

ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Formation des ingénieurs du Génie
Sanitaire
2005-2006

***Faisabilité de matrices emplois-expositions
aux poussières en cimenterie***

***Participation à une étude épidémiologique rétrospective
de mortalité dans les cimenteries françaises***

Cécile GUTIERREZ
Ingénieur agronome ENSAIA

Lieu de stage : Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques

Référent Professionnel : M. Alain CAPMAS - Directeur général de l'ATILH

Référent Pédagogique : Pr. Bernard JUNOD - ENSP

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier M. CAPMAS, pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage, m'avoir accordé sa confiance et m'avoir permis de travailler en toute autonomie.

Un grand merci au Pr. JUNOD pour s'être montré présent tout au long du stage.

Merci à Anne REYMOND et Christine MORAUX pour leur bonne humeur et leur aide.

Je tiens aussi à remercier Melle GULDNER (épidémiologiste, ENSP), M. WILD (ingénieur, INRS) et Mme FEVOTTE (épidémiologiste, CIRE) pour m'avoir accordé du temps et donné leur avis sur mon travail.

Merci à l'ensemble des personnes ayant participé au Congrès de Milan et en particulier à la délégation norvégienne du NIOH pour son excellent accueil.

Mes remerciements vont ensuite à toutes les personnes que j'ai contactées pour la réalisation de ce mémoire :

- Mme CIARALDI, Juriste et Responsable du Droit en environnement, ATILH
- M. GROSBOIS, expert en cimenteries, Ciment Calcia
- M. LAFFAIRE, Directeur Délégué Environnement, ATILH
- Mme ROCCASALVA, Juriste et responsable Santé, SFIC
- Mme ROMEO, statisticienne, Italie
- Pr. DAB, le Dr FOSKETT et Melle STERVINO, Membres du cabinet LA-SER

Sommaire

ABSTRACT

LISTE DES FIGURES – LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES SIGLES

INTRODUCTION.....	1
1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DU MEMOIRE.....	2
1.1 Un contexte axé sur la santé des travailleurs	2
1.1.1 Etudes épidémiologiques en cours au niveau européen	2
1.1.2 Cadre réglementaire général	5
1.2 Problématique et objectifs du mémoire.....	6
2 MATERIEL ET METHODE	8
2.1 Caractérisation des dangers par inhalation en cimenterie	8
2.1.1 Nature des produits inhalables	8
2.1.2 Processus de fabrication du ciment associé aux différentes expositions par secteur.....	9
2.1.3 Effets possibles des nuisances sur la santé des travailleurs	9
2.2 Faisabilité de MEE à partir de données quantitatives dans les cimenteries françaises	10
2.2.1 Proposition de méthode de réalisation des MEE aux poussières.....	10
2.2.2 Rassemblement et harmonisation des données disponibles, diagnostic de l'existant.....	14
2.2.3 Confrontation de la méthode proposée et de l'existant puis propositions.....	15
3 RESULTATS	16
3.1 Caractérisation de l'exposition par inhalation en secteur cimentier	16
3.1.1 Recensement des poussières présentes sur les cimenteries.....	16
3.1.2 Présentation du procédé industriel de fabrication du ciment associé aux différentes expositions par secteur.....	23
3.1.3 Effets possibles des nuisances sur la santé des travailleurs	29
3.2 Facteurs déterminants pour estimer l'exposition.....	30
3.2.1 Moyens de réduction des émissions.....	30
3.2.2 Politique de gestion du risque en cimenterie	32

3.3	Réalisation de matrices emplois-expositions.....	35
3.3.1	Bases de la réalisation de MEE.....	35
3.3.2	Matrice générale.....	38
3.3.3	Matrices emplois-expositions par site.....	41
3.4	Faisabilité de la méthode compte tenu des données existantes	42
3.4.1	Différentes méthodes de mesure des poussières	42
3.4.2	Exploitation des données italiennes	43
3.4.3	Exploitation des données norvégiennes.....	45
4	DISCUSSIONS ET PROPOSITIONS.....	46
4.1	Réalisation de matrices emplois-expositions aux poussières	46
4.1.1	Données complémentaires nécessaires pour atteindre les objectifs fixés <i>a priori</i>	46
4.1.2	Discussion sur la méthode proposée	47
4.2	Exploitation des résultats du mémoire - proposition d'une autre démarche à suivre	47
4.2.1	Caractérisation de l'exposition.....	47
4.2.2	Etude de cas en cohorte.....	47
4.3	Discussion sur l'étude épidémiologique et l'étude de l'exposition.....	48
4.3.1	Etude épidémiologique / évaluation des risques	48
4.3.2	Discussion sur les objectifs initiaux	49
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	53
GLOSSAIRE	58
LISTE DES ANNEXES	I

Abstract

The French cement industry is dynamic and has its production rising for almost ten years.

The four French companies have decided to take in account their workers' health performing an epidemiological study of mortality rates and causes that began in 2006. The study office LA-SER with professors ABENHAIM, DAB and the doctor FOSKETT is performing and coordinating the project.

In order to optimise the link between mortality results and exposition, ATILH decided to realise a job exposure matrix per plant.

This report proposes a methodology to realise an exposure matrix, using a set of Italian measurements and a Norwegian job exposure matrix. Indeed, cement plants are very similar and present lots of analogies.

A characterisation of substance groups found in cement plant was done, and a methodology to realise matrix was proposed. For the job titles studied, Italian data allow to have a range of exposition and eventually exposition classes. Meanwhile, available data do not allow to achieve entirely the aims, because they are incomplete or they are not enough explained.

The realisation of 33 job exposure matrices to be used at the cohort level is ambitious and risk to demand great investment to have deceptive results. It seems to be more efficient to wait for the mortality study results in 2008 to realise job exposure matrices. Indeed, if mortality anomalies are found a case-control study could be performed in the cohort. It would allow to work on less cement workers and the number of job exposure matrices would be limited.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des données recueillies pour l'étude de mortalité	3
Tableau 2 : Tableaux du Régime Général en lien avec le ciment.....	6
Tableau 3 : Composition du Cru.....	17
Tableau 4 : Composition du ciment Portland	18
Tableau 5 : Composition du clinker	19
Tableau 6 : Composition du laitier et des cendres volantes	20
Tableau 7 : Grands groupes de déchets	22
Tableau 8 : Expositions par secteurs avant l'automatisation et l'utilisation de déchets	28
Tableau 9 : Expositions par secteurs après l'automatisation et l'utilisation de déchets	28
Tableau 10 : Quelques maladies associées aux principales nuisances des cimenteries .	30

Liste des figures

Figure 1 : Différentes catégories de masques de protection	34
--	----

Liste des sigles utilisés

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ATILH : Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques

CCHST : Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail

CHSCT : Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail

CIMbéton : Centre d'Information sur le ciment et ses applications

CIRE : Cellule InterRégionale d'Epidémiologie

CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés

COV : Composés Organiques Volatils

DA : Diamètre Aérodynamique

DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

ENSP : Ecole Nationale de la Santé Publique

EPI : Equipement de Protection Individuelle

ETDAM : Employé, Technicien, Dessinateur et Agent de Maîtrise

ETS : Emissions Trading Scheme

GHE : Groupe homogène d'exposition

ICPE : Installation Classée Pour l'Environnement

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

INSERM : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

InVS : Institut National de Veille Sanitaire

ISO : Organisation Internationale de Normalisation

ISPED : Institut de Santé Publique, d'Épidémiologie et de Développement

LA-SER : L. A. Santé épidémiologique, Evaluation et Recherche

MEE : Matrice Emplois-expositions

NIOH : National Institute of occupational Heath (Norway)

RGIE : Règlement Général des Industries Extractives

RNIPP : Répertoire National d'identification des Personnes Physiques

SFIC : Syndicat Français de l'Industrie Cimentière

VLE : Valeur Limite d'Emission

INTRODUCTION

D'après la norme européenne NF EN 197-1 datant de février 2001, « *le ciment est un liant hydraulique, c'est à dire un matériau qui, gâché avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réaction et de processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau* ». [27] Il existe une large gamme de ciments spécifiques destinés à des applications particulières. Les ciments Portland et Portland composés constituent plus de 80% de la production européenne. [10]

Les cimenteries font partie de l'industrie lourde, caractérisée par une forte consommation énergétique et une automatisation très poussée. La production mondiale de ciment progresse régulièrement depuis le début des années cinquante. Elle a baissé en France de 1970 à 1997 en passant de 30 à 18 millions de tonnes mais croît depuis pour atteindre en 2005, 22,5 millions de tonnes. La France se plaçait en 2004 au 18^{ème} rang mondial (SFIC).

La production de ciment Portland est réalisée dans 33 cimenteries et six centres de broyage implantés dans toute la France. Quatre sociétés cimentières se partagent ce marché avec, par nombre de cimenteries : Lafarge Ciments, Ciments Calcia, Vicat, Holcim France. Ces sociétés cimentières ont mis en place des organisations professionnelles chargées de mettre en oeuvre des actions transversales en matière sociale et environnementale ainsi que d'informer les utilisateurs et les prescripteurs sur les produits et techniques existants. C'est dans ce cadre que L'Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques (ATILH) a été créée avec pour objet de conduire toutes les actions dans lesquelles les sociétés membres trouvent un intérêt commun dans le domaine technique. [43]

L'industrie française du ciment représentait 5100 emplois directs en 2005. La majeure partie des employés occupe différents postes au sein des usines. Ces dernières années, un certain intérêt s'est manifesté concernant les effets possibles de l'exposition au ciment sur la santé des travailleurs du secteur. Même si une bibliographie récente de l'INRS ne donne pas lieu à inquiétude [22], les acteurs de l'industrie cimentière française et européenne ont donc décidé de se pencher sur cette question en lançant une étude épidémiologique*¹ de mortalité* en France, et une étude de morbidité* en Europe.

L'étude épidémiologique française a démarré courant 2006 pour donner des conclusions en 2008. L'ATILH a entrepris de travailler sur l'exposition des travailleurs inclus dans l'étude. L'évaluation de l'exposition est primordiale puisque c'est sur elle que reposent les chances de trouver une association entre une exposition et une maladie donnée. L'ATILH espère caractériser l'exposition au moyen de matrices emplois-expositions (MEE).

