



Environnement
Canada

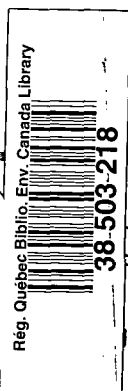
Environment
Canada

Service de la
protection de
l'environnement

Environmental
Protection
Service

Utilisation expérimentale de l'huile usée comme combustible dans la fabrication du ciment

TD
182
R46
4-WP-75-1F



ment des techniques
PS 4-WP-75-1F

générale de la lutte contre la pollution des eaux

SÉRIE DE RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les rapports sur la recherche technique décrivent des appareils et des procédés techniques et les résultats d'expériences de démonstration et d'évaluation de l'équipement en laboratoire ou dans des usines pilotes. Ces rapports sont une source centrale de renseignements sur les activités de recherche et de démonstration du Service de la protection de l'environnement.

Le Service compte d'autres séries de rapports : règlements, codes et méthodes d'analyse; politiques et planification; analyse économique et technique; surveillance; guides de formation; exposés et mémoires présentés à des enquêtes publiques; évaluations et effets environnementaux.

Prière d'envoyer toute demande de renseignements ayant trait aux rapports du Service à l'adresse suivante : Service de la protection de l'environnement, ministère de l'Environnement, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0H3.

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE REPORT SERIES

Technology Development Reports describe technical apparatus and procedures, and results of laboratory, pilot plant, demonstration or equipment evaluation studies. They provide a central source of information on the development and demonstration activities of the Environmental Protection Service.

Other categories in the EPS series include such groups as Regulations, Codes and Protocols; Policy and Planning; Economic and Technical Review; Surveillance; Briefs and Submissions to Public Inquiries; and Environmental Impact and Assessment.

Inquiries pertaining to Environmental Protection Service Reports should be directed to the Environmental Protection Service, Department of the Environment, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0H3.

TD
182
R46
No. 4-WP-75-1F

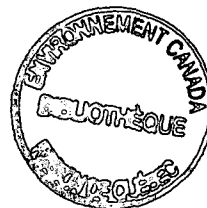
Utilisation expérimentale de l'huile usée comme combustible dans la fabrication du ciment

E. E. Berry
(Ontario Research Foundation)

L. P. MacDonald
(La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

et

D. J. Skinner
(Environnement Canada)



Publication distribuée par
le Service de la protection de l'environnement
du ministère des Pêches et de l'Environnement
Ottawa
K1A 0H3



Édition française de
Experimental Burning of Waste Oil as a Fuel in Cement Manufacture
préparée par le Module d'édition française
du ministère des Pêches et de l'Environnement

©
Ministère des Approvisionnements et Services
1979

Numéro de catalogue : EN 43-4/75-1F
ISBN 0-662-02004-9

Remerciements

Nous aimerions remercier les personnes et les organismes mentionnés ci-dessous qui ont participé à la réalisation de ces travaux de recherche.

ENVIRONNEMENT CANADA

M. W.A. Neff (Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, S.P.E.), pour son travail de coordination et son aide précieuse dans la mise au point des modalités d'application du programme.

M. J. Robert (Direction générale de la lutte contre la pollution atmosphérique, S.P.E.), pour ses conseils très utiles en matière d'échantillonnage et son évaluation critique des résultats obtenus.

MM. L. Monkman, L. Dubois, A. Zrojewski, J. Piquette et le D^r C. Pupp (Direction générale de la lutte contre la pollution atmosphérique, S.P.E.), pour avoir analysé nos échantillons à la cheminée et commenté nos méthodes d'analyse et leurs résultats.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ONTARIO

D^r F. Frantisak et son personnel, pour leur aide dans la planification du programme et l'analyse des résultats.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES

M. P. Strigner, pour ses renseignements sur les constituants de l'huile usagée et sa collaboration en matière d'analyse des échantillons.

CANADIEN NATIONAL

M. P. Berthiaume, pour les analyses des huiles usées.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION

D^r W.F. Mivelaz, pour ses commentaires sur les techniques d'analyse des matières contenues dans le ciment.

FOURNISSEURS D'HYDROCARBURES

Nous devons remercier M. N. Emery de Bruyn's Pumping Service et MM. L.S. Schofield et F.L. de Vries de Canam Oil Services pour l'approvisionnement en huiles usées.

LA COMPAGNIE DES CIMENTS DU ST-LAURENT

MM. L. Kraszewski et J. Laneuville, pour leurs directives et leurs conseils ainsi que M. G.E. Munro qui a trouvé les hydrocarbures nécessaires.

MM. D. Bartholomew et E. Smith pour leur travail d'analyse.

IV

ONTARIO RESEARCH FOUNDATION

D^r F.J. Hopton et son personnel, responsables de l'échantillonnage des émissions.

M.E. Niskanen et son personnel, chargés des analyses de fluorescence X.

RÉSUMÉ

Un programme expérimental a été réalisé à La Compagnie des Ciments du St-Laurent (C.C.S.L.) de Mississauga (Ontario); 330 000 gallons d'huile de graissage usée ont été brûlés avec d'autres combustibles dans un four servant à la fabrication du ciment par voie sèche. Le procédé à l'essai comportait l'utilisation d'une tour de préchauffage double à quatre étages pourvue d'un système de dérivation. L'huile employée provenait surtout de la vidange des carters d'automobile, et elle contenait approximativement 0,6 p. 100 de plomb, 0,15 p. 100 de brome, 0,1 p. 100 de zinc et 0,1 p. 100 de phosphore.

En cours d'essai, les émissions de plomb, de zinc et de phosphore dues aux gaz de sortie du four n'ont pas semblé augmenter. Une faible réduction des émissions de particules a été notée ainsi qu'une faible augmentation des émissions de bromures.

Un bilan matière a été établi pour le Pb, le Br, le Zn, et le P afin de confirmer les données sur les émissions. Ces bilans ont démontré que ces éléments demeuraient dans les matières solides. Le plomb, le zinc et le phosphore et une partie du brome ont été retenus dans le clinker; la plus grande partie du brome a été retenue dans la poussière du dépoussiéreur installé dans le système de dérivation.

ABSTRACT

An experimental program was carried out at the St. Lawrence Cement Company Limited, Mississauga, Ontario, in which 330 000 gallons of used lubricating oil were burned as a portion of the total fuel requirement for a dry-process cement kiln. The system tested uses a dual four-stage preheater with a by-pass. The oil was primarily composed of automotive crankcase drainings and contained approximately 0,6 percent lead, 0,15 percent bromine, 0,1 percent zinc and 0,1 percent phosphorus.

Lead, zinc and phosphorus emissions in the kiln exhaust gases were not found to be increased during waste oil burning. A small reduction in particulate emissions was found during waste oil burning. A small increase in bromide emissions was also found to occur.

A material balance was carried out for Pb, Br, Zn and P to confirm the emission data. It indicated that these elements were retained in the process solids. Lead, zinc, phosphorus and some of the bromine were retained in the cement clinker. Most of the bromine was retained in the collected dust from the precipitator on the by-pass system.

Aperçu

La saine élimination des huiles de graissage usées, compte tenu des divers impératifs d'ordre écologique et sanitaire, présente un problème sérieux. Il s'est vendu au Canada quelque 188 millions de gallons d'huile de graissage en 1972 et, le volume de vente ayant encore augmenté depuis, le problème est de plus en plus inquiétant.

Les vieilles méthodes d'élimination, l'épandage d'huile sur les routes par exemple, furent toujours employées sans beaucoup d'égards pour les incidences écologiques. Pourtant, les huiles de graissage usées qu'on utilise pour lutter contre la poussière n'adhèrent aux routes que dans la proportion de 1 p. 100 seulement; le reste, avec toute sa charge polluante, est rejeté dans le milieu environnant.

En juin 1974, Environnement Canada publiait un rapport ⁽¹⁾ descriptif et quantitatif consacré à ce problème des huiles de graissage usées dans le contexte canadien. Il démontrait à la fois le gaspillage d'une ressource non renouvelable et l'ampleur des dangers de pollution dus aux méthodes d'élimination les plus répandues.

Le recyclage semblerait, au premier abord, la meilleure solution, mais des raisons économiques et autres limitent la récupération de ces huiles à une faible proportion de la production annuelle. Certaines sociétés ferroviaires font effectuer un second raffinage des huiles de graissage pour moteurs diesels.

Parmi les méthodes d'élimination les plus prometteuses mentionnées dans ce rapport, citons l'emploi de l'huile de graissage usée avec d'autres combustibles, pour la fabrication du ciment. Selon les études préliminaires, les substances toxiques pourraient alors être piégées dans le clinker, ce qui assurerait à la fois une source de combustible et une utilisation acceptable du point de vue écologique.

Un important essai a été effectué du 23 mars au 30 mai 1974 avec, entre autres combustibles, de l'huile de graissage usée brûlée dans un four rotatif (procédé sec) muni d'une tour de préchauffage à quatre étages et d'un dépoussiéreur électrostatique. Cet essai fut mené sous la surveillance d'Environnement Canada, du ministère de l'Environnement de l'Ontario et de l'Ontario Research Foundation (O.R.F.). Il permet de conclure que le volume d'émissions toxiques introduit dans l'atmosphère est négligeable. En fait, le volume total des particules émises lors de l'utilisation d'un mélange d'huile de graissage usée et de mazout lourd n° 6 était un peu inférieur à ce qu'on obtient normalement.

Comme la qualité du ciment produit au cours de l'essai n'a pas été modifiée de façon notable, la combustion de l'huile de graissage usée semble donc fort avantageuse. La proximité habituelle des fours à ciment et des régions urbaines canadiennes, où l'on trouve ces huiles en abondance, constitue un autre avantage, les frais de transport et de cueillette se trouvant ainsi diminués. L'étude permet donc de conclure que la combustion des huiles usées dans un four à ciment constitue une solution acceptable à cet épineux problème d'élimination des déchets.

Table des matières

Remerciements	III
Résumé/Abstract	V
Aperçu	VI
Liste des tableaux	IX
Liste des figures	XIII
Sommaire	XIV
Recommandations	XVI
1 INTRODUCTION	1
2 FABRICATION DU CIMENT	2
2.1 Principes généraux.	2
2.2 La Compagnie des Ciments du St-Laurent – procédé sec.	3
Eléments importants	5
3 CONTAMINANTS DES HUILES USÉES ET ÉLÉMENTS CHOISIS POUR L'ÉTUDE	6
4 COMMENTAIRES.	8
4.1 Emissions.	8
4.2 Bilan matière	13
4.2.1 Signification du bilan matière	14
4.2.2 Rétenion de plomb.	17
4.2.3 Rétenion de phosphore et de zinc	17
4.2.4 Rétenion de brome.	18
4.2.5 Contaminants mineurs des huiles usées	18
4.3 Qualité du ciment	19
4.4 Éléments à l'état de traces dans le ciment Portland hydraté	20
4.5 Extrapolation des observations à d'autres types de fours.	21
4.6 Analyse comparée de la combustion dans le four à ciment et des autres méthodes d'élimination de l'huile usée	23
5 CONCLUSION	27

VIII

Références	28
Annexe A : Mesure, échantillonnage et analyse des matières entrant dans le procédé de fabrication	31
Annexe B : Résultats et calculs	59
Annexe C : Etude des propriétés du ciment	117
Annexe D : Description du système de manutention de l'huile utilisée	125
Annexe E : Rapport sur les analyses d'échantillons à la cheminée à La Compagnie des Ciments du St-Laurent	131
Annexe F : Fabrication du ciment Portland	139
Annexe G : Dispersion des polluants atmosphériques	147

Liste des tableaux

1	Composition des matières premières généralement utilisées dans la fabrication du ciment	2
2	Températures (approx.) requises pour les différents procédés de fabrication du ciment	3
3	Caractéristiques générales des huiles de graissage usées	6
4	Facteurs d'émissions des fours des cimenteries canadiennes, 1970.	8
5	Données d'ensemble sur les émissions	9
6	Taux d'émissions.	10
7	Comparaison des analyses du cru et des particules émises par le préchauffeur : Pb, Br, Zn et P	12
8	Concentrations maximales de particules au niveau du sol (C.A.S.)	13
9	Bilans matières cumulatifs.	15
10	Comparaison des bilans matières cumulatifs	16
11	Pressions de vapeur des composés choisis	17
12	Augmentation, dans le clinker, des oxydes provenant des huiles usées	19
13	Comparaison des émissions de plomb durant la combustion de l'huile usée à La Compagnie des Ciments du St-Laurent avec celles produites par d'autres types de combustion	25
A.1	Liste des matières analysées et des quantités normales (approximatives) employées pour la fabrication	33
A.2	Poids du clinker, le 1 ^{er} mai 1974	37
A.3	Calendrier des tests d'émission	39
A.4	Pertes d'intensité de fluorescence de rayons X (FX) lors de la fusion des matières solides de la tour de conditionnement avec du tétraborate de lithium	44
A.5	Solutions mères normales	46
A.6	Données sur les moindres carrés pour la préparation des courbes d'étalonnage (O.R.F.).	46
A.7	Données sur les moindres carrés pour la préparation des courbes d'étalonnage (C.C.S.L.).	47
A.8	Facteurs d'étalonnage des solutions utilisées pour tracer la courbe d'étalonnage (i/s, pourcentage)	47
A.9	Mode d'utilisation des instruments	50
A.10	Limites inférieures de détection	51
A.11	Influence de la sédimentation sur l'intensité nette de la fluorescence de rayons X dans les huiles usées	51

A.12	Provenance des substances de normalisation servant aux analyses d'huiles usées.	52
A.13	Facteurs d'étalonnage et limites de détection valables pour l'analyse des huiles	54
A.14	Mode d'utilisation des instruments pour l'analyse des huiles usées.	54
A.15	Mode d'utilisation des instruments pour l'analyse des dépôts dans les filtres	56
A.16	Données sur les moindres carrés pour le calcul des facteurs d'étalonnage s'appliquant à l'analyse des dépôts des filtres	56
A.17	Mode d'utilisation des instruments lors de l'analyse du Br en solution	57
B.1	Comparaison des résultats d'analyses des éléments contenus dans le cru effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent	64
B.2	Comparaison des résultats d'analyses des éléments contenus dans le clinker effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent.	65
B.3	Comparaison des résultats d'analyses des matières solides provenant de la tour de conditionnement effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent	66
B.4	Comparaison des résultats d'analyses de la poussière provenant du système de dérivation effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent	67
B.5	Analyses de l'huile usée	68
B.6	Résultats des analyses d'échantillons de cru (La Compagnie des Ciments du St-Laurent)	69
B.7	Résultats des analyses d'échantillons de clinker (La Compagnie des Ciments du St-Laurent).	71
B.8	Résultats des analyses d'échantillons de matières solides provenant de la tour de conditionnement (La Compagnie des Ciments du St-Laurent)	73
B.9	Résultats des analyses d'échantillons de poussière provenant du système de dérivation (La Compagnie des Ciments du St-Laurent)	75
B.10	Chiffres quotidiens de production et de consommation de matières.	77
B.11	Bilan matière du plomb (données de l'Ontario Research Foundation)	80
B.12	Bilan matière du brome (données de l'Ontario Research Foundation)	81
B.13	Bilan matière du zinc (données de l'Ontario Research Foundation)	82
B.14	Bilan matière du phosphore (données de l'Ontario Research Foundation).	83
B.15	Bilan matière du plomb (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent)	84
B.16	Bilan matière du brome (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent)	86
B.17	Bilan matière du zinc (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent)	88
B.18	Bilan matière du phosphore (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent).	90
B.19	Cheminée N.-O. : essai du 11 au 15 mars 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)	92

B.20	Cheminée N.-E. : essai du 11 au 15 mars 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)	93
B.21	Cheminée S.-E. : essai du 11 au 15 mars 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)	94
B.22	Cheminée N.-O. : essai du 22 avril au 2 mai 1974. Combustibles : huile usée et mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)	95
B.23	Cheminée N.-E. : essai du 22 avril au 2 mai 1974. Combustibles : huile usée et mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)	96
B.24	Cheminée S.-E. : essai du 22 avril au 2 mai 1974. Combustibles : huile usée et mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)	97
B.25	Cheminée N.-O. : essai du 29 et du 30 mai 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)	98
B.26	Cheminée N.-E. : essai du 29 et du 30 mai 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde).	99
B.27	Cheminée S.-E. : essai du 29 et du 30 mai 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde).	100
B.28	Données sur les émissions de particules	101
B.29	Données sur les émissions de plomb	103
B.30	Données sur les émissions de brome	105
B.31	Données sur les émissions de zinc	107
B.32	Données sur les émissions de phosphore.	109
B.33	Volume total de brome dans le filtre (en μg de Br), calculé à partir de l'intensité nette obtenue par l'analyse par fluorescence de rayons X (FX) des filtres de la cheminée S.-E.	111
B.34	Analyses par fluorescence de rayons X des matières solides du filtre. Données de l'Ontario Research Foundation	112
B.35	Analyses par fluorescence de rayons X des matières solides des échantillons. Données de l'Ontario Research Foundation	113
B.36	Analyses chimiques par fluorescence de rayons X (FX) et par absorption atomique (AA) des solutions de l'impinger. Données de l'Ontario Research Foundation.	114
B.37	Analyses par fluorescence de rayons X des solutions de rinçage. Données de l'Ontario Research Foundation	115
C.1	Propriétés du ciment	120
E.1	Teneur en plomb de chaque filtre	135
E.2	Teneur en zinc de chaque filtre	136

E.3	Brome : intensités nettes de rayons X et teneurs dans chaque filtre	138
F.1	Matières premières du ciment.	142
F.2	Composition type en oxydes de la matière première servant à la fabrication du ciment	142
F.3	Compositions types	144
G.1	Catégories de stabilité de Pasquill	148

Liste des figures

1	Principe de la tour de préchauffage Fuller-Humboldt	4
A.1	Cheminement des matières premières	34
A.2	Dispositif d'échantillonnage.	41
B.1	Principe du bilan matière général	63
C.1	Détermination de la résistance en compression (après 1 jour)	121
C.2	Détermination de la résistance en compression (après 3 jours)	122
C.3	Détermination de la résistance en compression (après 7 jours)	123
C.4	Détermination de la résistance en compression (après 28 jours)	124
D.1	Schéma du cheminement de l'huile usée.	128

Sommaire

Dans un essai soigneusement contrôlé effectué en 1974 à La Compagnie des Ciments du St-Laurent à Mississauga (Ont.), on a brûlé 330 000 gallons d'huile de graissage usée dans le four d'une cimenterie utilisant le procédé par voie sèche. D'autres combustibles ont aussi concurremment été utilisés. Il s'agissait de déterminer si ce four (dont on connaît déjà l'efficacité en ce qui concerne l'élimination du soufre des gaz de combustion) pourrait brûler l'huile usée sans polluer l'atmosphère.

L'huile, qui provenait de la vidange des carters d'automobile, contenait en moyenne 0,6 p. 100 de plomb, 0,15 p. 100 de brome, 0,1 p. 100 de zinc et 0,1 p. 100 de phosphore.

On sait que les huiles usées des automobiles, brûlées dans les chaudières ou les fours à mazout conventionnels, causent un rejet de plomb dans l'atmosphère, la moitié environ par combustion normale et le restant, au moment du soufflage de la suie. Même si on ne connaît pas exactement l'importance des autres émissions de polluants, on peut supposer que leur rejet total se fait également dans l'atmosphère si on utilise des fours conventionnels. De la même façon, l'emploi de ces huiles sur les routes, contre la poussière, introduit des agents polluants directement dans le milieu.

Les émissions atmosphériques ont été mesurées avant, pendant et après un essai de combustion d'huile usée dans un four à ciment. Selon les données obtenues, la combustion de ces huiles, dans un four équipé d'une tour de préchauffage, n'augmente pas le volume de plomb, de zinc et de phosphore émis dans l'atmosphère. Par contre, de faibles émissions de brome (sous forme de bromure probablement) lui ont été attribuées.

Par contraste avec ce qui se produit dans les chaudières à mazout, cet essai a montré qu'en moyenne, les fours à ciment émettent seulement 0,03 p. 100 du plomb et 0,7 p. 100 du brome introduits avec les huiles usées.

Outre les émissions, on a aussi fait un bilan matière du plomb, du brome, du zinc et du phosphore, lequel a révélé qu'il y avait rétention de ces éléments dans les matières solides¹. Une bonne partie du plomb, du zinc et du phosphore a été retenue dans le clinker ainsi qu'un peu de brome. Presque tout le brome a été retenu, sous forme de bromure, dans les boulettes faites avec la poussière recueillie dans le dépoussiéreur électrostatique du système de dérivation.

Les données sur le bilan matière et sur les émissions atmosphériques que nous avons obtenues ont permis de montrer l'efficacité du four à ciment en matière d'épuration des gaz.

Par ailleurs, la combustion de l'huile usée n'a modifié en rien les propriétés hydrauliques du ciment.

1. Dans le présent texte, on entend par *matières solides* tout ce qui entre ou sort du four; elles comprennent donc le cru, les poussières du système de dérivation, les matières solides de la tour de conditionnement et le clinker. Les *matières premières*, par contre, comprennent les matières solides, le gypse et le combustible.

Ces huiles de graissage usées sont faciles à obtenir n'importe où, le volume disponible en un lieu ne dépendant que de la densité de la population en ce lieu. De même, la fabrication du ciment Portland s'effectue généralement à proximité des plus grosses agglomérations urbaines du Canada. Cette proximité offre des avantages, vu les économies réalisées en matière de transport.

Nous recommandons les huiles de graissage usées comme combustible dans les fours à ciment lorsque le contrôle des particules est suffisant et que la pollution atmosphérique est évitée. Cela semble un bon moyen de détruire cette forme de polluant tout en récupérant une source de chaleur utile et en conservant une *ressource naturelle non renouvelable*.

Recommandations

Cet essai de combustion de l'huile de graissage usée (avec d'autres combustibles) dans un four à ciment rotatif (procédé par voie sèche), muni d'un préchauffeur double à quatre étages et de dépoussiéreurs électrostatiques, n'a pas créé de pollution atmosphérique. Nos observations viennent à l'encontre de travaux déjà publiés sur la pollution atmosphérique causée par la combustion des huiles usées dans les chaudières et les fours à mazout conventionnels. Ils mentionnaient, pour le plomb, des émissions égales à 50 p. 100 du volume durant la combustion, le reste étant rejeté pendant le soufflage de la suie ⁽¹⁾.

Les recommandations découlant de notre rapport sont les suivantes :

a) On peut employer les huiles de graissage usées comme combustible dans les fours à ciment lorsque le contrôle des particules émises est suffisant. On évite ainsi la pollution atmosphérique. Cette combustion constitue un bon moyen de détruire cette forme de polluant tout en récupérant une source de chaleur utile et en conservant aussi une ressource naturelle non renouvelable.

b) Ce genre de combustion constitue une nette amélioration comparativement au brûlage dans les chaudières conventionnelles ou à l'épandage sur les routes d'huiles non traitées.

Cet essai ayant été réalisé avec un four (procédé par voie sèche) muni d'une tour de préchauffage, il faudrait en effectuer un autre du même genre, mais cette fois avec un four droit et long (procédé par voie sèche ou par voie humide) pour pouvoir appliquer aux autres types de fours les observations notées. Il suffirait alors, dans les prochaines études, de ne surveiller que les teneurs en plomb et en brome durant la fabrication du ciment.

1 Introduction

Les ventes d'huiles de graissage rapportées pour 1972 se sont chiffrées dans l'ensemble à environ 188 millions de gallons pour le Canada⁽¹⁾. Une fraction importante de la production, atteignant 80 millions de gallons, finit chaque année sous forme d'*huile usée* qu'il faut éliminer ou détruire. L'élimination des huiles usées, surtout quand il s'agit de l'huile des carters d'automobile contaminée par le plomb, le zinc, le phosphore et d'autres substances chimiques, pose un problème d'envergure nationale. L'idée d'employer les huiles contaminées comme combustible, tout en évitant de créer de la pollution, constitue certainement une bonne solution de rechange aux méthodes actuelles d'élimination. La fabrication du ciment Portland, qui exige une grande quantité d'hydrocarbures, se fait dans des usines généralement situées près des plus importantes agglomérations urbaines au Canada. La quantité d'huile usée disponible dans chaque région est fonction de la densité démographique. Si les huiles étaient utilisées comme combustible, dans les fours à ciment, on les éliminerait ainsi facilement sur place, étant donné que le coût de la cueillette et du transport vers le lieu d'élimination peut devenir onéreux dans un rayon supérieur à 150 milles.

Ce programme de recherche a été entrepris pour déterminer la possibilité d'utiliser les huiles usées dans un four à ciment muni d'une tour de préchauffage, sans occasionner de pollution atmosphérique. La méthode choisie a consisté à surveiller les émissions atmosphériques dues à certains contaminants des huiles usées. En guise de confirmation, on a également effectué un bilan matière des mêmes éléments.

2 Fabrication du ciment

2.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX

Le ciment Portland s'obtient par chauffage (cuisson) d'un mélange soigneusement proportionné (cru) de calcaire, de silice, d'alumine et d'oxyde de fer finement broyés. La décharge du four (clinker) contient un mélange chimiquement complexe de silicates de calcium, d'aluminates de calcium et de ferrites de calcium qui, une fois pulvérisés et mélangés à du sulfate de calcium, à raison de 2 p. 100 à 5 p. 100, se vend sous le nom de ciment Portland. L'annexe F contient une description plus détaillée de ce procédé de fabrication. Les matières premières habituelles ainsi que leur composition sont indiquées au tableau 1.

TABLEAU 1

Composition des matières premières généralement utilisées dans la fabrication du ciment

	Poids en pourcentages				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
Calcaire	5,7	0,8	0,3	52,0	0,4
Calcaire riche en silice	36,8	1,8	0,6	33,6	0,5
Calcaire à ciment	18,0	5,0	1,5	40,0	2,0
Schiste	53,8	18,9	7,7	3,2	2,2
Sable	70,0	15,0	5,0	0,8	0,2
Argile	61,0	16,9	12,4	0,5	0,4

Les principaux procédés de fabrication du ciment sont énumérés au tableau 2, où se trouvent aussi, de façon approximative, les températures requises. Les 80 millions de gallons d'huile de graissage usée qu'il faut éliminer permettraient de satisfaire 15 p. 100 environ des besoins en combustible de l'industrie canadienne du ciment, compte tenu d'un volume de production annuelle de 15×10^6 tonnes. La méthode qui demande les plus basses températures, le procédé sec, est basée sur l'emploi d'un four muni d'une tour de préchauffage. L'économie de combustible réalisée est due à la récupération de la chaleur dans le préchauffeur par les matières premières qui se déplacent à contre-courant des gaz chauds sortant du four rotatif [voir la sous-section 2.2.1 (b)].

Outre les oxydes du ciment (CaO, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃), les matières premières (farine brute ou farine crue) contiennent souvent certains autres éléments en faibles proportions. On y trouve, par exemple, de la magnésie (MgO) en pourcentage variable (tableau 1) : elle agit comme fondant et aide dans une certaine mesure à la cuisson; un excès de MgO n'est cependant pas souhaitable dans le produit fini, car il entraîne une expansion dommageable des ouvrages de béton. Le dosage requis est déterminé par les spécifications sur les matériaux, notamment ACNOR A-5 et ASTM C-150. On y trouve souvent aussi des alcalis

2.2 LA COMPAGNIE DES CIMENTS DU ST-LAURENT – PROCÉDÉ SEC

L'usine de la Compagnie des Ciments du St-Laurent à Clarkson, a une capacité de production nominale de 1 750 000 tonnes courtes par année. Deux fours utilisent le procédé par voie humide, et un four, le procédé par voie sèche. Pour notre essai, nous avons employé le four à procédé par voie sèche, où les matières reçoivent un traitement différent de celui qui est donné dans les fours à procédé par voie humide jusqu'à l'étape du stockage et du broyage du clinker. Des renseignements généraux sur cette société et l'usine ont déjà été publiés dans deux articles (5, 6).

TABLEAU 2
Températures (approx.) requises pour les différents procédés de fabrication du ciment

	kcal/kg	BTU/lb
<i>Procédé humide</i>		
Four long	1650	2900
Four à calciner et four court	1300	2300
<i>Procédé semi-humide</i>		
Préchauffeur et four court	1000	1800
<i>Procédé sec</i>		
Four long	1300	2300
Tour de préchauffage et four court	875	1500

(K_2O et Na_2O). Présents en trop grande quantité, ils nuisent à la fabrication et à la qualité du produit fini. Les teneurs en MgO , K_2O et Na_2O peuvent être contrôlées par le choix des matières premières, et les teneurs en alcalis par l'ajustement des procédés. Tous les ciments Portland contiennent du soufre sous forme de sulfate; il provient généralement de l'absorption des oxydes de soufre du combustible et des matières premières par le clinker; à cela s'ajoutent d'autres sulfates, sous forme de gypse qu'on ajoute au clinker broyé pour obtenir du ciment Portland. Ce pouvoir d'absorption du soufre des combustibles associé à la fabrication du ciment a déjà été rapporté⁽²⁾. Beaucoup d'autres éléments peuvent aussi se trouver dans le clinker, à l'état de traces; Blaine, Bean et Hubbard ont noté leur présence dans 186 ciments Portland⁽³⁾. Parmi tous les éléments dont cette étude tient compte, le *plomb* et le *zinc* ont été mentionnés comme étant nuisibles lorsqu'ils sont ajoutés à ce ciment, à raison de plus de 0,001 p. 100 et de 0,1 p. 100 respectivement⁽⁴⁾. Le clinker obtenu au cours du présent essai a donc été examiné de très près du point de vue hydraulique. Les résultats sont présentés à l'annexe C. La sous-section 4.3 constitue une analyse complète de cette question.

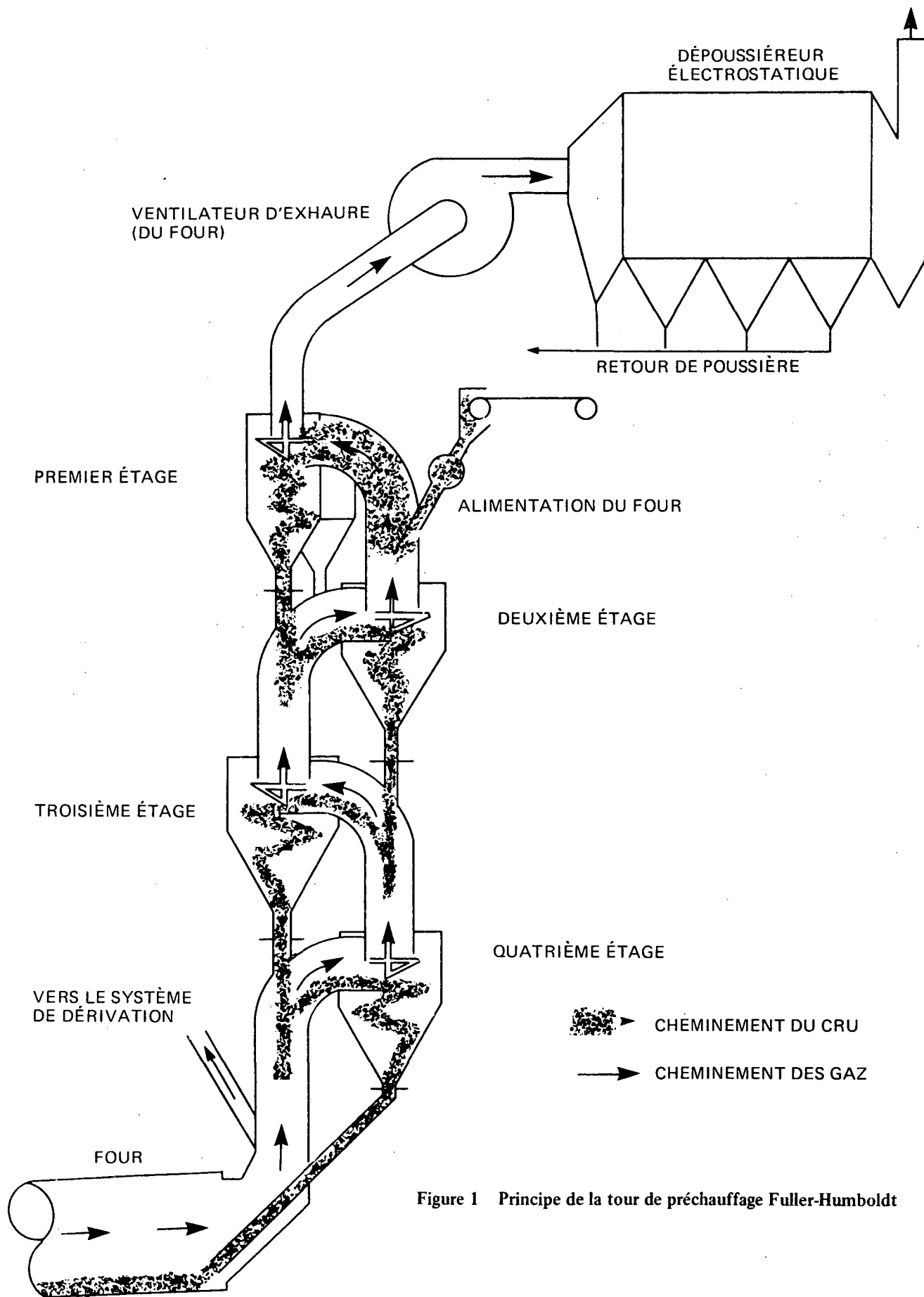


Figure 1 Principe de la tour de préchauffage Fuller-Humboldt

Éléments importants

a) *Le four* est un appareil Traylor mesurant 17 pi sur 276 pi, alimenté en général avec du mazout n° 6.

b) *La tour de préchauffage* est un appareil particulier au procédé de fabrication par voie sèche. Elle consiste en une série de cyclones, munis de tuyaux interreliés, à travers lesquels les gaz chauds qui sortent du four sont aspirés par un ventilateur. La farine crue traverse les cyclones à contre-courant des gaz. La figure 1 illustre comment le cru et les gaz cheminent dans le préchauffeur. L'alimentation de ce dernier se fait par le conduit entre les cyclones des premier et second étages. Le cru est entraîné par les gaz de sortie chauds jusqu'aux cyclones supérieurs (1^{er} étage) où se fait la séparation des gaz et des matières en suspension. Il tombe alors dans le conduit entre les cyclones des 2^e et 3^e étages, puis est remis en suspension et séparé.

Le procédé, c'est-à-dire l'entraînement avec les gaz chauds à un étage, puis la chute à l'étage inférieur, se répète aux troisième et quatrième étages, avant que le cru partiellement calciné entre dans le four. La durée de rétention moyenne est inférieure à une minute.

Une description détaillée du fonctionnement du préchauffeur Humboldt a été faite déjà par G. A. Schroth⁽⁷⁾ dans un article dont nos notes constituent un résumé.

Les matières premières entrent par le premier étage où elles sont réchauffées jusqu'à 600°F environ, tandis que la température des gaz baisse de 990°F à 650°F. Des échanges de chaleur correspondants se produisent aux deuxième, troisième et quatrième étages de sorte que les matières entrent dans le four rotatif à une température de 1475°F environ, après une décarbonatation pouvant atteindre 50 p. 100. La température des gaz qui sortent du four pour entrer dans le préchauffeur se situe entre 1900°F et 2000°F.

Le préchauffeur utilisé à La Compagnie des Ciments du St-Laurent est un appareil Fuller-Humboldt double, à quatre étages standard.

c) *Le système de dérivation des alcalis* est important dans notre étude. Comme dans les autres usines où se trouvent des tours de préchauffage, il faut prendre des mesures spéciales pour prévenir l'accumulation de chlorures et d'alcalis (sulfates et chlorures de sodium et de potassium surtout) à l'intérieur du système. On a donc prévu, à La Compagnie des Ciments du St-Laurent, qu'une fraction des gaz de sortie du four serait dérivée dans une tour de conditionnement. Les gaz y sont refroidis et conditionnés par vaporisation d'eau, pour améliorer la précipitation. Parallèlement, leur vitesse diminue puisque le diamètre de la tour de conditionnement est plus grand que celui de la conduite de dérivation. Le refroidissement et la diminution de vitesse ont pour effet de diviser en deux fractions les particules transportées par les gaz.

D'abord, une fraction riche en alcalis (qu'on appelle poussières du système de dérivation) se concentre dans un flux de matières qui sont ensuite recueillies dans un dépoussiéreur électrostatique, agglomérées en boulettes puis éliminées. L'autre fraction, à plus faible teneur en alcalis, (qu'on appelle matières solides de la tour de conditionnement) est renvoyée dans les silos à cru d'où elle est recyclée.

3 Contaminants des huiles usées et éléments choisis pour l'étude

Un sommaire des divers contaminants associés habituellement aux huiles de graissage usées est présenté au tableau 3⁽¹⁾ avec les niveaux de concentration prévus. On a d'abord choisi, à même cette liste, les éléments dont la concentration minimale dépasse 100 p.p.m. Les éléments déjà présents en grande quantité dans la fabrication du ciment (Ca, Si, Al, Fe et S) ont été rejetés, et on n'a retenu pour cette étude que le Pb, le Zn et le P.

Des travaux antérieurs, effectués à l'O.R.F. et à La Compagnie des Ciments du St-Laurent, ont montré que le brome constitue souvent un contaminant majeur des huiles usées, particulièrement de celles provenant de la vidange des carters d'automobiles. Des travaux d'analyse reliés aux essais de combustion de la Gulf Research and Development Co., en 1969⁽⁸⁾, ont aussi montré la présence d'un fort volume de brome dans les dépôts des chaudières après l'utilisation d'huiles usées comme combustible. Ce qui est étonnant, c'est que d'autres rapports d'analyse portant sur des huiles usées n'en fassent pas mention, ou ne signalent que de faibles concentrations. La présence du brome est normale, étant donné la teneur en plomb organique des antidétonants des essences d'automobiles où on trouve du dichlorure et du dibromure d'éthylène⁽⁹⁾. Un certain nombre de chercheurs ont déjà mentionné la présence de chacun de ces éléments dans les gaz d'échappement des automobiles^(10, 11); le transport de composés comme le chloro-bromure de plomb dans le carter est à prévoir dans la plupart des moteurs d'automobile.

C'est pourquoi nous avons inclus le brome dans notre bilan matière. Nous n'avons pas cherché à obtenir un bilan du chlore vu sa concentration habituelle relativement élevée dans les matériaux de fabrication du ciment (0,04 p. 100 environ dans le cru, 0,015 p. 100 dans le clinker et 4,5 p. 100 dans la poussière du système de dérivation).

TABLEAU 3
Caractéristiques des huiles de graissage usées

Caractéristiques	Valeurs	
	minimales	maximales
Densité A.P.I. à 60°F	20,7	27,9
Densité à 60°F	0,887	0,934
Densité, livres par gallon américain	7,40	7,78
livres par gallon impérial	8,90	9,35
Viscosité, SUS à 100°F	87	837
centistokes	17,3	180,6
Point d'écoulement, degrés Fahrenheit	< -40	-30
Point d'éclair, degrés Fahrenheit	75	415
Température, BTU par livre	13 571	19 300
BTU par gallon américain	105 555	143 360
BTU par gallon impérial	126 560	171 890
Indice de neutralisation, mg KOH/g	4,0	14,3
Eau et sédiments, pourcentage v/v	0,1	22,0
Soufre, pourcentage poids/poids	0,21	0,65
Cendre, pourcentage poids/poids	0,03	3,78
Silicium, p.p.m.	10	875
Calcium, p.p.m.	700	3 000

TABLEAU 3 (suite)

Caractéristiques	Valeurs	
	minimales	maximales
Sodium, p.p.m.	16	300
Fer, p.p.m.	50	2 000
Magnésium, p.p.m.	10	1 108
Plomb, p.p.m.	800	21 700
Vanadium, p.p.m.	3	39
Cuivre, p.p.m.	5	348
Baryum, p.p.m.	10	2 000
Zinc, p.p.m.	300	3 000
Phosphore, p.p.m.	500	2 000
Étain, p.p.m.	5	112
Chrome, p.p.m.	8	50
Beryllium, p.p.m.		6
Manganèse, p.p.m.	5	10
Nickel, p.p.m.	3	30
Cadmium, p.p.m.		4
Argent, p.p.m.		1
Strontium, p.p.m.	10	30
Aluminium, p.p.m.	10	800
Bore, p.p.m.	3	20
Molybdène, p.p.m.	2	3
Titane, p.p.m.	5	30

REMARQUE : p.p.m. = parties par million par poids.

Les résultats habituels obtenus à La Compagnie des Ciments du St-Laurent sur une période de quatre ans sont les suivants :

Plomb	0,42
Zinc	0,05
Brome	0,08
Eau	19 p. 100 poids/poids (max.)
Viscosité	1219 centistokes à 10°F 220 centistokes à 60°F
Densité à 60°F*	0,9
Pouvoir calorifique	130-160 x 10 ³ BTU/gal imp.

* À titre d'indication, mentionnons que si la densité à 60°F dépasse 0,96, le combustible contient trop d'eau pour être utilisé.

