Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

L'ACIDE PHOSPHORIQUE

TP
217
.P5
P4614
1985

Canada

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
217
.P5
P4611
1985

collection
ENVIROGUIDE

CENTRE DE DOCUMENTATION CSL
105, McGILL, 2ième étage
MONTRÉAL (Québec) H2Y 2E7
Tél.: (514) 283-2762
Fax: (514) 283-9451

L'ACIDE PHOSPHORIQUE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
MARS 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

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

Édition française de
Phosphoric acid
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 48-10/33-1985F
ISBN 0-662-93439-3
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	XIII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	3
3	**Production, transport et commerce**	11
3.1	Qualités et titres	11
3.2	Fabricants situés au Canada	11
3.3	Autres fournisseurs	12
3.4	Centres de production et transport	12
3.5	Volume de production	12
3.6	Fabrication industrielle	13
3.6.1	Information générale	13
3.6.2	Procédés de fabrication	13
3.6.2.1	Procédé par voie humide	13
3.6.2.2	Procédé thermique	13
3.7	Principales utilisations au Canada	14
3.8	Principaux acheteurs au Canada	14
4	**Manutention du produit et compatibilité**	15
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	15
4.1.1	Transport en vrac	15
4.1.1.1	Wagons-citernes	15
4.1.1.2	Véhicules-citernes	16
4.1.2	Transport en fûts	16
4.2	Déchargement	19
4.2.1	Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes	19
4.2.2	Équipement et opérations de déchargement des véhicules-citernes	20
4.2.3	Spécifications et matériaux de fabrication des organes de déchargement	20
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	21
5	**Fuite et migration du produit**	25
5.1	Aperçu général	25
5.2	Fuite du produit	25
5.2.1	Introduction	25
5.2.2	Nomogrammes de la fuite	26
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	26
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	26
5.2.3	Exemples de calcul	26
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	26
5.4	Comportement dans l'eau	28
5.4.1	Introduction	28
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	28
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	30
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	30
5.4.3	Exemples de calcul	30
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	30
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	39
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	39

5.5.1 Introduction 39
5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ 40
5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant 40
5.5.4 Types de sol 42
5.5.5 Nomogrammes de la migration 42
5.5.6 Exemple de calcul 42

6 Protection de l'environnement 47
6.1 Limites maximales admissibles 47
6.1.1 Qualités de l'eau potable 47
6.1.2 Qualités de l'air 47
6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques 47
6.2.1 Évaluation de la toxicité aux USA 47
6.2.2 Mesure de la toxicité 47
6.3 Autre toxicité dans l'air et sur terre 47
6.4 Dégradation du polluant 48
6.5 Devenir et effets à long terme 48

7 Protection de la santé 49
7.1 Normes d'exposition 49
7.2 Données sur les propriétés irritantes 50
7.2.1 Contact avec la peau 50
7.2.2 Contact avec les yeux 50
7.3 Données sur les propriétés organoleptiques 50
7.3.1 Odeur 50
7.3.2 Saveur 50
7.4 Études sur les effets toxiques 50
7.4.1 Inhalation 50
7.4.2 Ingestion 51
7.4.3 Absorption par voie cutanée 51
7.4.4 Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité 51
7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication 51
7.5.1 Inhalation 52
7.5.2 Ingestion 52
7.5.3 Contact avec la peau 52
7.5.4 Contact avec les yeux 52
7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion pour l'homme 52
7.6.1 Pentoxyde de phosphore 52

8 Compatibilité chimique 53
8.1 Compatibilité entre l'acide phosphorique et divers agents 53

9 Mesures d'intervention et de sécurité 55
9.1 Mesures recommandées 55
9.1.1 Danger d'incendie 55
9.1.2 Moyens d'extinction 55
9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement 55
9.1.3.1 Information générale 55
9.1.3.2 Déversement sur le sol 55
9.1.3.3 Déversement dans l'eau 55
9.1.4 Nettoyage et traitement 55
9.1.4.1 Information générale 55
9.1.5 Élimination du polluant 56
9.1.6 Appareils et vêtements de protection 56
9.1.7 Entreposage 57
9.2 Équipement, techniques et produits spécialisés d'intervention 57

10 Cas de déversement accidentel 58
10.1 Information générale 58
10.2 Déraillement de wagons-citernes 58

11	**Identification et dosage du polluant**	59
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air	59
11.1.1	Colorimétrie	59
11.2	Identification du polluant présent dans l'air	59
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau	60
11.3.1	Colorimétrie	60
11.4	Identification du polluant présent dans l'eau	60
11.5	Dosage du polluant présent dans le sol	60
11.5.1	Colorimétrie	60
12	**Références et bibliographie**	62
12.1	Références	62
12.2	Bibliographie	66

LISTE DES FIGURES

1 Diagramme de phases du système H_2O . H_3PO_4 7
2 Masse volumique des solutions 8
3 Point d'ébullition des solutions 8
4 Pression de vapeur des solutions 9
5 Viscosité des solutions 10
6 Diagramme de phases 10
7 Wagon-citerne de spécification 111A100W1 17
8 Orifice au-dessous du niveau du liquide 26
9 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé 27
10 Débit de fuite en fonction du temps écoulé 27
11 Etapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées 29
12 Distance en fonction du temps 31
13 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal 32
14 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique 33
15 Alpha en fonction du coefficient de distribution turbulente 34
16 Delta en fonction de alpha 35
17 Teneur maximale en fonction de delta 36
18 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique 37
19 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse 38
20 Migration dans le sous-sol 41
21 Plan d'utilisation des nomogrammes 43
22 Migration dans un sable grossier 44
23 Migration dans un sable limoneux 45
24 Migration dans un till argileux 46

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 6
2 Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes 15
3 Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A100W1 utilisé pour l'acide phosphorique 18
4 Véhicule-citerne de spécification TC312 utilisé pour l'acide phosphorique 19
5 Types d'emballage utilisés pour l'acide phosphorique 19
6 Compatibilité de l'acide phosphorique et de certains matériaux de fabrication . . 22

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
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
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
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
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible – courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
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
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	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
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
^{o}Bé	Degré Baumé
^{o}C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
₩	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

* Les abréviations suivies d'un astérique sont expliquées dans la section Définitions.

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 bio-concentration 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.)

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.

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.

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)
DOT	Department of Transportation (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)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Acide phosphorique (H_3PO_4)
Liquide épais ou solide, incolore ou ambré, inodore.

Synonymes
Acide orthophosphorique (syn. anglais: *phosphoric acid*)

Numéros d'identification
UN. 1805; CAS 7664-38-2; OHM-TADS 7216852; STCC 4930248

Qualités et titres
Technique: 75, 80, 85, 105, 115 p. 100 de H_3PO_4
Alimentaire: 75, 80, 85 p. 100 de H_3PO_4
Pur: 85, 90 p. 100 de H_3PO_4
Engrais: 72 p. 100 de H_3PO_4 (généralement vendu avec 33 à 115 p. 100 de H_3PO_4)

Dangers immédiats
Incendie. – L'acide phosphorique n'est pas combustible.
Effets sur l'homme. – L'acide phosphorique est peu toxique mais il est corrosif s'il y a contact ou ingestion.
Effets sur l'environnement. – L'acide phosphorique est nocif pour les organismes aquatiques parce qu'il abaisse le pH.

Données relatives aux propriétés physiques

	75 p. 100	80 p. 100	85 p. 100
État (15 °C, 1 atm):	liquide	liquide	solide
Point d'ébullition:	158 °C	147 °C	158 °C
Point de fusion:	-17,5 °C	4,6 °C	21 °C
Inflammabilité:	non combustible	non combustible	non combustible
Densité (25°/4 °C):	1,574	1,628	1,685
Miscibilité à l'eau:	miscible	miscible	miscible
Comportement dans l'eau:	coule au fond et se mélange avec un faible dégagement de chaleur		
Plage du seuil olfactif:	inodore	inodore	inodore

Dangers pour l'environnement
La toxicité de l'acide phosphorique est principalement reliée à l'accroissement de l'acidité (pH de 5 ou moins). Des teneurs en phosphates supérieures à 0,01 mg/l peuvent provoquer une croissance indésirable des algues.

Dangers pour l'homme
Teneur maximale admissible (TLV®) établie par l'ACGIH: 1 mg/m^3.
Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) non établie par le NIOSH.
Effets en cas d'inhalation (brouillard). – Irritation des muqueuses, toux.
Effets en cas de contact. – Le contact avec la peau cause de l'irritation et des brûlures; le contact avec les yeux cause de l'irritation, des conjonctivites et des brûlures.

Dispositions immédiates à prendre

- En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: «Produit corrosif». Avertir le fabricant. Arrêter l'écoulement et confiner le liquide déversé si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec le liquide. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

- En cas d'incendie

Le produit n'est pas combustible et la plupart des agents extincteurs sont compatibles. Refroidir avec de l'eau les récipients menacés par les flammes.

Mesures d'intervention d'urgence

- Acide phosphorique répandu sur le sol

Construire des barrages pour confiner la nappe ou la diriger vers des surfaces imperméables. Enlever le produit au moyen de pompes ou d'aspirateurs. Absorber le liquide qui reste à l'aide de sorbants. Neutraliser le sol pollué avec de la chaux ou du bicarbonate de sodium.

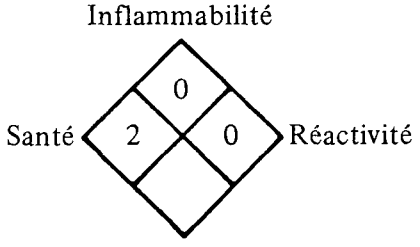
- Acide phosphorique déversé dans l'eau

Confiner l'eau polluée au moyen de barrages, de dispositifs de dérivation ou de barrières naturelles. Neutraliser l'eau polluée avec de la chaux.

Niveau de gravité du risque selon la NAS

Incendie	0
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	0
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	3
Intoxication	1
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	2
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2
Réactivité	
Autres produits chimiques	3
Eau	0
Réaction spontanée	0

Évaluation du risque selon la NFPA



Champ inférieur vide: utiliser l'eau comme moyen d'extinction

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

	100 p. 100	85 p. 100	80 p. 100	75 p. 100
Aspect	Liquide sirupeux ambré ou solide blanc ou ambré (Erco PD)			
État habituel à l'expédition	Pas sur le marché	Liquide	Liquide	Liquide
État d'agrégation (15 °C, 1 atm)	Solide	Solide	Liquide	Liquide
Variables d'état				
Point de congélation*	42,35 °C (Kirk-Othmer, 1982)	21,1 °C	4,6 °C (Erco PD)	-17,5 °C
Point d'ébullition	261 °C (Kirk-Othmer, 1982)	158 °C (Kirk-Othmer, 1982)	≅ 147 °C (Kirk-Othmer, 1982)	135 °C (Kirk-Othmer, 1982)
Pression de vapeur	0,004 kPa (20 °C) (Kirk-Othmer, 1982)	0,29 kPa (20 °C) (Kirk-Othmer, 1982)		0,75 kPa (20 °C) (Kirk-Othmer, 1982)
Masse volumique et densités				
Masse volumique (25 °C)	1,864 g/ml (Kirk-Othmer, 1982)	1,685 g/ml (Kirk-Othmer, 1982)		1,573 g/ml (Kirk-Othmer, 1982)
Densité relative (25°/4 °C)	1,850 (CRC, 1980)	1,685	1,628 (Erco PD)	1,574
Densité de la vapeur			3,4 (Ashland, MSDS, 1980)	
Propriétés relatives à la combustion				
Inflammabilité	Non combustible (NFPA, 1978)			
Température de décomposition	213 °C (début de la conversion en acide pyrophosphorique) (CRC, 1980; Kirk-Othmer, 1982)			
Produits de la décomposition	Acide → phosphorique (CCD, 1977; CCPA, 1983)	Acide → métaphosphorique	Oxydes de phosphore (PO_x)	
Comportement au feu	Le contact avec certains métaux produit de l'hydrogène qui peut former un mélange inflammable avec l'air (NFPA, 1978).			

* L'acide phosphorique et ses solutions forment facilement des solutions en surfusion, c'est-à-dire qu'ils ne cristallisent pas nécessairement à leur point de congélation normal et peuvent rester liquides pendant un certain temps à 10 à 20 °C sous leur point de congélation.

	100 p. 100	85 p. 100	80 p. 100	75 p. 100
Autres propriétés				
Masse moléculaire du corps pur	98,00 (CRC, 1980)			
Équivalent de P_2O_5 (en pourcentage)	72,43 (Kirk-Othmer, 1982)	61,47 (Kirk-Othmer, 1982)	58,0 (Kirk-Othmer, 1982)	54,32 (Kirk-Othmer, 1982)
Viscosité	140 mPa . s (20 °C) (Kirk-Othmer, 1982)	28 mPa . s (20 °C) (Kirk-Othmer, 1982)		15 mPa . s (20 °C) (Kirk-Othmer, 1982)
Hygroscopicité	Hygroscopique (NFPA, 1978)			
Chaleur latente de fusion	10,5 kJ/mol (au point de fusion) (CRC, 1980)			
Chaleur de formation	-1261,5 kJ/mol (25 °C) (JANAF, 1971)			
Chaleur de la solution	-11,8 kJ/mol (CHRIS, 1974)			
Capacité calorifique pression constante	106,2 J/ (mol . °C) (25 °C) (JANAF, 1971) ≃ 1,7 J/ (g . °C) (15 °C) (Ullmann, 1975)	≃ 1,9 J/ (g . °C) (15 °C)	≃ 2,0 J/ (g . °C) (15 °C)	≃ 2,2 J/ (g . °C) (15 °C)
pH de la solution aqueuse	1,5 (1,0 % de solution de H_3PO_4 à 20 °C) (Erco PD)			
Conductivité électrique		0,078 ohm^{-1} (US DHEW, 1970)		0,129 ohm^{-1} (US DHEW, 1970)
Miscibilité				
Eau	Miscible (Erco PD)			
Éthanol	Miscible (CRC, 1980)			
Dioxanne	Miscible (Linke, 1958)			

Propriétés chimiques (Kirk-Othmer, 1982; Bailar, 1973)

L'acide phosphorique est un acide inorganique produit en grande quantité. Dans la plupart des pays, y compris le Canada, sa production n'est dépassée, en volume, que par celle de l'acide sulfurique. L'acide phosphorique est un acide tribasique; il se dissocie dans l'eau selon la formule

suivante (les constantes de dissociation sont indiquées):

$$H_3PO_4 \underset{K_1 = 7{,}1 \times 10^{-3}}{\rightleftharpoons} H_2PO_4^- \underset{K_2 = 6{,}3 \times 10^{-8}}{\rightleftharpoons} HPO_4^{2-} \underset{K_3 = 4{,}4 \times 10^{-13}}{\rightleftharpoons} PO_4^{3-}$$

Dans des solutions aqueuses, toutes les espèces susmentionnées sont présentes dans des proportions correspondant aux constantes de dissociation.

Outre son comportement acide, l'acide phosphorique est relativement inerte à température ambiante et n'a pas le comportement fortement oxydant de bien d'autres acides. Il n'y a aucune réduction sensible de l'acide phosphorique à moins de 350 à 400 °C. À cette température et au-delà, il réagit avec la plupart des métaux et leurs oxydes. L'acide phosphorique est plus faible que les acides sulfurique, nitrique, chlorhydrique et chromique, mais plus fort que les acides acétique, oxalique, silicique et borique.

L'acide phosphorique pur (titrant 100 p. 100), qui n'est pas un produit commercial, est un solide cristallin (monoclinique) qui fond à 42,35 °C. Lorsque le produit anhydre est fondu, la réorganisation du produit a lieu dans la phase liquide comme suit:

$$2H_3PO_4 \rightleftharpoons \underset{\text{acide pyrophosphorique}}{H_4P_2O_7} + H_2O$$

Lorsqu'il est maintenu en fusion pendant un certain temps, le point de congélation tombe à une valeur d'équilibre de 34,6 °C, avec une teneur molaire de 6 p. 100 en acide pyrophosphorique.

Le mode de conservation de l'échantillon influe donc sur le point de fusion; cela explique les variations des valeurs des points de fusion et de congélation signalées dans la documentation. L'acide phosphorique pur (ainsi que certaines solutions) est facilement maintenu en surfusion et peut le demeurer longtemps à des températures de 10 à 20 °C sous son point de fusion. Il existe trois formes cristallines; cependant, la forme appelée H_3PO_4-I est la plus stable et la plus facile à former.

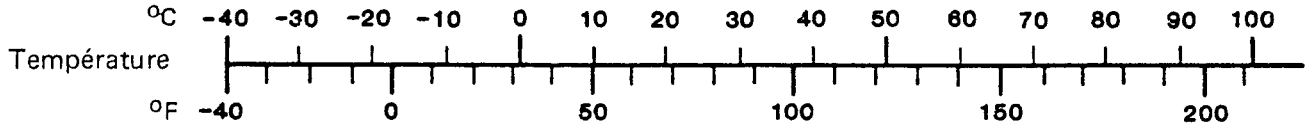
Du P_2O_5 excédentaire peut être ajouté aux formes aqueuses; des solutions de plus de 100 p. 100 (équivalant à 100 p. 100 de H_3PO_4) peuvent donc être réalisées. Elles sont souvent appelées acides superphosphoriques. Les acides forts (plus d'environ 90 p. 100 acide ou 67 p. 100 de P_2O_5) contiennent des acides polyphosphoriques. Seul le dimère, ou l'acide pyrophosphorique, est bien caractérisé et existe sous forme cristalline. Le tableau qui suit donne la composition à l'équilibre des acides forts.

Composition des acides en pourcentage

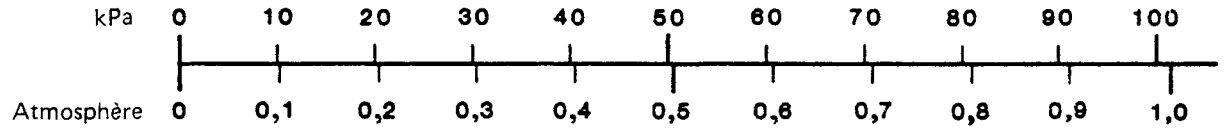
P_2O_5	H_3PO_4	1 (acide phosphorique)	2 (acide pyrophosphorique)	3	4	5
67	94	100	0	0	0	0
69	95	99,7	0,33	0	0	0
74	102	77,1	22,1	0,8	0	0
78	108	33,5	50,6	11,5	2,7	0,7
81	112	12,2	34,0	22,7	14,6	8,4
84	115	3,9	11,8	12,7	12,0	10,5

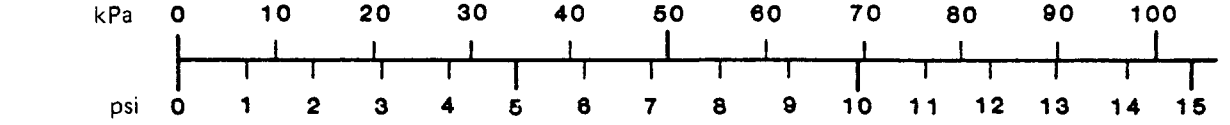
Tableau 1

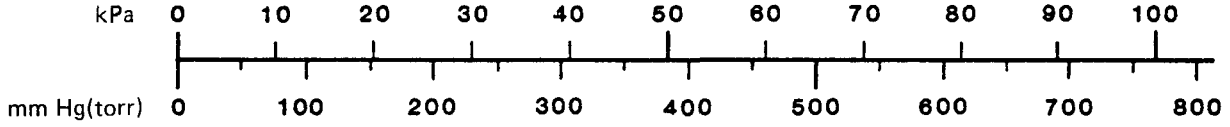
ACIDE PHOSPHORIQUE — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression 1 kPa = 1000 Pa







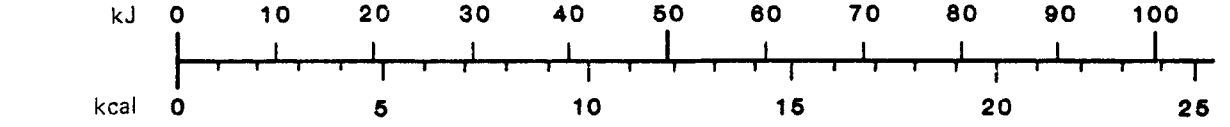
Viscosité

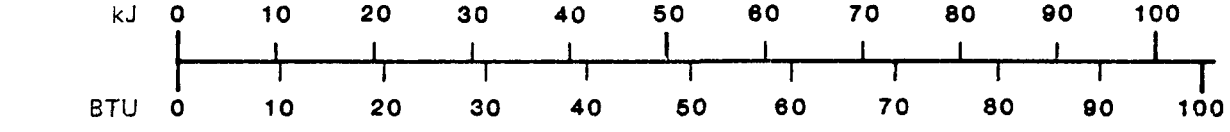
Dynamique 1 Pa·s = 1000 centipoises (cPo)