Le mémoire présenté a pour objectif d'évaluer la faisabilité de la solution avancée par l'ATILH. Le contexte sera présenté avant de proposer une méthode de construction des MEE en fonction des attentes d' l'ATILH. Enfin, la confrontation de la méthode et des données disponibles permettra de conclure sur la faisabilité de ces MEE.

¹ Les termes suivis d'une astérisque sont précisés dans le glossaire

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DU MEMOIRE

1.1 Un contexte axé sur la santé des travailleurs

1.1.1 Etudes épidémiologiques en cours au niveau européen

1.1.1.1 Projet d'étude de mortalité française

Cette étude lancée sur l'ensemble de la France est la plus grande jamais entreprise dans le secteur cimentier. [1]

Objectifs et type d'étude

L'étude qui a été lancée est une étude historique de cohorte. Il s'agit donc d'une étude analytique qui a pour objectif de comparer le taux d'incidence* observé dans une population exposée à un facteur de risque au taux d'incidence qui aurait été observé dans la même population si elle n'avait pas été exposée. Une cohorte est un ensemble d'individus répondant à une définition précise et ayant vécu un ou plusieurs événements semblables au cours d'une période de temps donnée.

L'objectif principal de l'étude est de juger les effets de l'activité d'une cimenterie sur la santé de la population de travailleurs en usine. Pour ce faire, plusieurs objectifs opérationnels ont été définis :

- Estimer la mortalité et les causes de décès sur la période 1990 - 2005 chez les employés des quatre sociétés cimentières françaises : Ciment Calcia, Lafarge Ciments, Holcim France et Vicat.
- Comparer les données des salariés pour les groupes de pathologies suivantes : maladies cardio-vasculaires, tumeurs malignes, traumatismes et ce, à plusieurs niveaux de finesse :
 - avec d'autres cohortes similaires
 - par entreprise
 - par secteur d'affectation
 - par poste

Le niveau de finesse sera déterminé par la puissance statistique de l'analyse, le nombre de sujets à comparer étant décroissant à chaque étape.

- Si cela est possible, établir une corrélation entre les effets potentiels du ciment sur la santé et l'exposition aux substances présentes dans les usines.

Organisation des acteurs

L'étude est menée par le cabinet LA-SER et dirigée par les professeurs Abenhaïm et Dab ainsi que docteur Foskett.

Un comité scientifique indépendant a été constitué afin de suivre le déroulement de l'étude et de se prononcer en cas de difficultés. Il est composé de personnalités médicales dans les domaines de la santé et du travail.

Un comité de pilotage opérationnel rassemble les chercheurs du cabinet LA-SER, des membres de l'ATILH et des membres des quatre sociétés concernées. Il permet d'avoir un suivi régulier des travaux et de traiter des problèmes techniques liés essentiellement à la communication et aux aspects organisationnels de l'étude.

Population étudiée

L'étude concerne l'ensemble des salariés des 33 cimenteries françaises ainsi que ceux des sièges.

La population source* comprend tous les employés ayant été salariés au moins un jour au sein de l'une des quatre sociétés durant la période 1990-2005.

La population de l'étude comprend tous les employés appartenant à la population source et pouvant être identifiés par les responsables de l'étude. En effet, il y a toujours des « perdus de vue » suite à des changements d'adresses, de nom et aux personnes qui refusent de participer à l'étude. Des problèmes vont aussi certainement survenir lors du recueil des listes de travailleurs d'usines qui ont fermé ainsi que lorsque les bases de données sont sous format papier (déchiffrement, perte de dossiers...)

Le nombre de personne-années* n'est pas encore connu mais une estimation peut néanmoins être avancée : on recense environ 5000 employés par an sur l'ensemble du secteur, l'étude étant réalisée sur 15 ans, l'effectif approximatif devrait tourner autour de 150 000 personnes-années sur les sites et les sièges.

Recueil des données

La liste des employés répondant aux critères d'éligibilité* sera recueillie au sein de chaque société. Les dossiers informatiques seront transmis à l'équipe de LA-SER qui, le cas échéant, récupèrera ces données de façon manuelle.

Des rencontres avec les responsables des ressources humaines seront organisées afin de régler les incohérences et de recueillir les données manquantes.

Le statut vital ainsi que les données de mortalité seront obtenus après avoir croisé et harmonisé différentes sources : répertoire national d'identification des personnes physiques (RNIPP) et registres nationaux (INSEE, INSERM). Seuls les numéros de sécurité sociale seront fournis à ces institutions. En cas de manque de données, les médecins du travail ou les médecins traitant pourront être contactés.

Tableau 1 : Récapitulatif des données recueillies pour l'étude de mortalité

Données générales	Caractéristiques d'emploi	
Nom (patronyme et marital)	Date d'embauche	
Prénoms	Date de sortie	
Sexe	Motif de sortie	
Date de naissance	Postes occupés	Date de début et de fin pour chaque poste
Lieu de naissance	Ateliers ou secteurs d'affectation	Date de début et de fin pour chaque atelier et secteur d'affectation
Dernière adresse connue		

Source : cabinet LA-SER

Il est à noter que le cabinet LA-SER a également l'intention de recueillir les données concernant le tabagisme et la consommation d'alcool d'une sous-population qui sera déterminée par la suite car ces comportements constituent des facteurs de confusion* importants dans ce type d'étude.

Les facteurs de confusion modifient la relation statistique observée entre les effets sanitaires et les facteurs de risque. Ils doivent donc être corrigés quantitativement au moment de l'analyse statistique.

Un des facteurs de confusion les plus souvent observés lors de l'étude de populations professionnelles est le "Healthy Worker effect". De nombreuses études ont mis en avant le fait que les personnes qui travaillent sont en meilleure santé que la population générale étant donné que le fait de pouvoir travailler est une sélection en soi.

Aspects réglementaires

Le recueil des données de mortalité nécessite l'acquisition de données nominatives sur les personnes participant à l'étude. L'étude est donc soumise aux autorisations de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) suivant les lois n°78-17 du 6 janvier 1978, n°94-548 du 1^{er} juillet 1994 et n°2004-801 du 6 août 2004.

Le recueil est réglementé par le décret n°98-37 du 16 janvier 1998.

Une lettre d'information a été envoyée à toutes les personnes appartenant à la cohorte. Conformément à la loi n°78-17 du 6 janvier 1978 (art.40), chacune de ces personnes a la liberté de se retirer de l'étude jusqu'à la publication des résultats en 2008 en adressant un courrier à la société LA-SER.

1.1.1.2 Projet d'étude de morbidité* européenne

L'association européenne des cimentiers : CEMBUREAU (fondée en 1947), a mis en place un groupe de travail sur les risques sanitaires en cimenterie [6]. Ce groupe a pour objectif d'aborder tous les problèmes de santé qui peuvent mettre en cause le ciment. En parallèle à l'étude épidémiologique française, une étude épidémiologique de morbidité va donc être entreprise au niveau européen. Le nom qui a été donné au projet est « Prospective monitoring of exposure and lung function among cement workers »². [13]

Objectif et type d'étude

L'objectif de l'étude européenne est de rechercher si le fait de travailler en cimenterie a des conséquences sur les fonctions respiratoires.

Il s'agit d'une étude épidémiologique longitudinale de type cohorte prospective* qui va s'étendre sur cinq années, de 2007 à 2011.

La capacité respiratoire de la population étudiée va être suivie en parallèle à des mesures d'exposition.

Organisation des acteurs

L'étude est commandée et pilotée par CEMBUREAU.

Un appel d'offre a été lancé et l'institut retenu pour mettre en œuvre cette étude est le National Institute of Occupational Health (NIOH) de Norvège.

Population étudiée

La population étudiée ne peut bien sûr pas être étendue à l'ensemble des employés du secteur cimentier européen, qui est estimé à environ 70 000 personnes. Un plan d'échantillonnage va être réalisé pour offrir une population la plus représentative possible de la population source. 2500 employés de 20 cimenteries vont être suivis. Les cimenteries se situeront dans huit pays différents : Norvège, Suède, Estonie, Italie, Turquie, Suisse, Espagne et Grèce.

Recueil des données

Les données seront recueillies au niveau de chaque usine en standardisant les méthodes de mesures. Les 2500 employés sélectionnés seront soumis à trois examens médicaux sur les cinq années d'études et 600 d'entre eux seront également soumis à des mesures d'exposition.

² Etude prospective l'exposition et les fonctions pulmonaires des cimentiers

Les mesures d'exposition seront des mesures personnelles de poussières respirables, inhalables et thoraciques (cf. 3.4.1), la fraction la plus significative pour l'étude étant la fraction thoracique des poussières inhalables. Une analyse chimique de cette fraction sera effectuée. L'exposition sera mesurée en faisant porter des masques aux employés pendant trois jours. Il est aussi prévu de leur faire remplir un questionnaire indiquant les tâches qu'ils auront accomplies pendant le temps que dure le mesurage.

L'examen médical sera basé sur la spirométrie*. Les indices qui vont être utilisés ne sont pas encore fixés mais le choix s'effectuera parmi les suivants :

- FEV Capacité vitale forcée : volume d'air expiré après une inspiration et une expiration maximale (en litre) ;
- FEV₁ : volume d'air expiré pendant la première seconde du test de capacité vitale forcée (en litre). Ce volume est connu pour décroître de façon linéaire avec l'âge est constitué donc un bon indicateur d'une baisse anormale de capacité pulmonaire ;
- FEF_{25-75%} : débit d'air expiré pendant la moitié centrale du temps écoulé lors du test de capacité vitale forcée (en litre / seconde) ;
- PEF : débit maximal d'expiration durant le test de capacité vitale (en litre / seconde) ;
- Tl_{CO} / DL_{CO} Capacité de diffusion des gaz permet de détecter précocement les maladies pulmonaires obstructives chroniques*. Ce test n'a jamais été entrepris dans le secteur du ciment ;
- Pour les non-fumeurs, une mesure de l'acide nitrique pourra être mis en place. Il constitue un marqueur de stress oxydatif qui peut contribuer à une inflammation pulmonaire ;
- Biomarqueurs d'inflammations (test sanguins).