4 Commentaires

Les travaux d'essai ont été conçus pour étudier l'interaction des principaux contaminants de l'huile usée et de l'ensemble du système de production. Il s'agissait de vérifier l'hypothèse voulant que l'huile usée puisse être brûlée dans le four à ciment, sans causer la même pollution atmosphérique que dans les chaudières ou les incinérateurs conventionnels, lesquels sont dépourvus d'appareils de dépollution assez puissants pour contrôler à la fois les émissions ordinaires et celles qui sont causées par le soufflage de la suie.

La méthode adoptée consistait donc à mesurer le volume d'émissions habituel du four de l'usine avant, pendant et après un essai de combustion d'huile usée pour déterminer, expérimentalement, l'effet de cette combustion sur la qualité de l'air. En outre, un bilan matière du plomb, du brome, du zinc et du phosphore a permis de déterminer où chaque élément avait été recueilli au cours du processus et la durée de rétention approximative.

Le programme d'essai s'est déroulé en trois phases. La première phase, du 9 au 20 mars 1974, a eu lieu pendant que le four fonctionnait régulièrement, alimenté au mazout n° 6 seulement. La seconde, du 21 au 30 mars 1974, a comporté des essais d'alimentation à l'huile usée. Cela n'a pas réussi à cause de la défaillance de la pompe et du compteur (voir annexe D), suivie d'un arrêt du four dû à une rupture du revêtement réfractaire. La production a donc été interrompue jusqu'au 13 avril 1974. Ce dernier incident n'est pas attribué à l'emploi de l'huile usée. Enfin du 17 avril au 7 mai 1974, l'huile usée a été substituée partiellement au combustible habituel dans les proportions indiquées, pour chaque jour, au tableau B.10. L'étude s'est ensuite poursuivie jusqu'au 30 mai 1974, période pendant laquelle on a utilisé le combustible habituel, soit du mazout n° 6; il y eut une brève interruption, les 15 et 16 mai 1974. On a brûlé, en tout, 330 000 gallons d'huile usée.

4.1 ÉMISSIONS

De façon générale, l'étude des émissions provenant des cheminées de l'industrie du ciment s'est limitée à l'enregistrement des concentrations de particules. Une étude récente a porté sur les émissions des cimenteries canadiennes⁽¹²⁾. Les données suivantes, qui en sont tirées, permettent de comparer ces émissions de particules aux valeurs obtenues lors de notre étude. On peut alors en conclure que les émissions du four de l'usine sont faibles, si on les compare aux valeurs actuelles canadiennes.

TABLEAU 4
Facteurs d'émissions des fours des cimenteries canadiennes, 1970⁽¹²⁾

Région	Émissions (livres par tonne de clinker)
Ontario (moyenne de 7 usines)	19,83
Québec (moyenne de 5 usines)	43,29
Autres régions canadiennes (moyenne de 12 usines)	17,12
Minimum	0,27
Maximum	180,08
Moyenne calculée d'après notre étude	0,956

TABLEAU 5
Données d'ensemble sur les émissions

Cheminée	Date du test	Combustible	Débit moyen, pi^3/mn à T.P.N.* (base sèche)	Charge moyenne (mg/m^3)					Taux moyen d'émissions (livres par heure)				
				Particules	Pb	Zn	Br	P	Particules	Pb	Zn	Br	P
N.-O.	11/3/74	n° 6	61 000	320,4	0,0456	0,0279	0,0784	0,1169	73,5	0,0104	0,0062	0,0180	0,0278
N.-E.	au		63 000	162,0	0,0145	0,0175	0,0374	0,0519	38,7	0,0034	0,0042	0,0090	0,0125
S.-E.	15/3/74		9 500	89,0	0,0305	0	0,5458	—	3,42	0,0011	0	0,0210	—
<i>Total</i>									<i>115,6</i>	<i>0,0149</i>	<i>0,0104</i>	<i>0,0480</i>	<i>0,0393</i>
N.-O.	22/4/74	n° 6	60 000	251,8	0,0297	0,0267	0,2496	0,0792	56,6	0,0067	0,0060	0,0561	0,0178
N.-E.	au	+	61 300	103,0	0,0140	0,0116	0,0866	0,0307	25,0	0,0032	0,0027	0,0199	0,0071
S.-E.	2/5/74	H.U.	10 500	86,6	0,0901	0,0166	0,6017	—	1,72	0,0032	0,0007	0,0243	—
<i>Total</i>									<i>83,3</i>	<i>0,0131</i>	<i>0,0094</i>	<i>0,1003</i>	<i>0,0249</i>
N.-O.	28/5/74	n° 6	57 200	87,9	0,0221	0,0100	0,0411	0,0223	18,8	0,0048	0,0021	0,0087	0,0048
N.-E.	au		62 500	547,6	0,0399	0,0580	0,1669	0,1678	128,3	0,0118	0,0134	0,0391	0,0392
S.-E.	30/5/74		15 200	264,3	0,1230	0,0019	1,1732	—	14,4	0,0068	0,0001	0,0639	—
<i>Total</i>									<i>161,5**</i>	<i>0,0234</i>	<i>0,0156</i>	<i>0,1117</i>	<i>0,0440</i>

* T.P.N. : Température et pression normales.

** À remarquer : les problèmes au niveau de l'électrofiltre durant la troisième phase.

TABEAU 6
Taux d'émissions

Date du test	Cheminée	Débit, pi ³ /mn à T.P.N.* (base sèche)	État des gaz à la cheminée			Taux d'émissions (livres par heure)					Pourcentage d'écoulement isocinétique
			Vélocité (pieds par seconde)	Tempé- rature (°F)	Humidité (pour- centage)	Particules	Pb	Br	Zn	P	
11/3	N.-O.	60 700	56,09	580	8,5	65,61	0,0087	0,0161	0,0055	0,0224	97,63
12/3	N.-O.	61 800	57,67	589	8,5	75,38	0,0067	0,0226	0,0074	0,0304	98,69
12/3	N.-O.	61 100	57,10	591	8,4	79,46	0,0158	0,0153	0,0057	0,0276	99,44
22/4	N.-O.	60 900	58,75	588	10,3	71,14	0,0089	0,0581	0,0091	0,0216	104,09
23/4	N.-O.	59 900	58,09	588	9,3	59,59	0,0056	0,0348	0,0049	0,0181	98,41
30/4	N.-O.	59 600	56,79	601	8,4	70,89	0,0049	0,0644	0,0089	0,0248	102,97
30/4	N.-O.	60 100	60,00	599	11,2	54,94	0,0080	0,0548	0,0048	0,0190	105,76
1/5	N.-O.	60 100	58,94	600	11,0	58,12	0,0046	0,0708	0,0055	0,0162	103,53
2/5	N.-O.	59 400	56,09	594	8,9	24,99	0,0080	0,0538	0,0029	0,0071	103,68
29/5	N.-O.	56 300	54,34	604	8,5	18,77	0,0007	0,0163	0,0016	0,0045	107,94
29/5	N.-O.	57 500	55,43	600	8,7	16,05	0,0007	0,0049	0,0024	0,0038	108,71
30/5	N.-O.	57 700	55,84	611	8,5	21,68	0,0129	0,0050	0,0024	0,0060	108,84
11/3	N.-E.	62 600	58,82	598	8,3	33,37	0,0031	0,0077	0,0033	0,0108	98,16
12/3	N.-E.	63 800	59,43	600	7,5	33,09	0,0062	0,0078	0,0047	0,0101	99,25
12/3	N.-E.	64 700	60,16	599	7,3	49,73	0,0010	0,0114	0,0045	0,0163	100,00
22/4	N.-E.	62 100	59,93	607	8,7	21,28	0,0045	0,0135	0,0035	0,0071	103,38
23/4	N.-E.	62 900	60,30	593	8,9	21,30	0,0044	0,0146	0,0028	0,0082	97,51
30/4	N.-E.	62 200	59,75	613	8,0	18,93	0,0017	0,0190	0,0020	0,0068	102,03
30/4	N.-E.	58 200	56,79	609	9,9	18,09	0,0019	0,0136	0,0018	0,0061	104,40
1/5	N.-E.	61 400	59,32	606	9,1	21,85	0,0036	0,0188	0,0033	0,0071	103,18
2/5	N.-E.	61 100	58,33	606	9,0	40,42	**	0,0398	**	**	102,28
29/5	N.-E.	61 100	60,48	619	9,5	120,77	0,0113	0,0395	0,0112	0,0423	109,39
29/5	N.-E.	62 200	61,38	620	9,0	114,14	0,0117	0,0311	0,0138	0,0342	108,70
30/5	N.-E.	64 000	61,63	600	9,0	149,95	0,0124	0,0467	0,0152	0,0412	108,89

* T.P.N. : température et pression normales.

** Pas de données disponibles.

TABLEAU 6 (suite)

Date du test	Che-minée	Débit, pi ³ /mn à T.P.N.* (base sèche)	État des gaz à la cheminée			Taux d'émissions (livres par heure)					Pourcentage d'écoulement isocinétique
			Vélocité (pieds par seconde)	Tempé-rature (°F)	Humidité (pour-centage)	Particules	Pb	Br	Zn	P	
14/3	S.-E.	12 100	32,15	272	22,5	3,71	0,0002	0,0153	0	**	102,05
14/3	S.-E.	10 400	27,13	274	22,1	3,08	0,0010	0,0321	0	**	103,98
15/3	S.-E.	8 800	22,45	269	19,7	3,49	0,0020	0,0157	0	**	89,86
22/4	S.-E.	11 400	30,63	278	21,5	0,66	0,0006	0,0042	0,0011	**	93,56
23/4	S.-E.	12 000	33,69	291	23,5	4,92	0,0030	0,0839	0,0019	**	95,69
30/4	S.-E.	10 300	28,45	305	21,6	0,76	0,0025	0,0094	0	**	96,57
30/4	S.-E.	9 830	27,25	310	21,3	1,96	0,0019	0,0259	0,0007	**	101,59
1/5	S.-E.	8 780	24,01	300	21,1	1,58	0,0084	0,0178	0,0004	**	95,15
2/5	S.-E.	8 220	21,23	293	18,0	0,42	0,0027	0,0048	0	**	105,53
29/5	S.-E.	14 500	36,93	261	18,9	12,95	0,0075	0,0687	0	**	97,16
29/5	S.-E.	14 400	37,01	265	19,0	27,61	0,0118	0,1130	0,0003	**	97,46
30/5	S.-E.	16 700	42,64	255	20,1	2,67	0,0010	0,0100	0	**	97,07

* T.P.N. : température et pression normales.

** Pas de données disponibles.

Trois séries de données ont été obtenues grâce à notre programme d'essai. La première correspond à la période précédant la combustion des huiles usées pendant que l'usine fonctionnait normalement. La seconde provient des relevés effectués périodiquement au cours de l'essai de combustion d'huiles usées. Enfin, la troisième correspond aux observations effectuées quelque temps après la fin de l'essai de combustion. Il semble, d'après les données recueillies, que le mode d'opération habituel ait été quelque peu perturbé durant la troisième période; on a noté en effet des différences marquées dans les émissions des deux cheminées du préchauffeur, ainsi qu'un volume d'émission généralement plus élevé que celui de la première phase.

Le tableau 5 résume pour chaque série d'essais les charges moyennes (mg/m^3) et les taux moyens d'émission (lb/h); les particules, le plomb, le zinc, le brome et le phosphore sont rapportés séparément. Les résultats détaillés de chacun des 36 tests sont présentés au tableau 6.

L'analyse des données d'échantillonnage nous a montré que dans 20 des 36 tests, les échantillons avaient été prélevés à des vitesses supérieures à celles des gaz, sans toutefois dépasser 110 p. 100 de la valeur de celle-ci. Il se peut donc que les taux d'émission soient, dans certains cas, inférieurs à ce qui est rapporté.

La comparaison des charges moyennes en particules indique qu'entre la première série d'essais et la seconde, il s'est produit une diminution des émissions de particules. Cette amélioration est peut-être due en partie à l'eau ajoutée à l'huile usée. Le fait qu'un appoint d'eau puisse améliorer le rendement d'un électrofiltre, même à une température de 600°F , a été commenté par White⁽¹³⁾ qui a mentionné, notamment, les procédés de fabrication du ciment.

On n'a noté aucune variation marquée des charges moyennes mesurées ou des taux d'émission de Pb, de Zn ou de P. Par contre, on a observé une faible augmentation des émissions moyennes de Br pendant la combustion des huiles usées. Les teneurs en plomb et en brome se sont accrues dans les particules recueillies lors de la combustion de l'huile usée. On ne peut constater cet effet dans les charges moyennes enregistrées, vu la réduction, déjà commentée, du volume total des particules émises.

Selon nos observations, les concentrations de zinc et de phosphore dans les particules retenues par le filtre ne sont pas du tout reliées à la combustion des huiles usées. Cela n'a rien d'étonnant car ces éléments proviennent plutôt des matières premières que du combustible.

Si on considère le four et ses équipements satellites, on peut s'attendre à ce que les émissions du préchauffeur consistent en cru partiellement calciné, contaminé par des produits de combustion, halogénures alcalins et sulfates, par exemple. Le degré de contamination des particules est illustré au tableau 7, où l'on compare les teneurs moyennes en plomb, en brome, en zinc et en phosphore des particules à celles qu'on trouve habituellement en faisant l'analyse du cru.

TABLEAU 7

Comparaison des analyses du cru et des particules émises par le préchauffeur : Pb, Br, Zn et P

	Analyse des teneurs moyennes du cru (pourcentage)	Analyse des teneurs moyennes des particules (pourcentage)	
		Teneurs de base	Période d'analyse
Pb	0,0006	0,0031	0,0088
Br	0,0008	0,035	0,104
Zn	0,0049	0,0089	0,0094
P	0,038	0,035	0,036

À l'aide des taux d'émission obtenus lors de la présente étude, le D^r F. Frantisak du ministère ontarien de l'Environnement (Air Resources Branch) a calculé trois concentrations au niveau du sol (C.A.S.). Il s'est servi de la méthode des points d'impact pour plusieurs cheminées pour obtenir les résultats suivants (voir annexe G pour une explication de la dispersion des polluants) :

TABLEAU 8
Concentrations maximales de particules au niveau du sol (C.A.S.)

Cas	Concentration maximale de particules au sol ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	Stabilité C	Stabilité D
1. Premiers tests de base, 12/3/74	24,4 à 1900 m	15,5 à 6100 m
2. Test de combustion des huiles usées, 23/4/74	16,1 à 1900 m	10,2 à 5900 m
3. Derniers tests de base, 29/5/74	33,9 à 1700 m	22,6 à 5100 m

Ces teneurs en matières particulaires au point d'impact (mesure des concentrations au sol ou au point d'impact) sont nettement au-dessous du $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fixé par le gouvernement de l'Ontario. Si on considère que la teneur en plomb des particules émises est $< 0,01$ p. 100, les teneurs en plomb au point d'impact calculées seraient alors inférieures à $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est bien au-dessous des concentrations maximales permises en Ontario, soit $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Une comparaison détaillée des données obtenues par ces tests et des données obtenues après la combustion des huiles usées dans des appareils ordinaires est présentée à la section 4.6. *En moyenne, les émissions du four se sont limitées à environ 0,03 p. 100 du plomb et 0,7 p. 100 du brome introduits avec l'huile usée.*

4.2 BILAN MATIÈRE

Le contrôle du Pb, du Zn, du Br et du P s'est appliqué à quatre types de solides : cru, clinker, poussière de dérivation et matières solides de la tour de conditionnement, de même qu'au mazout n° 6 et à l'huile usée. Dans ce bilan, les seules entrées sont constituées par la charge de cru et par le combustible. Le clinker (le produit) et la poussière du système de dérivation (un déchet mis en boulettes) constituent les produits qui sortent du circuit. Les matières solides de la tour de conditionnement retournent suivant un long cycle (de durée inconnue) aux silos de stockage du cru. Pour éviter d'avoir à calculer l'accumulation

des éléments qui s'y trouvent, on a considéré les matières solides de la tour de conditionnement comme sortant du circuit dans les calculs quotidiens des bilans matières. Pour calculer le bilan matière on a effectué un échantillonnage de chaque flux qu'on a quantifié en utilisant une période de 24 heures comme unité de base. Les tableaux 9 et 10 résument les résultats. On a aussi établi des bilans distincts, l'un avec les données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent, pour l'ensemble de la période d'essai, et l'autre à partir des données de l'Ontario Research Foundation, pour le période allant du 27 avril au 10 mai. Les méthodes d'échantillonnage et de calcul sont présentées en détail à l'annexe A. On trouvera à l'annexe B les résultats détaillés des analyses, la comparaison des données, les calculs et les tableaux relatifs aux bilans matières.

4.2.1 Signification du bilan matière

Comme dans les autres essais de même type dans des systèmes de production à grande échelle, les répartitions de matières semblent indiquer ici des gains et des pertes, lorsque les données sont exprimées en pourcentage d'entrée ou de rétention. Il ne faudrait pas y voir des pertes ou des gains réels. Il s'agit plutôt de l'effet combiné du hasard ou de petites erreurs répétées dans le pesage et l'évaluation de volumes de matières très considérables et dans l'analyse d'échantillons d'une teneur aussi faible que 1×10^{-4} p. 100. L'exemple suivant donne une idée des limites imposées par les conditions d'essai :

Volume de matières	Quantité (tonnes par jour)	Livres par 24 h équivalent à 0,0001 p. 100
Charge de cru	5000	10
Clinker	3000	6

Une erreur d'analyse de $\pm 0,0001$ p. 100 impose une marge d'incertitude de ± 10 lb/24 h environ dans le bilan fourni pour l'élément analysé.

Voici un exemple typique du calcul d'un bilan de plomb d'après les analyses :

Matières	Quantité (en livres par jour)	Seuil de détection des méthodes d'analyse (pourcentage poids/poids)	Degré de variation approximatif (en livres par jour)
Charge de cru	10×10^6	$\pm 0,0003$	± 30
Clinker	6×10^6	$\pm 0,0004$	± 24
Huile usée	180×10^3	$\pm 0,002$	± 4
<i>Variation totale</i>			± 58

Apport moyen de plomb (approx.) de 800 lb par jour

TABLEAU 9
Bilans matières cumulatifs*

Période d'accumulation	Combustibles**	Élément	Apport cumulé (livres) (T _I)	Pourcentage de T _I provenant de l'huile usée	Rétention cumulative (livres) (T _R)	Pourcentage de T _I retenu		
						Clinker	Poussière du système de dérivation	Total
9/3 au 20/3	n° 6	Pb	502	0	627	117,1	7,8	124,9
		Br	590	0	564	55,4	40,2	95,6
		Zn	5 125	0	5 909	114,9	0,3	115,2
		P	40 260	0	39 500	98,0	0,1	98,1
17/4 au 7/5 +	n° 6 + H.U.	Pb	13 731	96,6	12 246	85,0	4,2	89,2
		Br	6 187	52,3	4 466	35,3	36,9	72,2
8/5 au 30/5	n° 6	Zn	22 168	10,6	24 526	110,6	0,2	110,8
		P	150 135	1,7	147 833	98,2	0,1	98,3

* Calculs faits à partir des données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent.

** N° 6 signifie que le mazout lourd «C» est le seul combustible utilisé.

N° 6 et H.U. signifient qu'on utilise, comme combustibles, du mazout lourd «C» et de l'huile usée.

TABLEAU 10

Comparaison des bilans matières cumulatifs (du 27/4/74 au 10/5/74)

Élément	Laboratoire	Apport cumulatif (livres) (T _R)	Rétention cumulative (livres) (T _R)	Pourcentage de T ₁ retenu		
				Clinker	Poussière du système de dérivation	Total
Pb	O.R.F.*	7 447	6 766	86,5	4,4	90,9
	C.C.S.L.**	7 432	6 239	79,7	4,2	83,9
Br	O.R.F.	2 429	1 827	17,0	58,3	75,3
	C.C.S.L.	2 655	1 981	31,0	43,6	74,6
Zn	O.R.F.	6 479	5 729	88,0	0,2	88,2
	C.C.S.L.	8 069	8 876	109,8	0,2	110,0
P	O.R.F.	50 831	53 441	105,0	0,1	105,1
	C.C.S.L.	52 469	53 305	101,6	0,04	101,6

* O.R.F. : Ontario Research Foundation.

** C.C.S.L. : La Compagnie des Ciments du St-Laurent.

Évidemment il ne faudrait pas tenter d'établir une équation entre ce qui est éliminé du bilan matière et les pertes réelles dues au procédé. Celles-ci ont été déterminées par des essais distincts. Le bilan matière sert donc à montrer les divers degrés de rétention et l'endroit où l'on retrouve chaque élément, et il confirme les valeurs d'émissions obtenues.

4.2.2 Rétention de plomb

Le bilan matière démontre que 89 p. 100 de tout le plomb du système, dont la plus grande partie provient de l'huile usée, est retenu dans les matières solides présentes, 75 p. 100 à 85 p. 100 dans le clinker et 9 p. 100 dans les matières solides de la tour de conditionnement.

Dans la poussière du système de dérivation qui est la seule matière rejetée (sous forme de boulettes), on a trouvé par ailleurs une teneur en plomb égale à 4 p. 100 environ du plomb total.

Nous n'avons rien trouvé dans les travaux publiés qui expliquerait le comportement du plomb durant la cuisson du ciment; cependant Blaine *et al.* (3) ont trouvé jusqu'à 0,05 p. 100 de Pb dans certains ciments commerciaux. À première vue, compte tenu de l'élimination des métaux alcalins qui se produit dans le clinker en présence des halogénures, on s'attendrait à une volatilisation de l'halogénure de plomb.

Notez les données sur la pression de vapeur, au tableau 11. Il est évident que les halogénures de plomb atteignent le point d'ébullition à une température bien inférieure à la température maximale du four. *Le fait que le plomb se concentre surtout dans le clinker, semble indiquer que le plomb introduit avec le combustible est sans doute oxydé ou mis en solution solide dans le clinker dans le four.*

TABLEAU 11
Pressions de vapeur des composés choisis (14)

Composé ou élément	Température (°C) de la pression de vapeur indiquée					
	1 mm	10 mm	40 mm	100 mm	400 mm	760 mm
KBr	795	940	1050	1137	1297	1383
KCl	821	968	1078	1164	1322	1407
NaBr	806	952	1063	1148	1304	1392
NaCl	865	1017	1131	1220	1379	1465
PbBr ₂	513	610	686	745	856	914
PbCl ₂	547	648	725	784	893	954
Pb (métal)	973	1162	1309	1421	1630	1744
PbO	943	1085	1189	1265	1402	1472

4.2.3 Rétention de phosphore et de zinc

On a découvert que le phosphore et le zinc se trouvaient complètement retenus à l'intérieur du système, dans le clinker surtout et, en très faible pourcentage, dans les matières solides de la tour

de conditionnement et les poussières du système de dérivation. Les deux éléments provenaient plutôt du cru que de l'huile usée.

Plusieurs chercheurs ont étudié le comportement du phosphore lors de la cuisson du cru dans les fours à ciment et montré qu'il se transformait en orthophosphates dans les phases silicates ⁽¹⁵⁾. Steinour ⁽¹⁶⁾ a analysé des ciments commerciaux qui contenaient jusqu'à 0,37 p. 100 de P_2O_5 ; par ailleurs, Blaine *et al.* ⁽³⁾ ont trouvé des ciments commerciaux qui contenaient jusqu'à 0,57 p. 100 de P. Sichov ⁽¹⁷⁾ a indiqué, pour le clinker, une teneur admissible en phosphore de 0,1 p. 100 à 0,2 p. 100 (en P_2O_5); ce chiffre a été choisi en fonction de la qualité désirée et non de la capacité d'absorption du clinker. On sait en effet, qu'il peut retenir bien plus de P_2O_5 . L'Ouganda, par exemple, fabrique du ciment commercial dont le clinker contient 2 p. 100 de P_2O_5 ⁽¹⁵⁾.

On a démontré aussi que le zinc peut se substituer au calcium du silicate tricalcique ^(18, 19). L'étude de Blaine *et al.* mentionnait une teneur en Zn de 0,2 p. 100 dans les ciments commerciaux. Nos découvertes concordent donc avec des rapports de recherche déjà publiés.

4.2.4 Rétention de brome

Depuis de nombreuses années déjà, on ajoute souvent du chlore au clinker, sous diverses formes, pour aider à la réduction des alcalis ^(20, 21, 22). Des chlorures alcalins se forment facilement dans la zone de cuisson et se volatilisent ensuite dans le four. Finalement, ils sont recueillis dans l'électrofiltre. Bien que nous manquions de données sur le brome, on a cru cependant, vu sa forte ressemblance avec le chlore, que les mêmes combinaisons avec les alcalis se produiraient. On en voit la preuve dans la faible teneur en brome du clinker et sa teneur élevée dans la poussière du système de dérivation. Même si des teneurs très réduites compliquent beaucoup les analyses, le bilan obtenu est quand même assez bon; plus de 70 p. 100 de tout le bromure a été trouvé dans les matières solides. La plus grande partie évidemment se trouvait dans la poussière recueillie dans l'électrofiltre du système de dérivation, ce qui montre que le brome sort du four sous une forme facile à recueillir dans le dépoussiéreur. Il s'agit probablement de bromure de potassium surtout, car les halogénures de potassium se volatilisent mieux que ceux du sodium.

4.2.5 Contaminants mineurs des huiles usées

Comme nous l'avons déjà mentionné, les analyses ordinaires des huiles usées révèlent d'autres éléments à l'état de traces, mais ceux-ci apparaissent en trop petite quantité pour pouvoir être incorporés aux bilans. En supposant que chacun de ces éléments introduits avec l'huile usée est complètement absorbé dans un clinker produit dans des conditions similaires à celles de notre programme, on peut calculer l'augmentation absolue, en pourcentage, de ces éléments dans le clinker. Ces calculs, présentés au tableau 12, montrent jusqu'à quel point le bilan matière est alors peu pratique.

Les chiffres obtenus pour le plomb, le phosphore, le brome et le zinc permettent certaines prévisions. Ainsi le calcium, le silicium, le magnésium, le fer et l'aluminium sont tous des constituants importants du ciment. Il est donc normal de les trouver dans toutes les matières à toutes les étapes du procédé. Les émissions se limiteront aux niveaux d'émissions de faibles teneurs en particules, normaux dans toute production. On sait que le baryum peut se substituer au silicate bicalcique ⁽²³⁾; on a rapporté jusqu'à 0,2 p. 100 de BaO dans les ciments commerciaux ⁽²⁴⁾. On a noté jusqu'à 1 p. 100 de manganèse ⁽²⁴⁾ dans les ciments de laitier et jusqu'à 0,2 p. 100 ⁽³⁾ dans les ciments Portland ordinaires sous forme de Mn; le Mn^{2+} peut en effet se substituer au Ca^{2+} du silicate bicalcique du clinker ^(18, 25). Il est normal d'avoir plus de 0,2 p. 100 de SrO dans les clinkers à ciment ⁽²⁴⁾. Ces éléments peuvent se comporter comme le zinc et être retenus dans le clinker s'ils sont déjà présents dans les huiles usées.

TABLEAU 12
Augmentation, dans le clinker, des oxydes provenant des huiles usées

Élément	Livres de produit de combustion par 10 000 gal U.S.*	Augmentation absolue (en pourcentage) des oxydes dans le clinker
Plomb	720	0,031 5
Phosphore	264	0,011 4
Calcium	220	0,009 5
Silicium	64	0,002 8
Magnésium	61	0,002 6
Zinc	58	0,002 5
Baryum	57	0,002 5
Fer	42	0,001 8
Aluminium	6,3	0,000 27
Bore	5,9	0,000 25
Chrome	4,8	0,000 21
Nickel	2,4	0,000 10
Cuivre	1,6	0,000 069
Étain	1,3	0,000 056

* Données de W.C. McCrone fournies par Environnement Canada.

Hypothèses : Densité à 60°F de l'huile = 0,9.

Appoint d'huile usée = 15 gal imp./mn.

Production de clinker = 3000 t/j.

Quant aux autres éléments des huiles usées, certains peuvent aussi former des composés volatils. C'est peu probable, cependant, et on connaît la plupart de leurs réactions dans le four. Même si certains éléments pouvaient former des composés volatils, ceux-ci seraient probablement piégés, comme c'est le cas pour le plomb.

Guinier et Regourd (18) ont démontré que 2 p. 100 de B_2O_3 ajouté à du silicate bicalcique peut former une solution solide. La solubilité de B_2O_3 dans le silicate bicalcique, même à 1430°C, est de 0,01 p. 100 (26).

Le chrome du clinker a fait l'objet de nombreuses études. Sichov (17) et Boikova (27) disent que la solubilité maximale du Cr_2O_3 dans le silicate tricalcique est de 2 p. 100, tandis que Guinier et Regourd (18) mentionnent la possibilité de substitution du Cr^{3+} au Ca^{2+} du silicate bicalcique. Sakurai et autres (28) mentionnent que le Cr_2O_3 peut être absorbé dans le clinker au moment de la formation de l'alumino-ferrite tétracalcique. De 0,01 p. 100 à 0,02 p. 100 de Cr_2O_3 constitue une concentration normale pour le ciment Portland (3, 24).

4.3 QUALITÉ DU CIMENT

Midgley (29) a signalé que de faibles additions de plomb diminuent grandement la solidité du ciment Portland et retardent sa prise. Lea (24) indique que tel est le cas, même si la teneur en plomb

soluble n'est que de 0,001 p. 100. Lieber (30), qui a noté aussi ce retard, a réussi à obtenir une meilleure résistance à la compression à la fin de l'hydratation, par l'addition de composés plombeux. Dans chacune de ces études, des composés de plomb solubles ont été ajoutés à des mélanges de ciment hydraté et d'eau. Blaine *et al.* (31), par contre, dans leur étude consacrée aux éléments présents à l'état de traces dans le clinker n'ont pas trouvé de corrélation entre la teneur en plomb et la résistance à la compression dans des échantillons hydratés normalement, pour une période de 28 jours. Ces chercheurs ont étudié des échantillons contenant de 0 p. 100 à 0,05 p. 100 de plomb.

Le zinc est également reconnu comme un retardateur de prise (24, 30), et il existe plusieurs brevets basés sur l'emploi de ses composés à cette fin (32). Blaine *et al.* (31) ont étudié la rétention de ce métal et trouvé que les résistances à la compression des ciments peuvent être meilleures au bout de cinq ans si leur teneur en zinc est plus forte. Dans cette étude la teneur en zinc atteignait jusqu'à 0,2 p. 100.

Selon Steinour (16), si les composés phosphatés solubles ajoutés au ciment agissent comme retardateurs, par contre le phosphate qu'on trouve dans les clinkers ne cause que peu de retard dans la prise.

Vu les effets signalés, il a fallu étudier les propriétés hydrauliques des ciments obtenus à partir des clinkers fabriqués durant la combustion de l'huile usée. La description des travaux d'essai est présentée à l'annexe C. Parmi les trois éléments, plomb, zinc et phosphore, seule la concentration du plomb a augmenté de façon marquée dans les clinkers par suite de la combustion de l'huile usée. Les ciments dont la teneur en plomb était dans les limites de ce qui est produit pendant cette expérience ont fait l'objet d'analyses : on n'a établi aucune corrélation certaine entre la teneur en plomb et la qualité du ciment. Le plomb venant de l'huile usée n'a donc pas semblé nuire à la qualité finale du ciment Portland (voir annexe C).

4.4 ÉLÉMENTS À L'ÉTAT DE TRACES DANS LE CIMENT PORTLAND HYDRATÉ

Les propriétés hydrauliques du ciment dépendent de la formation d'hydrates insolubles. Il s'agit de solutions solides complexes qui contiennent beaucoup d'éléments en proportions relatives variables. Par exemple, Al^{3+} , Fe^{3+} et SO_4^{2-} peuvent tous entrer dans un gel hydraté de silicate de calcium (24, 33). On a des raisons de croire aussi que les silicates de magnésium hydratés qui ressemblent à des minéraux naturels, comme la serpentine, peuvent se former pendant l'hydratation du ciment (24). On peut obtenir du ciment en remplaçant le calcium par du strontium (24) ou du baryum (24, 34) ou encore en remplaçant le silicium par du germanium (24); les produits hydratés sont analogues à ceux qu'on trouve dans les ciments ordinaires (24).

On peut obtenir des hydrates quaternaires à partir des hydrates de l'aluminate de calcium. On peut trouver aussi dans cette structure les composés suivants : Ga_2O_3 , CrO_4 , SeO_4 , Cl, Br, I, MnO_4 , ClO_3 , IO_3 , BrO_3 et SiO_3 (20, 24, 35). Dans le ciment, le sulfate pose un problème, mais on a tout de même rapporté des cas de substitution de Cr_2O_3 (24) et de Cl (24) dans les sulfo-aluminates de calcium hydratés. Les complexes formés avec du Cl (20, 24, 35) et du Br (36) (introduits dans l'aluminate de calcium hydraté) sont fréquemment mentionnés dans les études; il s'agit d'ailleurs des mêmes réactions.

Le retard de prise dû au plomb, au cuivre ou aux sels de zinc, que nous avons commenté à la sous-section 4.3, a été attribué à la formation de sels hydratés insolubles de ces éléments à la surface des particules de clinker (37). Lieber (30), dans son étude, pose comme hypothèse que le zinc et le plomb pénètrent les hydrates insolubles du silicate de calcium. Comme l'indique Steinour, le phosphate du clinker est insoluble dans l'eau. *On en sait assez sur bon nombre de contaminants des huiles de graissage usées pour affirmer que la plupart de ces contaminants, et peut-être tous, vont demeurer à l'intérieur de la structure insoluble des composés hydratés du ciment.*

4.5 EXTRAPOLATION DES OBSERVATIONS À D'AUTRES TYPES DE FOURS

À cause de la grande diversité des procédés utilisés pour la fabrication du ciment, il est difficile d'appliquer directement ce que nous avons trouvé à d'autres types de fours. Toutefois, quelques énoncés généraux sont possibles en fonction du mode de piégeage de certains éléments à l'intérieur du four. Trois mécanismes contribuent à atteindre une concentration d'équilibre de ces éléments.

- a) l'épuration des gaz par les matières traitées dans le système,
- b) la création de cycles internes,
- c) l'effet de l'électrofiltre.

Les gaz, qui se déplacent à contre-courant des matières dans le four à ciment, contiennent de la poussière, des alcalis (Na_2O et K_2O), du soufre et des halogénures, produits par vaporisation et dissociation des matières premières traitées et des éléments du combustible. Ces éléments introduits avec l'huile usée, volatils à la température du four et de la flamme, vont normalement se déplacer dans le même sens que les gaz. On a démontré que le cru utilisé pour la fabrication du ciment provoquait une bonne épuration des composés sulfurés ⁽²⁾. En outre, on sait que le four avec tour de préchauffage, utilisé dans le procédé sec, épure bien les chlorures alcalins.

Locher, Sprung et Opitz ⁽³⁸⁾ ont très bien résumé les réactions chimiques fondamentales des gaz du four. À titre d'illustration de ces principes de base, imaginons un four à tour de préchauffage, fonctionnant à la température normale de clinkérisation, où on utilise un cru contenant des métaux et des chlorures alcalins. Les pressions de vapeur des halogénures alcalins sont assez élevées pour que ceux-ci se volatilisent dans la zone de cuisson du four ou en avant de celle-ci (température des matières, 2650°F environ dans la zone de cuisson). Une fois volatilisés, les chlorures alcalins sont amenés avec les gaz jusqu'au préchauffeur où se produit un mélange important de gaz avec la charge du four, moins chaude, qui se trouve dans les cyclones. Les chlorures alcalins se condensent sur ces particules et retournent au four pour se volatiliser encore, amorçant ainsi un cycle interne ⁽³⁹⁾. Son développement est caractérisé par une accumulation graduelle de chlorures alcalins jusqu'à obtention d'un état stable (équilibre) du clinker et des constituants de la poussière. Cela permet de déterminer la volatilité relative des éléments. Le comportement du plomb et du brome observé dans notre étude illustre cet effet. L'examen des tableaux B.15 et B.16 (annexe B) montre que la concentration de ces deux éléments augmente graduellement dans le clinker, dans la poussière du système de dérivation et dans les matières solides de la tour de conditionnement après l'introduction de l'huile usée, puis diminue graduellement quand cesse l'apport d'huile. On n'a pas observé de cycle qui empêcherait la formation de composés volatils du phosphore. Il y avait peut-être une ébauche de cycle dans le cas du zinc.

Si on veut prédire les effets possibles de l'utilisation des huiles usées dans les fours, il faudra tenir compte du rôle joué par les dépoussiéreurs sur les émissions de matières volatiles. Norbom ⁽⁴⁰⁾ l'a commenté de façon assez approfondie : certains des passages qui suivent constituent un résumé de son article.

Lorsqu'on élimine la poussière des gaz à l'aide d'un électrofiltre, la poussière grossière est recueillie à l'entrée du filtre et la poussière plus fine, à sa sortie. Quand les électrofiltres ont une faible efficacité, ce sont les plus petites particules qui sont rejetées dans l'atmosphère. Cela ne présenterait pas de problème sérieux si, dans certains procédés, il ne se produisait un effet de concentration par lequel les matières volatiles s'accumulent sur les particules les plus fines.

L'entrée de ces matières volatiles peut se faire de deux façons dans l'électrofiltre :

- a) elles peuvent se cristalliser en particules fines individuelles ou
- b) se condenser sur les particules de poussière ou les matières servant à l'alimentation du four.

La poussière d'un four équipé d'une tour de préchauffage à quatre étages contient des alcalis qui se sont condensés surtout sur les particules solides de poussière. Dans les longs fours ouverts (procédé sec surtout), une forte proportion de petites particules cristallisées individuellement se forment pour se retrouver habituellement à la sortie de l'électrofiltre.

Les particules provenant du combustible entrent dans l'électrofiltre de deux façons :

a) Introduites avec le combustible, elles sont de très faible dimension et donc peuvent être entraînées par les gaz directement dans l'électrofiltre.

b) Certains contaminants du combustible peuvent réagir avec les matières du four à ciment et former des composés volatils qui, à leur tour, seront amenés dans l'électrofiltre.

Sans système de dérivation, la tour de préchauffage à quatre étages est très efficace pour l'épuration des gaz puisque ceux-ci sont vigoureusement mélangés à l'intérieur des quatre cyclones après avoir traversé la partie droite du four. Tous les mélanges subséquents se font à une température plus faible. Il n'entre pratiquement pas de chlorures alcalins dans l'électrofiltre; ils se trouvent plutôt piégés entre la zone de cuisson et le préchauffeur (sauf ceux qui sont retenus dans le clinker à l'état de traces). La quantité de chlorures alcalins à l'intérieur du four peut donc varier de façon cyclique et être assez importante pour que leur condensation forme un bouchon à l'étage inférieur du préchauffeur. On prétend, à l'heure actuelle, qu'une tour de préchauffage à quatre étages ne peut fonctionner sans système de dérivation si la teneur en chlorures du cru dépasse 0,015 p. 100. La température des gaz à la sortie varie entre 615°F et 660°F dans le four d'une tour de préchauffage à quatre étages.

L'addition d'un système de dérivation à ce genre de four complique l'analyse de l'efficacité relative de chaque four en matière d'épuration des gaz. Quarante-vingt-quinze pour cent des gaz du four entrent en contact avec le cru dans les quatre cyclones. Les 5 p. 100 restants sortent du four avec les substances volatiles demeurées à l'état gazeux ou réduites en fines particules. Ces derniers sont conditionnés et refroidis par de l'eau qu'on vaporise pour obtenir une température assurant le maximum d'efficacité du filtre. La tour de préchauffage à quatre étages munie d'un système de dérivation demeure un excellent épurateur des gaz, quoiqu'elle serait plus efficace sans système de dérivation. Sa capacité d'épuration est au moins égale à celle d'un four avec préchauffeur à deux étages.

Le four équipé d'un préchauffeur à deux étages comporte deux cyclones, où se fait la mise en contact du cru et des gaz. La température de sortie des gaz varie entre 750°F et 840°F. Son pouvoir d'épuration est donc inférieur (moindre) à celui d'un four muni d'une tour de préchauffage à quatre étages. C'est pourquoi on le recommande lorsque les teneurs en chlorures sont un peu au-dessus du niveau admissible pour un four muni d'une tour de préchauffage à quatre étages.

Dans un préchauffeur à un étage, la température de sortie des gaz varie entre 840°F et 930°F. Le mélange des gaz et du cru s'y fait en un seul cycle. Ce genre de préchauffeur épure moins bien les gaz que les deux autres et n'assure pas autant que ces derniers le piégeage des chlorures alcalins.

Les longs fours droits munis d'échangeurs thermiques à chaînes épurent moins bien les gaz que les fours avec préchauffeurs car la mise en contact des gaz et de la matière s'y fait moins bien. En outre, ces fours sont ceux qui sont les plus susceptibles de provoquer une ségrégation des substances volatiles dans l'électrofiltre. Comme l'eau de la pâte aide à absorber les matières contenues dans le courant gazeux et que les matières humides adhèrent mieux aux parois et aux chaînes du four, le long four droit du procédé humide devrait normalement être un meilleur épurateur que le four long du procédé sec.

