas facultative. Pression d'épreuve de 690 kPa.

* Department of Transportation (É.-U.)
Commission canadienne des transports.

Les solutions d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 et à 73 p. 100 sont habituellement transportées dans des wagons-citernes pouvant contenir de 37,8 litres (8000 gal imp.) à 90 900 litres (20 000 gal imp.). La figure 7 montre un wagon-citerne DOT 111A60W1 servant au transport de l'hydroxyde de sodium. Le tableau 3 donne les caractéristiques du wagon-citerne représenté par cette figure (TCM, 1979). Ces wagons peuvent être déchargés au moyen d'une pompe ou par écoulement sous l'effet de la gravité, par l'un ou l'autre de deux orifices de 150 mm de diamètre munis d'un robinet à boisseau intérieur. Ces orifices de déchargement par le fond sont munis de chemises de vapeur. On peut aussi vider ces wagons par le haut à l'aide d'air comprimé. Dans ce cas, l'hydroxyde de sodium est déchargé par un tuyau qui va du fond de la citerne jusqu'à la plate-forme supérieure où il se termine par une soupape de raccord de déchargement, habituellement un robinet à boisseau fileté de 50 mm. Une pression d'air de 138 kPa est appliquée par une soupape de mise à l'air de 25 mm.

Les wagons-citernes servant au transport des solutions d'hydroxyde de sodium à 73 p. 100 ressemblent beaucoup à ceux utilisés pour le transport du caustique à 50 p. 100, mais les matériaux de fabrication sont différents.

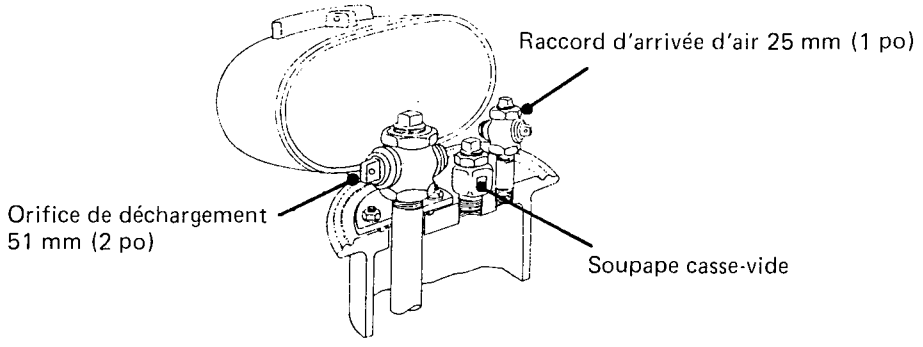
Les matériaux utilisés pour la fabrication de la citerne sont fonction du titre de la solution. Pour les solutions d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100, il faut utiliser de l'acier ductile, habituellement une plaque de qualité ASTM A-283 de catégorie C ayant une tolérance à la corrosion de

Figure 7

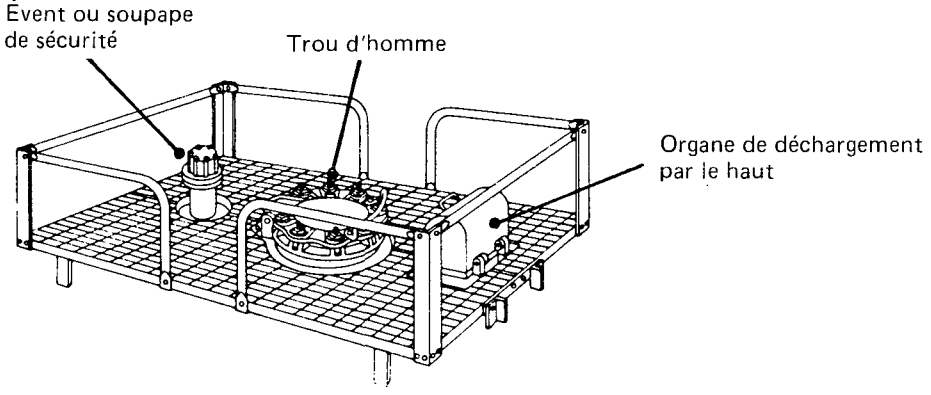
HYDROXYDE DE SODIUM

WAGON-CITERNE – CLASSE 111A6

(Référence TCM 1979, RTDCR)



Détails des organes de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme de dôme

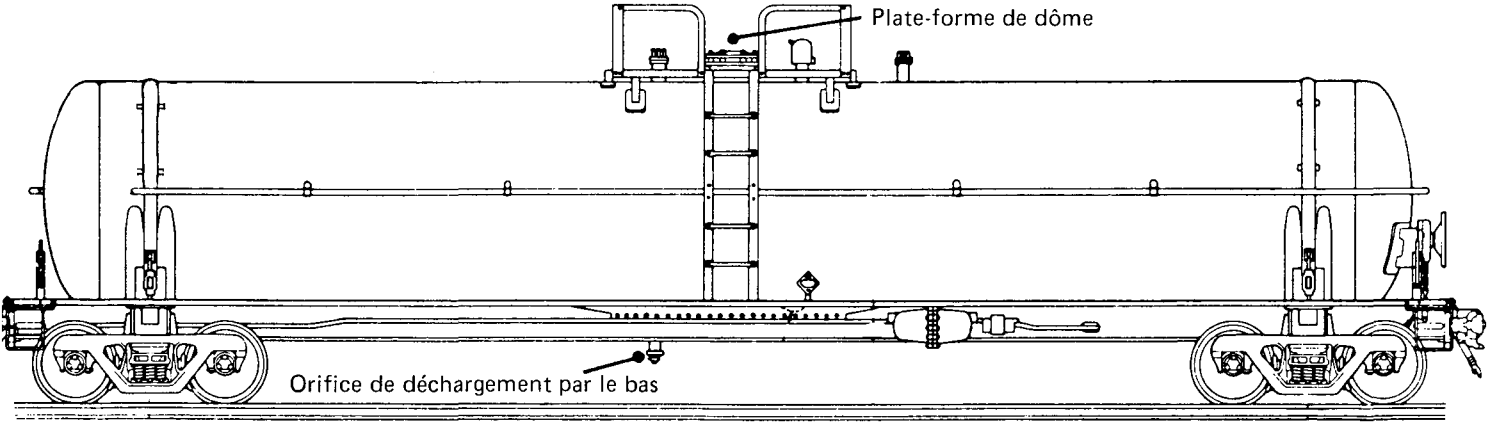


Illustration du wagon-citerne

Tableau 3
Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 111A60W1
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Dimensions du wagon-citerne (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Structure			
Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	78 000 l (17 200 gal)	90 900 l (20 000 gal)
Tare	33 900 kg (74 700 lb)	33 900 kg (74 700 lb)	38 900 kg (85 800 lb)
Masse brute	119 000 kg (263 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Citerne			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)
Diamètre int.	2,60 m (102 po)	2,62 m (103 po)	2,74 (108 po)
Pression d'essai	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)
Pression de rupture	1 640 kPa (240 psi)	1 640 kPa (240 psi)	1 640 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)	17 m (57 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (53 pi)	16 m (53 pi)	17 m (57 pi)
Longueur avec crapaudines	13 m (42 pi)	13 m (42 pi)	14 m (45 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Trou de remplissage ou de visite	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)
Raccord d'arrivée d'air	25-51 mm (1-2 po)	25-51 mm (1-2 po)	25-51 mm (1-2 po)
Déchargement par le bas			
Orifice de déchargement par le bas	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité		
Dôme	Aucun	Aucun	Aucun
Isolation	Optionnel	Optionnel	Optionnel

3 mm (SCS, 1963). Pour les solutions d'hydroxyde de sodium à 73 p. 100, l'acier 316 ou les alliages de monel conviennent le mieux. On peut fabriquer les citernes avec de l'acier et les garnir à l'intérieur de nickel ou d'un matériau résistant aux caustiques.

Les citernes servant au transport des solutions d'hydroxyde de sodium à 50 et 73 p. 100 doivent être équipées de serpentins de chauffage extérieurs et isolés avec de la laine de verre. Les serpentins de chauffage consistent en des tubes d'acier de qualité A53 de catégorie B à section semi-ovale de 203 mm (8 po) de diamètre qu'on dispose en zigzag sur le fond, jusqu'au tiers du réservoir (TCM, 1979).

Une soupape de sûreté réglée à 241 kPa (35 psi) ou un évent de sûreté réglé à 414 kPa (60 psi) doit être placé sur le dessus du wagon. Une jauge, à tige ou à ruban, est également requise. Le dispositif de déchargement par le haut doit être protégé par un couvercle qui recouvre

le raccord d'arrivée d'air et la soupape de la conduite de déchargement (TCM, 1979). La pression maximale admissible pour les wagons-citernes DOT 111A100W1 est de 448 kPa (65 psi). Pour les wagons-citernes 111A60W1 ou 111A60F1, elle est de 276 kPa (40 psi). Ces deux pressions sont supérieures à la pression maximale d'air comprimé, égale à 138 kPa (20 psi), appliquée lors du déchargement. Les solutions d'hydroxyde de sodium ne sont jamais transportées sous pression.

4.1.1.2 Véhicules-citernes routiers. – Les solutions d'hydroxyde de sodium sont la plupart du temps expédiées dans des wagons-citernes, mais l'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 et, plus rarement, la solution à 73 p. 100, sont parfois transportés dans des véhicules-citernes routiers.

La capacité des camions-citernes utilisés pour le transport des solutions d'hydroxyde de sodium est fonction de la densité de la solution et du nombre d'essieux, lesquels sont habituellement au nombre de deux et parfois de trois. Ces deux facteurs déterminent la masse brute du véhicules, qui est la somme des masses de la solution d'hydroxyde de sodium, de la citerne, du châssis et du tracteur.

La figure 8 représente un camion-citerne à trois essieux ayant une masse brute totale de 50 000 kg (110 000 lb) et utilisé pour le transport des solutions d'hydroxyde de sodium à 73 p. 100. Ce camion-citerne d'une capacité de 20 400 l (5000 gal) est le plus gros véhicule permis pour le transport des solutions d'hydroxyde de sodium à 73 p. 100. Il est possible d'utiliser un camion-citerne de plus grande capacité pour le transport des solutions à 50 p. 100.

Pour le transport des solutions caustiques, on utilise le plus souvent un camion à deux essieux. Les camions-citernes servant au transport des solutions à 50 p. 100 ont des capacités comprises entre 9000 l et 15 900 l, soit des masses nettes comprises entre 13 600 kg et 24 200 kg.

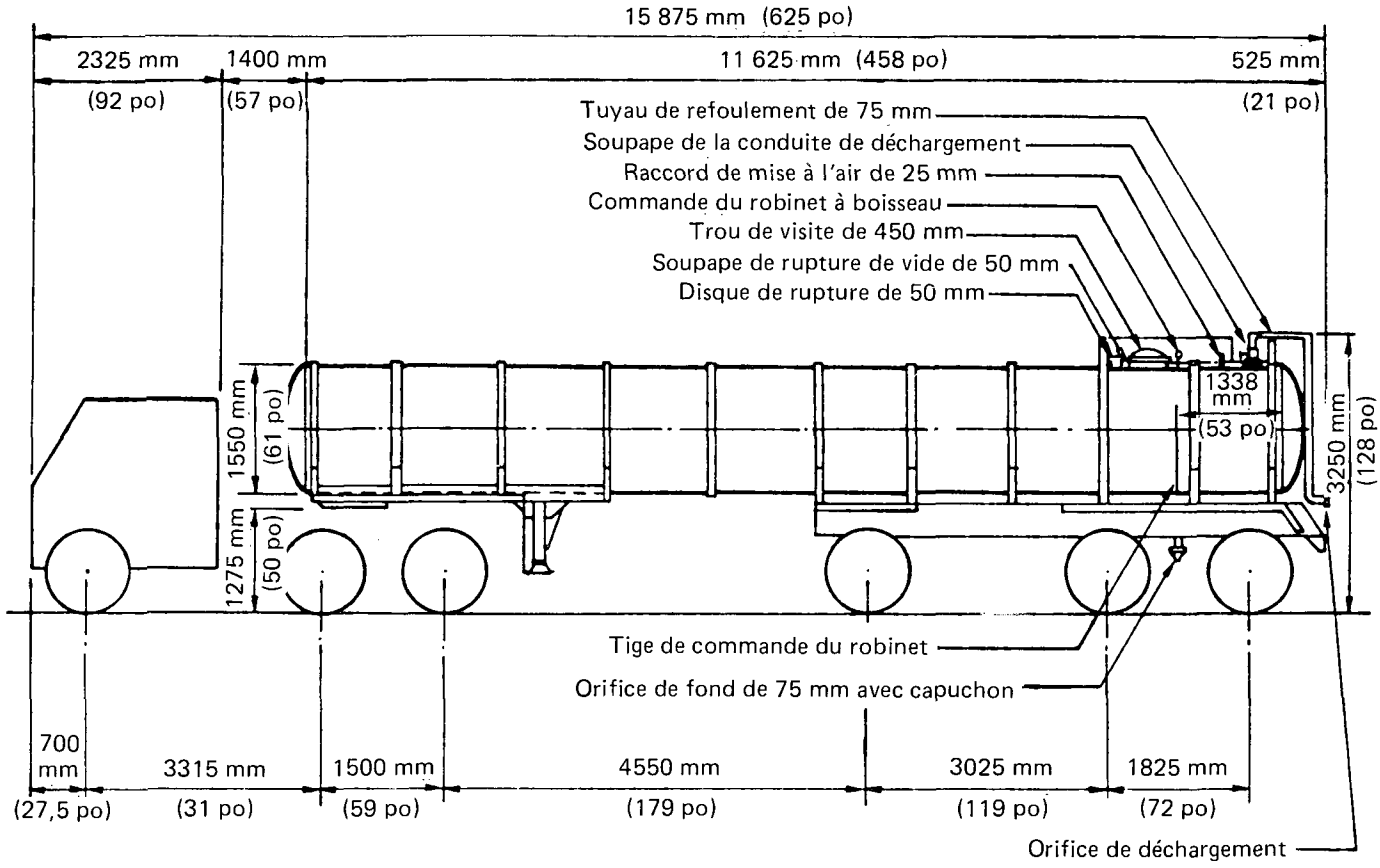
Comme les wagons-citernes, ces camions-citernes sont déchargés par le bas par un orifice muni d'un robinet à boisseau intérieur. Lorsqu'on effectue le déchargement à l'aide d'air comprimé, on se sert du tuyau de refoulement de 75 mm. Le raccord d'air est un raccord fileté de 25 mm de diamètre placé sur le dessus du camion-citerne, par lequel on peut appliquer une pression d'air ne dépassant pas 207 kPa (30 psi). Étant donné que les camions-citernes sont utilisés pour transporter les solutions d'hydroxyde de sodium sur des distances relativement courtes, ils ne sont généralement pas munis de dispositifs pour l'évacuation de la vapeur mais ils doivent être isolés afin que les pertes soient minimales.

Les camions-citernes doivent être conformes aux spécifications TC312 ou MC312 du DOT, décrites au tableau 4 (TDGC, 1980). Les matériaux de fabrication et leur épaisseur doivent être les mêmes que dans le cas des wagons-citernes. Les solutions d'hydroxyde de sodium ne sont pas transportées sous pression. Les camions-citernes doivent être soumis à une pression d'épreuve minimale de 311 kPa (45 psi) pour que l'on puisse utiliser l'air comprimé à une pression de 207 kPa (30 psi) lors du déchargement par le haut. La pression maximale de service est effectivement de 207 kPa (30 psi). Les camions-citernes servant au transport de l'hydroxyde de sodium anhydre sont semblables aux wagons-citernes décrits précédemment.

4.1.1.3 Citernes transportables. – On a utilisé des citernes transportables pour le transport de solutions d'hydroxyde de sodium en petites quantités. La capacité et la masse des citernes varient en fonction des besoins de l'utilisateur. Les dispositifs et les méthodes de déchargement sont semblables à ceux mentionnés dans le cas des wagons-citernes et des camions-citernes.

Figure 8

HYDROXYDE DE SODIUM — **VÉHICULES-CITERNES ROUTIERS**



MASSES ESTIMÉES		
Charge (20 203 l à 1,76 kg/l)	35 557 kg	(78 400 lb)
Réservoir	3 409 kg	(7 500 lb)
Châssis	3 773 kg	(8 300 lb)
Tracteur	7 273 kg	(16 000 lb)
Total	50 012 kg	(110 000 lb)

SPÉCIFICATIONS DE LA CITERNE	
Capacité	22 700 l (5000 gal imp.) + 3 %
Compartiments	UN
Chicanes	3 mm - 5 mm bombées
Bagues de renforcement	S S - MC 312
Fonds	5 mm - S S 316
Parois	épaisseur 10 - S S 316
Code	MC 312, ASME
Pression de service	207 kPa
Finition de soudage	W2 (Vacublast) intérieur & extérieur

Notes:
1. Toutes les dimensions sont exprimées en millimètres.
2. Le réservoir doit être recouvert d'un isolant de fibre de verre de 75 mm et d'une chemise d'acier inoxydable.

Tableau 4
Spécifications relatives aux véhicules-citernes routiers

Spécification de Transports Canada	Description
TC312 (MC312)	Citerne en acier soudé bout à bout ou acier inoxydable. Conçue et construite conformément au code ASME lorsque le déchargement se fait sous pression dépassant 103 kPa (15 psi). Indicateur de niveau non requis. Orifice de déchargement par le haut et/ou par le bas. Au moins un dispositif de réduction de la pression par compartiment, conformément au code ASME. Au moins un trou de visite de 380 mm de diamètre par compartiment. Orifice de purge par le bas facultatif.

Les citernes transportables doivent être conformes aux spécifications TC57 ou TC60 du DOT, ou aux spécifications 60 de la CCT. Se reporter au tableau 5 pour les descriptions de chaque spécification (TDGC, 1980). Les matériaux de fabrication utilisés sont fonction du titre de la solution. Pour une solution d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100, on utilise habituellement de l'acier ductile. Pour l'hydroxyde de sodium à 73 p. 100, il faut utiliser de l'acier inoxydable 316. L'épaisseur du matériau utilisé pour la partie cylindrique des parois et les extrémités des réservoirs doit être d'au moins 9 mm lorsqu'on utilise de l'acier, ou l'épaisseur équivalente lorsqu'on utilise de l'acier inoxydable ou un autre matériau.

On peut utiliser des citernes transportables métalliques ou des caisses fermées pour le transport de l'hydroxyde de sodium anhydre. La masse brute ne doit pas dépasser 3175 kg (4000 lb). On peut également utiliser des citernes métalliques garnies de caoutchouc ou des citernes en fibre de verre, pourvu que leur capacité ne dépasse pas 2,1 mètres cubes (75 pi^3).

4.1.2 Récipients d'expédition. – En plus de transporter l'hydroxyde de sodium anhydre en vrac, on le transporte dans des fûts.

Tableau 5
Spécifications relatives aux citernes transportables

Spécification de Transports Canada	Description
TC57	Citerne en acier soudé bout à bout, soudé par fusion. Capacité minimale de la citerne de 400 l (88 gal). Capacité maximale de la citerne de 2400 l (528 gal). Au moins un dispositif de réduction de la pression. Capuchon ou bouchon requis pour les soupapes de déchargement.
TC60	Citerne en acier soudé par fusion ou sans joints. Conçue et construite conformément au code ASME. La citerne et les accessoires permanents doivent être post-soudés. Doit être soumis au traitement thermique comme un tout. Dôme de 1 %. Orifice de déchargement par le bas interdit, sauf pour les liquides acides et corrosifs. Orifice de purge par le bas facultatif. Au moins un dispositif de réduction de la pression. Pression d'épreuve de 414 kPa (60 psi).

Tableau 6
Spécifications relatives aux récipients pour l'hydroxyde de sodium anhydre

Matériau	Description
Métal, bois ou carton	Boîte ou caisse avec récipients intérieurs en terre cuite, verre, métal, plastique, carton ou fibres de bois; contenance maximale en poids 4,54 kg (10 lb)
Carton	Boîte avec sac intérieur en papier une face, contenance maximale en poids 22,7 kg (50 lb)
Carton	Boîte avec sac intérieur en plastique une face, contenance maximale en poids 54,4 kg (120 lb)
Métal	Fût, contenance maximale 0,205 m^3 (7 pi^3)
Carton	Fût, poids utile maximal 249,5 (1550 lb) et contenance maximale 0,25 m^3 (8,8 pi^3)
Plastique	Fût ou seau, poids utile maximal 36,3 kg (80 lb) et contenance maximale 0,0273 m^3 (1 pi^3)
Papier	Sac à parois multiples, poids utile maximal 49,9 kg (110 lb), avec minimum de 4 couches y compris une couche à l'épreuve de l'humidité. Le récipient rempli à capacité, fermé et prêt pour l'expédition doit pouvoir résister à quatre chutes d'une hauteur de 1,22 m (4 pi) sur une surface solide, soit une chute sur chaque extrémité et une chute sur chaque face, sans subir de rupture
Toile de jute	Sac avec revêtement intérieur de plastique, poids utile minimal 0,213 kg (0,5 lb), capacité maximum 49,9 kg (110 lb). Épreuves de résistance aux chutes identiques au précédent
Plastique	Sac, poids utile maximal 49,9 kg (110 lb). Épreuves de résistance aux chutes identiques au précédent
Métal	Citerne portative, contenance maximale 3,0 m^3 (100 pi^3) et poids brut maximal 3175 kg (7000 lb). Voir section 4.1.1.3

Nota: Les véhicules à déchargement par gravité et à déchargement pneumatique ou les wagons métalliques non tamisants, à déchargement par gravité ou à déchargement pneumatique approuvés par le comité. Voir section 4.1.1.1.

Le tableau 7 donne les dimensions des fûts en acier et le tableau 8 celles des fûts en carton (TDGC, 1980).