Des questionnaires standardisés seront distribués aux personnes faisant partie de la cohorte. Ils porteront sur des données médicales, des données sur le travail effectué et sur les possibles facteurs de confusion.

Des questionnaires sur les usines participant à l'étude seront aussi exploités afin de caractériser au mieux les technologies en place et les modes de fonctionnement.

1.1.2 Cadre réglementaire général

Installation classée pour l'environnement (ICPE)

La loi n°76-663 du 19 juillet 1976 et son décret d'application du 21 septembre 1977 encadrent les activités des ICPE. Les activités mentionnées dans la nomenclature sont soumises à déclaration ou autorisation en fonction de leur dangerosité pour l'environnement, les autorisations présentant des contraintes plus lourdes.

Les cimenteries sont des ICPE soumises à autorisation. Les dossiers d'autorisation d'exploiter doivent fournir entre autres, une étude d'impact qui décrit l'état initial du site, les conséquences de l'activité sur le milieu environnant, et des propositions de mesures pour limiter cet impact. [33]

Valeurs limites d'émissions (VLE)

Les émissions des cimenteries sont régies par un arrêté de 1993 qui impose des valeurs limites d'émissions.

Concernant un dossier actuel, les cimenteries font partie des secteurs concernés par le protocole de Kyoto et sont donc aussi soumises à la directive ETS (Emissions Trading Scheme) concernant le marché d'échange de quotas d'émission de CO₂.

Commentaire [CC1]: En effet toute la réglementation est codifiée, ou fait référence au Code de l'env.

Utilisation de déchets

Les installations co-incinérant des déchets sont soumises à la directive européenne 2000/76/CE. Elle a été transcrite en droit français par les arrêtés du 20 septembre 2002. Ces arrêtés fixent les valeurs limites d'émissions spécifiques aux installations co-incinérant des déchets.

Au niveau local, les autorisations d'exploiter sont délivrées par arrêté préfectoral qui fixe les VLE. Les Directions Régionales de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) surveillent le fonctionnement des installations et le respect de ces VLE. Les DRIRE fixent les seuils d'émissions en tenant compte du contexte local. Dans le cas où une cimenterie est située dans un environnement sensible, les seuils fixés seront plus stricts que ceux fixés dans l'arrêté du 20 septembre 2002.

Suivi des employés

Le Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT) a été mis en place par la loi sur la prévention des accidents de travail et des conditions de travail (pour toutes entreprises de plus de 50 salariés), le 23 décembre 1982. Il comprend élus du personnel, médecin du travail, inspecteur du travail, inspecteur de la CRAM et experts.

Le médecin du travail veille sur la santé des salariés et assure les moyens de secours. Les visites médicales ont lieu à l'embauche ou suite à une reprise du travail après un arrêt maladie. Puis, les visites sont annuelles et permettent de juger de l'aptitude au travail des salariés.

Maladies professionnelles

Conformément à la loi du 25 octobre 1919, une maladie peut être reconnue comme maladie professionnelle si elle figure sur l'un des tableaux annexés au Code de la Sécurité Sociale. Pour chaque type d'affection indemnisable, les conditions à remplir y sont précisées : délai de prise en charge, durée d'exposition au risque le cas échéant et liste de travaux effectués. Les maladies professionnelles qui peuvent être en rapport avec le ciment sont rassemblées dans deux tableaux du Régime Général [45]:

Tableau 2 : Tableaux du Régime Général en lien avec le ciment

RG 8 ciment	Affections causées par les ciments (alumino-silicates de calcium) [Création : décret du 12 juillet 1936 ; Mise à jour : décret du 11 février 2003]
RG 10 chrome	"Ulcérations et dermites provoquées par l'acide chromique, les chromates et bichromates alcalins, le chromate de zinc et le sulfate..."

Source : INRS

1.2 Problématique et objectifs du mémoire

L'étude de mortalité entreprise par le cabinet LA-SER va permettre de comparer la mortalité des cimentiers français à une population de référence. L'objectif principal de l'ATILH est de voir s'il est possible de caractériser l'exposition en cimenterie afin de pouvoir effectuer une comparaison entre les travailleurs du ciment ayant des expositions différentes.

L'objectif sous-jacent à toute l'étude d'exposition est :

Améliorer l'interprétation des résultats de l'étude de mortalité

Les contraintes données dès le début du mémoire étaient :

1. l'exposition doit être évaluée à l'aide MEE,
2. l'estimation de l'exposition doit impérativement être basée sur des données de terrain et pas uniquement sur des dires d'experts,
3. des mesures réalisées en Italie doivent permettre de caractériser quantitativement l'exposition et une MEE en Norvège doit permettre d'orienter le travail.

L'objectif initial du stage était :

Réaliser une MEE aux poussières par cimenterie française.

Il est cependant apparu que pour faire un travail de qualité, les quatre mois prévus pour le stage étaient loin d'être suffisants.

La construction de MEE s'effectue habituellement selon le schéma :

1. obtenir des informations sur les aspects qualitatifs de l'exposition
2. identifier les différents emplois et les tâches qui leurs sont associées
3. obtenir des données quantitatives sur l'exposition

Compte tenu du temps imparti, il était impossible de réaliser 33 MEE de qualité. Il a donc été décidé de proposer une méthode et de juger de sa faisabilité, mais aussi d'approfondir la première étape de la construction des matrices, sachant que ce travail pourrait être exploité pour l'étude de mortalité en permettant d'identifier des groupes homogènes d'exposition (GHE).

Les objectifs opérationnels fixés, en accord avec l'ATILH sont les suivants :

- **Caractérisation des dangers** par l'inhalation de poussières dans les cimenteries, afin de pouvoir éventuellement donner un sens aux résultats de l'étude de mortalité.
- Etant donné qu'aucun plan d'échantillonnage n'a été et ne va être entrepris dans les cimenteries françaises, **proposer une méthode de réalisation des MEE aux poussières dans toutes les usines françaises et juger si les données disponibles sont suffisantes.**

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 Caractérisation des dangers par inhalation en cimenterie

Les dangers dus au ciment les plus souvent mis en avant sont ceux liés au mode d'exposition par contact lors du mélange avec de l'eau. En effet, la pâte de ciment peut être à l'origine de dermatites dont des dermatoses allergiques. Lorsqu'il est mélangé à l'eau, le ciment devient alcalin et chauffe, ce qui peut être à l'origine de réactions de type brûlure. D'autre part, toujours au contact de l'eau, le ciment peut libérer des traces de chrome VI à l'origine d'allergies de type eczéma chez certaines personnes. Ces dangers s'adressent donc plus aux utilisateurs du ciment qu'aux producteurs. Le risque en cimenteries pouvait éventuellement venir des travailleurs qui transportaient les sacs sur leur dos avant l'automatisation des usines, car ils pouvaient être au contact de ciment « gâché »³ par leur transpiration. Cependant, aucun cas n'a été recensé dans les cimenteries [43]

L'objectif de cette caractérisation des dangers est d'explorer le lien exposition-santé. Il faut noter que ce lien ne pourra être exploité statistiquement que si les unités statistiques étudiées présentent des effectifs suffisants. Les priorités de caractérisations des dangers doivent donc tenir compte du nombre de personnes-années concernées par les différentes expositions. Ces données ne seront disponibles qu'après que le cabinet LASER aura recensé tous les individus qui formeront la cohorte, et après avoir reconstitué les carrières professionnelles.

2.1.1 Nature des produits inhalables

L'étude épidémiologique de mortalité va peut-être mettre en évidence une surmortalité pour certains employés des usines. Caractériser l'exposition en cimenterie peut permettre de fournir des hypothèses sur l'origine de cette surmortalité, en tenant compte des substances auxquelles les personnes concernées ont été exposées. Ceci peut être fait en décrivant la filière de fabrication du ciment et en associant à chaque étape de fabrication le type d'exposition à envisager.

Les substances inhalables peuvent être de trois ordres :

- agents physiques (poussières minérales et organiques)
- agents chimiques (produits chimiques organiques, éléments trace métalliques)
- agents biologiques (virus, bactéries)

L'objectif de ce mémoire est de caractériser l'exposition aux poussières dans les cimenteries. Cependant, les poussières peuvent transporter des agents qu'il peut être intéressant d'étudier. Quelques éléments sur les agents chimiques qui peuvent être rencontrés en cimenterie seront donc développés. Le but n'est pas d'être parfaitement exhaustif mais de mettre en avant des groupes ayant une exposition homogène.

Les agents biologiques sont quant à eux considérés comme négligeables compte tenu des matériaux et procédés utilisés et même s'ils peuvent arriver dans l'appareil respiratoire par l'intermédiaire des poussières, ils ne seront pas développés.

Certaines expositions sont incontournables car souvent mises en cause en cimenteries. Il s'agit du chrome VI et de la silice cristalline. Cette considération peut paraître superflue

³ terme technique qui signifie : mélangé à de l'eau

puisque les niveaux d'exposition rencontrés en cimenterie sont souvent faibles mais il faut néanmoins tenir compte du fait que certains travailleurs ont été très exposés aux poussières dans le passé.

D'autres expositions sont à détailler, comme les poussières de matières premières, les poussières de ciment ainsi que les poussières de produits intermédiaires. La nature des matières premières peut être très variable en fonction du gisement exploité et des correctifs apportés. Les argiles par exemple présentent une richesse en silice cristalline très variable. En revanche, l'exposition après la cuisson devrait être plus homogène étant donné que tous les ciments sont normalisés.