En résumé, nos études laissent supposer que le plomb et le brome, une fois entrés dans le système de dépoussiérage, ont un comportement comparable à celui des alcalis et du chlore. Trois facteurs doivent être considérés pour prédire les effets possibles des huiles usées dans les autres types de fours :

a) Les longs fours ouverts favorisent davantage la concentration des substances volatiles dans les poussières sous forme de fines particules, d'où une multiplication des risques d'émissions polluantes à moins d'un bon contrôle général des poussières.

b) L'efficacité de l'électrofiltre est un élément important de tout système en ce qui a trait au contrôle efficace des émissions provenant de la combustion des huiles usées.

c) Tout le brome devrait normalement aboutir dans l'électrofiltre sous forme d'halogénure alcalin probablement dans tous les types de four, sauf s'il s'agit d'un four avec préchauffeur à quatre étages sans système de dérivation. Dans tous les systèmes, la majeure partie du plomb devrait se retrouver dans le clinker. Le volume de plomb recueilli dans le dépoussiéreur devrait alors être inversement proportionnel à l'efficacité du four comme épurateur. On ne prévoit aucun problème pour le zinc et le phosphore, mais leur teneur est un peu plus élevée en général dans l'électrofiltre des fours droits.

Puisque notre étude montre que le zinc et le phosphore sont presque complètement retenus dans le clinker, il ne devrait pas être nécessaire de calculer leur teneur si on faisait un autre essai de combustion des huiles de graissage usées dans un autre type de four à ciment. Ces huiles renferment surtout du plomb qui peut former des composés volatils. L'étude des bilans de plomb devrait montrer si la combustion d'huile de graissage usée dans d'autres fours a un effet nuisible quelconque sur la qualité de l'air. Il faudrait aussi surveiller la teneur en brome qui forme des composés volatils, des bromures alcalins surtout.

Il faut mentionner que le pouvoir épurateur du four à ciment n'est adéquat que si l'alimentation du four en cru est elle-même adéquate. Il ne faut pas employer les huiles usées au moment de la mise à feu du four ou de son arrêt, car ni le four, ni le préchauffeur ne contiennent alors de cru ou de clinker.

En résumé, nos découvertes s'appliquent aux fours où on trouve :

- a) une bonne épuration des gaz de combustion par les matières solides,
- b) des électrofiltres ou d'autres appareils efficaces permettant de recueillir les plus fines particules de matière.

Un rendement inférieur de l'électrofiltre affecterait surtout les particules les plus fines, où se concentrent justement les contaminants provenant de l'huile usée dans le cas des fours ouverts. Cela impliquerait qu'à mesure que les émissions de particules augmentent, celles des contaminants de l'huile usée augmenteraient à un rythme encore plus accéléré.

Selon nous, les expériences à venir, si elles ont lieu, vont démontrer que l'on peut employer les huiles de graissage usées dans presque tous les fours à ciment, pourvu que le contrôle des émissions de particules soit adéquat. Mentionnons aussi que dans toutes ces études il ne faudrait pas procéder à l'échantillonnage à la cheminée pour mesurer le volume des contaminants provenant de l'huile usée avant que celle-ci n'ait brûlé suffisamment longtemps pour permettre au système d'atteindre son régime permanent, étant donné l'accumulation de composés volatils due aux cycles internes.

4.6 ANALYSE COMPARÉE DE LA COMBUSTION DANS LE FOUR À CIMENT ET DES AUTRES MÉTHODES D'ÉLIMINATION DE L'HUILE USÉE

De toute l'huile usée produite chaque année au Canada, soit 80 millions de gallons, 5 ou 6 millions seulement subissent un second raffinage et sont réutilisés comme huile de graissage ⁽¹⁾. Le reste sert à

retenir la poussière sur les routes, est mélangé à d'autres combustibles pour être brûlé, ou est rejeté aux égouts. Il faut donc considérer les conclusions du présent travail sur ces méthodes insuffisantes, voire dangereuses, d'élimination des huiles usées.

La plus grande partie de l'huile usée récupérée est épandue sur les routes. Économiquement, il semble que jusqu'à maintenant cela ait été avantageux. Cependant une étude de l'E.P.A. ⁽⁴¹⁾ portant sur une route en particulier a démontré que :

- a) 70 p. 100 à 75 p. 100 de l'huile ne demeure pas sur la route, étant entraînée par la poussière et les eaux d'écoulement,
- b) 25 p. 100 à 30 p. 100 disparaît par volatilisation, adhésion aux véhicules ou biodégradation,
- c) 1 p. 100 seulement de l'huile demeure sur la route.

Cette étude a aussi démontré que la végétation des champs adjacents avait une teneur élevée en composés métalliques provenant de l'huile de la route.

Les huiles de graissage usées contiennent à la fois une partie des additifs utilisés dans leur fabrication et des impuretés dues à l'usage ou aux méthodes de collecte. Elles ne sont généralement pas bonnes pour le revêtement des routes, à cause des additifs émulsifs eaux-huile inclus dans leur formule originale et des substances chimiques polluantes qu'elles contiennent. Pour en éliminer les contaminants qui peuvent être dangereux et pour les rendre plus efficaces contre la poussière, il faudrait les traiter avant de les appliquer sur les routes. Ce traitement consisterait en une déshydratation thermique, suivie d'une rectification, pour éliminer les matières à faible point d'éclair, puis d'une mise en contact avec l'acide sulfurique. Ces méthodes ou d'autres augmenteraient le coût de l'épandage d'huile sur les routes et n'aideraient en rien à compenser la perte d'une ressource naturelle non renouvelable. Sous cet aspect, l'épandage de l'huile usée sur les routes comme méthode d'élimination devrait être considéré insatisfaisant.

On peut aussi utiliser l'huile usée comme combustible. Les émissions de constituants non combustibles créent alors un fort risque de pollution, si on utilise cette méthode sans discernement.

Il existe un ouvrage sur des essais de combustion faits avec de l'huile usée dans les chaudières et les fours à mazout ordinaires, préparé par Skinner ⁽¹⁾. Cet ouvrage contient un résumé de 10 essais faits par l'E.P.A., où on conclut qu'en moyenne 50 p. 100 du plomb se trouvant dans l'huile usée qui alimente un brûleur en sort sous forme d'émissions lors de la combustion, le reste étant rejeté durant le soufflage de la suie. Les études quantitatives contenues dans ce volume se limitent à la détermination des émissions de plomb dans les procédés courants de combustion.

Le tableau 13 présente nos données concernant les émissions de plomb comparées à celles qui ont été publiées dans trois rapports antérieurs. Les différences substantielles qu'on peut noter entre les rapports Pb entrant/Pb sortant (en pourcentage) des essais de combustion dans les brûleurs ordinaires et ceux de notre expérience, dans une cimenterie, démontrent ce qu'on peut gagner, sur le plan écologique, à brûler l'huile dans un four à ciment. Il existe un autre avantage aussi qui n'est pas tout à fait évident dans les travaux publiés. Au tableau 13, les effets du soufflage de la suie ne sont indiqués que par un seul test. Le test n° 10 de la Shell Oil a montré des valeurs d'émissions supérieures à 100 p. 100 pour le plomb émis durant le soufflage de la suie.

Le soufflage de la suie pose un problème de pollution majeur dans la combustion des huiles usées. On peut l'illustrer par les exemples suivants :

TABLEAU 13

Comparaison des émissions de plomb durant la combustion de l'huile usée à La Compagnie des Ciments du St-Laurent avec celles produites par d'autres types de combustion

Lieu des tests	Date de l'échantillonnage	Plomb (en livres par heure)		Sortie (%) Entrée
		Entrant (total)	Sortant (total)	
La Compagnie des Ciments du St-Laurent	22/4	45	0,014	0,031
	23/4	42	0,013	0,031
	30/4 (1)	32	0,009	0,029
	30/4 (2)	32	0,012	0,037
	1/5	32	0,017	0,052
Humble, Baltimore Terminal (1)	15/8/72 (1)	0,235	0,104	44,8
	15/8/72 (2)	0,235	0,156	66,4
	18/9/72	0,227	0,160	70,5
	22/9/72	1,17	0,504	45,1
	23/9/72	1,17	0,389	33,2
	6/9/72	1,14	0,400	35,1
	8/9/72	0,914	0,424	46,4
	11/9/72	0,933	0,480	51,4
	13/9/72	1,05	0,496	47,2
	11/10/72	3,77	0,806	21,4
	17/10/72	3,11	0,746	24,0
18/10/72	3,57	0,849	23,8	
Shell Oil (8)	1	22,6	7,75	34
	2	22,6	7,50	33
	3	22,6	6,26	28
	4	17,0	4,35	26
	5	17,0	3,40	20
	6	17,0	4,02	24
	7	17,0	3,67	22
	8	9,2	4,50	49
	9	9,2	3,83	42
	10	9,2	9,73	102*
Northern States Power Company (combustion au charbon)	12/6/73	4,19	< 0,007	0,167

* Incluant trois minutes de soufflage de suie.

a) Le rapport de la Shell Oil (*Shell Oil Company Wood River Refinery Waste Oil Burning Test*) ⁽⁸⁾ arrive à la conclusion suivante :

Même si les échantillons prélevés dans la cheminée ne rendent pas compte de plus de 50 p. 100 du plomb émis en temps normal, il faut conclure que de plus grandes quantités encore s'échappent durant le soufflage de la suie. Cela est confirmé aussi par le fait qu'on ne trouve aucun dépôt dans la chaudière, sauf certaines quantités stables dans les tuyaux.

b) *Le Humble Oil and Refinery Company Waste Oil Burning Test* ⁽¹⁾, effectué au terminal de Sewell's Point, a montré que des teneurs au niveau du sol, inférieures à $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en temps normal, s'élevaient à $0,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant le soufflage de la suie. La suie des tuyaux contenait 43 p. 100 de plomb.

c) L'essai de combustion des huiles usées, effectué par l'A.P.I. (Hawaiian Electric Co. Plant) en janvier 1974, a montré que le soufflage de la suie produit des flocons pouvant avoir jusqu'à 3 ou 5 pouces. Dans les essais précédents, à la même usine, on avait désincrusté et éliminé de temps à autre de la cheminée de grandes quantités de dépôts, même dans des conditions de plein rendement (56 mW). L'analyse de ces flocons a montré la présence principalement de fer (36,5 p. 100 poids/poids), de plomb (4,3 p. 100 poids/poids), de calcium (1,7 p. 100 poids/poids), de zinc (0,4 p. 100 poids/poids) et de magnésium (0,3 p. 100 poids/poids). Au cours de ces dégagements, les taux d'émissions de plomb à la cheminée dépassaient la teneur en plomb du combustible introduit dans les chaudières. Ceci indiquait l'émission de cendres accumulées et d'autres dépôts de matières.

La fabrication du ciment dans un four rotatif ne comporte jamais d'opérations comparables au soufflage de la suie et ne comporte donc pas d'émissions nocives liées à ce genre d'opérations.

d) L'addition de l'huile usée comme combustible dans les chaudières à charbon a été moins étudiée que dans les systèmes à mazout. Toutefois, un essai de ce genre a été effectué à la Northern States Power Company avec quelque 29 000 gallons d'huile usée. Le débit d'huile était de 155 gal/h, la charge de plomb de 4,036 lb/h et celle de charbon de 0,159 lb/h, soit 4,19 lb/h en tout. Le contrôle des émissions de plomb s'est fait par échantillonnage isocinétique à la cheminée : on a noté des teneurs inférieures à $6,99 \times 10^{-3}$ lb/h, soit 0,167 p. 100 en moyenne du plomb émis durant la combustion. La rétention se fait dans les escarbilles que capte l'électrofiltre.

On peut s'attendre à des émissions assez fortes de Br, de Zn, de P et d'autres éléments, si on fait brûler de l'huile usée dans une chaudière à mazout ordinaire. Nous ne possédons pas les données nécessaires pour évaluer le comportement de ces autres éléments lorsqu'on utilise des huiles usées dans un système alimenté au charbon.

5 CONCLUSION

L'emploi de l'huile de graissage usée comme combustible dans la fabrication du ciment se fonde sur une propriété bien connue des fours à ciment; ils servent d'épurateurs à chaux sèche pour le soufre et les halogénures présents dans les gaz du four. On a cru que cela permettrait aussi d'éliminer d'autres substances chimiques.

Les émissions de plomb, de zinc et de phosphore des gaz d'échappement du four ne se sont pas accrues du fait de la combustion de l'huile usée. On a observé, cependant, une légère augmentation des émissions de bromure et une légère diminution du volume total de particules émises.

Lorsque la combustion se fait dans des chaudières à mazout ordinaires, presque tout le plomb et, probablement, (nous n'en sommes pas certains) une grande partie du brome, du zinc et du phosphore sont rejetés dans l'atmosphère. L'épandage d'huile usée sur les routes constitue un apport direct de polluants dans le milieu, ce qui cause, d'après les rapports, une forte pollution de l'eau. Par contre, notre étude a montré qu'en moyenne, les émissions du four à ciment se limitent à 0,03 p. 100 du plomb et 0,7 p. 100 du brome introduits en même temps que l'huile usée.

Nous avons effectué un bilan matière de ces éléments à l'état de traces dans le four à ciment. Il a montré que 89 p. 100 du plomb, 72 p. 100 du brome et 100 p. 100 du zinc et du phosphore se trouvent retenus dans la matière du four. Une bonne partie du plomb, du zinc et du phosphore et une fraction du brome se retrouvent dans le clinker. La plus grande partie du brome à l'état de bromure a été retenue dans la poussière recueillie dans l'électrofiltre du système de dérivation et agglomérée sous forme de boulettes.

L'efficacité de ce four, pour épurer les gaz, se voit à la fois par le bilan matière et par les données sur les émissions atmosphériques.

L'analyse des données obtenues grâce à cette étude et à des travaux publiés portant sur la fabrication du ciment, nous amène à conclure qu'on peut, sans danger de pollution atmosphérique, employer les huiles de graissage usées comme combustible dans les fours à ciment si le contrôle des émissions de particules est suffisant.

Références

- Skinner, D.J., *Les huiles de graissage usées au Canada. Étude préliminaire*, Environnement Canada, Analyse économique et technique, Rapport EPS 3-WP-74-4F, Ottawa, 1974.
2. Tableau XII : Étude de la rétention et de l'émission du soufre provenant du combustible au cours de la fabrication du ciment Portland, dans E.W. Gagan, référence n° 12.
 3. Blaine, R.L., L. Bean et E.K. Hubbard, *Occurrence of Minor and Trace Elements in Portland Cement; Interrelations Between Cement and Concrete Properties*, Part 1, Section 3, Building Science Series 2, N.B.S., août 1965, p. 33.
 4. Lea, F.M., *The Chemistry of Cement and Concrete*, 3^e éd., Edward Arnold Ltd., 1970.
 5. Herod, B.C., «St. Lawrence Cement Expands Clarkson Operation», *Pit and Quarry*, juillet 1968.
 6. Coles, C.W. et D.G. Dainton, «St. Lawrence Cement Co., Clarkson Plant», *Cement Technology*, 1970, vol. 1, n° 2, p. 43.
 7. Schroth, G.A., «Suspension Preheater System Consumes Less Fuel», *Rock Products*, 1972, vol. 75, n° 5, p. 70.
 8. *Final Report of the Task Force on Used Oil Disposal*, A.P.I. Publ. No. 4036.
 9. Gruse, W.A. et D.R. Stevens, *Chemical Technology of Petroleum*, 3^e éd., McGraw-Hill, 1960, p. 440.
 10. Hirschler, D.A., L.F. Gilbert, F.W. Lamb et L.M. Niebylski, «Particulate Lead Compounds in Automobile Exhaust Gas», *Ind. Eng. Chem.*, 1957, vol. 49, n° 7, p. 1131.
 11. TerHaar, G.L. et M.A. Bavard, «Composition of Airborne Lead Particles», *Nature*, 1971, vol. 232, p. 553.
 12. Gagan, E.W., *Industrie du ciment et pollution atmosphérique. Techniques de contrôle des émissions*, Environnement Canada, Analyse économique et technique, Rapport EPS 3-AP-74-3F.
 13. White, H.J., *Industrial Electrostatic Precipitation*, Addison-Wesley Pub. Co. Inc., 1963, p. 326.
 14. Perry, J.H., C.H. Chilton et S.D. Kirkpatrick, *Chemical Engineers Handbook*, 4^e éd., McGraw-Hill, pp. 3-45.
 15. Gutt, W., «Manufacture of Portland Cement from Phosphatic Raw Materials», *Proceedings of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cements*, Tokyo, 1968, publié en 1969.
 16. Steinour, H.H., «The Effect of Phosphate in Portland Cement Clinker», *P.C.A. Res. and Dev. Bull.*, n° 85.
 17. Sichov, M.M., «Problem of Admixtures», réf. 15, vol. I, p. 157.
 18. Guinier, A. et M. Regourd, «Structure of Portland Cement Minerals», réf. 15, vol. I, p. 1.
 19. Hahn, T., W. Eysel et E. Woermann, «Crystal Chemistry of Tricalcium Silicate Solid-Solutions», réf. 15, vol. I, p. 37.
 20. Bogue, R.H., *The Chemistry of Portland Cement*, Reinhold Publishing Co., 2^e éd., 1955.
 21. Gilliland, J.L., «Removal of Alkalies by Use of Hydrochloric Acid», *Symposium on Alkali Removal and Problems*, PCA : M-15B.

22. Woods, H., *Reduction of Alkalis in Cement Manufacture*, PCA : M-14G.
23. Suzuki, K. et G. Yamaguchi, «A Structural Study of α^1 -Ca₂SiO₄», réf. 15, vol. I, p. 67.
24. Rengade, E., *Revue Matér. Constr. Trav. Publ.*, 1929, vol. 239, p. 290.
25. Midgley, H.G., «The Minor Elements in Alite and Belite», réf. 15, vol. I, p. 226.
26. Regourd, M., M. Bigare, J. Forest et A. Guinier, «Synthesis and Crystallographic Investigation of Some Belites», réf. 15, vol. I, p. 44.
27. Boikova, A.I. «The Effect of Chromium Oxide on the Structural Transformations in Tricalcium Silicate», réf. 15, vol. I, p. 234.
28. Sakurai, T., T. Sato et A. Yoshinaga, «The Effect of Minor Components on the Early Hydraulic Activity of the Major Phases of Portland Cement Clinker», réf. 15, vol. I, p. 300.
29. Midgley, H.G., «The Effect of Lead Compounds in Aggregate upon the Setting of Portland Cement», *Mag. Concr. Res.*, 1970, vol. 22, n° 20, p. 42.
30. Lieber, W. «The Influence of Lead and Zinc Compounds on the Hydration of Portland Cement», réf. 15, vol. II, p. 444.
31. Blaine, R.L., H.T. Arni et M.R. DeFore, «Compressive Strength of Test Mortars», section 7 de *Interrelations Between Cement and Concrete Properties*, Part 3, Building Science Series 8, N.B.S., avril 1968.
32. Martin, L.F., *Cement and Mortar Additives*, Noyes Data Corp., 1972, p. 7 et p. 130.
33. Taylor, H.F.W., «Crystal Structure and Properties of Cement Hydration Products», réf. 15, vol. II, p. 1.
34. Uchikawa, H. et K. Tsukiyama, «Barium Aluminate and Barium Silicate and Their Hydraulic Properties», réf. 15, vol. II, p. 156.
35. Kuzel, H.J. «X-ray Investigations of Some Complex Calcium Aluminate Hydrates and Related Compounds», réf. 15, vol. II, p. 92.
36. Le Bel, F. et G. Grasland, «Quarterternary Calcium Aluminate Hydrates; Crystal Structure of Calcium Aluminate Monobromide Hydrate», réf. 15, vol. II, p. 79.
37. Copeland, L.E. et D.L. Kantro, «Chemistry of Hydration of Portland Cement at Ordinary Temperatures», dans *The Chemistry of Cements*, éd. H.F.W. Taylor, Academic Press, 1964, vol. I, p. 313.
38. Locher, F.W., S. Sprung et D. Opitz, «Reactions Associated with Kiln Gases», *Zem.-Kalk-Gips*, édition spéciale n° 14 : *Process Technology of Cement Manufacture*, 1973, p. 37 (traduction anglaise).
39. Weber, P., «Heat Transfer in Rotary Kilns», *Zem.-Kalk-Gips*, éd. spéciale anglaise, 1963.
40. Norbom, H.R. «Wet or Dry Process Kiln for your New Installation?», *Rock Products*, 1974, vol. 77, n° 5, p. 92.
41. Freestone, F.J. *Runoff of Oils from Rural Road Treated to Suppress Dust*, Rapport EPA-R2-72-054, octobre 1972.

12

ANNEXE A

ANNEXE A

Mesure, échantillonnage et analyse des matières entrant dans le procédé de fabrication

La description schématique du cheminement des matières dans le procédé de fabrication est présentée à la figure A.1. Pour obtenir le bilan matières on a mesuré, échantillonné et analysé sept matières différentes. Le tableau A.1 les énumère et donne en même temps leurs proportions relatives en temps normal.

Tous les échantillonnages ont pu être effectués par les méthodes courantes, dans les installations déjà existantes de l'usine, sauf ceux de la poussière du système de dérivation, pour lesquels il a fallu installer une sonde d'échantillonnage spéciale.

A.1 PESEE ET ECHANTILLONNAGE DU CRU ET DU CLINKER

Le cru, préhomogénéisé, est amené du silo de stockage au four par deux transporteurs à vis montés en parallèle. Il est ensuite déversé sur une bande doseuse Gilmore (110 t/h chaque transporteur environ), d'où il tombe dans le conduit situé entre le premier et le second étages du préchauffeur. Pour assurer le contrôle normal de la fabrication, le poids du cru est constamment vérifié, et des échantillons composés de 24 heures sont recueillis alors qu'il tombe en chute libre. Ces échantillons sont homogénéisés et divisés de nouveau en deux sous-échantillons, pour analyse.

Le clinker sort du refroidisseur sur un convoyeur (125 t/h environ). Pour en contrôler la qualité, on recueille des échantillons sur le convoyeur à intervalles de deux heures afin de constituer des échantillons composés ordinaires de 24 heures. L'échantillon composé de clinker est mélangé, son volume, réduit par formation d'un cône et par quartation¹, et il est ensuite partiellement broyé. Chaque jour, environ 2 lb d'échantillons moulus sont recueillis, homogénéisés puis divisés en deux sous-échantillons égaux pour fins d'analyse.

TABLEAU A.1

Liste des matières analysées et des quantités normales (approximatives) employées pour la fabrication

Matières	Quantités approximatives
Cru	210 t/h
Clinker	125 t/h
Poussière rejetée (système de dérivation)	5 à 10 t/j
Matières solides de la tour de conditionnement	18 à 25 t/j
Mazout lourd «C»	—
Huile usée	10 à 15 gal/mn
Gaz d'échappement du four (3 cheminées)	Total : 130 000 pi ³ /mn T.P.N. (base sèche)

1. En anglais *Cone and quartering*.

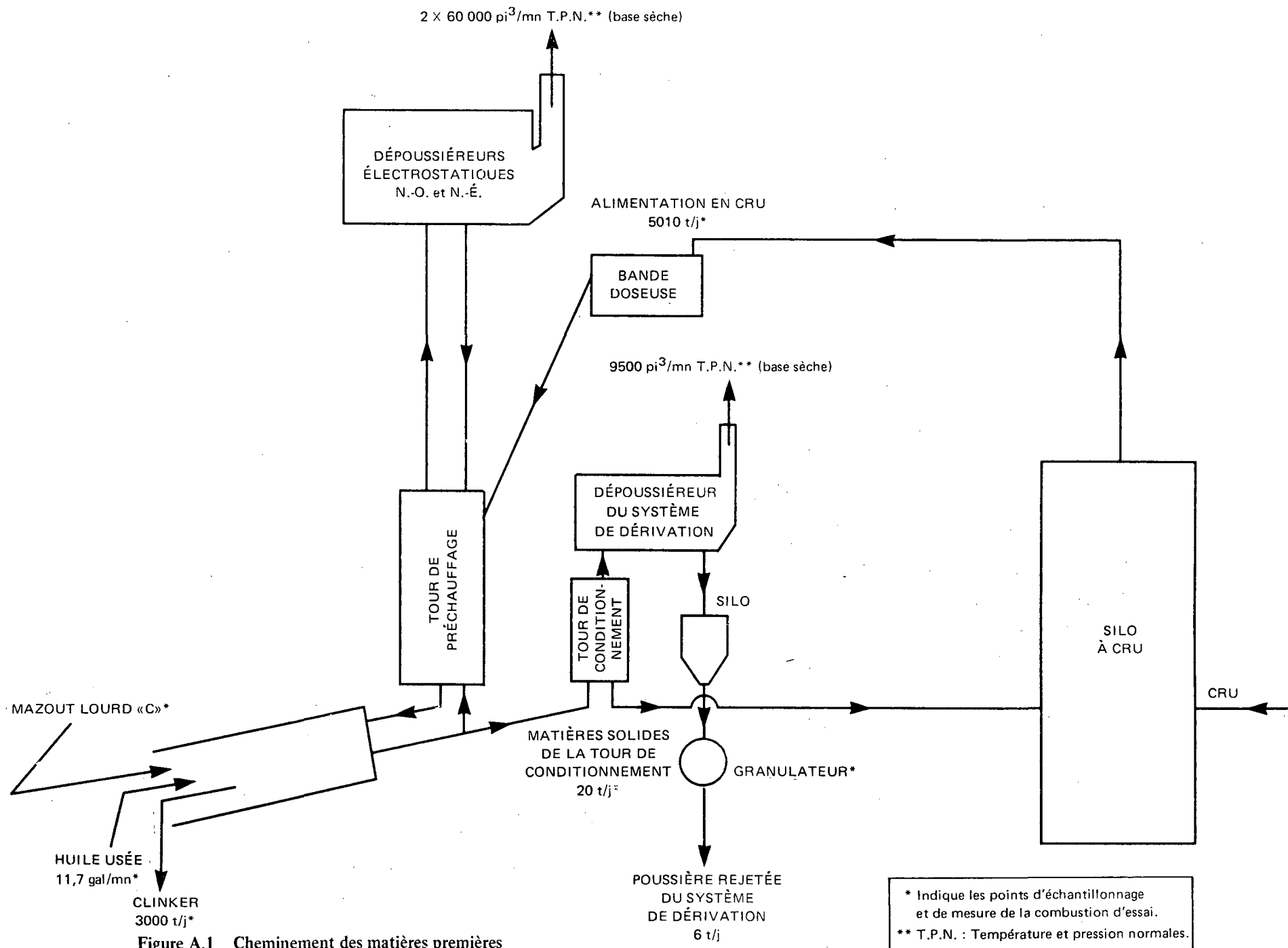


Figure A.1 Cheminement des matières premières

Conformément à la coutume dans cette industrie, aucune pesée continue du clinker n'est prévue. Les bandes doseuses servent surtout à contrôler l'alimentation du four; elles ne sont pas assez fiables pour servir à la pesée exacte et continue du cru. Souvent, dans les cimenteries, le clinker produit est calculé à partir de la relation qui existe entre la consommation de combustible et les données d'inventaire à long terme.

Cette relation est confidentielle pour la plupart des compagnies et n'est donc pas inscrite dans notre rapport. Pour obtenir la consommation réelle de cru, on procède habituellement par comparaison entre les différentes quantités de cru et de clinker nécessaires en période normale pour étalonner les bandes doseuses. C'est la méthode que nous avons adoptée. Nous avons choisi pour cela la période du 10 au 20 mars, au début du programme. La production journalière de clinker a été calculée à l'aide de chiffres déjà connus sur la consommation de combustible et du facteur d'étalonnage de l'usine, déterminé à partir de l'inventaire annuel. Le bilan matière total peut donc être décrit ainsi :

$$C = \frac{100}{(100 - PA_C)} \left[K + PSD \left(\frac{100 - PA_{PSD}}{100} \right) + MSTC \left(\frac{100 - PA_{MSTC}}{100} \right) \right] \quad (1)$$

où C = cru

K = clinker

PSD = poussière du système de dérivation

MSTC = matières solides de la tour de conditionnement

PA_{PSD} = perte de poussière du système de dérivation à l'allumage = 14 p. 100

PA_C = perte de cru à l'allumage = 34,66 p. 100

PA_{MSTC} = perte de matières solides de la tour de conditionnement à l'allumage = 22 p. 100

K est calculé à partir de la consommation d'hydrocarbures comme nous l'avons déjà noté; PSD et MSTC ont été déterminés selon une formule que nous expliquerons plus loin et qui se fonde sur des pesées d'essai et sur les données de l'usine concernant les heures de fonctionnement du système de dérivation dans une journée.

Ceci permet un étalonnage de la bande doseuse de sorte que :

$$C = A \times C_p$$

où

C_p = le poids d'après ce qu'indique la bande doseuse

A = le facteur d'étalonnage

Pendant la combustion de l'huile usée on ne pouvait calculer avec certitude le poids du clinker produit. L'équation (1) était alors utilisée sous la forme suivante :

$$A \times C_p = \frac{100}{65,34} \left(K + \frac{PSD \times 86}{100} + \frac{MSTC \times 78}{100} \right)$$

pour déterminer K, c'est-à-dire le clinker produit. Pour vérifier l'exactitude de tous ces calculs, on a pesé le clinker en cours de production, le 1^{er} mai.

Le convoyeur déverse le clinker à l'intérieur et à proximité de la paroi ouest de l'aire de stockage. Pour la pesée, on a prévu une période de douze heures pendant laquelle la matière déversée a été déplacée par pont roulant jusqu'à une aire accessible de l'extérieur. Des tracto-chargeurs déposent ensuite le

clinker dans des camions qui ont été pesés sur la bascule de l'usine. Les résultats de cet étalonnage de douze heures sont présentés au tableau A-2. La production quotidienne totale a été de 2932 tonnes, chiffre qu'on peut comparer à la valeur calculée de 3106 tonnes : cette marge d'erreur de 5,6 p. 100 est acceptable.

Les sources d'erreurs possibles dans le pesage sont les suivantes : (a) l'endroit par où le clinker pénètre doit être complètement vide aux moments précis où l'essai commence et où il se termine, (b) certaines pertes peuvent survenir lors de la manutention du clinker et (c) le fait que chacun des camions utilisés ne soit taré qu'une seule fois par jour. On ne croit pas que la marge d'erreur soit excessive vu que la manutention du clinker et le chronométrage ont été bien surveillés et que le déchargement des camions s'est fait sans obstacles.

A.2 PESÉE ET ÉCHANTILLONNAGE DE LA POUSSIÈRE REJETÉE (SYSTÈME DE DÉRIVATION)

Bien que le système de dérivation fonctionne en continu durant l'opération normale du four, la quantité de matière recueillie y est relativement faible. Pour un bouletage efficace, on utilise un silo de stockage. Alimenté sans arrêt, il se vide par un transporteur à vis dans une «soucoupe» de bouletage (pelletizer) en trois périodes de 75 minutes chacune. Durant ces périodes, des échantillons ont été prélevés à intervalles de 15 minutes à l'orifice situé immédiatement au-dessous du silo en vue d'obtenir un échantillon composé de 24 heures. Chaque échantillon était passé à travers un tamis n° 60, brassé dans un mélangeur en V et divisé de façon à obtenir deux échantillons d'analyse de 1 lb chacun.

Avant d'être rejetée, la poussière du système de dérivation qu'on laisse tomber sur un tambour rotatif en l'aspergeant d'eau est ainsi généralement agglomérée en boulettes. Les boulettes tombent du tambour dans une trémie de béton puis sont déposées dans des tracto-chargeurs. D'habitude, les boulettes ne sont retirées que tous les trois jours, l'accumulation quotidienne étant faible. Cette fois, elles ont été pesées tous les jours pendant deux semaines puis à deux autres reprises, les jours où on pesait aussi les matières solides de la tour de conditionnement. Les résultats obtenus ont été ajustés, compte tenu de l'eau qu'on a ajoutée pendant le bouletage.

Il se pourrait que la plus importante source d'erreur dans le calcul du poids au cours d'une journée soit due à la hauteur variable du stock de boulettes dans le silo quand les boulettes en sont retirées. Étant donné les variations dans les données recueillies, on a préféré utiliser le poids quotidien moyen (6,02 tonnes) pour calculer le bilan matière.

Les quantités journalières ont été calculées à partir du nombre d'heures quotidiennes de fonctionnement du système de dérivation (données officielles de l'usine) ce qui donne :

$$\text{PSD} = \frac{H}{24} \times 6,02 \text{ tonnes}$$

où PSD = poids de poussière par jour dans le système de dérivation

H = nombre d'heures de fonctionnement du système de dérivation.

A.3 PESÉE ET ÉCHANTILLONNAGE DES MATIÈRES SOLIDES DE LA TOUR DE CONDITIONNEMENT

Les matières solides sortent de la base de la tour de conditionnement sur un convoyeur à vis qui les ramène vers les silos de stockage de cru. Le dispositif comprend une station d'échantillonnage où

les prélèvements, faits à intervalles de deux heures, servent à préparer un échantillon composé de 24 heures. On filtre les matières solides prélevées au tamis n° 60 (après avoir broyé les morceaux les plus gros), on les homogénéise ensuite dans un mélangeur en V et on les divise pour obtenir deux échantillons de la grosseur requise pour l'analyse.

On s'est servi, pour la pesée, du dispositif d'urgence qui permet le renversement du convoyeur à vis au bas de la tour de conditionnement. La poussière ainsi déchargée sur le plancher de béton était alors chargée dans des camions, puis pesée.

Des pesées étaient prévues à divers moments; mais, à cause de certains problèmes, sur six tentatives, deux seulement ont réussi (à des jours consécutifs) au cours des six essais. Il a donc fallu prendre la moyenne de ces deux pesées (20 tonnes) dans tous nos calculs. Pour le calcul de l'accumulation journalière, on s'est servi de la même méthode que pour la poussière du système de dérivation.

Puisque le taux d'utilisation du système de dérivation n'a presque pas varié durant nos travaux, le volume de poussière ne devait normalement pas varier beaucoup plus d'un jour à l'autre.

A.4 MESURE ET ÉCHANTILLONNAGE DU MAZOUT LOURD «C»

On a dû procéder à l'échantillonnage de mazout lourd «C» pendant toute la durée de l'essai de combustion, au cas où on y trouverait certaines traces de Pb, de Zn, de Br ou de P, malgré la faible probabilité de voir augmenter sensiblement la charge. On a donc conservé pour cela une partie de l'échantillon composé quotidien recueilli pour le contrôle de routine de l'usine. On l'a recueilli durant une période de 24 heures, à intervalles de deux heures. Les quantités de combustible étaient constamment contrôlées et notées, ainsi que les autres données de production, mais elles ne sont pas présentées ici.

A.5 MESURE ET ÉCHANTILLONNAGE DE L'HUILE USÉE

L'échantillonnage de l'huile usée s'est effectué par prélèvements, à même le système d'alimentation, toutes les deux heures, pour obtenir un échantillon composé de 24 heures. Une fois recueillis, les échantillons ont été agités vigoureusement (dans un mélangeur à peinture «Red-Devil», très utile à cette fin) puis divisés en deux parties égales aux fins d'analyse. Notons que la sédimentation s'est faite assez rapidement dans les huiles usées analysées. On a pris grand soin d'agiter vigoureusement ces échantillons, avant leur division en parties aliquotes, tant pour nos propres analyses que pour celles faites dans les autres laboratoires.

Nous avons d'abord l'intention de mesurer sans interruption le débit d'huile. Un «target meter»¹ a donc été intégré à l'installation comme dispositif de contrôle. Peu après le début de l'essai, il s'est mis à fonctionner de façon très irrégulière. Apparemment, le jeu à l'intérieur de ce type d'appareil est si limité qu'une accumulation de particules provenant de l'huile usée a pu causer une ouverture plus grande que celle attribuable au débit de l'huile. Après l'avoir nettoyé et réparé à deux reprises, pour voir le problème réapparaître seulement quelques heures après la mise en marche, on a décidé de ne l'employer qu'à titre indicatif d'une panne totale. Les quantités d'huile ont donc été finalement mesurées d'après la lecture de la jauge des réservoirs, toutes les trois heures. Les camions de livraison de l'huile de récupération ont été pesés à l'entrée et à la sortie de l'usine, l'heure s'inscrivant automatiquement sur la fiche de pesée de la bascule. En combinant les volumes indiqués par la jauge et le nombre de livraisons, on a pu calculer la quantité d'huile de récupération brûlée chaque jour.

1. Débitmètre fabriqué par la Foxborough Co. Ltd. dont l'élément de mesure est une cible placée dans un tuyau.

Il faut noter que toutes les huiles de récupération n'affectent pas le «target meter» de cette façon. Celui-ci a déjà été utilisé aux mêmes fins avec succès à La Compagnie des Ciments du St-Laurent, mais certains types d'huiles ou certaines sources d'approvisionnement peuvent être la cause de ce problème.

A.6 ÉCHANTILLONNAGE DES ÉMISSIONS DE GAZ DU FOUR

A.6.1 Protocole d'essai

Le four et deux préchauffeurs en parallèle sont alimentés en air par deux ventilateurs Joy de 150 000 pi³/mn. Les gaz passent par des électrofiltres montés en parallèle et s'échappent par deux cheminées situées aux angles N.-O. et N.-E. des tours de préchauffage; on a noté que le débit volumétrique des gaz de chacune s'établissait à 60 000–65 000 pi³/mn T.P.N. (base sèche)². Un ventilateur, situé à la sortie de l'électrofiltre du système de dérivation, évacue les gaz du système de dérivation et les envoie vers une cheminée située à l'angle S.-E. de la tour de préchauffage. Le débit volumétrique des gaz s'est élevé à 9000–10 000 pi³/mn T.P.N. (base sèche) durant notre étude.

Il fallait pour ce programme d'essais que les tests d'émissions soient faits pour chacune des cheminées, conformément aux normes d'essai officielles du S.P.E. ⁽¹⁾ et du ministère de l'Environnement de l'Ontario ⁽²⁾. Trois tests devaient être effectués avant l'essai de combustion, six durant l'essai et trois autres après, sur chaque cheminée. Le calendrier suivi est présenté au tableau A.3 avec une description des combustibles employés à chaque occasion. Les essais devaient être cohérents dans la détermination des émissions de particules et du Pb, du Zn, du P et du Br. On ne s'attendait pas à ce que ceux-ci soient émis sous forme d'éléments, mais plutôt sous forme d'oxydes ou de silicates complexes ou encore d'halogénures ou de sulfates alcalins.

TABLEAU A.3

Calendrier des tests d'émission

N ^o du test	Date	Cheminées étudiées	Combustibles employés
1	11 mars	N.-O., N.-E.*	Mazout louré «C» seulement
1 (a)	14 mars	S.-E.	
2	12 mars	N.-O., N.-E.*	
2 (a)	14 mars	S.-E.	
3	12 mars	N.-O., N.-E.*	
3 (a)	15 mars	S.-E.	
4	22 avril	N.-O., N.-E., S.-E.*	Mazout lourd «C» + huile usée
5	23 avril	N.-O., N.-E., S.-E.*	
6	30 avril	N.-O., N.-E., S.-E.*	
7	30 avril	N.-O., N.-E., S.-E.*	
8	1 ^{er} mai	N.-O., N.-E., S.-E.*	
9	2 mai	N.-O., N.-E., S.-E.*	
10	29 mai	N.-O., N.-E., S.-E.*	Mazout lourd «C» seulement
11	29 mai	N.-O., N.-E., S.-E.*	
12	30 mai	N.-O., N.-E., S.-E.*	

* Tests simultanés.

2. T.P.N. : température et pression normales.

A.6.2 Choix des points d'échantillonnage à la cheminée

Les prélèvements ont été effectués en travers de chacune des cheminées à partir de deux points d'échantillonnage situés dans le même plan et à angle droit. Les cheminées surplombent un toit plat situé à 267 pi 9 po au-dessus du sol. Voici la position des points d'échantillonnage, dans chaque cheminée, par rapport aux points de turbulence.

Cheminée	Localisation	Position des points d'échantillonnage par rapport aux points de turbulence les plus proches (diamètre des cheminées)		Diamètre de la cheminée (pieds)
		Amont	Aval	
Préchauffeur	N.-O.	1,4 (diam.)	2,6 (diam.)	7,0
Préchauffeur	N.-E.	1,4 (diam.)	2,6 (diam.)	7,0
Système de dérivation	S.-E.	2,5 (diam.)	3,3 (diam.)	3,75

Pour un échantillonnage *idéal*, le Code conseille d'effectuer l'échantillonnage à une distance égale à huit fois le diamètre de la cheminée, en aval de l'obstacle, et à deux fois cette distance en amont. Les points d'échantillonnage accessibles ne constituaient pas à cet égard ce qu'on pourrait appeler l'*idéal*. Après examen des profils de vitesse des gaz dans la cheminée, on a décidé, de concert avec Environnement Canada et le ministère ontarien de l'Environnement, de procéder à un échantillonnage isocinétique en 24 points sur chaque traverse des cheminées N.-O. et N.-E. de la tour de préchauffage et en 16 points sur chaque traverse de la cheminée du système de dérivation. Pour les tests 4 à 12, la prise d'échantillons s'est faite simultanément aux trois cheminées.