4.2 Déchargement

4.2.1 Matériel et techniques de déchargement des wagons-citernes. – Avant de procéder au déchargement, il faut prendre certaines précautions (Dow, 1980; Hooker, PIM):

- vérifier que le réservoir de stockage, muni d'un évent, peut contenir tout le contenu de la citerne;
- si le déchargement se fait la nuit, les dispositifs d'éclairage doivent être anti-déflagrants;
- le personnel ne doit en aucun cas pénétrer dans le wagon-citerne;
- il faut serrer les freins, caler les roues et installer des dérailleurs sur les rails;
- un quai de service offrant toutes les conditions de sécurité doit exister au point de déchargement;

Tableau 7
Spécifications relatives aux récipients pour les solutions d'hydroxyde de sodium (CCT, 1974 – 73.249 liquides corrosifs alcalins, liquides caustiques alcalins, fluides d'accumulateurs corrosifs alcalins et aluminate de sodium)

Matériau	Désignation	Description
Verre	1A, 1B, 1C ou 1E	Bouteilles dans des boîtes, des barillets ou des fûts en contreplaqué
	1X	Bouteilles dans des boîtes; non réutilisables, pour l'exportation uniquement
Verre	1D	Bouteilles dans des boîtes; la boîte doit être fermée et avoir une contenance nominale maximale de $2,5 \times 10^{-2}$ m^3 (0,9 pi^3)
Métal	1H	Caisse avec récipient intérieur en polyéthylène
Métal	5, 5A, 5C ou 5M	Fût ayant ouverture de diamètre maximal de $5,84 \times 10^{-2}$ m (2,3 po).
Métal	5O	Fût à revêtement intérieur de caoutchouc
Métal	5H	Fût à revêtement intérieur de plomb
Acier	6D ou 37M	Emballage extérieur cylindrique, jetable, avec récipient en polyéthylène de spécification 2S ou 2SL
Bois	10A	Fût ou barillet, avec revêtement asphalte, de paraffine ou de cire résistant aux opérations de chargement et déchargement
Bois	11A ou 11B	Fût ou barillet, avec récipient intérieur de verre ou de céramique, contenance maximale de $9,09 \times 10^{-3}$ m^3 (0,3 pi^3)
Carton	12A	Boîte contenant des bouteilles de verre, de polyéthylène ou de plastique incassable, capacité maximale de $4,546 \times 10^{-3}$ m^3 (0,15 pi^3) Ne pas placer dans chaque boîte plus de 4 bouteilles ayant chacune une contenance supérieure à $2,37 \times 10^{-3}$ m^3 (0,08 pi^3)

Matériau	Désignation	Description
Carton	12B	Boîte contenant au plus, un récipient de verre ayant chacun une contenance maximale de $4,546 \times 10^{-4}$ m^3 ($0,015$ pi^3) et rempli de solution de NaOH ne titrant pas plus de 25 p. 100 Boîte contenant des récipients de polyéthylène ou de plastique incassable résistant à la manutention et fermés par couture ou munis d'une autre fermeture efficace et ayant chacun une contenance maximale de $4,546 \times 10^{-3}$ m^3 ($0,15$ pi^3) Le poids brut de l'emballage complet ne doit pas excéder 29,48 kg (65 lb) Boîte contenant des récipients en polyéthylène de spécification 2U ayant chacun une contenance maximale de $2,273 \times 10^{-2}$ m^3 ($0,8$ pi^3) Boîte contenant des bouteilles en polyéthylène, ayant chacune une contenance maximale de $2,273 \times 10^{-2}$ m^3 ($0,8$ pi^3) tel qu'indiqué au paragraphe 34 des spécifications 12B. Maximum de une bouteille par boîte.
Bois	15A, 15B, 15C, 16A ou 19A	Boîte contenant des récipients de verre ou de céramique ayant chacun une contenance maximale de $9,092 \times 10^{-3}$ m^3 ($0,3$ pi^3), ou des récipients intérieurs en métal ayant chacun une contenance maximale de $2,273 \times 10^{-2}$ m^3 ($0,8$ pi^3) Boîte contenant des récipients de polyéthylène ayant chacun une contenance maximale de $4,546 \times 10^{-3}$ ($0,15$ pi^3) Boîte contenant des récipients de verre, de céramique, de polyéthylène,

Matériau	Désignation	Description
		ou de plastique incassable (les sacs sont interdits) ayant une contenance maximale de $4{,}546 \times 10^{-3}$ m^3 ($0{,}15$ pi^3) sauf que les récipients ayant une contenance de $1{,}364 \times 10^{-2}$ m^3 ($0{,}5$ pi^3) sont autorisés si un seul est placé dans chaque emballage extérieur
Bois	15P ou 22C	Boîte ou fût en bois ou en contreplaqué avec récipient intérieur de polyéthylène
Bois	16A	Boîte liée avec des fils, avec récipient intérieur de spécification 2U
Bois	16D	Emballage extérieur lié avec des fils avec récipient intérieur en polyéthylène
Métal	17C, 17E ou 17F	Fût, emballage perdu, avec ouverture de diamètre maximal de $5{,}8 \times 10^{-2}$ m ($2{,}3$ po)
Métal	17H, 37A ou 37B	Fût, emballage perdu, fermé par soudure, ayant chacun une contenance maximale de $2{,}273 \times 10^{-2}$ m^3 ($0{,}8$ pi^3). Doit être garni de plastique flexible qui résiste à la manutention
Carton	21P	Fût avec récipient intérieur de polyéthylène de spécification 2S, 2SL ou 2U.
Verre	33A	Caisse en polystyrène, emballage perdu, avec récipient intérieur ayant une contenance maximale de $4{,}732 \times 10^{-4}$ m^3 ($0{,}015$ pi^3)
Polyéthylène	34	Récipient sans emballage extérieur, ayant une contenance maximale de $1{,}137 \times 10^{-1}$ m^3 (4 pi^3)
Acier	37P	Fût avec revêtement intérieur de polyéthylène, emballage perdu
Caoutchouc	43A	Fût

Tableau 8
Dimensions des fûts en acier

Forme de l'hydroxyde de sodium anhydre	Poids en kg (lb) Net	Tare	Brut	Dimension en mm (po)	Épaisseur de l'acier
Solide	318 (700)	10 (22)	328 (722)	525 x 788 (20 x 30)	24
En flocons	45 (100)	4 (9)	49 (109)	369 x 588 (15 x 23)	24
	182 (400)	10 (22)	192 (422)	525 x 838 (20 x 30)	24
En cristaux	182 (400)	10 (22)	192 (422)	525 x 838 (20 x 30)	24

Tableau 9
Dimensions des fûts en fibre

Forme de l'hydroxyde de sodium anhydre	Poids net en kg (lb)	Dimensions en mm (po) Diamètre x hauteur
En flocons	45 (100)	369 x 588 (15 x 33)
	182 (400)	525 x 838 (20 x 33)
En cristaux	182 (400)	525 x 838 (20 x 33)

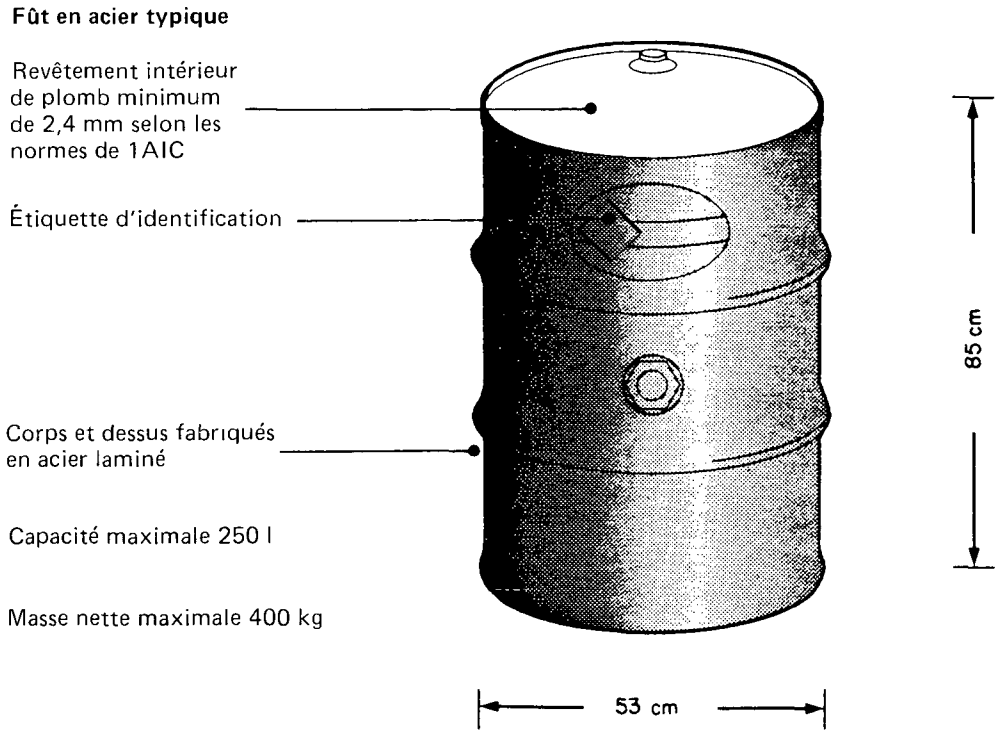
- le personnel doit être adéquatement instruit des exigences de sécurité dans la manutention de l'hydroxyde de sodium;
- tout le personnel doit porter des vêtements et des appareils de protection;
- la voie de déchargement doit être de niveau et des avertissements doivent être affichés dans la zone voisine du déchargement;
- des douches oculaires automatiques et des douches de sécurité en bon état de fonctionnement doivent être à la disposition du personnel;

Il existe deux méthodes de déchargement de l'hydroxyde de sodium: le déchargement par le haut et le déchargement par le bas. Les deux méthodes sont expliquées à la figure 10.

La plupart des wagons-citernes transportant de l'hydroxyde de sodium sont munis d'une tubulure de déchargement et peuvent être déchargés par le dôme par air comprimé, ou déchargés par le bas par l'orifice de déchargement situé au bas du wagon-citerne. Lorsqu'on décharge par le bas, le liquide peut s'écouler sous l'action de la pesanteur jusqu'à un réservoir de stockage, avec ou sans l'utilisation d'air comprimé. On ne peut utiliser l'air comprimé que si le dessus du réservoir de stockage est moins élevé que le bas du wagon-citerne. Le déchargement par le dôme au moyen d'air comprimé convient pour les solutions à 50 p. 100, pourvu que la différence de niveau entre le bas du wagon-citerne et le haut du réservoir de stockage ne soit pas supérieure à 9 mètres (30 pi). La solution à 73 p. 100 doit être pompée (Dow, 1980). Les deux méthodes sont illustrées à la figure 10.

Figure 9

HYDROXYDE DE SODIUM — **FÛT TYPIQUE**



Pour le déchargement par le haut, suivre les étapes suivantes:

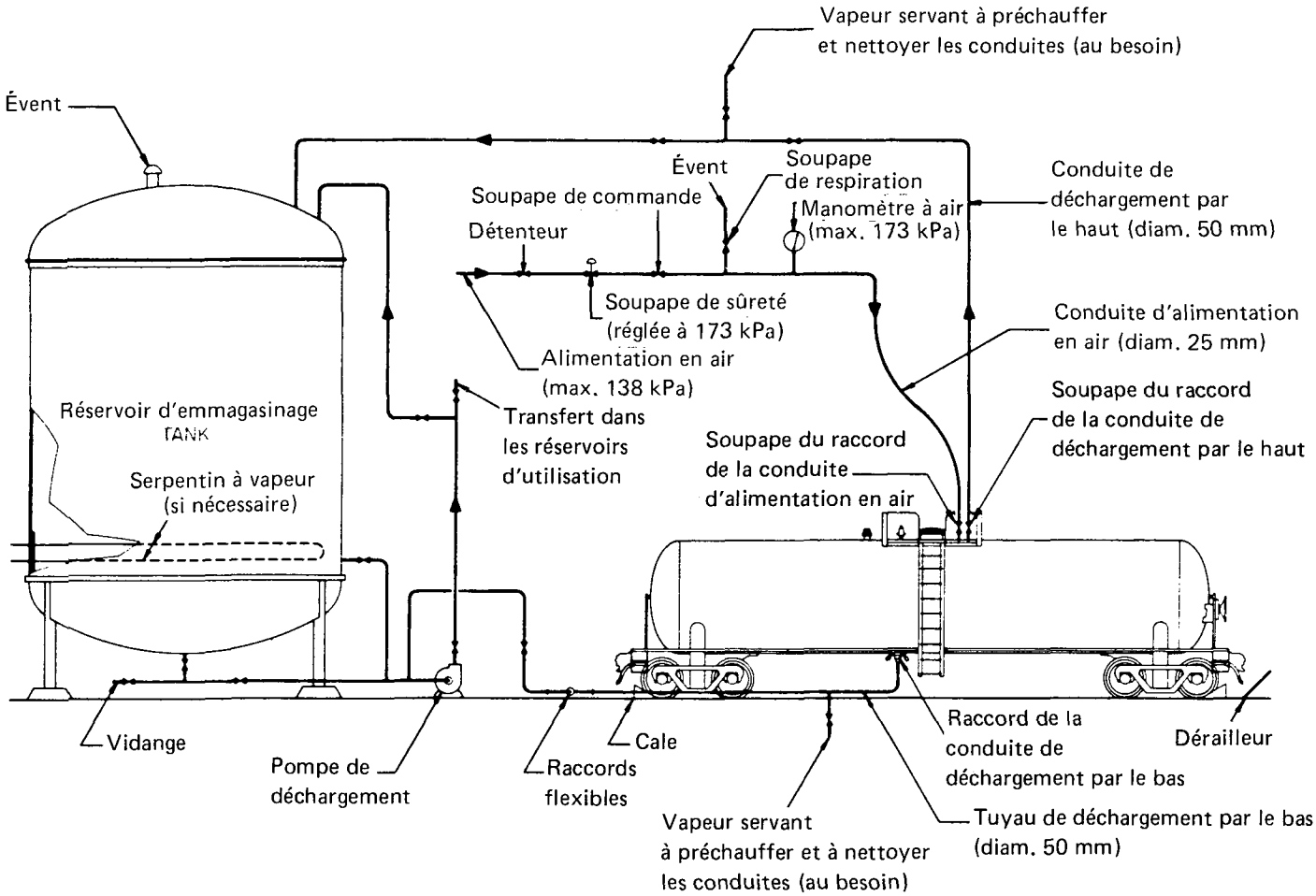
- Retirer le carter de protection qui recouvre les soupapes de l'entrée d'air et de la conduite de déchargement. Ouvrir soigneusement le raccord d'arrivée d'air de 25 mm (1 po) afin de ramener la pression à l'atmosphère. La température de la solution doit être mesurée dans le dôme afin de déterminer si le chauffage est nécessaire. Le chauffage n'est pas nécessaire si la température de la solution à 50 p. 100 est supérieure à 29 °C ou si la température de la solution à 73 p. 100 est supérieure à 85 °C.
- après avoir enlevé le couvercle de protection de l'entrée d'air et de la conduite de déchargement sur le dessus de la citerne, brancher le tuyau de déchargement de 51 mm à l'orifice de déchargement et brancher la conduite d'air. Il faut réduire la pression d'air à 138 kPa pour le déchargement. Une soupape de sûreté réglée à 172,4 kPa (25 psi) doit être installée dans la canalisation d'air (Hooker, PIM; Dow, 1980).
- après avoir ouvert la soupape de la conduite de déchargement, la pression d'air peut être appliquée très lentement jusqu'à ce que la solution commence à s'écouler jusqu'au réservoir. Éliminer toutes les fuites d'air ou de solution en serrant bien les raccords. Continuer l'opération jusqu'à ce que la citerne soit vide (Hooker, PIM; Dow, 1980);
- une fois la conduite de déchargement drainée, fermer la conduite d'alimentation en air et ramener à la pression atmosphérique, 101 kPa (Hooker, PIM; Dow, 1980);
- pour fermer le wagon-citerne, renverser l'ordre des opérations.

Figure 10

HYDROXYDE DE SODIUM

DÉCHARGEMENT D'UN WAGON-CITERNE

Reference: HOOKER PIM



Note:
Les méthodes de déchargement par le haut et par le bas sont décrites dans le texte.

Pour le déchargement par le bas en utilisant une pompe ou l'écoulement par gravité, suivre les étapes suivantes:

- ouvrir le couvercle de dôme et s'assurer qu'il reste ouvert tout au long du déchargement;
- bien chauffer l'orifice de déchargement par le bas en raccordant la conduite de vapeur à la chemise de vapeur. Si le liquide à décharger est une solution à 50 p. 100, il ne sera peut-être pas nécessaire d'utiliser le chauffage à la vapeur;
- vérifier que le robinet à tournant de l'orifice de déchargement par le bas est bien fermé.
- lorsque la citerne est vide, fermer la soupape d'alimentation en air et ouvrir l'évent afin que la pression à l'intérieur de la conduite d'air s'équilibre avec la pression atmosphérique. Le manomètre doit indiquer 101 kPa.
- pour fermer le wagon-citerne, effectuer les opérations ci-dessus dans l'ordre inverse.

Pour le déchargement par le bas, procéder de la manière suivante en laissant le produit s'écouler par gravité ou en utilisant une pompe (Hooker, PIM; Dow, 1980):

- raccorder la tubulure de déchargement après l'avoir réchauffée à la vapeur;
- ouvrir la soupape intérieure du bas en tournant le robinet situé au-dessus du wagon. Ouvrir le robinet à tournant situé dans l'orifice de déchargement du bas et laisser le liquide s'écouler jusqu'à la pompe ou à l'endroit souhaité. Lorsqu'il s'agit de solution à 73 p. 100, elle peut être diluée à l'avance, puis le robinet intérieur est ouvert et la pompe est mise en marche;
- la pompe est mise en marche et le déchargement est effectué;
- pour fermer le wagon, effectuer les opérations ci-dessus dans l'ordre inverse.

Pour le déchargement par le bas en utilisant l'air comprimé, suivre les étapes suivantes (Hooker, PIM; Dow, 1980):

- réchauffer les organes de déchargement par le bas;
- ouvrir le couvercle du dôme;
- retirer avec précaution le bouchon de l'orifice inférieur;
- raccorder la tubulure de déchargement;
- ouvrir la soupape du bas actionnée par une commande au-dessus du wagon;
- appliquer une pression d'air jusqu'à ce que la citerne soit complètement vidée;
- couper l'alimentation en air et ramener la pression à l'atmosphère dans la citerne.

4.2.2 Matériel et techniques de déchargement des véhicules-citernes routiers. – Le déchargement des camions-citernes contenant de l'hydroxyde de sodium s'effectue de la même façon que le déchargement des wagons-citernes, mais il n'y a généralement pas de dispositif d'injection de vapeur. Les méthodes générales applicables aux wagons-citernes conviennent également aux véhicules-citernes routiers.

Le conducteur du véhicule est généralement responsable du déchargement de son véhicule qui n'exige qu'un raccord de déchargement de 51 mm (2 po) qui fait partie de l'installation permanente devant recevoir le produit. Il faudra se conformer aux mesures de sécurité recommandées pour le déchargement des wagons-citernes.

4.2.3 Spécifications et matériaux de fabrication du matériel de déchargement. – Les matériaux entrant dans la fabrication des éléments d'un système de déchargement et les spécifications dont il est question dans la présente section sont ceux qu'on emploie généralement pour l'hydroxyde de sodium. On reconnaît que d'autres matériaux peuvent être utilisés pour les cas spéciaux, comme l'indique le tableau 10. Une installation typique de déchargement comprend notamment des tuyaux et des raccords, des connexions souples, des soupapes, des joints, des pompes et des réservoirs de stockage.

Tableau 10
Compatibilité avec les matériaux

	Produit chimique		Matériau		
Application	*Conc.*	*Temp. °C*	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites	50 %	⩽49	ANA ASTM A53		
et raccords	50 %	<66	ANA ASTM A106 (DCS)		
	50 %	79	Polyéther chloré*		
		79	PP (Dow, 1980)		
			PVDF* (DCRG, 1972)		
		93	PVDF* (DCRG, 1972)		
			AI 304, 316 (CE, 1980)		
	70 %	Jusqu'à la limite d'utilisation du matériau	PVC I		
			PE* (MWPP, 1978)		
	73 %	49	PE* (DPPED, 1967)		
	73 %	60	PVC* (DPPED, 1967)		
	73 %	60	PVC II* (DPPED, 1967)		
	73 %	66	PVDF		
			PP* (DCRG, 1972)		
		71	ABS* (DPPED, 1967)		
		79	Polyéther chloré* (DCRG, 1972)		
	Anhydre	<316 °C	Ni 200 (CE, 1980)		
		>316 °C	Ni 201 (CE, 1980)		
		⩽480 °C	Ni (Kirk-Othmer, 1978)		
2. Soupapes	50 %	Moyenne	Tout fer (DCS)		
	50 %	<49 oC	Fonte, acier (Hooker, PIM)		
	50 %	Élevée, >49 °C	Nickel (DCS; Hooker, PIM)		
	73 %		Nickel (Hooker, PIM)		

Application	Produit chimique		Matériau		
	Conc.	Temp. °C	Recommandé	Réserves	Déconseillé
3. Pompes	Aqueux		Corps: tout fer, AI 410, AI 304, AI 316, F, Monel, Nickel (HIS, 1969). Parties mouillées: Monel, Nickel, F (DCS)		
			Alliage «20» ou équivalent (Dow, 1980)	Acier, fonte (Dow, 1980)	
4. Stockage	50 %	< 66	ANA (DCS)		
		< 60	Acier doux (Dow, 1980)		
		⩽ 49	Acier ASTM A 283 qualité C (Hooker, PIM)		
		> 49	Nickel (Hooker, PIM)		
	73 %	> 62	Nickel (Hooker, PIM)		
	53-73 %	Non indiqué	Latex néoprène (revêtement 20 mil) (CE, 1980)		
			CN, CR (revêtements) (CE, 1980)		
			Acier 10 mm Plaque d'acier de qualité ductile de 10 mm (SCS, 1963)		
5. Autres	5 %	52, 100	Béton (CDS, 1967)		
		24	Bois (CDS, 1967)		
	5 %	100	(FMT)		
	7 %	< 93	Acier (Hooker, PIM)		
	10 %	24 à 79	Bois (CDS, 1967)		
		< 88	Acier (Hooker, PIM)		
	10 à 20 %	52	Zr		Verre (CDS, 1967)
	10 à 25 %	Ébullition	Ti, Zr (FMT)		
	10 à 30 %	24	Béton (CDS, 1967)		
	20 %	< 71	Acier (Hooker, PIM)		
	50 %	79	Polyéther chloré PP (DCRG, 1972)		
		93	PVDF (DCRG, 1972)		

Application	Produit chimique		Matériau		
	Conc.	Temp. °C	Recommandé	Réserves	Déconseillé
		Ébullition	Allcorr, Hastelloy,		AI 302
			B-2, Inconel 625 (TA)		AI 304 (ASS)
		100	CPVC (TPS, 1978)		
	70 %	22	CPVC (TPS, 1978)		
		100			Verre (CDS, 1967)
	73 %	66	PVDF		
			PP (DCRG, 1972)		
		79	Polyéther chloré (DCRG, 1972)		
	Solution visqueuse	60	PE	PVC n.p. (GFPS)	CN (GFPS)
			PP		
			POM		
			NBR*		
			IIR		
			EPDM		
			CR*		
			CF		
			CSM* (GF)		
	Toutes concentrations	20	AI 316		
			AI 302		
			AI 304		
			AI 410		
			AI 430 (ASS)		
	⩽ pH 14	65,5	Verre sur acier (résistant aux alcalis) (CE, 1980)		
	⩽ pH 13	82	Verre sur acier (résistant aux alcalis) (CE, 1980)		
	⩽ pH 13	100		Verre sur acier (résistant aux alcalis) (CE, 1980)	
	pH 11	82	Verre sur acier (résistant aux acides/alcalis) (CE, 1980)		
	100 %	289			Verre (CDS, 1967)
	100 % (supposé)	Fusion 315		AI 316 (ASS)	AI 302
					AI 304 (ASS)
			IIR		CN
			Si		SBR
			EPDM (GPP)		CR

Application	Produit chimique		Matériau		
	Conc.	Temp. °C	Recommandé	Réserves	Déconseillé
					NBR CSM (GPP) Zinc Laiton Bronze (SCS, 1963) Aluminium Étain (HCS, 1980)
	70 %	100			Verre (CDS, 1967)
	100 %	289			Verre (CDS, 1967)
	10 à 30 %	24	Béton (CDS, 1967)		
	5 %	52, 100	Béton (CDS, 1967)		
	5 %	24	Bois (CDS, 1967)		
	10 %	24 à 79	Bois (CDS, 1967)		

* Ce matériau a reçu une cote inférieure pour une application similaire dans une autre source.

Le nickel est le métal recommandé pour le service de l'hydroxyde de sodium à toutes les concentrations et à toutes les températures, y compris la forme anhydre fondue jusqu'à 480 °C. L'usage de ce métal est toutefois limité en raison de son coût élevé et de sa disponibilité réduite. Généralement, le nickel ou les alliages de nickel ne sont utilisés que pour l'équipement utilisés dans des cas spéciaux, pour des solutions à température élevée ou lorsque les solutions doivent s'écouler très rapidement. L'acier doux convient généralement pour toutes les opérations de manutention de l'hydroxyde de sodium. À la température ambiante, le taux de corrosion par les solutions d'hydroxyde de sodium en contact avec l'acier est inférieur à celui de l'eau (Kirk-Othmer, 1978). L'équipement en acier convient pour les solutions à 50 p. 100 à des températures modérées (> 49 °C) (Hooker, PIM).

L'acier n'est pas recommandé à des températures supérieures à 49-60 °C à cause de la corrosion. Les aciers inoxydables au nickel et au chrome résistent mieux à la corrosion par l'hydroxyde de sodium que l'acier doux. Le Monel 1 est très résistant à la corrosion mais tend à altérer la couleur de la solution à 50 p. 100 après un long usage en raison de la présence de cuivre dans le métal. Le tableau suivant indique les taux de corrosion pour divers métaux au contact de la solution à 50 p. 100 d'hydroxyde de sodium. Les tests ont été faits sur une durée de 30 jours à des températures allant de 55 à 75 °C.

Matériau	Taux de corrosion, mg/dm^2/jour
Inconel	0,10
Nickel	0,13
Monel	0,16
Cu-Ni (70-30)	0,31
Acier Cr-Ni (18-8)	0,57
Ni-resist (type 1)	10,5
Acier doux	43,4
Fonte	50,5

En général, la résistance à la corrosion est proportionnelle à la teneur en nickel. L'aluminium, le laiton, le bronze, le cuivre, l'étain et le zinc ne doivent pas être utilisés avec l'hydroxyde de sodium et ses solutions puisque l'hydrogène gazeux qui pourrait être généré peut exercer une pression et également former un mélange explosif avec l'air (Kirk-Othmer, 1978; Hooker, PIM).

En plus de la corrosion ordinaire, le chlorure présent dans les cellules à diaphragme utilisées pour les solutions d'hydroxyde de sodium peut causer des fissurations par corrosion sous tension dues au chlorure (également appelées fragilisation par un produit caustique) des aciers inoxydables austénitiques, à des températures élevées. Cette corrosion se produit particulièrement aux points de tension soutenue. Les températures auxquelles l'équipement (comme l'acier au carbone soudé) peut résister à la fissuration par corrosion sous tension sont indiquées dans le tableau suivant:

Température °C	Solution concentration (%)
93	7
88	10
71	20
60	30
52	40
49	50

Même à des températures et à des concentrations auxquelles aucune corrosion importante ne peut se produire, les solutions d'hydroxyde de sodium font dissoudre une petite partie du fer contenu dans l'acier de l'équipement de manutention et d'entreposage. Cette dissolution peut être réduite par les mesures suivantes: a) réduire le temps de contact; b) réduire la surface de contact entre le métal et la solution; c) réduire la température; d) utiliser des garnitures. Les matériaux de garnitures sont généralement le polypropylène, qui convient jusqu'à 79 °C, et les plastiques au fluorocarbure pour les températures moyennement élevées (Kirk-Othmer, 1978; Hooker, PIM; Dow, 1980).