Il faut aussi noter que certains déchets recyclés en cimenterie sont sous forme pulvérulente* et peuvent donc être inhalés par les travailleurs. Un recensement exhaustif de ces produits est donc nécessaire. Deux études à ce sujet ont été réalisées dans le secteur cimentier français par l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) [7] et l'APAVE (bureau d'étude). [15]

2.1.2 Processus de fabrication du ciment associé aux différentes expositions par secteur

On distingue trois modes de production de ciment : la production en voie sèche, en voie humide et en voie semi-sèche ou semi-humide.[24]

- La voie sèche est très majoritaire en France puisqu'elle présente des avantages en matière de rentabilité énergétique. Le choix du procédé est fonction de l'origine des matières premières, en particulier de leur teneur en eau.
- La voie humide est utilisée pour les matières premières humides, telles que la craie. Leur broyage donne une pâte chargée de 30 à 40% d'eau, qui est ensuite introduite dans le four.
- La voie semi-sèche ou semi-humide consiste à utiliser des matières premières avec une humidité d'environ 15 - 20% d'eau, soit par ajout d'eau, soit en utilisant des filtres presses pour les pâtes trop humides. Les granules de cru obtenus sont chargés sur une grille mobile où ils sont préchauffés grâce aux gaz de combustion en provenance du four afin de commencer la calcination.

De nombreux manuels décrivent le processus de fabrication du ciment. La voie sèche sera détaillée dans le mémoire car il s'agit de la voie la plus représentée en France.

La description du procédé doit permettre d'associer à chaque secteur de production, différents types d'exposition. Des travaux réalisés en secteur cimentier peuvent donner des pistes sur les expositions à étudier.

2.1.3 Effets possibles des nuisances sur la santé des travailleurs

Après avoir identifié les substances auxquelles les employés peuvent être soumis, il est intéressant de leur associer la ou les pathologies qu'elles peuvent engendrer. Ceci, toujours dans l'optique d'explicitier au mieux les données de l'étude mortalité.

Comme nous l'avons vu précédemment lors de la présentation générale du cadre réglementaire, certaines maladies professionnelles sont associées au ciment.

La recherche peut aussi se baser sur les études épidémiologiques, cliniques et autres qui ont déjà été réalisées sur le ciment ou les études mettant en cause le ciment. Il existe par exemple plusieurs études épidémiologiques réalisées dans le secteur de la construction.

La recherche des données de santé ne peut pas être réalisée de façon tout à fait exhaustive étant donné que les substances qui se trouvent en cimenteries sont très variables, notamment en raison du recyclage de déchets et de la gamme importante des produits de maintenance.

2.2 Faisabilité de MEE à partir de données quantitatives dans les cimenteries françaises

La démarche développée dans cette partie consiste à présenter la méthode idéale qui permettrait de réaliser les MEE en se basant sur des données de terrain. Dans un second temps, un état de l'existant doit être fait avec pour objectif final de confronter la méthode proposée avec ce qui est effectivement disponible. Ceci permettra de savoir ce qui est réalisable, de déterminer les manques pour atteindre l'objectif de départ ou de proposer de nouveaux objectifs compte tenu des données existantes ou complétées.

2.2.1 Proposition de méthode de réalisation des MEE aux poussières

Une MEE peut se décrire comme un tableau dont un axe représente les intitulés-emplois, l'autre une ou plusieurs nuisances et les cellules aux croisements des indices d'exposition. Il existe plusieurs modèles de MEE.

L'idéal pour reconstituer l'exposition des travailleurs aurait été d'avoir des mesures de terrain dans les cimenteries françaises. Il n'existe cependant pas de base donnant des mesures d'exposition dans les cimenteries françaises. D'autre part, des mesures de terrains ne sont pas disponibles si on remonte dans le passé. L'estimation de l'exposition devant se baser sur des données de terrain, il sera possible d'utiliser des mesures réalisées en Italie. En effet, le procédé cimentier diffère très peu selon le pays, et il doit être possible de faire des comparaisons significatives.

Etant donné que l'objectif est de réaliser 33 MEE, il est évident que le travail va se répéter d'une usine à l'autre car le fonctionnement des usines présente des différences mais aussi beaucoup de similitudes. Il paraît donc intéressant de réaliser un travail général et d'adapter ce travail à chaque usine dans un second temps.

Mais avant d'entreprendre la construction de MEE, il faut avoir recensé les facteurs qui agissent sur l'exposition et qui permettront de l'estimer.

2.2.1.1 Liste des facteurs déterminants de l'exposition

Difficultés à retracer l'exposition dans le passé

Même si l'un des objectifs de la réalisation de MEE dans les cimenteries françaises est de se baser sur des données de terrain, il est évident que ce ne sera pas possible pour estimer des expositions trop anciennes (l'exposition doit être étudiée à partir de 1950, cf.3.3.1.3).

Les mesures italiennes ont été réalisées de 1996 à 2005. Avant cette période, il va donc falloir estimer l'exposition. L'estimation se fera de façon intuitive et déterministe en comparant les ambiances dans le passé avec les ambiances pour lesquelles nous avons des données chiffrées. La MEE établie à dire d'experts en Norvège donne une idée de niveaux relatifs d'empoussièrement du passé (depuis 1986)

a) Nature des matériaux

Il est primordial de connaître la nature des matériaux présents sur les cimenteries. Ces données sont étudiées dans la partie « caractérisation » de l'exposition.

Il faut bien détailler pour chaque usine la nature :

- Des matières premières
- Des déchets
- Des produits de maintenance
- Des matières intermédiaires (cru, clinker)
- Des produits finis (différents types de ciment)

b) Parcs de machines dans les usines françaises / technologie

La production de poussières peut se faire à toutes les étapes de la production de ciment. Bien sûr, certaines machines sont plus susceptibles de produire des poussières. Il s'agit des machines permettant de réduire la taille des matériaux utilisés (concasseurs, broyeurs) et de conditionner le ciment (ensacheuses).

Ces données sont disponibles sur des manuels techniques dédiés à la production du ciment. Des articles sont aussi disponibles dans des revues spécialisées comme dans « Ciments, bétons, plâtres et chaux » datant de fin 2005 où un article intitulé « Soixante ans d'évolution du broyage dans l'industrie des liants hydrauliques » fait le point sur toutes les techniques utilisées au cours du temps.

c) Moyens de prévention existants

Mise en place de protections collectives

La protection des travailleurs passe tout d'abord par la mise en place de protections collectives. Elles permettent de limiter l'exposition d'un plus grand nombre de travailleurs mais aussi de limiter l'impact de la cimenterie sur l'environnement et le voisinage.

Les facteurs à prendre en compte vont être leur nombre, leur emplacement, ainsi que le type de technologie et la qualité de leur entretien. Ils permettront de juger de l'ampleur de l'abatement des niveaux d'exposition par rapport à un niveau de base où aucune protection n'est mise en place. Ces facteurs variant d'une usine à l'autre, le recensement des protections collectives doit être réalisé au sein de chaque usine.

Le « BREF » est un document de référence au niveau européen qui a pour objectif la prévention et la réduction des pollutions. Un document « BREF ciment et chaux » [10] est disponible et permet de cibler les différentes technologies capables de réduire les émissions de poussières et autres polluants.

Mise en place de protections individuelles

Les équipements de protection individuelle (EPI) ont pour objectif de protéger la santé et la sécurité des employés. Ils interviennent comme barrière ultime face aux risques, lorsque les moyens de protection collective ont déjà été mis en place (enclassement du procédé, captage des polluants, ventilation des locaux...) et n'ont pas été suffisants.

La directive européenne 89/656/CEE datant du 30/11/1989 précise les devoirs de l'employeur vis à vis de la méthode à mettre en place pour avoir une utilisation optimale des EPI. D'après le Code du travail article R 233-1, le chef d'établissement doit mettre à disposition des salariés les EPI adéquats. Tous les appareils de protection respiratoire mis sur le marché français doivent répondre à la normalisation AFNOR. Des méthodes d'essais et un guide permettant de sélectionner les EPI sont aussi normalisés.

L'INRS propose, sur son site Internet, une synthèse des EPI disponibles actuellement pour protéger les voies aériennes [19] [20].

D'autre part, un guide de prévention et sécurité a été édité par le Syndicat Français de l'Industrie du Ciment (SFIC) et permet de rappeler aux travailleurs les risques présents en cimenteries et les moyens de protection disponibles.

2.2.1.2 Réalisation d'une « matrice cimenterie » générale

La « matrice cimenterie » doit représenter une cimenterie classique, et pourra dans un second temps être adaptée à chaque usine française.

Comme nous l'avons déjà vu, les trois principaux facteurs à étudier sont :

- La nature des expositions présentes en cimenterie : matières premières, matières intermédiaires, produit fini, etc.
- Le procédé de fabrication du ciment
- Le niveau de technologie : automatisation, système de ventilation...

La construction de cette matrice devrait se décomposer en quatre étapes.

Les mesures d'expositions ne sont jamais utilisées lors de la première étape. En effet, il est contre-productif de grouper les postes sur la base de mesures, car les déterminants varient beaucoup d'une usine à l'autre et des postes peuvent avoir des expositions voisines dans certaines usines et des expositions radicalement différentes dans d'autres. Il vaut donc mieux partir « en aveugle » et se baser sur des données techniques, puis confirmer les résultats grâce aux données météorologiques :

1. étudier en détail la nature des produits utilisés ainsi que leur forme...
2. étudier le procédé général d'une cimenterie, le type de process, ...
3. créer des groupes d'exposition homogène en fonction des niveaux d'exposition en croisant les données recueillies précédemment,
4. vérifier que les niveaux d'expositions estimés sont cohérents avec les données de terrain.

a) Choix des intitulés-emplois

Il s'agit d'une étape délicate qui va conditionner les scores d'expositions attribués à chaque travailleur en fonction de la reconstitution de sa carrière professionnelle. En effet, chaque poste de travail à une année donnée doit correspondre à un indice d'exposition dans la MEE.

Les intitulés-emplois doivent donc répondre à deux critères :

- Correspondre aux intitulés-emplois utilisés dans l'étude de mortalité française
- Correspondre aux intitulés-emplois utilisés dans les études fournissant des données de terrain.

L'utilisation des données de terrain italiennes pour établir des scores d'exposition dans la MEE française passe par une harmonisation des intitulés de postes français et italiens.

Une harmonisation a donc été commencée, mais elle devra être complétée une fois que les postes français auront été actualisés par le cabinet LA-SER. En effet, les mesures italiennes concernent des postes de travail datant de 1996 à 2005 alors que les postes de travail français actuellement disponibles datent de la convention collective de 1968 [27]. De nombreux postes ont disparu avec l'automatisation des cimenteries et d'autres ont été créés, notamment avec l'utilisation de déchets comme combustibles de substitution.