A.6.3 Appareils et méthodes

Des dispositifs d'échantillonnage Joy (E.P.A., Modèle CU-2) ont servi à l'échantillonnage. Le schéma d'un dispositif d'échantillonnage est présenté à la figure A.2. Le cyclone équipé d'un collecteur n'a pas été utilisé pour ces tests car les charges de poussière de l'effluent, après utilisation des dispositifs de contrôle, n'étaient pas considérées comme élevées. Des sondes d'acier inoxydable de 10 pi et de 5 pi ont été utilisées, la première pour les cheminées du préchauffeur et la seconde, pour la cheminée du système de dérivation; leur diamètre intérieur était de 1/4 po. Avant chaque test, on a effectué certaines mesures sur chacune des cheminées pour déterminer la vitesse moyenne, la température et la composition des gaz, de même que leur degré d'humidité, conformément à ce qui est exigé par les codes. On s'est assuré que l'échantillon était pris de façon isocinétique pour chaque essai en prélevant un échantillon pendant cinq minutes à chacun des points choisis et en enregistrant les données à intervalles de 2,5 minutes.

La température des gaz, mesurée à chaque point d'échantillonnage par un thermocouple, a été surveillée de la console Joy (E.P.A.). Un tube de Pitot en S, intégré à la sonde d'échantillonnage, a servi à mesurer la pression dynamique.

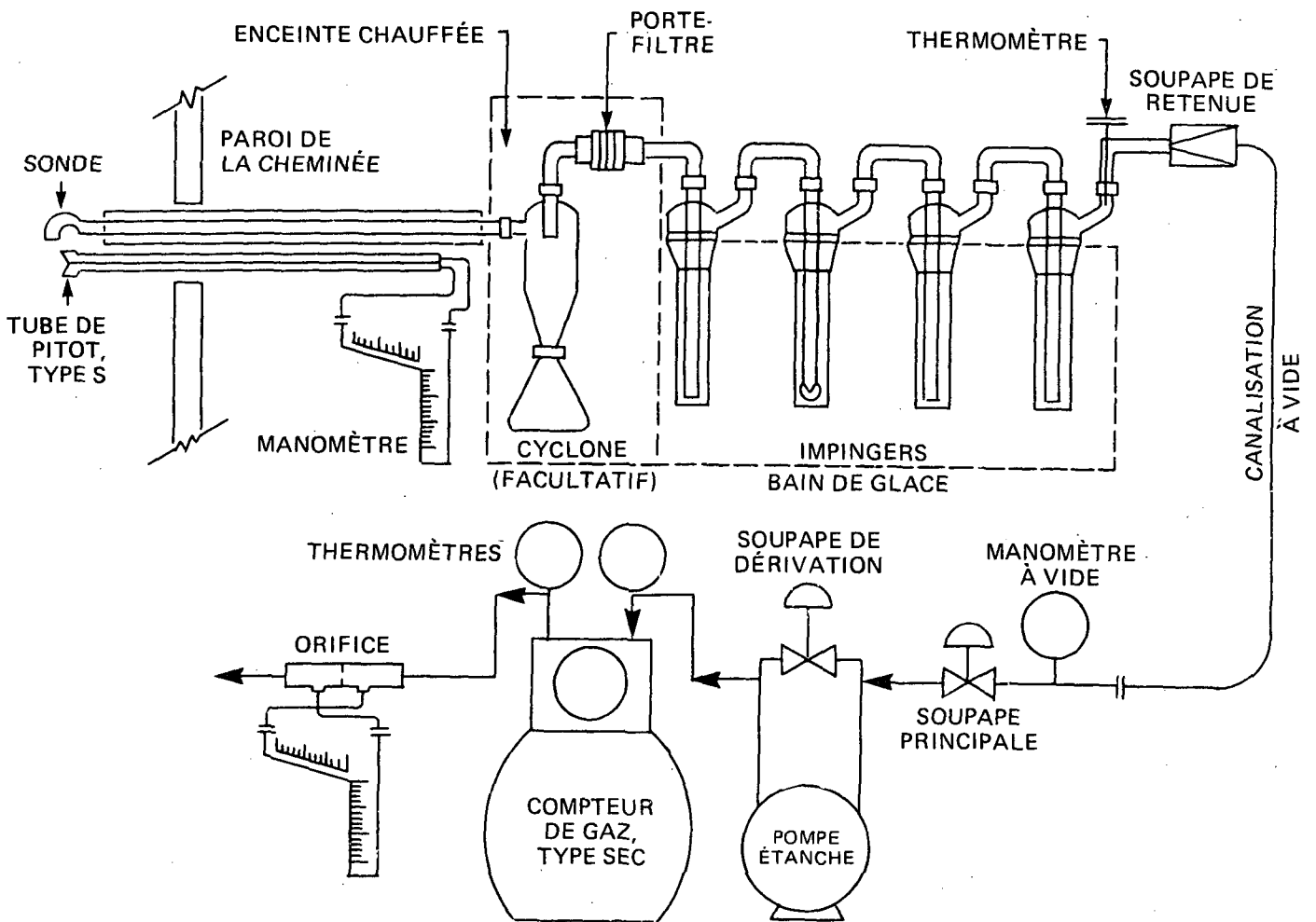


Figure A.2 Dispositif d'échantillonnage

Le coefficient de Pitot de chaque sonde était de 0,85. Pour les cheminées N.-O. et N.-E., on s'est servi respectivement des sondes n° 5 et n° 6, à revêtement d'acier inoxydable; pour la cheminée S.-E. (du système de dérivation), on a utilisé les sondes n° 3 et n° 4. L'échantillonnage a débuté du côté de la paroi opposée à l'orifice. La détermination des points d'échantillonnage le long de chaque traverse s'est faite selon les indications du *Source Testing Code* du ministère ontarien de l'Environnement ⁽²⁾. Ces points sont choisis de façon à être au centre de zones égales.

Le débit volumétrique se calcule en multipliant la vitesse moyenne des gaz à chacun des points par la superficie de la section de la cheminée au point d'échantillonnage. Le débit des gaz dans la cheminée, la teneur en eau, la charge de particules et les taux d'émission sont calculés d'après les méthodes indiquées dans le *Source Testing Code* ⁽²⁾.

Tous les tuyaux de la sonde avaient un diamètre intérieur de 0,205 po pour permettre un taux d'échantillonnage isocinétique d'environ 0,4 pi³/mn. Les compartiments de la sonde et du porte-filtre ont été maintenus à une température comprise entre 250°F et 300°F. Des filtres *Reeve Angel* en fibre de verre (900AF) de 12,5 cm ont servi à recueillir les particules. Toutes les pièces du dispositif d'échantillonnage, depuis la sonde jusqu'au quatrième impinger, étaient en verre.

Les deux premiers impingers du dispositif d'échantillonnage ont été remplis avec 250 ml d'eau distillée; le troisième est demeuré vide tandis que le quatrième contenait du gel de silice servant à éliminer l'humidité des gaz à mesurer.

Chaque jour de prélèvement, on a fait trois analyses à l'Orsat des gaz de chaque cheminée.

À la fin de chaque test, on a retiré avec soin le filtre, qu'on a ensuite placé dans un contenant et transporté au laboratoire. L'intérieur des sondes a été entièrement brossé et rincé soit avec de l'acétone, soit avec de l'eau distillée. Au cours des premiers tests de référence, c'est-à-dire du 11 au 15 mars, on s'est servi d'acétone pour rincer les dépôts à l'intérieur de la sonde et ceux de la partie interne du porte-filtre qui précède le filtre. Le reste des objets de verre a été rincé à l'eau distillée. On a constaté que le rinçage à l'acétone augmentait la charge totale de particules dans la sonde, vu la formation d'un dépôt résineux après l'évaporation de l'acétone. Pour les tests suivants on s'est plutôt servi d'eau distillée pour le rinçage de la sonde. Une fois le filtre enlevé, l'eau de rinçage du porte-filtre a été ajoutée à l'eau de rinçage de la sonde. Ces solutions de rinçage ont été conservées dans des bouteilles de polyéthylène.

Toute l'eau des impingers a été mesurée puis versée dans des bouteilles de polyéthylène. Le gel de silice a été retiré du quatrième impinger et conservé dans un autre contenant. Au laboratoire, les filtres furent remis en état et pesés de nouveau. Les solutions de rinçage de la sonde furent passées à travers des filtres à micropores pour séparer les fractions solubles des matières insolubles. L'humidité retirée du gaz échantillonné a été déterminée à partir de l'augmentation en poids du gel de silice et de l'augmentation en volume des solutions de l'impinger.

La concentration de particules dans le courant de gaz a été déterminée en additionnant l'augmentation totale du poids des particules recueillies dans les filtres et la quantité totale de matières trouvées dans la solution de rinçage de la sonde, et en divisant cette somme par le volume normalisé de gaz échantillonné (ramené aux conditions normales de température, de pression et d'humidité). Les matières que l'on trouve dans l'impinger ne sont pas considérées comme des particules par la Direction générale des ressources atmosphériques et font l'objet d'un rapport séparé. Les concentrations de particules et les taux d'émission

correspondant à chacun des tests ont été calculés selon les méthodes mentionnées dans le *Source Testing Code* ⁽²⁾.

A.7 ANALYSE DES MATIÈRES SOLIDES DU PROCÉDÉ

L'obtention d'un bilan matière au cours de cette combustion d'huile usée a exigé l'analyse chimique du clinker, du cru, des matières solides de la tour de conditionnement et de la poussière de l'électrofiltre du système de dérivation pour en déterminer la teneur en plomb, en brome, en zinc et en phosphore. Alors que l'analyse des principaux constituants du ciment est chose courante un peu partout, l'analyse quantitative des éléments à l'état de traces tient par contre peu de place dans les travaux déjà publiés. Blain, Bean et Hubbard ⁽³⁾ ont analysé 186 ciments Portland pour en déterminer la teneur en éléments à l'état de traces, en utilisant une méthode spectrographique qui fournit des données semi-quantitatives pour des éléments à des concentrations aussi faibles que 0,001 p. 100 en poids.

L'emploi de la méthode d'analyse par absorption atomique (A.A.) a été envisagé pour étudier les principaux composants des matériaux entrant dans la fabrication du ciment. Toutefois, certains mélanges de cru et certaines poussières ne sont pas totalement solubles en milieu acide. La possibilité d'une précipitation de $PbSO_4$, entre autres, posait un problème. C'est par fusion avec du métaborate de lithium que la Portland Cement Association obtient des échantillons pouvant se dissoudre dans l'acide, en vue des analyses par A.A. Comme on l'indique ci-dessous, cette méthode ne peut servir à déterminer la teneur en Pb ou en Zn, car ces éléments se volatilisent durant la fusion. Quant au brome et au phosphore, ils ne peuvent être analysés par A.A.

Il existe une autre méthode, applicable celle-là à tous les éléments : l'analyse par fluorescence de rayons X (FX).

D'utilisation fréquente ces dernières années, elle permet l'analyse de traces dans les minéraux silicatés riches en éléments en faible concentration (voir, par exemple, Cowgill ⁽⁴⁾). En vue de déterminer l'utilité de cette méthode, nous avons dû chercher si les matériaux étudiés provoquaient certaines erreurs systématiques. Une série d'expériences préliminaires destinées à évaluer la méthode ont eu lieu afin d'établir ce bilan matière expérimental.

D'abord il a fallu examiner les matières solides présentes pour déterminer leurs éléments et savoir quels effets de matrice sont les plus susceptibles de limiter l'application de la méthode. Trois genres d'expériences ont eu lieu : (a) l'examen des techniques de fusion en vue de limiter (ou de normaliser) les effets de matrice; (b) l'analyse semi-quantitative des matières solides; (c) la préparation, par la méthode des additions connues, de courbes de concentration en fonction de la lecture des instruments pour les éléments recherchés.

A.7.1 Travaux préliminaires

L'une des sources d'erreurs matricielles les plus répandues, associée à l'emploi de la fluorescence X, est la différence de taille des particules provenant des divers échantillons. L'un des moyens courants pour venir à bout de ce problème est d'homogénéiser les spécimens en les fondant avec des éléments vitrifiables, du tétraborate de lithium par exemple. On a supposé, dans le cas de la présente étude, que du Pb, du Zn et du Br seraient perdus si les échantillons étaient soumis à la fusion. Au cours d'une série de fusions expérimentales avec un échantillon de matières solides provenant de la tour de conditionnement, on a fait varier de diverses manières les facteurs durée et température. Les résultats, présentés au tableau A.4 (sous forme de

changements dans les rapports), démontrent clairement que le procédé par fusion ne conviendrait pas pour ces échantillons.

TABLEAU A.4

Pertes d'intensité de fluorescence de rayons X (FX) lors de la fusion des matières solides de la tour de conditionnement avec du tétraborate de lithium

Température (°C)	Durée (mn)	Perte d'intensité FX en pourcentage		
		Pb (L β)	Br (K α)	Zn (K α)
1000	10	0	53,78	5,31
1100	10	0	80,60	0
1200	3	52,44	60,34	0
1200	5	79,27	71,94	2,65
1200	10	95,12	93,01	30,97
1200	15	100	98,72	51,33
1200	20	89,02	98,86	68,14
1300	10	71,95	96,86	78,76
Pas de fusion	—	0	0	0

La méthode de normalisation interne appelée «méthode d'addition connue» a été jugée plus acceptable pour ces échantillons. Elle est reconnue en matière d'analyse d'éléments à l'état de traces, mais son degré d'exactitude dépend du contrôle des effets de matrice.

A.7.2 Méthodes d'analyse

Les laboratoires de l'O.R.F.³ et de la C.C.S.L.⁴ ont mis au point leurs propres méthodes d'analyse. Cette façon de procéder fait que toute erreur systématique introduite par une méthode ou une technique quelconque se manifeste sous forme d'un désaccord systématique entre les deux séries de résultats. Cette section du rapport présente en détail la méthode utilisée dans chaque laboratoire.

Des disques agglomérés sous forme de pastilles ont été utilisés aux deux endroits. À l'O.R.F., ils ont été préparés en ajoutant 2 g d'échantillon à 0,5 g de Methocel (liant), en faisant subir au mélange un broyage de dix minutes dans un broyeur SPEX 8000 avec cylindre de carbure de tungstène et en formant des pastilles de 1,25 po de diamètre à une pression de 25 t. À La Compagnie des Ciments du St-Laurent, on a broyé pendant une minute des échantillons de 10 g, sans utiliser de liant, dans un «Shatterbox» SPEX dont le contenant et les rondelles étaient en carbure de tungstène. Des pastilles de 1,25 po de diamètre ont alors été agglomérées sous une pression de 8 tonnes.

3. O.R.F. : Ontario Research Foundation.

4. C.C.S.L. : La Compagnie des Ciments du St-Laurent.

Pour pouvoir utiliser l'analyse par fluorescence de rayons X, il faut qu'il y ait une relation linéaire entre la concentration des éléments (dans toute la plage de concentration nécessaire) et l'intensité de la fluorescence mesurée. La pente de la ligne qui représente cette relation peut alors être utilisée directement comme une constante d'étalonnage, généralement sous forme de rapport impulsions par seconde/pourcentage de l'élément. Lorsqu'une courbe d'étalonnage est obtenue par addition à la matière à analyser de quantités connues de l'élément dont on veut connaître la teneur (*spiking*), le point d'intersection de la courbe avec l'axe des abscisses représente le pourcentage de l'élément présent dans l'échantillon original avant toute addition.

En outre, la reproductibilité de la constante d'étalonnage constitue une condition préalable à l'application de la méthode à toute une série de matières solides sur lesquelles l'effet de matrice se fait plus ou moins sentir.

Avant la mise au point finale des méthodes d'analyse ces deux aspects ont été étudiés. Pour la linéarité de l'étalonnage, on a choisi un échantillon représentatif de chacun des quatre types de matières solides. Chaque laboratoire a fait un choix séparément. L'O.R.F. a mélangé 2 g de ce matériau à 0,5 g de Méthocel; 10 g d'échantillon furent utilisés à La Compagnie des Ciments du St-Laurent. Les échantillons ont été placés sur des verres de montre; on leur a ajouté une quantité mesurée de chacune des quatre solutions de méthanol contenant une quantité connue de Pb, de Br, de Zn et de P. Après séchage, chaque mélange a été moulu et aggloméré en pastilles de la manière décrite.

Toutes les substances servant à préparer les solutions standard étaient de qualité «réactif», sauf le triphényle phosphate qui était un produit de référence standard préparé par le U.S. National Bureau of standards (n° 1071 a). La concentration et la composition des solutions standard utilisées dans les deux laboratoires sont présentées au tableau A.5. En ce qui concerne l'étalonnage du phosphore dans le clinker, L'O.R.F. a utilisé une série d'échantillons de ciments Portland provenant du National Bureau of Standards des États-Unis (*Standard Reference Materials* 633 à 639 et 1011 à 1016).

L'étude de ces échantillons aux deux laboratoires par la mesure de l'intensité des rayons X a donné des courbes d'étalonnage linéaires en fonction de la quantité d'élément ajoutée. Les points d'intersection de la courbe et les coefficients de régression (corrélation) présentés aux tableaux A.6 et A.7 ont été obtenus par la méthode des moindres carrés appliquée à chaque série de données.

À l'O.R.F., la recherche fut poussée plus avant pour voir s'il existait des différences significatives, en ce qui concerne l'absorption due à la matrice, entre différents échantillons des mêmes types de matières solides. Outre les échantillons choisis pour les fins que nous venons de décrire, on a choisi pour les analyses, parmi tous ceux qui ont été recueillis, trois échantillons de cru, trois de clinker et trois de matières solides provenant de la tour de conditionnement et cinq de poussière provenant du système de dérivation. À chaque échantillon on a ajouté 0,1 p. 100 de Pb, de Zn, de Br et de P en solution. On a calculé le facteur d'étalonnage de chaque échantillon et de chaque élément et le coefficient de variation pour chaque série de données. Les résultats obtenus sont présentés au tableau A.8. Les coefficients de variation plutôt élevés observés pour la poussière du système de dérivation nous montrent qu'une analyse plus précise exigerait un ajustement des facteurs d'étalonnage pour s'adapter à la composition générale de chaque échantillon de poussière. La méthode la plus pratique se fonde sur une mesure de l'intensité de diffusion des rayons X, ce que nous verrons maintenant.

Notre étude portait sur l'analyse de quatre éléments dans quatre types de matériaux différents, ce qui fait au total seize analyses. Pour en faciliter la description, nous les représenterons par six lettres

TABLEAU A.5
Solutions mères normales

N° de solution	Composé	Concentration
O.R.F.-1	Acétate de <i>zinc</i> , Zn (C ₂ H ₃ O ₂) ₂ ·2H ₂ O	0,6715 g/100 ml
O.R.F.-2	<i>Bromure</i> de potassium, KBr	0,2978 g/100 ml
O.R.F.-3	Nitrate de <i>plomb</i> , Pb (NO ₃) ₂	0,3197 g/100 ml
O.R.F.-4	Triphényle <i>phosphate</i> , (C ₆ H ₅) ₃ PO ₄	2,1044 g/100 ml
C.C.S.L.-1	Nitrate de <i>zinc</i> , Zn (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0,0910 g/ℓ
C.C.S.L.-2	Nitrate de <i>zinc</i>	1,8225 g/ℓ
C.C.S.L.-3	Nitrate de <i>plomb</i> , (Pb(NO ₃) ₂)	0,3197 g/ℓ
C.C.S.L.-4	Nitrate de <i>plomb</i>	6,4350 g/ℓ
C.C.S.L.-5	<i>Bromure</i> de potassium, KBr	0,1489 g/ℓ
C.C.S.L.-6	<i>Bromure de zinc</i> *, ZnBr ₂	11,4100 g/ℓ
C.C.S.L.-7	Triphényle <i>phosphate</i> , (C ₆ H ₅) ₃ PO ₄	10,5344 g/ℓ

* Bien que très hygroscopique, le bromure de zinc se dissout facilement dans le méthanol. La solution a été normalisée en ajoutant à trois reprises à la poussière du système de dérivation cette solution et du bromure de potassium en cristaux, l'addition de solides étant considérée comme normale.

TABLEAU A.6
Données sur les moindres carrés pour la préparation des courbes d'étalonnage (O.R.F.)

Matière	Élément	Coefficient de corrélation	Pente	Points d'intersection (pourcentage)
Cru	Pb	0,9998	10 613	0,0011
	Br	0,9999	31 793	0,0005
	Zn	0,9999	17 985	0,0035
	P	0,9986	5 057	0,038
Clinker	Pb	0,9998	7 799	0,0007
	Br	0,9999	23 041	0,0006
	Zn	0,9999	12 929	0,0061
	P	0,9998	5 719	—
Matières solides de la tour de conditionnement	Pb	0,9997	8 498	0,035
	Br	0,9992	22 712	0,063
	Zn	0,9999	13 748	0,017
	P	0,9969	6 346	0,029
Poussière du système de dérivation	Pb	0,9997	7 072	0,069
	Br	0,9997	19 092	0,39
	Zn	0,9996	12 330	0,012
	P	0,9990	6 162	0,013

TABLEAU A.7
Données sur les moindres carrés pour la préparation des courbes d'étalonnage (C.C.S.L.)

Matières	Éléments	Coefficients de corrélation	Pentes	Points d'intersection
Cru	Plomb	0,9977	5584	0,0005
	Bromure	0,9972	8681	0,0012
	Zinc	0,9998	3514	0,0053
	Phosphore	0,9986	716	0,037
Clinker	Plomb	0,9952	2612	0,0005
	Bromure	0,9991	5950	0,0005
	Zinc	0,9989	2150	0,0108
	Phosphore	0,9748	595	0,055
Matières solides de la tour de conditionnement	Plomb	0,9997	1904	0,0177
	Bromure	0,9998	7117	0,0427
	Zinc	0,9928	2018	0,015
	Phosphore	0,9935	782	0,039
Poussière du système de dérivation	Plomb	0,9999	1710	0,037
	Bromure	0,9997	5436	0,35
	Zinc	0,9996	2248	0,008
	Phosphore	0,9971	762	0,017

TABLEAU A.8
Facteurs d'étalonnage des solutions utilisées pour tracer la courbe d'étalonnage (i/s*, pourcentage)

Matières		Pb	Br	Zn	P
Cru	Valeur moyenne	25 043	31 855	18 213	5 060
	Coefficient de variation	0,6 %	1,2 %	1,1 %	3,0 %
Clinker	Valeur moyenne	19 318	23 872	13 507	**
	Coefficient de variation	4,9 %	3,3 %	3,3 %	**
Matière solides de la tour de conditionnement	Valeur moyenne	8 379	22 835	14 164	6 313
	Coefficient de variation	1,1 %	3,6 %	3,4 %	4,6 %
Poussière du système de dérivation	Valeur moyenne	7 057	18 312	12 220	5 990
	Coefficient de variation	9,0 %	12,2 %	3,1 %	8,3 %

* i/s : impulsions par seconde.

** La détermination de la teneur en P du clinker a été faite en se servant de matériaux standard de référence du National Bureau of Standards (voir texte).

(voir tableau). Chacune correspond à une variante d'utilisation des appareils ou des méthodes d'analyse de l'O.R.F.

Tableau descriptif des types d'analyses

Matières	Pb	Br	Zn	P
Cru	C	A	A	D
Clinker	C	A	A	E
Matières solides de la tour de conditionnement	A	A	A	D
Poussières du système de dérivation	B	B	B	F

Les méthodes d'analyse finalement utilisées par l'O.R.F. et résumées ci-dessous vont de pair avec ce tableau :

a) *Analyses de type A, C et D.* Les quatre couples de conditions d'analyse ont été étudiés par rayons X afin d'obtenir un facteur d'étalonnage moyen (en impulsions par seconde/pourcentage de l'élément analysé dans l'échantillon). Les niveaux d'intensité mesurés (i/s) ont été divisés par ce facteur afin d'obtenir le pourcentage de l'élément dans les inconnus.

b) *Analyses de type B et F.* Six couples de conditions d'analyse ont été utilisés pour obtenir six valeurs distinctes pour le facteur d'étalonnage. On a calculé une corrélation linéaire, basée sur la méthode des moindres carrés, entre cette constante et l'intensité de radiation secondaire mesurée à 17,60°, le réglage des appareils étant alors le même que pour les analyses de type A et B. Pour chacun des échantillons de poussière du système de dérivation, on a calculé un facteur d'étalonnage en se servant de l'intensité de radiation secondaire et de l'équation des moindres carrés. Les niveaux d'intensité mesurés pour les éléments ont été divisés par le facteur déjà calculé de façon à obtenir le pourcentage de l'élément dans les inconnus.

c) *Analyses de type E.* C'est à partir des *Standard Reference Materials* du N.B.S. qu'on a calculé une relation linéaire, basée sur la méthode des moindres carrés, entre le pourcentage de P et les niveaux d'intensité mesurés. Cette équation a servi à calculer le pourcentage de P des échantillons de clinker à teneur inconnue.

Puisque la méthode que nous avons décrite pour l'étalonnage des échantillons de poussière exige pas mal de temps et que cette poussière ne représente, en général, qu'une petite partie du bilan matière, il a été décidé à La Compagnie des Ciments du St-Laurent d'analyser les inconnus sans utiliser cette méthode. Un échantillon de chaque matériau a alors été soumis à la méthode d'addition connue, ce qui a donné un étalonnage unique pour chaque élément dans chaque matériau. Les facteurs d'étalonnage ont alors servi à obtenir les pourcentages d'éléments présents dans les échantillons dont la teneur était inconnue.

Le mode d'utilisation des instruments aux deux laboratoires est présenté au tableau A.9; ce qu'on y rapporte relativement aux analyses de l'O.R.F. s'applique aux différentes catégories d'analyses que nous venons de voir.

Les limites inférieures de détection (L.I.D.) se définissent ainsi : la concentration qui permet un taux de comptage mesuré équivalant à A fois l'écart-type du rayonnement de fond.

$$\text{L.I.D.} = \frac{A}{m} \left[R_b/T_b \right]^{1/2}$$

où m = pente en i/s par pourcentage
 R_b = taux de comptage mesuré (i/s) du rayonnement de fond
 T_b = durée du comptage en secondes

Les limites de détection pour $A = 3$ (seuil de confiance de 99 p. 100) et $A = 2$ (seuil de confiance de 95 p. 100) sont présentées au tableau A.10.

A.8 ANALYSE DES HUILES USÉES

Les méthodes spectrométriques que nous allons décrire ont été mises au point pour analyser la teneur en plomb, en brome, en zinc et en phosphore de quinze échantillons d'huile usée.

A.8.1 Préparation des échantillons

Avant d'être analysés, tous les échantillons ont subi un brassage individuel, dans un mélangeur à peinture, pour mettre toutes les matières solides en suspension et s'assurer un échantillon représentatif. Le brassage une fois terminé, l'échantillon est versé dans le récipient d'acier inoxydable habituel, puis placé dans un spectrographe à rayons X pour être mesuré. Selon les tests préliminaires, des changements d'intensité progressifs ont lieu si l'échantillon est laissé longtemps au repos, probablement à cause de la sédimentation des matières en suspension. Le tableau A.11 donne les valeurs nettes d'intensité d'un échantillon d'huile usée type en fonction de la durée. L'intensité du plomb augmente graduellement, celle du brome baisse en proportion et celle du zinc varie très peu.

Au cours de l'analyse proprement dite, la durée requise pour faire les lectures lors de l'analyse d'un échantillon donné ne prenait pas plus de deux minutes. Néanmoins, une deuxième série de lectures a été faite chaque fois sur le même échantillon pour vérifier que des changements majeurs ne s'étaient pas produits du fait d'une sédimentation plus rapide. Aucun exemple de sédimentation plus rapide n'a pu être observé.

Hormis le vigoureux brassage précédant l'échantillonnage, les huiles usées ont été analysées telles quelles, c'est-à-dire comme elles se présentent au moment d'être livrées.

A.8.2 Étalons et méthodes d'analyse

Des tests préliminaires ont indiqué que les étalons obtenus par addition de chaque élément à de l'huile propre n'ont pas donné satisfaction en raison des sérieux effets de matrice dus à la teneur en plomb de l'huile usée. D'autres étalons furent donc préparés par addition de chaque élément à des échantillons représentatifs d'huile usée. Puisque les huiles à analyser venaient de deux sources, les échantillons ont d'abord été classés en deux groupes; un échantillon de chaque groupe a servi de base à la méthode d'addition. Les

TABLEAU A.9
Mode d'utilisation des instruments

À l'O.R.F.

	Types A et B	Type C	Types D, E et F
Tube/voltage	Rayon cathodique 50kV-40mA	W/50kV-40mA	Rayon cathodique 50kV-40mA
Cristal	LiF	LiF	Ge
Collimateur	Fin	Fin	Grossier*
Détecteur/réglage de tension	SC/0,8 + 400	SC/0,8 + 400	FC/1,4 + 460
Amplification	128	32	128
Ligne/fenêtre	100/ouverte	100/350	80/150
Durée du comptage	40 s	40 s	40 s
Vide	Non	Non	< 0,5 torr
Angles	Étalement : 17,50 27,60* 28,23 L β de Pb 29,20* 29,94 K α de Br 31,00* 41,00* 41,76 K α de Zn 42,50	27,60* 28,23 L β de Pb 29,20*	138,00* 141,05 K α de P

À la C.C.S.L.

	Pb	Br	Zn	P
Tube	rayon cathodique	R.C.	R.C.	R.C.
Voltage-ampérage	60kV-24mA	60kV-24mA	60kV-24mA	60kV-24mA
Détecteur	scintillation	scint.	scint.	débit
Durée du comptage				
Clinker	1000 s	100 s	100 s	100 s
Cru	400 s	100 s	100 s	100 s
Autres	100 s	100 s	100 s	100 s
Vide	< 0,5 torr	< 0,5 torr	< 0,5 torr	< 0,5 torr
Angles	27,76* 28,23 L β de Pb 28,90*	28,90* 29,94 K α de Br 31,40*	40,95* 41,76 K α de Zn 42,80*	141,05 K α de P 143,10*

* Rayonnement de fond.

NOTE : pas de vide pour l'analyse de l'huile.

TABLEAU A.10
Limites inférieures de détection

Données de l'O. R. F.

Matériau	Pb		Br		Zn		P	
	95 %	99 %	95 %	99 %	95 %	99 %	95 %	99 %
Cru	0,0002	0,0003	0,0003	0,0005	0,0004	0,0006	0,0011	0,002
Clinker	0,0003	0,0004	0,0004	0,0006	0,0005	0,0008	0,0009	0,001
Matières solides de la tour de conditionnement	0,0012	0,0018	0,0004	0,0006	0,0005	0,0007	0,0009	0,001
Poussière du système de dérivation	0,0014	0,0021	0,0005	0,0007	0,0005	0,0008	0,0009	0,001

Données de la C.C.S.L.

Matériau	Pb		Br		Zn		P	
	95 %	99 %	95 %	99 %	95 %	99 %	95 %	99 %
Cru	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0006	0,004	0,005
Clinker	0,0003	0,0005	0,0004	0,0006	0,0006	0,0009	0,004	0,007
Matières solides de la tour de conditionnement	0,0014	0,0021	0,0003	0,0005	0,0007	0,0010	0,003	0,005
Poussière du système de dérivation	0,0015	0,0023	0,0004	0,0006	0,0006	0,0009	0,003	0,005

TABLEAU A.11
Influence de la sédimentation sur l'intensité nette de la fluorescence de rayons X dans les huiles usées

Temps écoulé (minutes)	Intensité nette (i/s)		
	Pb	Br	Zn
0	33 567	14 467	8 914
5	33 523	14 397	8 894
10	33 538	14 420	8 881
15	33 686	14 406	8 893
20	33 843	14 329	8 874
25	33 849	14 204	8 977
30	33 956	14 315	8 960

substances ajoutées étaient des composés métallo-organiques purs ou en solution concentrée dans une huile de base compatible. Les renseignements relatifs à ces substances sont présentés au tableau A.12.

TABLEAU A.12

Provenance des substances de normalisation servant aux analyses d'huiles usées

Pb	24,31 %	National Spectrographic Labs 630-39-11
Br	92,47 %	Fisher Scientific A-29 (tétrabromo-S-éthane)
Zn	8,06 %	National Spectrographic Labs 630-39-23
P	1,32 %	National Spectrographic Labs 630-39-17

Le brome et le zinc ont été analysés à partir de facteurs d'étalonnage distincts pour chaque groupe d'huile. Dans le cas du phosphore, les deux facteurs se ressemblaient tellement qu'on a utilisé un seul facteur combiné pour toutes les analyses de phosphore. En outre, il a fallu corriger toutes les intensités nettes de phosphore en retranchant une petite quantité résiduelle nette, due probablement à la pellicule de mylar recouvrant le fond du récipient contenant l'échantillon. Elle a été mesurée à l'aide d'un échantillon d'huile blanche placé dans le récipient. Les derniers facteurs d'étalonnage de ce groupe d'éléments, obtenus par la méthode des moindres carrés, sont présentés au tableau A.13.

L'analyse du plomb présentait quelques difficultés supplémentaires : en effet, la première courbe d'étalonnage obtenue par addition de plomb à l'huile usée s'est révélée non linéaire. Étant donné la grande quantité de plomb dans l'huile usée, il n'était pas possible d'extrapoler la courbe avec précision pour revenir au point zéro. C'est pourquoi on a choisi de tracer une autre courbe, cette fois par addition de plomb à de l'huile fraîche plutôt qu'à de l'huile usée. Cette ligne aussi était courbée, mais ne nécessitait pas d'extrapolation. Les résultats d'analyse obtenus à l'aide de cette courbe sont considérés comme valables puisque le plomb est le principal responsable de l'effet de matrice. Malgré l'absence, dans les étalons, des autres éléments présents dans les huiles usées, les analyses du plomb ne devraient pas être tellement faussées.

A.8.3 Mode d'utilisation des instruments

Le tableau A.14 donne un aperçu du mode d'utilisation des instruments pour l'analyse des étalons et des échantillons. Pour le phosphore, le spectromètre a été divisé en deux au moyen d'une pellicule de polyester de 0,000 15 po placée à l'entrée du collimateur. Le compartiment du cristal a été vidé à moins de 0,5 torr, alors que le compartiment de l'échantillon était maintenu à la pression atmosphérique. On évitait ainsi de soumettre l'huile au vide, tout en maintenant l'absorption minimale de l'onde $K\alpha$ du phosphore.

A.8.4 Limites de détection

Les limites inférieures de détection du Pb, du Br, du Zn et du P des huiles usées sont présentées au tableau A.13.

A.9 ANALYSES DE PARTICULES AÉROPORTÉES

Des dépôts de filtres de deux types ont été soumis à l'analyse, soit ceux des filtres de fibres de verre recueillis grâce à l'échantillonnage à la cheminée et les matières solides du rinçage recueillies sur les membranes filtrantes. On a analysé la teneur en plomb, en brome, en zinc et en phosphore de chaque dépôt. Pour les fins de l'analyse, les deux types de dépôts ont été considérés comme équivalents et, par conséquent, analysés en suivant la même méthode d'étalonnage.

Certains dépôts étaient très épais et d'autres, très minces; dans bon nombre de cas, le dépôt n'adhérait pas au filtre. Comme il était impossible de les analyser *in situ* et que la faible quantité de matière disponible ne permettait pas d'obtenir une pastille de grosseur normale, une technique spéciale, fondée sur de plus petites pastilles a alors été employée. Un diamètre de 1/2 po fut choisi. Par des essais préliminaires, on a pu déterminer que le poids d'échantillon requis pour obtenir une couche impénétrable pour les rayons X se situait à 0,1 g. On lui a ajouté une épaisse couche de méthocel pour obtenir une pastille plus résistante. On a prévu des porte-échantillons munis de masques et de bagues d'agrafage en acier pour maintenir les petites pastilles. Les mêmes masques pouvaient être utilisés avec les pastilles afin d'avoir une surface équivalente pour l'analyse.

A.9.1 Préparation des échantillons

Les dépôts de poudre ont été enlevés soigneusement de chaque filtre et déposés dans des fioles de plastique. On a ajouté 0,1 g d'échantillon à 0,025 g de méthocel puis mis ce mélange dans une fiole de plastique propre, qu'on a ensuite agitée à la main jusqu'à obtention d'un mélange uniforme. Dans les cas où l'échantillon total disponible pesait moins de 0,1 g, on a compensé en ajoutant du carbonate de calcium de qualité réactif. Le mélange de poudre fut ensuite transformé en pastilles renforcées de méthocel de façon à obtenir une pastille double de 1/2 po de diamètre et d'environ 1/8 de po d'épaisseur. La méthode utilisée est la suivante : verser environ 1/2 ml de méthocel en poudre dans le moule de 1/2 po et damer le tout légèrement pour aplanir la surface (trop de pression à ce moment aura pour effet de diminuer l'adhérence entre les couches); verser la poudre mélangée sur le dessus et étendre également; appliquer dix tonnes de pression, pendant une minute environ.

A.9.2 Étalons

Des étalons ont été préparés en ajoutant chacun des éléments à analyser à un échantillon de poussière provenant de l'électrofiltre dont la composition chimique ressemblait le plus possible à celle des dépôts du filtre. Ces étalons ont été préparés à partir des solutions étalons. On a préparé quatre étalons contenant plusieurs éléments en ajoutant 0,5 ml, 1 ml, 1,5 ml ou 2 ml des solutions-mères de Pb, de Br, de Zn et de P à 2 g de poussière venant du dépoussiéreur.

TABLEAU A.13

Facteurs d'étalonnage et limites de détection valables pour l'analyse des huiles

Elément	Facteurs d'étalonnage	Limites inférieures de détection
Pb	(non linéaire)	0,002 %
Br	Groupe 1 156 866 i/s par pourcentage Groupe 2 153 374 i/s par pourcentage	0,0003 %
Zn	Groupe 1 110 242 i/s par pourcentage Groupe 2 116 981 i/s par pourcentage	0,0003 %
P	792 i/s par pourcentage	0,006 %

TABLEAU A.14

Mode d'utilisation des instruments pour l'analyse des huiles usées

	Pb, Br, Zn	P
Tube/voltage-ampérage	Rayons cathodiques/50 kV – 40mA	Rayons cathodiques/50 kV – 40mA
Cristal	LiF	Ge
Collimateur	Fin	Grossier
Détecteur/réglage de tension	SC/0,8 +400	FC/1,4 +460
Amplification	128	128
Fenêtre optique/ligne de base	100/ouverte	65/200
Durée du comptage	10 s	40 s
Vide	Non	Compartiment du cristal < 0,5 torr Compartiment de l'échantillon (air)
Angles	26,10* 28,21 L β de Pb 29,94 K α de Br 32,00* 40,80* 41,76 K α de Zn 43,00*	137,00* 141,00 K α de P

* Rayonnement de fond.

Des courbes d'étalonnage linéaires ont été obtenues ensuite en mesurant l'intensité de radiation des étalons susmentionnés (tableau A.15). Pour le phosphore, on s'est servi de ciments Portland NBS—SRM pour obtenir le nombre d'impulsions par seconde (i/s) résiduel net, c'est-à-dire qu'on a utilisé les points d'intersection de l'équation des moindres carrés lorsque le pourcentage de P = 0. Cette valeur, 72,2 i/s a été utilisée comme lecture de blanc et soustraite de tous les maximums de manière à obtenir les intensités maximales nettes.

Les équations des moindres carrés calculées à partir des étalons de chaque élément ont permis d'obtenir des coefficients de corrélation, des pentes et des points d'intersection. Ces chiffres sont présentés au tableau A.16.

Les comptes nets correspondant aux échantillons inconnus ont été transformés en pourcentage d'éléments à l'aide des facteurs d'étalonnage (pentes) qui sont donnés au tableau A.16. Dans les cas où du CaCO₃ avait été ajouté au mélange de poudre, un facteur de correction a permis de compenser l'effet de dilution de l'échantillon. Dans cette correction on tient compte également du fait que de petites quantités d'éléments ont été observées dans le carbonate de calcium. Par exemple, avec les méthodes et les étalons susmentionnés, on a observé une teneur de 0,0074 p. 100 de Zn et de 0,005 p. 100 de P dans le CaCO₃. On n'a pas trouvé de plomb. La correction peut être représentée par l'équation suivante pour le zinc :

$$\text{Zn corrigé (\%)} = \frac{0,1 \times \text{Zn non corrigé (\%)} - \text{Zn de CaCO}_3 (\%) \times \text{poids du CaCO}_3}{\text{poids de l'échantillon}}$$

A.9.3

Limites de détection

Les limites inférieures sont les suivantes :

Pb	0,007 %
Br	0,004 %
Zn	0,005 %
P	0,001 %

A.10

ANALYSE DES SOLUTIONS DE RINÇAGE ET DE CELLES PROVENANT DES IMPINGERS

Les solutions aqueuses de rinçage de la sonde et celles provenant des impingers ont été analysées par les mêmes méthodes. La détermination de la teneur en phosphate s'est effectuée par colorimétrie selon la méthode standard 223E de l'A.P.H.A. ⁽⁵⁾, avec du chlorure stanneux et du molybdate d'ammonium. Pour le zinc et le plomb, on a procédé par absorption atomique en utilisant la méthode d'addition connue. Les estimations des limites de détection du P, du Zn et du Pb sont 0,04 p.p.m., 0,1 p.p.m. et 0,1 p.p.m. respectivement.