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

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1000 J





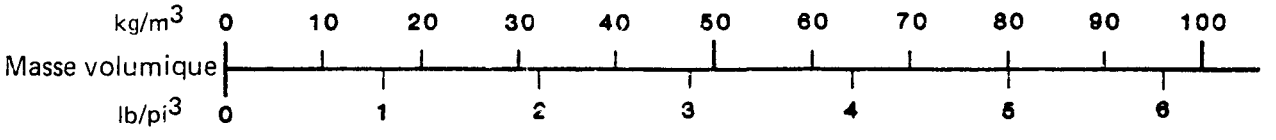


Figure 1

ACIDE PHOSPHORIQUE

DIAGRAMME DE PHASES DU SYSTÈME $H_2O . H_3PO_4$

Source: Kirk-Othmer, 1982

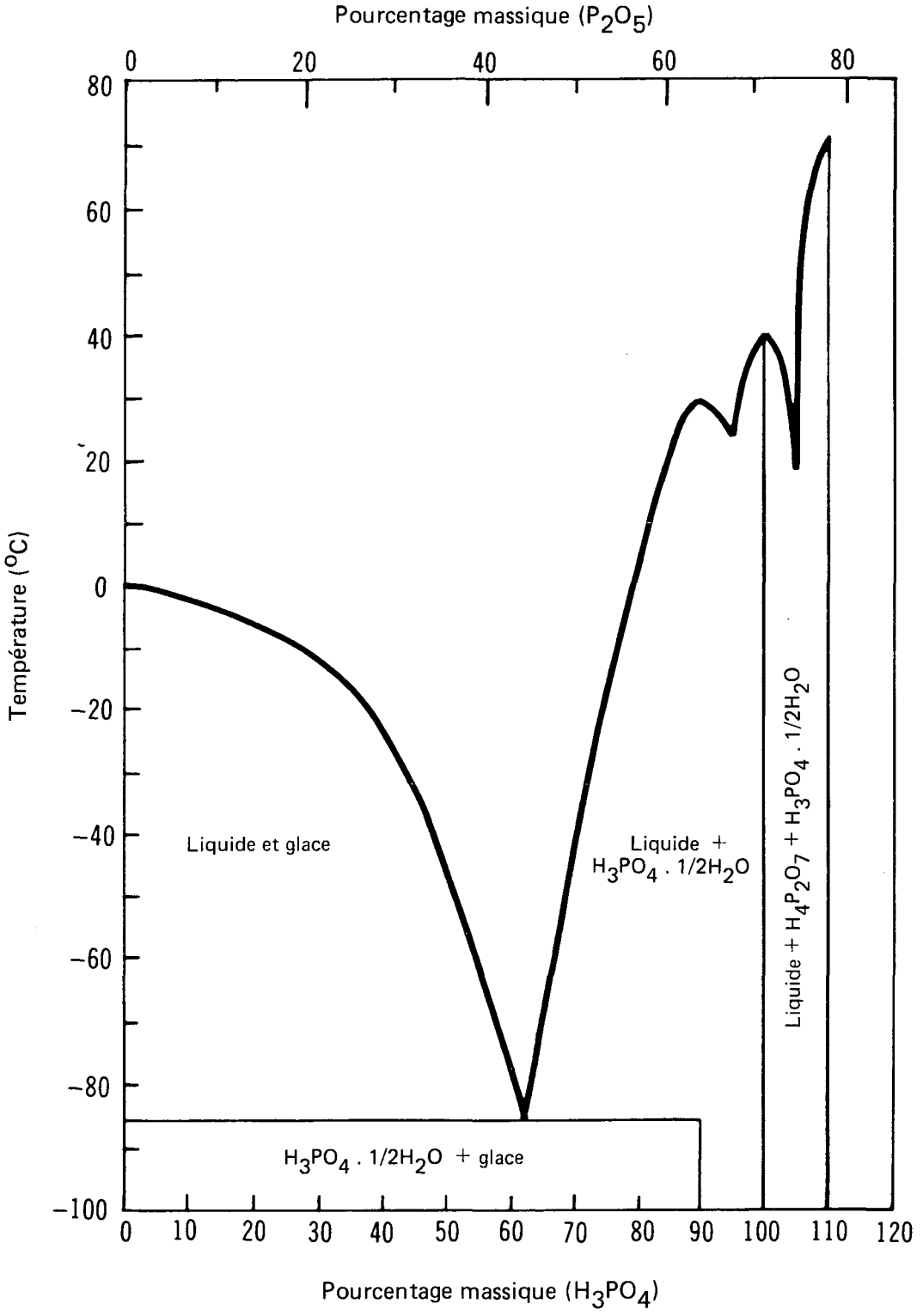


Figure 2

ACIDE PHOSPHORIQUE

MASSE VOLUMIQUE DES SOLUTIONS

Source: Kirk-Othmer, 1982

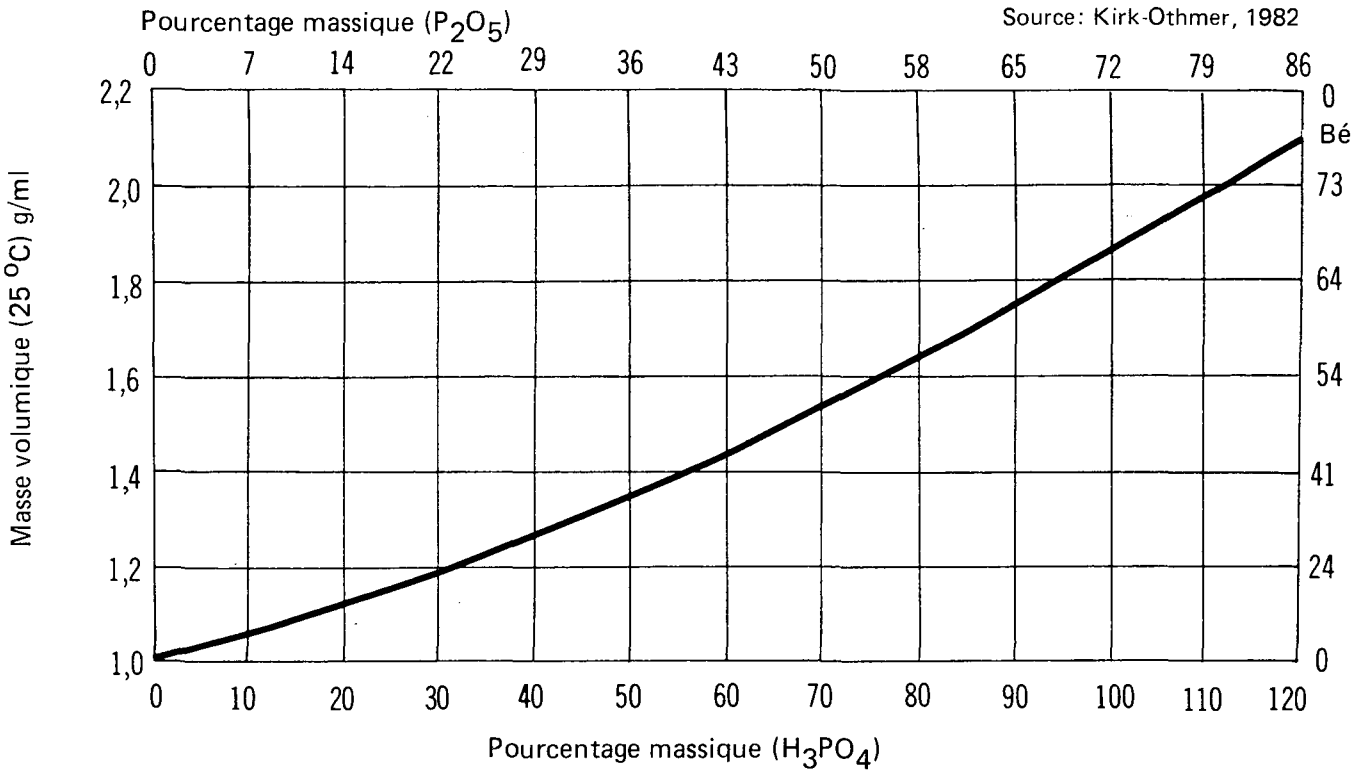


Figure 3

ACIDE PHOSPHORIQUE

POINT D'ÉBULLITION DES SOLUTIONS

Source: Kirk-Othmer, 1982

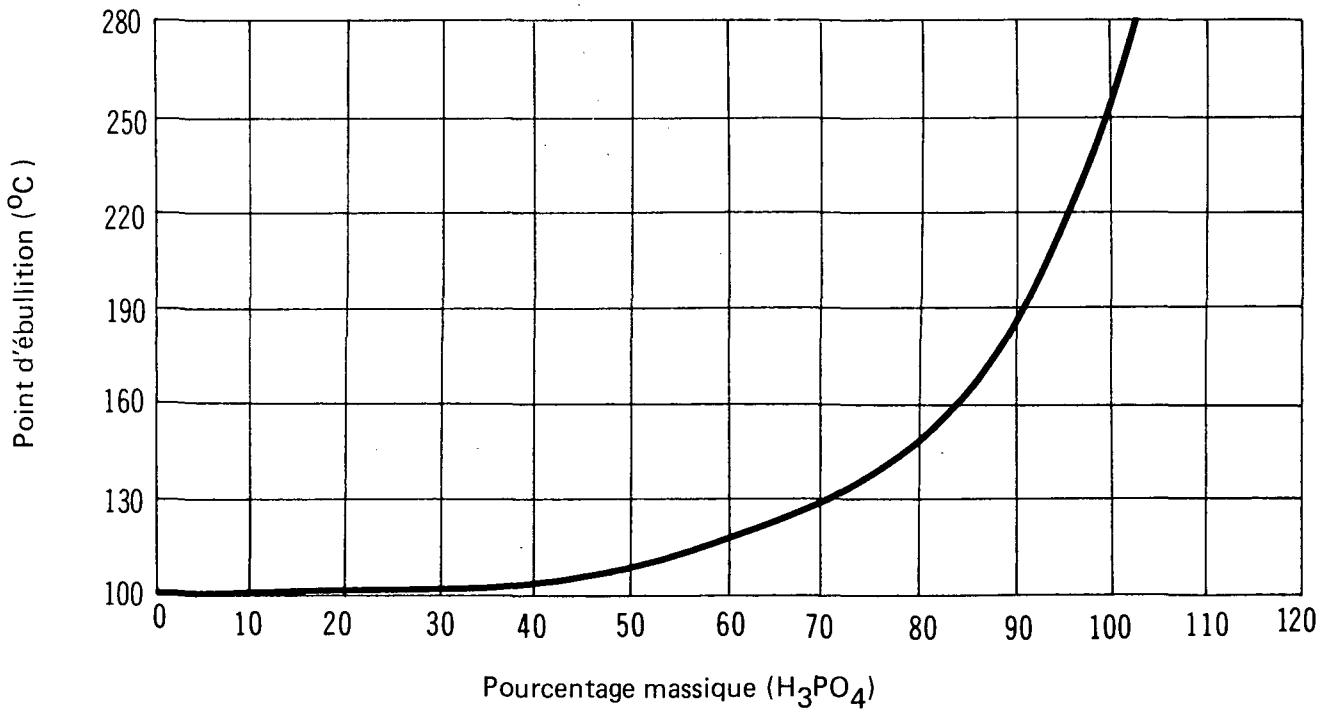


Figure 4

ACIDE PHOSPHORIQUE

PRESSION DE VAPEUR DES SOLUTIONS

Source: Kirk-Othmer, 1982

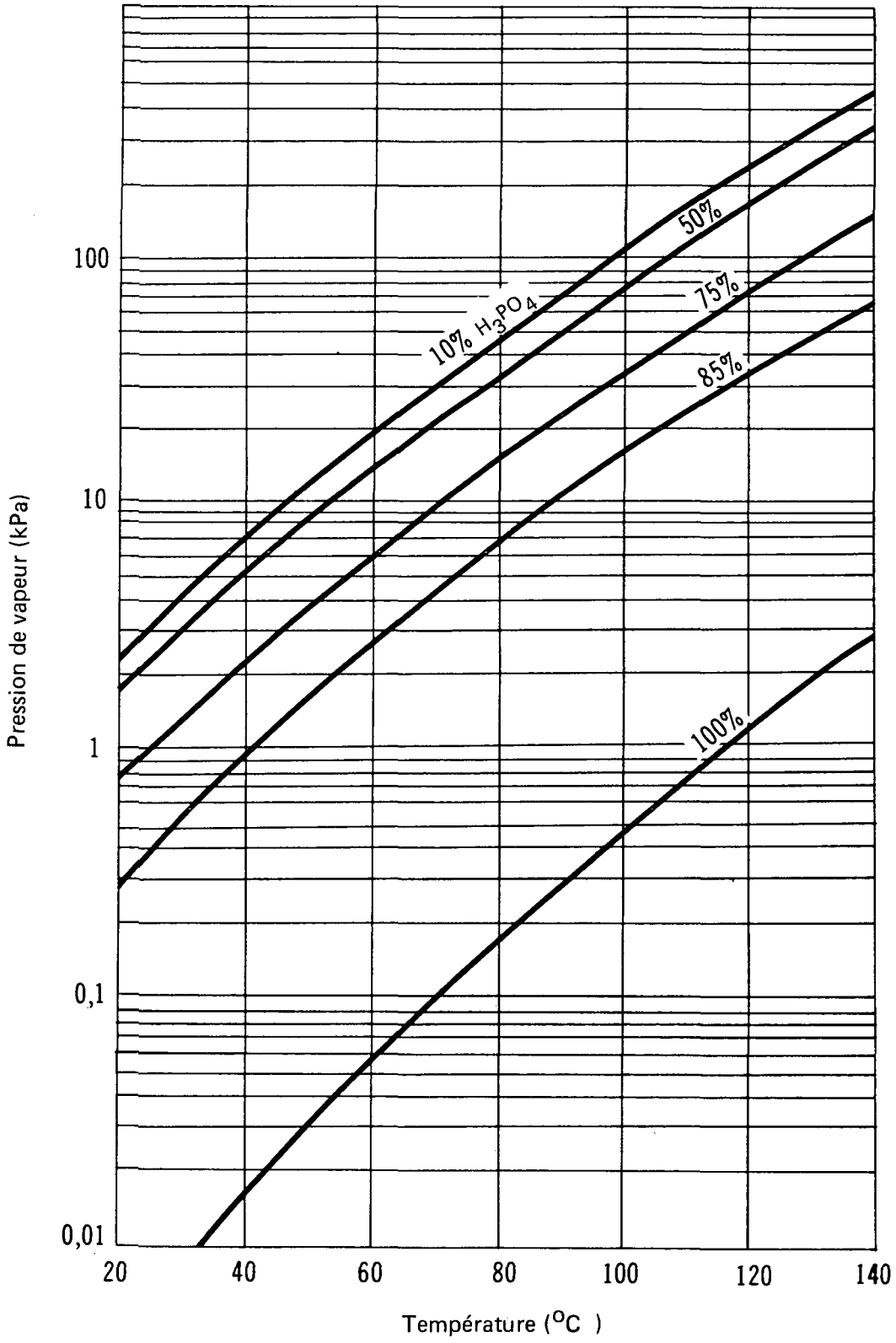


Figure 5

ACIDE PHOSPHORIQUE — **VISCOSITÉ DES SOLUTIONS**

Source: Kirk-Othmer, 1982

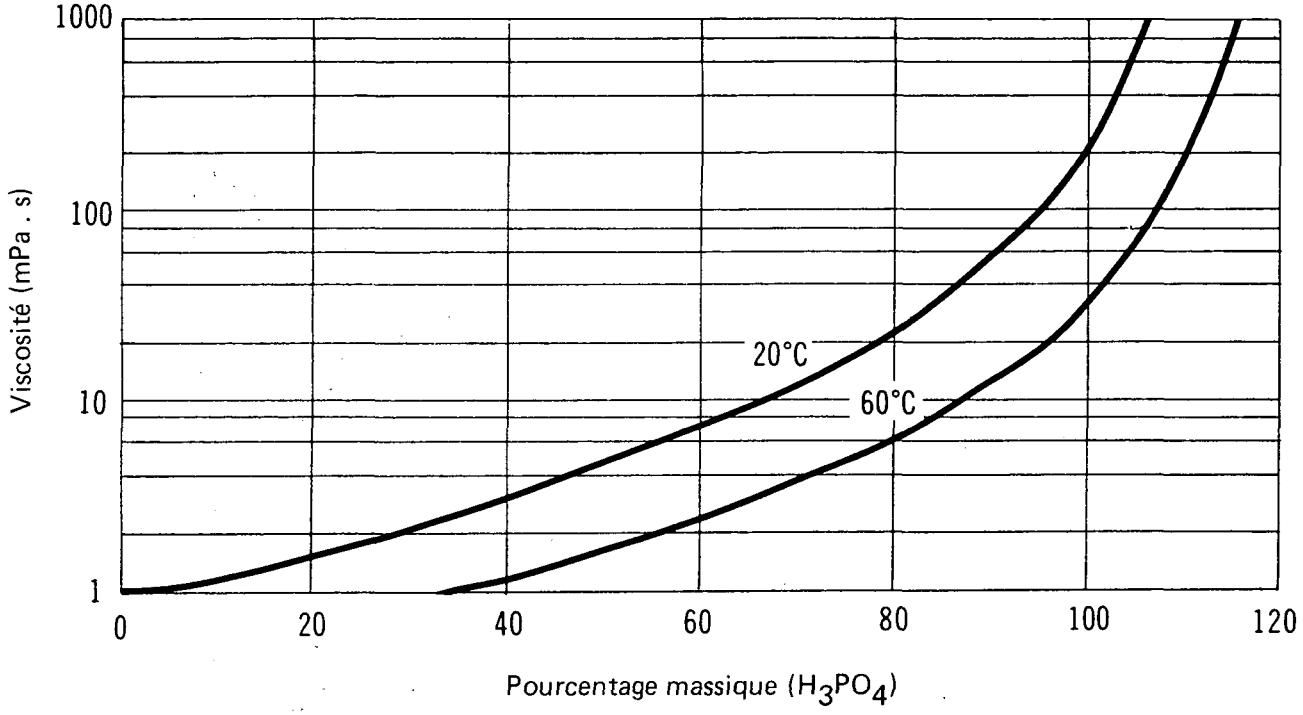
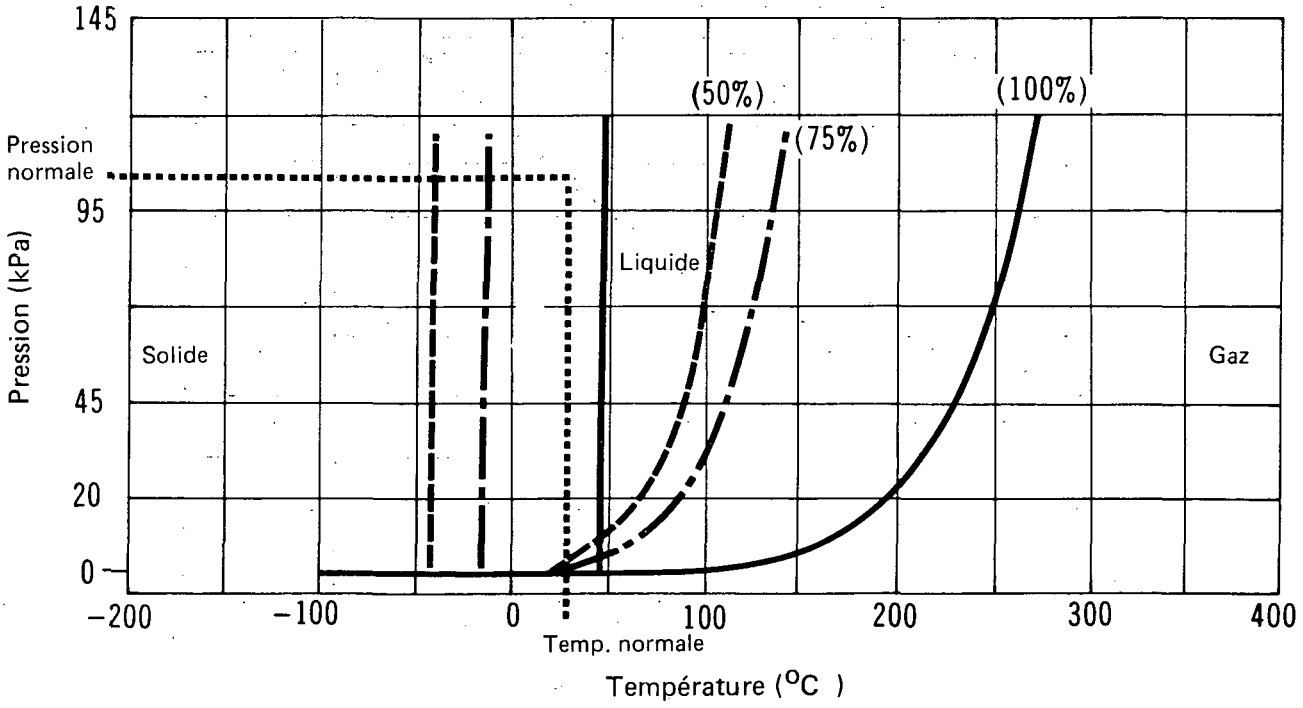


Figure 6

ACIDE PHOSPHORIQUE — **DIAGRAMME DE PHASES**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 **Qualités et titres** (Corpus, 1984; Erco POPA, 1981)

L'acide phosphorique qu'on trouve sur le marché titre entre 33 et 115 p. 100. Les titres les plus courants sont 75, 80 et 85 p. 100. Le tableau ci-dessous indique les qualités, titres et impuretés, de même que les récipients et citernes de transport correspondant aux différentes qualités.

	Titre			
Qualité	(% H_3PO_4)	(% P_2O_5)	Impuretés (mg/l)	Récipients
Technique	75	54,4	Arsenic: 40 à 80	Camion-citerne
	80	58,0		Wagon-citerne
	85	61,6		Cubitainer
	105	76,1		Fût en acier
	115			Fût en acier
Alimentaire	75	54,4	Chlorure: 3	Camion-citerne
	80	58,0	Arsenic: 3	Wagon-citerne
	85	61,6	Métaux lourds:	Fût en acier
			< 10 (As, Pb)	Cubitainer
			Fer: 3	
			Oxydants: < 5	
Pur	85	61,6	Chlorure: 2	Cubitainer
	90	65,3	Arsenic: 0,1	
			Métaux lourds:	
			< 10 (As, Pb)	
			Fer: 3	
			Oxydants: < 5	
Engrais	71,8	52		Camion-citerne
				Wagon-citerne

3.2 **Fabricants situés au Canada** (Corpus, 1984; CBG, 1980; Scott, 1979; CCPA, 1981)

Les adresses indiquées ci-dessous sont celles des sièges sociaux; elles ne sont pas destinées à servir de premier recours en cas d'accident.

Belledune Fertilizer (Division of Canada Wire & Cable Ltd.), 147 Laird Drive, Toronto, Ontario, M4G 3W1, (416) 421-0440.

C-I-L Inc., 90 Sheppard Avenue East, Willowdale, Ontario, M2N 6H2, (416) 226-6110.

Cominco Ltd., 200 Granville Street, Vancouver, Colombie-Britannique, V6C 2R2, (604) 282-0611.

Erco Industries Ltd., 2 Gibbs Road, Islington, Ontario, M9B 1R1, (416) 239-7111.

Esso Chemical Canada, 2300 Yonge Street, Toronto, Ontario, M5W 1K3, (416) 488-6600.

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

Sherritt Gordon Mines, Box 28, Commerce Court West, Toronto, Ontario, M5L 1B1, (416) 363-9241.

Western Co-operative Fertilizers, 11111 Barlow Trail S.E., P.O. Box 2500, Calgary, Alberta, T2P 2X1, (403) 279-4421.