Cette harmonisation mène à intervenir dans l'étude prospective européenne. En effet, des mesures de terrain vont être effectuées dans différents pays et il convient de définir au préalable quels sont les postes qui se différencient (tâches effectuées) actuellement dans les cimenteries européennes.

b) Estimation des indices d'exposition

Les indices de la matrice devront être choisis de façon à être les plus représentatifs des cimenteries françaises. Ceci permettra de limiter le nombre d'usines où utiliser des facteurs correctifs pour obtenir les niveaux d'exposition propres à chacune.

Il est important de préciser au maximum les conditions de fonctionnement qui sont associées à chaque indice d'exposition dans la matrice générale. Ces précisions permettront d'être plus performant lors de l'attribution de facteur de correction pour adapter la matrice générale à chaque usine. Par exemple, le facteur « système de ventilation » ne doit pas être utilisé tel quel, car selon qu'il est bien ou mal entretenu, il va avoir un effet très variable sur l'exposition. S'il est dit « performant » dans la matrice générale, il faudra utiliser un facteur correctif qui augmente l'indice d'exposition si les filtres de l'usine étudiée ne sont pas changés assez régulièrement.

2.2.1.3 Adaptation de la « matrice cimenterie » à chaque usine

Cette étape doit permettre d'obtenir une MEE propre à l'usine étudiée. Il faut donc obtenir les informations sur l'évolution des facteurs déterminants de l'exposition dans le temps afin d'adapter les indices d'exposition de la matrice générale à l'usine.

a) Recueil de données propres aux usines

Les informations suivantes doivent être recueillies :

- Evolution du parc de machines
- Evolution des systèmes de dépoussiérage et autres protections collectives
- Evolution du port des EPI
- Evolution de l'utilisation des déchets

Certaines données peuvent être recueillies en étudiant les archives administratives des usines, notamment les investissements. D'autres, soit par leur ancienneté, soit par leur non-disponibilité devront être déterminées lors d'entretiens avec des personnes ayant travaillé dans l'usine au moment où les données manquent.

En ce qui concerne le rassemblement des données disponibles dans les papiers administratifs, un questionnaire de terrain peut être réalisé.

b) Détermination de facteurs correctifs pour les indices d'exposition

Les indices d'exposition des MEE doivent être déterminés à partir de données essentiellement issues de mesures italiennes.

On peut donc utiliser une hypothèse forte basée sur un raisonnement déterministe, en admettant que les mêmes facteurs déterminants de l'exposition entraînent les mêmes niveaux d'exposition. Ainsi, si certaines conditions ont donné une mesure de terrain en Italie, on peut admettre que si les mêmes conditions sont présentes en France, le niveau d'exposition italien peut être appliqué.

Cette méthode entraîne forcément un biais puisque les valeurs de terrain qui vont être utilisées pour les usines françaises n'ont pas été mesurées en France. Il aurait bien sûr été préférable d'avoir recours à des données de terrain propres à chaque usine mais ces données ne sont pas en général pas disponibles. Lorsqu'elles existent, les seront bien évidemment mise à profit.

2.2.2 Rassemblement et harmonisation des données disponibles, diagnostic de l'existant

2.2.2.1 Stratégies de mesure de l'exposition en milieu professionnel

Le problème de la métrologie des expositions est récurrent dans l'ensemble des études. C'est d'autant plus problématique dans l'étude épidémiologique française sur les cimenteries que les mesures n'ont pas été réalisées en France. Certaines mesures ont été réalisées en Italie par le commanditaire Italcementi et d'autres en France, par des organismes différents tels que le bureau d'étude APAVE [15] ou encore l'INRS [7].

Il faudra donc faire particulièrement attention aux techniques de mesures qui ont été utilisées dans les différentes études.

2.2.2.2 Mesures de terrain disponibles

a) Mesures réalisées en France

Dans les sociétés

Aucun plan d'échantillonnage n'a été entrepris dans les cimenteries françaises. Cependant, des mesures sont disponibles dans certains secteurs (mesure annuelle en carrière) et l'ATILH a entrepris de rassembler les mesures existantes.

Etude APAVE [15]

Elle a été entreprise en 2002 à la demande du SFIC. Il s'agit d'une « Etude des risques toxicologiques liés à l'exposition à des combustibles de substitution de four en cimenteries ». Les objectifs étaient de déterminer les risques, de leur associer une procédure d'intervention et des équipements de protection.

Des mesures ont été effectuées sur trois cimenteries françaises. Six types de déchets ont été étudiés : huiles usagées, eaux polluées, solvants usagés, farines animales, sciures imprégnées et résidus de pneumatiques. Les poussières inhalables et les solvants ont été mesurés.

L'étude a conclu à une absence de risque dans les endroits ventilés mais à une exposition pouvant être importante lors d'opérations en endroits clos ou plus confinés.

Etude INRS [7]

Toujours à la demande du SFIC, cette étude a été réalisée en 2004. L'objectif était d'évaluer l'exposition des salariés au cours d'opérations unitaires liées à l'utilisation de déchets. Les opérations régulières et de maintenance préventive ont été étudiées et des recommandations sont les EPI adéquats ont été émises.

Les mesures de terrain ont porté sur quatre sites appartenant chacun à une société différente. Des mesures d'empoussièremment et de concentration en Composés organiques Volatils (COV) ont été entreprises au niveau de l'ambiance générale des postes et des salariés.

Les résultats montrent qu'en fonctionnement normal, l'exposition toxicologique des salariés est faible. Cependant, la durée limitée des prélèvements réduit la représentativité des résultats.

b) Données de métrologie italiennes

Les données de terrains doivent se baser essentiellement sur cette étude clinique qui a eu lieu en Italie.

Les mesures ont été faites pour les poussières inhalables, les poussières respirables avec un dosage du quartz dans les poussières respirables. Plus de 4000 mesures ont été effectuées. [4]

c) MEE réalisée sur une cimenterie norvégienne

L'étude norvégienne a consisté en la réalisation d'une MEE aux poussières totales dans l'une des deux usines norvégiennes. L'objectif était d'étudier l'impact du travail en cimenterie sur les fonctions respiratoires des travailleurs.

Le principal inconvénient concernant l'étude norvégienne vient du fait que seule la matrice a été traduite en anglais. Quelques présentations ont également été réalisées en anglais [13] mais le principal document, décrivant la méthode suivie est en norvégien, et la traduction n'était pas prévue avant la fin du mémoire. La rencontre de certaines personnes telles que les docteurs THOMASSEN et FELL au Congrès International sur la santé au travail du 11 au 16 juin 2006, à Milan, a cependant permis de préciser certains points.

La population étudiée était constituée de tous les hommes nés entre le 01.01.1918 et le 31.12.1938 ayant été exposés à la poussière de ciment au moins une année dans la cimenterie étudiée. Seuls les employés non malades ou atteints d'asthme ou de broncho-pneumopathie chronique obstructive ont été inclus. L'usine témoin choisie était située à 10 km de la cimenterie et produisait de l'ammoniaque.

Des mesures d'exposition et de spirométrie ont été entreprises. Les résultats ont été étudiés en tenant compte des facteurs de confusion amiante et tabagisme et l'étude a conclu sur une absence d'impact négatif de la poussière de ciment sur les fonctions respiratoires.

2.2.3 Confrontation de la méthode proposée et de l'existant puis propositions

Cette étape va consister à comparer les données de terrains disponibles à la méthode proposée.

Il va falloir tenir compte du fait que certaines études prises en compte sont en cours de réalisation.

L'harmonisation des intitulés-emplois va devoir attendre la fin de l'harmonisation des postes français entreprise par le cabinet LA-SER. L'équipe de travail italienne est encore en cours d'optimisation d'exploitation des données de terrain et l'étude norvégienne n'a pas encore été traduite en Anglais.

D'autre part, l'objectif de se baser sur une analyse statistique rigoureuse des données de terrain va devoir être considéré en tenant compte de la qualité des données de terrain disponibles.

Toutes ces considérations vont amener à discuter sur la méthode proposée, sur les objectifs initiaux et sur ce qu'il serait bon d'entreprendre par la suite.

3 RESULTATS

3.1 *Caractérisation de l'exposition par inhalation en secteur cimentier*

3.1.1 Recensement des poussières présentes sur les cimenteries

Comme nous l'avons déjà remarqué, les MEE aux poussières ne seront peut-être pas disponibles lors de la parution des résultats de mortalité, il serait donc bon d'avoir quand même accès à quelques données qualitatives.

Sélection des substances à utiliser dans la matrice

Généralement, toutes les substances sont recensées dans un premier temps, puis les expositions des plus intéressantes sont détaillées dans la MEE. La sélection peut s'appuyer sur les études épidémiologiques réalisées précédemment dans le secteur, sur des recherches bibliographiques et sur l'avis de certains experts.

La sélection va aussi bien sûr dépendre des épidémiologistes chargés de l'évaluation de la mortalité dans les cimenteries françaises.

Le travail de ce mémoire est axé sur des MEE aux poussières. D'un point de vue pratique, si d'autres substances sont étudiées par la suite, les matrices seront à réaliser en utilisant des mesures existantes. Les substances à choisir devront donc également être mesurables.

Quelques généralités sur les poussières

Les poussières sont caractérisées par leur diamètre aérodynamique noté DA. Il correspond au diamètre d'une particule sphérique de densité égale à 1 g/cm³ ayant la même vitesse de dépôt que la particule mesurée.