La documentation étudiée indique que l'acier au carbone n° 40 est recommandé pour les conduites et les raccords utilisés pour les solutions d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 (Dow, 1980; Hooker, PIM; CCPA, 1983). On signale toutefois que certains utilisateurs et fournisseurs utilisent l'acier n° 80 (CCPA, 1983). Les conduites en fonte ne sont pas recommandées à cause de la fragilité de ce matériau (CCPA, 1983). Si la pollution par le fer cause un problème, on recommande des conduites en acier à brides, avec revêtement intérieur de polypropylène qui conviennent jusqu'à 79 °C. Des conduites en plastique sans appui doivent être utilisées; les conduites en plastique armé de fibre de verre ne doivent être utilisées que dans certains cas spéciaux (Dow, 1980). Les joints à brides ou soudés (les raccords vissés ne se sont pas révélés efficaces) peuvent être utilisés pour les conduites d'hydroxyde de sodium (CCPA, 1983; Dow, 1980). Un fournisseur recommande l'utilisation d'acier au carbone, ASTM A53, type E ou S, n° 20 (203 mm à 305 mm, ou 8 à 12 po); n° 40 (jusqu'à 15,24 cm ou 6 po) et les raccords vissés (jusqu'à 20 mm ou 3/4 po) pour les solutions à 50 p. 100. Le revêtement recommandé pour le filetage est la pâte TFE ou le ruban TFE (Hooker, PIM). Le nickel ou l'acier plaqué de nickel est recommandé pour les solutions à 73 p. 100 (Hooker, PIM). Le traitement de détente thermique est recommandé pour augmenter la durée utile des réseaux de conduites. Si une fuite se produit au point de soudure, l'unique réparation efficace consiste en enlever au burin la soudure défectueuse et à refaire une nouvelle soudure (SCS, 1963).

Toutes les conduites du procédé de fabrication doivent être installées au-dessus du sol, dans la mesure du possible. Si les conduites sont enterrées, la protection cathodique limitera au maximum la corrosion extérieure. Les conduites doivent avoir un grand diamètre afin d'éviter le flot turbulent qui risquerait d'éroder la surface résistante à l'hydroxyde qui se forme graduellement à l'intérieur des conduites et qui réduit les risques de pollution par le fer. Des raccords coudés en L de grandes dimensions sont également recommandés afin de maintenir l'écoulement laminaire. Les conduites de déchargement doivent avoir un diamètre de 51 mm (2 po), puisque c'est la dimension standard des raccords installés sur les wagons-citernes utilisés pour le transport de l'hydroxyde de sodium. Les conduites des procédés de fabrication peuvent avoir des diamètres différents, mais les conduites de moins de 25 mm (1 po) de diamètre ne sont pas recommandées.

L'auto-drainage est indispensable pour les conduites extérieures qui doivent être chauffées et isolées. Si l'auto-drainage n'est pas possible, des soupapes de drainage à bouchon doivent être posées à l'endroit le moins élevé de l'installation (Dow, 1980; Hooker, PIM; SCS, 1963). Les conduites extérieures peuvent être réchauffées au traçage à la vapeur (Hooker, PIM; CCPA, 1983) ou au moyen de rubans de chauffage à contrôle autonome ou de câbles de chauffage munis de contrôles thermostatiques (Dow, 1980). Une référence indique que le traçage à la vapeur n'est pas généralement recommandé puisque la température de l'hydroxyde de sodium peut facilement excéder 60 °C dans des conditions stables, et des fissurations dues à la corrosion peuvent se produire aux points de soudure (Dow, 1980). La conduite de vapeur doit être séparée de la conduite d'hydroxyde de sodium par une isolation, par exemple, des briques de magnésie espacées de 3 mètres (10 pi). Le surchauffage de la conduite de transfert peut résulter du contact de la conduite et du tube de traçage ou de leur proximité. Le tube de traçage doit être isolé (Hooker, PIM; CCPA, 1983); ce tube peut être fait de cuivre ou d'acier, avec un diamètre de 9 à 13 mm (3/8 à 1/2 po) (SCS, 1963).

Des conduites flexibles en acier ou des sections de conduites rigides avec joints articulés peuvent être utilisées pour la partie flexible de la conduite de déchargement. Les joints articulés à roulement à billes ou les joints du type presse-étoupe, bien entretenus, donneront un service adéquat. Certaines conduites flexibles sont installées avec des raccords ordinaires en utilisant des coudes filetés. Cette pratique assure la flexibilité suffisante, mais présente des coûts d'entretien plus élevés à cause des fuites fréquentes des raccords filetés (SCS, 1963).

Des robinets à boisseau lubrifiés en fer ou les robinets-vannes en fer donneront un service adéquat pour les conduites transportant la solution à 50 p. 100. Pour les solutions à 50 p. 100 chaudes et toutes les solutions à 73 p. 100, les robinets à boisseau lubrifiés en nickel donneront le meilleur service (SCS, 1963).

L'amiante graissée au graphite, de même que le téflon et le caoutchouc peuvent être utilisés comme matériaux de garniture (CCPA, 1983).

Bien que les pompes centrifuges non désamorçables par l'air en acier ou en fonte sont préférables pour les solutions d'hydroxyde, ces pompes ont une durée utile courte et présentent des coûts d'entretien élevés. Le meilleur service est obtenu avec l'alliage n° 20 ou l'équivalent. La pompe doit être munie d'un impulseur ouvert, d'un axe en monel et d'un presse-étoupe très épais. Elle doit aussi être munie de raccords pour le traçage à la vapeur et la vidange. Les pompes à commande directe ne devraient pas être utilisées. Si les fuites d'hydroxyde de sodium autour du presse-étoupe constituent un risque pour le personnel, les pompes munies d'un joint mécanique devraient être utilisées (Hooker, PIM; Dow, 1980). Les pompes volumétriques ou d'autres types de pompes peuvent être utilisés dans des cas spéciaux (Dow, 1980).

Les réservoirs d'entreposage doivent pouvoir recevoir tout le contenu d'un wagon-citerne. Les citernes en acier doux soudées en bout conviennent pour l'entreposage en conditions normales. Le recuit pour éviter la fissuration par corrosion sous tension n'est généralement pas nécessaire sauf si la température excède 60 °C. Puisque l'hydroxyde de sodium à 73 p. 100 épaissit sous cette température, l'acier ordinaire subit une forte corrosion; on recommande donc l'utilisation de nickel ou d'acier garni de nickel ou encore d'une garniture résistante. Les réservoirs cylindriques, sont acceptables, qu'ils soient horizontaux ou verticaux, bien que les réservoirs verticaux soient préférables en raison de leur faible encombrement et de la possibilité de les poser facilement sur des dalles de béton. La partie inférieure du cylindre doit être posée sur un fond d'asphalte afin d'éviter la corrosion à l'extérieur. Les réservoirs d'entreposage doivent être isolés et munis d'un équipement de chauffage (Dow, 1980; Hooker, PIM).

4.3 Compatibilité avec les matériaux

La compatibilité de l'hydroxyde de sodium avec les matériaux de construction est indiquée au tableau 10.

Les abréviations qui ne sont pas entre parenthèses proviennent du tableau 11. Les cotes employées dans le présent rapport sont décrites comme suit:

Recommandé: matériau donnant des résultats satisfaisants dans les applications indiquées.

Réserves: matériau se détériorant dans l'application indiquée, mais pouvant convenir s'il est utilisé par intermittence ou à court terme.

Déconseillé: matériau se détériorant beaucoup dans l'application indiquée; ne devrait jamais être utilisé.

Tableau 11
Matériaux

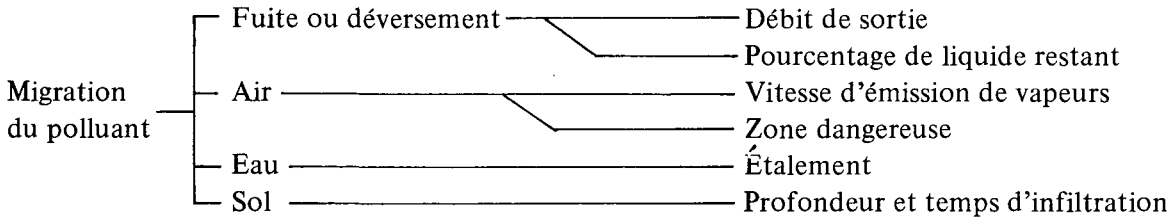
Abréviation	Matériau
ABS	Acrylonitrile/Butadiène/Styrène
NBR	Acrylonitrile/Butadiène (Nitrile, Buna N)
	Aluminium
	Laiton
	Bronze
ANA	Acier non allié
	Fonte, austénitique
	Polyéther chloré
CPVC	Chlorure de polyvinyle chloré
CSM	Polyéthylène chlorosulforé (Hypalon)
	Béton
EPDM	Éthylène propylène
CF	Caoutchouc fluoré (Viton)
	Verre
IIR	Isobutylène/Isoprène (Butyl)
CN	Caoutchouc naturel
	Nickel
	Alliage nickel-cuivre (Monel)
CR	Polychloroprène (Néoprène)
PE	Polyéthylène
POM	Polyoxyméthylène
PP	Polypropylène
PVC (qualité s'il y a lieu)	Chlorure de polyvinyle
PVDF	Fluorure de polyvinylidène
Si	Silicium
SBR	Styrène/Butadiène (GR-5, Buna S)
AI (qualité)	Acier inoxydable
	Étain
PVC n.p.	Chlorure de polyvinyle non plastifié
	Bois
	Zinc

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

L'hydroxyde de sodium est transporté à l'état solide, sous forme de paillettes ou de pastilles, ou à l'état de solutions aqueuses à 50 p. 100 et à 73 p. 100. Pour l'expédition, l'hydroxyde de sodium à 73 p. 100 est chauffé afin qu'il reste au-dessus de son point de congélation (62 °C). Toutes ces formes se dissolvent rapidement dans l'eau. Déversé sur le sol, le produit en solution aqueuse s'étend en surface, puis s'infiltre plus ou moins rapidement, selon la nature du sol et sa teneur en eau. La migration de l'hydroxyde de sodium vers la nappe phréatique peut constituer un danger pour l'environnement. L'hydroxyde de sodium n'étant pratiquement pas volatil, il n'y a pas de risque qu'il pollue l'air.

Il faut tenir compte des facteurs suivants advenant un déversement dans l'eau ou sur le sol:



5.2 Nomogrammes des fuites

5.2.1 Introduction. – L'hydroxyde de sodium est transporté sous forme de paillettes ou de pastilles solides ou sous forme de solutions aqueuses à 50 p. 100 et à 73 p. 100. En solution aqueuse, il est généralement transporté dans des wagons-citernes cylindriques et des véhicules-citernes routiers. Il existe des wagons-citernes de capacités très différentes, mais pour la préparation des nomogrammes des fuites, nous avons choisi un modèle d'environ 2,75 mètres de diamètre et 13,4 mètres de long, d'une capacité d'environ 80 000 litres.

Lorsqu'un wagon-citerne chargé d'une solution aqueuse à 50 p. 100 est percé au fond, tout le liquide qu'il contient s'en échappe par gravité. Les solutions de concentrations plus élevées sont très visqueuses ou solides aux températures normales et elles ne s'écoulent pas par gravité, à moins que la température ne soit élevée. Par conséquent, les nomogrammes des fuites s'appliquent seulement aux températures supérieures à 11 °C ou aux solutions à 73 p. 100 à des températures supérieures à 62 °C.

Les nomogrammes sont conçus comme un moyen simple de décrire l'évolution des conditions à l'intérieur de la citerne et le débit d'écoulement du liquide. Étant donné que les solutions d'hydroxyde de sodium sont peu volatiles et qu'elles ne sont pas transportées sous pression, nous n'avons pas préparé de nomogrammes sur l'émission de vapeurs par une perforation se trouvant sur le dessus de la citerne.

Le débit de fuite (q) d'un liquide par perforation au fond de la citerne est défini par l'équation standard sur les orifices (Streeter, 1971). Il varie en fonction de la surface de la section (s) et de la forme de l'orifice, de la hauteur (h) de liquide au-dessus du trou et du coefficient de débit (Cq).

Nous avons préparé les nomogrammes en supposant un coefficient de débit constant de 0,8.

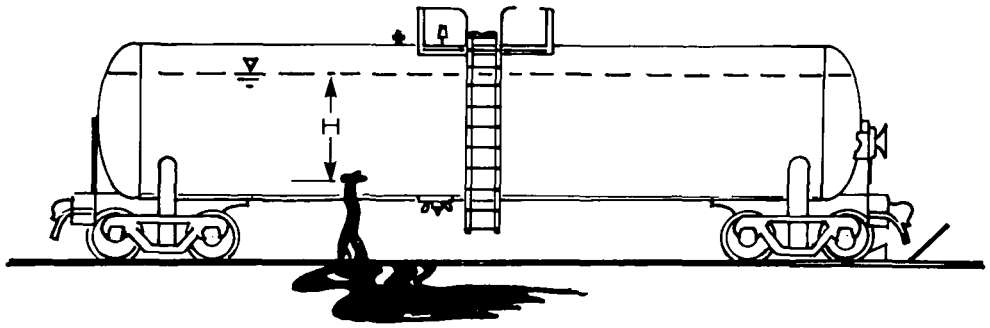


Figure 11 PERFORATION DE LA PAROI INFÉRIEURE D'UN WAGON-CITERNE

5.2.2 Nomogrammes

5.2.2.1 Figure 12: Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. – La figure 12 permet d'estimer le pourcentage du liquide restant dans la citerne type en fonction du temps écoulé depuis la perforation, pour des orifices de diamètres différents. Le diamètre indiqué est en réalité un diamètre équivalent, et il peut s'appliquer à des orifices non circulaires.

On suppose que le wagon-citerne type (2,75 m ϕ x 13,4 m de long) est plein au début (t = 0) et contient un volume d'environ 80 000 litres de solution d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100. Le volume restant après un temps (t) donné ne dépend pas seulement du débit d'écoulement, mais aussi de la taille et de la forme de la citerne.

5.2.2.2 Figure 13: Débit de fuite en fonction du temps. – La figure 13 permet d'estimer le débit instantané (l/s) après un temps (t) donné écoulé depuis la perforation, pour des orifices de différents diamètres équivalents. Ce nomogramme ne peut être utilisé que pour les wagons-citernes de taille standard contenant un volume initial de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calculs

PROBLÈME A

Une citerne type (diamètre 2,75 m et longueur 13,4 m) remplie d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 a été percée au fond. Le diamètre équivalent de l'orifice est de 150 mm. Quel pourcentage des 80 000 litres initiaux reste-t-il après dix minutes? Solution (voir figure 13): si t = 10 minutes et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente environ 36 p. 100, soit 28 800 litres.

PROBLÈME B

Dans les mêmes conditions que pour le problème A, quel est le débit instantané de fuite à partir de la citerne dix minutes après l'accident? Solution (voir figure 13): si t = 10 minutes et D = 150 mm, le débit instantané (q) = 70 l/s.

5.3 Dispersion dans l'atmosphère

Comme l'hydroxyde de sodium n'est pas volatil, les possibilités de dispersion dans l'atmosphère, en cas de déversements, sont faibles.

Figure 12

HYDROXYDE DE SODIUM

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT

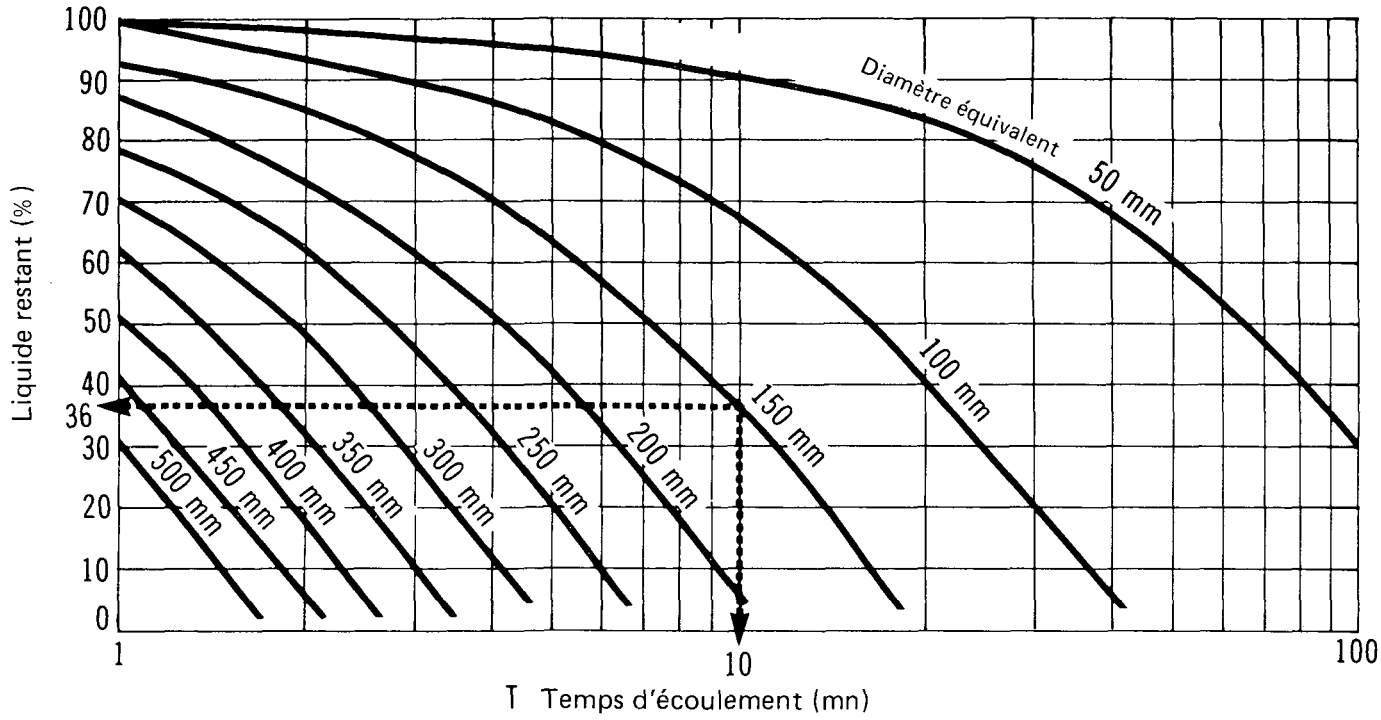
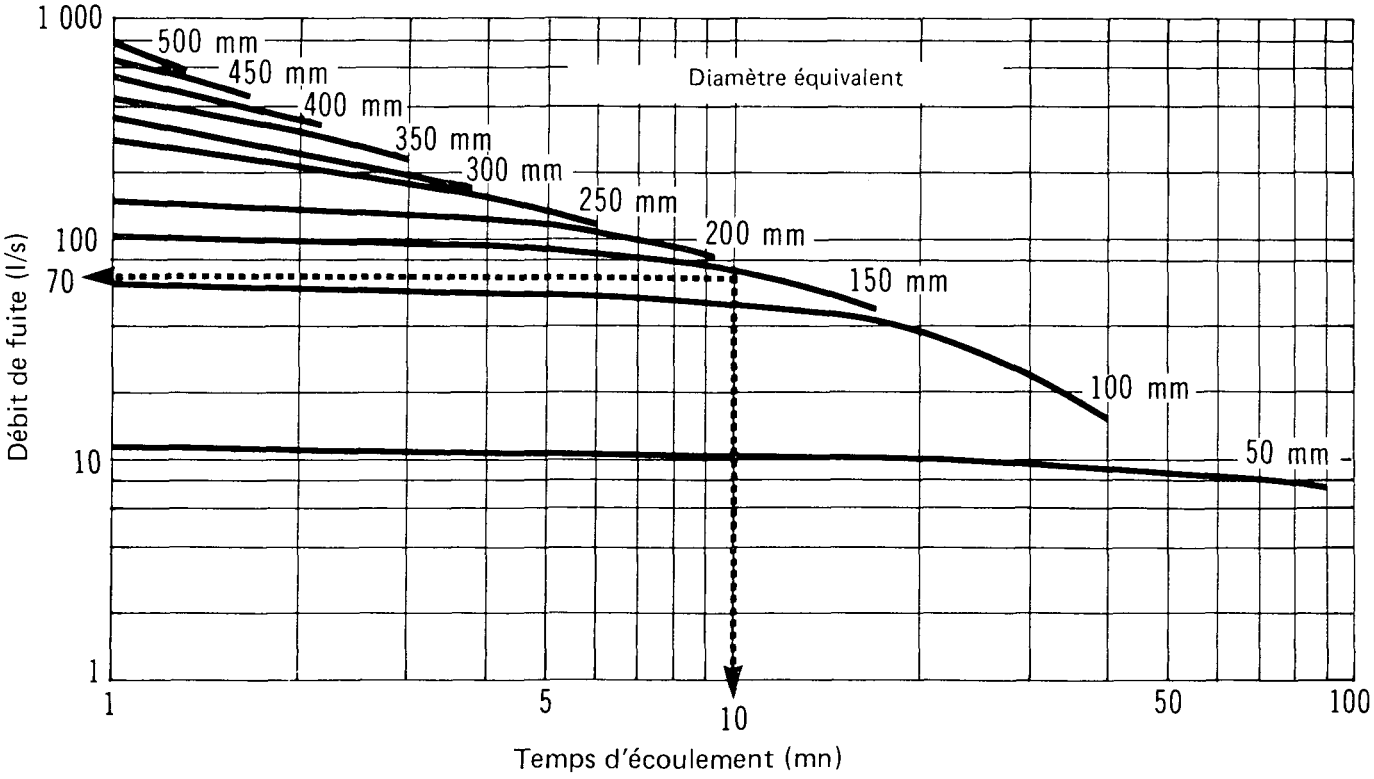


Figure 13

HYDROXYDE DE SODIUM

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT



5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Lorsqu'il est déversé à la surface de l'eau, l'hydroxyde de sodium se dissout rapidement. Il y a mélange et le produit déversé est dilué. Ce mélange peut en général être décrit au moyen des équations classiques de diffusion en utilisant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le principal agent de dilution est la turbulence de l'eau, alors que dans les eaux stagnantes (calmes), le mélange est réalisé par diffusion moléculaire.

Pour estimer la teneur en polluants dans un cours d'eau, en aval d'un point de déversement, on a représenté la diffusion par un modèle strictement applicable aux liquides et solides de masse volumique voisine de celle de l'eau, et qui se dissolvent dans l'eau. Puisque l'hydroxyde de sodium est plus dense que l'eau, on pourrait s'attendre à ce que la teneur maximale soit près du fond.

Dans le modèle unidimensionnel, on considère une section de canal rectangulaire théorique dans laquelle la teneur en polluant est uniforme. De toute évidence, ces conditions n'existent qu'en des endroits suffisamment loin en aval du point de déversement, le polluant ayant été distribué par brassage et dilution dans la totalité du canal du cours d'eau. Le modèle est applicable aux cours d'eau dont le rapport de la largeur à la profondeur est inférieur à 100 ($L/h < 100$) pour un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. Les détails du modèle sont fournis dans le Manuel d'introduction.

Aucune modélisation n'a été faite pour la diffusion moléculaire en eau calme, mais des nomogrammes ont été préparés pour définir la zone de risque et la concentration moyenne à l'intérieur de cette zone en fonction de l'ampleur du déversement, sans toutefois tenir compte du temps.

5.4.2 Nomogrammes. – Les nomogrammes suivants permettent de calculer les concentrations de polluants dans les cours d'eau non soumis à la marée et dans les lacs (eaux stagnantes).

Cours d'eau non soumis à la marée

Figure 15 Distance parcourue en fonction du temps pour diverses vitesses moyennes du courant

Figure 16 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal pour diverses hauteurs d'eau

Figure 17 Coefficient de diffusion en fonction du rayon hydraulique pour diverses vitesses moyennes du courant

Figure 18 Facteur alpha en fonction du coefficient de diffusion pour divers intervalles de temps

Figure 19 Facteur alpha en fonction du facteur delta pour des déversements d'importance diverses

Figure 20 Concentration maximale en fonction du facteur delta selon la surface de la section mouillée

Lacs ou plans d'eau calme

Figure 21 Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée

Figure 22 Concentration moyenne en fonction de la masse déversée

Le plan de la figure 14 indique les étapes nécessaires pour estimer la teneur en aval après un déversement et identifie les nomogrammes qui doivent être utilisés. Ces nomogrammes (figures 15 à 20) sont décrits dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Nomogrammes s'appliquant aux cours d'eau non soumis à la marée

5.4.2.1.1 Figure 15: Distance en fonction du temps. – La figure 15 présente une relation simple entre la vitesse moyenne du courant, le temps et la distance parcourue. À l'aide d'une estimation de la vitesse moyenne du courant (V), on peut facilement trouver sur la figure 15 le temps (t) nécessaire pour atteindre un point quelconque situé à une distance (x) en aval du point de déversement.

5.4.2.1.2 Figure 16: Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Dans le modèle utilisé pour estimer la concentration du polluant en aval, on considère un canal rectangulaire théorique de largeur L et de hauteur d'eau h. Il faut connaître le rayon hydraulique (r) du canal pour estimer le coefficient de diffusion par turbulence (E). Le rayon hydraulique (r) est défini comme le rapport de la surface de la section mouillée (s) divisé par le périmètre mouillé (B). La figure 16 est un nomogramme permettant d'obtenir le rayon hydraulique (r) à partir de la largeur et de la profondeur d'une section théorique du cours d'eau.