3.3 **Autres fournisseurs** (Corpus, 1984; CBG, 1980; Scott, 1979)

A & K Petro-Chem Industries Ltd., 710 Arrow Road, Weston, Ontario, M9M 2M1, (416) 746-2991.
Allied Chemical Canada, 237, boul. Hymus, Pointe-Claire, Québec, H9R 1G3, (514) 697-9210.
Anachemia Ltd., C.P. 147, Lachine, Québec, H8S 4A7, (514) 489-5711.
Arliss Chemical Co. Inc., 325, Boul. Hymus, Pointe-Claire, Québec, H9R 1G8, (514) 694-2170.
Bate Chemical Co. Ltd., 160 Lesmill Road, Don Mills, Ontario, M3B 2T7, (416) 445-7050.
Benson Chemicals Ltd., P.O. Box 10, Freelton, Ontario, L0R 1K0, (416) 659-3351.
Canada Colors and Chemicals Ltd., 80 Scarsdale Road, Don Mills, Ontario, M3B 2R7, (416) 924-6831.
Canadian Hanson Ltd., 45 Vansco Road, Toronto, Ontario, M8Z 5J7, (416) 255-1371.
Canadian Occidental Petroleum, Industrial Chemical Division, 100 Amherst Avenue, North Vancouver, Colombie-Britannique, V7H 1S4, (604) 929-3441.
Cromac Chemical Co. Ltd., 289 Bridgeland Avenue, Toronto, Ontario, M6A 1Z8, (416) 789-7201.
Cyanamid Canada Inc., 2255 Sheppard Avenue East, Willowdale, Ontario, M2J 4Y5, (416) 498-9405.
Harrisons & Crosfield (Canada) Ltd., 4 Banigan Drive, Toronto, Ontario, M4H 1G1, (416) 425-6500.
Kingsley & Keith (Canada) Ltd., 310, av. Victoria, Montréal, Québec, H3Z 2M8, (514) 487-1550.
Mallinckrodt Canada Inc., 600, av. Delmar, Pointe-Claire, Québec, H9W 1E6, (514) 695-1220.
Monsanto Canada Ltd., 2000 Argentina Road, Plaza 2, 3rd Floor, Mississauga, Ontario, L5M 2G4, (416) 826-9222.
Quadra Chemicals Ltd., 7575, route Trans-Canadienne, Saint-Laurent, Québec, H4T 1V6, (514) 337-2454.
Recochem Inc., 850, Montée de Liesse, Montréal, Québec, H4T 1P4, (514) 341-3550.
Shefford Chemicals Ltd., 1028, rue Principale, Granby, Québec, J2G 8C8, (514) 378-0125.
Simplot Chemical Co. Ltd., P.O. Box 940, Brandon, Manitoba, R7A 6A1, (204) 728-5701.
Uba Chemical Industries Ltd., 2605 Royal Windsor Drive, Mississauga, Ontario, L5J 1K9, (416) 823-6460.
Van Waters and Rogers Ltd., 9800 Van Horne Way, Richmond, Colombie-Britannique, V6X 1W5, (604) 273-1441.

3.4 **Centres de production et transport**

La production d'acide phosphorique au Canada est concentrée principalement en Alberta, à Redwater, Calgary, Medicine Hat et Fort Saskatchewan. D'autres installations de production se trouvent à Portland, Courtright et Port Maitland en Ontario, ainsi qu'en Colombie-Britannique, au Nouveau-Brunswick et au Québec. Une grande partie de l'acide phosphorique est utilisée près de l'usine de production pour faire des engrais et une petite partie est distribuée dans tout le pays.

3.5 **Volume de production** (Corpus, 1984)

Capacité nominale comparée au total des approvisionnements

Société, emplacement de l'usine	Capacité nominale, kilotonnes/an (1982)
Belledune, Belledune, N.-B.	136
C-I-L, Courtright, Ont.	85
Cominco, Kimberly, C.-B.	86
Cominco, Trail, C.-B.	76
Erco Industries, Port Maitland, Ont.	70
Erco Industries, Buckingham, Qc	20
Esso Chemical Canada, Redwater, Alb.	290
International Minerals and Chemical Canada, Port Maitland, Ont.	118
Sherritt Gordon Mines, Ft. Saskatchewan, Alb.	60

Société, emplacement de l'usine	Capacité nominale, kilotonnes/an (1982)
Western Cooperative Fertilizers, Calgary, Alb.	142
Western Cooperative Fertilizers, Medicine Hat, Alb.	67
Total	1150
Production canadienne (1982)	635
Importations (1982)	14,6
Total des approvisionnements	649,6

3.6 Fabrication industrielle

3.6.1 Information générale (Kirk-Othmer, 1982; US DHEW, 1970; Corpus, 1984). – Les procédés par voie humide et thermique sont tous deux utilisés au Canada pour la fabrication de l'acide phosphorique, le premier représentant 94 p. 100 de la production en 1983. Dans le procédé par voie humide, l'acide phosphorique est produit par la réaction de phosphate naturel avec de l'acide sulfurique titrant 93 p. 100. Dans le procédé thermique, le phosphore élémentaire blanc (jaune) est oxydé pour produire du P_2O_5 qui est hydrolysé en acide.

3.6.2 Procédés de fabrication

3.6.2.1 Procédé par voie humide. – Le phosphate naturel est broyé (généralement dans un broyeur à boulets) à environ 200 *mesh,* mélangé avec de l'acide phosphorique (recyclé) dilué (prémélange), et versé dans un digesteur agité. De l'acide sulfurique est ensuite versé dans le digesteur et il réagit avec le phosphate pour former de l'acide phosphorique:

$$CaF_2 \cdot 3Ca_3(PO_4) + 10H_2SO_4 + 20H_2O \rightarrow \underset{\text{(gypse)}}{10CaSO_4 \cdot 2H_2O} + 2HF + 6H_3PO_4$$

Le prémélange avec de l'acide phosphorique est nécessaire pour prévenir la formation de sulfates insolubles à la surface des particules. Le mélange réactionnel doit également être maintenu à des températures suffisamment basses pour former du gypse et non de l'anhydride ($CaSO_4$) qui s'hydrate et cause l'obturation des canalisations. Une certaine quantité de silice et de fluor peut réagir pour produire du Na_2SiF_6 qui précipite également.

La bouillie de gypse et d'acide est filtrée et lavée pour séparer l'acide phosphorique du gypse. À cette étape de la fabrication, l'acide contient environ 30 p. 100 de P_2O_5; il peut être concentré davantage ou utilisé tel quel. L'acide dilué par les eaux de lavage est recyclé à l'étape du prémélange. On épure les gaz d'échappement par des alcalis pour en éliminer le fluorure d'hydrogène avant de les évacuer dans l'atmosphère.

3.6.2.2 Procédé thermique. – Le phosphore blanc (jaune) est brûlé dans l'air pour former du pentoxyde. Le pentoxyde de phosphore est hydraté en acide d'après les réactions suivantes:

$$P_4 + 5O_2 \rightarrow 2P_2O_5$$
$$P_2O_5 + 3H_2O \rightarrow 2H_3PO_4$$

La combustion du phosphore est effectuée dans un réacteur à parois humides où le P_2O_5 formé réagit avec l'eau directement ou dans une chambre de combustion refroidie à l'air, après quoi le pentoxyde est acheminé dans un hydrateur séparé.

3.7 **Principales utilisations au Canada** (Corpus, 1984)

L'acide phosphorique est utilisé dans la production de phosphate d'ammonium, de superphosphate triple, de phosphate bicalcique, d'engrais liquides, de phosphates de sodium, de phosphates de calcium, de divers autres phosphates, dans la finition des métaux, dans les aliments et dans les boissons. En 1982, 80 p. 100 de la production canadienne étaient utilisés pour la production de phosphate d'ammonium, 9 p. 100 pour la production de phosphate bicalcique, 4 p. 100 pour la production de phosphate de sodium et 2 p. 100 étaient exportés.

3.8 **Principaux acheteurs au Canada** (Corpus, 1984)

Admiral Sanitation, Toronto, Ont.
Alpine Fertilizer, Kitchener, Ont.
Amchem Products, Windsor, Ont.
Armalite, Toronto, Ont.
Coca-Cola, Toronto, Ont.
Cyanamid Canada, Niagara Falls, Ont.
Diversey Wyandotte, Mississauga, Ont.
DuBois Chemicals, Toronto, Ont.
Economics Laboratory, Toronto, Ont.
Kert Chemical, Toronto, Ont.
Na-Churs Plant Food, London, Ont.
Oakite Products, Bramalea, Ont.
Pennwalt of Canada, Oakville, Ont.
Pepsi-Cola Canada, Toronto, Ont.
Simplot Chemical, Brandon, Man.
Van Camp Products, Toronto, Ont.
WW Wells, Toronto, Ont.
West Chemical, Montréal, Qc

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. – Les solutions d'acide phosphorique sont transportées en vrac dans des wagons-citernes et des véhicules-citernes. Les acides les plus couramment transportés titrent 75, 80 et 85 p. 100.

4.1.1.1 Wagons-citernes. – Les wagons-citernes utilisés pour le transport de l'acide phosphorique figurent au tableau 2 (RTDCR, 1974; TCM, 1979). Les wagons-citernes sont en acier inox ou en acier au carbone doublé. La figure 7 décrit un wagon-citerne de catégorie 111A100W1 utilisé pour le transport de l'acide phosphorique. Le tableau 3 donne en détail les caractéristiques d'un wagon-citerne de cette spécification. Les wagons-citernes contenant de l'acide phosphorique ne sont jamais dépotés par les orifices de déchargement du bas. Ils sont vidés par le haut à l'aide d'une pompe ou avec de l'air comprimé (MCA, 1958). Le liquide est déchargé par un tube plongeur qui va du bas de la citerne à la plate-forme de dôme, où il se termine par un robinet de déchargement de 51 mm (2 po). Une pression d'air maximale de 207 kPa (30 lb/po^2) est appliquée par un robinet d'alimentation en air comprimé de 25 mm (1 po). Des serpentins extérieurs de chauffage et une isolation en fibre de verre sont nécessaires pour certains titres qui se solidifient aux températures hivernales courantes (MCA, 1958).

Tableau 2
Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes

Numéro	Description
103BW	Enveloppe en acier soudé par fusion. Dôme. Citerne isolée ou non. Revêtement intérieur de caoutchouc. Capacité minimale d'expansion dans le dôme: 1 % . Pression d'éclatement de l'évent de sécurité: 414 kPa (60 lb/po^2). Dispositif de déchargement par le haut nécessaire. Orifices de déchargement ou de purge par le bas interdits. Pression d'épreuve: 414 kPa (60 lb/po^2).
103EW	Enveloppe en alliage d'acier (inox) soudé par fusion. Dôme. Citerne isolée ou non. Capacité minimale d'expansion dans le dôme: 1 % . Orifice de déchargement par le bas interdit, orifice de purge par le bas facultatif. Dispositif de déchargement par le haut nécessaire. Soupape de sécurité (242 kPa) (35 lb/po^2) ou évent de sécurité (414 kPa) (60 lb/po^2).
111A60W2	Enveloppe en acier soudé par fusion. Sans dôme. Citerne isolée ou non. Revêtement intérieur. Creux minimal de 2 % . Indicateur de niveau. Dispositif de déchargement par le haut nécessaire. Orifice de déchargement par le bas interdit, orifice de purge par le bas optionnel. Soupape de sécurité (242 kPa) (35 lb/po^2) ou évent de sécurité (414 kPa) (60 lb/po^2). Pression d'épreuve: 414 kPa (60 lb/po^2).

Numéro	Description
111A60W1	Enveloppe en acier soudé par fusion. Sans dôme. Citerne isolée ou non. Creux minimal de 2 % . Revêtement intérieur de caoutchouc pour l'acide phosphorique. Indicateur de niveau. Soupape de sécurité (242 kPa) (35 lb/po^2) ou évent de sécurité (414 kPa) (60 lb/po^2). Orifice de déchargement par le bas interdit, orifice de purge par le bas facultatif. Pression d'épreuve: 414 kPa (60 lb/po^2).
111A60W5	Enveloppe en acier soudé par fusion. Dôme. Citerne isolée ou non. Revêtement intérieur de caoutchouc. Creux minimal de 2 % . Indicateur de niveau. Pression d'éclatement de l'évent de sécurité: 414 kPa (60 lb/po^2). Dispositif de chargement par le haut nécessaire. Orifices de déchargement ou de purge par le bas interdits. Pression d'épreuve: 414 kPa (60 lb/po^2).
111A100W1	Enveloppe en acier soudé par fusion. Sans dôme. Revêtement intérieur de caoutchouc pour l'acide phosphorique. Citerne isolée ou non. Creux minimal de 2 % . Soupape de sécurité. Orifices de déchargement par le bas ou de purge par le bas facultatifs mais non utilisés pour l'acide phosphorique. Soupape de sécurité: 517 kPa (75 lb/po^2) ou évent de sécurité: 690 kPa (100 lb/po^2). Pression d'épreuve: 690 kPa (100 lb/po^2).

4.1.1.2 Véhicules-citernes. – Comme les wagons-citernes, les véhicules-citernes sont déchargés par le haut, le tube plongeur étant généralement placé à l'arrière de la citerne. L'air comprimé peut être utilisé pour le déchargement; cependant, il est préférable de décharger la citerne par pompage (MCA, 1958). L'entrée d'air consiste généralement en un raccord fileté d'un diamètre de 25 mm (1 po) situé dans la partie supérieure de la citerne et par lequel est appliquée une pression d'air maximale de 207 kPa (30 lb/po^2). Les citernes peuvent être isolées et chauffées selon le point de gel correspondant au titre de l'acide transporté.

Les véhicules-citernes doivent se conformer à la spécification TC312 de Transports Canada régissant les véhicules de types TC310, TC311 et TC312, comme l'indique le tableau 4 (TDGC, 1980). Les véhicules de types TC303, TC304, TC306 et TC307 sont également acceptés (CCPA, 1983). Les solutions d'acide phosphorique ne sont pas transportées dans des citernes sous pression. Les citernes doivent être éprouvées sous une pression minimale de 311 kPa (45 lb/po^2) pour une pression d'air comprimé de 207 kPa (30 lb/po^2) utilisée au cours du déchargement par le haut (MCA, 1958). La pression maximale permise au cours du chargement ou du déchargement de la citerne est de 207 kPa (30 lb/po^2).

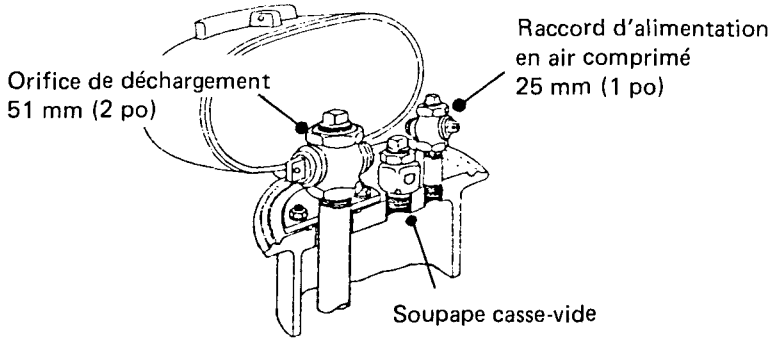
4.1.2 Transport en fûts. – L'acide phosphorique est également transporté dans des fûts. De nombreux matériaux sont autorisés pour la fabrication des fûts. On trouvera au tableau 5 la description des divers types de fûts utilisés (RTDCR, 1974).

Figure 7

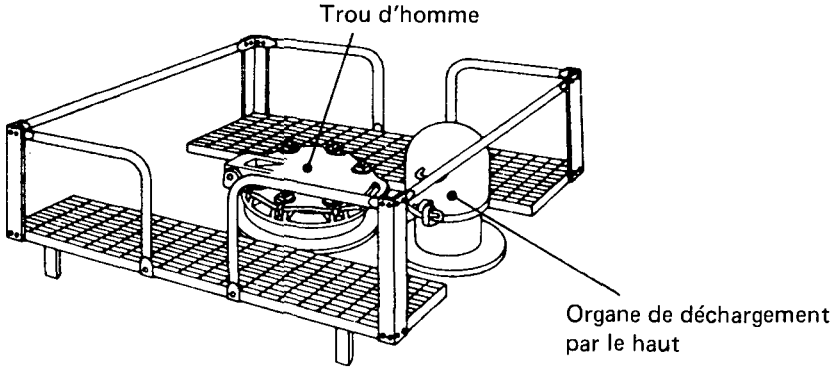
ACIDE PHOSPHORIQUE

WAGON-CITERNE DE SPÉCIFICATION 111A100W1

Sources: TCM, 1979; RTDCR, 1974



Détail des organes de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme supérieure

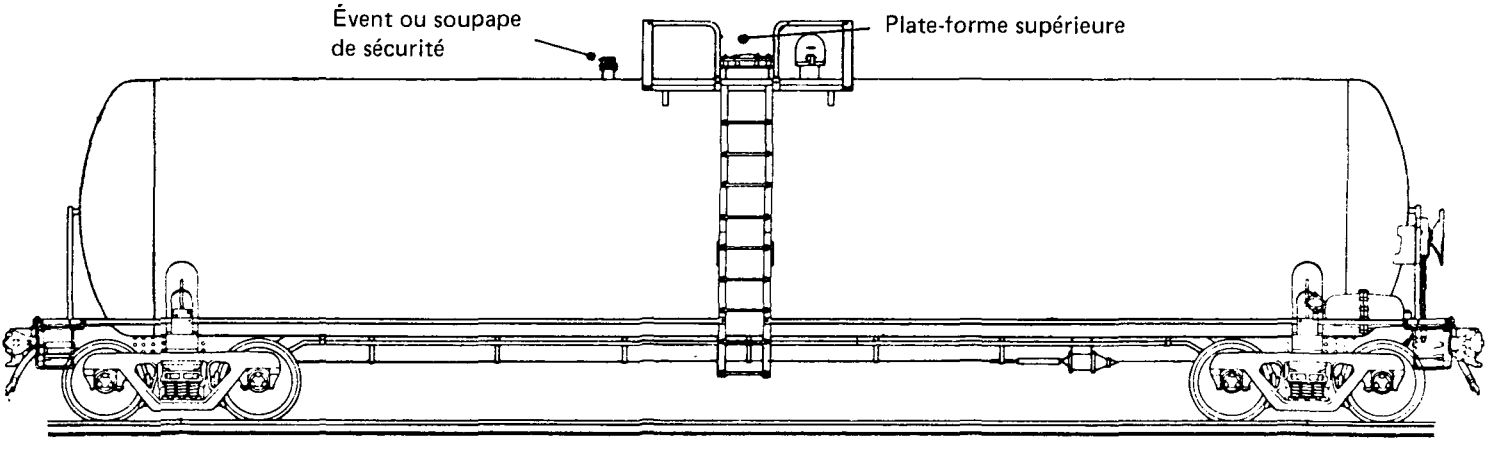


Tableau 3
Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A100W1 utilisé pour l'acide phosphorique
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Capacité nominale de la citerne (gal imp.)		
	14 000	16 700	25 000
Structure			
Capacité nominale	64 400 l (14 000 gal)	75 700 l (16 700 gal)	114 000 l (25 000 gal)
Tare (poids à vide)	28 600 kg (63 000 lb)	39 500 kg (65 000 lb)	31 800 kg (70 000 lb)
Masse brute maximale	119 000 kg (263 000 lb)	119 000 kg (263 000 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)
Revêtement intérieur de caoutchouc	4,8 mm (3/16 po)	4,8 mm (3/16 po)	4,8 mm (3/16 po)
Diamètre intérieur	2,60 m (102 po)	2,74 m (108 po)	2,84 m (112 po)
Pression d'épreuve	689 kPa (100 psi)	689 kPa (100 psi)	689 kPa (100 psi)
Pression d'éclatement	3450 kPa (500 psi)	3450 kPa (500 psi)	3450 kPa (500 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	14 m (46 pi)	16 m (51 pi)	20 m (66 pi)
Longueur avec pylônes de choc	13 m (43 pi)	15 m (48 pi)	19 m (63 pi)
Longueur entre pivots de bogie	10 m (32 pi)	12 m (38 pi)	16 m (52 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	4 m (14 pi)	4 m (15 pi)	4 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	2,4 m (8 pi)	2,4 m (8 pi)	2,4 m (8 pi)
Largeur du caillebotis	1,8 m (6 pi)	1,8 m (6 pi)	1,8 m (6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Orifice de remplissage/ trou d'homme	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	Non utilisé	Non utilisé	Non utilisé
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité: évent réglé à 690 kPa (100 psi), soupape réglée à 517 kPa (75 psi)		
Dôme	Aucun		
Isolation	Facultative		

Tableau 4
Véhicule-citerne de spécification TC312 utilisé pour l'acide phosphorique

Numéro	Description
TC312*	Enveloppe en acier soudé bout à bout. Conçue et construite conformément au code ASME lorsque le déchargement se fait sous une pression supérieure à 103 kPa (15 lb/po^2). Indicateur de niveau non requis. Organe de déchargement par le haut ou par le bas. Au moins une soupape casse-vide par compartiment, code ASME. Un trou d'homme d'un diamètre minimal de 380 mm (15 po) par compartiment. Orifice de purge par le bas facultatif.

* TC: Transports Canada.

Tableau 5
Types d'emballage utilisés pour l'acide phosphorique

Spécifications CCT/DOT	Description
1A, 1B, 1C, 1D	Bonbonnes en verre dans des caisses; barillets ou fûts en contre-plaqué.
15A, 15B, 15C, 16A, 19A	Récipients intérieurs en verre ou en polyéthylène emballés dans des caisses en bois.
5D	Fût métallique doublé de caoutchouc.
12A, 12B	Récipients intérieurs en polyéthylène emballés dans des caisses en carton.
22C avec récipients intérieurs en polyéthylène 2T	Récipients intérieurs en polyéthylène emballés dans des caisses en contre-plaqué ou en bois.
37P	Fût en acier avec revêtement-doublure de polyéthylène.

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes. – Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre les précautions suivantes (MCA, 1958):

- Vérifier que le réservoir de stockage mis à l'air libre peut recevoir tout le contenu du wagon-citerne;
- Les employés ne doivent en aucun cas pénétrer dans le wagon;
- Les freins doivent être serrés et les roues, calées; des dérailleurs doivent être en place et les écriteaux d'avertissement, affichés;
- Un poste de service offrant toutes les conditions de sécurité doit exister au quai de déchargement;
- Vérifier la mise à la terre du wagon-citerne.

Le déchargement doit se faire comme suit (MCA, 1958):

- En hiver, dans le cas de certains titres (80 et 85 p. 100), brancher les robinets des serpentins de chauffage à la conduite d'eau chaude. Les évents du wagon doivent être ouverts avant de chauffer;

- Brancher la conduite-produit de déchargement de 51 mm (2 po) à l'organe de déchargement et brancher le tuyau à air comprimé de 25 mm (1 po). La pression de l'air doit être réduite à 207 kPa (30 lb/po^2) pendant le déchargement. Une soupape de sécurité réglée à 242 kPa (35 lb/po^2) doit être installée sur le tuyau à air comprimé;
- Après l'ouverture du robinet d'alimentation en air comprimé, le robinet de déchargement du produit peut ensuite être ouvert pour procéder au transfert;
- Une fois le wagon vide, le robinet d'alimentation en air comprimé doit être fermé et l'évent situé sur le tuyau à air comprimé, ouvert pour abaisser la pression dans le tuyau à la pression atmosphérique;
- Pour fermer la citerne, suivre les étapes susmentionnées, mais dans l'ordre inverse.

4.2.2 Équipement et opérations de déchargement des véhicules-citernes. – Les procédés de déchargement des véhicules-citernes sont semblables à ceux qu'on emploie pour le déchargement des wagons-citernes.

4.2.3 Spécifications et matériaux de fabrication des organes de déchargement. – Les matériaux de fabrication des divers éléments des organes de déchargement présentés ci-dessous, de même que les spécifications connexes, prévalent généralement pour le transport de l'acide phosphorique. Dans certains cas, d'autres matériaux peuvent être utilisés comme l'indique le tableau 6. Les composants d'un système de déchargement type mentionnés plus loin comprennent les conduites, les raccords flexibles, les robinets, les joints d'étanchéité, les pompes et les réservoirs de stockage.