Pour les mesures atmosphériques, les matières particulaires sont donc classées en fonction de ce DA [3] :

- TPS => particules totales en suspension
- PM₁₀ => particules dont le DA médian est inférieur à 10 µm
- PM_{2.5} => particules dont le DA médian est inférieur à 2.5 µm
- PM₁ => particules dont le DA médian est inférieur à 1 µm

Toutes les particules inhalées par l'homme ne pénètrent pas de manière identique dans les voies respiratoires. Il existe en effet un fractionnement des particules qui dépend de leurs caractéristiques physiques. De façon simplifiée, les particules les plus fines vont pénétrer plus profondément dans les voies respiratoires. [46]

Lors des échantillonnages réalisés en hygiène professionnelle, les conventions de prélèvement sont différentes de celles utilisées pour l'air ambiant. Elles sont basées sur la norme européenne EN 481, transcrite en norme française X 43-276 en accord avec l'ISO (International Organization for Standardization) et l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Les fractions des particules sont déduites du fractionnement de l'aérosol dans l'arbre respiratoire :

- la fraction inhalable correspond à la probabilité moyenne d'inhalation, par le nez et par la bouche, des particules en suspension dans l'air. Cette fraction n'est valable que pour des vitesses d'air inférieur à 4 m/s, DA ≤ 100µm
- La fraction thoracique correspond à la probabilité moyenne de pénétration au-delà du larynx et se rapproche de la fraction PM₁₀, DA médian égal 11.64µm

- la fraction alvéolaire aussi nommée fraction respirable correspond à la probabilité moyenne de pénétration dans les voies aériennes non ciliées (alvéoles), et se rapproche de la fraction PM_{2.5}, DA médian égal 4.25µm [3]

Les valeurs limites d'exposition aux poussières dites « sans effet spécifiques » sont définies dans l'article R.232-5-5 du Code du Travail :

- poussières totales < 10mg/m³
- poussières alvéolaires < 5 mg/m³

Les poussières présentes en cimenterie présentant des valeurs limites d'exposition professionnelles sont la silice cristalline (décret 10 avril 1997) et l'amiante (décrets 7 février 1996, 24 décembre 1996, 26 décembre 1997). [21]

Afin de caractériser au mieux les différents types de poussières et les aérosols présents dans les cimenteries, nous allons passer en revue l'ensemble des matières premières et constituants du ciment ainsi que les combustibles primaires et secondaires.

3.1.1.1 Matières premières

Les calcaires sont des roches sédimentaires* carbonatées (CaCO₃). Elles ne sont jamais pures et présentent des teneurs variables en argiles, silice ou dolomie (carbonate de chaux et de magnésie).

La craie est une roche meuble formée par une accumulation d'algues microscopiques et composée à plus de 90% de CaCO₃.

L'argile est une roche sédimentaire détritique à grains très fin (de l'ordre du micromètre). Les argiles ont la propriété de devenir plastiques lorsqu'elles sont imbibées d'eau. Les minéraux argileux sont des silicates d'alumine hydratés disposés en feuillets. On en distingue quatre groupes en fonction de leur teneur en silice, aluminium, fer, manganèse et potassium : kaolinite, illite, montmorillonite et chlorite.

Des schistes (roches détritiques* ou métamorphiques*) peuvent également être utilisés.

Les roches contiennent des quantités variables de silice. La silice se trouve à l'état naturel sous deux formes : cristalline (atomes disposés en réseau régulier) ou amorphe (sans structure atomique organisée). La forme la plus courante de silice cristalline dans la nature est le quartz que l'on retrouve dans les granites, les sables, les quartzites (roche sédimentaire ou métamorphique)... Les autres formes, cristobalite et tridymite, sont plus rares puisqu'on les rencontre dans les roches volcaniques et météoritiques.

Le mélange de ces matières premières et d'autres constituants (qui seront présentés par la suite) est à la base du cru, produit intermédiaire de la formation du ciment.

Tableau 3 : Composition du Cru

Composé	Pourcentage moyen
Oxyde de calcium	65
Oxyde de silice	21
Trioxyde d'Aluminium	6
Oxyde de fer	3
Oxyde de magnésium	2
Oxyde de soufre	1
Oxyde l'alcali (K ₂ O, Na ₂ O)	1

Source : La Fabrication du ciment

3.1.1.2 Constituants du ciment

Le ciment est un mélange de matériaux de granulométrie allant de 20 à 30% de particules fines qui permet de former une matrice stable lorsqu'il est mélangé à l'eau. La norme EN 197-1 définit cinq types principaux de ciment courants. Le CEM I (ciment Portland) est constitué de 95 à 100% de clinker (cf. page suivante).

Le N°CAS (Chemical Abstract Service)⁴ du ciment est 65997-15-1 et son N°Eines (European Inventory of Existing commercial Chemical Substances)⁵ est 266-043-4. D'après la directive 2001-60 CE retranscrite en droit français par l'arrêté du 9 novembre 2004, le ciment est classé comme « préparation dangereuse » à cause de son caractère irritant. Il présente quatre phrases R (1999/45/EC). Elles concernent l'action du chrome sur la peau (R43), l'irritation des yeux (R36), de la peau (R28) et des voies respiratoires (R37). Les sacs de ciment doivent donc porter le symbole Xi. Des fiches de données sécurité doivent accompagner le produit de sa production à son utilisation. Les fiches de sécurité sont des documents de synthèse à usage pratique qui fournissent les renseignements nécessaires à la prévention et à la sécurité des producteurs et utilisateurs. [25]

La directive européenne 2003/53/CE du 18 juin 2003, retranscrite en droit français dans le décret n°2005-577, l'arrêté du 11 mai 2005 et l'avis du 28 mai 2005, impose une valeur limite d'exposition professionnelles au chrome hexavalent égale à 2 ppm (parties par million) dans le ciment. Cette limite a été fixée pour réduire les risques de dermatoses et non les risques respiratoires.

Le ciment contient aussi différents éléments trace métalliques. Ciment Calcia a réalisé une étude en 1996 qui a mis en évidence la présence de 12 éléments métalliques avec des teneurs importantes en chrome, plomb nickel et en vanadium (teneur moyenne de la somme environ égale à 185 ppm) (source : ciment Calcia). Les sources d'éléments trace métalliques sont variées, elles peuvent venir des matières premières, des combustibles, des constituants autres que le clinker et des déchets incinérés.

Tableau 4 : Composition du ciment Portland

Composé	Pourcentage moyen
Oxyde de calcium	62 – 66
Oxyde de silice	19 – 22
Trioxyde d'Aluminium	4 – 8
Oxyde de fer	2 – 5
Oxyde de magnésium	1 – 2

Source : La Fabrication du ciment

D'autres ciments classés dans les CEM II sont des ciments Portland qui présentent un pourcentage plus faible de clinker et des ajouts d'autres constituants.

a) Constituants principaux :

Selon la norme NF EN 197-1, un constituant est dit principal s'il représente « une proportion supérieure à 5 % en masse de la somme de tous les constituants principaux et secondaires ».

⁴ identifiant de substances chimiques

⁵ identifiant correspondant à la législation européenne

Le clinker est un matériau prenant la forme de granules dures obtenues après la cuisson du cru à très haute température (1450°C). Ses principaux composés sont la silice tricalcique (3 CaO, SiO₂), bicalcique (2CaO, SiO₂), l'aluminate tricalcique (3 CaO, Al₂O₃) et l'alumino-ferrite tricalcique (4 CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃).

Tableau 5 : Composition du clinker

Notation cimentière	Correspondance	Pourcentages moyens
C ₃ S	silice tricalcique	60
C ₂ S	silice bicalcique	15
C ₃ A	aluminate tricalcique	8
C ₄ AF	alumino-ferrite tricalcique	8

Source : La Fabrication du ciment

Les matériaux pouzzolaniques sont des substances naturelles généralement issues de matériaux volcaniques. Ils sont dosés, chauffés, réduits en poudre et ils réagissent avec la chaux libérée par l'hydratation du clinker. Ils augmentent ainsi la résistance et la compacité du ciment. Ils sont reçus en usine sous forme de granulés à broyer ou directement sous forme de poudre. [8] [37]

D'autres constituants principaux peuvent être le calcaire ou du schiste calciné. Le calcaire a un rôle de plastifiant dans le béton frais et le schiste calciné présente des propriétés pouzzolaniques.

Les déchets utilisés comme constituant du ciment : [8] [37]

Rappelons que selon l'article L 541-1 du Code de l'environnement, est considéré comme déchet : « *tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon* ».

Afin de réduire leur consommation en combustibles fossiles, les usines françaises peuvent avoir l'autorisation de recourir à des combustibles de substitution. Cette opération permet de recycler les déchets qui alimentent la flamme du four. Les éléments non combustibles de certains d'entre eux (cendres volantes, laitiers de hauts fourneaux...) peuvent être incorporés au ciment et servir de matière première. Les constituants inorganiques tels que les éléments trace métalliques, sont conservés dans la chaîne produit.

Le recyclage de déchets peut se faire à différents stades du processus de fabrication en cimenterie. En effet, les déchets peuvent être :

- Des constituants du ciment
- Des constituants secondaires
- Des additifs
- Des combustibles de substitution

Le laitier granulé de haut-fourneau est un produit résiduel de l'industrie sidérurgique. Il est constitué au 2/3 en masse d'oxydes de calcium, de magnésium et de dioxyde de silicium. Il permet d'économiser du clinker et confère au ciment une hydraulité lente et une résistance forte à long terme.

Les cendres volantes siliceuses ou calciques sont des produits résiduels des centrales thermiques alimentées en charbon. Les deux types de cendres sont utilisées pour leur propriétés pouzzolaniques et les cendres calciques possèdent également des propriétés hydrauliques (effet plastifiant). Les deux doivent être utilisées sous forme d'une poudre fine et peuvent donc être inhalées.

Les fumées de silice sont issues de l'industrie de production de silicium ou de ferrosilicium. Ce sont des billes fines et sphériques composées à 85% de silice amorphe. Elles sont mélangées avec le clinker et peuvent être utilisées sous forme densifiée ou sous forme granulée (avec de l'eau).

Tableau 6 : Composition du laitier et des cendres volantes

	Laitiers	Cendres volantes
CaO	43-50	1-8
SiO ₂	26-32	43-54
Al ₂ O ₃	12-30	22-32
Fe ₃ O ₃	0	4-15

Source : La Fabrication du ciment

b) Constituants secondaires :

Toujours selon la norme NF EN 197-1, un constituant est dit secondaire s'il représente « une proportion inférieure ou égale à 5 % en masse de la somme de tous les constituants principaux et secondaires ».