5.4.2.1.3 Figure 17: Coefficient de diffusion en fonction du rayon hydraulique. – La figure 17 permet de déterminer le coefficient de diffusion longitudinale (E) à partir du rayon hydraulique (r) obtenu à partir de la figure 16 et de la vitesse moyenne du courant (V).

5.4.2.1.4 Figure 18: Facteur alpha en fonction du coefficient de diffusion. – La figure 18 permet d'estimer le facteur de conversion alpha (α), qui est fonction du coefficient de diffusion (E) et du temps (t) nécessaire pour atteindre le point considéré en aval du point de déversement.

5.4.2.1.5 Figure 19: Facteur delta en fonction du facteur alpha. – Il faut estimer, à partir de la figure 19, un deuxième facteur de conversion, le facteur delta (Δ), pour déterminer la concentration du polluant au point considéré. Le facteur delta (Δ) est fonction du facteur alpha (α) et de l'ampleur du déversement (m).

5.4.2.1.6 Figure 20: Teneur maximale en fonction du facteur delta. – La figure 20 correspond à l'étape finale du calcul de la teneur maximale (T) en polluant au point considéré, en aval du point de déversement. À partir du facteur delta (Δ) et de la surface de la section mouillée (s) on peut facilement trouver la teneur (T) sur le nomogramme. La valeur obtenue à la figure 20 s'applique aux liquides et solides dont la densité est équivalente à celle de l'eau et varie quelque peu pour les autres polluants qui sont plus lourds ou plus légers que l'eau.

5.4.2.2 Nomogrammes s'appliquant aux lacs et aux plans d'eau calme

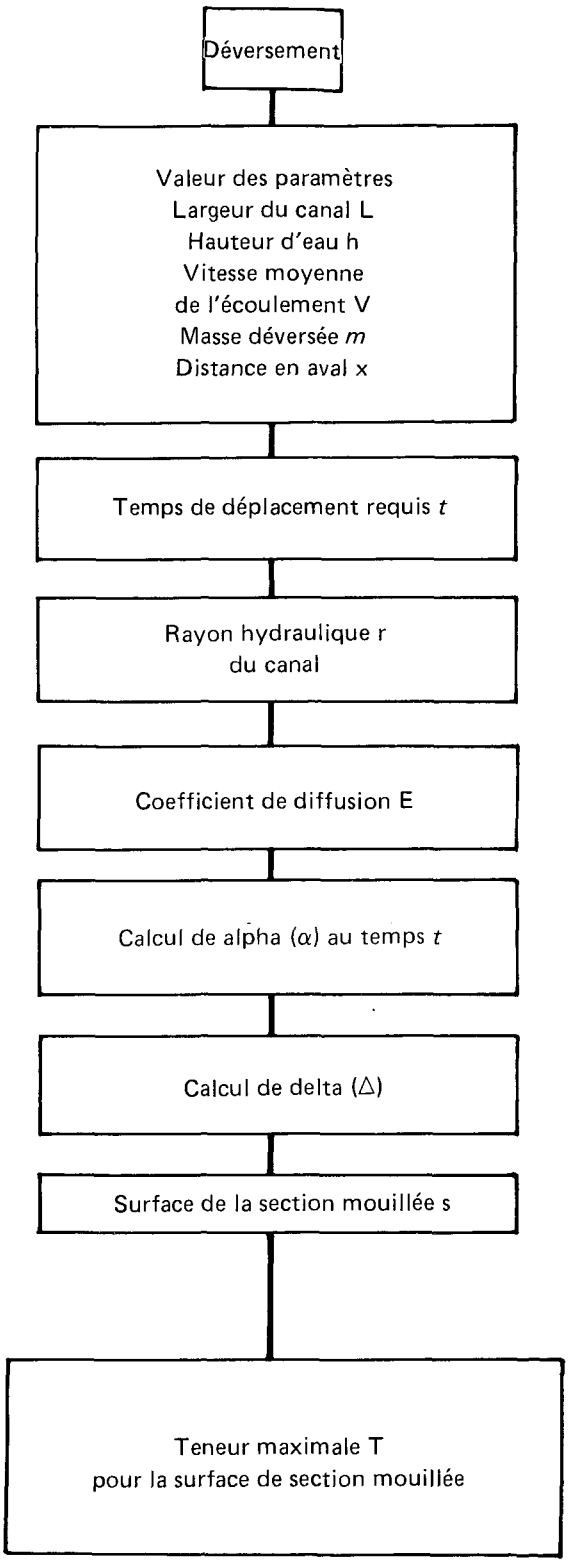
5.4.2.2.1 Figure 21: Volume d'eau en fonction du rayon. – Le déversement dans un lac d'un liquide de même densité que l'eau, en l'absence de vent et de courant, est représenté théoriquement par un cylindre de rayon r et de longueur h correspondant à la hauteur d'eau au point de déversement. Le volume d'eau dans le cylindre peut être obtenu à l'aide de la figure 21. Le rayon (r) représente la distance entre le point de déversement et le point considéré.

5.4.2.2.2 Figure 22: Teneurs moyennes en fonction du volume. – Pour un volume d'eau connu (à l'intérieur du cylindre théorique de rayon r et de longueur h), la teneur moyenne (T) en polluant peut être obtenue de la figure 21 si l'on connaît la masse déversée. On suppose que le polluant est distribué uniformément dans le cylindre. La teneur au fond de l'eau est plus ou moins élevée selon que le polluant a une densité supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

Figure 14

HYDROXYDE DE SODIUM

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT DANS UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



Étape 1 — Par observation ou évaluation

L = _____ m

h = _____ m

V = _____ m/s

m = _____ tonnes

x = _____ m

Étape 2 — t = _____ mn (fig. 15)

Étape 3 — r = _____ m (fig. 16)

Étape 4 — E = _____ m^2/s (fig. 17)

Étape 5 — α = _____ (fig. 18)

Étape 6 — Δ = _____ (fig. 19)

Étape 7 — s = L x h = _____ m^2

Étape 8 — T = _____ ppm (fig. 20)