Pour l'analyse du brome à l'état de traces dans les solutions, on s'est servi de la méthode qui suit. La limite inférieure de détection se situait à 0,5 p.p.m. de Br.

TABLEAU A.15

Mode d'utilisation des instruments pour l'analyse des dépôts dans les filtres

	Pb	Br, Zn	P	Cl
Tube/voltage-ampérage	W/60 kV – 45 mA	R.C.**/60 kV – 45 mA	R.C.**/60 kV – 45 mA	R.C.**/50 kV – 40 mA
Cristal	LiF	LiF	Ge	FET
Collimateur	Fin	Fin	Grossier	Grossier
Détecteur/réglage de tension	SC/0,8 + 400	SC/0,8 + 400	FC/1,4 + 460	FC/1,4 + 460
Amplification	32	32	128	128
Fenêtre optique/ligne de base	100/350	100/350	80/150	100/200
Durée du comptage	100 s	100 s	100 s	10 s
Vide	Non	Non	0,5 torr	0,5 torr
Angles	27,60* 28,24 L β de Pb 29,20*	26,00* 29,94 K α de Br 32,00* 41,78 K α de Zn 43,00*	138,00* 141,05 K α de P	65,55 ClK 67,20*
Cartouche porte-échantillon	Acier 0,485 po (diam.)	Acier 0,485 po (diam.)	Acier 0,485 po (diam.)	Acier 0,485 po (diam.)

* Rayonnement de fond.

** Rayons cathodiques.

TABLEAU A.16

Données sur les moindres carrés pour le calcul des facteurs d'étalonnage s'appliquant à l'analyse des dépôts des filtres

Élément	Coefficient de corrélation	Pente, (i/s par pourcentage)	Points d'intersection (en pourcentage)
Pb	0,9994	15 402	0,0037
Br	0,9961	17 395	0,028
Zn	0,9999	8 979	0,0058
P	0,9904	4 090	0,030
Cl	0,9766	2 477	1,34

Aucune préparation des échantillons n'était nécessaire puisqu'ils se présentaient sous forme de solutions limpides. Une solution standard contenant 500 p.p.m. de Br a été préparée par dissolution de KBr dans de l'eau distillée. En diluant cette solution mère (10 X et 100 X), on a obtenu des solutions standard contenant respectivement 50 p.p.m. et 5 p.p.m. de Br. La détermination de l'intensité nette de l'onde $K\alpha$ du Br a permis d'obtenir la constante linéaire des trois solutions.

Le mode d'utilisation des instruments est résumé au tableau A.17. Le tube a été utilisé à pleine puissance pour permettre un maximum de sensibilité, et le sélecteur de hauteur d'impulsion a été ajusté de manière à réduire le bruit de fond autant que possible. La détermination du bruit de fond a été faite en prenant des mesures à un degré de part et d'autre du maximum; cette méthode a donné un compte net légèrement négatif (110) avec l'eau distillée à cause de la courbure graduelle de l'intensité du bruit de fond à cet angle. Pour corriger cette erreur on a ajouté un compte de 110 à toutes les déterminations nettes.

TABLEAU A.17
Mode d'utilisation des instruments lors de l'analyse du Br en solution

Tube/voltage-ampérage	Rayons cathodiques 60 kV +45 mA
Cristal	LiF
Collimateur	Fin
Détecteur/réglage de tension	SC/0,8 +400
Gain de l'amplificateur	32
Fenêtre optique/ligne de base	100/350
Durée du comptage	100 s
Vide	Non
Angles	28,94° 29,94 $K\alpha$ de Br 30,94°

* Rayonnement de fond.

Références de l'annexe A

1. *Méthodes de référence normalisées en vue d'essais aux sources : mesure des émissions de particules provenant de sources fixes*, APCD/EPS, rapport EPS 1-AP-74-1, fév. 1974.
2. *Source Testing Code*, ministère de l'Environnement, province de l'Ontario, Air Management Branch, janv. 1973.
3. Blaine, R.L., L. Bean et E.K. Hubbard, «Occurrence of Minor and Trace Elements in Portland Cement», «Interrelations Between Cement and Concrete Properties», Part 1, Section 3, *Building Science Series 2*, N.B.S., août 1965, p. 33.
4. Cowgill, U.M., «Use of X-Ray Emission Spectroscopy in the Chemical Analysis of Lake Sediments, Determining 41 Elements» in Pearson, L.R. et E.L. Grove, *Developments in Applied Spectroscopy*, Plenum Press, New York, 1966, vol. 5, p. 3.
5. «Method 223E : Phosphate by the SnCl₂ method» dans *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 13^e éd., publié par APHA-AWWA-WPCF, 1971, p. 530.

ANNEXE B

ANNEXE B

Résultats et calculs**B.1 BILANS MATIÈRES****B.1.1 Résultats des analyses sur les matières utilisées dans le processus de fabrication**

Les analyses portant sur le cru, le clinker, la poussière du système de dérivation, les matières solides de la tour de conditionnement ont été effectuées à deux endroits, soit à La Compagnie des Ciments du St-Laurent et aux laboratoires de l'Ontario Research Foundation. Toutes les matières solides ont été analysées à La Compagnie des Ciments du St-Laurent; quelques échantillons ont été analysés aussi aux laboratoires de l'Ontario Research Foundation pour vérifier les premières analyses. Les teneurs en plomb de l'huile usée et du mazout C ont été mesurées au Conseil national de recherches par leur laboratoire des combustibles et lubrifiants (Division de génie mécanique) et par les laboratoires de recherche et développement du Canadien National; trois de ces échantillons ont été analysés aussi à La Compagnie des Ciments du St-Laurent pour vérifier la concordance des résultats.

Les tableaux B.1 à B.5 comparent les résultats des analyses effectuées par différents laboratoires.

Les résultats rapportés par La Compagnie des Ciments du St-Laurent sont présentés aux tableaux B.6 et B.9. Toutes les valeurs sont en pourcentage du poids de l'élément analysé.

Les analyses d'un petit nombre d'échantillons de mazout lourd n° 6, prélevés à différents intervalles au cours de l'essai, n'ont révélé aucune quantité décelable de Pb, de Br, de Zn ou de P.

B.1.2 Calcul des bilans matières

Le tableau B.10 présente un aperçu de la production quotidienne et des quantités de matières utilisées chaque jour entre le 9 mars et le 30 mai 1974. La production a été interrompue au cours de cette période par une panne de four qui a nécessité des réparations, effectuées entre le 31 mars et le 21 avril. À d'autres moments, il a fallu fermer le système de dérivation, ce qu'on indique au tableau B.10 par le chiffre 0 ou par de faibles valeurs pour la poussière du système de dérivation et les matières solides de la tour de conditionnement. À partir de l'analyse des concentrations de chaque élément dans les échantillons moyens quotidiens de chaque matière et de la quantité totale quotidienne de chaque matière première, on a calculé les quantités d'éléments entrant dans le four chaque jour (en livres par 24 heures) en se servant de l'équation suivante :

$$X_{ij} = \frac{M_{ij} \times C_{ij}}{100}$$

où X_{ij} = poids total de l'élément X dans la matière première i (en livres par 24 heures) pour le jour j .

M_{ij} = poids total de matière première i (en livres) rapporté pour le jour j .

C_{ij} = concentration de l'élément X rapportée pour le jour j dans l'échantillon composé de matière première i .

On s'est servi de ces données pour obtenir des bilans matières séparés pour chaque élément; ils sont présentés aux tableaux B.11 à B.18. Vu les fluctuations survenues et les très faibles concentrations de ces éléments dans certaines matières premières, il ne faudrait pas attacher trop d'importance aux bilans

matières individuels de chaque jour; il ne faudrait toutefois pas perdre de vue qu'ils indiquent la sensibilité du système à des changements majeurs dans l'apport d'huile usée. On peut obtenir une meilleure évaluation des bilans, en étudiant le fonctionnement de l'usine pendant de longues périodes. À cette fin, des sommaires de bilans sont présentés dans ce rapport. (Voir commentaires, section 4.2, tableaux 9 et 10.)

La méthode de calcul est indiquée à la figure B.1 et dans l'exemple que nous donnons ci-dessous.

Exemple d'un bilan de plomb. Les chiffres suivants proviennent de l'analyse et de la quantité de matière connue pour chaque jour (unités = nombre de livres par jour) :

$$Pb_{ac,i}; Pb_{mstc,i}; Pb_{hu,i}; Pb_{k,i}$$

($Pb_{c,i}$ ne s'obtient pas par analyse)

où

- ac = alimentation en cru
- $mstc$ = matières solides de la tour de conditionnement
- hu = huile usée
- psd = poussière du système de dérivation
- k = clinker
- c = cru

Pour les bilans quotidiens individuels :

$$Pb_{ac} + Pb_{hu} = Pb_{mstc} + Pb_{psd} + Pb_k$$

Pour les bilans à long terme ($i \gg 1$) :

$$\sum_i (Pb_{c,i} + Pb_{hu,i}) = \sum_i (Pb_{psd,i} + Pb_{k,i})$$

$$Pb_{c,i} = \sum (Pb_{ac,i} - Pb_{mstc,i})$$

∴ le bilan cumulatif ($i \gg 1$) s'obtient par :

$$\sum_i (Pb_{hu,i} + Pb_{ac,i} - Pb_{mstc,i}) = \sum_i (Pb_{psd,i} + Pb_{k,i})$$

En calculant le bilan de brome à l'aide des données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent, l'analyse de la teneur en brome du clinker pour le 18 mars a paru trop élevée. Il s'agit peut-être d'une contamination d'origine inconnue. Les données relatives au clinker ont été vérifiées par le test sur les valeurs extrêmes de Dixon ⁽¹⁾ qui a permis de découvrir que la valeur de 132 lb/24 h pour le 18 mars pourrait être rejetée, compte tenu d'un risque d'erreur compris entre 0,05 et 0,01. Le bilan du brome a donc été établi sans tenir compte des entrées et des sorties pour cette date. Cela se justifie puisqu'il n'y avait pas eu de changements à l'usine, ni de dérèglement du four depuis longtemps; il est raisonnable de supposer que le déroulement des opérations se poursuivait de façon assez stable à cette époque.

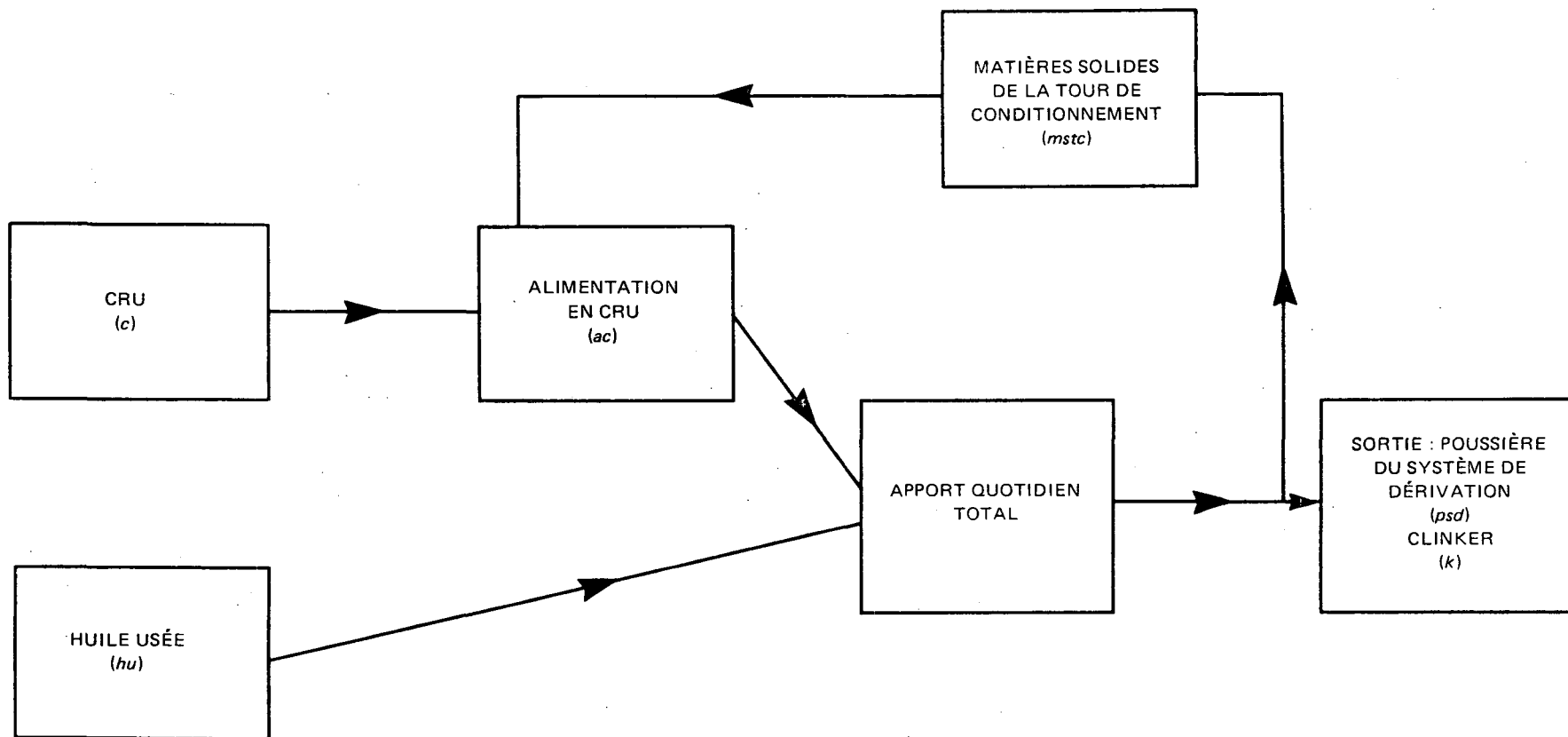


Figure B.1 Principe du bilan matière général

TABLEAU B.1

Comparaison des résultats d'analyses des éléments contenus dans le cru effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent

Date	Pourcentage de Pb		Pourcentage de Br		Pourcentage de Zn		Pourcentage de P	
	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.
16/3	0,0005	0,0009	0,0001	0,0008	0,0043	0,0050	0,035	0,042
19/3	0,0002	0,0007	0,0004	0,0007	0,0033	0,0049	0,038	0,036
20/3	0,0007	0,0005	0,0003	0,0003	0,0042	0,0052	0,036	0,032
21/3	0,0001	0,0003	0,0006	0,0004	0,0037	0,0050	0,037	0,038
22/3	0,0002	0,0005	0,0008	0,0006	0,0039	0,0052	0,035	0,040
23/3	0,0001	0,0006	0,0006	0,0004	0,0042	0,0059	0,036	0,036
24/3	0,0005	0,0005	0,0007	0,0008	0,0045	0,0053	0,037	0,040
27/3	0,0005	0,0004	0,0006	0,0008	0,0043	0,0048	0,035	0,044
30/3	0,0003	0,0007	0,0002	0,0010	0,0047	0,0050	0,036	0,038
22/4	0,0007	0,0010	0,0010	0,0012	0,0040	0,0056	0,036	0,035
24/4	0,0007	0,0006	0,0006	0,0012	0,0039	0,0051	0,035	0,040
25/4	0,0006	0,0005	0,0008	0,0010	0,0043	0,0055	0,037	0,039
27/4	0,0003	0,0005	0,0008	0,0008	0,0034	0,0057	0,036	0,040
28/4	0,0007	0,0004	0,0010	0,0009	0,0039	0,0051	0,037	0,038
29/4	0,0001	0,0004	0,0005	0,0009	0,0037	0,0060	0,039	0,037
30/4	0,0004	0,0005	0,0008	0,0007	0,0045	0,0052	0,036	0,043
1/5	0,0006	0,0005	0,0007	0,0011	0,0038	0,0054	0,037	0,035
2/5	0,0004	0,0003	0,0006	0,0010	0,0040	0,0055	0,037	0,039
3/5	0,0005	0,0007	0,0009	0,0025	0,0042	0,0047	0,039	0,035
4/5	0,0004	0,0006	0,0005	0,0008	0,0039	0,0052	0,036	0,037
5/5	0,0006	0,0005	0,0014	0,0005	0,0040	0,0058	0,035	0,041
6/5	0,0006	0,0005	0,0005	0,0010	0,0037	0,0048	0,037	0,037
7/5	0,0005	0,0003	0,0009	0,0008	0,0042	0,0048	0,037	0,034
8/5	0,0003	0,0006	0,0005	0,0008	0,0042	0,0046	0,038	0,040
9/5	0,0003	0,0002	0,0007	0,0010	0,0036	0,0047	0,039	0,043
10/5	0,0001	0,0006	0,0006	0,0011	0,0043	0,0048	0,039	0,041

TABLEAU B.2

Comparaison des résultats d'analyses des éléments contenus dans le clinker effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent

Date	Pourcentage de Pb		Pourcentage de Br		Pourcentage de Zn		Pourcentage de P	
	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.
11/3	0,0006	0,0004	0,0004	0,0008	0,0053	0,0075	0,063	0,074
19/3	0,0008	0,0010	0,001	0,0008	0,0047	0,0084	0,063	0,055
20/3	0,0003	0,0008	S.O.	0,0003	0,0055	0,0092	0,058	0,053
21/3	0,0030	0,0025	S.O.	0,0004	0,0057	0,0098	0,059	0,059
22/3	0,0032	0,0036	0,0001	0,002	0,0059	0,0088	0,060	0,070
23/3	0,0005	0,0016	0,0002	0,001	0,0061	0,0086	0,061	0,055
24/3	0,0008	0,0013	0,0002	0,0008	0,0055	0,0086	0,059	0,054
27/3	0,0082	0,0072	0,0003	0,001	0,0070	0,010	0,060	0,057
30/3	0,0010	0,0012	0,0005	0,0004	0,0060	0,0083	0,059	0,055
22/4	0,0129	0,011	0,0005	0,0006	0,0075	0,011	0,064	0,057
24/4	0,0036	0,0035	0,001	0,001	0,0054	0,0090	0,059	0,063
25/4	0,0004	0,0017	0,0004	0,0009	0,0058	0,0093	0,059	0,060
27/4	0,013	0,011	0,0004	0,001	0,0079	0,011	0,063	0,062
28/4	0,012	0,012	0,0002	0,0007	0,0065	0,011	0,062	0,064
29/4	0,012	0,0094	0,0006	0,0002	0,0075	0,010	0,064	0,071
30/4	0,0099	0,0091	0,0009	0,002	0,0071	0,011	0,062	0,064
1/5	0,0090	0,0078	S.O.	0,0007	0,0067	0,010	0,060	0,054
2/5	0,010	0,0088	0,0003	0,001	0,0065	0,010	0,060	0,062
3/5	0,0095	0,0085	0,001	0,002	0,0069	0,011	0,065	0,062
4/5	0,0090	0,0084	0,001	0,001	0,0072	0,011	0,063	0,055
5/5	0,0086	0,0076	0,0007	0,001	0,0073	0,012	0,060	0,061
6/5	0,0069	0,0067	0,0001	0,0006	0,0067	0,011	0,060	0,064
7/5	0,0035	0,0038	S.O.	0,0005	0,0055	0,0093	0,062	0,056
8/5	0,0010	0,0012	0,0001	0,0007	0,0056	0,0094	0,062	0,056
9/5	0,0004	0,0011	0,0008	0,0009	0,0058	0,0089	0,062	0,066
10/5	0,0003	0,0013	0,0003	0,0007	0,0057	0,0088	0,063	0,069

Note : S.O. = sans objet.

TABLEAU B.3

Comparaison des résultats d'analyses des matières solides provenant de la tour de conditionnement effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent

Date	Pourcentage de Pb		Pourcentage de Br		Pourcentage de Zn		Pourcentage de P	
	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.
19/3	0,020	0,024	0,045	0,037	0,012	0,019	0,027	0,038
20/3	0,017	0,020	0,037	0,031	0,012	0,018	0,028	0,044
21/3	0,019	0,022	0,034	0,029	0,012	0,020	0,028	0,042
22/3	0,11	0,031	0,071	0,053	0,013	0,020	0,030	0,040
23/3	0,051	0,065	0,064	0,052	0,016	0,026	0,029	0,040
24/3	0,027	0,029	0,055	0,047	0,013	0,020	0,028	0,038
25/3	0,037	0,041	0,066	0,054	0,016	0,025	0,026	0,038
27/3	0,23	0,26	0,076	0,061	0,020	0,031	0,027	0,044
18/4	0,11	0,10	0,076	0,068	0,009	0,014	0,029	0,036
22/4	0,23	0,26	0,13	0,11	0,014	0,021	0,030	0,033
24/4	0,043	0,065	0,10	0,10	0,007	0,013	0,029	0,040
25/4	0,027	0,034	0,087	0,074	0,008	0,012	0,028	0,039
27/4	0,22	0,25	0,18	0,15	0,015	0,024	0,030	0,040
28/4	0,19	0,21	0,20	0,18	0,013	0,020	0,031	0,038
29/4	0,20	0,24	0,19	0,16	0,014	0,022	0,031	0,037
30/4	0,19	0,26	0,15	0,16	0,014	0,025	0,029	0,043
1/5	0,18	0,17	0,16	0,13	0,013	0,021	0,030	0,035
2/5	0,27	0,26	0,17	0,14	0,018	0,029	0,029	0,039
4/5	0,15	0,18	0,19	0,17	0,019	0,030	0,033	0,037
5/5	0,19	0,21	0,19	0,15	0,020	0,030	0,033	0,041
6/5	0,19	0,22	0,13	0,12	0,014	0,022	0,031	0,037
7/5	0,11	0,12	0,10	0,096	0,010	0,016	0,026	0,034
8/5	0,040	0,053	0,080	0,072	0,008	0,015	0,025	0,035
9/5	0,027	0,036	0,073	0,064	0,009	0,014	0,028	0,036

TABLEAU B.4

Comparaison des résultats d'analyses de la poussière provenant du système de dérivation effectuées par l'Ontario Research Foundation et La Compagnie des Ciments du St-Laurent

Date	Pourcentage de Pb		Pourcentage de Br		Pourcentage de Zn		Pourcentage de P	
	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.
15/3	0,037	0,041	0,33	0,31	0,009	0,012	0,016	0,020
19/3	0,051	0,050	0,44	0,35	0,011	0,014	0,008	0,014
20/3	0,042	0,046	0,29	0,28	0,013	0,017	0,015	0,021
21/3	0,027	0,030	0,14	0,16	0,014	0,017	0,028	0,029
22/3	0,21	0,25	0,38	0,36	0,016	0,020	0,021	0,023
23/3	0,082	0,089	0,47	0,41	0,012	0,015	0,012	0,016
24/3	0,15	0,16	0,37	0,33	0,014	0,018	0,021	0,021
25/3	0,065	0,074	0,43	0,40	0,011	0,014	0,013	0,016
21/4	0,23	0,25	0,91	0,74	0,008	0,010	0,014	0,019
22/4	0,35	0,29	0,91	0,75	0,009	0,011	0,014	0,012
24/4	0,32	0,36	0,67	0,62	0,010	0,014	0,018	0,032
25/4	0,10	0,12	0,58	0,51	0,007	0,010	0,017	0,022
27/4	0,13	0,052	0,73	0,49	0,008	0,009	0,013	0,019
28/4	0,22	0,24	0,94	0,80	0,009	0,012	0,015	0,016
30/4	0,22	0,24	0,89	0,79	0,011	0,014	0,021	0,022
1/5	0,25	0,28	0,78	0,74	0,012	0,017	0,021	0,026
2/5	0,33	0,41	0,96	0,98	0,013	0,016	0,016	0,018
4/5	0,36	0,38	1,27	1,02	0,010	0,014	0,011	0,014
5/5	0,40	0,40	1,71	1,20	0,010	0,012	0,004	0,004
6/5	0,45	0,44	1,69	1,20	0,009	0,013	0,003	0,007
7/5	0,35	0,14	1,34	1,49	0,011	0,012	0,009	0,012
8/5	0,15	0,15	0,90	0,70	0,008	0,011	0,013	0,014
9/5	0,076	0,082	0,71	0,59	0,007	0,009	0,013	0,016
10/5	0,082	0,091	0,72	0,59	0,007	0,009	0,011	0,015

TABLEAU B.5
Analyses de l'huile usée

Date	Densité spécifique moyenne	Pourcentage de Pb				Pourcentage de Br		Pourcentage de Zn		Pourcentage de P
		O.R.F.	C.N.R.*	C.N.**	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.	C.C.S.L.	O.R.F.
19/4	0,8897	0,53				0,093		0,080		0,092
20/4	0,8951	0,52	0,41	0,62		0,090		0,080		0,092
21/4	0,8944	0,53			0,61	0,095	0,095	0,081	0,075	0,103
22/4	0,8964	0,55	0,46	0,69		0,102		0,085		0,111
23/4	0,8974	0,48				0,135		0,104		0,091
27/4	0,9232	0,54	0,48	0,69	0,56	0,160	0,160	0,106	0,095	0,111
28/4	0,9068	0,54				0,146		0,099		0,102
29/4	0,9031	0,50				0,120		0,090		0,098
30/4	0,8935	0,47	0,41	0,62		0,119		0,087		0,093
1/5	0,8923	0,48				0,121		0,085		0,102
2/5	0,9000	0,47	0,47	0,64		0,131		0,088		0,097
3/5	0,8902	0,47				0,132		0,088		0,086
4/5	0,8903	0,46				0,134		0,088		0,093
5/5	0,9144	0,46	0,48	0,63	0,55	0,134	0,133	0,086	0,082	0,089
6/5	0,8925	0,45				0,133		0,083		0,092

* C.N.R. : Conseil national de recherches.

** C.N. : Canadien National.

TABLEAU B.6

Résultats des analyses d'échantillons de cru (La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
10/3	0,0006	0,0010	0,0048	0,040
11/3	0,0005	0,0008	0,0051	0,039
12/3	*	*	*	*
13/3	0,0003	0,0007	0,0048	0,040
14/3	0,0006	0,0009	0,0048	0,040
15/3	0,0006	0,0011	0,0047	0,038
16/3	0,0009	0,0008	0,0050	0,042
17/3	0,0003	0,0005	0,0044	0,036
18/3	0,0004	0,0008	0,0052	0,038
19/3	0,0007	0,0007	0,0049	0,036
20/3	0,0005	0,0003	0,0052	0,032
21/3	0,0003	0,0004	0,0050	0,038
22/3	0,0005	0,0006	0,0052	0,040
23/3	0,0006	0,0004	0,0059	0,036
24/3	0,0005	0,0008	0,0053	0,040
25/3	0,0004	0,0011	0,0051	0,040
26/3	0,0004	0,0007	0,0070	0,040
27/3	0,0004	0,0008	0,0048	0,044
28/3	0,0004	0,0010	0,0047	0,038
29/3	0,0003	0,0011	0,0050	0,042
30/3	0,0007	0,0010	0,0050	0,038
13/4	0,0005	0,0010	0,0050	0,034
14/4	0,0005	0,0014	0,0054	0,040
15/4	0,0003	0,0010	0,0053	0,036
16/4	0,0007	0,0012	0,0052	0,030
17/4	0,0004	0,0011	0,0051	0,041
18/4	0,0006	0,0008	0,0047	0,037
19/4	0,0010	0,0015	0,0048	0,038
20/4	0,0006	0,0015	0,0052	0,038
21/4	0,0009	0,0016	0,0050	0,040
22/4	0,0010	0,0012	0,0056	0,035
23/4	0,0008	0,0016	0,0048	0,038
24/4	0,0006	0,0012	0,0051	0,040
25/4	0,0005	0,0010	0,0055	0,039
26/4	0,0006	0,0009	0,0047	0,036

* Pas d'échantillon.

TABLEAU B.6 (Suite)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
27/4	0,0005	0,0008	0,0047	0,040
28/4	0,0004	0,0009	0,0051	0,038
29/4	0,0004	0,0009	0,0060	0,037
30/4	0,0005	0,0007	0,0052	0,043
1/5	0,0005	0,0011	0,0054	0,035
2/5	0,0003	0,0010	0,0055	0,039
3/5	0,0007	0,0006	0,0047	0,035
4/5	0,0006	0,0008	0,0052	0,037
5/5	0,0005	0,0005	0,0058	0,041
6/5	0,0005	0,0010	0,0048	0,037
7/5	0,0003	0,0008	0,0048	0,034
8/5	0,0006	0,0008	0,0046	0,040
9/5	0,0002	0,0010	0,0047	0,043
10/5	0,0006	0,0011	0,0048	0,041
11/5	0,0005	0,0008	0,0052	0,035
12/5	0,0004	0,0009	0,0051	0,036
13/5	0,0003	0,0008	0,0056	0,036
14/5	0,0005	0,0011	0,0051	0,034
15/5	**	**	**	**
16/5	**	**	**	**
17/5	0,0004	0,0012	0,0051	0,034
18/5	0,0003	0,0012	0,0052	0,035
19/5	0,0003	0,0014	0,0050	0,038
20/5	0,0005	0,0014	0,0051	0,039
21/5	0,0004	0,0013	0,0044	0,038
22/5	0,0004	0,0013	0,0046	0,035
23/5	0,0003	0,0012	0,0049	0,031
24/5	0,0003	0,0011	0,0053	0,040
25/5	0,0005	0,0013	0,0045	0,038
26/5	0,0003	0,0013	0,0053	0,037
27/5	0,0003	0,0011	0,0054	0,036
28/5	0,0002	0,0010	0,0051	0,036
29/5	0,0003	0,0005	0,0048	0,038
30/5	0,0004	0,0010	0,0052	0,032

** Arrêt du four.

TABLEAU B.7

Résultats des analyses d'échantillons de clinker (La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
9/3	0,0009	0,0007	0,0081	0,056
10/3	0,0006	0,0001	0,0089	0,054
11/3	0,0004	0,0008	0,0075	0,074
12/3	0,0009	0,0003	0,0083	0,059
13/3	0,0005	0,0004	0,0080	0,055
14/3	0,0009	0,0003	0,0085	0,053
15/3	0,0011	0,0008	0,0098	0,058
16/3	0,0014	0,0007	0,0086	0,058
17/3	0,0007	0,0004	0,0080	0,053
18/3	0,0010	0,0019	0,0087	0,059
19/3	0,0010	0,0008	0,0084	0,055
20/3	0,0008	0,0003	0,0092	0,053
21/3	0,0025	0,0004	0,0098	0,059
22/3	0,0036	0,0015	0,0088	0,070
23/3	0,0016	0,0014	0,0086	0,055
24/3	0,0013	0,0008	0,0086	0,054
25/3	0,0010	0,0010	0,0084	0,054
26/3	0,0023	0,0008	0,0088	0,057
27/3	0,0072	0,0010	0,0101	0,057
28/3	0,0038	0,0008	0,0092	0,061
29/3	0,0021	0,0011	0,0084	0,057
30/3	0,0012	0,0004	0,0083	0,055
13/4	0,0010	0,0004	0,0095	0,062
14/4	0,0011	0,0006	0,0091	0,053
15/4	0,0010	0,0008	0,0094	0,055
16/4	0,0009	0,0005	0,0083	0,049
17/4	0,0014	0,0007	0,0086	0,047
18/4	0,0050	0,0002	0,0110	0,054
19/4	0,0115	0,0011	0,0112	0,062
20/4	0,0112	0,0008	0,0104	0,062
21/4	0,0115	0,0009	0,0105	0,065
22/4	0,0111	0,0006	0,0112	0,057
23/4	0,0131	0,0004	0,0118	0,064
24/4	0,0035	0,0012	0,0090	0,063
25/4	0,0017	0,0009	0,0093	0,060

TABLEAU B.7 (Suite)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
26/4	0,0068	0,0006	0,0102	0,054
27/4	0,0108	0,0010	0,0105	0,062
28/4	0,0117	0,0007	0,0111	0,064
29/4	0,0094	0,0002	0,0103	0,071
30/4	0,0091	0,0018	0,0110	0,064
1/5	0,0078	0,0007	0,0104	0,054
2/5	0,0088	0,0012	0,0101	0,062
3/5	0,0085	0,0018	0,0108	0,062
4/5	0,0084	0,0014	0,0110	0,055
5/5	0,0076	0,0012	0,0117	0,061
6/5	0,0067	0,0006	0,0106	0,064
7/5	0,0038	0,0005	0,0093	0,056
8/5	0,0012	0,0007	0,0094	0,056
9/5	0,0011	0,0009	0,0089	0,066
10/5	0,0013	0,0007	0,0088	0,069
11/5	0,0011	0,0008	0,0086	0,048
12/5	0,0010	0,0009	0,0090	0,056
13/5	0,0008	0,0007	0,0083	0,054
14/5	0,0007	0,0007	0,0091	0,049
15/5	*	*	*	*
16/5	*	*	*	*
17/5	0,0014	0,0013	0,0078	0,052
18/5	0,0009	0,0008	0,0083	0,050
19/5	0,0011	0,0008	0,0089	0,057
20/5	0,0012	0,0006	0,0085	0,055
21/5	0,0010	0,0010	0,0083	0,048
22/5	0,0011	0,0010	0,0085	0,054
23/5	0,0006	0,0010	0,0083	0,061
24/5	0,0004	0,0009	0,0087	0,058
25/5	0,0009	0,0012	0,0080	0,053
26/5	0,0009	0,0013	0,0088	0,052
27/5	0,0010	0,0003	0,0086	0,053
28/5	0,0010	0,0008	0,0089	0,051
29/5	0,0009	0,0008	0,0083	0,051
30/5	0,0004	0,0002	0,0081	0,058

* Arrêt du four.

TABLEAU B.8

Résultats des analyses d'échantillons de matières solides provenant de la tour de conditionnement (La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
9/3	0,015	0,034	0,019	0,038
10/3	0,015	0,024	0,014	0,038
11/3	0,017	0,036	0,016	0,040
12/3	0,022	0,041	0,018	0,040
13/3	0,020	0,055	0,017	0,034
14/3	0,017	0,045	0,014	0,034
15/3	0,021	0,046	0,015	0,039
16/3	0,026	0,044	0,016	0,037
17/3	0,019	0,037	0,012	0,041
18/3	0,023	0,032	0,017	0,036
19/3	0,024	0,037	0,019	0,038
20/3	0,020	0,031	0,018	0,044
21/3	0,022	0,029	0,020	0,042
22/3	0,131	0,053	0,020	0,040
23/3	0,065	0,052	0,026	0,040
24/3	0,029	0,047	0,020	0,038
25/3	0,041	0,054	0,025	0,038
26/3	0,089	0,056	0,031	0,036
27/3	0,260	0,061	0,031	0,044
28/3	0,100	0,087	0,027	0,037
29/3	0,176	0,063	0,032	0,027
16/4	0,024	0,050	0,013	0,037
17/4	0,029	0,054	0,013	0,032
18/4	0,103	0,068	0,014	0,036
19/4	0,220	0,092	0,018	0,032
20/4	0,256	0,099	0,019	0,035
21/4	0,283	0,117	0,020	0,035
22/4	0,260	0,110	0,021	0,033
23/4	0,294	0,128	0,021	0,030
24/4	0,065	0,100	0,013	0,040
25/4	0,034	0,074	0,012	0,039
26/4	0,027	0,060	0,013	0,036
27/4	0,249	0,148	0,024	0,040

TABLEAU B.8 (Suite)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
28/4	0,214	0,176	0,020	0,038
29/4	0,239	0,161	0,022	0,037
30/4	0,256	0,155	0,025	0,043
1/5	0,175	0,133	0,021	0,035
2/5	0,256	0,145	0,028	0,039
3/5	*	*	*	*
4/5	0,179	0,165	0,030	0,037
5/5	0,209	0,155	0,030	0,041
6/5	0,217	0,117	0,022	0,037
7/5	0,122	0,096	0,016	0,034
8/5	0,053	0,072	0,015	0,035
9/5	0,036	0,064	0,014	0,036
10/5	*	*	*	*
11/5	*	*	*	*
12/5	0,021	0,093	0,013	0,031
13/5	0,015	0,057	0,013	0,031
14/5	0,019	0,066	0,013	0,038
15/5	**	**	**	**
16/5	**	**	**	**
17/5	0,017	0,058	0,012	0,034
18/5	0,017	0,077	0,011	0,029
19/5	0,018	0,073	0,012	0,038
20/5	0,018	0,075	0,012	0,038
21/5	0,018	0,055	0,012	0,044
22/5	0,015	0,045	0,012	0,035
23/5	0,016	0,044	0,012	0,037
24/5	0,016	0,058	0,012	0,034
25/5	0,015	0,059	0,011	0,028
26/5	0,017	0,052	0,013	0,032
27/5	***	***	***	***
28/5	0,015	0,055	0,012	0,038
29/5	0,016	0,045	0,012	0,033
30/5	0,018	0,042	0,013	0,034

* Fermeture du système de dérivation.

** Arrêt du four.

*** Pas d'échantillon.

TABLEAU B.9

Résultats des analyses d'échantillons de poussière provenant du système de dérivation (La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
9/3	—	—	—	—
10/3	0,029	0,083	0,019	0,035
11/3	0,021	0,169	0,014	0,029
12/3	0,031	0,300	0,013	0,018
13/3	0,025	0,305	0,012	0,020
14/3	0,025	0,198	0,012	0,029
15/3	0,041	0,309	0,012	0,020
16/3	0,039	0,238	0,015	0,021
17/3	0,023	0,180	0,013	0,028
18/3	0,033	0,282	0,013	0,020
19/3	0,050	0,352	0,014	0,014
20/3	0,046	0,279	0,017	0,021
21/3	0,030	0,156	0,017	0,029
22/3	0,248	0,360	0,020	0,023
23/3	0,089	0,413	0,015	0,016
24/3	0,159	0,329	0,018	0,021
25/3	0,074	0,395	0,014	0,016
15/4	0,032	0,344	0,009	0,015
16/4	0,030	0,351	0,007	0,019
17/4	0,023	0,350	0,008	0,016
18/4	0,095	0,406	0,007	0,013
19/4	0,138	0,457	0,008	0,029
20/4	0,218	0,617	0,010	0,020
21/4	0,250	0,738	0,010	0,019
22/4	0,387	0,750	0,011	0,012
23/4	*	*	*	*
24/4	0,363	0,618	0,014	0,032
25/4	0,115	0,507	0,010	0,022
26/4	0,054	0,494	0,009	0,019
27/4	0,052	0,493	0,008	0,019
28/4	0,237	0,798	0,012	0,016
29/4	*	*	*	*
30/4	0,236	0,790	0,014	0,022

* Pas d'échantillon.

TABLEAU B.9 (Suite)

Date	Pourcentage de Pb	Pourcentage de Br	Pourcentage de Zn	Pourcentage de P
1/5	0,283	0,742	0,017	0,026
2/5	0,412	0,975	0,016	0,018
3/5	**	**	**	**
4/5	0,379	1,017	0,014	0,014
5/5	0,402	1,204	0,012	0,004
6/5	0,444	1,199	0,013	0,007
7/5	0,144	1,487	0,012	0,012
8/5	0,154	0,698	0,011	0,014
9/5	0,082	0,588	0,009	0,016
10/5	0,091	0,588	0,009	0,015
11/5	**	**	**	**
12/5	0,161	0,708	0,010	0,012
13/5	0,062	0,480	0,008	0,014
14/5	0,036	0,329	0,009	0,021
15/5	***	***	***	***
16/5	***	***	***	***
17/5	0,035	0,349	0,009	0,013
18/5	0,041	0,391	0,009	0,016
19/5	0,040	0,389	0,009	0,012
20/5	0,040	0,418	0,008	0,014
21/5	0,038	0,353	0,008	0,012
22/5	0,031	0,323	0,009	0,014
23/5	0,032	0,310	0,009	0,022
24/5	0,023	0,234	0,010	0,024
25/5	0,023	0,348	0,007	0,018
26/5	0,025	0,328	0,008	0,012
27/5	0,027	0,381	0,007	0,014
28/5	0,031	0,374	0,007	0,017
29/5	0,031	0,380	0,008	0,014
30/5	0,029	0,333	0,008	0,020

** Fermeture du système de dérivation.

*** Arrêt du four.

TABLEAU B.10
Chiffres quotidiens de production et de consommation de matières

Date	Consommation		Production		Recirculation
	Farine crue (tonnes/24 h)	Huile usée (gal/24 h)	Clinker (tonnes/24 h)	psd (tonnes/24 h)	mstc (tonnes/24 h)
9/3/74	2 097	0	1 363	2,01	6,67
10/3/74	4 798	0	3 114	6,02	20,00
11/3/74	5 328	0	3 460	6,02	20,00
12/3/74	5 311	0	3 449	6,02	20,00
13/3/74	4 100	0	2 671	2,51	8,33
14/3/74	5 335	0	3 465	6,02	20,00
15/3/74	5 329	0	3 461	6,02	20,00
16/3/74	5 375	0	3 491	6,02	20,00
17/3/74	5 357	0	3 479	6,02	20,00
18/3/74	5 188	0	3 369	6,02	20,00
19/3/74	5 129	0	3 333	5,27	17,50
20/3/74	5 022	0	3 261	6,02	20,00
21/3/74	5 092	4 007	3 306	6,02	20,00
22/3/74	5 015	971	3 257	6,02	20,00
23/3/74	4 886	0	3 188	1,50	5,00
24/3/74	4 913	0	3 189	6,02	20,00
25/3/74	4 851	0	3 149	6,02	20,00
26/3/74	4 734	3 345	3 076	5,02	16,67
27/3/74	4 891	18 084	3 186	2,76	9,17
28/3/74	4 888	5 038	3 176	5,02	16,67
29/3/74	4 902	3 530	3 188	4,52	15,00
30/3/74	4 615	0	3 015	0	0
31/3/74	34	0	22	0	0
Du 31/3/74 au 12/4/74*					
13/4/74	3 222	0	2 088	5,02	16,67
14/4/74	4 753	0	3 084	6,02	20,00
15/4/74	4 769	0	3 097	5,52	18,33
16/4/74	4 770	0	3 098	5,27	17,50
17/4/74	4 766	896	3 093	6,02	20,00
18/4/74	4 757	6 288	3 102	2,01	6,67
19/4/74	4 798	22 720	3 114	6,02	20,00
20/4/74	4 814	21 439	3 125	6,02	20,00

* Arrêt du four pour réparation.