Les conduites en acier au carbone sans soudure ASTM A106 n° 40, doublées de caoutchouc, ou en acier inoxydable 316 n° 40 sont recommandées (MCA, 1958). Il faut utiliser des joints à brides soudées de préférence aux conduites et aux raccords filetés qui ont tendance à fuir. Les conduites doivent être testées avec de l'air à des pressions variant de 345 à 518 kPa (50-75 lb/po^2) et toutes les fuites doivent être colmatées. La conduite de déchargement doit avoir un diamètre de 51 mm (2 po) puisque c'est la taille standard des raccords sur les wagons-citernes, mais les conduites du poste de déchargement peuvent être de n'importe quel diamètre. On déconseille toutefois l'utilisation d'une conduite dont le diamètre serait inférieur à 25 mm (1 po). L'autodrainage est indispensable pour les conduites extérieures qui doivent être isolées ou non, selon le titre de l'acide. Ces conduites doivent être réchauffées à l'électricité ou à la vapeur par un tuyau de cuivre ou d'acier de 9 ou 13 mm (3/8 ou 1/2 po) à l'intérieur de l'isolant ou par une chemise d'eau chaude (MCA, 1958; CCPA, 1983).

Des conduites et des joints tournants en acier inoxydable peuvent être utilisés pour les parties souples des organes de déchargement pour l'acide phosphorique. Le joint tournant à roulement à billes ou le joint tournant à presse-étoupe donneront tous deux, avec un bon entretien, un rendement adéquat. On peut également utiliser un boyau flexible résistant à l'acide.

Des soupapes à boulet à action rapide en alliage «20» sont adéquates pour toutes les utilisations de l'acide phosphorique (JSSV, 1979).

Des joints d'étanchéité en caoutchouc de néoprène peuvent être utilisés pour toutes les teneurs d'acide phosphorique à des températures normales (GPP).

Une pompe centrifuge à admission unilatérale avec un arbre et un rotor en alliage «20» et une enveloppe de fonte à forte teneur en silicium est recommandée.

Des citernes en acier soudé avec revêtement-doublure de caoutchouc ou des citernes à paroi en acier inoxydable sont généralement utilisées. De l'acier doublé de plastique renforcé ou de PVC peut être utilisé pour des solutions d'acide phosphorique titrant jusqu'à 85 p. 100 (MCA, 1958).

La Tennessee Valley Authority a décrit son expérience avec les citernes de stockage (Barber, 1974). Il existe des citernes de 12 000 000 l (2 600 000 gallons); cependant, les citernes habituelles font généralement partie de la catégorie des 75 000 l (16 700 gal) à 4 000 000 l (830 000 gal). L'acier inoxydable 316 a été reconnu comme le meilleur matériau de fabrication; cependant, certaines enveloppes sont fabriquées d'une tôle d'acier de 10 mm (3/8 de po) revêtue à l'intérieur d'acier inoxydable 316 d'épaisseur 14. La vitesse de corrosion de l'acier 316 à 65 °C est presque négligeable, mais à 93 °C elle est de quelques centièmes de millimètre par année. Un revêtement intérieur en acier inoxydable n'est pas recommandé sauf en cas de nécessité pour empêcher des fuites dans les vieilles citernes en acier au carbone. Les citernes doublées de 6 ou 4 mm (1/4 ou 3/16 po) de caoutchouc sont adéquates pour les faibles titres seulement.

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

La compatibilité entre l'acide phosphorique et certains matériaux de fabrication est indiquée dans le tableau 6. Le mode d'évaluation utilisé dans le tableau 6 est décrit brièvement ci-dessous.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; peut convenir pour utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: L'utilisation indiquée causera une grave détérioration du matériau; l'emploi du matériau est donc déconseillé.

Tableau 6
Compatibilité de l'acide phosphorique et de certains matériaux de fabrication

Utilisation	Titre (%)	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords*	10	79	PVDC (DCRG, 1978)		
		107	PVDF Polypropylène (DCRG, 1978)		
		121	Polyétherchloré (DCRG, 1978)		
	25	79	PVDC (DCRG, 1978)		
		107	Polypropylène (DCRG, 1978)		
		121	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
		135	PVDF (DCRG, 1978)		
	0 à 25	23	PVC I PVC II (DPPED, 1967)	Polyéthylène (DPPED, 1967)	
		49		Polyéthylène (DPPED, 1967)	
		60		PVC I	
	25 à 50	23	PVC I PVC II (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)	
		60		PVC I PVC II (DPPED, 1967)	
	50 à 85	23	Polyéthylène, ABS, PVC I, PVC II (DPPED, 1967)		
		49	Polyéthylène (DPPED, 1967)		
		60	PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)	
		71			ABS (DPPED, 1967)
	75	52	PVDC (DCRG, 1978)		
		107	PVDF, polypropylène (DCRG, 1978)		
		121	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	< 85	Limite opérationnelle	PVC I**, polyéthylène** (MWPP, 1978)		
		24	ABS (MWPP, 1978) Acier au carbone doublé de caoutchouc, plastique renforcé (Sherritt MSDS, 1976)		
	Tout titre	Jusqu'à ébullition	Acier inox 316 (CCPA, 1983)		

Utilisation	Titre (%)	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
2. Robinetterie	Tout titre, chimiquement pur	21	Acier inox 316 alliage «20» (JSSV, 1979)		
3. Pompes	100	82	Esther vinylique renforcé de fibres de verre avec joint torique en Viton		
4. Réservoirs	100	< 65	Acier inox 316, doublures en caoutchouc naturel ou en caoutchouc butyl (Barber, 1974)		
	> 100	> 65	Acier inox 316 (Barber, 1974)		Doublure en caoutchouc naturel (Barber, 1974)
5. Autres	10	20	Aciers inox 302, 304, 316 (ASS)		Aciers inox 410 et 430 (ASS)
		60	PVC (TPS, 1978)		
		82	Polypropylène (TPS, 1978)		
		85	CPVC (TPS, 1978)		
	25, 50	60	PVC (TPS, 1978)		
		66	PVDF (TPS, 1978)		
		82	Polypropylène (TPS, 1978)		
		85	CPVC (TPS, 1978)		
	Jusqu'à 30	60	Polyéthylène, polypropylène, caoutchouc naturel, NBR, IIR, EPDM, polychloroprène, caoutchouc fluoré, polyéthylène chlorosulfoné (GF)	uPVC (GF)	Polyoxy-méthylène (GF)
	50		Caoutchouc naturel, SBR, polychloroprène, NBR, IIR, polyéthylène chlorosulfoné, EPDM (GPP)		
	50, 85	60	PVC (TPS, 1978)		
		66	PVDF (TPS, 1978)		
		82	Polypropylène (TPS, 1978)		
		100	CPVC (TPS, 1978)		
	80	60	Aciers inox 302, 304, 316 (ASS), uPVC, polypropylène, caoutchouc naturel, IIR, EPDM, polychloroprène, caoutchouc fluoré, polyéthylène chlorosulfoné (GF)	Polyéthylène (GF)	Polyoxy-méthylène, NBR (GF)

Utilisation	Titre (%)	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
		100	Polyéthylène chlorosulfoné (GF)	IIR, EPDM, caoutchouc fluoré (GF)	uPVC, polyéthylène, polypropylène, polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, NBR, polychloroprène (GF)
	85		Caoutchouc naturel, SBR, polychloroprène, NBR, IIR, polyéthylène chlorosulfoné, EPDM (GPP)		
	90	100	Polyéthylène chlorosulfoné (GF)	IIR, EPDM, caoutchouc fluoré (GF)	uPVC, polyéthylène polypropylène, polyoxyméthylène, caoutchouc naturel, NBR, polychloroprène (GF)
	Saturation	20	Aciers inox 302, 304, 316 (ASS)		Acier inox 430 (ASS)

* Les matières plastiques mentionnées ci-dessus conviennent dans le cas de revêtements intérieurs ou de conduites de brève utilisation, mais elle ne peuvent seules convenir à la fabrication de conduites durables.

** Produit ayant reçu une cote inférieure, pour une utilisation semblable, dans un autre ouvrage de référence.

ABS: acrylonitrile-butadiène-styrène; CPVC: chlorure de polyvinyle chloré; EPDM: caoutchouc d'éthylène-propylène; IIR: caoutchouc d'isobutylène-isoprène; NBR: caoutchouc d'acrylonitrile-butadiène; PVC: chlorure de polyvinyle; PVDC: chlorure de polyvinylidène; PVDF: fluorure de polyvinylidène; SBR: caoutchouc de styrène/butadiène; uPVC: chlorure de polyvinyle non plastifié.

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

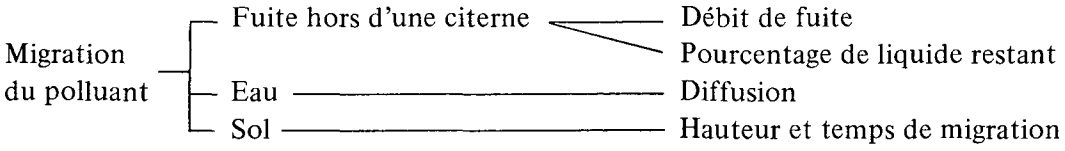
5.1 Aperçu général

L'acide phosphorique est généralement transporté sous forme de solution aqueuse, titrant 75 à 85 p. 100 d'acide, dans des wagons-citernes ou des véhicules-citernes. Cet acide est miscible à l'eau.

Déversé sur le sol, le liquide se répand à la surface, puis pénètre dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et la teneur en eau de ce dernier. La migration du liquide jusqu'à la nappe phréatique peut créer une pollution.

Étant donné que l'acide phosphorique n'est pas volatil, sa diffusion dans l'atmosphère n'est pas à craindre.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration d'un produit dans l'eau ou dans le sol.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques dans les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – L'acide phosphorique est ordinairement transporté dans des wagons-citernes ou des véhicules-citernes. Ces derniers sont sous pression normale. Les modèles de wagons-citernes varient beaucoup, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de la fuite. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et il peut contenir environ 80 000 litres.

S'il y a rupture de la paroi dans le bas de la citerne, au-dessous du niveau du liquide, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide en fonction du temps. Comme les citernes ne sont pas sous pression et comme le produit est peu volatil, aucun nomogramme n'a été élaboré pour la fuite éventuelle de vapeurs par un orifice qui serait situé au-dessous du niveau du liquide.

Le débit de fuite q par un orifice situé dans le bas de la citerne est défini par l'équation standard pour les orifices (Streeter, 1971). Il est fonction de la surface de la section s et de la forme de l'orifice, de la hauteur h de liquide au-dessus de l'orifice et du coefficient de débit Cq. Pour l'établissement du nomogramme, on suppose un coefficient de débit de 0,8. La viscosité des solutions d'acide phosphorique varie considérablement et c'est pourquoi on n'a choisi que la solution titrant 80 p. 100 d'acide. Le débit de fuite varie proportionnellement avec le carré de la densité relative; cette hypothèse peut servir pour calculer le débit de fuite des autres solutions.

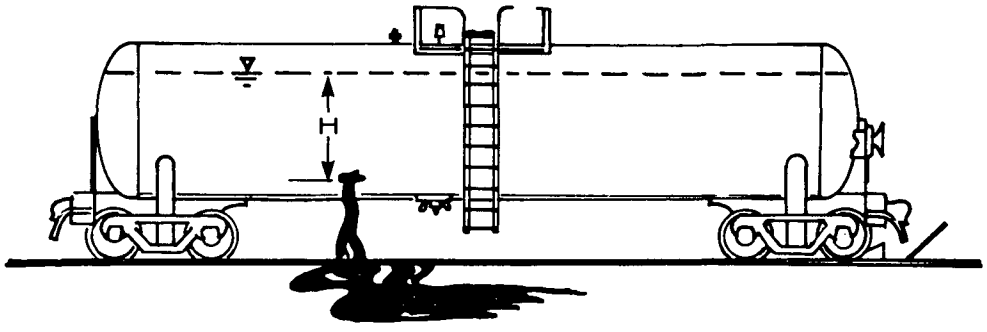


Figure 8 ORIFICE AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE

5.2.2 Nomogrammes de la fuite

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé. – La figure 9 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment de la perforation et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne contient environ 80 000 litres d'acide phosphorique et qu'il est plein au moment de la perforation. Le volume de liquide restant, après un temps t d'écoulement donné, n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme de la citerne.

5.2.2.2 Débit de fuite en fonction du temps écoulé. – La figure 10 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps d'écoulement donné, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu bris d'un wagon-citerne type rempli d'acide phosphorique. L'orifice est situé au-dessous du niveau du liquide. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 litres représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir fig. 9): si t = 10 mm et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 du volume initial, soit 28 000 litres.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané après 10 minutes d'écoulement? Solution (voir fig. 10): si t = 10 mm et D = 150 mm, le débit instantané q = 70 l/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

Étant donné que l'acide phosphorique n'est pas volatil, en cas de déversement accidentel il est impossible qu'il se diffuse dans l'atmosphère.

Figure 9

ACIDE PHOSPHORIQUE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

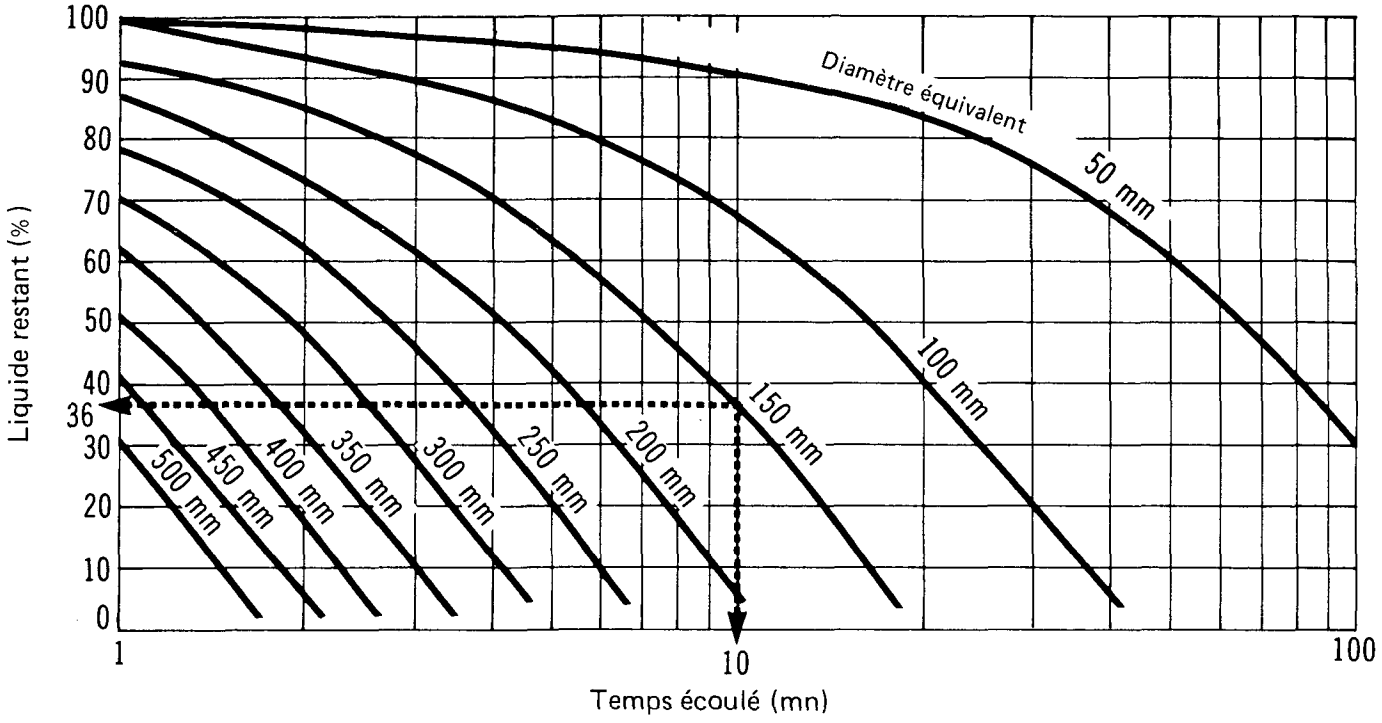
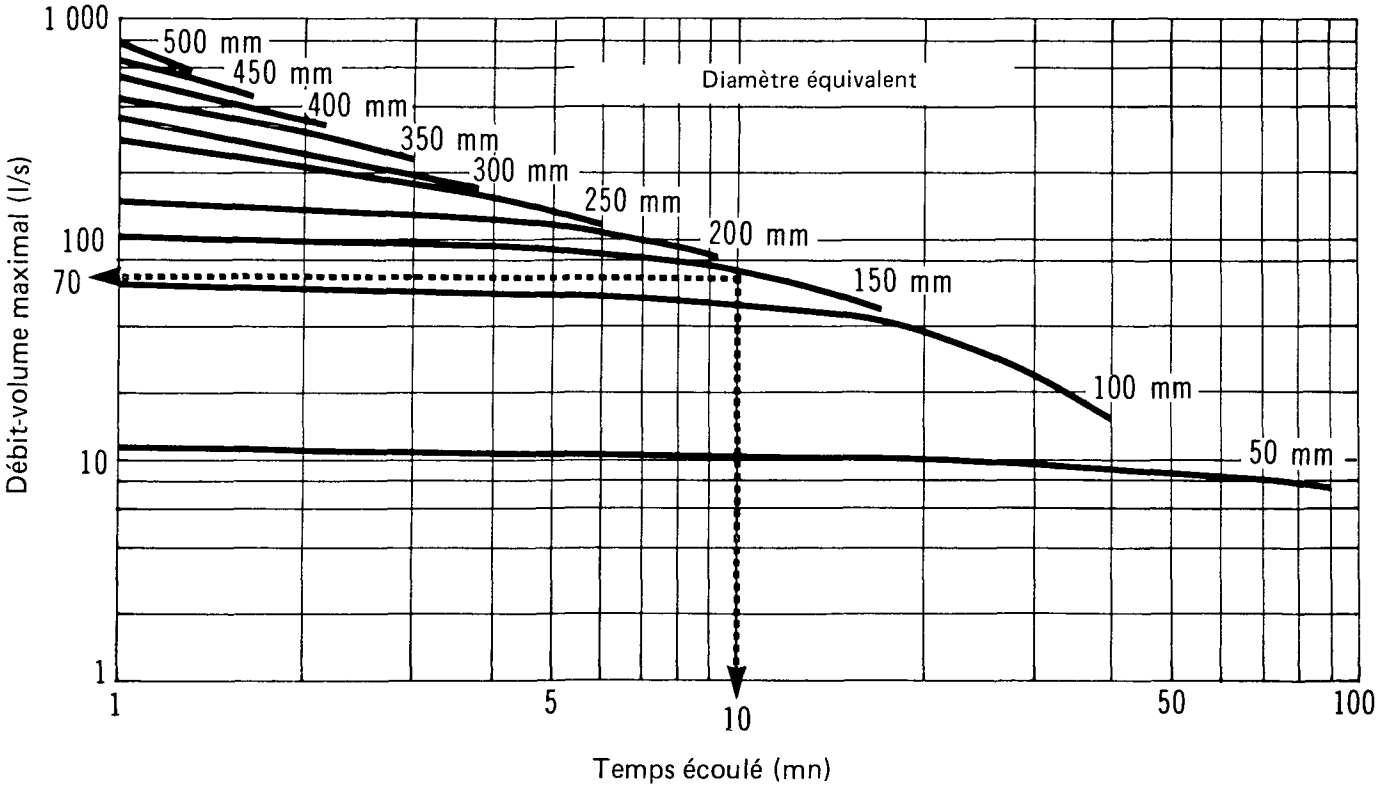


Figure 10

ACIDE PHOSPHORIQUE

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Lorsque l'acide phosphorique est déversé dans l'eau, il se mélange et se dissout rapidement. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classique, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans les plans d'eau (étendues d'eau calme), il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'un cours d'eau en aval du lieu de déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le manuel d'introduction de la collection.)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans une étendue d'eau calme, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant. – Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant dans les cours d'eau non soumis aux marées et dans les lacs au repos (et autres plans d'eau).

A. – Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 12 Distance en fonction du temps (pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement)

Figure 13 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal (pour une plage de profondeurs du canal) (hauteurs d'eau)

Figure 14 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique (pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement)

Figure 15 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente (pour différentes valeurs de temps écoulé)

Figure 16 Delta* en fonction de alpha (pour différentes masses de liquide déversé)

Figure 17 Teneur maximale en fonction de delta (pour des sections mouillées de différentes surfaces)

B. – Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 18 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs du lac) (hauteurs d'eau)

Figure 19 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

La figure 11 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

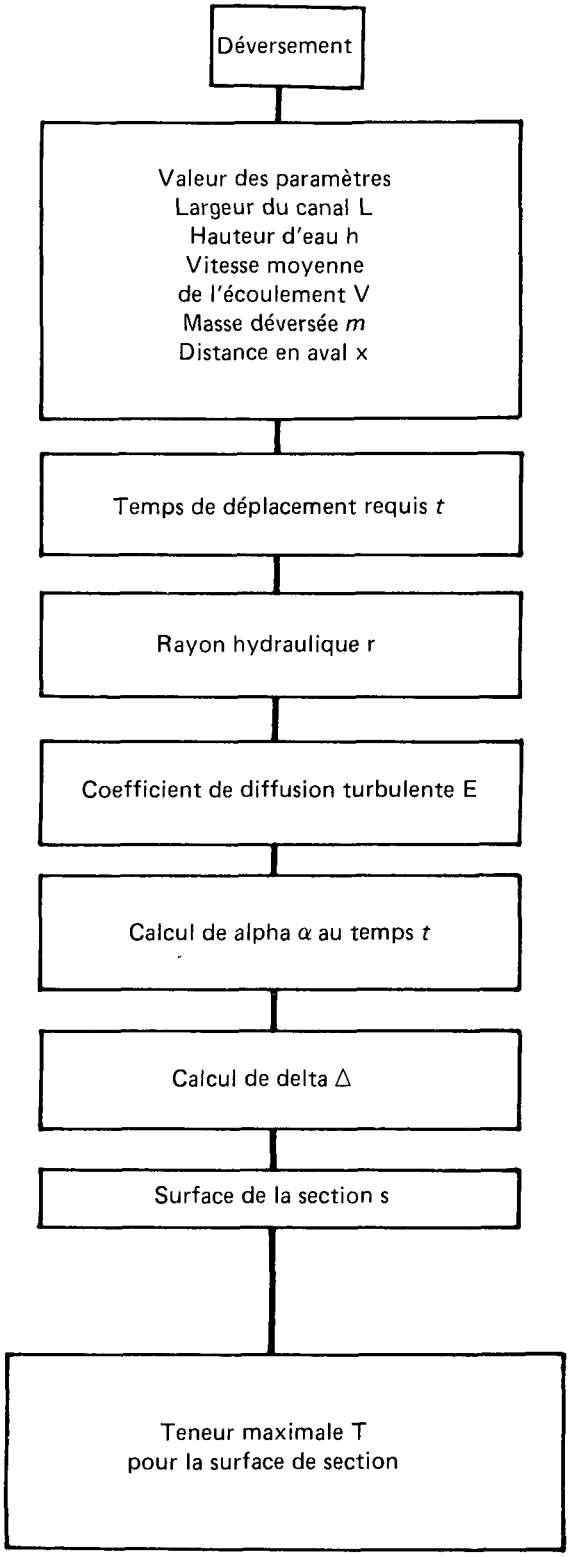
---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 11

ACIDE PHOSPHORIQUE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'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. 12)

Étape 3 r = _____ m (fig. 13)

Étape 4 E = _____ m^2/s (fig. 14)

Étape 5 α = _____ (fig. 15)

Étape 6 Δ = _____ (fig. 16)

Étape 7 s = L x h = _____ m^2

Étape 8 T = _____ ppm (fig. 17)

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 12 Distance en fonction du temps. – Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps *t* que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 13 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 13 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 14 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. – Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 15 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. – Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 16 Delta en fonction de alpha. – Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 17 Teneur maximale en fonction de delta. – Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 18 Volume d'eau en fonction du rayon. – L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 18. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 19 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. – Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. – Vingt tonnes d'acide phosphorique ont été déversées dans une rivière. La hauteur d'eau h est de 5 m et la

Figure 12

ACIDE PHOSPHORIQUE

DISTANCE
EN FONCTION DU TEMPS

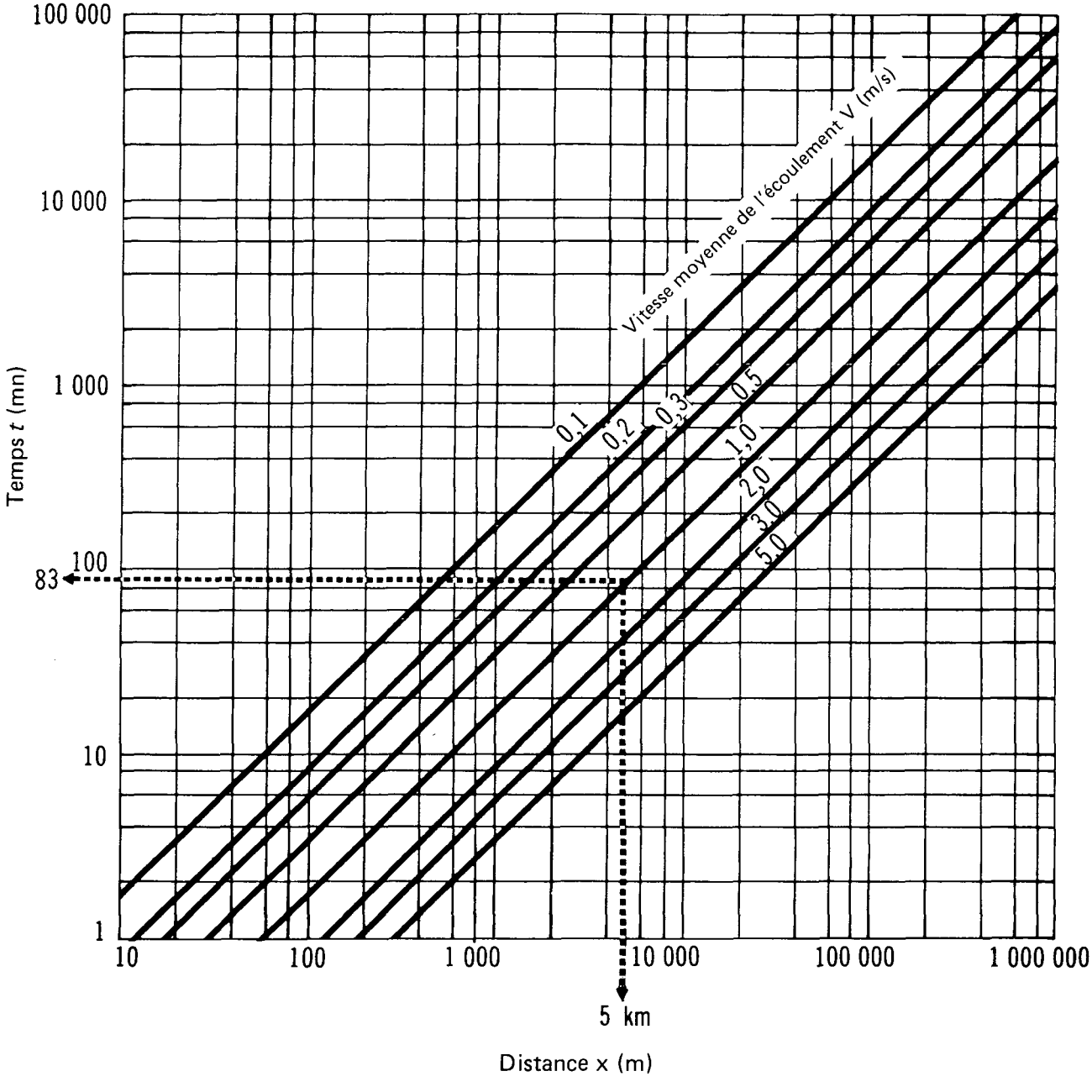


Figure 13

ACIDE PHOSPHORIQUE

RAYON HYDRAULIQUE
EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

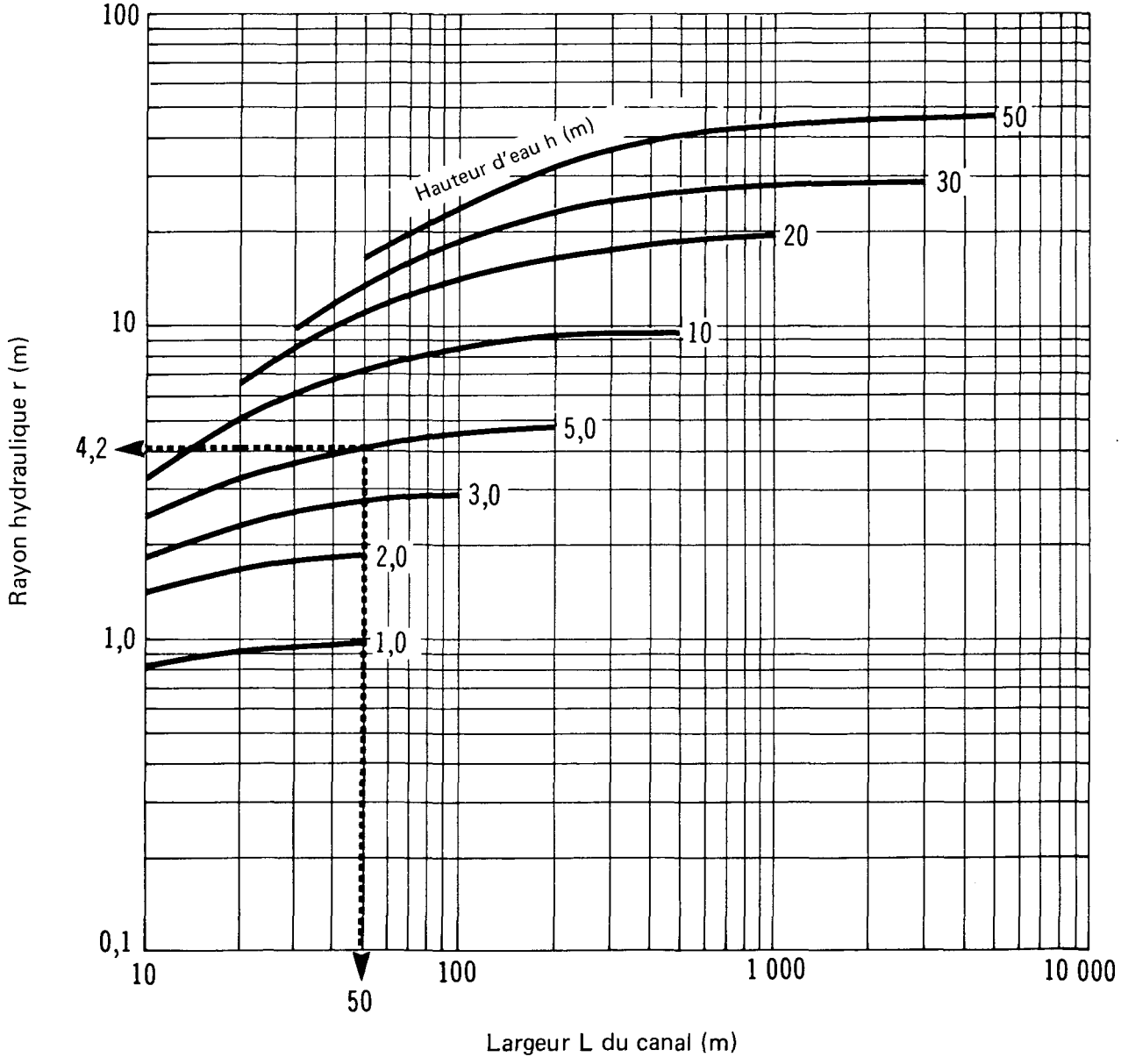


Figure 14

ACIDE PHOSPHORIQUE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

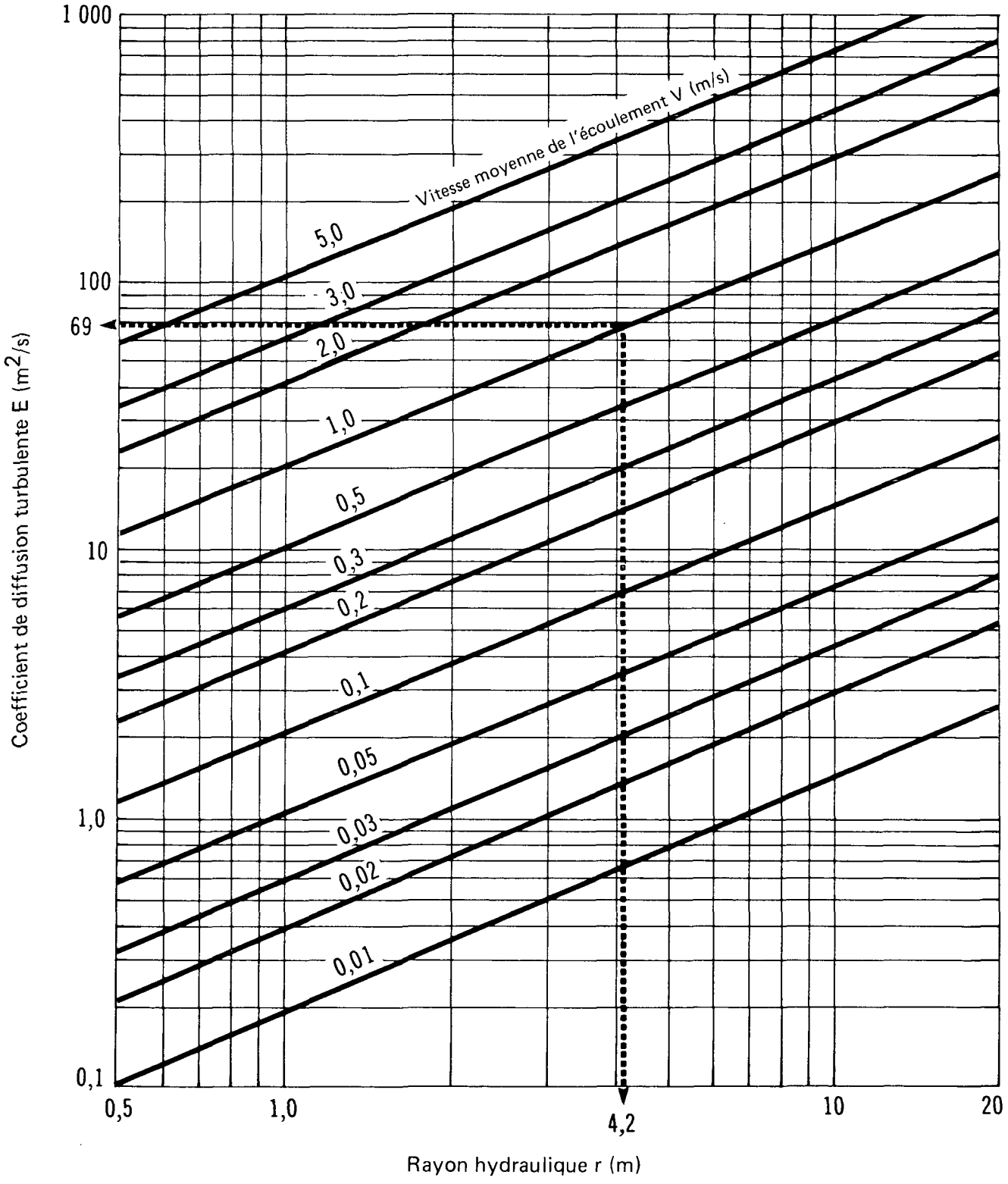


Figure 15

ACIDE PHOSPHORIQUE

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

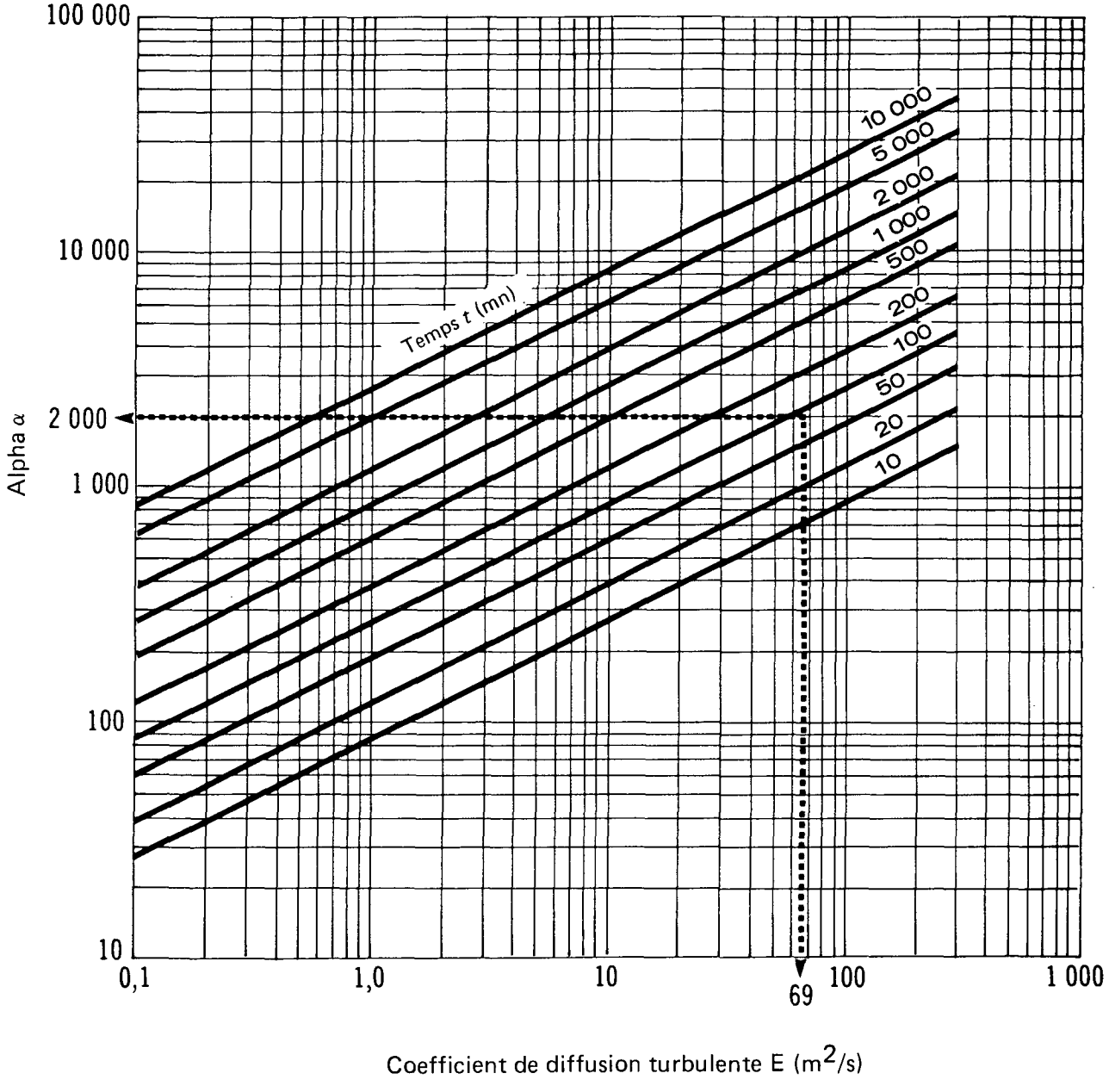


Figure 16

ACIDE PHOSPHORIQUE

DELTA
EN FONCTION DE ALPHA

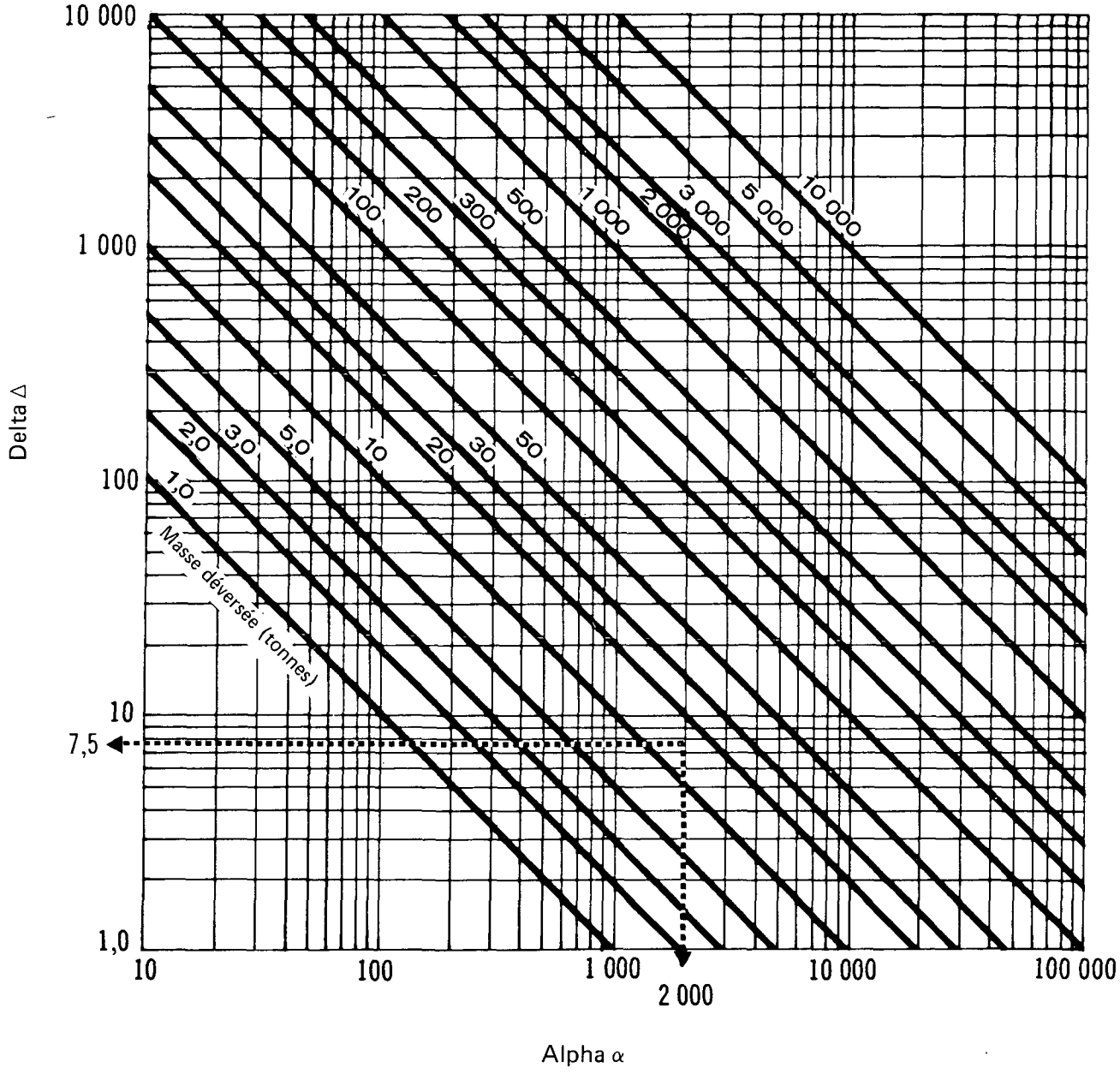


Figure 17

ACIDE PHOSPHORIQUE

TENEUR MAXIMALE
EN FONCTION DE DELTA

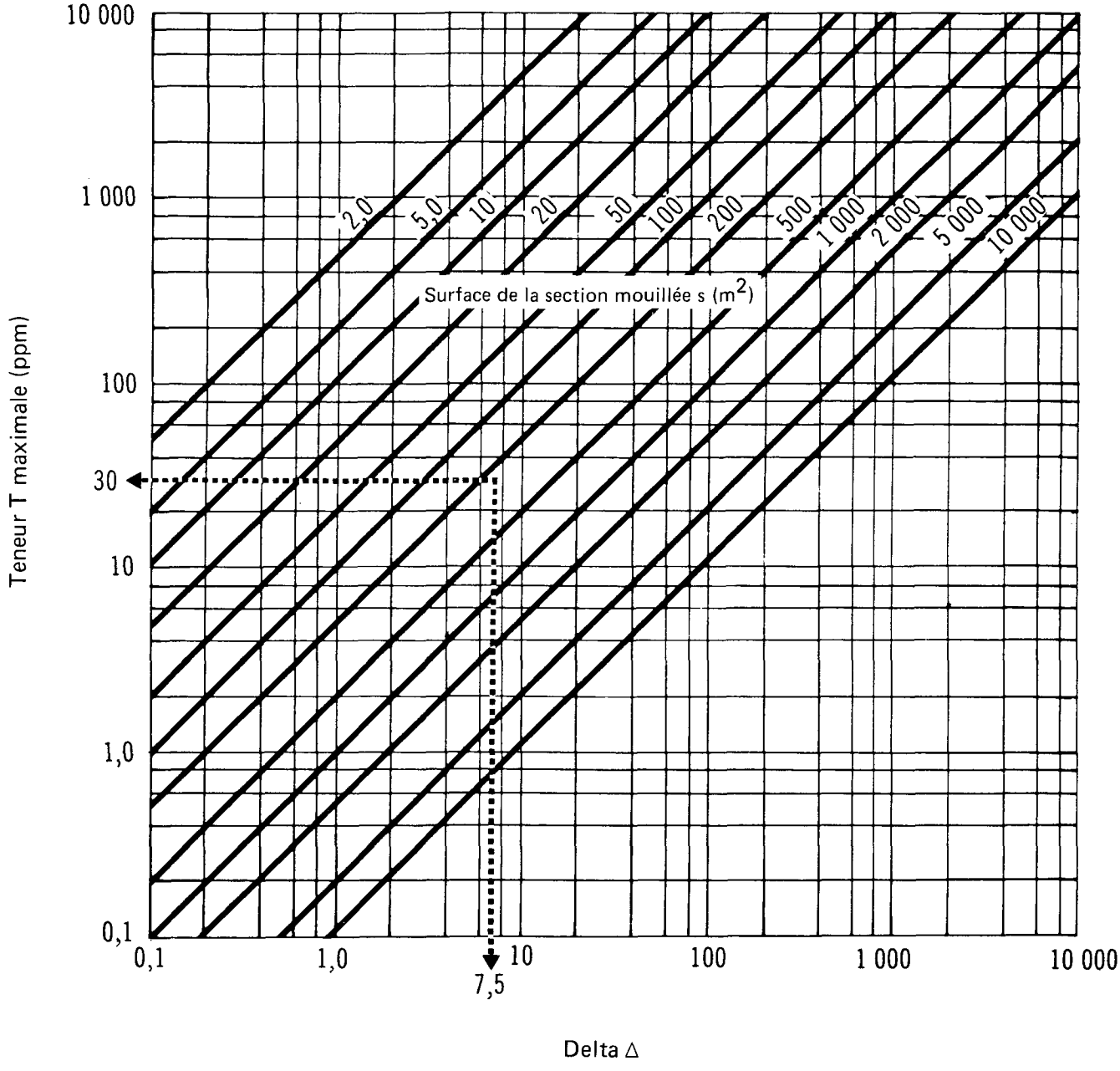


Figure 18

ACIDE PHOSPHORIQUE

VOLUME D'EAU
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE DE LA ZONE DANGEREUSE