Figure 15

HYDROXYDE DE SODIUM

DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS

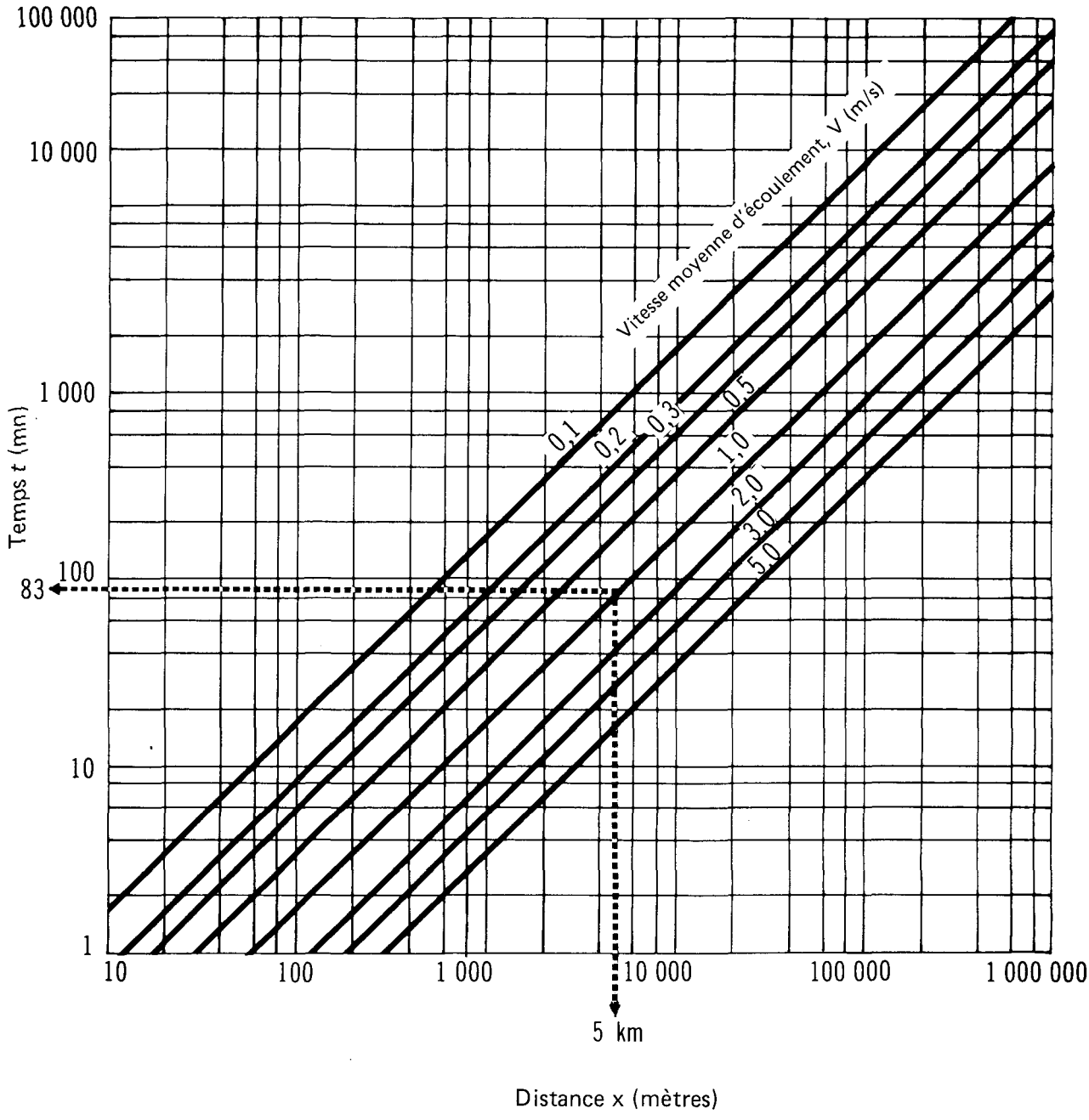


Figure 16

HYDROXYDE DE SODIUM

RAYON HYDRAULIQUE EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

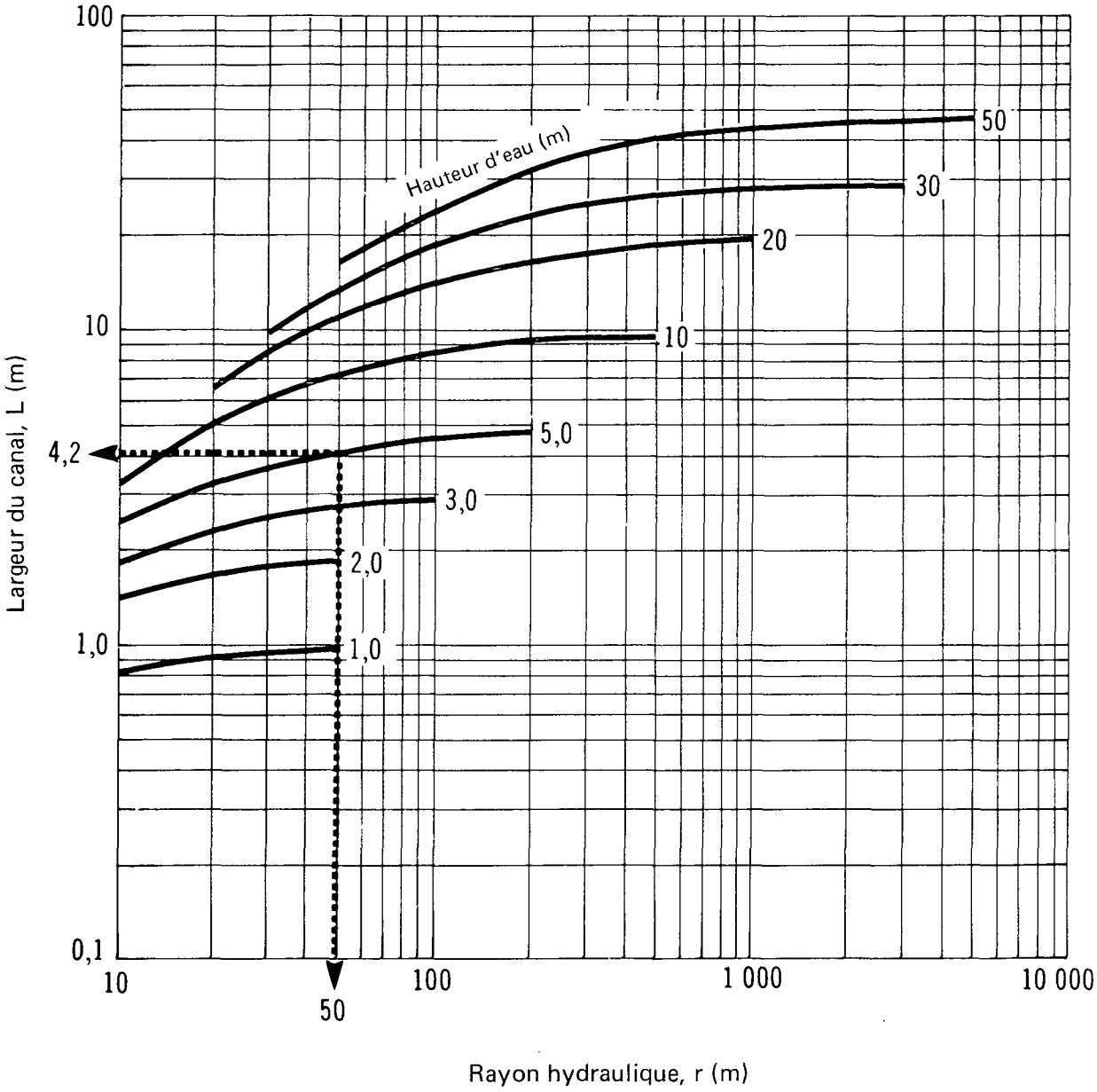


Figure 17

HYDROXYDE DE SODIUM

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

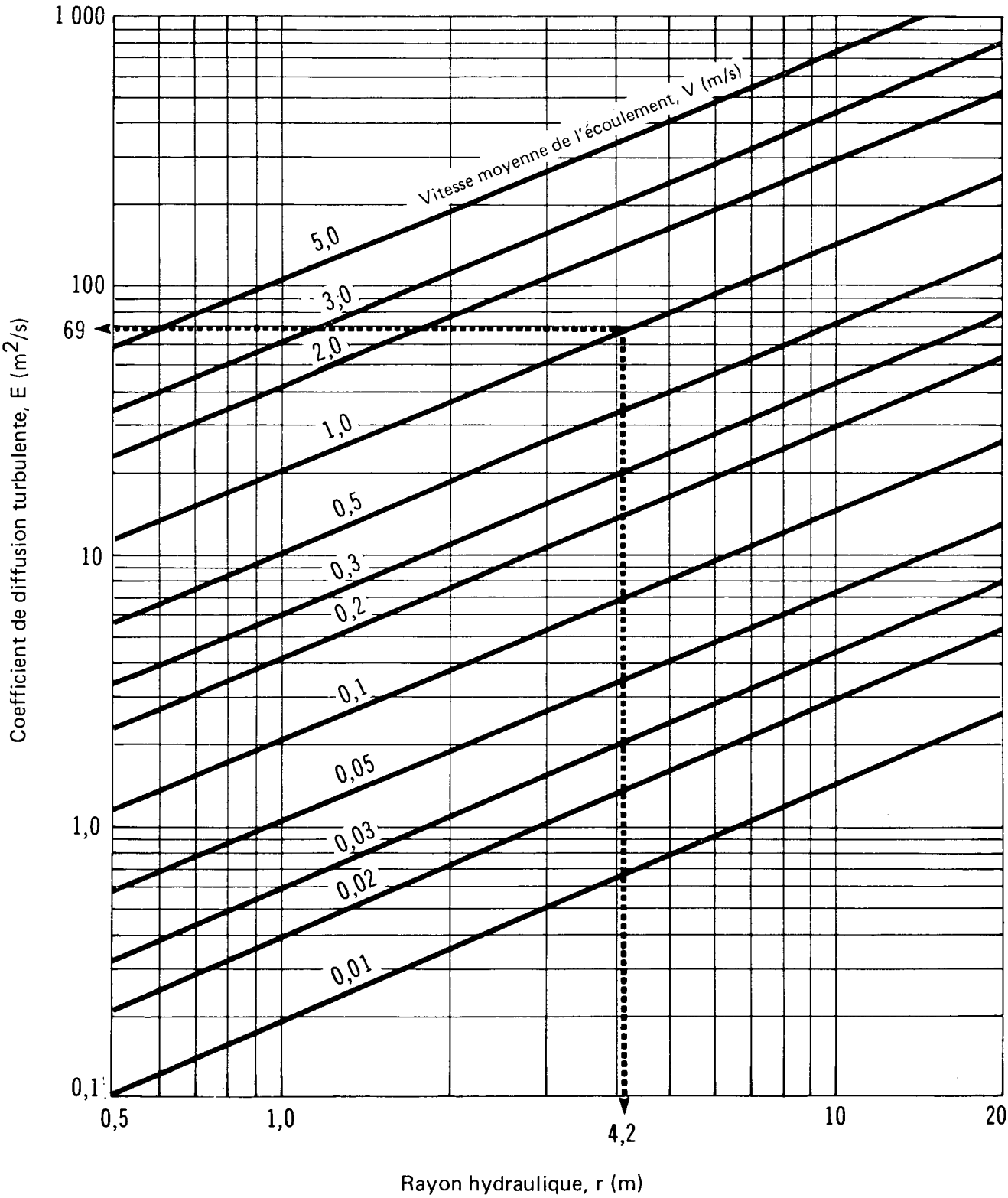


Figure 18

HYDROXYDE DE SODIUM

ALPHA EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

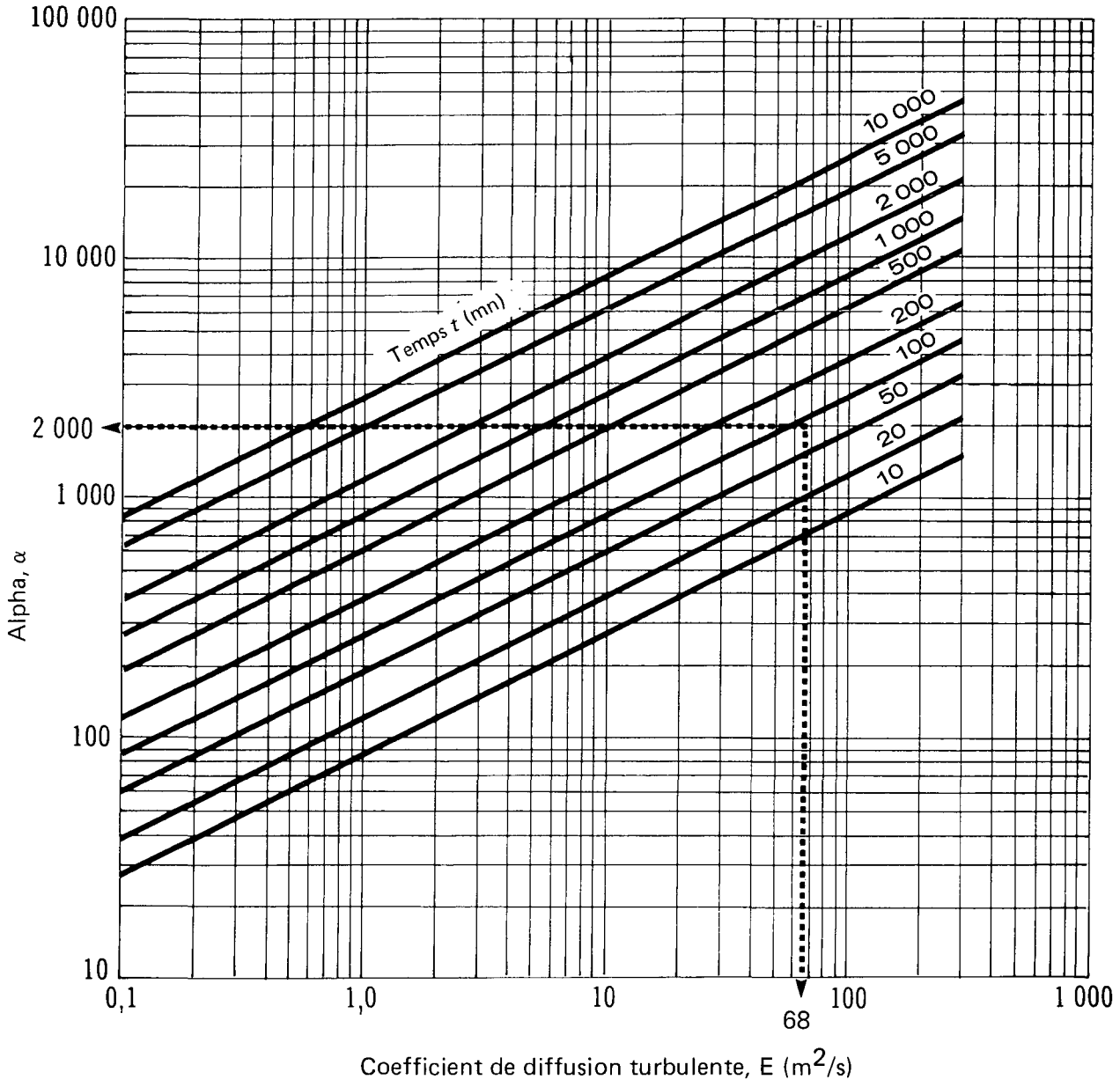


Figure 19

HYDROXYDE DE SODIUM — ALPHA EN FONCTION DE DELTA

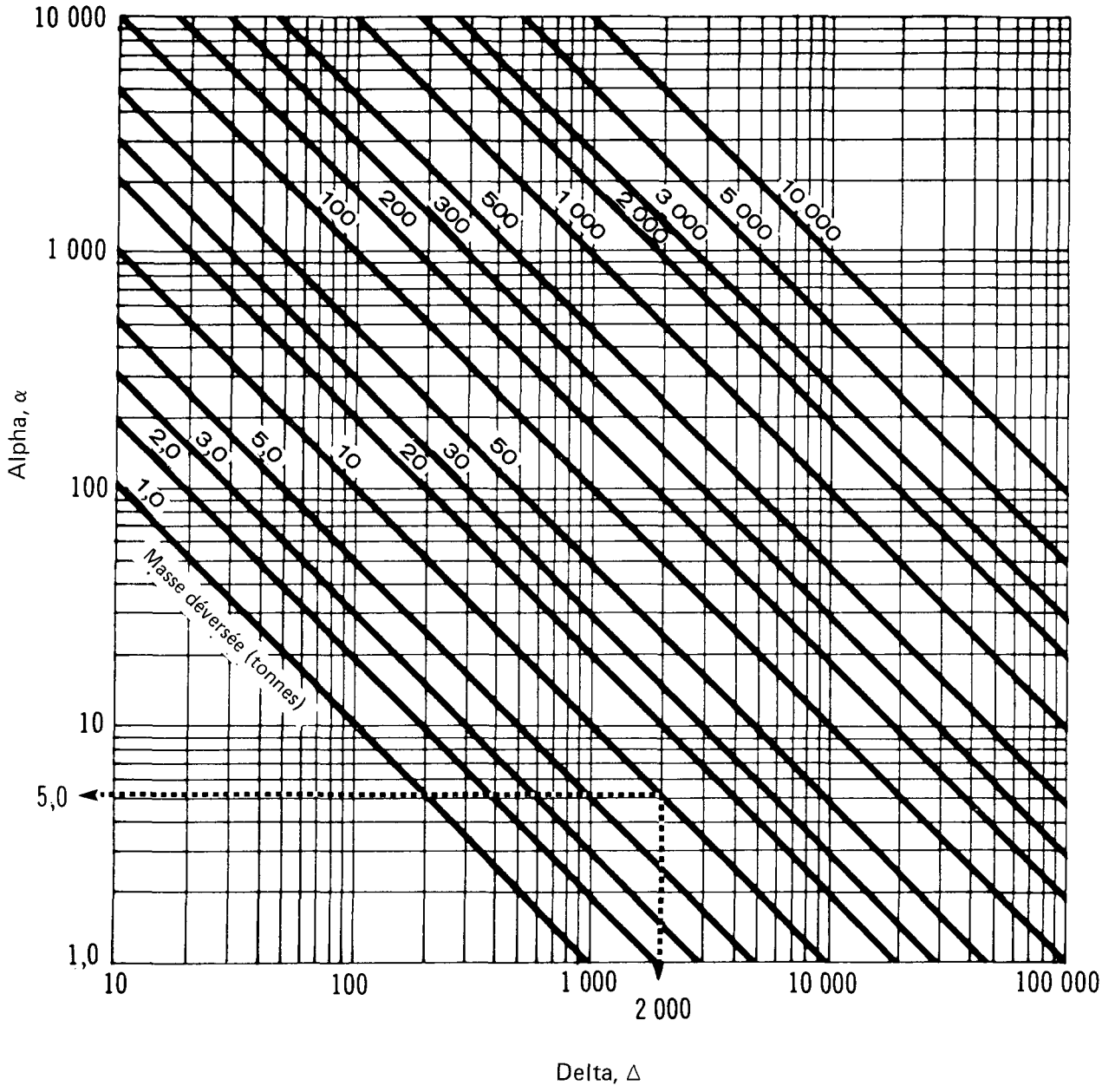


Figure 20

HYDROXYDE DE SODIUM — TENEUR MAXIMALE EN FONCTION DE DELTA

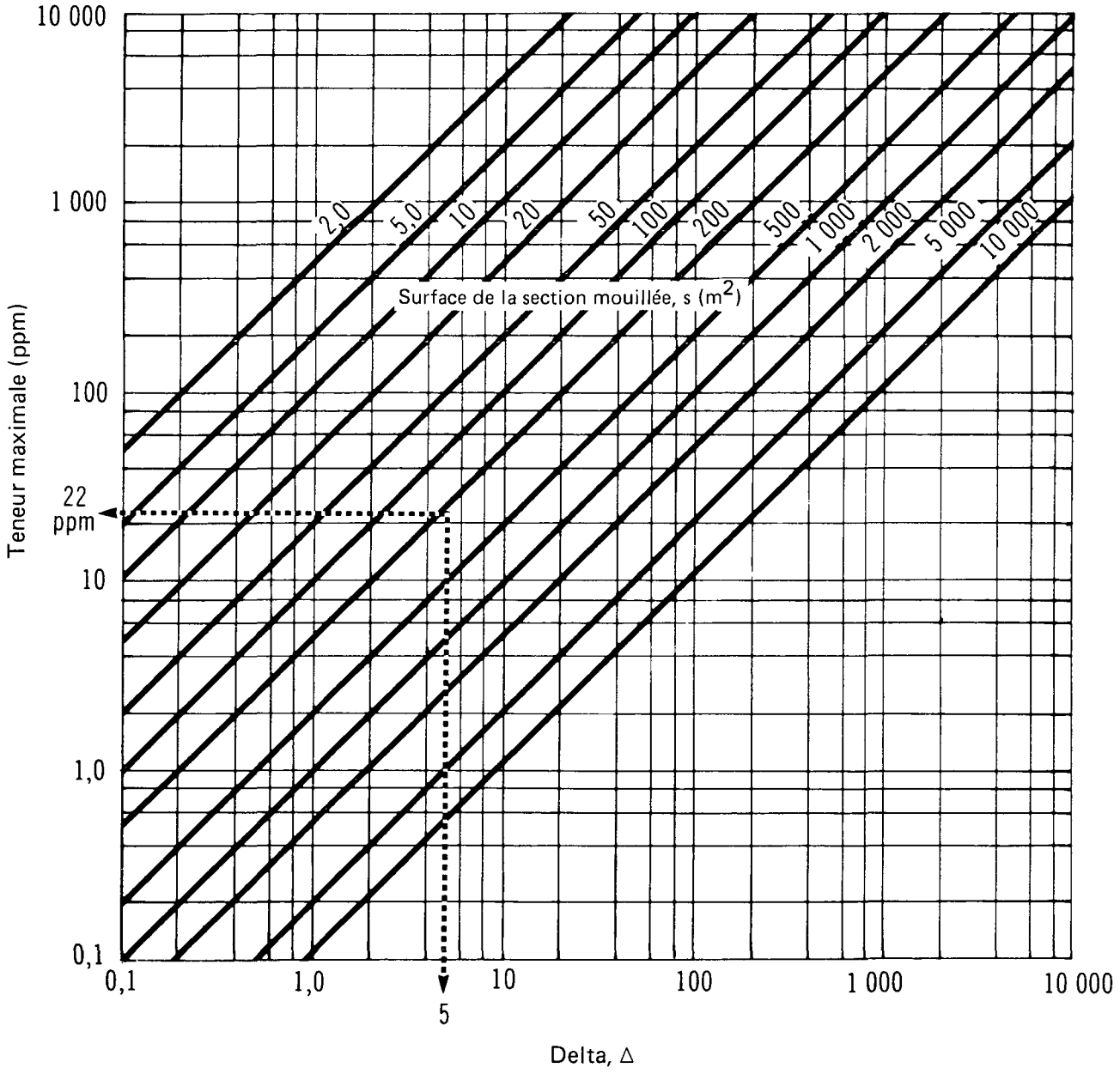


Figure 21

HYDROXYDE DE SODIUM — **VOLUME D'EAU EN FONCTION DU RAYON**

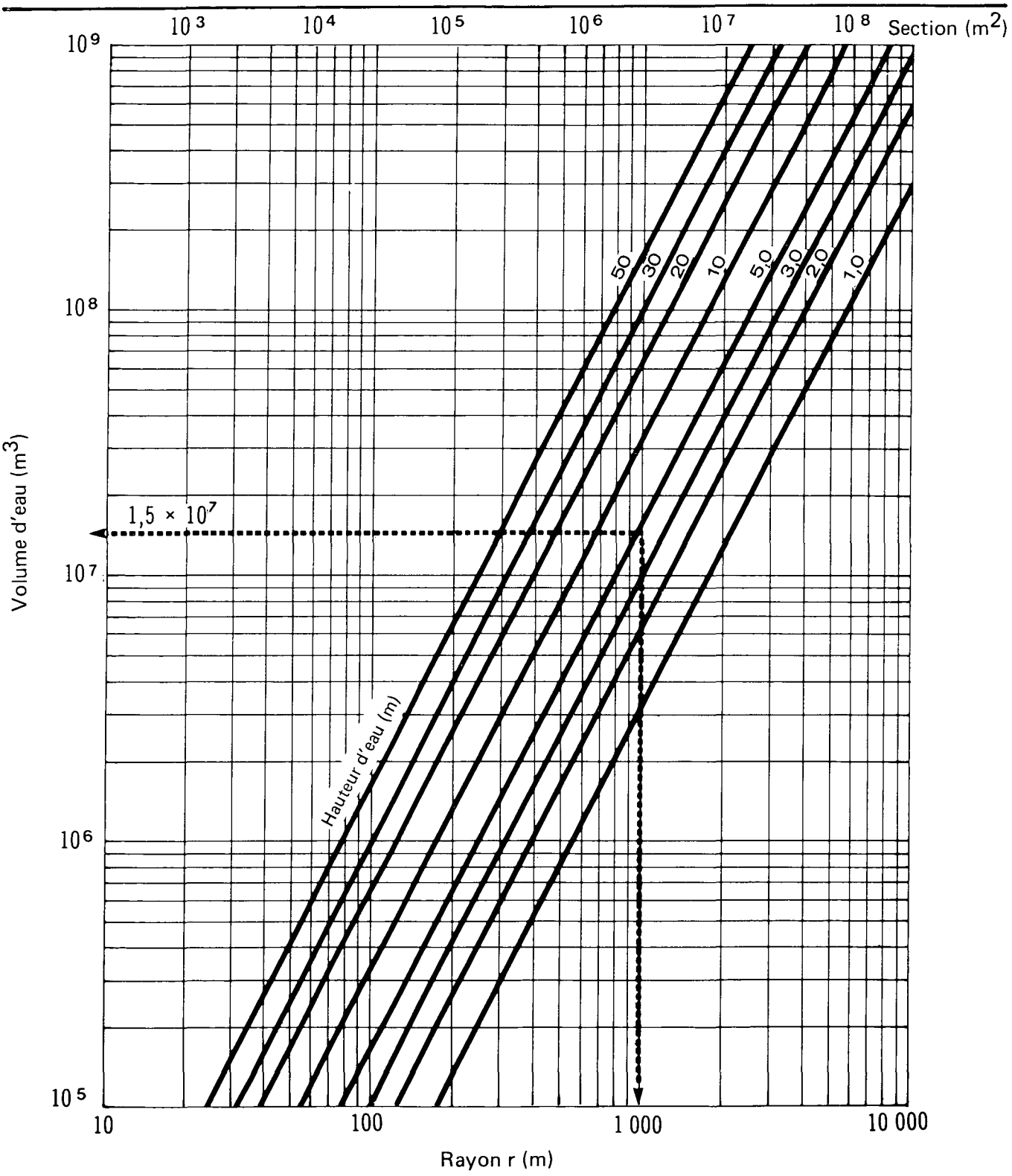
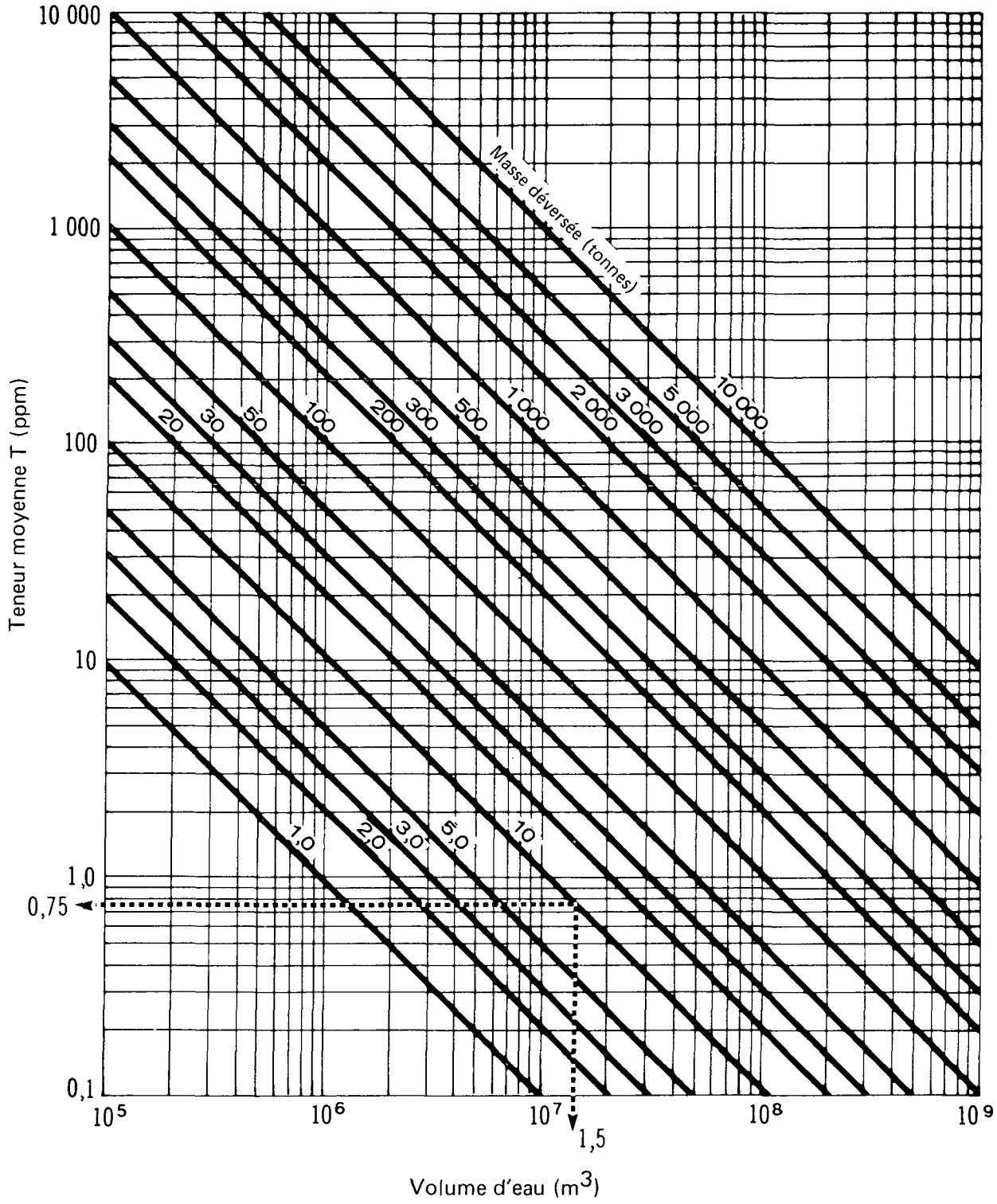


Figure 22

HYDROXYDE DE SODIUM — **TENEURS MOYENNES EN FONCTION DU VOLUME D'EAU**



5.4.3 Exemple de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant dans un cours d'eau non soumis à la marée

DONNÉES DU PROBLÈME

Une masse de 20 tonnes d'une solution d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 a été déversée dans une rivière. Le cours d'eau a une largeur de 50 m et une profondeur de 5 m. La vitesse moyenne du courant est estimée à un mètre par seconde. Quelle est la concentration maximale prévisible à une prise d'eau située à 5 km en aval?

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 Définition des paramètres

L = 50 m

h = 5 m

V = 1 m/s

m = 20 tonnes d'une solution à 50 p. 100, soit l'équivalent de 10 tonnes d'hydroxyde de sodium pur

Étape 2 Détermination du temps nécessaire pour atteindre le point considéré

Utiliser la figure 15

Si x = 5000 m et V = 1 m/s, t = 83 minutes

Étape 3 Détermination du rayon hydraulique (r)

Utiliser la figure 16

Si L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m

Étape 4 Détermination du coefficient de dispersion longitudinale (E)

Utiliser la figure 17

Si r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s

Étape 5 Détermination du facteur alpha (α)

Utiliser la figure 18

Pour E = 69 m^2/s et t = 83 minutes, α = 2000

Étape 6 Détermination du facteur delta (Δ)

Utiliser la figure 19

Pour alpha (α) = 2000 et m = 10 tonnes (hydroxyde de sodium pur), delta (Δ) = 5

Étape 7 Calcul de la surface de section mouillée (s)

s = L x h = 50 x 5 = 250 m^2

Étape 8 Détermination de la teneur maximale (T) au point considéré

Utiliser la figure 20

Si Δ = 5 et s = 250 m^2, T = 22 ppm.

5.4.3.2 Teneur moyenne en polluant dans les lacs ou les plans d'eau calme

DONNÉES DU PROBLÈME

Une masse de 20 tonnes d'une solution d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 a été déversée dans un lac. On considère un point situé sur la rive à environ 1000 m du lieu de déversement. La profondeur moyenne entre le lieu de déversement et le point considéré est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible?

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 Définition des paramètres

h = 5 m

r = 1000 m

m = 10 tonnes (équivalent en hydroxyde de sodium pur)

Étape 2 Détermination du volume d'eau de dilution
Utiliser la figure 21
Pour r = 1000 m et h = 5 m, le volume est d'environ 1,5 x 10^7 m^3

Étape 3 Détermination de la concentration moyenne
Utiliser la figure 22
Pour V = 1,5 x 10^7 m^3 et m = 10 tonnes, la concentration moyenne est de 0,75 ppm.

5.5 Comportement sous la surface

5.5.1 Introduction. – Le Manuel d'introduction traite des principes du transport des polluants dans le sol et de leurs applications dans le présent contexte. Nous abordons ici certains aspects particuliers des déversements d'hydroxyde de sodium sur le sol et de leur migration en direction de la nappe phréatique.

On s'intéresse ici à l'hydroxyde de sodium sous forme solide anhydre et sous forme de solutions à 73 p. 100 et à 50 p. 100. Dans le cas d'un déversement d'hydroxyde de sodium anhydre solide sur le sol, il y aura pollution de l'eau souterraine s'il y a des précipitations avant le nettoyage. Les précipitations dissolvent une partie du solide (avec un fort dégagement de chaleur) et produisent une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium qui peut s'infiltrer dans le sol. Cependant, il est difficile de prévoir la concentration et les propriétés de la solution obtenue. Des conditions similaires sont produites lorsqu'il y a déversement d'hydroxyde de sodium à 75 p. 100 en poids. Aux températures ambiantes, ce produit est très visqueux et gélatineux, et s'il n'est pas dilué par des précipitations, il ne s'infiltre pas dans le sol à un degré appréciable. Les précipitations favorisent l'infiltration. La troisième forme considérée, l'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 en poids, est un liquide qui pénètre dans le sol à un degré appréciable lorsqu'il y a déversement.

En raison de cette variabilité, les nomogrammes de pénétration dans le sol portent sur les extrêmes: l'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 et l'hydroxyde de sodium dilué à un point tel que ses caractéristiques de migration sont semblables à celles de l'eau. La vitesse de déplacement augmente avec la dilution.

Au cours de la migration dans le sol, il y a un certain degré d'échange ionique, les ions de sodium remplaçant les ions de calcium et de magnésium sur les minéraux argileux. Cependant, la plus grande partie des ions de sodium et presque tous les ions d'hydroxyde restent en phase aqueuse et pénètrent facilement dans le sol.

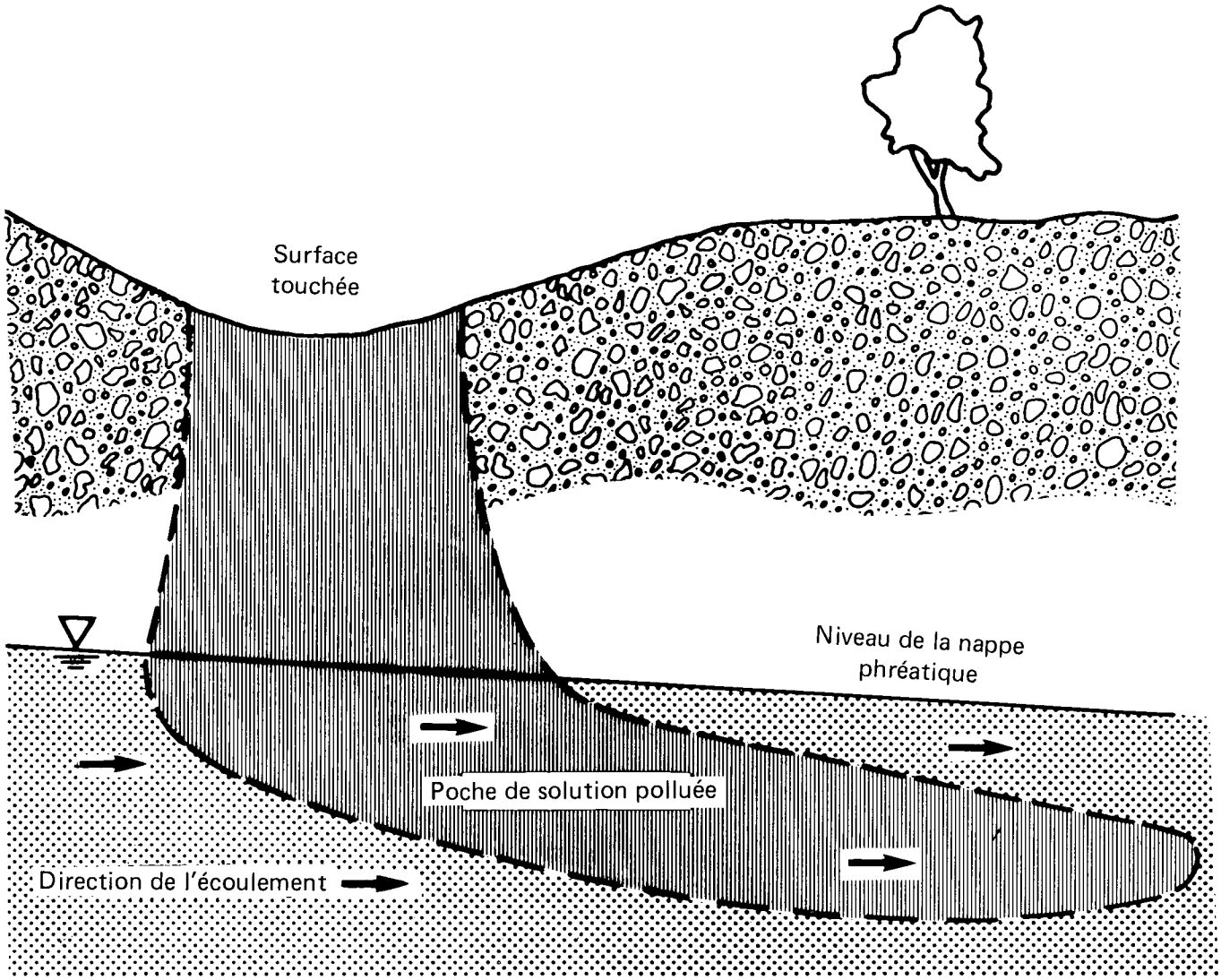
La figure 23 est un schéma représentant un déversement d'hydroxyde de sodium. Après avoir atteint la nappe phréatique, l'hydroxyde de sodium continue de se déplacer suivant la direction de l'écoulement souterrain de l'eau. Il y aura un certain degré de dilution due à la diffusion moléculaire et à la dispersion. Cependant, on prévoit qu'il y aura transport sur une grande distance.

5.5.2 Équations décrivant le mouvement de l'hydroxyde de sodium dans le sol. – On donne dans le Manuel d'introduction les équations et hypothèses sur lesquelles s'appuie la description du mouvement d'un polluant dans le sol à travers la zone non saturée jusqu'à la nappe phréatique. Les vitesses de migration sont basées sur la loi de Darcy en supposant qu'il y a déplacement convectif (ou écoulement piston) en milieu saturé.

5.5.3 Coefficient de perméabilité en milieu saturé de l'hydroxyde de sodium. – Le coefficient de perméabilité en milieu saturé (K) est donné en m/s par la formule suivante:

Figure 23

HYDROXYDE DE SODIUM — **MIGRATION DANS LE SOUS-SOL**



Sol: sable grossier non saturé
Porosité = 0,35, Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2, Capacité au champ = 0,075

$$K = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du liquide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du liquide (Pa · s)
g = accélération due à la pesanteur = 9,81 m/s^2

Les fluides étudiés ici sont une solution d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 et l'eau. Pour l'étude de la solution, on ne disposait que des données pour une température 20 °C.

Caractéristiques	Hydroxyde de sodium à 50 %, 20 °C	Eau 20 °C
Masse volumique	1500	998
Viscosité absolue	73 x 10^{-3}	1,0 x 10^{-3}
Coefficient de perméabilité en milieu saturé (K), m/s	(2,0 x 10^{-5})k	(9,8 x 10^{6})

5.5.4 Types de sol. – Le Manuel d'introduction Enviroguide décrit les trois types de sol retenu pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous indiquent les caractéristiques qui nous intéressent.

	Types de sol		
Caractéristiques	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité m^3/m^3	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (k) m^2	10^{-9}	10^{-12}	10^{-5}
Capacité au champ m^3/m^3	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de migration. – On a préparé des nomogrammes représentant la migration de l'hydroxyde de sodium dans la zone non saturée de l'aquifère, pour chaque type de sol. On y indique le temps écoulé (t_m) en fonction de la profondeur de migration (B). En raison des méthodes et hypothèses utilisées, la profondeur de migration doit être interprétée comme la profondeur maximale atteinte en un temps t_m.

Les nomogrammes portent sur deux substances, l'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 et l'eau, cette dernière représentant l'hydroxyde de sodium fortement dilué. La profondeur de migration augmente avec la dilution à un temps donné.

La figure 24 est un plan d'utilisation des nomogrammes. Ceux-ci sont présentés aux figures 25, 26 et 27 et ont trait à la migration dans le sable grossier, le sable limoneux et le till argileux.