Il sont utilisés sous forme pulvérulente et ont pour rôle d'améliorer les propriétés physiques des ciments.

c) Sulfate de calcium :

Il peut être apporté par le gypse, l'hémihydrate (produit issu de la déshydratation du gypse) ou l'anhydrite (minéral composé de sulfate naturel de calcium ou produit issu du chauffage du gypse). Il est ajouté aux autres composants pour réguler la prise du ciment. En effet, sans ce composé, le ciment durcirait en quelques secondes et n'aurait aucune maniabilité.

Le gypse est une roche sédimentaire sulfatée (CaSO₄, 2H₂O) appartenant aux évaporites*. Il est ajouté au clinker, broyé et agit comme un régulateur de prise.

d) Additifs :

Ce sont les composés qui peuvent être ajoutés au ciment et qui ne correspondent pas aux composés déjà présentés ci-dessus. La quantité totale d'additifs ne doit pas excéder 1% en masse de ciment. [8] [37]

3.1.1.3 Combustibles

a) Combustibles fossiles :

Les fours des cimenteries font monter la matière à des températures dépassant les 1450°C. Ils utilisent donc des combustibles variés lui permettant d'atteindre ces températures :

Le charbon est une roche sédimentaire combustible formée à la suite d'une fossilisation de végétaux (avec enrichissement en carbone) dans l'eau sous l'action de bactéries puis de la diagenèse*.

Le pétrole est une roche sédimentaire combustible formée à partir de la matière organique végétale ou animale d'organismes aquatiques. Elle se présente sous la forme d'hydrocarbures ayant des états variables : gazeux (méthane, propane, butane), liquide (huiles de pétrole), pâteux (huiles lourdes) et solides (bitume, asphalte et paraffine). Les fuels et les cokes de pétrole sont aussi utilisés en cimenterie :

- le Coke de pétrole provient du cracking* du pétrole. Il arrive en usine déjà broyé ou est broyé directement sur place.

- le Fioul haute viscosité (Combustible Haute Viscosité, CHV) est un produit issu du processus de raffinage du pétrole.

Ces produits sont parfois considérés comme des combustibles nobles et parfois comme des déchets.

Le gaz naturel est un combustible fossile issu de la décomposition de matériaux organiques piégés dans les sédiments. Il s'agit d'un produit extrait de gisements gaziers ou pétroliers dont le composant principal est le méthane.

b) Déchets utilisés comme combustibles secondaires :

Ils constituent ce qu'on appelle les combustibles de substitution. Un déchet est considéré comme un combustible si son pouvoir calorifique est supérieur à 2500 Kcal/mole. Dans les cas où les déchets ont un pouvoir calorifique inférieur, les coûts de traitement des déchets augmentent. [17]

Pour les déchets utilisés comme combustibles, l'incinération en cimenterie est très fiable compte tenu des températures, des conditions oxydantes et alcalines qui règnent dans le four et du temps de séjour dans celui-ci.

En Europe, la production d'une tonne de ciment demande en moyenne environ 120 kg de charbon. En 1995, l'utilisation de déchets a permis d'économiser l'équivalent d'environ 2.5 millions de tonnes de charbon. [6]

Les déchets représentent rarement plus de 30% des combustibles utilisés en cimenterie. La technologie actuelle et les coûts associés ne permettent pas de dépasser ce taux puisque la combustion de déchets produit du chlore qui a tendance à engendrer des bouchons dans les tours de cyclone. Il existe bien des by-pass* pour le chlore, mais la mise en place de ce système représente un investissement très important, inabordable pour certaines usines. [37]

L'utilisation de déchets a constitué, ces dernières années, la principale source d'économies dans le secteur cimentier. De plus, les cimenteries sont parfois rémunérées pour éliminer certains déchets tels que les farines animales.

Toutes les usines ne sont pas autorisées à utiliser des déchets. Cette autorisation se fait par arrêté préfectoral et au cas par cas. Par exemple, 23 cimenteries françaises sont actuellement autorisées à brûler des farines animales. A noter que dans ce cas précis, les quantités par usine sont limitées par la production de chlore et de phosphore qui résultent de leur combustion.

Pour être utilisés en cimenterie, les déchets doivent répondre à certains critères d'acceptation : [17]

- Métaux :
 - Hg < 10ppm
 - Hg + Cd + Tl < 100 ppm
 - Sb + Pb + Ni + Co + Se + Te + As + Cr + V + Sn < 2500 ppm
 - Cu + Zn + Mn < 2 %
- PCB / PCT < 50 ppm
- S < 1 %
- Br + I + F < 1 %

Les déchets composites doivent en plus présenter les caractéristiques suivantes :

- Granulométrie : 90% < 10mm ; 100% < 55*55*20 mm
- Pas de pièces métalliques
- Cl < 0.5%
- Métaux (dont le plomb, le chrome et le cuivre) < 2500 ppm

Pour la co-combustion, les déchets composites* doivent en général avoir une taille d'environ 5 cm. Ces déchets sont à la fois valorisés pour leur contenu énergétique et pour leur composante minérale qui est incorporée au ciment. Lorsque les déchets ne sont pas des combustibles, on parle de valorisation matière. Ils apportent fer, alumine, chaux, silice...(SFIC)

Avant toute autorisation de dépotage (déchargement) des camions de livraison de déchets, un prélèvement et une analyse du contenu sont réalisés.

Certaines usines considèrent cependant que si le fournisseur est certifié, il n'est pas nécessaire de refaire les tests sur les déchets. Ceux-ci sont alors directement dépotés une fois la conformité des papiers de suivi vérifiée. Le contrôle des déchets sur site implique des postes supplémentaires de personnel de laboratoire dédié aux déchets dans les cimenteries qui pratiquent cette seconde vérification de la qualité des déchets.

Etant donné que la qualité des déchets doit être constante, certaines entreprises se sont spécialisées dans la préparation de déchets pour les cimenteries. Il existe actuellement en France huit plates-formes de pré-traitement.

Le décret n°97-517 du 15 mai 1997 fixe les différentes catégories de Déchets Industriels Spéciaux (DIS). Ce sont les déchets organiques (hydrocarbures, boues), les déchets minéraux liquides (acides...) ou solides (sables, cendres...). Les règles de traitement de ces déchets qui présentent des risques pour la santé sont principalement rappelées par le code de l'environnement et la loi du 13 juillet 1992.

Les déchets industriels banals représentent un peu moins de la moitié des déchets incinérés. Le reste est constitué des déchets industriels spéciaux. [17]

Certains déchets peuvent être introduits au niveau de la tuyère* s'ils sont transportables par tuyaux. D'autres sont directement introduits dans le four ou le précalcinateur s'il existe.

Tableau 7 : Grands groupes de déchets

Groupe de déchets	Exemples	Nature de l'inhalation
<u>Combustibles</u>		
Bois, papiers, cartons	Emballages	P
Textiles	Tissus naturels, cuir, tissus synthétiques ...	P
Plastiques	Mousses synthétiques, sacs poubelles...	P + S
Dérivés de pétrole		
Pneus, gommes		P + nitrosamine
Déchets industriels banals		
Eaux usées	Eaux usées (G 2000)	S
Produits animaux	Farines animales(depuis 98), graisse animales	P
Déchets de charbon, houille		P
Déchets agricoles	Semences périmées, graisses végétales	P
Combustibles secondaires solides	Sciures imprégnées (de peintures, de solvants...)	P + S
Solvants et déchets équivalents	Solvants usagés de l'industrie chimique (G 3000) Solvants industriels	S
Huiles		S
Divers	Fluff (déchets ménager Ø <10mm)	
<u>Valorisation matière (Valmat)</u>		
Boues d'oxyde ou d'hydroxyde	Métallurgie du fer ou de l'aluminium	P
Sables de fonderies		P + S
Réfractaires silico alumineux usagés	Gâteaux de filtre de gel de silice	P
Sulfates de chaux	Désulfuration des fumées de centrales thermiques	P

Groupe de déchets	Exemples	Nature de l'inhalation
<u>Constituants</u>		
Cendres		P + quartz-cristobalite
valoref		P + quartz-cristobalite

P : poussières
S : solvants

Source : INRS SFIC

Les tâches entraînant une exposition des employés aux déchets ont été détaillés dans une étude de l'INRS : [7]

- Déchargement et dépotage des déchets (plusieurs fois par jour – 30 à 90 min),
- Conduite des installations : rondes (3*/jour), débouchage, préparation à l'entretien, échantillonnage,
- Maintenance : réparation, nettoyage (1*/mois - exposition la plus importante).
A noter que ces opérations sont souvent effectuées par des intervenants extérieur avec parfois l'aide du personnel de la cimenterie.

L'étude de l'INRS conclut sur une exposition limitée des employés en fonctionnement normal ; les opérations de maintenance sont les plus critiques et le port d'EPI adaptés permet de limiter les risques.

La valorisation des déchets est amenée à se développer en Europe, notamment pour les déchets composites avec le lancement du projet « Green FRP Label » mené par la société European Composite Recycling Services Company. La valorisation des déchets composites en cimenterie est envisagée pour 80 % du tonnage des déchets. [7]

3.1.1.4 Autres substances mises en causes en cimenterie

L'amiante était utilisé dans le passé pour isoler les parties très chaudes de machines de la cimenterie, par exemple au niveau de capots de chauffe. Il était manipulé essentiellement par les employés de la maintenance et dans une moindre mesure par les employés de la production.

Les travailleurs peuvent être mis au contact de particules de diesel dans les endroits clos où des engins mobiles sont en action, tels que les ateliers d'expédition.

Le chrome est un élément métallique qui possède plusieurs états de valence. Il se trouve à l'état naturel dans différentes roches avec des teneurs plus ou moins importantes. Sa présence dans le ciment provient donc des matières premières, mais aussi des revêtements réfractaires du four (dans le passé), des combustibles et de l'acier utilisé pour broyer les matériaux. [28]

3.1.2 Présentation du procédé industriel de fabrication du ciment associé aux différentes expositions par secteur

Le schéma général de la fabrication du ciment est présenté en annexe 1.