TABLEAU B.10 (Suite)

Date	Consommation		Production		Recirculation
	Farine crue (tonnes/24 h)	Huile usée (gal/24 h)	Clinker (tonnes/24 h)	psd (tonnes/24 h)	mstc (tonnes/24 h)
21/4/74	4 757	21 115	3 087	6,02	20,00
22/4/74	4 726	19 883	3 067	6,02	20,00
23/4/74	4 814	21 545	3 125	6,02	20,00
24/4/74	4 765	592	3 105	2,26	7,50
25/4/74	4 795	0	3 112	6,02	20,00
26/4/74	4 796	7 130	3 113	6,02	20,00
27/4/74	4 577	18 522	2 970	6,02	20,00
28/4/74	4 762	18 198	3 098	4,01	13,33
29/4/74	4 761	18 043	3 090	6,02	20,00
30/4/74	4 745	16 876	3 079	6,02	20,00
1/5/74	4 786	16 895	3 106	6,02	20,00
2/5/74	4 781	18 565	3 116	2,51	8,33
3/5/74	4 749	16 926	3 103	0	0
4/5/74	4 755	16 546	3 098	2,76	9,17
5/5/74	4 722	14 652	3 065	6,02	20,00
6/5/74	4 758	14 895	3 088	6,02	20,00
7/5/74	4 772	3 135	3 097	6,02	20,00
8/5/74	4 784	0	3 105	6,02	20,00
9/5/74	4 603	0	2 986	6,02	20,00
10/5/74	4 745	0	3 084	4,76	15,83
11/5/74	4 795	0	3 133	0	0
12/5/74	4 783	0	3 119	1,76	5,83
13/5/74	4 812	0	3 123	6,02	20,00
14/5/74	4 784	0	3 108	5,27	17,50
15/5/74	400	0	259	0,50	1,67
16/5/74	574	0	371	1,25	4,17
17/5/74	3 219	0	2 083	6,02	20,00
18/5/74	4 856	0	3 152	6,02	20,00
19/5/74	4 856	0	3 152	6,02	20,00
20/5/74	4 904	0	3 183	6,02	20,00
21/5/74	4 760	0	3 105	1,50	5,00
22/5/74	4 746	0	3 089	3,51	11,67
23/5/74	3 984	0	2 587	4,52	15,00
24/5/74	4 760	0	3 082	6,02	20,00

TABLEAU B.10 (Suite)

Date	Consommation		Production		Recirculation
	Farine crue (tonnes/24 h)	Huile usée (gal/24 h)	Clinker (tonnes/24 h)	psd (tonnes/24 h)	mstc (tonnes/24 h)
25/5/74	4 784	0	3 105	6,02	20,00
26/5/74	4 736	0	3 074	6,02	20,00
27/5/74	4 711	0	3 074	1,25	4,17
28/5/74	4 820	0	3 136	3,76	12,50
29/5/74	4 688	0	3 042	6,02	20,00
30/5/74	4 640	0	3 011	6,02	20,00

TABLEAU B.11

Bilan matière du plomb (données de l'Ontario Research Foundation)

Date	Apport de plomb (livres par 24 heures)			Plomb retenu (livres par 24 heures)				Total des matières retenues (pourcentage)
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total	
27/4	27,5	923	951	87	760	16	863	90,8
28/4	76,2	891	967	75	743	17	835	86,4
29/4	9,5	815	825	55	717	(20)	792	96,0
30/4	38,0	709	747	78	610	26	714	95,6
1/5	57,4	724	781	74	559	30	663	84,9
2/5	38,2	785	823	106	629	16	751	91,3
3/5	47,5	708	756	0	590	0	590	78,0
4/5	38,0	678	716	25	558	20	603	82,2
5/5	56,7	616	673	35	527	49	611	90,8
6/5	57,1	598	655	74	426	54	554	84,6
7/5	47,7	126	174	42	217	42	301	165,3
8/5	28,7	0	29	16	62	18	96	331,0
9/5	27,6	0	28	11	24	9	44	157,4
10/5	9,5	0	10	(10)	19	8	37	389,5

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussières du système de dérivation.

TABLEAU B.12

Bilan matière du brome (données de l'Ontario Research Foundation)

Date	Apport de brome (livres par 24 heures)			Brome retenu (livres par 24 heures)				Total des matières retenues (pourcentage)
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total	
27/4	73	274	347	70	24	88	182	52,5
28/4	95	240	335	80	12	75	167	50,0
29/4	48	196	244	51	37	(100)	188	77,1
30/4	76	179	255	62	55	108	225	88,2
1/5	67	182	249	64	0	94	158	63,5
2/5	57	219	276	69	19	48	136	49,3
3/5	85	199	284	0	81	0	81	28,5*
4/5	48	197	245	32	62	70	164	66,9
5/5	132	179	311	34	43	205	282	90,7
6/5	48	176	224	54	6	203	263	117,4
7/5	86	42	128	41	0	161	202	157,8
8/5	48	0	48	32	6	108	146	304,2
9/5	64	0	64	29	48	86	163	254,7
10/5	57	0	57	(20)	19	69	108	189,5

* Fermeture du système de dérivation le 3/5/74.

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussière du système de dérivation.

TABLEAU B.13

Bilan matière du zinc (données de l'Ontario Research Foundation)

Date	Apport de zinc (livres par 24 heures)			Zinc retenu (livres par 24 heures)				Total des matières retenues (pourcentage)
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total	
27/4	311	184	495	5,8	469	0,9	476	96,3
28/4	271	164	435	5,2	403	0,7	409	76,4
29/4	352	147	499	3,6	464	(1)	469	93,9
30/4	427	131	558	5,8	437	1,3	444	79,6
1/5	364	128	492	5,3	416	1,5	423	85,6
2/5	382	147	529	7,3	405	0,6	413	78,1
3/5	399	133	532	0	428	0	428	80,5
4/5	371	129	500	3,2	446	0,6	450	90,0
5/5	378	115	493	3,6	447	1,2	452	91,6
6/5	352	109	461	5,6	414	1,1	421	91,3
7/5	401	24	425	3,8	341	1,4	346	81,5
8/5	402	0	402	3,3	348	0,9	352	87,6
9/5	331	0	331	3,6	346	0,8	350	105,9
10/5	408	0	408	(4)	352	0,7	357	87,5

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussière du système de dérivation.

TABLEAU B.14

Bilan matière du phosphore (données de l'Ontario Research Foundation)

Date	Apport de phosphore (livres par 24 heures)			Phosphore retenu (livres par 24 heures)				Total des matières retenues (pourcentage)
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total	
27/4	3286	189	3475	5,8	3736	1,6	3744	107,7
28/4	3552	168	3720	5,2	3860	1,2	3866	103,9
29/4	3752	159	3911	3,6	3949	(1,5)	3954	101,1
30/4	3407	140	3547	5,8	3836	2,5	3844	108,4
1/5	3542	154	3696	5,3	3746	2,6	3754	101,6
2/5	3528	162	3690	7,3	3758	0,8	3766	102,1
3/5	3676	129	3805	0	4028	0	4028	105,9
4/5	3424	136	3560	3,2	3879	0,6	3883	109,1
5/5	3296	119	3415	3,6	3666	0,5	3670	107,5
6/5	3559	122	3681	5,6	3730	0,4	3736	101,5
7/5	3484	27	3511	3,8	3809	1,1	3814	108,6
8/5	3626	0	3626	3,3	3840	1,5	3855	106,3
9/5	3572	0	3572	3,6	3679	1,6	3684	103,1
10/5	3682	0	3682	(3,5)	3898	1,1	3903	106,0

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussière du système de dérivation.

TABLEAU B.15

Bilan matière du plomb (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Apport de plomb (livres par 24 heures)			Plomb retenu (livres par 24 heures)			Total
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	
9/3	21	0	21	2	25	—	27
10/3	58	0	58	6	37	4	47
11/3	53	0	53	7	28	3	38
12/3	—	—	—	—	—	—	—
13/3	25	0	24	3	27	1	31
14/3	64	0	64	7	62	3	72
15/3	64	0	64	8	76	5	89
16/3	97	0	97	10	98	5	113
17/3	32	0	32	8	49	3	60
18/3	42	0	42	9	67	4	80
19/3	72	0	72	8	67	5	80
20/3	50	0	50	8	52	6	66
21/3	31	(188)	(219)	9	165	4	178
22/3	50	(46)	(96)	52	235	30	317
23/3	59	0	59	7	102	3	111
24/3	49	0	49	12	83	19	114
25/3	39	0	39	16	63	9	88
26/3	38	(157)	(195)	30	142	—	172
27/3	39	(848)	(887)	48	459	—	507
28/3	39	(236)	(275)	33	241	—	275
29/3	29	(165)	(194)	53	134	—	187
30/3	65	0	65	0	72	0	72
13/4	32	0	32	—	42	—	62
14/4	48	0	48	—	68	—	68
15/4	29	0	29	—	62	4	65
16/4	67	0	67	8	56	3	67
17/4	38	(42)	(80)	12	87	3	102
18/4	57	(296)	(353)	14	310	4	348
19/4	96	1071	1167	88	716	17	821
20/4	58	998	1056	102	700	26	828
21/4	86	1001	1087	113	709	30	852
22/4	95	980	1075	104	680	46	830
23/4	77	928	1005	118	819	(30)	967
24/4	57	27	84	10	217	16	243
25/4	48	0	48	14	106	14	134
26/4	58	355	413	11	423	7	441

TABLEAU B.15 (Suite)

Date	Apport de plomb (livres par 24 heures)			Plomb retenu (livres par 24 heures)			
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total
27/4	46	923	969	100	642	6	748
28/4	38	891	929	57	725	19	801
29/4	38	815	853	96	581	(30)	707
30/4	47	709	756	102	560	28	690
1/5	48	724	772	70	484	34	588
2/5	29	785	814	43	548	21	612
3/5	66	708	774	0	528	0	528
4/5	57	678	735	33	521	21	575
5/5	47	616	663	84	466	48	598
6/5	48	598	646	87	414	53	554
7/5	29	126	155	49	235	17	301
8/5	57	0	57	21	75	19	115
9/5	18	0	18	14	65	10	89
10/5	57	0	57	(10)	80	9	99
11/5	48	0	48	0	69	0	69
12/5	38	0	38	2	62	6	70
13/5	29	0	29	6	50	7	63
14/5	48	0	48	7	44	4	55
15/5	—	—	—	—	—	—	—
16/5	—	—	—	—	—	—	—
17/5	26	0	26	7	58	4	69
18/5	29	0	29	7	57	5	69
19/5	29	0	29	7	69	5	81
20/5	49	0	49	7	76	5	88
21/5	38	0	38	2	62	1	65
22/5	38	0	38	4	68	2	74
23/5	24	0	24	5	31	3	39
24/5	29	0	29	6	25	3	34
25/5	48	0	48	6	56	3	65
26/5	28	0	28	7	55	3	65
27/5	28	0	28	(6)	61	1	67
28/5	19	0	19	4	63	2	69
29/5	28	0	28	6	55	4	65
30/5	37	0	37	7	24	4	35

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussière du système de dérivation.

TABLEAU B.16

Bilan matière du brome (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Apport de brome (livres par 24 heures)			Brome retenu (livres par 24 heures)			
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total
9/3	29	0	29	5	19	(10)	34
10/3	96	0	96	10	6	10	26
11/3	85	0	85	14	55	20	89
12/3	—	—	—	—	—	—	—
13/3	57	0	57	9	21	15	45
14/3	96	0	96	18	21	24	63
15/3	117	0	117	18	55	37	110
16/3	86	0	86	18	49	29	96
17/3	54	0	54	15	28	22	65
18/3*	83	0	83	13	128	34	175
19/3	72	0	72	13	53	37	103
20/3	30	0	30	12	20	33	65
21/3	41	33	74	11	26	19	56
22/3	60	8	68	21	98	43	162
23/3	39	0	39	5	89	12	106
24/3	79	0	79	19	51	39	109
25/3	107	0	107	22	63	47	132
26/3	66	28	94	19	49	—	—
27/3	78	149	227	11	64	—	—
28/3	98	41	139	29	51	—	—
29/3	108	29	137	19	70	—	—
30/3	92	0	92	0	24	0	24
13/4	64	0	64	—	17	—	17
14/4	67	0	67	—	37	—	37
15/4	95	0	95	—	50	38	88
16/4	114	0	114	18	31	37	85
17/4	105	7	112	22	43	42	107
18/4	76	52	128	9	12	16	37
19/4	144	187	331	37	69	55	161
20/4	144	173	317	40	50	74	164
21/4	152	180	332	47	56	89	192
22/4	113	181	294	44	37	90	171
23/4	154	261	415	51	25	(100)	176
24/4	114	8	122	15	74	28	117

* Non inclus dans le bilan — voir texte.

TABLEAU B.16 (Suite)

Date	Apport de brome (livres par 24 heures)			Brome retenu (livres par 24 heures)			
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total
25/4	96	0	96	30	56	61	147
26/4	86	105	191	24	37	59	120
27/4	73	274	347	59	59	59	177
28/4	86	240	326	47	43	64	154
29/4	86	196	282	64	12	(70)	146
30/4	66	179	245	62	111	95	268
1/5	105	182	287	53	43	89	185
2/5	96	219	315	24	75	49	148
3/5	57	199	256	0	111	0	111
4/5	76	198	274	30	86	56	172
5/5	47	179	226	62	74	144	280
6/5	95	176	271	47	37	144	228
7/5	76	37	113	38	31	178	247
8/5	77	0	77	29	43	84	156
9/5	92	0	92	25	54	71	150
10/5	104	0	104	(20)	43	56	119
11/5	77	0	77	0	50	0	50
12/5	86	0	86	11	56	25	92
13/5	77	0	77	23	44	58	125
14/4	105	0	105	23	44	35	102
15/5	—	—	—	—	—	—	—
16/5	—	—	—	—	—	—	—
17/5	77	0	77	23	54	42	119
18/5	117	0	117	31	50	47	128
19/5	136	0	136	29	50	47	126
20/5	137	0	137	30	38	50	118
21/5	124	0	124	5	62	11	78
22/5	123	0	123	10	62	23	95
23/5	96	0	96	13	52	28	93
24/5	105	0	105	23	56	28	107
25/5	124	0	124	23	75	42	140
26/5	123	0	123	21	80	39	140
27/5	104	0	104	(20)	18	10	48
28/5	96	0	96	14	50	28	92
29/5	47	0	47	18	49	46	113
30/5	93	0	93	17	12	40	69

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussière du système de dérivation.

TABLEAU B.17

Bilan matière du zinc (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Apport de zinc (livres par 24 heures)			Zinc retenu (livres par 24 heures)			
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total
9/3	201	0	201	2,5	221	(2)	226
10/3	461	0	461	5,6	554	2,2	562
11/3	543	0	543	6,4	519	1,6	527
13/3	394	0	394	2,8	427	0,6	430
14/3	512	0	512	5,6	589	1,5	596
15/3	501	0	501	6,0	678	1,4	685
16/3	538	0	538	6,4	600	1,8	608
17/3	471	0	471	4,8	557	1,5	563
18/3	540	0	540	6,8	586	1,5	594
19/3	503	0	503	6,7	560	1,5	568
20/3	522	0	522	7,2	600	2,0	609
21/3	509	28	537	8,0	648	2,0	658
22/3	522	7	529	8,0	573	2,4	583
23/3	577	0	577	3,0	548	0,5	551
24/3	521	0	521	8,0	549	2,1	559
25/3	495	0	495	10,0	529	1,7	540
26/3	663	23	686	10,3	541	(1)	552
27/3	470	126	596	5,7	643	(1)	650
28/3	459	35	494	9,0	584	(1)	594
29/3	490	25	515	9,6	535	(1)	546
30/3	461	0	461	0	500	0	500
13/4	322	0	322	—	397	—	397
14/4	513	0	513	—	561	—	561
15/4	506	0	506	—	582	1,0	583
16/4	496	0	496	4,6	514	0,8	519
17/4	487	6	492	5,2	532	0,9	538
18/4	447	45	492	1,9	682	0,3	684
19/4	461	162	623	7,2	698	1,0	706
20/4	501	154	655	7,6	650	1,2	659
21/4	476	154	630	8,0	648	1,2	657
22/4	529	151	680	8,4	687	1,3	697
23/4	462	201	663	8,4	738	(1)	747
24/4	485	5	490	2,0	559	0,6	562
25/4	527	0	527	4,8	579	1,2	584
26/4	451	70	521	5,2	635	1,1	641
27/4	430	183	613	9,6	624	0,9	635

TABLEAU B.17 (Suite)

Date	Apport de zinc (livres par 24 heures)			Zinc retenu (livres par 24 heures)			
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	Total
28/4	486	164	650	5,3	688	1,0	694
29/4	571	147	718	8,8	637	(1)	647
30/4	493	131	624	10,0	677	1,7	689
1/5	517	128	645	8,5	646	2	657
2/5	526	147	673	4,8	629	0,8	635
3/5	446	133	579	0	670	0	670
4/5	495	129	624	5,4	682	0,8	688
5/5	548	115	663	12,0	717	1,4	730
6/5	457	109	566	8,7	655	1,6	665
7/5	458	24	482	6,3	576	1,5	584
8/5	440	0	440	6,1	584	1,3	591
9/5	433	0	433	5,4	532	1,1	539
10/5	456	0	456	(6)	543	0,9	550
11/5	499	0	499	0	539	0	539
12/5	488	0	488	1,5	561	0,3	563
13/5	539	0	539	5,1	518	0,9	524
14/5	488	0	488	4,6	566	0,9	572
15/5	—	—	—	—	—	—	—
16/5	—	—	—	—	—	—	—
17/5	328	0	328	5,0	325	1,1	331
18/5	505	0	505	4,2	523	1,1	528
19/5	486	0	486	5,0	561	1,0	567
20/5	500	0	500	4,7	541	1,0	547
21/5	419	0	419	1,2	515	0,3	517
22/5	437	0	437	2,9	525	0,6	529
23/5	390	0	390	3,5	429	0,8	433
24/5	505	0	505	4,9	537	1,2	543
25/5	431	0	431	4,2	497	0,9	502
26/5	502	0	502	5,1	541	0,9	547
27/5	509	0	509	(2)	529	0,2	531
28/5	492	0	492	3,0	558	0,6	562
29/5	450	0	450	4,6	505	0,9	511
30/5	483	0	483	5,4	488	0,9	494

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussières du système de dérivation.

TABLEAU B.18

Bilan matière du phosphore (données de La Compagnie des Ciments du St-Laurent)

Date	Apport de phosphore (livres par 24 heures)			Phosphore retenu (livres par 24 heures)			Total
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	
9/3	1593	0	1593	5,1	1526	(1)	1532
10/3	3838	0	3838	15,2	3363	4,2	3382
11/3	4156	0	4156	16,0	5121	3,4	5140
13/3	3280	0	3280	5,7	2938	1,0	2945
14/3	4268	0	4268	13,6	3673	3,5	3690
15/3	4050	0	4050	15,6	4015	2,4	4033
16/3	4515	0	4515	14,8	4050	2,5	4067
17/3	3857	0	3857	16,4	3688	3,4	3708
18/3	3943	0	3943	14,4	3975	2,4	3992
19/3	3693	0	3698	13,3	3666	1,5	3681
20/3	3214	0	3214	17,6	3457	2,5	3477
21/3	3870	35	3905	16,8	3902	3,5	3922
22/3	4012	8	4020	16,0	4558	2,8	4577
23/3	3518	0	3518	4,0	3507	0,5	3512
24/3	3930	0	3930	15,2	3444	2,5	3462
25/3	3881	0	3881	15,2	3401	1,9	3418
26/3	3787	29	3816	12,0	3507	2,0	3521
27/3	4304	159	4463	8,1	3632	1,1	3641
28/3	3715	44	3759	12,3	3875	2,0	3889
29/3	4118	31	4149	8,1	3634	1,8	3644
30/3	3507	0	3507	0	3316	0	3316
13/4	2191	0	2191	—	2589	—	2589
14/4	3802	0	3802	—	3269	—	3269
15/4	3434	0	3434	—	3407	1,7	3407
16/4	2862	0	2862	13,0	3036	2,0	3051
17/4	3908	7	3915	12,8	2907	1,9	2922
18/4	3520	51	3571	4,8	3350	0,5	3355
19/4	3646	185	3831	12,8	3861	3,5	3877
20/4	3659	176	3835	14,0	3875	2,4	3891
21/4	3806	194	4000	14,0	4013	2,3	4029
22/4	3308	198	3506	13,2	3496	1,4	3511
23/4	3659	176	3835	12,0	4000	(2)	4014
24/4	3812	4	3816	6,0	3912	1,4	3919
25/4	3740	0	3740	15,6	3734	2,6	3752
26/4	3453	61	3514	14,4	3362	2,3	3379

TABLEAU B.18 (Suite)

Date	Apport de phosphore (livres par 24 heures)			Phosphore retenu (livres par 24 heures)			Total
	<i>c</i>	<i>hu</i>	Total	<i>mstc</i>	<i>k</i>	<i>psd</i>	
27/4	3662	189	3851	16,0	3683	2,3	3701
28/4	3619	169	3788	10,1	3965	1,3	3976
29/4	3523	159	3682	14,8	4387	(2)	4404
30/4	4081	140	4221	17,2	3941	2,6	3961
1/5	3350	154	3504	14,0	3354	3,1	3371
2/5	3729	162	3891	6,5	3863	0,9	3870
3/5	3324	129	3453	0	3847	0	3847
4/5	3519	136	3655	6,8	3407	0,7	3445
5/5	3872	119	3991	16,4	3739	0,8	3756
6/5	3521	122	3643	14,8	3953	0,5	3968
7/5	3245	27	3272	13,6	3469	1,4	3484
8/5	3827	0	3827	14,0	3478	1,7	3494
9/5	3959	0	3959	14,4	3942	1,9	3958
10/5	3891	0	3891	0	4256	1,4	4257
11/5	3357	0	3357	0	3008	0	3008
12/5	3444	0	3444	3,6	3493	0,4	3497
13/5	3465	0	3465	12,4	3372	1,7	3386
14/5	3253	0	3253	13,3	3045	2,2	3061
15/5	—	—	—	—	—	—	—
16/5	—	—	—	—	—	—	—
17/5	2189	0	2189	13,6	2166	1,6	2181
18/5	3399	0	3399	11,6	3152	1,9	3166
19/5	3691	0	3691	15,2	3593	1,4	3610
20/5	3825	0	3825	15,2	3501	1,7	3518
21/5	3618	0	3618	4,4	2981	0,4	2986
22/5	3322	0	3322	8,2	3336	1,0	3345
23/5	2470	0	2470	11,1	3156	2,0	3169
24/5	3808	0	3808	13,6	3575	2,9	3592
25/5	3636	0	3636	11,2	3291	2,2	3302
26/5	3505	0	3505	12,8	3197	1,4	3211
27/5	3392	0	3392	(10)	3258	0,4	3268
28/5	3470	0	3470	9,5	3199	1,3	3210
29/5	3563	0	3563	13,2	3103	1,7	3118
30/5	2970	0	2970	13,6	3493	2,4	3509

Note : *c* : cru; *hu* : huile usée; *mstc* : matières solides de la tour de conditionnement; *k* : clinker; *psd* : poussière du système de dérivation.

TABLEAU B.19

Cheminée N.-O. : essai du 11 au 15 mars 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n ^o	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	11 mars 1974 (vent : E., S.-E. de 6 mi/h) N. de 11 mi/h)		12 mars 1974 (vent : N., N.-O. de 20 mi/h)		12 mars 1974 (vent : N., N.-O. de 20 mi/h)			
		N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.
1	0,93	45	49	48	50	47	48		
2	2,70	45	49	54	50	52	50		
3	4,65	53	54	54	52	52	50		
4	6,67	56	54	57	54	58	52		
5	8,87	58	56	60	56	60	54		
6	11,15	59	56	61	59	62	59		
7	13,60	64	59	63	59	63	61		
8	16,39	65	59	64	60	63	61		
9	19,43	65	61	65	63	64	63		
10	22,98	62	61	65	63	66	63		
11	27,29	64	63	64	64	65	64		
12	33,62	55	63	64	64	65	65		
13	50,86	60	58	64	64	64	65		
14	57,19	60	56	64	63	63	64		
15	61,50	60	59	63	64	63	64		
16	65,05	60	59	63	63	59	62		
17	68,09	61	55	62	61	59	59		
18	70,88	59	55	62	60	55	59		
19	73,33	59	53	59	58	54	59		
20	75,95	57	49	55	55	54	54		
21	77,81	57	49	52	55	52	52		
22	79,83	54	49	52	49	49	49		
23	81,78	52	45	42	44	43	45		
24	83,55	45	45	39	43	40	42		

TABLEAU B.20

Cheminée N.-E. : essai du 11 au 15 mars 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	11 mars 1974 (vent : E., S.-E. de 6 mi/h N. de 11 mi/h)		12 mars 1974 (vent : N., N.-O. de 20 mi/h)		12 mars 1974 (vent : N., N.-O. de 20 mi/h)	
		N. S.	O. E.	N. S.	O. E.	N. S.	O. E.
1	0,93	45	52	48	48	48	48
2	2,70	47	51	48	48	48	49
3	4,65	44	54	57	58	58	57
4	6,67	43	58	60	60	60	60
5	8,87	63	59	62	62	65	64
6	11,15	66	60	67	63	65	67
7	13,60	68	60	68	64	67	69
8	16,39	68	62	69	66	67	69
9	19,43	68	64	70	67	69	67
10	22,98	68	65	70	67	69	65
11	27,29	68	65	70	67	70	69
12	33,62	67	66	67	69	67	69
13	50,86	65	66	67	67	67	67
14	57,19	65	66	66	67	65	65
15	61,50	65	66	65	67	64	65
16	65,05	65	62	65	64	65	62
17	68,09	65	59	65	63	62	62
18	70,88	65	60	62	60	60	60
19	73,33	64	58	62	53	59	60
20	75,95	62	57	60	50	53	58
21	77,81	60	53	60	46	50	58
22	79,83	56	53	49	43	48	53
23	81,78	49	51	48	41	48	48
24	83,55	34	51	43	38	48	48

TABLEAU B.21

Cheminée S.-E. : essai du 11 au 15 mars 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	14 mars 1974 (vent : N., N.-O. de 15 mi/h)		14 mars 1974 (vent : N., N.-O. de 20 mi/h)		15 mars 1974 (vent : N., N.-O. de 20 mi/h)	
		N. S.	O. E.	N. S.	O. E.	N. S.	O. E.
1	0,72	47	36	45	24	35	15
2	2,20	47	38	47	28	37	15
3	3,83	44	40	45	28	37	18
4	5,63	44	41	44	31	33	24
5	7,61	39	33	39	31	30	25
6	9,90	35	39	34	28	28	25
7	12,74	31	44	31	28	24	25
8	16,88	26	47	24	22	21	25
9	28,31	17	40	20	23	19	22
10	32,27	17	41	20	24	16	22
11	35,10	17	30	17	28	14	22
12	37,40	17	31	17	28	14	26
13	39,38	17	33	17	31	14	26
14	41,18	17	37	14	30	14	26
15	42,80	17	31	14	29	14	25
16	44,28	14	25	14	28	12	24

TABLEAU B.22

Cheminée N.-O. : essai du 22 avril au 2 mai 1974. Combustibles : huile usée et mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	22 avril 1974 (vent : S.-O. de 11 mi/h)				23 avril 1974 (vent : O. de 17 mi/h)				30 avril 1974 (vent : S.-O. de 11 mi/h)				30 avril 1974. (vent : S.-O. de 13 mi/h)				1 ^{er} mai 1974 (vent : N.-O. de 25 mi/h)				2 mai 1974 (vent : E., S.-E. de 15 mi/h)			
		N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.
1	0,93	58		48		58		48		51		46		58		49		55		50		52		47	
2	2,70	60		48		58		48		52		49		58		49		56		55		54		48	
3	4,65	60		51		60		51		52		49		58		51		57		55		54		50	
4	6,67	60		51		60		52		54		50		61		53		58		55		55		52	
5	8,87	60		54		61		56		61		52		62		53		59		57		59		52	
6	11,15	62		56		62		56		63		53		65		56		61		59		59		54	
7	13,60	63		58		62		58		64		53		66		56		61		62		62		56	
8	16,39	66		60		63		60		64		57		68		59		63		64		62		57	
9	19,43	67		62		63		61		65		59		68		62		66		65		63		59	
10	22,98	54		64		64		61		62		62		68		62		69		65		63		60	
11	27,29	64		64		65		64		64		64		68		62		67		65		63		60	
12	33,62	62		65		65		65		63		64		66		64		65		64		63		61	
13	50,86	67		65		62		65		62		64		66		64		63		64		62		59	
14	57,19	66		65		62		62		62		62		64		62		61		63		61		59	
15	61,50	63		64		62		62		61		62		64		62		61		62		60		59	
16	65,05	64		64		61		60		61		60		63		62		61		60		59		58	
17	68,09	65		61		60		59		61		59		62		58		60		56		59		57	
18	70,88	62		59		60		56		60		57		62		58		60		56		58		56	
19	73,33	59		59		60		54		60		53		62		55		58		56		57		54	
20	75,95	55		56		57		54		58		53		61		53		58		55		57		51	
21	77,81	55		54		57		51		55		51		59		49		55		55		54		49	
22	79,83	55		49		55		49		51		49		52		49		54		51		52		49	
23	81,78	55		47		52		49		50		48		49		48		54		49		52		46	
24	83,55	49		42		49		48		49		46		49		47		52		49		49		43	

TABLEAU B.23

Cheminée N.-E. : essai du 22 avril au 2 mai 1974. Combustibles : huile usée et mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	22 avril 1974 (vent : S.-O. de 11 mi/h)				23 avril 1974 (vent : O. de 17 mi/h)				30 avril 1974 (vent : S.-O. de 11 mi/h)				30 avril 1974 (vent : S.-O. de 13 mi/h)				1 ^{er} mai 1974 (vent : N.-O. de 25 mi/h)				2 mai 1974 (vent : E., S.-E. de 15 mi/h)			
		N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.	N.	S.	O.	E.
1	0,93	60		53		60		52		53		50		50		48		55		53		53		52	
2	2,70	60		53		62		52		53		50		51		50		57		53		55		52	
3	4,65	62		56		62		55		58		53		53		53		59		54		57		53	
4	6,67	62		59		60		56		61		53		57		54		59		55		57		56	
5	8,87	63		61		60		60		65		56		60		54		62		57		60		59	
6	11,15	66		63		64		60		66		58		62		56		64		58		64		60	
7	13,60	67		63		69		62		67		61		65		58		67		61		67		61	
8	16,39	70		66		67		65		68		63		66		60		67		63		68		63	
9	19,43	68		66		67		65		68		65		66		61		69		63		68		64	
10	22,98	66		67		67		66		68		66		66		63		70		66		68		67	
11	27,29	66		66		68		66		68		68		67		64		67		67		67		67	
12	33,62	66		67		67		66		68		68		66		64		67		67		61		68	
13	50,86	65		67		67		66		65		67		62		63		65		65		58		67	
14	57,19	63		67		67		65		66		67		63		62		63		65		58		66	
15	61,50	63		64		64		64		66		65		63		62		63		63		63		64	
16	65,05	63		64		65		63		66		63		63		60		65		62		64		62	
17	68,09	63		60		65		62		65		61		63		56		64		59		63		60	
18	70,88	61		60		65		60		64		60		61		55		61		57		61		55	
19	73,33	59		54		64		59		63		57		62		54		59		55		60		52	
20	75,95	57		50		61		53		61		57		54		51		56		55		58		50	
21	77,81	55		54		55		54		57		52		55		49		56		52		58		50	
22	79,83	49		50		50		49		52		50		50		41		55		50		51		46	
23	81,78	44		43		43		43		43		43		51		36		50		43		43		40	
24	83,55	44		43		43		43		43		43		41		35		46		43		43		40	

TABLEAU B.24

Cheminée S.-E. : essai du 22 avril au 2 mai 1974. Combustibles : huile usée et mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	22 avril 1974 (vent : S.-O. de 11 mi/h)		23 avril 1974 (vent : O. de 17 mi/h)		30 avril 1974 (vent : S.-O. de 11 mi/h)		30 avril 1974 (vent : S.-O. de 13 mi/h)		1 ^{er} mai 1974 (vent : N.-O. de 25 mi/h)		2 mai 1974 (vent : E., S.-E. de 15 mi/h)			
		S.	N.	E.	O.	S.	N.	E.	O.	S.	N.	E.	O.	S.	N.
1	0,72	54	38	61	45	49	32	46	31	38	22	37	*		
2	2,20	54	38	61	45	49	32	46	31	38	22	37	*		
3	3,83	54	38	61	45	45	33	44	31	38	24	35	*		
4	5,63	48	35	57	45	41	33	39	32	38	25	33	*		
5	7,61	44	35	48	42	34	32	38	34	34	25	27	*		
6	9,90	37	32	42	35	32	32	38	31	32	25	22	*		
7	12,74	31	27	39	32	25	28	27	29	28	23	22	*		
8	16,88	31	27	27	22	25	25	22	22	25	23	22	*		
9	28,31	21	22	16	22	17	25	15	22	16	23	20	*		
10	32,27	18	24	16	31	17	25	15	23	16	23	21	*		
11	35,10	16	27	16	32	17	28	15	28	16	23	20	*		
12	37,40	16	30	16	32	17	29	15	28	16	24	18	*		
13	39,38	16	31	16	32	17	30	15	28	16	25	16	*		
14	41,18	15	31	16	32	17	30	15	29	16	25	16	*		
15	42,80	14	31	16	32	17	30	15	29	16	25	16	*		
16	44,28	14	31	32	32	17	30	15	29	16	25	16	*		

* Incomplet à cause de la fermeture imprévue du système de dérivation.

TABLEAU B.25

Cheminée N.-O. : essai du 29 et du 30 mai 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	29 mai 1974 (vent : S.-E. de 5 mi/h)		29 mai 1974 (vent : S.-E. de 5 mi/h)		30 mai 1974 (vent : S.-E. de 10 mi/h)	
		O. E.	N. S.	O. E.	N. S.	O. E.	N. S.
1	0,93	45	49	47	48	45	50
2	2,70	45	49	47	48	47	50
3	4,65	47	50	49	52	48	53
4	6,67	48	53	52	55	49	55
5	8,87	51	56	52	57	44	59
6	11,15	52	58	54	60	52	61
7	13,60	53	59	55	62	55	63
8	16,39	55	60	56	62	55	63
9	19,43	57	60	59	62	56	63
10	22,98	58	60	59	62	59	63
11	27,29	60	60	62	62	61	63
12	33,62	60	60	62	62	63	63
13	50,86	59	60	61	60	60	61
14	57,19	59	58	61	59	60	61
15	61,50	59	58	60	59	60	61
16	65,05	57	58	59	59	60	61
17	68,09	56	58	57	59	58	61
18	70,88	56	47	55	58	56	60
19	73,33	52	47	54	58	53	59
20	75,95	50	56	52	55	51	54
21	77,81	49	55	49	55	49	56
22	79,83	44	52	48	50	45	53
23	81,78	44	49	43	49	44	51
24	83,55	44	48	43	48	43	51

TABLEAU B.26

Cheminée N.-E. : essai du 29 et du 30 mai 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	29 mai 1974 (vent : S.-E. de 5 mi/h)		29 mai 1974 (vent : S.-E. de 5 mi/h)		30 mai 1974 (vent : S.-E. de 10 mi/h)	
		E. O.	N. S.	E. O.	N. S.	E. O.	N. S.
1	0,93	55	56	55	56	57	55
2	2,70	55	56	55	56	57	55
3	4,65	57	59	59	59	60	59
4	6,67	59	62	59	61	62	64
5	8,87	60	65	59	67	62	64
6	11,15	62	68	61	68	65	66
7	13,60	64	72	65	62	67	69
8	16,39	65	72	66	71	68	70
9	19,43	67	72	70	70	70	70
10	22,98	69	71	70	70	70	70
11	27,29	69	56	70	56	71	70
12	33,62	69	67	70	65	71	67
13	50,86	67	66	67	65	71	67
14	57,19	65	66	68	65	70	67
15	61,50	65	66	68	67	67	67
16	65,05	61	66	67	67	64	66
17	68,09	58	65	61	67	61	66
18	70,88	55	65	59	65	57	64
19	73,33	55	64	55	65	57	64
20	75,95	51	60	50	62	52	61
21	77,81	49	55	48	60	48	58
22	79,83	46	50	45	51	48	54
23	81,78	43	45	45	49	44	43
24	83,55	43	45	45	49	43	43

TABLEAU B.27

Cheminée S.-E. : essai du 29 et du 30 mai 1974. Combustible : mazout lourd C. Vitesse des gaz (en pieds par seconde)

Point de mesure n°	Distance de la paroi de la cheminée (pouces)	29 mai 1974 (vent : S.-E. de 5 mi/h)		29 mai 1974 (vent : S.-E. de 5 mi/h)		30 mai 1974 (vent : S.-E. de 10 mi/h)	
		E. O.	S. N.	E. O.	S. N.	E. O.	S. N.
1	0,72	46	69	49	70	53	54
2	2,20	46	69	49	70	53	54
3	3,83	47	67	49	68	53	54
4	5,63	49	60	49	62	53	49
5	7,61	46	46	44	52	49	49
6	9,90	41	41	44	44	49	43
7	12,74	35	35	38	38	38	43
8	16,88	26	24	27	27	31	38
9	28,31	26	20	27	20	31	33
10	32,27	32	18	31	18	38	32
11	35,10	38	17	38	17	43	32
12	37,40	41	17	38	17	49	34
13	39,38	42	17	38	17	49	31
14	41,18	44	17	39	17	51	30
15	42,80	41	12	31	14	46	28
16	44,28	41	12	31	14	49	27

TABLEAU B.28

Données sur les émissions de particules

Date de l'essai	Cheminée	Filtre (mg)	Matières solides des échantillons (mg)	Matières solubles des échantillons (mg)	Volume total de particules recueillies (mg)	Échantillons de gaz [pi ³ T.P.N. (base sèche)]	Charge de particules (mg/m ³)	
11/3	N.-O.	686,5	327,0	N.A.*	1013,5	124,1	288,5	
12/3	N.-O.	901,7	276,7	N.A.*	1178,4	127,8	325,6	Moyenne
12/3	N.-O.	808,0	446,1	N.A.*	1254,1	127,6	347,1	320,4
22/4	N.-O.	783,4	282,0	109,2	1174,6	133,0	311,8	
23/4	N.-O.	718,9	132,5	91,2	942,6	125,3	265,6	
30/4	N.-O.	805,8	212,1	140,4	1158,3	128,9	317,5	Moyenne
30/4	N.-O.	818,8	42,5	60,0	921,3	133,3	244,0	251,8
1/5	N.-O.	629,2	232,7	94,8	956,7	130,8	259,6	
2/5	N.-O.	173,4	171,0	67,2	411,6	129,3	112,3	
29/5	N.-O.	154,0	23,3	144,0	321,3	127,7	89,0	
29/5	N.-O.	157,3	22,0	97,2	276,5	131,3	74,5	Moyenne
30/5	N.-O.	189,8	71,0	114,0	374,8	132,0	100,3	87,9
11/3	N.-E.	378,7	142,7	N.A.*	521,4	129,3	142,3	
12/3	N.-E.	413,6	107,5	N.A.*	521,1	132,9	138,4	Moyenne
12/3	N.-E.	639,7	146,6	N.A.*	786,3	135,3	205,2	162,0
22/4	N.-E.	213,4	91,3	44,4	349,1	134,8	91,5	
23/4	N.-E.	258,7	14,5	56,4	329,6	128,7	90,4	
30/4	N.-E.	250,9	22,9	32,4	306,2	133,4	81,2	Moyenne
30/4	N.-E.	214,1	48,6	36,0	298,7	126,9	83,0	103,0
1/5	N.-E.	225,0	84,1	48,0	357,1	132,8	95,0	
2/5	N.-E.	588,9	46,2	22,8	657,9	131,5	176,6	

* N.A. : non analysées à cause des résidus dans l'acétone.