Figure 24

HYDROXYDE DE SODIUM — **PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES**

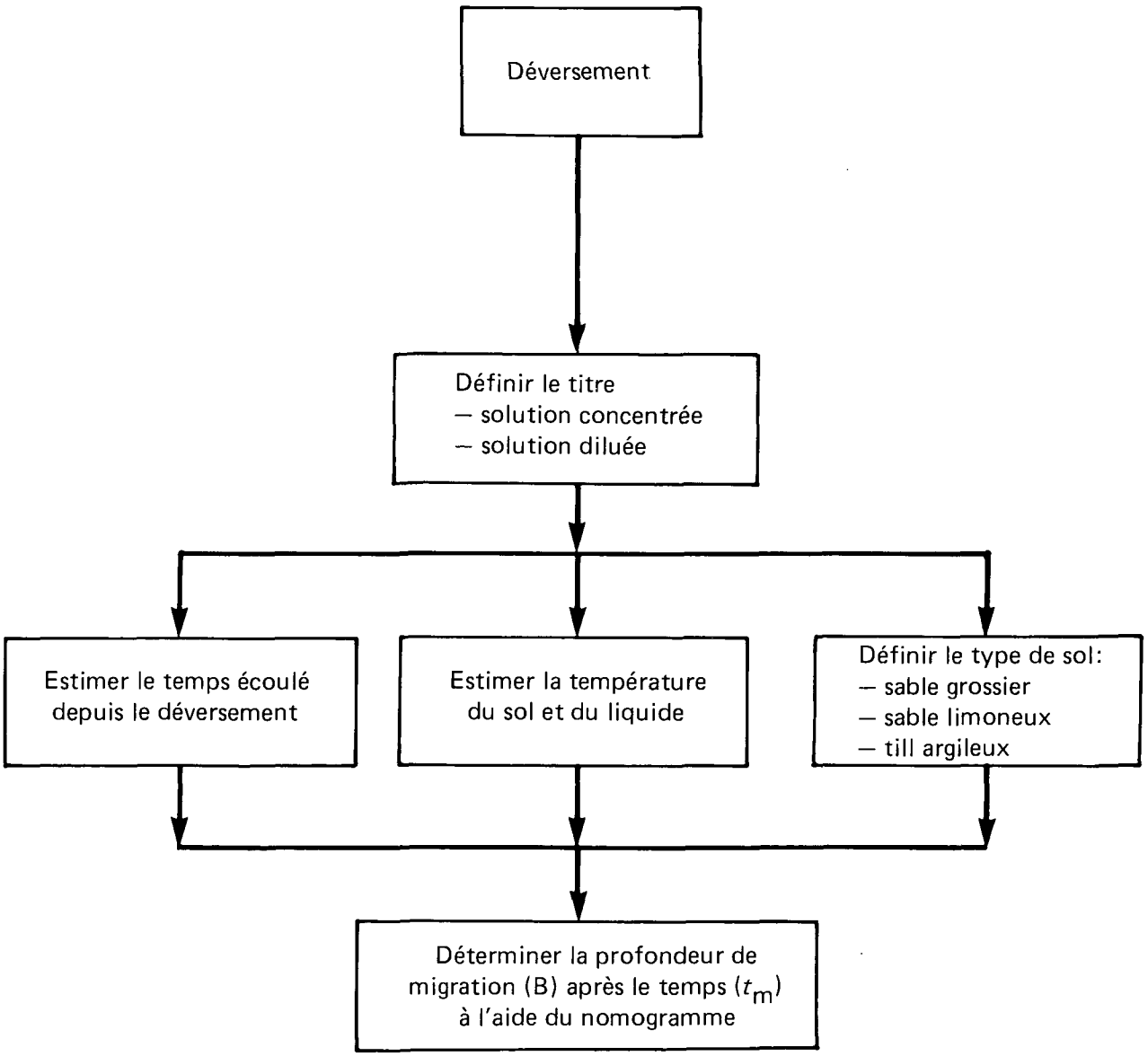


Figure 25

HYDROXYDE DE SODIUM — **MIGRATION DANS LE SABLE GROSSIER**

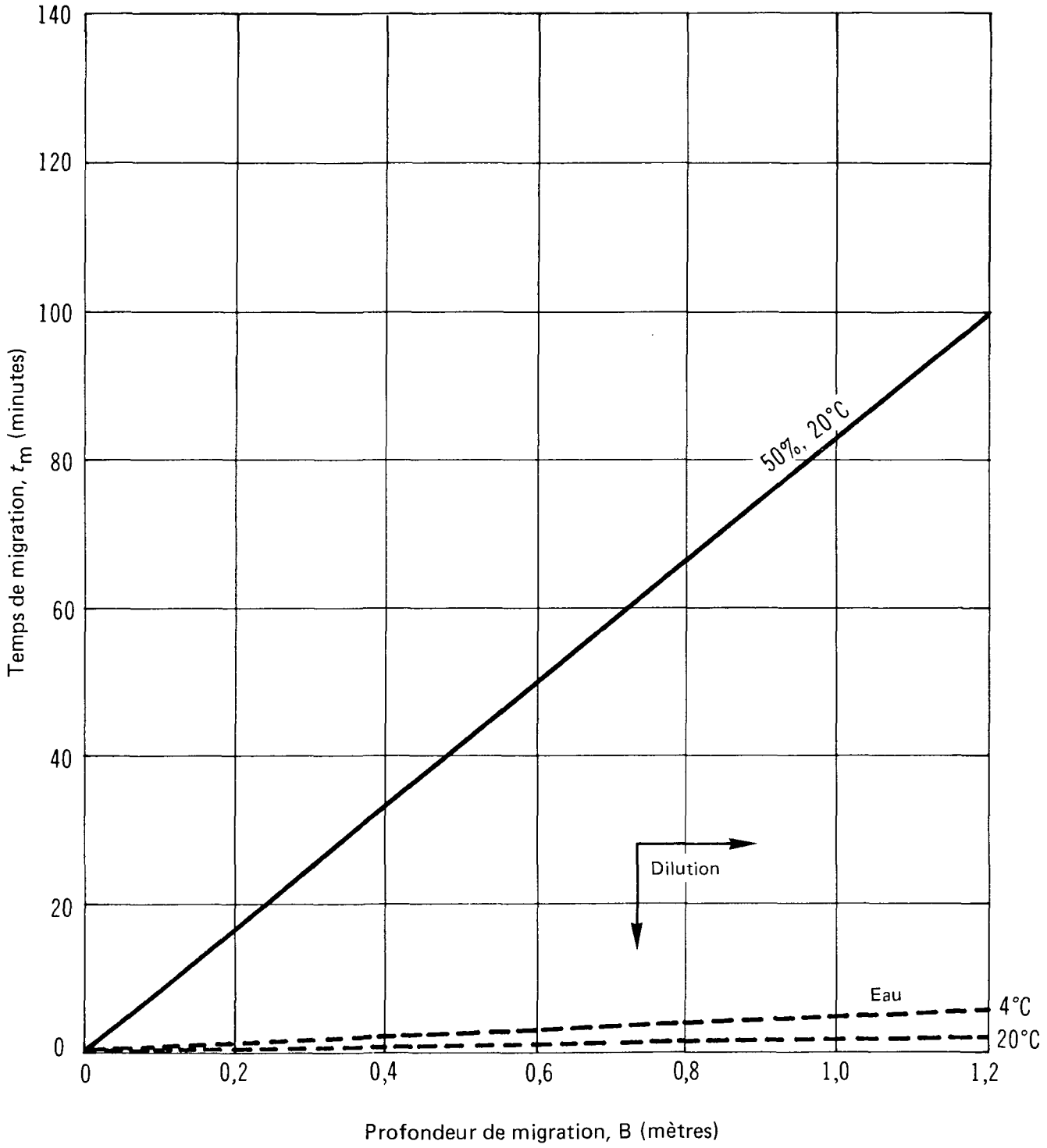


Figure 26

HYDROXYDE DE SODIUM — MIGRATION DANS LE SABLE LIMONEUX

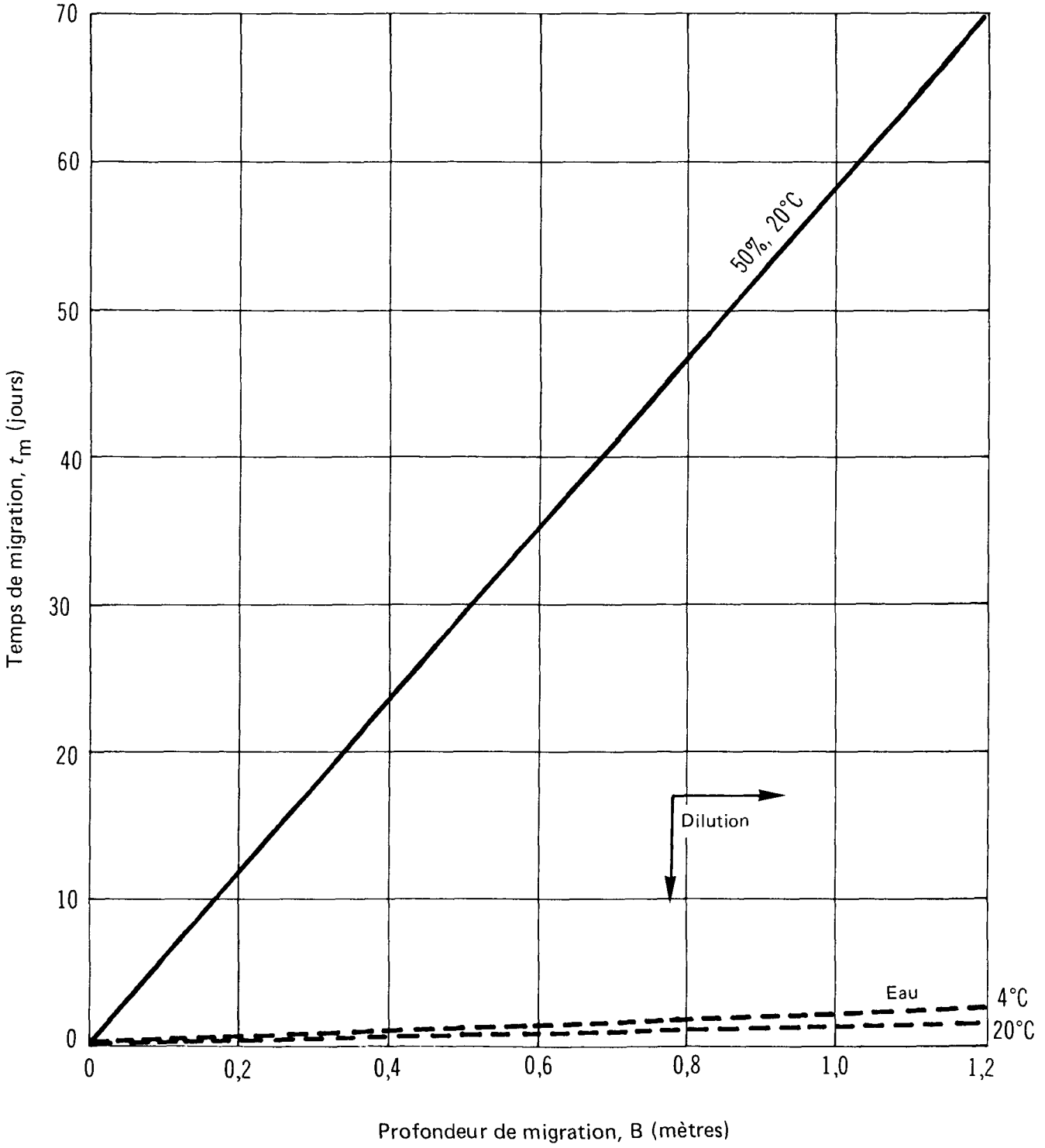
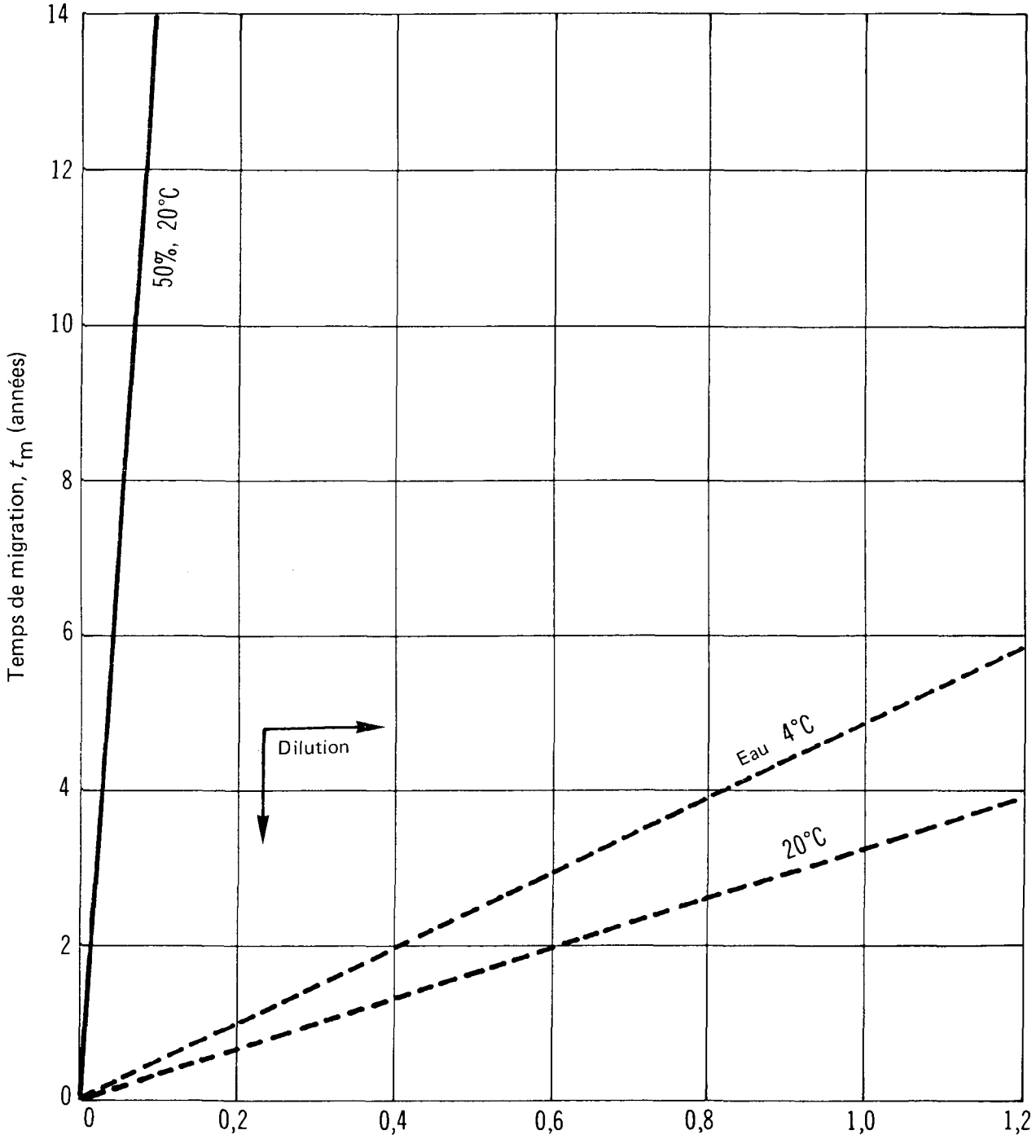


Figure 27

HYDROXYDE DE SODIUM — MIGRATION DANS LE TILL ARGILEUX



5.5.6 Exemple de calcul. – Une masse de 20 tonnes de solution d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 a été déversée sur du sable grossier. Le rayon de la zone touchée est de 8,6 m. La profondeur de la nappe phréatique est estimée à 3,5 m. Quelle est la profondeur de migration 65 minutes après le déversement, lorsque la température est de 20 ^{o}C?

SOLUTION

Utiliser la figure 25.

Pour t_m = 65 minutes, la profondeur de pénétration (B) = 0,78 m.

La nappe phréatique n'a pas été atteinte en 65 minutes. La dilution fait augmenter la profondeur migration pour un temps donné.

6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites proposées ou imposées

6.1.1 Qualité de l'eau. – Aucune limite n'est imposée au Canada et aux États-Unis, mais les autorités doivent être informées lorsque la concentration en ions sodium dépasse 20 mg/l (Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada 1978). Le sodium contenu dans l'eau de boisson (200 mg/l) peut être néfaste pour les personnes souffrant de maladies du coeur, des reins et de la circulation (PB 216658). Le pH ne doit pas dépasser 8,5 dans le cas de l'eau potable et de l'eau utilisée à des fins de récréation (pour cette dernière, la valeur est basée sur les effets d'irritation sur les yeux). Une concentration de 1 à 50 mg/l peut modifier le goût de l'eau (WQC, 1963). La limite de perception gustative de l'hydroxyde de sodium dans l'eau est de 1 à 50 mg/l (WQC, 1963). L'alcalinité excessive dans l'eau d'irrigation peut nuire à certaines cultures, selon les caractéristiques physiques et chimiques du sol. Un degré élevé d'alcalinité des eaux peut nuire à la faune (PB 216658). Un pH de 9,0 est acceptable pour l'eau donnée au bétail (WQC, 1963). Lorsque l'alcalinité caustique atteint 50 mg/l, les poulets souffrent de diarrhée et lorsque l'alcalinité totale atteint 170 mg/l, d'autres animaux sont atteints du même mal (PB 216658). L'éventail des limites recommandées pour l'alcalinité totale dans l'eau utilisée à des fins industrielles sont les suivantes: pour la fabrication de la bière: 50 à 170 mg/l, la fabrication des boissons gazeuses: 50 à 170 mg/l, pour les aliments transformés: 30 à 250 mg/l et pour la fabrication des pâtes et papiers: 45 à 150 mg/l. Une teneur en potassium et de sodium de plus de 50 mg par litre d'eau peut causer la formation de mousse dans les chaudières (PB 216658).

6.1.2 Qualité de l'air. – Aucune norme sur la pollution de l'air par l'hydroxyde de sodium n'a été émise au Canada ni aux États-Unis.

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux États-Unis. – On a établi la TLm 96 de l'hydroxyde de sodium (tolérance moyenne après quatre jours) de 10 à 100 ppm (RTECS, 1979).

6.2.2 Mesures de la toxicité

6.2.2.1 Toxicité en eau douce

Données sur la toxicité

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
A. – Poissons					
99	48	Crapet arlequin	Teneur létale 50	Eau du robinet	WQC, 1971
10	inc.	Truite fardée	Sans danger		WQC, 1971
50	7 jours	Poisson doré; achigan	Sans danger		WQC, 1971
125	96	Gambusie	Teneur létale 50	Eau trouble d'un étang de ferme	WQC, 1971
20 à 40	24	Mulet à cornes	Plage critique	Eau aérée de la rivière Détroit	WQC, 1971

5	3 à 5 mn	Crapet-soleil, oeufs et alevins	Mort		WQC, 1971
35	5 jours	Truite fardée	Létal à teneur minimale	Effluent de moulin à papier kraft	WQC, 1971
20	5 jours	Saumon coho	Létal à teneur minimale	Effluent de moulin à papier kraft	WQC, 1971
25	24	Omble de fontaine	Mort		WQC, 1971
100	120	Ménés	Mort		WQC, 1971
100	3 à 120	Poisson doré; achigan	Mort		WQC, 1971
B. – Micro-organismes					
156	inc.	*Daphnia*	Létal; immobilisation	Eau du lac Érié pH 9,1 à 9,5	WQC, 1971
C. – Insectes					
125 à 1000	inc.	Diverses larves	Létal		WQC, 1971
400	inc.	Coléoptères aquatiques	Stimule le mouvement		WQC, 1971
D. – Invertébrés					
150	24	Escargots vecteurs	Létal	27 °C	Gohar, 1961
4×10^{-6}	48	Verplanaire	Létal	pH 7,8 distillée	WQC, 1971

6.2.2.2 Toxicité en eau salée

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
Invertébrés					
10	Non indiqué	Crevette de la mer Caspienne	Stimule la respiration		Nadzhafova, 1979
90	4,5	Huître	Létal	Courante	WQC, 1971
30 à 100	48	Crevette	Teneur létale 50	Aérée	Portman, 1970
33 à 100	48	Étoile de mer	Teneur létale 50	Aérée	Portman, 1970
330 à 1000	48	Moule marine	Teneur létale 50		Portman, 1970

6.3 Études sur le milieu aquatique

La limite supérieure du pH tolérable par la plupart des poissons d'eau douce est de 8,4 et le pH doit généralement être supérieur à 9 pour que le milieu aquatique soit néfaste pour les poissons adultes. Les algues d'eau douce sont détruites si le pH est supérieur à 8,5. Dans les eaux saumâtres, les larves d'huîtres ont subi des dommages à un pH de 9 et sont mortes à un pH de 9,1 après quelques heures. Pour les crabes, la limite supérieure du pH est de 10,2. Des teneurs en sodium de 500 à 1000 milligrammes par litre d'eau, sous forme de chlorures ou de nitrates, se sont révélées toxiques pour les poissons d'eau salée. La plage permise par l'EPA américain pour le pH est de 5 à 9 pour les eaux utilisées à des fins domestiques; de 6,5 à 9,0 pour les organismes d'eau douce et de 6,5 à 8,5 pour les organismes marins (Hooker, PIM; PB 216658). Des teneurs de 20 à 100 milligrammes de sodium par litre d'eau se sont révélées létales pour le

saumon, la truite, la carpe et l'écrevisse (WQC, 1971). Le seuil de pH létal est de 9,2 pour l'omble de fontaine à 10,8 pour la carpe (Loub, 1975), de 10,9 pour le poisson doré et de 10,5 pour le crapet arlequin (EPA-440/9-75-009).

6.4 Études des effets

Les effets nuisibles sont principalement dûs à l'augmentation du pH (EPA-440/9-75-009). Des brûlures apparaissent sur la peau extérieure des branchies et il y a formation abondante de mucus. Les poissons meurent par suffocation en raison de la destruction lente de leur organe respiratoire.

6.5 Dégradation

L'effet de l'ion hydroxyde est réduit de façon naturelle par l'absorption de l'anhydride carbonique de l'air. Cette réduction est aussi modifiée par l'eau, aussi bien en raison de l'effet de dilution qu'en raison de l'acidité naturelle dans l'eau (EPA-440/9-75-009).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Les données toxicologiques contenues dans la documentation relative aux effets de l'hydroxyde de sodium sur la santé font ressortir les effets corrosifs sur la peau, les yeux et les muqueuses. On considère que l'action irritante de l'aérosol sur les muqueuses indique bien qu'il faut maintenir les concentrations dans l'air à des niveaux tolérables. Les essais portant sur les animaux ont été en grande partie limités à l'étude des effets sur les yeux et la peau et à la toxicité par ingestion, bien qu'on fasse mention de certaines études portant sur l'inhalation chronique. On a observé des cas de cancer à la suite de dommages graves des tissus, et on les a attribués aux dommages des tissus eux-mêmes plutôt qu'à l'exposition au produit.

Il n'est pas fait mention dans la documentation des effets de l'hydroxyde de sodium sur la reproduction. Peu d'information a été publiée sur les effets mutagènes. Depuis 1976, aucun projet de recherches sur la toxicologie de l'hydroxyde de sodium n'a été mentionné dans le TOX TIPS (résumé des recherches en cours).

Les données toxicologiques résumées ici ont été extraites de communications publiées et de sources fiables et reconnues. On doit noter que certaines des données ont trait à des expositions faibles chroniques (à long terme) et qu'elles ne s'appliquent pas directement à des cas de déversement.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les normes d'exposition pour l'hydroxyde de sodium sont conçues de façon à empêcher l'irritation des voies respiratoires. Les recommandations provinciales au Canada sont généralement semblables à celles des États-Unis (ACGIH), à moins d'indications contraires.

Directive (temps)	Origine	Teneur recommandée	Source
PEL (8 h)	USA-OSHA	2,0 mg/m^3	Guide NIOSH, 1978. PB 216658
	Teneurs admises pour de courtes durées		
Teneur admissible maximale, plafond de 15 mn	USA-NIOSH	2 mg/m^3	Guide NIOSH, 1978
Plafond	USA-ACGIH	2 mg/m^3	Doc. TLV, 1981
	Autres aspects de la toxicité pour l'homme		
IDLH	USA-NIOSH	200 mg/m^3	Guide NIOSH, 1978

7.2 Données sur l'irritation

7.2.1 Contact avec la peau

Niveau d'exposition (et durée)	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
25 à 50 % (3 mn)	Sensation d'irritation	Proctor, 1978
4 % (plusieurs heures)	Sensation d'irritation	Proctor, 1978

Niveau d'exposition (et durée)	Effets	Source
20 µl de NaOH 1N appliqué de 1 à 3 fois à intervalles de 30 mn (60 mn)	Dissolution progressive des cellules superficielles de la peau (couche cornée) jusqu'à l'oedème et la destruction totale de l'épiderme	Nagao et coll., 1972. Dans NIOSH, 1975
• CHEZ LE LAPIN		
50 mg (24 h)	Marqué	RTECS, 1979
• CHEZ LE RAT		
50 % (1 mn) Puis essayage, neutralisation et lavage	Oedème, ulcération de la peau et formation d'escarres épaisses	TDB (online), 1981

7.2.2 Contact avec les yeux

Niveau d'exposition (et durée)	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
180 mg/m^3 (3 mn)	Léger picotement et larmoiement, pendant 24 h	Cooper et coll., 1979
3 mg/m^3 (11 mn)	Léger picotement sous les paupières	Cooper et coll., 1979
• CHEZ LE SINGE		
Solution à 1 % (24 h)	Marqué	RTECS, 1979
• CHEZ LE LAPIN		
Solution à 1 %	Marqué	RTECS, 1979
1 mg (24 h)	Marqué	RTECS, 1979
50 µg (24 h)	Marqué	RTECS, 1979

7.3 Seuil de perception des propriétés

7.3.1 **Odeur.** – Le produit est inodore (CHRIS, 1978)

7.3.2 **Goût.** – Le produit a un goût amer (AAR, 1981)

Paramètre	Milieu	Teneur	Source
Seuil de détection	Eau	0,08 mg/l	ASTM, 1980
Seuil gustatif inférieur	–	1 ppm	OHM-TADS, 1981
Seuil gustatif supérieur	–	50 ppm	OHM-TADS, 1981

7.4 Études à long terme

7.4.1 **Inhalation.** – «On a accordé peu d'intérêt à l'inhalation de l'hydroxyde de sodium. On peut considérer qu'en raison de la nature irritante de l'aérosol pour les muqueuses, les concentrations d'hydroxyde de sodium dans l'air ont été maintenues à des niveaux tolérables» (NIOSH, 1975).