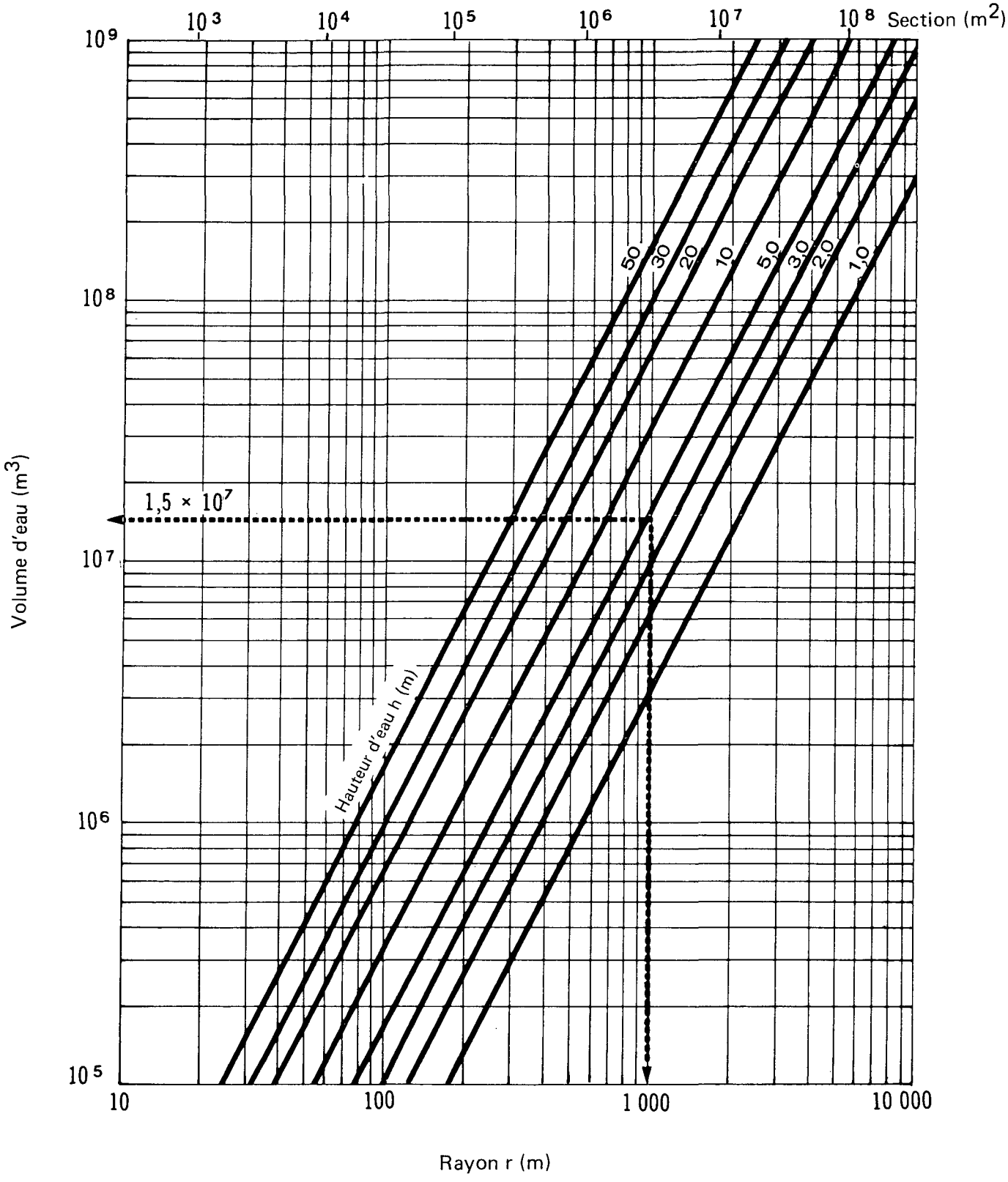
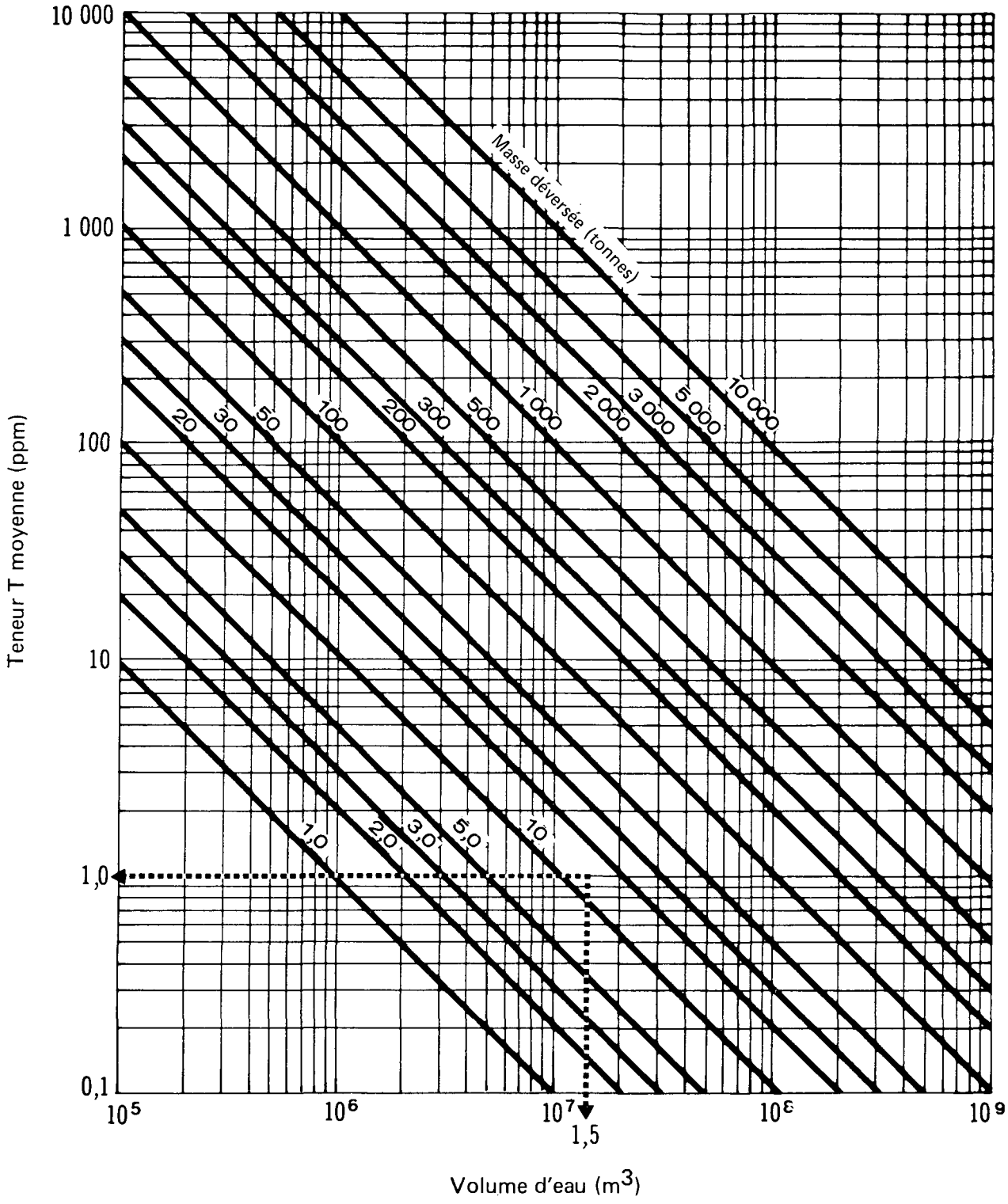


Figure 19

ACIDE PHOSPHORIQUE

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU DE LA ZONE DANGEREUSE



largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
$L = 50$ m; $h = 5$ m; $V = 1$ m/s; $x = 5000$ m;
$m = 20$ tonnes d'une solution titrant 75 p. 100 $= 15$ tonnes d'acide phosphorique

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.
Comme $x = 5000$ m et $V = 1$ m/s, $t = 83$ mn (fig. 12).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.
Comme $L = 50$ m et $h = 5$ m, $r = 4{,}2$ m (fig. 13).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.
Comme $r = 4{,}2$ m et $V = 1$ m/s, $E = 69$ m^2/s (fig. 14).

Étape 5 Déterminer alpha.
Comme $E = 69$ m^2/s et $t = 83$ mn, $\alpha = 2000$ (fig. 15).

Étape 6 Déterminer delta.
Comme $\alpha = 2000$ et $m = 15$ tonnes, $\Delta = 7{,}5$ (fig. 16).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.
$s = L \times h = 50 \times 5 = 250$ m^2.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.
Comme $\Delta = 7{,}5$ et $s = 250$ m^2, $T = 30$ ppm (fig. 17).

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. – Vingt tonnes d'acide phosphorique ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
$h = 5$ m; $r = 1000$ m; $m = 15$ tonnes.

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.
Comme $r = 1000$ m et $h = 5$ m, vol. $= 1{,}5 \times 10^7$ m^3 environ (fig. 18).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.
Comme vol. $= 1{,}5 \times 10^7$ m^3 et $m = 15$ tonnes, $T = 1$ ppm (fig. 19).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. – Les lois de la migration des fluides dans le sol, ainsi que leur application dans le cadre de la collection «Enviroguide», sont exposées dans le manuel d'introduction de la collection. Les éléments dont il faut teneur compte dans le cas du déversement et de la migration de l'acide phosphorique sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

L'acide phosphorique est généralement transporté en solutions aqueuses titrant 75 à 85 p. 100 en poids d'acide. Lorsqu'il est déversé sur le sol, il descend rapidement jusqu'à la nappe phréatique, la vitesse de migration étant inversement proportionnelle au titre en raison de la viscosité réduite. L'acide phosphorique se mélange facilement à l'eau; ainsi, l'acide se dilue s'il y a des précipitations ou si de l'eau est utilisée pour nettoyer le terrain après le déversement. Si le sol de surface est saturé d'eau au moment où se produit le déversement, comme cela peut être le cas à la suite de précipitations, le produit déversé ruissellera ou formera une mare.

Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ (quantité maximale que le sol peut contenir après que l'excédent en eau est drainé). Le sol recèle alors très peu d'eau intersticielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant; il s'agit du «pire cas» possible.

Au cours de sa migration, l'acide phosphorique dissout certains des matériaux constitutifs du sol, particulièrement ceux à base de carbonate. L'acide sera neutralisé jusqu'à un certain point et il peut même y avoir absorption d'ions hydrogène ou phosphate. Une proportion considérable poursuit néanmoins sa migration vers la nappe phréatique. La présente section néglige ces facteurs de retardement.

Lorsque le polluant atteint la nappe phréatique, il continue à se déplacer mais dans la direction des eaux souterraines. Il y forme un panache de pollution, au sein de laquelle les phénomènes de diffusion et de dispersion contribuent à une certaine baisse de la teneur en polluant (fig. 20).

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. – Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du polluant dans la zone non saturée, jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, en posant comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. – Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

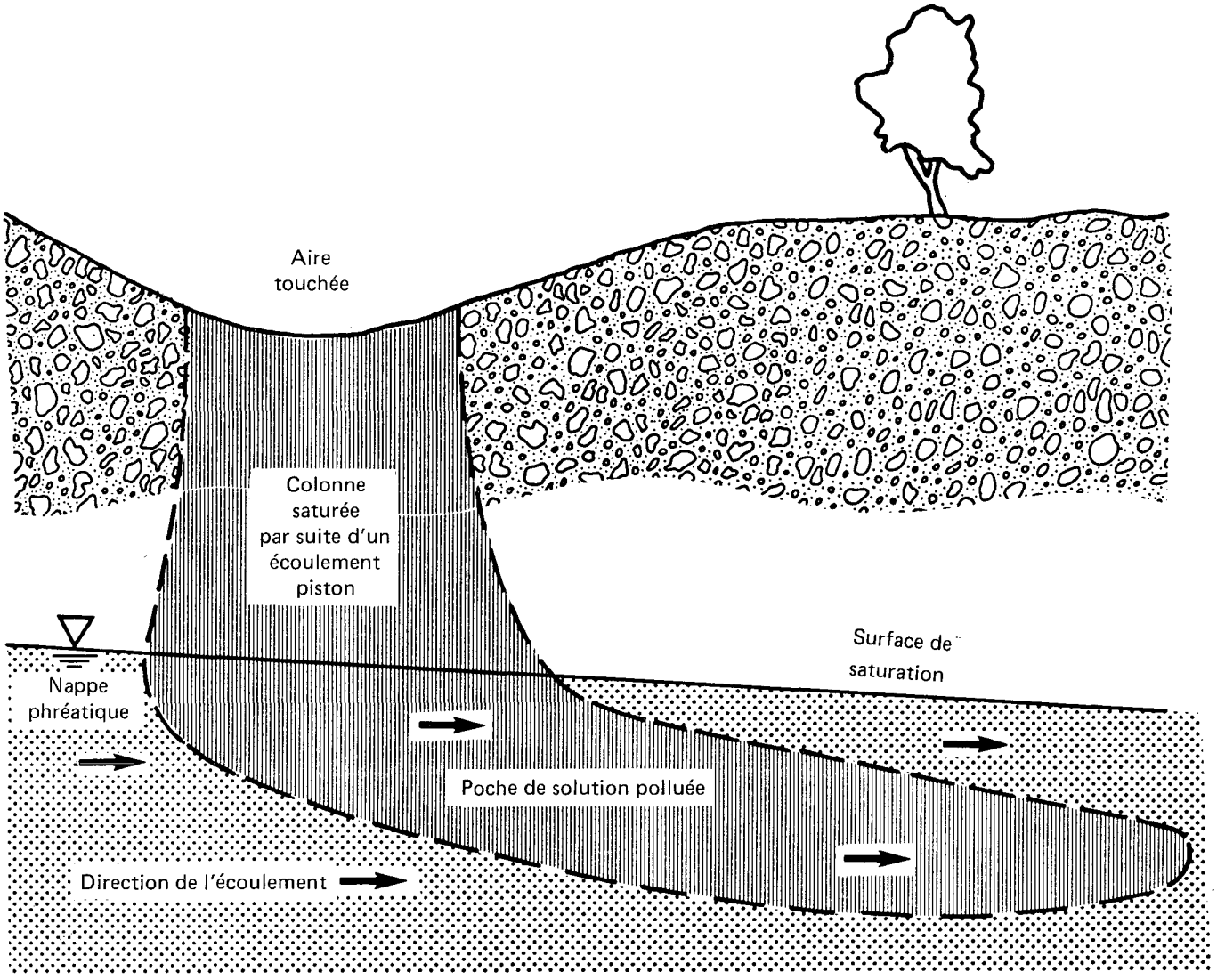
$$K_0 = \frac{(\rho g)\, k}{\mu}$$

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

Dans le cas présent, les fluides examinés sont: une solution titrant 75 p. 100 d'acide en poids; une solution titrant 19,6 p. 100 d'acide en poids; l'eau. Les valeurs établies pour l'eau correspondent au point extrême de dilution de l'acide.

Valeurs établies pour les fluides

	Solution d'acide phosphorique			
	75 % (en poids)	19,6 % (en poids)		Eau
Paramètre	20 °C	20 °C	4 °C	20 °C
Masse volumique (kg/m^3)	1579	1113	1120	998
Viscosité absolue (Pa . s)	$3{,}7 \times 10^{-3}$	$1{,}7 \times 10^{-3}$	$1{,}4 \times 10^{-3}$	$1{,}0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité du sol saturé (m/s)	$(0{,}42 \times 10^7)k$	$(0{,}63 \times 10^7)k$	$(0{,}79 \times 10^7)k$	$(0{,}98 \times 10^7)k$



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35, perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2, capacité au champ = 0,075

5.5.4 Types de sol. – Le *Manuel d'introduction Enviroguide* décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les propriétés qui influent sur la migration des fluides.

	Valeurs établies pour les sols		
Propriété	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de la migration. – Un nomogramme de la migration de l'acide phosphorique dans la couche du sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considéré comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 21 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 22 à 24. À noter que la droite représentant la profondeur atteinte par l'eau indique la profondeur (ou hauteur) maximale atteinte par l'acide phosphorique dilué à l'extrême dans l'eau.

5.5.6 Exemple des calculs. – Vingt tonnes d'acide phosphorique à 75 p. 100 ont été déversées sur un sol constitué de sable grossier. Le rayon de la surface polluée est de 8,6 m et la température, de 20 °C. Calculer la profondeur atteinte par le polluant 32 minutes après le déversement.

SOLUTION

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres

Masse de liquide déversé = 20 000 kg (20 tonnes)

Température = 20 °C

Rayon = 8,6 m

Type de sol = sable grossier

Profondeur de la surface de saturation = 13 m

Temps écoulé depuis le moment du déversement (t_m) = 32 mn

Étape 2 Calculer la surface de sol polluée

Surface = πr^2 = 232 m^2

Étape 3 Évaluer la profondeur atteinte par le polluant au temps t_m.

Dans le cas du sable grossier, à t_m = 32 minutes, la profondeur est de 8,1 m.

Le polluant n'a pas encore atteint la nappe phréatique.

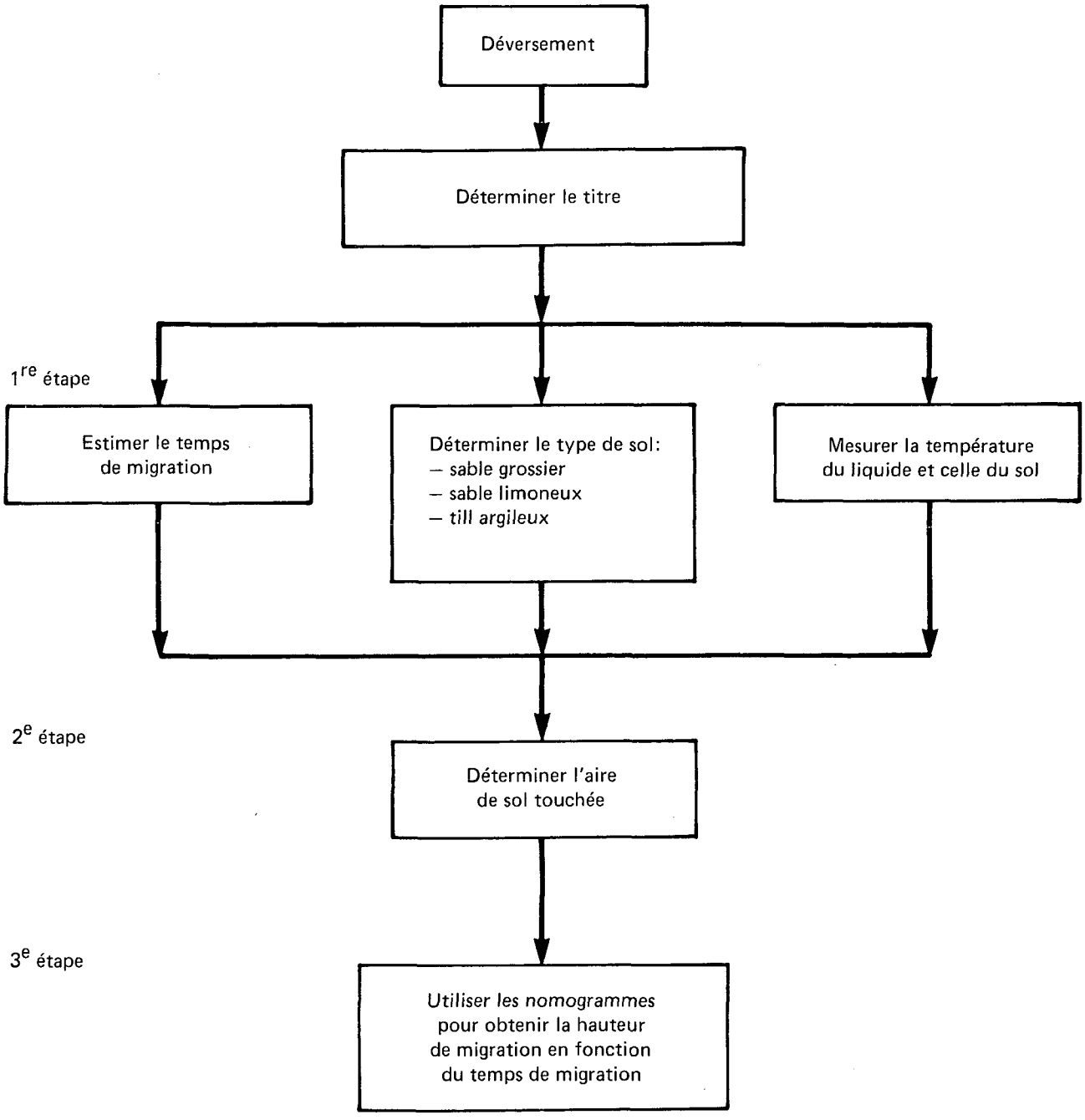

Déversement
Déterminer le titre
1re étape
Estimer le temps de migration
Déterminer le type de sol:
– sable grossier
– sable limoneux
– till argileux
Mesurer la température du liquide et celle du sol
2e étape
Déterminer l'aire de sol touchée
3e étape
Utiliser les nomogrammes pour obtenir la hauteur de migration en fonction du temps de migration