TABLEAU B.28 (Suite)

Date de l'essai	Cheminée	Filtre (mg)	Matières solides des échantillons (mg)	Matières solubles des échantillons (mg)	Volume total de particules recueillies (mg)	Échantillons de gaz [pi ³ T.P.N. (base sèche)]	Charge de particules (mg/m ³)	
29/5	N.-E.	1506,5	497,7	93,6	2097,8	140,4	527,6	
29/5	N.-E.	1340,4	559,2	72,0	1971,6	142,2	489,8	Moyenne
30/5	N.-E.	1625,3	850,1	115,2	2590,6	146,3	625,4	547,6
14/3	S.-E.	144,2	22,1	N.A.*	166,3	71,8	81,9	
14/3	S.-E.	119,9	19,4	N.A.*	139,3	62,2	79,1	Moyenne
15/3	S.-E.	121,4	15,9	N.A.*	137,3	45,7	105,9	89,0
22/4	S.-E.	7,2	5,6	14,4	27,2	62,1	15,5	
23/4	S.-E.	150,7	2,9	54,0	207,6	67,0	109,5	
30/4	S.-E.	21,0	1,9	9,6	32,5	57,7	19,8	
30/4	S.-E.	78,9	0,4	7,2	86,5	57,4	53,3	Moyenne
1/5	S.-E.	55,1	1,3	9,6	66,0	48,5	48,0	86,6
2/5	S.-E.	9,2	5,0	0	14,2	36,3	13,8	
29/5	S.-E.	483,4	8,5	55,2	547,1	81,1	238,4	
29/5	S.-E.	1073,3	5,5	102,0	1180,8	81,5	511,7	Moyenne
30/5	S.-E.	90,8	1,3	21,6	113,7	93,7	42,7	264,3

* N.A. : non analysées à cause des résidus dans l'acétone.

TABLEAU B.29

Données sur les émissions de plomb

Date de l'essai	Cheminée	Pb du filtre (µg)	Pb des matières solides des échantillons (µg)	Pb des matières solubles des échantillons (µg)	Pb de l'impinger (µg)	Volume total de Pb recueilli (µg)	Échantillons de gaz [pi ³ T.P.N. (base sèche)]	Charge de Pb (µg/m ³)	
11/3	N.-O.	24,0	110,9	N.A. *	N.D.	134,9	124,1	38,5	
12/3	N.-O.	18,9	11,3	N.A.	75	105,2	128,8	29,0	Moyenne
12/3	N.-O.	17,8	7,1	N.A.	225	249,9	127,6	69,2	45,6
22/4	N.-O.	65,8	80,7	N.D. **	N.D.	146,5	133,0	38,8	
23/4	N.-O.	58,9	30,1	N.D.	N.D.	89,1	125,3	25,1	
30/4	N.-O.	52,4	27,6	N.D.	N.D.	80,0	128,9	21,9	Moyenne
30/4	N.-O.	53,2	6,4	N.D.	75	134,6	133,3	35,7	29,7
1/5	N.-O.	46,6	28,9	N.D.	N.D.	75,5	130,8	20,5	
2/5	N.-O.	9,5	17,4	30	75	131,9	129,3	36,0	
29/5	N.-O.	5,5	7,2	N.D.	N.D.	12,7	127,7	3,53	
29/5	N.-O.	5,2	7,2	N.D.	N.D.	12,4	131,3	3,18	Moyenne
30/5	N.-O.	5,5	7,3	60	150	222,8	132,0	59,7	22,1
11/3	N.-E.	27,6	20,8	N.A.	N.D.	48,4	129,3	13,1	
12/3	N.-E.	14,9	8,3	N.A.	75	98,2	132,9	26,1	Moyenne
12/3	N.-E.	12,8	3,8	N.A.	N.D.	16,6	135,3	4,24	14,5
22/4	N.-E.	28,8	44,8	N.D.	N.D.	73,6	134,8	19,4	
23/4	N.-E.	54,3	13,4	N.D.	N.D.	67,7	128,7	18,7	
30/4	N.-E.	19,6	7,8	N.D.	N.D.	27,4	133,4	7,42	Moyenne
30/4	N.-E.	14,8	16,9	N.D.	N.D.	31,7	126,9	8,83	14,0
1/5	N.-E.	15,8	42,6	N.D.	N.D.	58,4	132,8	15,5	
2/5	N.-E.	40,6		N.D.	N.D.		131,5		

* Non analysées à cause du trop faible volume de matières solides dans les échantillons.

** Non détecté.

TABLEAU B.29 (Suite)

Date de l'essai	Cheminée	Pb du filtre (μg)	Pb des matières solides des échantillons (μg)	Pb des matières solubles des échantillons (μg)	Pb de l'impinger (μg)	Volume total de Pb recueilli (μg)	Échantillons de gaz [pi^3 T.P.N. (base sèche)]	Charge de Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
29/5	N.-E.	30,1	25,4	N.D.	75	130,5	140,4	32,8	
29/5	N.-E.	29,5	21,2	N.D.	150	200,7	142,2	49,8	Moyenne
30/5	N.-E.	42,3	36,6	N.D.	75	153,9	146,3	37,1	39,9
14/3	S.-E.	8,6	N.A.*	N.A.*	N.D.	8,6	71,8	4,24	
14/3	S.-E.	44,5	N.A.	N.A.	N.D.	44,5	62,2	25,4	Moyenne
15/3	S.-E.	80,2	N.A.	N.A.	N.D.	80,2	45,7	61,8	30,5
22/4	S.-E.	24,5	N.A.	N.D.**	N.D.	24,5	62,1	13,8	
23/4	S.-E.	95,7	N.A.	30	N.D.	125,7	67,0	66,4	
30/4	S.-E.	46,8	N.A.	60	N.D.	106,8	57,7	65,3	Moyenne
30/4	S.-E.	82,4	N.A.	N.D.	N.D.	82,4	57,4	50,9	90,1
1/5	S.-E.	292	N.A.	60	N.D.	352,0	48,5	256,4	
2/5	S.-E.	30,1	N.A.	60	N.D.	90,1	36,3	87,6	
29/5	S.-E.	289	N.A.	30	N.D.	319	81,1	135,3	
29/5	S.-E.	504	N.A.	N.D.	N.D.	504	81,5	18,2	Moyenne
30/5	S.-E.	41,2	N.A.	N.D.	N.D.	41,2	93,7	15,5	123,0

* Non analysées à cause du trop faible volume de matières solides dans les échantillons.

** Non détecté.

TABLEAU B.30

Données sur les émissions de brome

Date de l'essai	Cheminée	Br du filtre (µg)	Br des matières solides des échantillons (µg)	Br des matières solubles des échantillons (µg)	Br de l'impinger (µg)	Volume total de Br recueilli (µg)	Échantillons de gaz [pi ³ T.P.N. (base sèche)]	Charge de Br (µg/m ³)	
11/3	N.-O.	213,5	36,6	N.A.*	N.D.	250,1	124,1	71,0	
12/3	N.-O.	317,4	38,5	N.A.	N.D.	355,9	128,8	97,5	Moyenne
12/3	N.-O.	206,0	34,8	N.A.	N.D.	240,8	127,6	66,7	78,4
22/4	N.-O.	684,7	4,5	270	N.D.	959,2	133,0	254,6	
23/4	N.-O.	547,1	3,4	N.D.**	N.D.	550,5	125,3	155,0	
30/4	N.-O.	838,0	4,7	210	N.D.	1052,7	128,9	288,5	Moyenne
30/4	N.-O.	707,4	1,1	210	N.D.	918,5	133,3	243,3	249,6
1/5	N.-O.	741,2	4,7	420	N.D.	1165,9	130,8	314,7	
2/5	N.-O.	221,1	3,8	660	N.D.	884,9	129,3	241,6	
29/5	N.-O.	68,7	1,4	210	N.D.	280,1	127,7	77,3	
29/5	N.-O.	81,2	2,2	N.D.	N.D.	83,4	131,3	22,6	Moyenne
30/5	N.-O.	85,8	1,3	N.D.	N.D.	87,1	132,0	23,3	41,1
11/3	N.-E.	107,6	12,6	N.A.	N.D.	120,2	129,3	32,8	
12/3	N.-E.	109,2	13,4	N.A.	N.D.	122,6	132,9	32,5	Moyenne
12/3	N.-E.	159,9	20,5	N.A.	N.D.	180,4	135,3	47,0	37,4
22/4	N.-E.	218,9	2,3	N.D.	N.D.	221,2	134,8	57,9	
23/4	N.-E.	224,0	2,2	N.D.	N.D.	226,2	128,7	62,2	
30/4	N.-E.	307,1	0,5	N.D.	N.D.	307,6	133,4	81,6	Moyenne
30/4	N.-E.	221,8	1,2	N.D.	N.D.	223,0	126,9	62,2	86,6
1/5	N.-E.	302,0	4,9	N.D.	N.D.	306,9	132,8	81,6	
2/5	N.-E.	648,4	—	N.D.	N.D.	648,4	131,5	174,1	

* Non analysées.

** Non détecté.

TABLEAU B.30 (Suite)

Date de l'essai	Cheminée	Br du filtre (µg)	Br des matières solides des échantillons (µg)	Br des matières solubles des échantillons (µg)	Br de l'impinger (µg)	Volume total de Br recueilli (µg)	Échantillons de gaz [pi ³ T.P.N. (base sèche)]	Charge de Br (µg/m ³)	
29/5	N.-E.	498,7	8,0	180	N.D. **	686,7	140,4	172,7	
29/5	N.-E.	528,1	8,9	N.D.	N.D.	537,0	142,2	133,5	Moyenne
30/5	N.-E.	590,0	6,0	210	N.D.	806,0	146,3	194,6	166,9
14/5	S.-E.	686	N.A. *	N.A.	N.D.	686	71,8	337,3	
14/5	S.-E.	626	N.A.	N.A.	825	1451	62,2	823,5	Moyenne
15/5	S.-E.	617	N.A.	N.A.	N.D.	617	45,7	476,7	545,8
22/4	S.-E.	174	N.A.	N.D.	N.D.	174	62,1	98,9	
23/4	S.-E.	1740	N.A.	1800	N.D.	3540	67,0	1866,0	
30/4	S.-E.	400	N.A.	N.D.	N.D.	400	57,7	244,7	Moyenne
30/4	S.-E.	1141	N.A.	N.D.	N.D.	1141	57,4	702,1	601,7
1/5	S.-E.	744	N.A.	N.D.	N.D.	744	48,5	541,7	
2/5	S.-E.	161	N.A.	N.D.	N.D.	161	36,3	156,8	
29/5	S.-E.	2086	N.A.	240	577	2903	81,1	1264,3	
29/5	S.-E.	3590	N.A.	720	525	4835	81,5	2095,2	Moyenne
30/5	S.-E.	424	N.A.	N.D.	N.D.	424	93,7	160,0	1173,2

* Non analysées.

** Non détecté.

TABLEAU B.31
Données sur les émissions de zinc

Date de l'essai	Cheminée	Zn du filtre (µg)	Zn des matières solides des échantillons (µg)	Zn des matières solubles des échantillons (µg)	Zn de l'impinger (µg)	Volume total de Zn recueilli (µg)	Echantillons de gaz [pi ³ T.P.N. (base sèche)]	Charge de Zn (µg/m ³)	
11/3	N.-O.	56,9	27,8	N.A.*	N.D.	84,7	124,1	24,0	
12/3	N.-O.	89,3	26,8	N.A.	N.D.	116,1	128,8	31,8	Moyenne
12/3	N.-O.	67,9	33,5	N.A.	N.D.	101,4	127,6	27,9	27,9
22/4	N.-O.	72,1	39,5	9	30	150,6	133,0	39,9	
23/4	N.-O.	53,9	24,2	N.D.**	N.D.	78,1	125,3	21,9	
30/4	N.-O.	77,4	45,2	N.D.	22,5	145,1	128,9	39,9	Moyenne
30/4	N.-O.	68,8	11,6	N.D.	N.D.	80,4	133,3	21,2	26,7
1/5	N.-O.	49,7	40,5	N.D.	N.D.	90,2	130,8	24,4	
2/5	N.-O.	17,0	30,4	N.D.	N.D.	47,4	129,3	13,1	
29/5	N.-O.	10,0	16,9	N.D.	N.D.	26,9	127,7	7,42	
29/5	N.-O.	17,9	23,9	N.D.	N.D.	41,8	131,3	11,3	Moyenne
30/5	N.-O.	13,1	29,5	N.D.	N.D.	42,6	132,0	11,3	10,0
11/3	N.-E.	38,6	13,6	N.D.	N.D.	52,2	129,3	14,1	
12/3	N.-E.	35,6	12,1	N.D.	N.D.	47,7	132,9	19,8	Moyenne
12/3	N.-E.	60,1	11,9	N.D.	N.D.	72,0	135,3	18,7	17,5
22/4	N.-E.	21,8	35,1	N.D.	N.D.	56,9	134,8	14,8	
23/4	N.-E.	35,1	8,0	N.D.	N.D.	43,7	128,7	12,0	
30/4	N.-E.	24,3	7,8	N.D.	N.D.	32,1	133,4	8,48	Moyenne
30/4	N.-E.	18,4	12,8	N.D.	N.D.	31,2	126,9	8,12	11,6
1/5	N.-E.	23,2	30,9	N.D.	N.D.	54,1	132,8	14,5	
2/5	N.-E.	47,7		N.D.	N.D.		131,5		

* Non analysées.

** Non détecté.

TABLEAU B.31 (Suite)

Date de l'essai	Cheminée	Zn du filtre (µg)	Zn des matières solides des échantillons (µg)	Zn des matières solubles des échantillons (µg)	Zn de l'impinger (µg)	Volume total de Zn recueilli (µg)	Echantillons de gaz [pi ³ T.P.N. (base sèche)]	Charge de Zn (µg/m ³)	
29/5	N.-E.	122,0	73,7	N.D.	N.D.	195,7	140,4	49,1	
29/5	N.-E.	124,7	113,5	N.D.	N.D.	238,2	142,2	59,3	Moyenne
30/5	N.-E.	159,3	115,6	N.D.	N.D.	274,9	146,3	66,4	58,3
14/3	S.-E.	N.D.	N.A.*	N.A.*	N.D.**	Nil	71,8	0	
14/3	S.-E.	N.D.		N.A.	N.D.	Nil	66,2	0	Moyenne
15/3	S.-E.	N.D.		N.A.	N.D.	Nil	45,7	0	0
22/4	S.-E.	N.D.		45	N.D.	45	6,21	25,4	
23/4	S.-E.	N.D.		75	6	81	67,0	42,7	
30/4	S.-E.	N.D.		N.D.	N.D.	Nil	57,7	0	Moyenne
30/4	S.-E.	16,7		12	3	32	57,4	19,8	16,6
1/5	S.-E.	15,6		N.D.	N.D.	16	48,5	11,7	
2/5	S.-E.	N.D.		N.D.	N.D.	Nil	36,3	0	
29/5	S.-E.	N.D.		N.D.	N.D.	Nil	81,1	0	
29/5	S.-E.	13,4		N.D.	N.D.	13	81,5	5,7	Moyenne
30/5	S.-E.	N.D.		N.D.	N.D.	Nil	93,7	0	1,90

* Non analysées.

** Non détecté.

TABLEAU B.32

Données sur les émissions de phosphore

Date de l'essai	Cheminée	P du filtre (μg)	P des matières solides des échantillons (μg)	P des matières solubles des échantillons (μg)	P de l'impinger (μg)	Volume total de P recueilli (μg)	Echantillons de gaz [pi^3 T.P.N. (base sèche)]	Charge de P ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
11/3	N.-O.	238,2	107,9	N.A.	N.D.	346,1	124,1	98,5	
12/3	N.-O.	372,4	106,8	N.A.	N.D.	479,2	128,8	131,4	Moyenne
12/3	N.-O.	306,2	129,8	N.A.	N.D.	436,0	127,6	120,8	116,9
22/4	N.-O.	237,4	118,4	N.D.	N.D.	355,8	133,0	94,6	
23/4	N.-O.	236,5	50,0	N.D.	N.D.	286,5	125,3	80,9	
30/4	N.-O.	319,9	86,7	N.D.	N.D.	406,6	128,9	111,2	Moyenne
30/4	N.-O.	303,0	15,5	N.D.	N.D.	318,5	133,3	84,4	79,2
1/5	N.-O.	193,8	72,4	N.D.	N.D.	266,2	130,8	72,0	
2/5	N.-O.	62,6	53,2	N.D.	N.D.	115,8	129,3	31,8	
29/5	N.-O.	64,7	12,0	N.D.	N.D.	76,7	127,7	21,2	
29/5	N.-O.	53,0	12,9	N.D.	N.D.	65,9	131,3	17,7	Moyenne
30/5	N.-O.	70,0	34,6	N.D.	N.D.	104,6	132,0	27,9	22,3
11/3	N.-E.	117,0	51,7	N.A.	N.D.	168,7	129,3	45,9	
12/3	N.-E.	127,4	31,9	N.A.	N.D.	159,3	132,9	42,4	Moyenne
12/3	N.-E.	213,7	44,9	N.A.	N.D.	258,6	135,3	67,5	51,9
22/4	N.-E.	70,0	46,0	N.D.	N.D.	116,0	134,8	30,4	
23/4	N.-E.	115,9	11,8	N.D.	N.D.	127,7	128,7	35,0	
30/4	N.-E.	106,1	4,0	N.D.	N.D.	110,1	133,4	29,3	
30/4	N.-E.	80,9	19,2	N.D.	N.D.	100,1	126,9	27,9	30,7
1/5	N.-E.	84,8	32,0	N.D.	N.D.	116,8	132,8	31,1	
2/5	N.-E.	177,3		N.D.	N.D.		131,5		

TABLEAU B.32 (Suite)

Date de l'essai	Cheminée	P du filtre (μg)	P des matières solides des échantillons (μg)	P des matières solubles des échantillons (μg)	P de l'impinger (μg)	Volume total de P recueilli (μg)	Echantillons de gaz [ρ] ³ T.P.N. (base sèche)	Charge de P ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
29/5	N.-E.	581,5	152,8	N.D.	N.D.	734,3	140,4	184,7
29/5	N.-E.	445,0	145,4	N.D.	N.D.	590,4	142,2	146,6
30/5	N.-E.	473,0	238,9	N.D.	N.D.	711,9	146,3	172,0
								Moyenne 167,8

B.2 CALCUL DES ÉMISSIONS

B.2.1 Résultats des essais

Les tableaux B.19 à B.27 présentent les données sur la vitesse des gaz dans la cheminée et sur la vitesse et la direction des vents qui nous ont été transmises par les services météorologiques de l'Aéroport international de Toronto.

Les tableaux B.28 à B.33 donnent les résultats obtenus en ce qui concerne les émissions de particules, de plomb, de brome, de zinc et de phosphore. Pour les particules, les valeurs sont exprimées en milligrammes et pour les éléments, en microgrammes. On trouve aussi les concentrations de particules (matières particulaires) obtenues par des essais individuels et les moyennes obtenues pour des groupes d'essais. Quelques données n'étaient pas disponibles pour les raisons suivantes :

a) Les solutions de lavage de la sonde utilisées pour l'essai du 11 au 15 mars étaient des solutions à l'acétone comme le demandent les normes officielles du Code de l'Ontario. Après évaporation, on a trouvé qu'elles contenaient des résidus résineux. D'après les commentaires de l'Air Resource Branch, ce phénomène a déjà été noté dans d'autres tests. Évidemment, une analyse des concentrations de particules ou d'éléments dans ces solutions serait sans valeur. Puisque très peu des émissions normales dans une cimenterie seraient solubles dans l'acétone, on a cessé de travailler avec ces solutions. Pour les lavages suivants des sondes, on s'est servi d'eau distillée.

b) Les matières recueillies dans le filtre de la cheminée sud-est étaient trop peu abondantes pour que l'O.R.F. les analyse. Les teneurs de plomb et de zinc ont été déterminées par MM. Dubois, Piquette, Pupp et Zdrojewski. On n'a pas dosé le phosphore dans les filtres.

c) La faible quantité de matières solides retirées par lavage de la sonde lors de l'échantillonnage de la cheminée sud-est n'a pas permis non plus d'analyse.

TABLEAU B.33

Volume total de brome dans le filtre (en μg de Br), calculé à partir de l'intensité nette obtenue par l'analyse par fluorescence de rayons X (FX) des filtres de la cheminée S.-E.

Date de l'essai	Intensité nette obtenue par FX (impulsions par seconde)	Volume de brome (μg , Br total de chaque filtre)
14/5	6 015	686
14/5	5 462	626
15/5	5 378	617
22/4	1 277	174
23/4	15 769	1 740
30/4	3 379	400
30/4	10 226	1 141
1/5	6 548	744
2/5	1 161	161
29/5	18 964	2 086
29/5	32 883	3 590
30/5	3 586	424

Les diverses données obtenues lors d'essais distincts sont présentées aux tableaux B.34 à B.37. Celles qui concernent les matières solides contenues dans le filtre pour les tests à la cheminée sud-est sont présentées séparément, à l'annexe E. Elles ont été obtenues par MM. Dubois, Piquette, Pupp et Zdrojewski, dont le rapport complet se trouve à l'annexe E.

TABLEAU B.34

Analyses par fluorescence de rayons X des matières solides du filtre. Données de l'Ontario Research Foundation

Date de l'essai	Cheminée	Poids en pourcentage de chaque élément			
		Pb	Zn	Br	P
11/3	N.-O.	0,0035	0,0083	0,031	0,035
12/3	N.-O.	0,0021	0,0099	0,035	0,041
12/3	N.-O.	0,0022	0,0084	0,026	0,038
22/4	N.-O.	0,0084	0,0092	0,087	0,030
23/4	N.-O.	0,0082	0,0075	0,076	0,033
30/4	N.-O.	0,0065	0,0096	0,104	0,040
30/4	N.-O.	0,0065	0,0084	0,086	0,037
1/5	N.-O.	0,0074	0,0079	0,12	0,031
2/5	N.-O.	0,0055	0,0098	0,13	0,036
29/5	N.-O.	0,0036	0,0070	0,045	0,042
29/5	N.-O.	0,0033	0,011	0,052	0,034
30/5	N.-O.	0,0029	0,0069	0,045	0,036
11/3	N.-E.	0,0073	0,010	0,028	0,031
12/3	N.-E.	0,0036	0,0086	0,026	0,031
12/3	N.-E.	0,0020	0,0094	0,025	0,033
22/4	N.-E.	0,014	0,010	0,10	0,033
23/4	N.-E.	0,021	0,014	0,087	0,045
30/4	N.-E.	0,0078	0,0097	0,122	0,042
30/4	N.-E.	0,0069	0,0086	0,10	0,038
1/5	N.-E.	0,0070	0,010	0,134	0,038
2/5	N.-E.	0,0069	0,0081	0,11	0,030
29/5	N.-E.	0,0020	0,0081	0,033	0,039
29/5	N.-E.	0,0022	0,0093	0,039	0,033
30/5	N.-E.	0,0026	0,0098	0,036	0,029

TABLEAU B.35

Analyses par fluorescence de rayons X des matières solides des échantillons. Données de l'Ontario Research Foundation

Date de l'essai	Cheminée	Poids en pourcentage de chaque élément			
		Pb	Zn	Br	P
11/3*	N.-O.	0,034	0,0085	0,011	0,033
12/3*	N.-O.	0,0041	0,0097	0,014	0,039
12/3*	N.-O.	0,0016	0,0075	0,0078	0,029
22/4	N.-O.	0,029	0,014	0,0016	0,042
23/4	N.-O.	0,023	0,018	0,0026	0,038
30/4	N.-O.	0,013	0,021	0,0022	0,041
30/4	N.-O.	0,015	0,027	0,0026	0,036
1/5	N.-O.	0,012	0,017	0,0020	0,031
2/5	N.-O.	0,010	0,018	0,0022	0,031
29/5	N.-O.	0,031	0,073	0,0060	0,052
29/5	N.-O.	0,033	0,11	0,0099	0,059
30/5	N.-O.	0,010	0,042	0,0018	0,049
11/3*	N.-E.	0,015	0,0095	0,0088	0,036
12/3*	N.-E.	0,0077	0,011	0,013	0,030
12/3*	N.-E.	0,0026	0,0081	0,014	0,031
22/4	N.-E.	0,049	0,038	0,0025	0,050
23/4	N.-E.	0,093	0,055	0,015	0,081
30/4	N.-E.	0,034	0,034	0,0021	0,017
30/4	N.-E.	0,035	0,026	0,0025	0,040
1/5	N.-E.	0,051	0,037	0,0058	0,038
2/5**	N.-E.				
29/5	N.-E.	0,0051	0,015	0,0016	0,031
29/5	N.-E.	0,0038	0,03	0,0016	0,026
30/5	N.-E.	0,0043	0,014	0,0007	0,028

* Échantillons de la solution à l'acétone.

** Échantillon contaminé pendant l'analyse.

TABLEAU B.36

Analyses chimiques par fluorescence de rayons X (FX) et par absorption atomique (AA) des solutions de l'impinger. Données de l'Ontario Research Foundation

Date de l'essai	Cheminée	Total de matières solides dissoutes (μg)	p.p.m. de chaque élément			
			Pb	Zn	Br	P
11/3	N.-O.	1089	N.D.*	N.D.	N.D.	N.D.
12/3	N.-O.	1149	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
12/3	N.-O.	657	0,3	N.D.	N.D.	N.D.
22/4	N.-O.	1032	N.D.	0,04	N.D.	N.D.
23/4	N.-O.	921	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	N.-O.	1035	N.D.	0,03	N.D.	N.D.
30/4	N.-O.	981	0,1	N.D.	N.D.	N.D.
1/5	N.-O.	1038	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2/5	N.-O.	1083	0,1	N.D.	N.D.	N.D.
29/5	N.-O.	826	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
29/5	N.-O.	972	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/5	N.-O.	1242	0,2	N.D.	N.D.	N.D.
11/3	N.-E.	924	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
12/3	N.-E.	714	0,1	N.D.	N.D.	N.D.
12/3	N.-E.	543	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
22/4	N.-E.	1091	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
23/4	N.-E.	828	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	N.-E.	891	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	N.-E.	1077	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1/5	N.-E.	1017	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2/5	N.-E.	1092	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
29/5	N.-E.	1080	0,1	N.D.	N.D.	N.D.
29/5	N.-E.	1017	0,2	N.D.	N.D.	N.D.
30/5	N.-E.	983	0,1	N.D.	N.D.	N.D.
14/5	S.-E.	15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
14/5	S.-E.	10	N.D.	N.D.	1,1	N.D.
15/5	S.-E.	18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
22/4	S.-E.	12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
23/4	S.-E.	9	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	S.-E.	6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	S.-E.	15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1/5	S.-E.	6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2/5	S.-E.	0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
29/5	S.-E.	59	N.D.	N.D.	0,7	N.D.
29/5	S.-E.	30	N.D.	N.D.	0,7	N.D.
30/5	S.-E.	32	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

* Non détecté.

TABLEAU B.37

Analyses par fluorescence de rayons X des solutions de rinçage. Données de l'Ontario Research Foundation

Date de l'essai	Cheminée	p.p.m. de chaque élément			
		Pb	Zn	Br	P
11/3	N.-O.				
12/3	N.-O.	← acétone →			
12/3	N.-O.				
22/4	N.-O.	N.D.*	0,03	0,9	N.D.
23/4	N.-O.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	N.-O.	N.D.	N.D.	0,7	N.D.
30/4	N.-O.	N.D.	N.D.	0,7	N.D.
1/5	N.-O.	N.D.	N.D.	1,4	N.D.
2/5	N.-O.	0,1	N.D.	2,2	N.D.
29/5	N.-O.	N.D.	N.D.	0,7	N.D.
29/5	N.-O.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/5	N.-O.	0,2	N.D.	N.D.	N.D.
11/3	N.-E.				
12/3	N.-E.	← acétone →			
12/3	N.-E.				
22/4	N.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
23/4	N.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	N.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	N.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1/5	N.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2/5	N.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
29/5	N.-E.	N.D.	N.D.	0,6	N.D.
29/5	N.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
30/5	N.-E.	N.D.	N.D.	0,7	N.D.
14/3	S.-E.				
14/3	S.-E.	← acétone →			
15/3	S.-E.				
22/4	S.-E.	N.D.	0,15	N.D.	N.D.
23/4	S.-E.	0,1	0,25	6,0	N.D.
30/4	S.-E.	0,2	N.D.	N.D.	N.D.
30/4	S.-E.	N.D.	0,04	N.D.	N.D.
1/5	S.-E.	0,2	N.D.	N.D.	N.D.
2/5	S.-E.	0,2	N.D.	N.D.	N.D.
29/5	S.-E.	0,1	N.D.	0,8	N.D.
29/5	S.-E.	N.D.	N.D.	2,4	N.D.
30/5	S.-E.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

* Non détecté.

Référence de l'annexe B

1. Dixon, W.J. *Ann. Math. Statis.*, 1951, vol. 22, p. 68.

ANNEXE C

ANNEXE C

Étude des propriétés du ciment

Dix-sept échantillons de ciment ont été recueillis au cours de l'étape de broyage et analysés par fluorescence de rayons X pour leur teneur en plomb. Les teneurs variaient de 0,0014 p. 100 à 0,0070 p. 100. Les échantillons ont ensuite été soumis à des essais de résistance en compression, de consistance et de temps de prise à l'aiguille de Vicat. Une analyse de régression linéaire par la méthode des moindres carrés a été faite pour déterminer s'il y avait une *corrélation importante entre le pourcentage de plomb et les paramètres mesurés*. Ces données et les coefficients de corrélation calculés sont présentés au tableau C.1. Les figures C.1 à C.4 illustrent les résultats obtenus par les essais de la résistance en compression. Les statistiques t , calculées pour chaque paire de tests de corrélation, montrent la grande improbabilité d'une corrélation entre le pourcentage de plomb et tous les résultats des essais auxquels ont été soumis les échantillons. Si on avait noté certains effets, ceux-ci n'auraient pas été liés au plomb seulement, mais probablement aussi à la quantité d'huile usée brûlée.

TABLEAU C.1
Propriétés du ciment

Pourcentage de Pb	Temps de prise (aiguille de Vicat)		Consistance normale, pourcentage d'eau	Résistance en compression			
	Début	Fin		1 jour	3 jours	7 jours	28 jours
0,0038	124	251	25,0	2 062	3 100	3 762	4 450
0,0058	119	239	24,0	1 956	2 993	3 362	4 033
0,0028	128	228	25,0	1 962	2 850	3 525	4 000
0,0070	117	227	25,0	2 012	2 918	3 368	3 946
0,0032	115	220	24,5	1 950	2 775	3 243	3 900
0,0019	128	243	25,0	2 056	2 875	3 250	4 054
0,0015	120	237	25,0	2 037	2 881	3 393	4 092
0,0032	115	240	25,0	1 943	2 537	3 206	3 833
0,0043	124	264	25,0	1 968	2 831	3 293	4 021
0,0047	129	239	25,0	1 993	3 031	3 675	4 166
0,0042	132	244	25,0	1 812	2 806	3 237	4 016
0,0033	118	222	25,0	2 300	2 950	3 575	4 200
0,0032	117	230	25,0	2 237	2 662	3 343	4 133
0,0044	115	255	25,0	2 093	2 675	3 331	4 050
0,0017	115	230	25,0	2 030	2 818	3 387	4 129
0,0014	110	235	25,0	2 056	2 831	3 412	3 962
0,0033	120	240	24,5	1 987	2 862	3 668	4 375
<i>b</i>	614	1 621	-56	-14 777	22 246	4 803	-6 087
<i>a</i>	118	234	25,1	2 079	2 769	3 397	4 101
<i>r</i>	0,150	0,238	-0,300	-0,198	0,242	0,043	-0,058
<i>t</i>	0,586	0,947	-1,218	-0,782	0,965	0,166	-0,226
<i>P</i> *	55	45	35	45	35	85	85

* P indique de façon approximative la probabilité (en pourcentage) qu'une plus grande valeur de *r* puisse se présenter dans un échantillon à partir d'une population dont ρ (coefficient de corrélation) égale zéro.

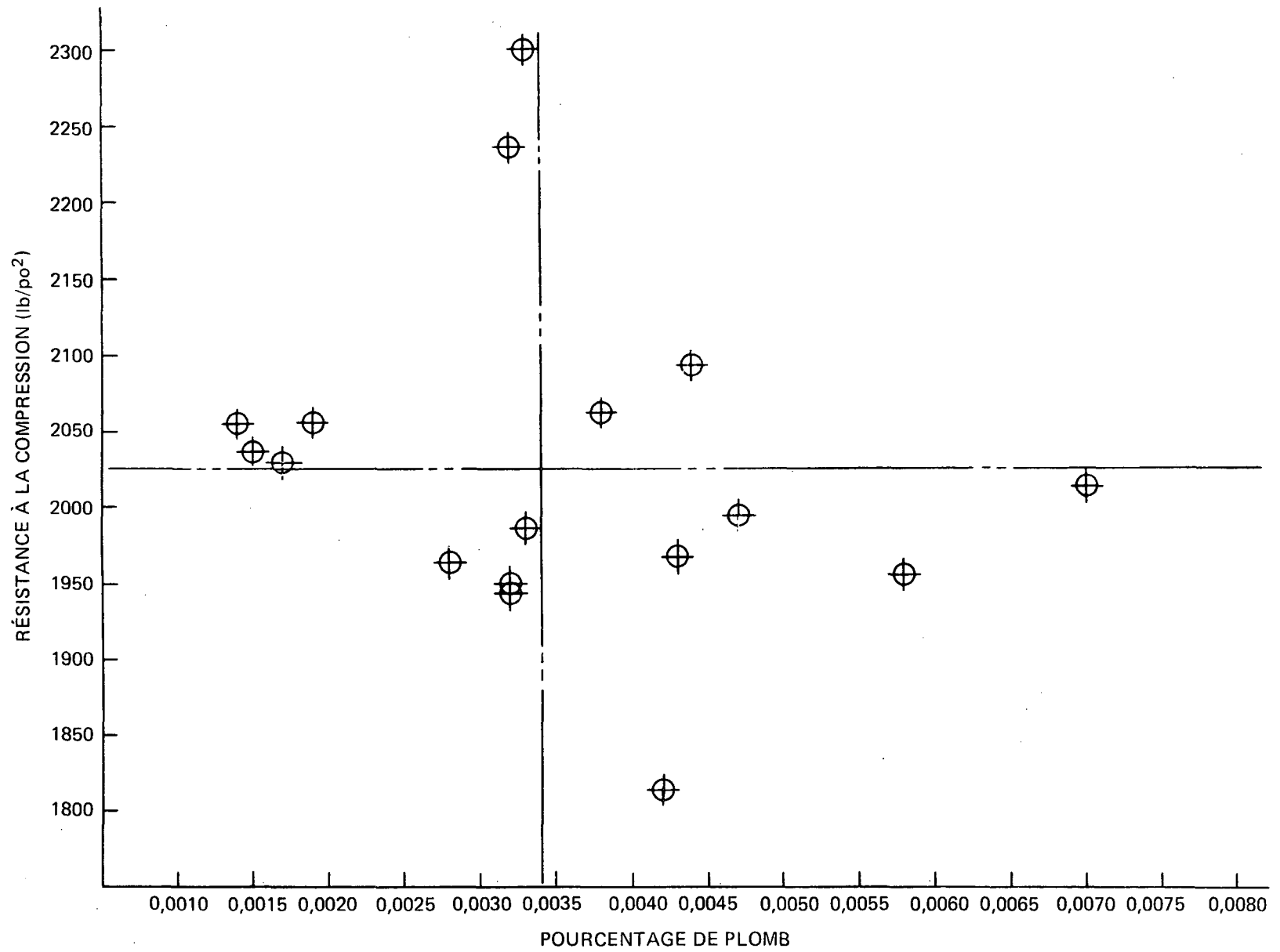


Figure C.1 Détermination de la résistance en compression (après 1 jour)

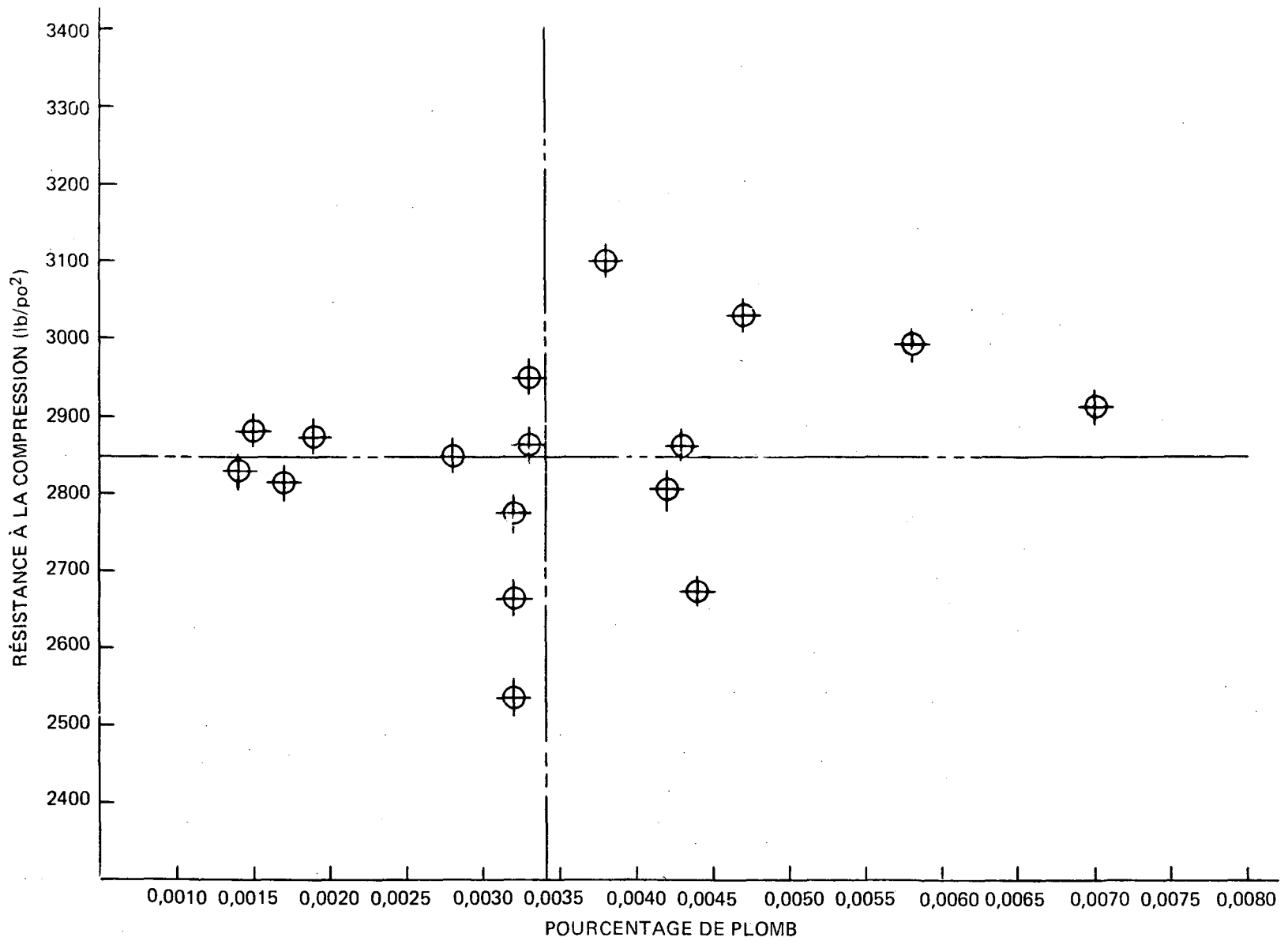


Figure C.2 Détermination de la résistance en compression (après 3 jours)