Niveau d'exposition (et durée)	Effets	Source
	Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
35 mg/m^3 (11 mn)	(Avec lunettes protectrices) possibilité de travailler. La respiration par la bouche a provoqué la toux	Cooper et coll., 1979
25 mg/m^3 (11 mn)	(Avec lunettes protectrices) léger picotement dans les voies nasales supérieures, faible irritation. Possibilité de travailler	Cooper et coll., 1979
10 à 2 mg/m^3 (5 mn)	Odeur caractéristique. Faible écoulement des yeux et du nez	Cooper et coll., 1979
3 mg/m^3 (11 mn)	Léger picotement sous les paupières	Cooper et coll., 1979
• CHEZ LE RAT		
3200 µg/l (1,5 h)	Troubles respiratoires chez 12 sujets	Zwicker et coll., 1979
865 µg/l (2 h)	Sur 12 adultes, 6 souffraient de laryngite aiguë;	Zwicker et coll., 1979
35 % NaOH/65 % Na_2CO_3	gravité cotée très faible	
750 µg/l (2 h) NaOH	Sur 24 jeunes, 22 souffraient de laryngite aiguë; gravité cotée faible	Zwicker et coll., 1979
	Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
0 à 1,5 mg/m^3 (professionnelle)	Pas de cause évidente de mort. Pendant la carrière, aide médicale demandée plus pour contact avec la peau qu'avec les yeux, et plus pour contact avec les yeux que pour inhalation	Ott et coll., 1977
• CHEZ LE RAT		
Aérosol provenant d'une solution à 40 %, 80 % de gouttelettes de diamètre < 1 µm (30 mn, 2x/j pendant 75 j)	Anomalies dans le tissu pulmonaire-prolifération cellulaire, congestion. Tumeurs isolées, non décrites (3 animaux sur 10). Tissu lymphadénoïde épaissi pénétrant dans le muscle sous l'épithélium. Prolifération du tissu lymphadénoïde adhérant à la paroi des bronches. Zones isolées de parenchyme pulmonaire fusionnées. Bronchopneumonie	Dluhos et coll., 1969. Dans NIOSH Crit., 1975
Aérosol provenant d'une solution à 40 %, puis aérosol provenant d'une solution de NH_4Cl à 8 % (30 mn, 2x/j pendant 75 j)	Mort (3 sujets sur 10) au bout de 3 semaines. Décoloration des poumons. Dommages plus importants que ceux dus à l'exposition au NaOH seul. Infiltration, dans les interstices, de lymphocytes, de plasmocytes et d'hystiocytes	Dluhos et coll., dans NIOSH, 1975
Aérosol provenant d'une solution à 40 %. Exposition simultanée à des poussières de quartz (2 x/sem)	Mort en moins d'un mois due à une bronchopneumonie	Vyskocil et coll., dans NIOSH, 1975
Aérosol provenant d'une solution à 20 %. Exposition simultanée à des poussières de quartz	Dilatation et fissuration des septums. Dilatation des bronches, amincissement de leur revêtement épithélial et infiltration de cellules arrondies dans les tissus en dessous des muqueuses	Vyskocil et coll., dans NIOSH, 1975
Aérosol provenant d'une solution à 10 %. Exposition simultanée à des poussières de quartz	Peu de modifications	Vyskocil et coll., dans NIOSH, 1975
Aérosol provenant d'une solution à 5 %	Dilatation des bronches, légère dégénération des muqueuses, épaississement du tissu lymphadénoïde entourant les bronches	Vyskocil et coll., dans NIOSH, 1975

7.4.2 Ingestion

Niveau d'exposition (et durée)	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
5 g	DL 50	Dreisbach, 1980
1,95 g	Mort	OHM-TADS, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
500 mg/kg	DL inf.	AAR, 1981

7.4.3 Exposition intrapéritonéale

Niveau d'exposition (et durée)	Effets	Source
• CHEZ LA SOURIS		
40 mg/kg	DL 50	RTECS, 1979

7.4.4 Données sur la mutation

Niveau d'exposition (et durée)	Effets	Source
• CULTURES CELLULAIRES		
20 µl	Aberrations chromosomiques	RTECS (fiche), 1981

7.5 Symptômes d'exposition

Lorsque les symptômes généraux d'exposition sont indiqués dans la plupart des sources, nous n'avons pas indiqué de référence précise. Nous avons indiqué la source seulement dans le cas des symptômes d'une nature particulière ou inhabituelle.

7.5.1 Inhalation

1. Éternuement et toux
2. Irritation des yeux, du nez, de la gorge et des voies respiratoires supérieures
3. Yeux et nez brûlants et rouges (NIOSH, 1975)
4. Gorge brûlante et sèche (NIOSH, 1975)
5. Ulcération des voies nasales (TDB (online), 1981)
6. Inflammation des poumons (ITII, 1981).
7. Pneumonie (Proctor, 1978)
8. Oedème pulmonaire (Doull, 1980)
9. Choc (Doull, 1980)

7.5.2 Ingestion

1. Brûlure le long de l'oesophage jusqu'à l'estomac
2. Muqueuses blanches d'abord, puis devenant brunes
3. Ptyalisme (TDB (online), 1981)
4. Les zones atteintes des lèvres, du menton, de la langue et du pharynx sont oedémateuses et recouvertes d'exsudat (TDB (online), 1981)
5. Forte douleur lors de la déglutition
6. Oedème de la glotte (Lefevre, 1980)
7. Vomissement de gros fragments de muqueuse
8. Crampes d'estomac
9. Respiration rapide
10. Pouls rapide et faible. Choc
11. Diarrhée, les selles peuvent être teintées de sang
12. Douleurs intenses sous le sternum et fièvre (TDB (online), 1981)
13. Sténose de l'oesophage et sténose antropylorique (NIOSH Crit., 1975)
14. Une pneumonie, une pneumonie par aspiration ou une asphyxie due à l'oedème de la glotte peuvent provoquer la mort (TDB (online), 1981)
15. Collapsus cardio-vasculaire et coma (ITII, 1981)
16. Il peut y avoir amélioration pendant 2 à 4 jours, suivie d'une douleur abdominale, d'une chute de la pression sanguine due à une perforation de l'estomac ou de l'oesophage (TDB (online) 1981)
17. Épithélioma spinocellulaire de l'oesophage après une période latente de 12 à 42 ans. On considère que ce trouble est une conséquence de la destruction des tissus plutôt que de l'effet carcinogène de l'hydroxyde de sodium (Proctor, 1978)

7.5.3 Contact avec la peau

1. Il n'y a pas forcément une sensation immédiate d'irritation ou de douleur (NIOSH, 1975)
2. Dermatite irritante primaire
3. Petites brûlures multiples et perte temporaire des cheveux
4. Détérioration de la kératine
5. Oedème intracellulaire
6. Fortes brûlures, corrosion des tissus et ulcérations profondes

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Irritation
2. Conjonctivite, brûlures de la cornée
3. Photophobie (NIOSH Crit., 1975)
4. Désintégration et escarrification de l'épithélium de la conjonctive et de la cornée (Proctor, 1978)
5. Oedème de la cornée, ulcération et opacification
6. Symblépharon (Proctor, 1978)
7. Croissance exagérée de la cornée due à une membrane vascularisée (Proctor, 1978)
8. Opacification permanente de la cornée

7.6 Toxicité pour l'homme des produits de décomposition et de combustion

Les solutions d'hydroxyde de sodium peuvent produire de l'hydrogène à l'état gazeux lorsqu'elles réagissent avec des métaux amphotères.

7.6.1 **Hydrogène.** – L'hydrogène est un gaz sans couleur, sans odeur et sans goût qui, au contact de l'air, forme un mélange explosif.

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

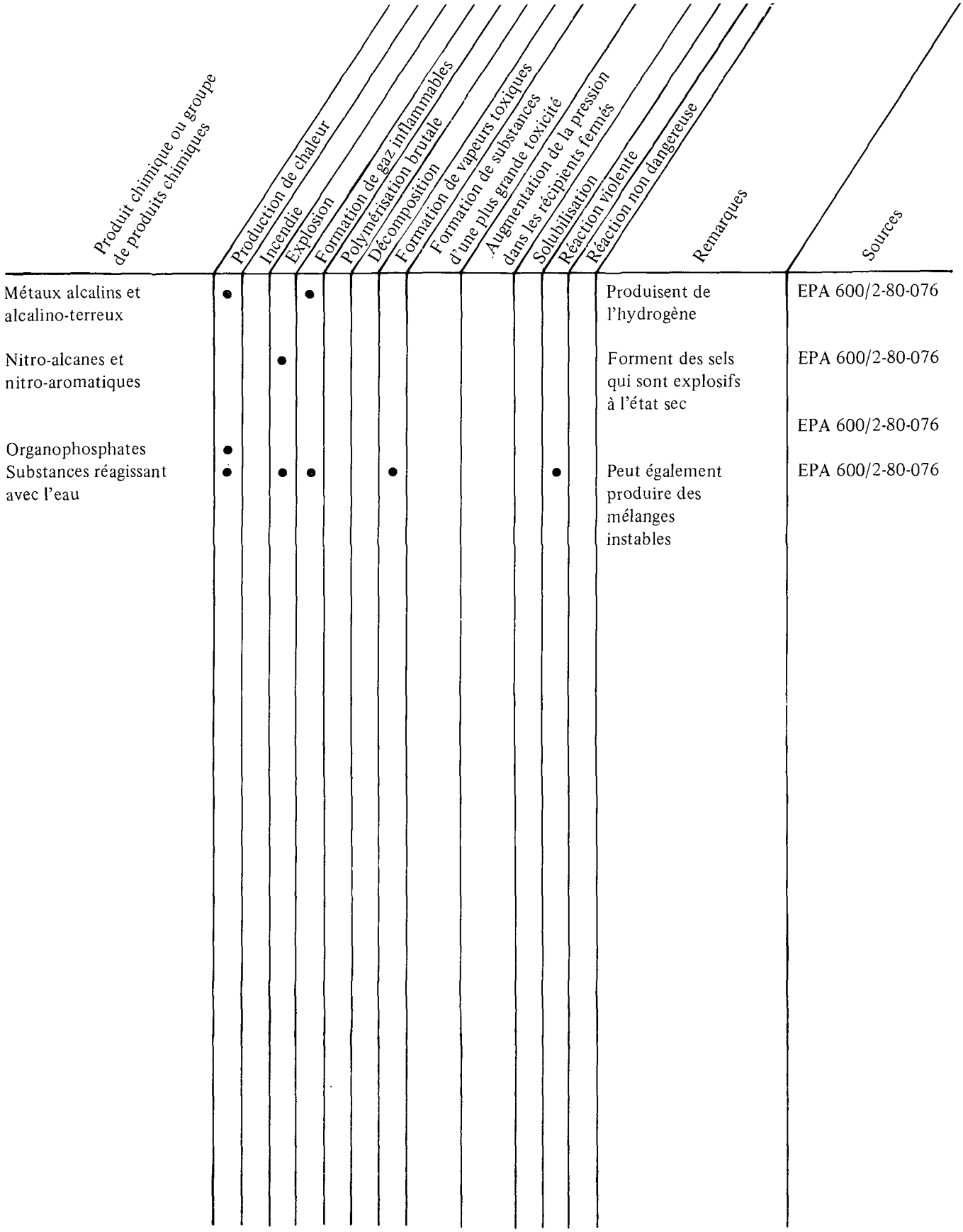
8.1 Compatibilité de l'hydroxyde de sodium avec divers produits chimiques

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
En général														
Eau	●									●	●		Ébullition violente	Bretherick, 1979
Produits chimiques														
Acétaldéhyde				●									Polymérisation violente	NFPA, 1978
Acide acétique	●							●					Augmentation de la pression dans un vase clos lors du mélange avec l'acide glacial	NFPA, 1978
Acide chlorhydrique	●							●			●		Dans un vase clos avec du HCl à 36 %	NFPA, 1978
Acide chlorosulfonique	●							●					Dans un vase clos	NFPA, 1978
Acide fluorhydrique	●							●			●		Dans un vase clos avec du HF à 48,7 %	NFPA, 1978
Acide nitrique	●							●					Dans un vase clos avec du HNO_3 à 70 %	NFPA, 1978
Acide sulfurique	●							●					Dans un vase clos avec du H_2SO_4 à 96 %	NFPA, 1978
Acroléine				●									Polymérisation violente	NFPA, 1978
Acrylonitrile				●									Polymérisation violente avec le caustique de forte teneur	NFPA, 1978
Alcool allylique				●									Polymérisation violente	NFPA, 1978

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Aluminium			●										Produit de l'hydrogène qui est un gaz explosif	Bretherick, 1979
Anhydride acétique	●							●					Augmentation de la pression dans un vase clos	NFPA, 1978
Anhydride maléique			●		●								Décomposition explosive	NFPA, 1978
Azoture de cyanogène			●										Détoné par les alcalins	Bretherick, 1979
Brome			●										S'ils ne sont pas mélangés	Bretherick, 1979
Chlorohydrine	●							●					Dans un vase clos	NFPA, 1978
4-chloro-2-méthylphénol			●										Après avoir été agités pendant plusieurs heures	Bretherick, 1979
Chloronitrotoluènes	●		●					●					Possibilité d'explosion dans un vase clos	NFPA, 1978
Chlorure allylique				●									La réaction a produit de l'alcool allylique qui a explosé	NFPA, 1978
Cinnamaldéhyde	●	●											Des chiffons imbibés des deux substances se sont enflammés dans une caisse à résidus	Bretherick, 1979
Cyanohydrine d'éthylène	●							●					Dans un vase clos	NFPA, 1978
Diborane	●		●										Lorsque mélangé avec l'oxime d'octyle, devient très exothermique et peut exploser	Bretherick, 1979
1, 2-dichloroéthène			●										Peut former du monochloréthyne qui est inflammable spontanément	NFPA, 1978
Éthylène	●							●					Dans un vase clos	NFPA, 1978

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Hydroquinone	•				•								A causé un dégagement de chaleur et un débordement	NFPA, 1978
Nitrobenzène			•										Provoque une détonation	Bretherick, 1979
Nitroéthane			•										Forme un sel explosif à l'état sec	NFPA, 1978
Nitrométhane			•										Forme un sel qui à l'état sec est explosif	NFPA, 1978
Nitropropane			•										Forme un sel qui à l'état sec est explosif	NFPA, 1978
Oléum	•							•					Dans un vase clos	NFPA, 1978
Pentachlorophénol			•			•								Bretherick, 1979
Pentol			•										Au contact	NFPA, 1978
Pentoxyde de phosphore										•			Réaction violente lorsque exposé à la chaleur	NFPA, 1978
Phosphore		•				•							Libère des phosphines lorsque amené à ébullition	Bretherick, 1979
β-propiolactone	•							•					Dans un vase clos	NFPA, 1978
1, 2, 4, 5-tétrachloro-benzène	•		•					•					La réaction peut être violente à cause de pressions exercées sur le récipient, ce qui entraînerait une explosion	Bretherick, 1979
Tétrahydroborate de sodium			•					•					Libère de l'hydrogène avec explosion	Bretherick, 1979
Tétrahydrofuranne			•										Au contact	NFPA, 1978
1, 1, 1-trichloroéthanol			•										Forme du chlorohydro-xyacétylène explosif	Bretherick, 1979

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Trichloroéthylène		•	•										Forme des mélanges explosifs de dichloroacétylène	NFPA, 1978
Trichloronitrométhane			•										Peut causer une détonation	Bretherick, 1979
Trifluorure de chlore										•			Avec un mélange d'acide nitrique, de potassium et de sels d'argent	NFPA, 1978
Zinc		•											Avec le zinc en poudre	Bretherick, 1979
Zirconium			•										*Explosif lorsque* chauffé	Bretherick, 1979
Groupes de produits chimiques														
Acides minéraux non-oxydants	•							•		•				EPA 600/2-80-076
Acides minéraux oxydants	•							•		•				EPA 600/2-80-076
Acides organiques	•							•						EPA 600/2-80-076
Cétones	•									•			Auto-condensation de la cétone	EPA 600/2-80-076
Composés polymérisables	•			•										EPA 600/2-80-076
Époxydes	•			•										EPA 600/2-80-076
Esters	•												Hydrolyse en alcool et production du sel associé	EPA 600/2-80-076
Explosifs	•		•										La réaction génère suffisamment de chaleur pour détoner l'explosif	EPA 600/2-80-076
Halogénures aliphatiques	•				•								Produits des oléfines inflammables et de l'acétylène	EPA 600/2-80-076
Isocyanates	•			•	•								Les monoisocyanates se décomposent et les diisocyanates polymérisent	EPA 600/2-80-076



Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Métaux alcalins et alcalino-terreux	●		●										Produisent de l'hydrogène	EPA 600/2-80-076
Nitro-alcanes et nitro-aromatiques		●											Forment des sels qui sont explosifs à l'état sec	EPA 600/2-80-076
														EPA 600/2-80-076
Organophosphates	●													
Substances réagissant avec l'eau	●		●	●		●				●			Peut également produire des mélanges instables	EPA 600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les mesures décrites dans la présente section, qui semblent s'appliquer à la plupart des situations, sont reprises d'ouvrages déjà publiés. Pour éviter d'en fausser le sens, la formulation originale a été conservée, malgré certaines contradictions entre les différentes sources. Les mesures décrites ne doivent pas être considérées comme recommandées par Environnement Canada.

9.1.1 Risques d'incendie. – L'hydroxyde de sodium n'est pas combustible. Toutefois, lorsque le produit sous forme solide est mis au contact de l'humidité ou de l'eau, il peut produire assez de chaleur pour enflammer les matières combustibles. Au contact de certains métaux, il peut y avoir dégagement d'hydrogène lorsque le produit est mis en contact avec certains métaux amphotères (NFPA 1979; Kirk-Othmer, 1978). L'hydroxyde de sodium solide peut fondre et s'écouler lorsqu'il est chauffé. Lorsqu'il est chaud ou fondu, il peut réagir violemment avec l'eau en produisant des éclaboussures et en dégageant une brume irritante. Le surchauffage de l'hydroxyde de sodium (en solution ou fondu) contenu dans un récipient de métal accélère la corrosion (Hooker PIM; GE, 1977).

9.1.2 Agents d'extinction. – L'hydroxyde de sodium n'est pas combustible. Si les récipients contenant ce produit sont exposés au feu, pulvériser de l'eau afin de prévenir la rupture ou la corrosion (ERG, 1980; GE, 1977; Hooker MSDS, 1976). Retirer les récipients de la zone d'incendie s'il est possible de le faire sans danger (ERG, 1980). Utiliser l'eau ou un autre moyen susceptible de circonscrire l'incendie.

9.1.3 Mesures à prendre en cas de déversement accidentel

9.1.3.1 Généralités. – Arrêter ou réduire le déversement du produit s'il est possible de le faire sans danger. Éviter le contact de la peau avec le produit et l'inhalation des poussières et de la brume (Hooker PIM, 1980).

Les matières absorbantes suivantes ont été mises à l'essai et sont recommandées pour éliminer les vapeurs et circonscrire les déversements de solutions d'hydroxyde de sodium à 50 p. 100 ou pour les deux applications: perlite et Cellosize WP3H (hydroxyéthyl-cellulose) (Braley, 1980), sable ou terre (Hooker PIM).

9.1.3.2 Déversements sur le sol. – Lorsque l'hydroxyde de sodium est répandu sous forme solide, on peut le ramasser immédiatement à la pelle et le déposer dans des fûts en acier en vue de le récupérer ou de l'éliminer (éviter de produire des poussières). Si le produit n'est pas ramassé immédiatement, il peut absorber l'humidité de l'atmosphère, ce qui rendra le nettoyage plus difficile (GE, 1977; Hooker PIM).

Lorsque le produit est déversé sous forme liquide, le contenir si possible, l'éponger avec du sable ou de la terre, puis ramasser les matières imbibées à la pelle et les déposer dans des récipients en acier en vue de l'élimination future (Hooker PIM; ERG, 1980). On peut utiliser de la vermiculite ou une autre matière absorbante inerte (Hooker DS, 1979). Lorsque l'ampleur du déversement le justifie, ramasser le produit à l'aide d'équipement aspirant (résistant aux alcalis)

en vue de l'élimination future (GE, 1977). On peut aussi envisager l'application de cendres volantes ou de poudre de ciment pour absorber le gros du liquide (EPA 670/2-75-042). On peut aussi utiliser des matières absorbantes, comme le carbone activé, l'Amberlite et l'USM (CG-D-38-76).

9.1.4 Nettoyage et traitement

9.1.4.1 Déversements sur le sol. – Après avoir appliqué les mesures initiales, neutraliser la zone contaminée avec de l'acide dilué, de préférence de l'acide acétique, afin d'éliminer les dernières traces d'hydroxyde de sodium. On peut ensuite utiliser du bicarbonate de sodium pour neutraliser en partie tout résidu (GE, 1977).

9.1.4.2 Déversements dans l'eau. – On recommande d'utiliser le phosphate monosodique comme agent de neutralisation sur place afin d'éviter de rendre le milieu trop acide, par une trop forte diminution du pH (CG-D-16-77). L'anhydride carbonique et le bicarbonate de sodium offrent les mêmes avantages; on peut aussi utiliser la zéolite dans le cas de déversements peu importants (CG-D-38-76).

9.1.4.3 Généralités. – Pour le traitement de l'eau polluée, on recommande de séparer les solides par gravité, puis de neutraliser à l'aide d'acide acétique ou d'acide sulfurique ou chlorhydrique dilué (EPA-600/2-77-227). Si d'autres solides se forment, il faudra recourir de nouveau à la séparation par gravité.

9.1.5 Élimination. – Ne jamais déverser les rejets d'hydroxyde de sodium directement dans les égouts ou dans un cours d'eau. Après la neutralisation, réalisée sur place où dans une installation de gestion des déchets, on peut éliminer la boue obtenue dans une décharge sûre.

9.1.6 Mesures de protection. – Avant d'entrer dans une zone où une substance inconnue a été déversée, il est essentiel de se munir d'un appareil de respiration autonome et de revêtir un habit protecteur totalement étanche aux produits chimiques.

Si la substance déversée est de l'hydroxyde de sodium, il faut observer les mesures suivantes: a) fournir au personnel d'intervention des vêtements et des gants imperméables, des masques de protection (minimum 20 centimètres) ainsi que tout autre vêtement protecteur nécessaire pour empêcher tout contact de l'hydroxyde de sodium ou des solutions de ce produit avec la peau (NIOSH/OSHA, 1978); b) recommander le port de lunettes de sécurité à l'épreuve des poussières et des éclaboussures lorsqu'il y a possibilité de contact de l'hydroxyde ou des solutions de ce produit avec les yeux (NIOSH/OSHA, 1978). Recommander également le port de lunettes anti-acide (GE, 1977); c) les gants en acétate de polyvinyle ne sont pas recommandés (OHM-TADS, 1981); d) des vêtements de protection faits avec les produits chimiques suivants sont recommandés pour la protection contre l'hydroxyde de sodium (EE-20): butyl, néoprène et cloropel (excellente résistante), et PVC (bonne résistance); e) il faut retirer sans tarder les vêtements non imperméables qui sont pollués par l'hydroxyde de sodium et attendre que le produit soit enlevé avant de les porter de nouveau (NIOSH/OSHA, 1981); f) dans les endroits où on utilise le produit et sur les lieux de déversements, on devrait avoir accès facilement à des douches oculaires automatiques et à des douches d'urgence (GE, 1977).

Voici une liste des éléments de protection minimale des voies respiratoires recommandés pour le personnel travaillant en présence d'hydroxyde de sodium (NIOSH/OSHA, 1978). Seul le matériel approuvé doit être utilisé.

Situation	Protection minimale des voies respiratoires requise au-dessus de 2 mg/m^3
Concentration des particules de 100 mg/m^3 ou moins	Appareil à adduction d'air muni d'un filtre à particules de grande efficacité avec masque recouvrant entièrement le visage. Appareil à adduction d'air muni d'un masque recouvrant entièrement le visage et d'une cagoule. Tout appareil à adduction d'air autonome avec masque recouvrant entièrement le visage.
200 mg/m^3 ou moins	Un respirateur à adduction d'air pur actionné avec masque recouvrant entièrement le visage et filtre à particules de grande efficacité. Un respirateur à adduction d'air de type C avec masque recouvrant entièrement le visage, à pulmo-commande ou pression super-atmosphérique et cagoule, fonctionnant à débit constant.
Concentration supérieure à 200 mg/m^3* ou concentration inconnue	Appareil respiratoire autonome avec masque recouvrant entièrement le visage, à pulmo-commande ou à pression super-atmosphérique. Respirateur combiné comprenant un respirateur à air de type C avec masque recouvrant entièrement le visage, fonctionnant sous pression ou autre mode de pression positive ou en mode d'écoulement continu, et appareil de respiration auxiliaire autonome, fonctionnant sous pression ou autre mode de pression positive.
Lutte contre l'incendie	Appareil de respiration autonome avec masque recouvrant entièrement le visage, à pulmo-commande ou pression super-atmosphérique.
Fuite	Tout respirateur protégeant des poussières et des brumes, avec masque recouvrant entièrement le visage, sauf les respirateurs jetables. Tout appareil de respiration autonome permettant de fuir un endroit dangereux, avec masque recouvrant entièrement le visage.

* L'utilisation de combinaisons avec adduction d'air peut être nécessaire pour prévenir le contact avec la peau tout en fournissant une protection des voies respiratoires contre les particules d'hydroxyde de sodium en suspension dans l'air; cependant, cet équipement devrait être choisi, utilisé et entretenu sous la supervision immédiate d'un personnel formé à cette fin. Lorsque la concentration dépasse 200 mg/m^3, il faut aussi porter un respirateur autonome fonctionnant à la pression super-atmosphérique.