Figure 22

ACIDE PHOSPHORIQUE

MIGRATION DANS UN SOL GROSSIER

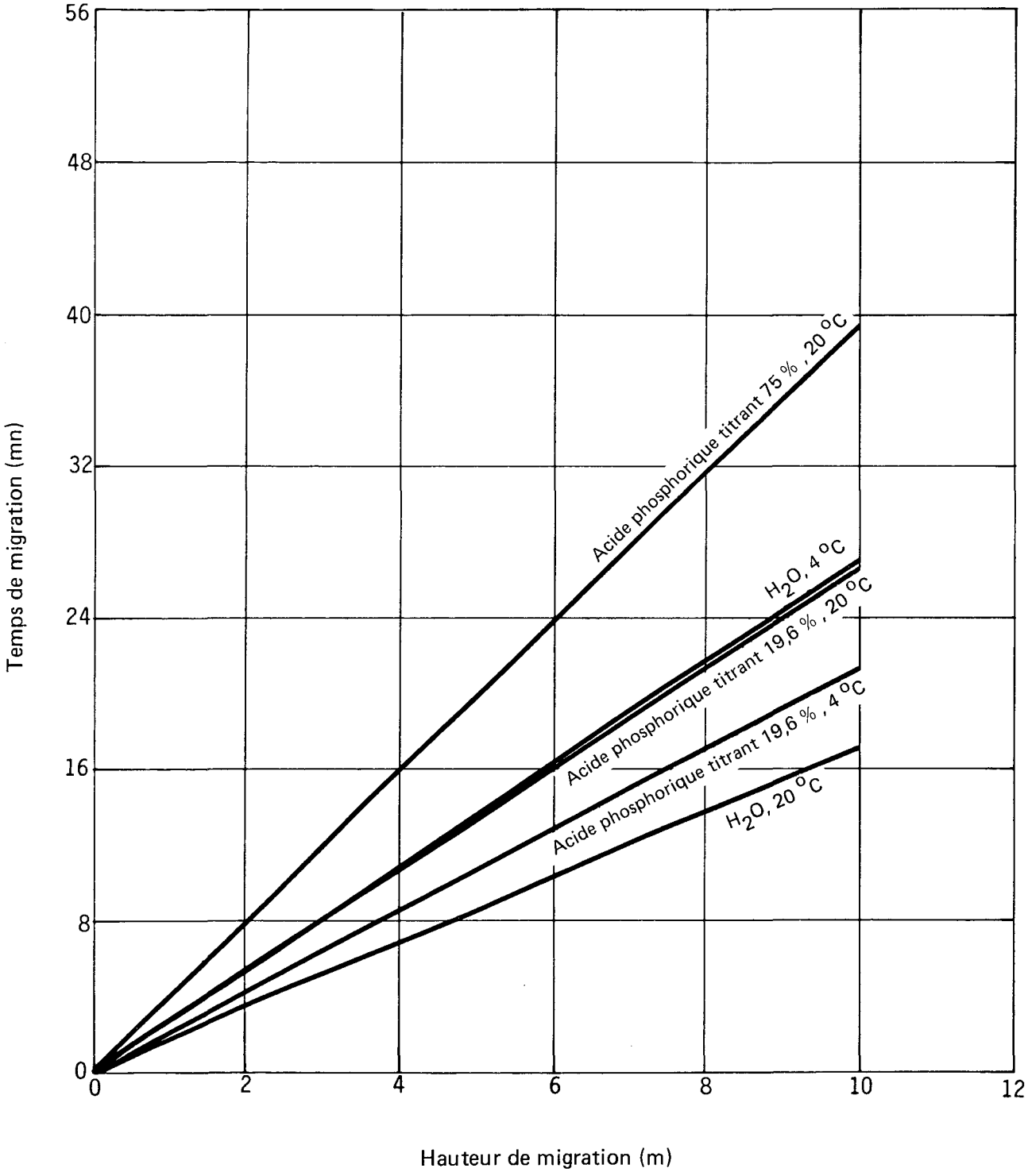


Figure 23

ACIDE PHOSPHORIQUE

MIGRATION DANS UN SOL LIMONEUX

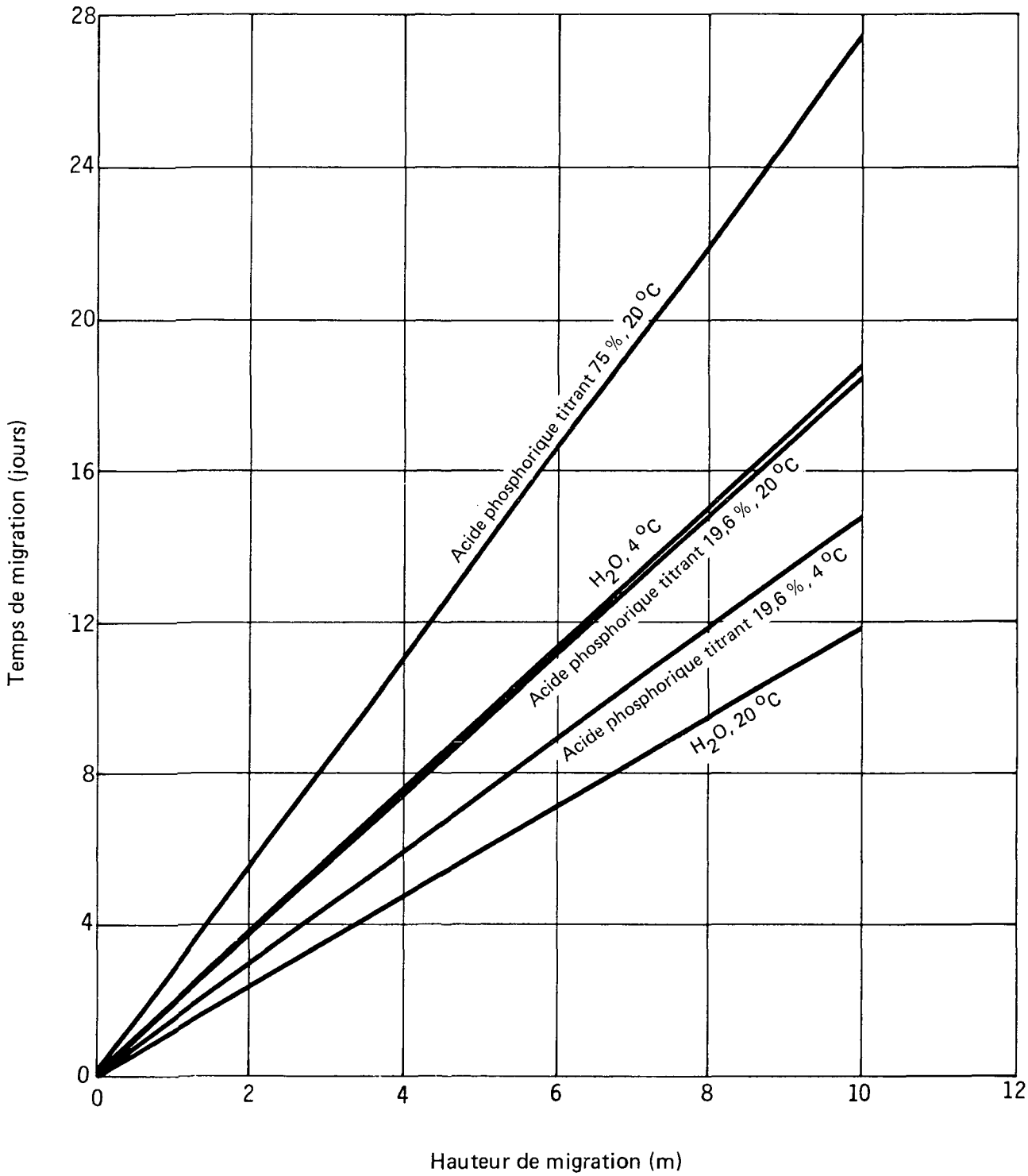
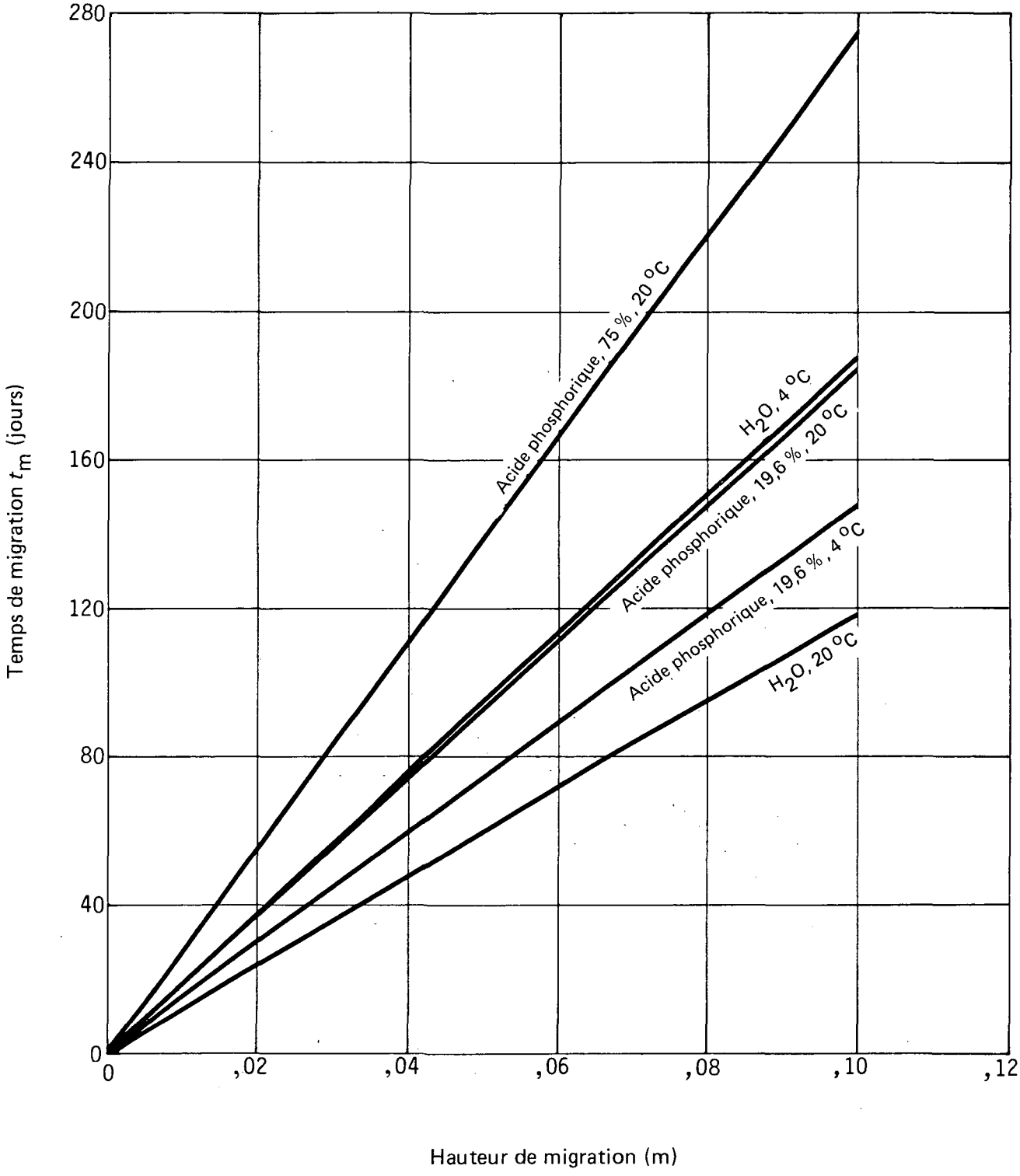


Figure 24

ACIDE PHOSPHORIQUE — MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau potable. – En Ontario, pour éviter toute prolifération algale nuisible, l'objectif en ce qui concerne le phosphore total à l'état de phosphore est une teneur de 0,01 mg/l au cours des mois où l'eau est sans glace (*Water Management Goals*, 1978).

6.1.2 Qualité de l'air. – En Ontario, la norme d'environnement en ce qui concerne la teneur de l'atmosphère en acide phosphorique, exprimé en P_2O_5, est de 100 $\mu g/m^3$ (*Ontario E.P. Act*, 1971).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux USA. – La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) à l'acide phosphorique correspond à des teneurs variant entre 100 et 1000 ppm (RTECS, 1979).

6.2.2 Mesure de la toxicité

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Conditions	Source
0,01 (sous forme d'ions hydrogène)		Épinoche	Létal	pH 5	WQC, 1963
0,08	8	Épinoche	Létal	pH 4,0, eau distillée	WQC, 1963
0,2	15 à 57 mn	Épinoche	Létal	pH 2,2 à 3,4	WQC, 1963
138	24	Gambusie	TLm	22 à 24 °C, eau turbide	WQC, 1963
138	48	Gambusie	TLm	22 à 24 °C, eau turbide	WQC, 1963
138	96	Gambusie	TLm	22 à 24 °C, eau turbide	WQC, 1963

Micro-organismes. – Les phosphates sont des nutriants pour les organismes aquatiques. Ils peuvent stimuler leur développement. On recommande une teneur limite de l'eau en phosphore inorganique de 0,01 mg/l afin d'éviter un développement indésirable d'algues (WQC, 1963).

6.3 Autre toxicité dans l'air et sur terre

Le feuillage des plantes (les petits pois, les haricots, les betteraves, le colza et des herbes ont été testés) est détruit par une pulvérisation d'acide phosphorique titrant 15 à 20 p. 100 (Takala, 1978).

6.4 Dégradation du polluant

Bien que l'acidité puisse être facilement réduite par les minéraux de l'eau naturelle, le phosphate peut persister indéfiniment (OHM-TADS, 1981).

6.5 Devenir et effets à long terme

Du phosphate en abondance augmente la prolifération des algues et le risque d'eutrophisation des eaux. Les effets nocifs de l'acide phosphorique sont principalement dus à l'acidité (WQC, 1963). L'acide phosphorique n'est ni bio-accumulé ni bioconcentré.

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Il y a très peu d'informations sur la toxicité de l'acide phosphorique absorbé par inhalation malgré son utilisation très répandue dans l'industrie. Cela est probablement dû au fait qu'il a une faible tension de vapeur à la température ambiante et que par conséquent ses effets ne se font généralement sentir que lorsqu'il est introduit dans l'atmosphère sous forme de vapeurs ou de brouillard (NIOSH-OSHA, 1981). Au contact, l'acide phosphorique est cependant corrosif pour la plupart des tissus.

La documentation ne contient aucune étude toxicologique récente ni aucune monographie sur les effets de l'acide phosphorique. La TLV® a été établie par analogie avec l'acide sulfurique. D'après le *AIHA Hygiene Guide*, l'acide phosphorique est moins dangereux que les acides nitrique ou sulfurique (Doc. TLV, 1981). La documentation ne contient aucun renseignement sur les effets mutagènes, carcinogènes ou tératogènes de l'exposition à l'acide phosphorique. L'acide phosphorique est répertorié dans l'inventaire TSCA de l'EPA. Ce composé doit être étiqueté «corrosif» au Canada (RTECS, 1979).

Les données présentées ci-après sont extraites de sources dignes de confiance. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement dans les cas de déversement. L'interprétation des données relatives à l'homme est étayée par des données d'exposition de courte durée obtenues avec des mammifères autres que l'homme.

7.1 Normes d'exposition

Les normes d'exposition à l'acide phosphorique sont basées sur une analogie avec les effets nocifs de l'acide sulfurique et sur le fait que l'acide phosphorique est moins dangereux que l'acide sulfurique (Doc. TLV, 1981). Les directives des provinces, au Canada, sont semblables à celles qui ont été établies par l'ACGIH aux USA, à moins d'indication contraire.

Limites maximales admissibles

Norme	Origine	Teneur admissible	Source
	Moyenne pondérée en fonction du temps		
TLV® (8 h)	USA/ACGIH	1 mg/m^3	TLV, 1983
PEL (8 h)	USA/OSHA	1 mg/m^3	NIOSH/OSHA, 1981
	Exposition de courte durée		
STEL (15 mn)	USA/ACGIH	3 mg/m^3	TLV, 1983

Autres aspects de la toxicité pour l'homme

Notion	Origine	Teneur	Source
Teneur toxique minimale		100 mg/m^3 (irritation)	ITII, 1981
Dose létale minimale		200 mg/kg	RTECS, 1979

7.2 Données sur les propriétés irritantes

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	À l'état solide ou en solution, l'acide phosphorique peut provoquer des brûlures. Le composé solide irrite la peau surtout si elle est humide. Une solution titrant 75 p. 100 d'acide provoque des brûlures graves.	NIOSH/OSHA, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
2740 mg/kg	Dose létale 50	Sax, 1984
595 mg (24 h)	Irritation grave	RTECS, 1979

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Conjonctivite	ITII, 1981
Non précisée	Le contact peut provoquer une inflammation et des brûlures.	NIOSH/OSHA, 1981
Non précisée	Le contact avec une solution diluée, tamponnée à pH 2,5, a provoqué une brève sensation de brûlure d'intensité moyenne, mais une goutte de cette solution déposée dans l'oeil n'a entraîné aucune blessure.	NIOSH/OSHA, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
119 mg	Inflammation grave	RTECS, 1979

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 **Odeur.** – L'acide phosphorique est inodore (Doc. TLV, 1981).

7.3.2 **Saveur.** – Aucune donnée n'a été recueillie.

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation (d'un brouillard de H_3PO_4 ou de P_2O_5)

Exposition	Effets	Source
	A. – Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
100 mg/m^3	Teneur toxique minimale; irritation	RTECS, 1979
100 mg/m^3	Une exposition à des vapeurs de pentoxyde de phosphore (forme anhydre de l'acide phosphorique)	Doc. TLV, 1981

Exposition	Effets	Source
	s'est révélée insoutenable, sauf pour des travailleurs adaptés.	
3,6 à 11,3 mg/m^3	Toux (tolérable) chez des personnes non adaptées.	Doc. TLV, 1981
0,8 à 5,4 mg/m^3	Perceptible mais non inconfortable	Doc. TLV, 1981
	B. – Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Un questionnaire a été distribué à 35 travailleurs employés dans une usine de production de H_3PO_4 pour savoir s'ils souffraient de bronchite et d'emphysème. Les résultats ont indiqué que 45,7 p. 100 souffraient de bronchite chronique et que 37,1 p. 100 souffraient de troubles ventilatoires obstructifs entraînant une diminution de la capacité pulmonaire. On a pu établir une corrélation entre ces données et d'une part la durée de séjour au travail et d'autre part le degré d'exposition à la poussière et aux fluorures gazeux.	Fabbri et coll., 1977, dans TDB (on-line), 1981

7.4.2 Ingestion

Exposition brève	Effets	Source
• CHEZ LE RAT		
1530 mg/kg	Dose létale 50	RTECS, 1979

7.4.3 Absorption par voie cutanée (effets généraux)

Exposition brève	Effets	Source
• CHEZ LE LAPIN		
2740 mg/kg	Dose létale 50	RTECS, 1979

7.4.4 Mutagénicité, tératogénicité et carcinogénicité. – Aucune donnée n'a été recueillie.

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante mentionnés dans la plupart des ouvrages de consultation. En revanche, la mention d'un symptôme à caractère très particulier ou inhabituel est suivie d'une indication de source.

7.5.1 **Inhalation** (aérosol ou brouillard)

1. Irritation de l'oeil, inflammation des muqueuses des voies nasales et de la gorge.
2. Toux.
3. Aggravation possible des symptômes des travailleurs souffrant de congestion des voies respiratoires (NIOSH/OSHA, 1981).

7.5.2 Ingestion

1. Maux d'estomac.
2. Nausées.
3. Vomissements.
4. Diarrhée (sanguinolente).
5. Brûlures sur la bouche et les lèvres.
6. Acidémie (CHRIS, 1978).
7. Respiration difficile.
8. Convulsions.
9. Collapsus cardio-vasculaire.
10. Choc.
11. Mort.

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation.
2. Brûlures.

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Irritation.
2. Conjonctivite (ITII, 1981).
3. Brûlures aux yeux.

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

Il y a danger lorsque de l'acide phosphorique est chauffé: des vapeurs toxiques d'oxydes de phosphore sont alors émises (Sax, 1979).

7.6.1 Pentoxyde de phosphore. – Le pentoxyde de phosphore est corrosif et irritant pour les muqueuses, les yeux et l'épiderme. L'acide phosphorique qui en résulte est moins nocif que l'acide sulfurique. Il n'existe aucune TLV® pour ce composé. La norme d'hygiène recommandée dans le guide AIHA est de 1 mg de P_2O_5/m^3 (Patty, 1981).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre l'acide phosphorique et divers agents

Agent	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	Source
En général														
Feu						●	●						Non combustible. La décomposition par la chaleur libère des oxydes de phosphore.	Sax, 1979; NFPA, 1978
Chaleur						●	●						Chauffé jusqu'à décomposition, il libère des oxydes de phosphore.	Sax, 1979
Groupes de corps														
Alcalis caustiques	●	●									●		Il peut y avoir incendie si l'agent caustique est un alcoolate.	EPA 600/2-80-076
Alcalis et métaux alcalino-terreux	●	●		●							●		Formation de gaz hydrogène.	EPA 600/2-80-076
Alcools et glycols	●													EPA 600/2-80-076
Aldéhydes	●			●									Il peut se produire une polymérisation rapide.	EPA 600/2-80-076
Amides	●													EPA 600/2-80-076
Amines	●													EPA 600/2-80-076
Carbamates	●								●					EPA 600/2-80-076
Cétones	●													EPA 600/2-80-076
Composés azo	●				●	●							Il peut se produire une décomposition ou une polymérisation selon le composé.	EPA 600/2-80-076
Composés polymérisables					●								Polymérisation possible.	EPA 600/2-80-076
Cyanures				●			●						Production de gaz de cyanure d'hydrogène.	EPA 600/2-80-076
Dithiocarbamates				●			●						Production de gaz de disulfure de carbone.	EPA 600/2-80-076
Époxydes	●				●								Polymérisation.	EPA 600/2-80-076
Esters	●					●								EPA 600/2-80-076
Explosifs	●		●											EPA 600/2-80-076
Feuilles, tiges ou tombées métalliques	●	●		●									Formation de gaz hydrogène.	EPA 600/2-80-076

Agent	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
Fluorures							●						Production de gaz fluorure d'hydrogène toxique et corrosif.	EPA 600/2-80-076
Halogénures non saturées	●												Hydratation exothermique catalysée par l'acide.	EPA 600/2-80-076
Isocyanates						●								EPA 600/2-80-076
Matières combustibles	●					●							Il peut y avoir une certaine formation de gaz toxique.	EPA 600/2-80-076
Matières organiques halogénées	●					●	●						Formation possible de vapeurs toxiques d'halogénures d'hydrogène.	EPA 600/2-80-076
Mercaptans				●		●	●						Décomposition possible.	EPA 600/2-80-076
Métaux toxiques										●			Par exemple As, Pb	EPA 600/2-80-076
Nitriles	●			●			●						Réaction exothermique dégageant du gaz cyanure d'hydrogène.	EPA 600/2-80-076
Nitrures	●			●			●						Production possible de gaz ammoniac.	EPA 600/2-80-076
Organophosphates	●					●							Formation possible de gaz toxiques.	EPA 600/2-80-076
Oxydants énergiques	●					●	●				●		Formation possible de gaz halogéné.	EPA 600/2-80-076
Peroxydes organiques	●		●			●							Décomposition explosive. Il peut aussi y avoir production d'oxygène.	EPA 600/2-80-076
Phénols et crésols	●					●								EPA 600/2-80-076
Poudres, vapeurs ou éponges métalliques	●		●	●							●		Formation de gaz hydrogène.	EPA 600/2-80-076
Réducteurs énergiques	●	●		●			●						L'hydrogène peut s'enflammer spontanément. Les phosphures métalliques et les sulfures inorganiques peuvent produire des vapeurs inflammables et très toxiques.	EPA 600/2-80-076
Sulfures				●			●						Production de gaz sulfure d'hydrogène.	EPA 600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

L'information fournie dans la présente section a été tirée d'ouvrages publiés. Pour éviter toute erreur d'interprétation, la formulation originale a été conservée en dépit de contradictions apparentes entre les différentes sources. Il faut souligner le fait que les mesures de lutte sont propres à chaque situation et que des conseils apparemment contradictoires peuvent s'avérer justes dans des cas particuliers. Les méthodes décrites ci-après ne doivent pas être interprétées comme des recommandations d'Environnement Canada.