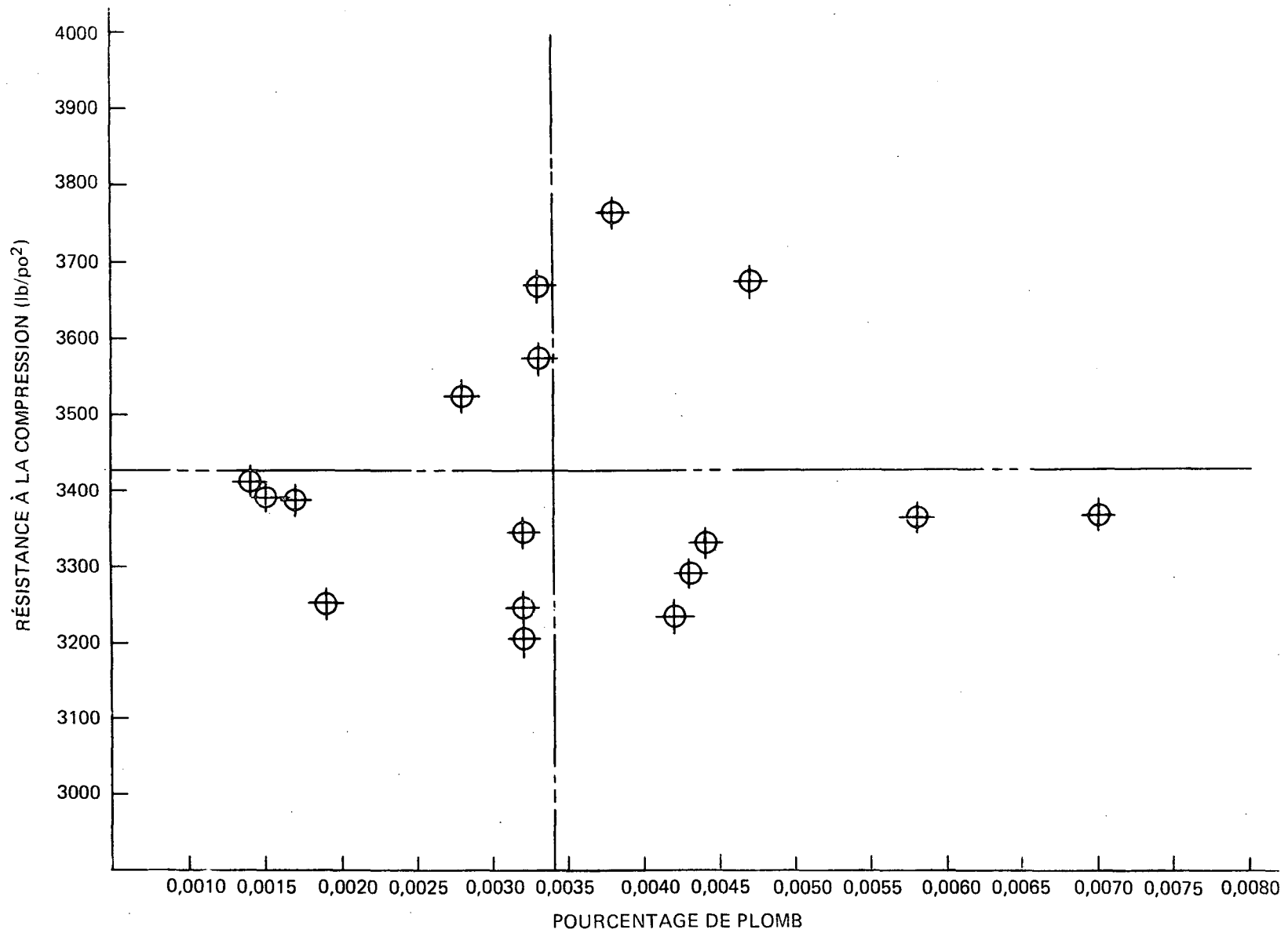


Figure C.3 Détermination de la résistance en compression (après 7 jours)

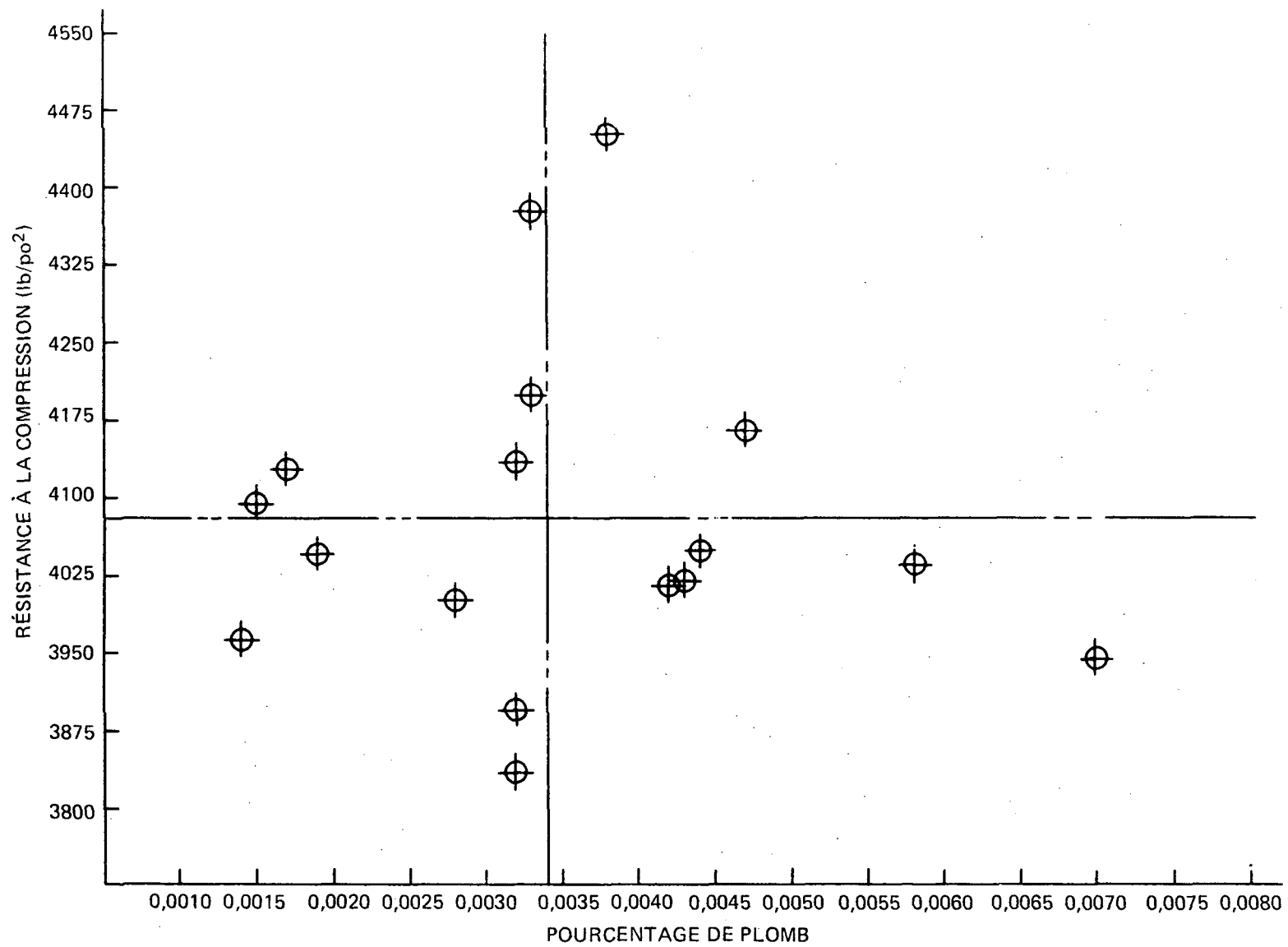


Figure C.4 Détermination de la résistance en compression (après 28 jours)

ANNEXE D

ANNEXE D

Description du système de manutention de l'huile usée

La manutention de l'huile usée nécessaire aux expériences a nécessité la construction d'un prototype (figure D.1) comprenant trois réservoirs de 10 000 gallons pouvant assurer un approvisionnement d'un jour. Nous n'en décrivons que les caractéristiques essentielles, reliées au fonctionnement du four, et non les autres, soupapes de sûreté, de trop-plein, etc. L'huile est pompée des camions d'expédition dans le réservoir I par une conduite de 3 po munie de filtres (crépines à deux paniers, tamis de 30 mailles au pouce). Les réservoirs II et III sont alimentés par gravité, par le réservoir I. Des conduites de 2 po amènent l'huile des réservoirs II ou III à la pompe volumétrique de production à triple pas de vis à travers un second filtre.

L'huile entre dans le four ou est recyclée dans des conduites de 2 po dont certaines sections sont munies de réchauffeurs. Le dispositif de recyclage, qui permet le retour de l'huile au réservoir I, est essentiel car l'huile stockée se sépare en deux couches, l'une d'eau et l'autre d'huile. Il permet aussi à l'huile de se réchauffer un peu en passant dans les réchauffeurs de la conduite. La quantité d'huile utilisée a été mesurée sur le même étage que le brûleur au moyen d'un «Target meter» de la compagnie Foxborough qui permettait de régler le débit grâce à une vanne motorisée.

Habituellement, on utilise du mazout lourd n° 6 (huile de soute) et un appareil Pillard standard, le «Triplex», qui comprend trois brûleurs à pulvérisation mécanique du type MY. Durant l'expérience, l'un d'entre eux fut alimenté à l'huile de graissage usée et les deux autres, toujours au mazout lourd n° 6. Pillard recommande ces brûleurs si on utilise à la fois de l'huile et du charbon ou du gaz naturel; l'huile de graissage usée pourrait donc servir dans des fours autres que les fours à mazout.

Au cours de l'essai avec ce système, plusieurs problèmes sont survenus. À un moment donné le compteur s'est mis à donner des renseignements incohérents, créant ainsi beaucoup de difficultés de fonctionnement. Le second problème a été la baisse graduelle de la pression d'huile en aval de la pompe et, par conséquent, la diminution du débit qu'on réussissait à obtenir.

Comme on le mentionne ailleurs dans ce rapport, le même système de manutention d'huile avait été utilisé avec succès dans des essais antérieurs et a bien fonctionné pendant une partie du présent essai; nos problèmes ne viennent donc pas de là. Une partie de l'huile livrée durant l'expérience contenait beaucoup d'eau et de particules (d'où la nécessité de nettoyer la crépine très souvent et d'où également la longue durée du déchargement des camions, imputable à l'obturation de la crépine). Tout porte à croire que les particules ont causé une usure excessive de la pompe et qu'un mélange d'huile, d'eau et de particules ou simplement les particules ont provoqué une accumulation de dépôts dans le compteur.

Il semble que la forte quantité d'eau trouvée dans l'huile⁽¹⁾ soit due à la manutention après la collecte, et que la présence de particules pouvait avoir la même cause. Si tel est le cas, le perfectionnement des méthodes de collecte pourrait améliorer la quantité de l'huile destinée aux fours à ciment et peut-être empêcher les problèmes techniques rencontrés au cours des présents essais. On a noté aussi des variations dans le pouvoir calorifique de l'huile à cause de l'eau.

Les exigences relatives à l'épandage d'huile sur les routes n'étant pas très strictes, ceux qui recueillent ces huiles pourraient, sans grande difficulté, être plus attentifs au problème ci-haut mentionné. De toute manière, il faut surveiller avec soin la qualité de l'huile livrée aux cimenteries si on veut obtenir un bon rendement.

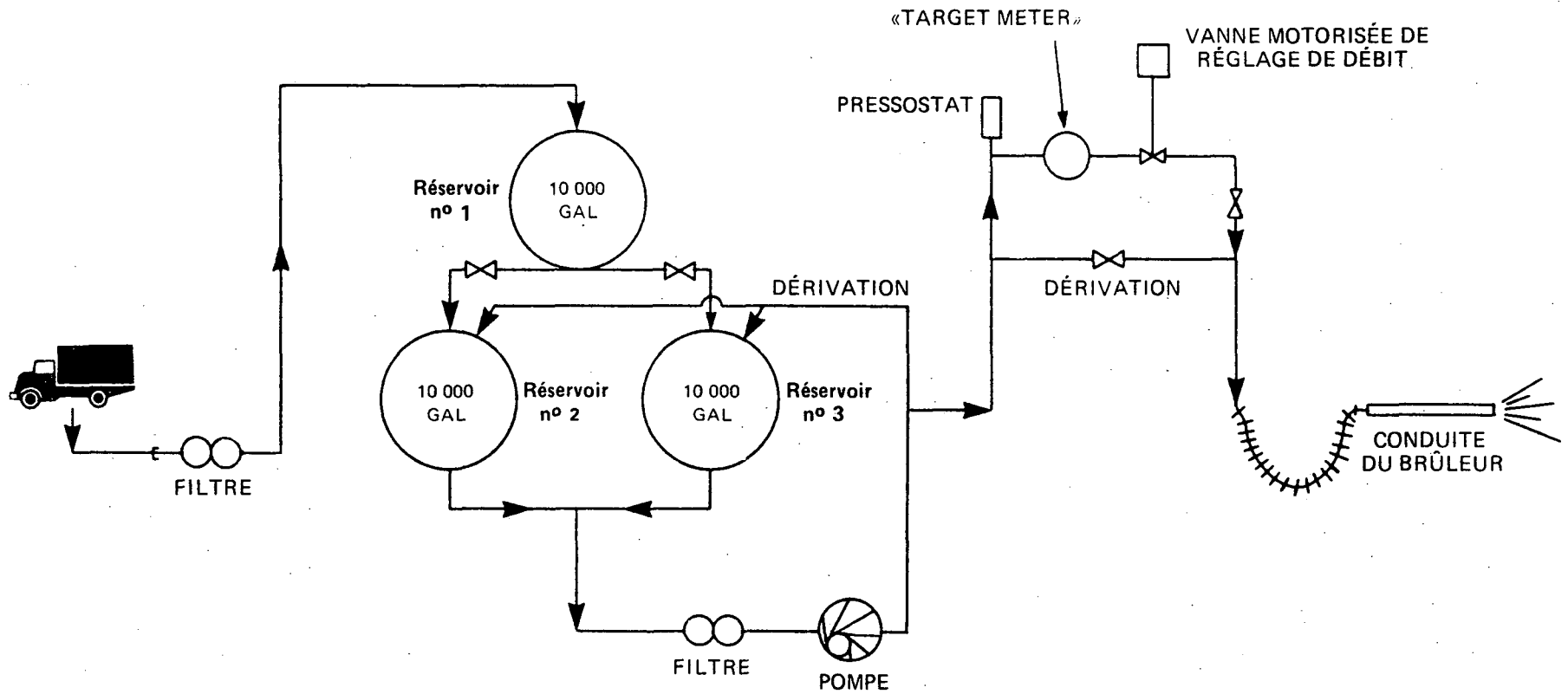


Figure D.1 Schéma du cheminement de l'huile usée

Référence de l'annexe D

1. Chansky, S., W. McCoy, N. Surprenant et J. Salaginn, «Waste Automotive Lubricating Oil as a Municipal Incinerator Fuel» in *Proc. of Int. Conf. on Waste Oil Recovery and Reuse*, 12–14 fév. 1974, Washington, D.C. Édité par Information Transfer Inc., Washington, D.C., 1974, p. 327.

ANNEXE E

ANNEXE E

Rapport sur les analyses d'échantillons à la cheminée à la Compagnie des Ciments du St-Laurent**C. Pupp, A. Zdrojewski, J. Piquette, L. Dubois**

*Division de la chimie
Direction générale de la lutte contre la pollution
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada*

E.1 OBJECTIF POURSUIVI

L'analyse des teneurs en plomb, en zinc et, peut-être, en brome devait se faire sur des échantillons prélevés à la cheminée dans des filtres de fibre de verre d'un diamètre de 125 mm; on disposait d'un quart de filtre pour l'analyse. L'objectif était de permettre des comparaisons avec les analyses faites par l'Ontario Research Foundation et de les compléter au besoin.

E.2 MÉTHODOLOGIE

Les premiers résultats avaient montré des concentrations de plomb et de zinc à peu près égales aux niveaux de base et très près des limites de détection. On s'attendait donc à ce que la modification des niveaux de base ait des effets marqués sur les résultats. Nous espérons augmenter leur fiabilité en calculant, chaque fois que c'était possible, une moyenne à partir des diverses analyses, les effets dus aux interférences dans une méthode se trouvant contrebalancés par les autres.

E.3 MÉTHODES**E.3.1 Fluorescence de rayons X**

Nous avons mis au point une méthode d'analyse par fluorescence de rayons X (FX) destinée à mesurer la teneur en plomb directement sur des filtres à air ambiant (filtres de fibre de verre). Pour déterminer les concentrations, nous nous sommes servis d'une courbe d'étalonnage empirique établissant le rapport entre les intensités nettes de rayons X et les concentrations. Ce fut notre première méthode d'analyse. Quoiqu'elle ait paru idéale lorsque la charge des filtres était faible, il nous a fallu déterminer, par comparaison avec d'autres méthodes, si le même rapport entre l'intensité des rayons X et la concentration s'appliquait lorsque la charge était élevée. Nous y sommes parvenus avec un niveau de certitude raisonnable en ce qui concerne le plomb; nous en avons déduit que le même raisonnement pourrait s'appliquer au zinc et au brome. Il s'agit d'une constatation justifiée, surtout pour le brome dont la longueur d'onde de fluorescence est très proche de celle du plomb. Dans tous les cas, il a fallu faire un certain nombre d'essais avec des blancs, car les filtres de fibre de verre se contaminent au contact du plomb et du zinc.

L'appareil utilisé était un Siemens SRS, avec tube de molybdène, cristal de fluorure de lithium, compteur à scintillations et discriminateur de hauteur d'impulsions; on a mesuré la raie $L\beta$ du plomb et la raie $K\alpha$ du brome et du zinc.

E.3.2 Absorption atomique

Pour l'analyse par absorption atomique (AA), il faut mettre les éléments en solution. Pour extraire, au moins partiellement, le zinc et le plomb de base des matières du filtre nous avons chauffé l'échantillon en présence d'acide nitrique au lieu d'en faire la digestion par la méthode usuelle, c'est-à-dire avec

HF + HNO₃. Après une seconde extraction nous avons pu établir que le premier traitement n'avait laissé qu'une faible concentration de zinc et de plomb. Les extraits ont ensuite été analysés selon deux méthodes d'absorption différentes :

- a) avec flamme (air et acétylène),
- b) sans flamme, méthode où on utilise un four au graphite et un correcteur de bruit de fond au deutérium.

On a utilisé la raie d'absorption de 283,3 nm pour le plomb et celle de 213,9 nm pour le zinc. L'usage du correcteur de bruit de fond a beaucoup contribué à rapprocher les résultats obtenus par AA et par les autres méthodes. En effet, en spectroscopie d'AA, la présence de métaux alcalins et alcalino-terreux produit des interférences qui sont assez importantes quand les concentrations sont faibles. En plus du correcteur de bruit de fond, on a utilisé la méthode des additions connues pour vérifier les méthodes utilisées.

E.4 RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

E.4.1 Plomb

Les résultats d'analyse de la teneur en plomb sont présentés au tableau E.1. Ceux obtenus à l'Ontario Research Foundation, par analyse aux rayons X de l'échantillon mis en pastilles, sont présentés dans la colonne intitulée O.R.F. Il est difficile de préciser la marge d'incertitude de ces chiffres, vu le nombre de facteurs en cause : variation des blancs de filtre, fiabilité de la méthode elle-même, etc. En se basant principalement sur les blancs obtenus à partir des filtres et sur les incertitudes connues des méthodes utilisées, on estime que la limite de détection (à 95 p. 100 de confiance), par n'importe quelle méthode utilisée dans notre laboratoire, est de 5 µg à 10 µg. Il est facile de constater que certaines des concentrations totales données dans ce tableau ne sont pas beaucoup supérieures à la limite de détection. De même, presque toutes les valeurs obtenues par différents laboratoires et différentes méthodes à l'exclusion de la méthode d'absorption atomique sans flamme, varient du simple au double ou moins. L'excellente concordance entre les deux méthodes par rayons X semble indiquer qu'elles sont moins exposées aux interférences et qu'elles peuvent donner de meilleurs résultats, mais nous n'avons pas poursuivi nos recherches dans ce sens. À ce stade, il faudrait probablement utiliser une moyenne à partir de toutes les méthodes utilisées dans tous les laboratoires. Nous considérerions une telle moyenne fiable lorsque les résultats varient du simple au double ou moins, ou de ± 10 µg par filtre, en prenant le chiffre le plus élevé.

E.4.2 Zinc

Quant au zinc, vu le rayonnement de fond élevé et sa grande variabilité, on ne peut en faire l'analyse par rayons X directement sur le filtre. La spectroscopie d'absorption atomique sans flamme a donné des résultats presque impossibles à reproduire. Seuls nos résultats par absorption atomique de flamme et ceux obtenus à l'O.R.F. par rayons X à partir des pastilles ont pu être comparés, comme on peut le voir au tableau E.2. De nouveau, nous croyons que nos résultats comportent une marge d'incertitude de ± 10 µg environ pour chaque filtre. On peut constater, en lisant ce tableau, qu'à nouveau, ces marges d'incertitude correspondent presque à la teneur totale en zinc. Presque toutes les valeurs de l'O.R.F. sont deux à trois fois supérieures. Avec sans doute beaucoup plus de travail, on pourrait en trouver la cause; mais ces niveaux sont si près des limites de détection qu'on peut les accepter. La valeur inférieure est probablement rapprochée de la valeur la plus faible, la valeur la plus élevée, rapprochée de la limite supérieure, tandis qu'une moyenne serait probablement fiable lorsque les résultats varient du simple au double et même au triple.

TABLEAU E.1
Teneur en plomb de chaque filtre (en microgrammes)

Cheminée	Expérience n°	FX	AA sans flamme	AA avec flamme	O.R.F.
N.-O.	1	—	7,3	64,6	24,0
N.-O.	2	—	5,2	64,6	19,0
N.-O.	3	—	8,5	51,0	18,0
N.-O.	4	72,4	124,0	99,1	66,0
N.-O.	5	61,2	38,0	133,6	59,0
N.-O.	6	57,9	18,9	110,2	52,0
N.-O.	7	51,2	21,2	121,4	53,0
N.-O.	8	—	15,6	92,4	47,0
N.-O.	9	6,5	4,9	13,4	9,5
N.-O.	10	—	1,7	6,7	5,5
N.-O.	11	4,7	3,5	6,7	5,2
N.-O.	12	6,1	3,6	26,7	5,5
N.-E.	1	18,9	22,3	50,1	28,0
N.-E.	2	9,5	11,7	60,1	15,0
N.-E.	3	—	8,5	49,0	13,0
N.-E.	4	27,8	16,7	27,8	29,0
N.-E.	5	64,6	10,9	93,5	54,0
N.-E.	6	15,6	6,5	42,3	20,0
N.-E.	7	8,6	8,1	33,4	15,0
N.-E.	8	11,1	6,5	39,0	15,0
N.-E.	9	—	17,8	63,5	41,0
N.-E.	10	—	3,1	72,4	30,0
N.-E.	11	—	94,6	64,6	29,0
N.-E.	12	—	8,5	75,7	42,0
S.-E.	1	7,9	8,6	6,9	—
S.-E.	2	7,9	8,6	44,5	—
S.-E.	3	65,7	22,3	80,2	—
S.-E.	4	24,5	16,7	24,5	—
S.-E.	5	95,7	27,8	75,7	—
S.-E.	6	34,5	16,7	46,8	—
S.-E.	7	63,5	66,8	82,4	—
S.-E.	8	292,0	105,8	241,6	—
S.-E.	9	30,1	12,2	24,5	—
S.-E.	10	223,0	289,5	232,7	—
S.-E.	11	347,0	496,6	504,4	—
S.-E.	12	40,1	15,6	41,2	—

TABLEAU E.2
Teneur en zinc de chaque filtre (en microgrammes)

Cheminée	Expérience n°	AA avec flamme	O.R.F.
N.-O.	1	20,0	57,0
N.-O.	2	39,0	89,0
N.-O.	3	39,0	68,0
N.-O.	4	18,9	72,0
N.-O.	5	20,0	54,0
N.-O.	6	24,5	77,0
N.-O.	7	33,4	69,0
N.-O.	8	16,7	50,0
N.-O.	9	N.M.*	17,0
N.-O.	10	N.M.	10,0
N.-O.	11	N.M.	18,0
N.-O.	12	N.M.	13,0
N.-E.	1	6,7	39,0
N.-E.	2	10,0	36,0
N.-E.	3	22,3	60,0
N.-E.	4	3,3	22,0
N.-E.	5	4,5	36,0
N.-E.	6	4,5	24,0
N.-E.	7	31,2	18,0
N.-E.	8	21,2	23,0
N.-E.	9	13,4	48,0
N.-E.	10	43,4	122,0
N.-E.	11	33,4	125,0
N.-E.	12	47,9	159,0
S.-E.	1	N.M.	—
S.-E.	2	N.M.	—
S.-E.	3	N.M.	—
S.-E.	4	N.M.	—
S.-E.	5	N.M.	—
S.-E.	6	N.M.	—
S.-E.	7	16,7	—
S.-E.	8	15,6	—
S.-E.	9	N.M.	—
S.-E.	10	N.M.	—
S.-E.	11	13,4	—
S.-E.	12	N.M.	—

* Non mesurée.

E.4.3 Brome

Les intensités nettes de rayons X mesurées directement sur le filtre sont présentées au tableau E.3 (après correction de l'intensité due aux blancs) ainsi que les valeurs obtenues à l'O.R.F. par rayons X pour les concentrations des cheminées N.-O. et N.-E. Nous n'avons aucun étalonnage pour le brome, mais les chiffres de l'O.R.F. peuvent servir à étalonner nos intensités de rayons X et, à partir de cet étalonnage, on peut calculer les valeurs correspondant à la cheminée S.-E. Les rapports de la dernière colonne du tableau E.3 montrent que la corrélation est assez bonne. En supposant une relation linéaire et une courbe partant de l'origine des axes de coordonnées, on peut calculer les valeurs pour la cheminée S.-E. avec un rapport moyen de $8,1 \pm 1,2$ impulsions/seconde par $\mu\text{g}/\text{filtre}$. Par analogie avec les résultats obtenus pour le plomb, on peut estimer que l'incertitude est d'un facteur de 2.

TABLEAU E.3

Brome : intensités nettes de rayon X et teneurs dans chaque filtre (en microgrammes)

Cheminée	Expérience n°	Intensités nettes de FX (i/s)*	Valeurs de l'O.R.F. (µg) pour chaque filtre	Rapports intensités FX/valeurs de l'O.R.F.
N.-O.	1	—	213,3	
N.-O.	2	—	317,4	
N.-O.	3	—	206,0	
N.-O.	4	5 215	684,7	7,62
N.-O.	5	4 312	547,1	7,88
N.-O.	6	8 467	838,0	10,10
N.-O.	7	5 343	707,4	7,55
N.-O.	8	—	741,2	—
N.-O.	9	1 534	221,1	6,94
N.-O.	10	798	68,7	11,6
N.-O.	11	606	81,2	7,46
N.-O.	12	807	85,8	9,41
N.-E.	1	772	107,6	7,17
N.-E.	2	730	109,2	6,68
N.-E.	3	—	159,9	—
N.-E.	4	1 800	218,9	8,22
N.-E.	5	1 630	224,0	7,23
N.-E.	6	2 785	307,1	9,07
N.-E.	7	1 113	221,1	5,02
N.-E.	8	2 744	302,0	9,09
N.-E.	9	—	648,4	—
N.-E.	10	—	498,7	—
N.-E.	11	—	528,1	—
N.-E.	12	—	590,0	—
S.-E.	1	6 015	741	
S.-E.	2	5 462	673	
S.-E.	3	5 378	663	
S.-E.	4	1 277	159	
S.-E.	5	15 769	1 940	
S.-E.	6	3 379	417	
S.-E.	7	10 226	1 259	
S.-E.	8	6 548	807	
S.-E.	9	1 161	145	
S.-E.	10	18 964	2 332	
S.-E.	11	32 883	4 042	
S.-E.	12	3 586	443	

Calculés d'après
l'intensité nette

* Impulsions par seconde.

ANNEXE F

ANNEXE F

Fabrication du ciment Portland**F.1 INTRODUCTION**

Le ciment Portland sert surtout en construction comme constituant du béton. Un certain nombre de termes techniques sont employés couramment. En voici quelques-uns :

Clinker : Produit sortant du four après la cuisson des matières premières.

Ciment Portland : Produit qu'on obtient lorsque le clinker est broyé à la finesse voulue après avoir été mélangé à du gypse. Les ciments Portland sont hydrauliques, car ils durcissent au point de former une masse ressemblant à de la pierre en vertu d'une réaction produite par l'eau. Cette réaction chimique s'appelle hydratation.

Pâte pure : Mélange de ciment et d'eau.

Mortier : Mélange de ciment, de sable et d'eau.

F.2 FABRICATION**Résumé**

Les matières premières les plus employées sont soit le calcaire et l'argile, soit le schiste argileux. Le mélange de cru est d'abord finement broyé puis chauffé à environ 2600°F (1430°C) afin de décomposer le carbonate de calcium et de combiner l'oxyde de calcium à la silice, à l'alumine et au fer. On obtient ainsi un clinker partiellement fondu. Le clinker est ensuite broyé, généralement après qu'on y a ajouté, en faible dose, du sulfate de calcium (gypse) destiné à régulariser la prise. D'autres ciments aux propriétés particulières peuvent être obtenus si on varie la composition en oxyde ou si on ajoute, en faible quantité, des agents chimiques au moment du broyage du clinker ou après.

Matières premières :

Les matières premières servant à la fabrication du ciment comprennent :

- a) un composant de chaux (calcaire);
- b) un composant de silice (siliceux);
- c) un composant d'alumine (argileux);
- d) un composant de fer (ferrifère).

Au Canada et aux États-Unis, on se sert d'environ 30 matières différentes pour obtenir les oxydes requis (extrait de l'*Encyclopedia Britannica*).

TABLEAU F.1
Matières premières du ciment

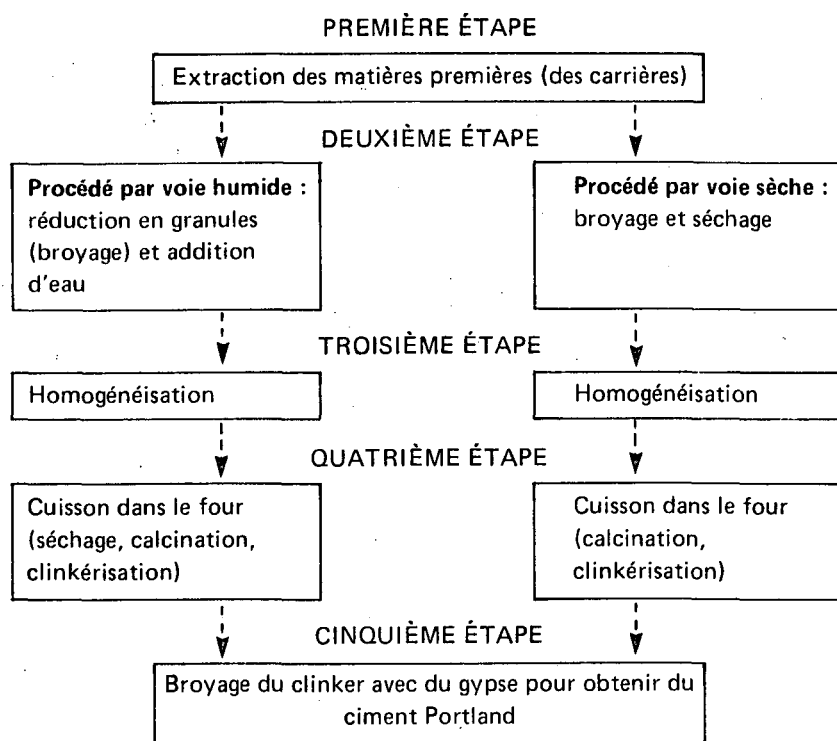
Roches calcaires	Roches argileuses	Roches siliceuses	Roches ferrifères
Pierre à ciment	Argile	Sable	Minerai de fer
Calcaire	Schiste argileux	Trapp	Minerai de fer grillé
Marne	Laitier	Silicate de calcium	Poussière de fer
Déchets alcalins	Cendre volante	Quartzite	Pyrite de fer
Coquilles d'huîtres	Laiter de cuivre	Terre à foulon	Laitier de haut fourneau
Lumachelle	Déchets de minerai d'aluminium		Oxyde de fer
Craie	Staurolite		Poussière de carneau de haut fourneau
Marbre	Diaspore		
	Granodiorite		
	Kaolin		

TABLEAU F.2
Composition type en oxydes de la matière première servant à la fabrication du ciment

Genre	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Perte au feu
Calcaire	1,2	0,5	0,4	54,0	0,6	43,2
Calcaire	5,6	1,0	0,5	50,7	0,8	41,2
Pierre à ciment	14,2	4,8	1,6	40,2	2,8	34,2
Sable	89,7	2,4	0,7	0,6	0,7	5,9
Argile	67,8	14,3	4,5	0,9	1,2	8,0
Schiste argileux	63,0	20,0	5,5	0,7	2,7	6,0
Laitiers de pyrite	6,3	2,1	86,7	0,02	0,1	2,6
Laitier	37,8	11,4	1,0	46,1	2,0	—
Coquillages (lavés)	1,5	0,4	1,2	52,28	0,7	41,8
Cendre volante	51,2	25,6	8,5	1,6	0,9	8,6

Ces matières doivent être préparées et homogénéisées correctement si l'on veut obtenir la quantité recommandée de chaque composant dans le ciment. Une fois mélangées, elles peuvent être introduites dans le four.

Le clinker est fabriqué en utilisant le procédé par voie humide ou le procédé par voie sèche. Dans le premier procédé, les matières premières sont préparées, homogénéisées puis introduites dans le four sous forme de pâte liquide (de 30 p. 100 à 35 p. 100 d'eau environ). Dans l'autre, les matières sont préparées, homogénéisées puis introduites sous forme de poudre sèche (environ 0,5 p. 100 d'eau). Les différences entre les méthodes sont illustrées ci-dessous :



Les fours qu'on utilise sont de longs tubes cylindriques, garnis de briques réfractaires, qui mesurent entre 8 et 20 pieds de diamètre et de 150 à 400 pieds de longueur. Les fours utilisés dans le procédé par voie sèche sont plus courts (150 à 300 pieds), les autres demandant une zone de séchage (qui sert à l'élimination de l'eau et qui représente de 15 p. 100 à 25 p. 100 de la longueur du four). Les fours sont à chauffage direct, c'est-à-dire que la flamme est en contact avec le cru introduit dans l'extrémité élevée du four à l'aide d'une conduite d'alimentation, le combustible entrant par l'extrémité inférieure du four. Étant donné l'inclinaison des fours et leur mouvement rotatif, les matières premières vont de la partie la plus élevée du four à la partie la plus basse. La durée de rétention dans le four dépend de la longueur du four, de son diamètre, du degré de son inclinaison ainsi que de sa vitesse de rotation.

Dans le procédé par voie humide, le cru entre dans le four sous forme de pâte; pour éviter que cette dernière ne devienne grumeleuse ou qu'il se produise un bouchon, un réseau de lourdes chaînes

posées à l'intérieur du four garde le cru pulvérisé et lui permet d'avancer. Les chaînes favorisent aussi l'échange de chaleur entre les gaz de combustion et le cru dans le four. Les gaz chauds montent dans le four, à contre-courant de la matière solide qui, elle, descend. Dans le procédé par voie humide, la température des gaz à la sortie atteint 500°F environ (260°C à 310°C) et dans celui par voie sèche, elle est de 600°F à 1000°F (310°C à 540°C) puisqu'il n'y a pas de zone pour enlever l'eau de la pâte.

Au fur et à mesure que la matière descend dans le four, atteignant des zones de plus en plus chaudes, deux phénomènes distincts se produisent :

a) Le bioxyde de carbone du calcaire est libéré et on obtient de l'oxyde de calcium. Ce phénomène, la calcination, commence à 700°F (370°C).

b) Une phase de cuisson où la chaux se combine à la silice et à l'alumine, la fusion étant favorisée par l'effet des alcalis et de l'oxyde de fer, ce qui donne un produit partiellement fondu qu'on appelle clinker. Il s'agit d'un mélange complexe de composés, notamment du silicate tricalcique ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ou C_3S *, du silicate bicalcique ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ou C_2S , de l'aluminate tricalcique ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ou C_3A et de l'aluminoferrite tétracalcique ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) ou C_4AF . Cette phase de cuisson, de fluidification et de réactions chimiques survient entre 2580°F et 3000°F (1400°C et 1600°C).

Le clinker à ciment sort du four à une température de 2400°F et 2600°F (1300°C à 1400°C). Il est refroidi rapidement à l'air dans un *refroidisseur à clinker*. Pour économiser le combustible, une partie de l'air chaud qui se dégage du refroidisseur est introduite dans le four où elle sert de source d'air secondaire pour la combustion. Le clinker refroidi est très stable et peut être conservé pendant des mois sans se détériorer.

Pour régulariser les temps de prise du ciment on ajoute en général du gypse (sulfate de calcium) au clinker puis on réduit le mélange en une poudre très fine. Les grains obtenus sont d'une taille inférieure à 74 microns. Dans certaines spécifications on définit la finesse par une mesure de surface au gramme. Le produit obtenu est ensuite stocké dans de gros réservoirs qu'on appelle des silos à ciment, d'où il est retiré au besoin pour être expédié en vrac ou en sac.

Il existe plusieurs sortes de ciment Portland, chacun ayant des propriétés spécifiques, notamment les ciments à haute résistance initiale, à faible chaleur d'hydratation ou résistants aux sulfates. Ces différentes propriétés s'obtiennent en faisant varier la composition chimique et physique de base. (Voir tableau F.3).

TABLEAU F.3
Compositions types

Désignation ACNOR	Symbole	Pourcentage des principaux composants			
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Normal	10	52	20	12	8
Moyen	20	46	33	7	11
À haute résistance initiale	30	60	11	11	8
À faible chaleur d'hydratation	40	30	46	4	13
Résistants aux sulfates	50	38	42	2	11

* C_3S , C_2S , C_3A et C_4AF sont des abréviations utilisées par l'industrie et non des formules chimiques.

ANNEXE G

ANNEXE G

Dispersion des polluants atmosphériques**J. Robert***Division des installations fixes**Chef de la Section du chauffage industriel, commercial et résidentiel**Direction de la dépollution et du contrôle**Direction générale de l'assainissement de l'air**Service de la protection de l'environnement*

Les émissions atmosphériques se dégageant de sources ponctuelles ou de cheminées sont soumises à divers phénomènes entre le point de dégagement, à la sortie de la cheminée, et le retour au sol. Habituellement, après le rejet, elles continuent à monter pendant un certain temps au-dessus du point de dégagement. La hauteur du panache dépend, semble-t-il, de deux facteurs : la température des gaz et leur vitesse de sortie. Elle dépend en outre des conditions météorologiques ambiantes. Les principaux paramètres météorologiques qui font varier les concentrations de polluants au sol ou au point d'impact sont la direction et la vitesse du vent, sa turbulence, la température et la stabilité atmosphérique.

Le vent, qu'on peut définir comme un mouvement de l'air dans trois directions, est le facteur prépondérant du transport des polluants, quels qu'ils soient, jusqu'à leur destination finale. Sa direction dominante permet de savoir où vont les polluants. Puisqu'elle change souvent, c'est à partir du degré de turbulence (fluctuations fréquentes) qu'on détermine le mouvement et la diffusion des polluants par rapport à la trajectoire moyenne du vent. La vitesse du vent est le principal élément de calcul du temps de parcours, depuis le point de dégagement du polluant ou source jusqu'au récepteur, considéré comme le point d'impact. Plus important que ce facteur lui-même est son effet de dilution sur le panache. En général, les concentrations de polluants en provenance de sources au niveau du sol qui vont dans le sens du vent sont inversement proportionnelles à la vitesse de ce dernier, tandis que dans le cas des cheminées très élevées, celles des fours à ciment par exemple, une augmentation de la vitesse du vent diminue la surélévation du panache jusqu'à un point critique où les concentrations au sol augmentent et atteignent un point maximal, c'est ce qu'on appelle la vitesse critique du vent.

La variation de la température atmosphérique en fonction de la hauteur est importante pour déterminer le comportement du panache et les concentrations de polluants. Cette variation s'appelle le gradient vertical de température et, en régime adiabatique ou neutre, elle est de 1°C par 100 mètres. Ce concept permet de définir six catégories de stabilité (de A à F) utilisées pour les analyses de dispersion.

Un degré centigrade par 100 mètres correspond à la catégorie D ou régime adiabatique. On considère l'air instable ou suradiabatique lorsque la température baisse, en fonction de la hauteur, à un rythme plus rapide. Pour que cela se produise, il faut la chaleur du soleil et des vents légers. Des vents forts mettent fin à cette instabilité dont le degré de disparition dépend de la chaleur solaire. Des conditions très stables, catégories E et F, correspondent à une absence d'ensoleillement et se produisent la nuit ou encore lorsque le temps est nuageux. Le tableau des catégories de stabilité résume clairement ces distinctions.

La façon dont les responsables de la lutte contre la pollution atmosphérique abordent la question se fonde sur le principe voulant que la concentration au niveau du sol de n'importe quel polluant ne dépasse pas un certain seuil durant une période donnée.

TABLEAU G.1
Catégories de stabilité de Pasquill

Vitesse du vent, à 10 m d'altitude, en mètres par seconde	Ensoleillement			Nuit	
	Fort	Modéré	Faible	Peu nuageux, densité de nuages 4/8	Densité de nuages 3/8
2	A	A-B	B	—	—
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Remarque : La catégorie D, qui est une catégorie neutre, s'applique au temps nuageux, de jour et de nuit.

Les calculs de dispersion se font pour obtenir les concentrations maximales au niveau du sol ou les concentrations au point d'impact, selon ce qui nous intéresse. Ces calculs tiennent compte des variables liées au processus d'émission et des paramètres météorologiques du modèle étudié. Les catégories de stabilité C et D correspondent aux conditions les plus courantes et font donc souvent l'objet d'analyses.