9.1.7 Précautions spéciales. – Stocker le produit dans des récipients bien scellés, à l'épreuve des dommages physiques. Éviter de manipuler dans des conditions qui risquent d'entraîner des déversements ou la formation de brumes (GE, 1977). Stocker dans un endroit sec afin de protéger le produit contre l'humidité et l'eau. Éloigner des acides, métaux, explosifs, peroxydes organiques et substances facilement inflammables (NFPA, 1978). Il faut avoir accès facilement à de l'eau courante en abondance sur les lieux de stockage, de déchargement ou de manipulation. Les conduites d'évacuation doivent être munies de bassins de rétention permettant d'ajuster le pH et de neutraliser les produits déversés et les eaux d'évacuation avant le rejet (GE, 1977).

9.2 Équipements, matériel et techniques spécialisés d'intervention

La liste qui suit est extraite d'études antérieures et n'est pas exhaustive (Dillon, 1982). On trouvera, dans l'étude citée, plus de détails sur les spécifications, la performance et la disponibilité de ces équipements, produits ou techniques.

Colmatage des fuites
Pompes centrifuges des systèmes de transfert
Stockage provisoire
Agents de traitement

Plug N'Dike^{TM}
Bell & Gosset
Portable Collection Bag System
Hazorb (sorbant)

10 CAS DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

Les informations relatives aux déversements accidentels antérieurs contenues dans la présente section aideront le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversements accidentels. Seuls les cas qui présentent un intérêt pour le lecteur sont inclus dans la présente section; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème ni la fréquence des déversements.

Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les révisions ultérieures du manuel, au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

10.1 **Déraillement d'un wagon-citerne** (Communication personnelle SPE, 1982, HMIR, 1981)

Un déraillement dû à un rail fissuré a provoqué la rupture de huit wagons-citernes contenant de l'hydroxyde de sodium aqueux à 50 p. 100. Plus de 590 000 litres de liquide ont été déversés.

Les équipes d'intervention d'urgence ont construit des digues de terre des deux côtés de la voie ferrée et se sont servis des camions à réservoir aspirateur pour ramasser le produit qui s'était localisé derrière les digues et dans les dalots. En moins de 10 jours, environ 135 000 litres de produit déversé ont été récupérés. On prévoit que le reste du produit déversé pénétrera dans le till glaciaire poreux sur les lieux du déversement et ne s'étalera pas avant un certain moment. Il n'y a pas eu d'excavation ou de neutralisation pendant le nettoyage. On a supposé que toute pollution serait probablement limitée à un aquifère à environ 4 mètres de profondeur. La plupart des puits de la région reçoivent l'eau d'un aquifère situé à une profondeur de 10 mètres. Le contrôle continu des puits privés n'a révélé aucune incidence sur la qualité de l'eau; le pH et la concentration en sodium de l'eau étaient normaux pour la région.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE

Les méthodes d'analyse utilisées pour le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont indiquées dans les lignes qui suivent:

Nous avons supposé que des échantillons de divers produits et milieux (air, eau, sol) seraient analysés dans un laboratoire chimique équipé normalement et éloigné du lieu de déversement. Nous avons consulté les sources habituelles de méthodes d'analyse normales ou recommandées et nous donnons une description sommaire de la méthode appliquée pour chaque produit. Parmi les sources consultées, on comptait notamment des publications du U.S. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), de la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), de l'American Water Works Association (AWWA), de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) et de l'American National Standards Institute (ANSI).

Lorsque les méthodes normales ou recommandées étaient jugées fiables et assez spécifiques pour permettre d'analyser des échantillons environnementaux et des produits provenant de lieux de déversement, et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un matériel de laboratoire hautement spécialisé, on n'a pas recherché d'autres méthodes. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 **Dosage du polluant présent dans l'air** (analyses quantitatives)

11.1.1 Titrage (NIOSH, 1977). – Cette méthode est applicable pour les teneurs en hydroxyde de sodium de 1 à 4 mg/m^3 (0,6 à 2,4 ppm) dans l'air. On mesure la teneur en alcali totale, qui est l'agent nuisible dans l'exposition à l'hydroxyde de sodium, plutôt que la teneur en hydroxyde de sodium.

On fait passer un volume mesuré d'air dans 15 ml d'acide chlorhydrique à environ 7×10^{-3} *N* dans un barboteur en verre. On recommande d'utiliser un échantillon d'air de 350 l. On dilue l'acide à 100 ml. On effectue le titrage avec de l'hydroxyde de sodium 0,1 *N* dans une microburette pour titrage électrométrique. Comme on suppose que l'alcalinité est due uniquement à l'hydroxyde de sodium, la présence de tout acide ou base fausse les résultats. Bien que cette méthode ne soit pas spécifique à la détection de l'hydroxyde de sodium, elle est simple et nécessite peu d'équipement spécialisé.

11.2 **Identification du polluant présent dans l'air** (analyse qualitative)

L'essai à la flamme est une méthode rapide de détection de la présence de l'ion sodium. Une flamme prend une couleur jaune intense lorsqu'il y a présence de l'ion sodium (Moeller, 1958). On peut déterminer qualitativement l'alcalinité, due à l'hydroxyde de sodium, dans la solution absorbante utilisée à la section 11.1.1, à l'aide d'un papier indicateur du pH.

11.3 **Dosage du polluant présent dans l'eau** (analyses quantitatives)

11.3.1 Titrage (ASTM 1979). – On peut appliquer cette méthode pour des concentrations d'hydroxyde de sodium comprises entre 8 et 350 ppm dans l'eau lorsqu'on effectue le titrage d'un volume de 100 ml à l'aide d'acide chlorhydrique 0,02 *N*. On peut élargir la plage en modifiant le volume de solution utilisé ou la concentration de l'acide servant au titrage.

On recueille un échantillon représentatif et on le place dans un contenant en verre de borosilicate ou en polyéthylène. On prend une portion appropriée et on la dilue selon les besoins. La portion utilisée ne doit pas contenir plus de 15 mg d'hydroxyde de sodium. On ajoute un excès de solution de chlorure de strontium, 4,5 g/l, pour faire précipiter les carbonates et phosphates dissous. On fait bouillir l'échantillon, puis on le laisse refroidir. On le titre à l'aide d'acide chlorhydrique 0,02 *N* en utilisant de la phénolphthaléine comme indicateur. La présence d'aluminates et de chromates fausse les résultats. Étant donné que cette technique permet d'évaluer l'alcalinité totale, la présence d'autres composants qui réagissent avec les acides modifie les résultats. Cette méthode est rapide et simple, et elle nécessite peu d'équipement spécialisé.

11.3.2 **Photométrie de flamme** (AWWA, 1976). – On peut appliquer cette méthode pour détecter la présence d'hydroxyde de sodium à des concentrations supérieures à 0,02 ppm dans l'eau. On utilise cette méthode lorsque l'échantillon contient des concentrations élevées de composants qui réagissent avec les acides et qui entrent en ligne de compte dans la détermination de l'alcalinité totale. On détermine la présence de l'ion sodium à l'aide d'un photomètre de flamme.

On recueille un échantillon représentatif et on le place dans des bouteilles en plastique. On filtre et on dilue au besoin un volume mesuré de l'échantillon. On ajoute une solution de lithium étalon comme étalon interne. On pulvérise l'échantillon dans la flamme d'un gaz à 589 nm. On obtient une courbe d'échantillonnage. La présence de concentrations élevées de calcium, de magnésium, de potassium, de chlorure, de sulfate et de bicarbonate complique l'analyse.

11.4 **Identification du polluant présent dans l'eau** (analyse qualitative)

On peut détecter les concentrations élevées d'hydroxyde de sodium dans l'eau à l'aide de papier indicateur de pH, mais cette méthode n'est pas propre à l'hydroxyde de sodium. L'essai à la flamme est une méthode rapide pour détecter la présence de l'ion sodium. Le sodium donne une flamme d'une couleur jaune intense (Moeller, 1958).

11.5 **Dosage du polluant présent dans le sol** (analyses quantitatives)

11.5.1 **Photométrie de flamme** (Hesse, 1972). – Cette méthode permet d'analyser les sols qui contiennent plus de 0,4 ppm d'hydroxyde de sodium. On détecte la présence de sodium dans les extraits de sol à l'aide de la photométrie de flamme.

On place un échantillon représentatif de 5 g de sol mesurant 2 mm, pesé avec précision, dans une éprouvette à centrifuger de 50 ml puis on ajoute 30 ml de solution d'acétate de magnésium 0,5 *M*. On bouche l'éprouvette et on l'agite pendant 5 minutes, puis on centrifuge l'échantillon pendant 5 minutes à 400 tours/seconde jusqu'à ce que le liquide surnageant soit clair. On verse le liquide surnageant par décantation dans une fiole jaugée de 100 ml. On effectue deux autres fois l'étape d'extraction puis on dilue les extraits combinés jusqu'à 100 ml. On mesure le sodium à l'aide d'un photomètre de flamme à 589 nm. La présence de concentrations élevées de calcium, de magnésium, de potassium, de chlorure, de sulfate et de bicarbonate complique l'analyse. Étant donné que cette méthode détecte l'ion sodium plutôt que les composants qui réagissent avec les acides, il faut prendre garde lorsqu'on l'applique à des échantillons prélevés sur le littoral.

11.6 **Dosage du polluant présent dans l'eau** (analyse qualitative)

On peut détecter les concentrations élevées d'hydroxyde de sodium dans le sol à l'aide d'un papier indicateur de pH, mais le pouvoir tampon du sol peut supprimer toute modification du pH. L'essai à la flamme est une meilleure méthode de détection de l'hydroxyde de sodium (Moeller, 1958). Un extrait de sol donne à une flamme une couleur jaune intense lorsqu'il y a présence de l'ion sodium.

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE (REPRODUITES DE L'ANGLAIS)

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Part II, Prepared for the Association of American Railroads, McLean, Virginia. (May, 1981).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, Pennsylvania, D514-67. (1979).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odour and Taste Threshold Values Data, ASTM Data Series DS-48A, Philadelphia, Pennsylvania. (1980).

AWWA 1976: American Water Works Association, Standard Methods for the Analysis of Water and Waste Water, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., Method 320. (1976).

Bailar 1973: Bailar, J.C., Emeléus, N.J., Nyholm, R., Trotman-Dickenson, A.F. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Vol. 2, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom. (1973).

Braley 1980: Braley, G.K., "Several Remedies for the Treatment of Spillages of Liquid Hazardous Chemicals", Proceedings of the 1980 National Conference on Control of Hazardous Material Spills. (May, 1980).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9. (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

CCPA 1983: The Canadian Chemical Producers' Association, Personal Communication, Lisle, D.S.R., Technical Advisor, Environmental Affairs and Emergency Response, Ottawa, Ontario. (February 8, 1983).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

CE 1980: Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 87-131. (November 3, 1980).

CG-D-16-77: Drake, E., et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-16-77. (July, 1976).

CG-D-38-76: Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

Chemfacts Canada 1982: Chemfacts Canada 1982, Chemical Data Services, IPC Industrial Press Ltd., Surrey, England. (1982).

Chemical Week 1981: Chemical Week, "Cell Developers Work to Cut Electric Bills", pp. 51-52, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (June 10, 1981).

Chemtech: Chemtech Product Data Sheet, "Caustic Soda", Chemtech Industries Inc., St. Louis, Missouri. Not dated.

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C. (1978).

CIL MDS: CIL Inc., "Caustic Soda", Manufacturers Data Sheet, CIL Inc., Willowdale, Ontario. Not dated.

Cooper 1979: Cooper, D.W., Underhill, D.W., Ellenbecker, M.J., "A Critique of the U.S. Standard for Industrial Exposure to Sodium Hydroxide Aerosols", American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 40, No. 5, pp. 365-371. (1979).

Corpus 1983: Corpus Information Services Ltd., "Sodium Hydroxide", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (June, 1983).

Cotton 1972: Cotton, E.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Third Edition, Interscience Publishers, New York. (1972).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

CRC 1983: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 63rd Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1983).

CTC 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Department of Supply & Services, Ottawa, Ont. (July 31, 1974).

DCRG 1972: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1972).

DCS: Dow Chemical Company, Dow Caustic Soda, Midland, Michigan. Not dated.

Dillon 1982: M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Ontario. (1982).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

Doull 1980: Doull, J., Klaassen, C.D., Amdur, M.O., Casarett's and Doull's Toxicology -The Basic Science of Poisons, Second Edition, Collier Macmillan Canada, Ltd., Toronto, Ontario. (1980).

Dow 1980: Caustic Soda Solution Handbook, Dow Chemical USA, Inorganic Chemicals Dept., Midland, Michigan, Form No. 102-11-80. (1980).

Dow MSDS 1979: Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Sarnia, Ontario. (7 November 1979).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Dreisbach 1980: Dreisbach, R.H., Handbook of Poisoning: Prevention, Diagnosis, and Treatment, Tenth Edition, Lange Medical Publications, Los Altos, California. (1980).

Eblin 1968: Eblin, L.P., Chemistry - A Survey of Fundamentals, Harcourt, Brace & World Inc., New York, N.Y. (1968).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

EPA 440/4-75-009: Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 660/2-77-227. (November, 1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., Chen, E.R., deVera, R.D., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA 600/2-80-076. (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

FMT: Futura Metal Technology, Corrosion Data Chart, West Lake Village, CA. Not dated.

GE 1977: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (September/October, 1977).

GE 1978: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (August, 1978).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Gohar 1961: Gohar, H.A.F., El-Gindy, H., "Tolerance of Vector Snails of Bilharziasis and Fascioliasis to Some Chemicals", Proc. Egypt. Acad. Sci., Vol. 16, pp. 37-48. (1961).

GPP: Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

Guidelines/Canadian/Water 1978: Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Ontario. (1978).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, pp. 146-147. (1972).

HIS 1969: Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th Edition, New York, New York. (1969).

HMIR 1981: World Information Systems, "Derailed Tank Cars Spill Sodium Hydroxide in Saskatchewan", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4. (11 September 1981).

Hooker DS 1979: Hooker Chemicals and Plastics Corporation, Data Sheet No. 732, Electrochemical Division, Taft, Louisiana. (December, 1979).

Hooker MSDS 1976: Material Safety Data Sheet, "50% Sodium Hydroxide Solution", Hooker Chemical Corporation, Industrial Chemicals Division, Niagara, N.Y. (January, 1972; reviewed May, 1976).

Hooker PIM: Hooker Chemicals and Plastics Corporation, Product Information Manual, Niagara Falls, New York. Not dated.

Hooker PIM 1980: Hooker Chemical Corporation, Product Information Manual for Sodium Hydroxide, Canadian Occidental Petroleum Ltd., Hooker Chemicals Division, North Vancouver, British Columbia. (June, 1980).

ILO 1980: International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal With Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

Kirk-Othmer 1980: Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 1, John Wiley & Sons, New York. (1980).

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. (1980).

Loub 1975: Loub, W.I., "Umweltverschmutzung und Umweltschutz in Naturwissenschaftlicher Sicht", Vienna, Austria. (1975).

MCA 1968: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, D.C. (1968).

Merck 1976: Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co., Inc., Rahway, New Jersey. (1976).

Merck 1983: Windholz, M., Budavari, S., Blumetti, R.F., Otterbein, E.S. (ed.), The Merck Index, Merck & Co., Inc., Rahway, N.Y. (1983).

Meyer 1977: Meyer, E., Chemistry of Hazardous Materials, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. (1977).

Moeller 1958: Moeller, T., Qualitative Analysis, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, New York, p. 476. (1958).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Nadzhafova 1979: Nadzhafova, R.K., "Effect of Potassium Dichromate, Sodium Hydroxide and Soda Ash on the Survival Rate and Respiration of the Caspian Sea Shrimp", Isv. Akad. Nauk. AZ. SSR, Ser. Biol. Nauk., No. 6, pp. 96-101. (1979).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

NIOSH 1975: National Institute of Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Sodium Hydroxide, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio. (1975).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 1, Cincinnati, Ohio, P&CAM 241. (April, 1977).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Controls Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ott 1977: Ott, M.G., Gordon, H.L., Schneider, E.F., "Mortality Among Employees Chronically Exposed to Caustic Dust", J. Occupational Medicine, Vol. 19, pp. 813-816. (1977).

PB 216658: Federal Water Pollution Control Administration, Oil and Hazardous Materials, Emergency Procedures in the Water Environment, U.S. Department of the Interior, Edison, N.J., PB 216658. (October, 1968).

Personal Communication EPS 1982: Environmental Protection Service, Personal Communication, Environment Canada, Regina, Saskatchewan. (19 and 21 January 1982).

Portman 1970: Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (September, 1970).

Proctor 1978: Proctor, N.H., Hughes, J.P., Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, Toronto, Ontario. (1978).

Roznjevic 1976: Roznjevic, K., Handbook of Thermodynamic Tables and Charts, Hemisphere Publishers Corp., Washington, D.C. (1976).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

RTECS (on-line) 1981: National Institute for Occupational Safety and Health, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, U.S. Department of Health and Human Services, Microfiche. (October, 1981).

Savage 1979: Savage, P.R., Membrane Cells a Hit with Chlorine Producers, Chemical Engineering, pp. 63-65, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, N.Y. (5 November 1979).

SCS 1963: Solvay Technical and Engineering Service, Caustic Soda, New York, New York. (1963).

Shreve 1977: Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York. (1977).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, New York. (1971).

TA: Teledyne Allvac Advertisement, Box 759, Munroe, NC.

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1981).

TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Ontario. (June, 1980).

TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1981, Cincinnati, Ohio. (1981).

TOX TIPS 1981: Toxicology Testing in Progress, Sponsored by Toxicology Information Subcommittee, DHEW Committee to Coordinate Environmental and Related Programs, Available from the National Library of Medicine and NTIS. (1981).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

WQC 1971: McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (April, 1971).

Zwicker 1979: Zwicker, G.M., Allen, M.D., Stevens, D.R., "Toxicity of Aerosols of Sodium Reaction Products", J. Environmental Pathology and Toxicity, Vol. 2, pp. 1139-1150. (1979).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1981, Cincinnati, Ohio. (1981).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, Pennsylvania, D514-67. (1979).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odour and Taste Threshold Values Data, ASTM Data Series DS-48A, Philadelphia, Pennsylvania. (1980).

American Water Works Association, Standard Methods for the Analysis of Water and Waste Water, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., Method 320. (1976).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Bailar, J.C. Emeléus, N.J., Nyholm, R.A., Trotman-Dickenson, A.F. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Vol. 2, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom. (1973).

Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Part II, Prepared for the Association of American Railroads, McLean, Virginia. (May, 1981)

Braley, G.K., "Several Remedies for the Treatment of Spillages of Liquid Hazardous Chemicals", Proceedings of the 1980 National Conference on Control of Hazardous Material Spills. (May, 1980).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited version. Not dated.

Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

Canadian Chemical Producers' Association, Personal Communication, Lisle, D.J.R., Technical Advisor, Environmental Affairs and Emergency Response, Ottawa, Ontario. (Feb. 8, 1983).

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Department of Supply & Services, Ottawa, Ont. (July 31, 1974).

Chemfacts Canada 1982, Chemical Data Services, IPC Industrial Press Ltd., Surrey, England. (1982).

Chemical Week, "Cell Developers Work to Cut Electric Bills", pp. 51-52, McGraw-Hill Book Company, New York, NY. (June 10, 1981).

Chemtech Product Data Sheet, "Caustic Soda", Chemtech Industries Inc., St. Louis, Missouri. Not dated.

CIL Inc., "Caustic Soda", Manufacturers Data Sheet, CIL Inc., Willowdale, Ontario. Not dated.

Cooper, D.W., Underhill, D.W., Ellenbecker, M.J., "A Critique of the U.S. Standard for Industrial Exposure to Sodium Hydroxide Aerosols", American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 40, No. 5, pp. 365-371. (1979).

Corpus Information Services Ltd., "Sodium Hydroxide", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (June, 1983).

Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Third Edition, Interscience Publishers, New York, N.Y. (1972)

M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Ontario. (1982).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Doull, J., Klaassen, C.D., Amdur, M.O., Casarett's and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, Second Edition, Collier Macmillan Canada, Ltd., Toronto, Ontario. (1980).

Dow Chemical Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Sarnia, Ontario. (7 November 1979).

Dow Chemical Company, Dow Caustic Soda, Midland, Michigan. Not dated.

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1972).

Dow Chemical USA, Caustic Soda Solution Handbook, Inorganics Chemicals Dept., Midland, Michigan, Form No. 102-11-80. (1980).

Drake, E., et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-16-77. (July, 1976).

Dreisbach, R.H., Handbook of Poisoning: Prevention, Diagnosis, and Treatment, Tenth Edition, Lange Medical Publications, Los Altos, California. (1980).

Eblin, L.P., Chemistry - A Survey of Fundamentals, Harcourt, Brace & World Inc., New York, NY. (1968).

Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA-440/9-75-009. (November, 1975).

Environmental Protection Service, Personal Communication, Environment Canada, Regina, Saskatchewan. (19 and 21 January 1982).

Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Ontario. (1978).

Federal Water Pollution Control Administration, Oil and Hazardous Materials, Emergency Procedures in the Water Environment, U.S. Department of the Interior, Edison, N.J., PB 216658. (October, 1968).

Futura Metal Technology, Corrosion Data Chart, Westlake Village, CA. Not dated.

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (September/October, 1977).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (August, 1978).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Gohar, H.A.F., El-Gindy, H., "Tolerance of Vector Snails of Bilharziasis and Fascioliasis to Some Chemicals", Proc. Egypt. Acad. Sci., Vol. 16, pp. 37-48. (1961).

Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 1, John Wiley & Sons, New York. (1980).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

Hatayama, H.K., Chen, E.R., deVera, R.D., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA 600/2-80-076. (April, 1980).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, pp. 146-147. (1972).

Hooker Chemical Corporation, Material Safety Data Sheet, "50% Sodium Hydroxide Solution", Industrial Chemicals Division, Niagara, N.Y. (January, 1972; reviewed May, 1976).

Hooker Chemical Corporation, Product Information Manual for Sodium Hydroxide, Canadian Occidental Petroleum Ltd., Hooker Chemicals Division, North Vancouver, British Columbia. (June, 1980).

Hooker Chemicals and Plastics Corporation, Data Sheet No.732, Electrochemical Division, Taft, Louisiana. (December, 1979).

Hooker Chemicals and Plastics Corporation, Product Information Manual, Niagara Falls, New York. Not dated.

Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 600/2-77-227. (November, 1977).

Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th Edition, New York, New York. (1969).

International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal With Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 87-131. (November 3, 1980).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. (1980).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

Loub, W.I., "Umweltverschmutzung und Umweltschutz in Naturwissenschaftlicher Sicht", Vienna, Austria. (1975).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, D.C. (1968).

McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (April, 1971).

Meyer, E., Chemistry of Hazardous Materials, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. (1977).

Moeller, T., Qualitative Analysis, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, New York, p. 476. (1958).

Nadzhafova, R.K., "Effect of Potassium Dichromate, Sodium Hydroxide and Soda Ash on the Survival Rate and Respiration of the Caspian Sea Shrimp", Isv. Akad. Nauk. AZ. SSR, Ser. Biol. Nauk., No. 6, pp. 96-101. (1979).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Sodium Hydroxide, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio. (1975).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 1, Cincinnati, Ohio, P&CAM 241. (April, 1977).

National Institute for Occupational Safety and Health, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, U.S. Department of Health and Human Services, Microfiche. (October, 1981).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Controls Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ott, M.G., Gordon, H.L., Schneider, E.F., "Mortality Among Employees Chronically Exposed to Caustic Dust", J. Occupational Medicine, Vol. 19, pp. 813-816. (1977).

Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. (September, 1970).

Proctor, N.H., Hughes, J.P., Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott and Company, Toronto, Ontario. (1978).

Roznjevic, K., Handbook of Thermodynamic Tables and Charts, Hemisphere Publishers Corp., Washington, D.C. (1976).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Savage, P.R., Membrane Cells a Hit with Chlorine Producers, Chemical Engineering, pp. 63-65, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, N.Y. (November 5, 1979).

Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York. (1977).

Solvay Technical and Engineering Service, Caustic Soda, New York, New York. (1963).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9. (December, 1980).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, New York. (1971).

Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

Teledyne Allvac Advertisement, Box 759, Munroe, NC.

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1981).

Toxicology Testing in Progress, Sponsored by Toxicology Information Subcommittee, DHEW Committee to Coordinate Environmental and Related Programs, Available from the National Library of Medicine and NTIS. (1981).

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Ontario. (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C. (1978).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 63rd Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1983).

Windholz, M., Budavari, S., Blumetti, R.F., Otterbein, E.S. (ed.), The Merck Index, Merck & Co., Inc., Rahway, N.Y. (1983).

Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co., Inc., Rahway, New Jersey. (1976).

World Information Systems, "Derailed Tank Cars Spill Sodium Hydroxide in Saskatchewan", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4. (11 September 1981).

Zwicker, G.M., Allen, M.D., Stevens, D.R., "Toxicity of Aerosols of Sodium Reaction Products", J. Environmental Pathology and Toxicity, Vol. 2, pp. 1139-1150. (1979).