9.1.1 **Danger d'incendie.** – L'acide phosphorique est un liquide non combustible; cependant, au contact de certains métaux, il peut produire du gaz hydrogène qui forme des mélanges inflammables dans l'atmosphère (NFPA, 1978). Le chauffage de l'acide phosphorique jusqu'à décomposition produit du pentoxyde de phosphore (Hooker MSDS, 1976). Les récipients exposés à la chaleur du feu peuvent exploser (ERG, 1980).

9.1.2 **Moyens d'extinction.** – L'acide phosphorique n'est pas combustible. La plupart des agents sont compatibles avec l'acide phosphorique; cependant, dans un incendie, il est recommandé de choisir les agents extincteurs en fonction des autres matières présentes.

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.3.1 **Information générale.** – Arrêter l'écoulement ou en réduire le débit, si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact cutané avec le produit ou toute inhalation des vapeurs (GE, 1977).

9.1.3.2 **Déversement sur le sol.** – Dans le cas de petits déversements, recouvrir l'aire touchée de bicarbonate de sodium ou d'un mélange de carbonate de sodium et de chaux éteinte. Mélanger et ajouter de l'eau si nécessaire pour former une bouillie. Ramasser cette bouillie à la pelle en vue de son élimination et nettoyer l'aire touchée avec une solution à base de carbonate de sodium (Ashland MSDS, 1980).

Lorsqu'une grande quantité de produit a été déversée, il faut tâcher de confiner la nappe à l'aide de barrières mécaniques ou chimiques pour empêcher le liquide de se répandre. Neutraliser l'acide déversé avec une matière alcaline comme du carbonate de sodium ou de la chaux. Cette dernière est préférable en raison de la faible solubilité du phosphate de calcium formé.

9.1.3.3 **Déversement dans l'eau.** – Confiner la nappe polluée si possible. Neutraliser avec de la chaux ou du bicarbonate de sodium (EPA 670/2-85-042). Le carbonate de calcium et le carbonate de sodium peuvent également être considérés comme des agents neutralisants (CG-D-38-76).

9.1.4 Nettoyage et traitement

9.1.4.1 **Information générale.** – Pour traiter l'eau polluée, il est recommandé de précipiter l'acide au moyen de chaux et ensuite de séparer les matières solides par gravité, puis de neutraliser les matières alcalines résiduaires par de l'acide chlorhydrique. Pendant la précipitation, on peut ajouter un polymère anionique pour faciliter la décantation des matières solides. Au

besoin, après le traitement à la chaux, on peut épurer l'eau par filtration sur milieu filtrant double pour en éliminer les matières solides; ensuite, celle-ci est neutralisée par de l'acide chlorhydrique avant d'être évacuée (EPA 600/2-77-227). L'élimination de l'acide phosphorique des eaux usées peut également se faire à l'aide de résine Dowex SBR-P (une résine à échange ionique) qui retient au moins 75 p. 100 de l'acide et qui peut être lavée à contre-courant avec de l'eau pour éliminer l'acide (Laney, 1975).

9.1.5 Élimination du polluant. – L'acide phosphorique usé ne doit jamais être rejeté dans les eaux de surface ni dans les égouts. Après neutralisation, les boues produites peuvent être enfouies sur les lieux mêmes ou éliminées dans une installation de traitement des déchets. L'acide phosphorique neutralisé avec de la chaux peut être utilisé comme engrais.

9.1.6 Appareils et vêtements de protection. – Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connus, il faut revêtir un scaphandre résistant aux agents chimiques.

Si le produit déversé est de l'acide phosphorique:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements étanches, des gants, des visières pare-acide (de 20 cm au minimum) et tout autre vêtement requis pour prévenir tout risque de contact cutané avec l'acide phosphorique liquide ou solide (NIOSH/OSHA, 1981);
- Des verres protecteurs sont recommandés s'il y a risque d'éclaboussures dans les yeux d'acide phosphorique solide ou liquide ou de solutions contenant de l'acide phosphorique (NIOSH/OSHA, 1981);
- Il est recommandé de porter des gants, des bottes et des tabliers en caoutchouc (GE, 1977);
- Les matériaux de fabrication des vêtements indiqués dans le tableau ci-dessous offrent un temps de protection d'environ 1 heure (Little, 1983):

Solution titrant	Matériau
Moins de 30 p. 100	Caoutchouc butyle, caoutchouc naturel, polyéthylène chloré, chlorure de polyvinyle et Viton
30 à 70 p. 100	Viton et néoprène
Plus de 70 p. 100	Caoutchouc butyle, néoprène, polyéthylène chloré, chlorure de polyvinyle et Viton

- Le PVC, le cloropel et le butyle sont considérés comme d'excellents matériaux (très résistants) pour la fabrication de vêtements de protection contre l'acide phosphorique (EE-20); le néoprène est jugé assez résistant;
- On doit trouver sur les lieux de l'intervention des bains oculaires automatiques et des douches à fort débit, faciles d'accès (GE, 1977);
- Les appareils de protection respiratoire suivants constituent la protection minimale recommandée pour le personnel travaillant en présence d'acide phosphorique (NIOSH/OSHA, 1978).

Protection minimale des voies respiratoires pour une teneur supérieure à 1 mg/m^3

Situation	Équipement*
Teneur des vapeurs ou des particules (brouillard) 50 mg/m^3 ou moins	Respirateur à filtre de particules à haute efficacité avec masque couvre-visage. Respirateur à adduction d'air avec masque couvre-visage, casque ou cagoule. Respirateur autonome avec masque couvre-visage.
2000 mg/m^3 ou moins	Respirateur à adduction d'air de type C avec masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique ou avec masque couvre-visage, casque ou cagoule pulmo-commandé/à débit constant.
> 2000 mg/m^3 ou pénétration et évacuation d'urgence dans les cas de teneurs inconnues	Respirateur autonome avec masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique. Respirateur combiné comprenant un appareil à adduction d'air de type C, avec masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression, alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique ou pulmo-commandé/à débit constant et un appareil auxiliaire pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique.
Lutte contre un incendie	Respirateur autonome avec masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique.

* Seuls les appareils homologués par le NIOSH ou la OSHA doivent être utilisés.

9.1.7 Entreposage. – Entreposer les solutions titrant 85 p. 100 d'acide phosphorique dans un endroit où la température est supérieure à 21 °C, les solutions titrant 80 p. 100 à plus de 4 °C et les solutions titrant 75 p. 100, à plus de -18 °C, pour prévenir la cristallisation. (Les solutions d'acide phosphorique passent normalement en surfusion sans cristallisation, mais cet effet est imprévisible.) Les acides phosphoriques doivent être entreposés dans un endroit propre, bien aéré et bien drainé, loin des matières réactives, des poudres métalliques, etc. Du carbonate de sodium ou de la chaux doit être gardé dans cet endroit, en cas d'urgence. La corrosion de l'équipement et des surfaces doit être prise en considération dans les endroits où il y a de l'acide phosphorique chaud ou "en brouillard" (GE, 1977).

9.2 Équipement, techniques et produits spécialisés d'intervention

Les articles suivants sont mentionnés dans une étude antérieure (Dillon, 1982) et ne doivent pas être considérés comme les seuls appareils, matériaux ou systèmes spécialisés disponibles. Des précisions sur les spécifications, la performance et la disponibilité de ces articles peuvent être trouvées dans l'étude précitée.

Pompes pour les liquides	U.S. Coast Guard ADAPTS
Sorbant	Hazorb

10 CAS DE DÉVERSEMENT ACCIDENTEL

10.1 Information générale

Le présent chapitre expose un cas d'accident. Il donne des renseignements qui permettent au lecteur de mieux comprendre le processus d'intervention et les mesures de lutte que requiert un déversement accidentel. Le cas rapporté ici a été choisi en fonction de certains critères; il ne faut pas voir dans le nombre de cas décrits une indication relative à l'ampleur ou à la fréquence des déversements.

Lorsqu'il y aura une nouvelle édition du présent guide, les auteurs procéderont à une mise à jour qui permettra d'intégrer au présent chapitre toute nouvelle information pertinente qui rendra compte du progrès des techniques d'intervention.

10.2 Déraillement de wagons-citernes (HMIR, 1981)

Lorsqu'un train a déraillé près d'une zone urbaine, un des cinq wagons-citernes ayant quitté la voie a été perforé et a déversé environ 114 000 litres d'acide phosphorique. L'équipe d'intervention est arrivée sur les lieux de l'accident et a confiné le produit déversé. L'acide récupéré a été éliminé dans un site d'enfouissement local, où il a été jeté dans une fosse chemisée de chaux. D'autre chaux a été ajoutée jusqu'à ce que le mélange se solidifie. Le mélange a ensuite été épandu sur un champ avoisinant comme engrais.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

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

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. 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 (analyse quantitative)

11.1.1 Colorimétrie. – La présente méthode (NIOSH, 1977) permet de doser l'acide phosphorique présent dans l'air (en brouillard ou aérosol) à des teneurs variant de 0,47 à 1,93 mg/m^3 (0,12 - 0,48 ppm).

Un volume d'air déterminé est aspiré à travers un filtre d'ester cellulosique de 37 mm, à pores de 0,8 μm, placé dans un porte-filtre à cassette de trois pièces. Un échantillon de 90 litres prélevé à un débit de 1,5 l/mn est recommandé.

Le filtre échantillon est transféré dans un bécher de 125 ml à l'aide d'une paire de pincettes. Un volume de 10 ml d'eau est ajouté et le bécher est recouvert d'un verre de montre et ensuite placé dans un bain-marie pendant 10 minutes. Le liquide est décanté du bécher dans une fiole jaugée de 50 ml et on répète l'opération avec un autre volume d'eau de 10 ml. L'intérieur du bécher est rincé avec une quantité additionnelle de 5 ml d'eau qui est versée dans la fiole.

On ajoute à la fiole un volume de 5 ml d'une solution de molybdate de sodium préparée en dissolvant 25 g de molybdate de sodium dihydraté dans 1 l d'acide sulfurique 10 *N*. On ajoute également 2 ml de sulfate d'hydrazine préparé en dissolvant 1,5 g de sulfate d'hydrazine dans un litre d'eau distillée.

Le contenu de la fiole jaugée est mélangé et dilué à 50 ml. La fiole est immergée dans un bain-marie maintenu à ébullition pendant 10 minutes, retirée et refroidie rapidement à température ambiante.

L'absorbance est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre adéquat réglé à 830 nm, utilisant des cuves compatibles de 1 cm et un blanc de réactif. L'acide phosphorique est dosé quantitativement à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

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

Un échantillon est prélevé et extrait comme en 11.1.1. Une portion de 1 ml de solution décantée de la première ou de la deuxième portion de 10 ml est placée dans un bécher. Un

volume de 5 ml d'acide nitrique concentré est ajouté et le mélange est évaporé sous une hotte de laboratoire jusqu'à 1 ml. Un volume de 2 ml d'eau est ajouté et le mélange est transféré dans une éprouvette. Un volume de 1 ml de nitrate d'ammonium 1 *M* et 2 ml de molybdate d'ammonium 0,5 *M* sont ajoutés. La solution est chauffée jusqu'à ébullition. La formation d'un précipité jaune de phosphomolybdate d'ammonium indique la présence de phosphate (Welcher, 1955).

11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Colorimétrie. – La présente méthode (AWWA, 1981) permet de doser l'acide phosphorique présent dans l'eau à des teneurs variant de 1 à 20 mg/l (ppm).

Un échantillon représentatif minimal de 1 litre est prélevé dans un contenant en verre qui a été lavé avec de l'acide chlorhydrique dilué. Si le pH de l'échantillon est inférieur à 4, une portion de 50 ml de l'échantillon est diluée à 150 ml dans une fiole jaugée avec de l'eau distillée. Si l'échantillon a une coloration excessive, un volume de 50 ml est agité avec 200 g de charbon actif pendant 5 minutes et ensuite filtré sur un papier filtre Whatman 42 pour en éliminer le carbone.

Une portion de 35 ml ou moins de l'échantillon est déversée dans une fiole jaugée de 50 ml. Un volume de 10 ml de réactif vanadate-molybdate est ajouté et le volume est complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. Le réactif vanadate-molybdate est préparé en deux étapes. La solution de molybdate est préparée en dissolvant 25 g de molybdate d'ammonium tétrahydraté dans 300 ml d'eau distillée. La solution de vanadate est préparée en dissolvant 1,25 g de métavanadate d'ammonium et en chauffant jusqu'à ébullition dans 300 ml d'eau distillée. Le mélange est refroidi et 330 ml d'acide chlorhydrique concentré sont ajoutés. On laisse le mélange refroidir et cette solution est combinée avec la solution de molybdate de façon à obtenir un volume total de 1 litre.

On laisse reposer l'échantillon traité pendant 10 minutes; l'absorption est ensuite déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre adéquat réglé à 400 nm, utilisant des cuves compatibles de 1 cm. Un dosage du blanc doit également être fait. La teneur en phosphate est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

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

L'échantillon est prélevé comme en 11.3.1. Une portion de 1 ml de l'échantillon est versée dans un bécher. Un volume de 5 ml d'acide nitrique concentré est ajouté et le mélange est évaporé jusqu'à 1 ml sous une hotte de laboratoire. Un volume de 2 ml d'eau est ajouté et le mélange est versé dans une éprouvette. Un volume de 1 ml de nitrate d'ammonium 1 *M* et 2 ml de molybdate d'ammonium 0,5 *M* sont ajoutés. La solution est chauffée jusqu'à ébullition. La formation d'un précipité jaune de phosphomolybdate d'ammonium indique la présence de phosphate (Welcher, 1955).

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Colorimétrie. – La présente méthode (Hesse, 1972) permet de doser l'acide phosphorique présent dans le sol à des teneurs variant de 0 à 20 ppm.

Un échantillon de 1 g de sol (granulométrie de 0,5 mm) est placé dans un tube à centrifugeur et mélangé avec 10 ml d'acide chlorhydrique concentré. Cette solution est chauffée dans

un bain-marie pendant 10 minutes et un volume additionnel de 10 ml d'acide chlorhydrique concentré est ajouté. On laisse ensuite reposer à température ambiante pendant 60 minutes, on ajoute 50 ml d'eau et le tout est placé dans le centrifugeur.

La solution est décantée dans une fiole jaugée de 250 ml et complétée jusqu'au trait de jauge. Une portion adéquate de la solution est versée dans une fiole jaugée de 50 ml et 5 ml d'acide perchlorique à 60 p. 100 sont ajoutés. On ajoute de l'eau de façon à obtenir un volume total de 30 ml et l'on ajoute 5 ml d'une solution de vanadate d'ammonium. S'il y a formation d'un précipité dans la solution de l'échantillon, il faut le filtrer. La solution de vanadate d'ammonium est préparée en dissolvant 2,345 g de vanadate d'ammonium anhydre dans 400 ml d'eau chaude, en ajoutant 17 ml d'acide perchlorique à 60 p. 100 et en diluant avec de l'eau jusqu'à 1 litre. Le traitement de l'échantillon se poursuit avec l'addition de 5 ml d'une solution de molybdate d'ammonium dans la fiole jaugée de 50 ml. La solution de molybdate d'ammonium est préparée en dissolvant 25 g de molybdate d'ammonium dans 400 ml d'eau à 50 ^{o}C, en refroidissant et en filtrant au besoin. Le volume est porté à 500 ml et la solution est versée dans une bouteille de verre ambré.

La solution d'échantillon est diluée avec de l'eau jusqu'à 50 ml. On laisse la coloration se développer pendant 30 minutes. L'absorption est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre adéquat réglé à 470 nm, utilisant des cuves de verre compatibles de 1 cm. Le dosage d'un blanc doit également être fait. La teneur en phosphate est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

Ashland MSDS 1980: Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, "Phosphoric Acid (85%)", Columbus, OH, (March, 1980).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario, (not dated).

AWWA 1981: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 424D (1981).

Bailar 1973: Bailar, J.C. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, New York, NY (1973).

Barber 1974: Barber J.C., "Phosphoric Acid Storage and Containment at Fertilizer Plants", Prevention, pp. 130-134 (1974).

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

CCD 1977: Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

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

* CCPA 1983: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (1983).

CG-D-38-76: Bauer, W.H., D.N. Borton, 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, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

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

Corpus 1984: Corpus Information Services Ltd., "Phosphoric Acid", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (January 15, 1984).

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

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

* Publié également en français.

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

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

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

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

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

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens, and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (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, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

Erco PD: Erco Industries Ltd., Product Data, Islington, Ontario (not dated).

Erco POPA 1981: Erco Industries Ltd., Properties of Phosphoric Acid, Islington, Ontario (1981).

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

FKC 1975: Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

GE 1977: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Phosphoric Acid", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (September, 1977).

GE 1979: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY (August, 1979).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

GPP: Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 294-296 (1972).

HMIR 1981: World Information Systems, "Spillwatch Kentucky", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4 (20 March 1981).

* Publié également en français.

Hooker MSDS 1976: Hooker Chemicals and Plastics Corp., Material Safety Data Sheet, "Phosphoric Acid", Niagara Falls, NY (December, 1976).

ICI 1982: Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

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. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, second edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Kirk-Othmer 1982: Grayson, M. and D. Eckroth, (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 17, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1982).

Laney 1975: Laney, L.E., F.A. Steward and J.H. West, Pilot Plant Optimization of Phosphoric Acid Recovery Process, Laney Laboratories for U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-015 (1975).

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

Linke 1958: Linke, W.F., Solubilities of Inorganic and Metal-Organic Compounds, American Chemical Society, Washington, DC (1958).

Little 1983: Little, A.D. (ed.), Relationship Between Organic Pollution of Fresh Water and Health, A.D. Little Inc., Cambridge, MA (1983).

MCA 1958: Manufacturing Chemists Association, Phosphoric Acid, Washington, DC (1958).

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

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, seventh edition, Boston, MA (1978).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 3, S. 333, Cincinnati, OH (April, 1977).

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 Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

* Publié également en français.

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Patty 1981: Clayton, G.D. and F.E. Clayton, (eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario (1981).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transport of Dangerous Commodities by Rail, Ottawa, Ontario (1974).

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

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Sax 1984: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, sixth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

Sherritt MSDS 1976: Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta (1976).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Takala 1978: Takala, M.I., Destroying the Foliage of Peas, Beans, Beets, Turnips, as Well as Weeds by Phosphoric Acid Spraying Before Harvesting, Gere, Offen, Patent No. 2820359 (1978).

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

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

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

Temple 1978: Temple, R.E. et al., "A New Universal Sorbent for Hazardous Spills", Proceedings of 1978 National Conference on Control of Hazardous Materials (1978).

TLV 1983: 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 1983, Cincinnati, OH (1983).

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

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

* Publié également en français.

US DHEW 1970: Atmospheric Emissions from Wet-Process Phosphoric Acid Manufacture, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Raleigh, NC (1970).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario (November, 1978).

Welcher 1955: Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, p. 458 (1955).

WQC 1963: McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (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 1983, Cincinnati, OH (1983).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 424D (1981).

Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, "Phosphoric Acid (85%)", Columbus, OH (March, 1980).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

Atmospheric Emissions from Wet-process Phosphoric Acid Manufacture, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Raleigh, NC (1970).

Bailar, J.C. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, New York, NY (1973).

Barber J.C., "Phosphoric Acid Storage and Containment at Fertilizer Plants", Prevention, pp. 130-134 (1974).

Bauer, W.H. 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, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, unedited version (not dated).

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

* The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (1983).

* Publié également en français.

* Canadian Transport Commission, Regulations for the Transport of Dangerous Commodities by Rail, Ottawa, Ontario (1974).

Clayton, G.D. and F.E. Clayton, (eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, third revised edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Phosphoric Acid", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (January 15, 1984).

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

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

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Erco Industries Ltd., Product Data, Islington, Ontario (not dated).

Erco Industries Ltd., Properties of Phosphoric Acid, Islington, Ontario (1981).

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

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Phosphoric Acid", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (September, 1977).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY (August, 1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Grayson, M. and D. Eckroth, (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 17, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1982).

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

Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 294-296 (1972).

Hooker Chemicals and Plastics Corp., Material Safety Data Sheet, "Phosphoric Acid", Niagara Falls, NY (December, 1976).

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

* Publié également en français.

Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

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

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Laney, L.E., F.A. Steward and J.H. West, Pilot Plant Optimization of Phosphoric Acid Recovery Process, Laney Laboratories for U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-015 (1975).

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

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

Linke, W.F., Solubilities of Inorganic and Metal-Organic Compounds, American Chemical Society, Washington, DC (1958).

Little, A.D. (ed.), Relationship Between Organic Pollution of Fresh Water and Health, A.D. Little Inc., Cambridge, MA (1983).

Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

Manufacturing Chemists Association, Phosphoric Acid, Washington, DC (1958).

McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, seventh edition, Boston, MA (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 3, S. 333, Cincinnati, OH (April, 1977).

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

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario (November, 1978).

* Publié également en français.

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

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

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, sixth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

Sherritt Gordon Mines Ltd., Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta (1976).

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

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Stull, D.R. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, second edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

Takala, M.I., Destroying the Foliage of Peas, Beans, Beets, Turnips, as Well as Weeds by Phosphoric Acid Spraying Before Harvesting, Gere, Offen, Patent No. 2820359 (1978).

Temple, R.E. et al., "A New Universal Sorbent for Hazardous Spills", Proceedings of 1978 National Conference on Control of Hazardous Materials (1978).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medecine, Washington, DC (1981).

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

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

Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (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 Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

* Publié également en français.

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

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

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

Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, p. 458 (1955).

World Information Systems, "Spillwatch Kentucky", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4 (20 March 1981).