3.1.2.1 Obtention de matières premières

EXTRACTION et ABATTAGE en carrière [23] [24] [37]

Les carrières sont pratiquement toutes exploitées à ciel ouvert par abattage à flan de coteaux (« en butte ») ou par excavation (« en fouille »).

On distingue deux types d'extraction en fonction de la dureté de la roche.

Si la roche est assez tendre, comme la craie ou l'argile, l'extraction peut se faire par raclage en surface. L'opération se fait au moyen de pelles hydrauliques ou d'engins appelés ripper, scraper ou excavateur.

Si au contraire la roche est dure, l'extraction se fait par abattage à l'explosif qui a lieu une à deux fois par semaine. Un plan de tir doit d'abord être établi et validé par un Ingénieur des Mines, puis des forages dans lesquels seront placés les explosifs sont réalisés. Le choix des explosifs dépend de la nature de la roche à extraire. Les tirs sont programmés de façon à obtenir un minimum de blocs de taille supérieure à 1 m³ et un maximum d'éléments fins voire très fins. Le forage ainsi que la chute du front de taille sont à l'origine d'émissions de poussières de carrière.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Extraction et abattage	Poussières de carrière (silice)
	Fumées d'explosifs

Actuellement, des aspirateurs sont placés au niveau de la foreuse pour récupérer les poussières mises en suspension. D'autre part, lorsque le tir a lieu, les agents se trouvent à plus d'une centaine de mètres, ce qui permet de dire qu'ils ne sont pas exposés aux fumées d'explosifs, du moins pas de façon aiguë.

CHARGEMENT et TRANSPORT

Les blocs sont ensuite chargés directement dans des concasseurs mobiles ou dans des dumpers qui les transportent jusqu'au concasseur fixe. Il existe aussi des transporteurs à bande pour les blocs de petite taille.

Toutes ces opérations sont à l'origine de mise en suspension de poussières.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Chargeuses, dumpers...	Poussières de carrière

CONCASSAGE

Il n'est pas nécessaire lorsque l'excavation a eu lieu par ripage ou excavateur car les matériaux sont déjà de taille limitée. Dans les cas où l'extraction a eu lieu par abattage, le concasseur permet d'obtenir des blocs d'une taille maximale de 100mm.

Il existe différentes technologies permettant de concasser les matériaux de carrière : concasseur à impact, à marteaux, à rouleaux, giratoire ou à mâchoire.

Comme nous l'avons déjà vu, certains déchets sont incorporés comme matières de substitution au niveau du concasseur. Il peut s'agir de cendres volantes, de résidus de poterie, ou encore de gâteaux de silice, etc. Ils sont dans la plupart des cas stockés près du concasseur afin de limiter les distances de transport.

TRANSPORT jusqu'au silo de préhomogénéisation

Le transport peut s'effectuer par tapis roulant, par camions ou par soufflage. Des poussières peuvent s'envoler des tapis et des camions ou sortir au niveau de vannes ou de raccords entre les canalisations.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Concassage et transport	Poussières de carrière, autres constituants (cendres volantes,...)

3.1.2.2 Fabrication du cru

Le cru est une matière pulvérulente homogène constituée de calcaire, d'argile et de matériaux complémentaires.

PREHOMOGENEISATION et STOCKAGE

Le four doit être alimenté par un cru homogène de composition chimique donnée afin d'obtenir une bonne cristallisation de la matière. C'est pourquoi il est nécessaire de mélanger les matières premières de façon à avoir les proportions voulues de chacune. La préhomogénéisation consiste à mélanger les matériaux de carrière ainsi que d'autres constituants afin d'obtenir un mélange grossier contenant 80% de calcaire et 20% d'argile. Des analyseurs permettent de régler les proportions. Les tas sont longitudinaux ou circulaires, alimentés par le haut et constitués « en chevrons » ou « en cordon ». Le gratteur qui récupère la matière pour l'amener au broyeur attaque les tas sur le côté, ce qui permet d'homogénéiser encore le mélange.

BROYAGE

Il existe plusieurs sortes de broyeurs (à boulets, à galets, verticaux, presse à rouleaux) qui permettent d'obtenir de la farine de pierre. Lorsque les roches contiennent beaucoup d'humidité, la machine utilisée est un broyeur-sécheur qui doit permettre d'obtenir une farine ayant un taux d'humidité inférieur à 1%. Des systèmes de récupération des poussières sont généralement mis en place au niveau de ces équipements qui en produisent particulièrement.

HOMOGENEISATION

Le cru est stocké dans un silo dans lequel de l'air est insufflé à travers des plaques poreuses, ce qui permet de brasser encore le mélange afin qu'il soit le plus homogène possible. Etant donné la mise en pression du silo et la présence de nombreuses matières en suspension, il se peut que certains dépoussiéreurs laissent échapper des poussières.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Homogénéisation et broyage	Poussières de cru

3.1.2.3 Fabrication du clinker

PRECHAUFFAGE

Le préchauffeur ou précalcinateur est une tour de cyclones, échangeur de chaleur, dans laquelle descend le cru. Cette tour est alimentée par le bas, par des gaz chauds en provenance du four. Ce système permet de commencer la déshydratation de la matière puisque la température des gaz passe de 1000 à 320°C environ en traversant la tour.

CUISSON à 1450°C

Certains fours sont équipés de précalcinateurs qui permettent d'avancer la calcination de la matière avant son entrée dans le four. Il s'agit d'une chambre spéciale de combustion au sein de laquelle sont brûlés une partie des combustibles. Lorsqu'il existe, le précalcinateur peut apporter jusqu'à 60% des thermies* nécessaires à la réaction.

Des poussières de clinker et le cru peuvent remonter dans la tour à cyclone et se retrouver dans les fumées. Les voies humide et demi-sèche sont à l'origine de moins d'émissions que la voie sèche puisque les matières calcinées contiennent moins de particules fines. Des émissions de cendres de combustibles peuvent aussi se produire à ce niveau.

Les fours à ciment les plus courants sont les fours rotatifs, mais il en existe aussi des droits. Le four rotatif se présente sous forme d'un cylindre en acier de 80 à 200 m de long et de 5 à 7 m de diamètre. Il est légèrement incliné et tourne de 1 à 3 tours par minute de façon à ce que la matière y transite du haut vers le bas. La flamme se situe dans la partie basse du four et fait passer la température de la matière de 100 - 500°C (déshydratation) à 800 - 1100°C (décarbonatation et calcination) pour finir à 1450°C, température à laquelle se produit la clinkerisation. Afin de résister à ces fortes températures, l'intérieur du four est recouvert de briques réfractaires qui sont remplacées par tronçon.

Etape d'alimentation des fours

L'étude de l'INRS [7] a mis en avant les postes les plus exposés aux déchets. D'autre part, certaines usines ont un broyeur à charbon qui permet de réduire la taille du charbon et d'obtenir aussi une meilleure combustion. A ce niveau également, des gaz peuvent être utilisés pour le transport de la matière et il peut y avoir des fuites. Il existe aussi un risque d'explosion et d'émission de poussières en grande quantité. Ce risque est maîtrisé en contrôlant la température et la teneur en oxygène.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Préchauffage et cuisson	Poussières de cru et de clinker Poussières de déchets Poussières de combustion

REFROIDISSEMENT

Le clinker se présente sous forme de boules de taille allant de 0 à 100 mm. La température de la matière atteint 1450°C en sortie de four. Il faut alors la refroidir pour lui donner ses caractéristiques hydrauliques en fixant sa structure cristalline et faciliter son stockage dans des conditions plus sûres. Le refroidisseur est composé d'un ensemble de grilles à travers lesquelles l'air soufflé permet de baisser la température de matière en dessous de 100°C.

L'air ayant servi au refroidissement peut être recyclé de deux façons. Premièrement, il peut être renvoyé vers le four (air secondaire), les particules peuvent alors être réincorporées au clinker et, celles qui ne le sont pas, se retrouvent en haut de la tour à cyclone où elles seront filtrées. Deuxièmement, l'air peut être dirigé vers les broyeurs-sécheurs à cru afin de sécher les matériaux, avant d'être rejeté dans l'atmosphère après avoir subi un dépoussiérage.

STOCKAGE du clinker [37]

Le stockage se fait dans un silo d'une contenance permettant de stocker la production de trois semaines à un mois. Ceci est dû au fait que le nettoyage du four dure environ un mois et que même lorsque la production est arrêtée, le broyage et la vente doit pouvoir continuer à se faire.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Refroidisseur, stockage	Poussières de clinker

3.1.2.4 Fabrication du ciment

Le ciment est issu d'un broyage fin de clinker et d'un ou plusieurs constituants principaux. Il existe différents types de ciment en fonction du pourcentage de chaque constituant principal. Le ciment Portland, le plus courant, contient 95 à 100% de clinker.

AJOUTS de constituants principaux, secondaires, sulfate de Calcium et additifs

Lors de son transport vers le broyeur, le clinker est mélangé aux autres constituants qui vont permettre d'obtenir la qualité de ciment voulue. Les composés ajoutés sont donc variables en nature et en proportion dans le temps.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Ajouts de constituants	Poussières de clinker Poussières de gypse, laitier, cendres...

BROYAGE

Le broyage est l'étape qui permet d'obtenir le ciment fini. Les particules de ciment ayant la taille attendue sont récupérées au fur et à mesure par passage d'un flux d'air au sein du broyeur. Comme lors de l'étape de broyage précédente, des poussières de ciments peuvent s'échapper du broyeur.

STOCKAGE dans des silos

Les silos offrent en général une capacité de stockage d'une semaine. Le nombre de silos est fonction du nombre de gammes produites.

Les silos sont *a priori* étanches, mais des pertes peuvent néanmoins se produire au niveau des raccords.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Broyage et stockage	Poussières de ciment

3.1.2.5 Expédition du ciment en vrac ou en sac

Une grande cimenterie a une production de l'ordre de 4000 tonnes de ciment par jour. La vente en vrac représente environ 70% des ventes en France. (SFIC)

Les ateliers d'ensachage sont en général les plus poussiéreux de l'usine.

Les émissions de poussières peuvent se produire lors du remplissage des sacs ou en cas de rupture de l'un d'eux.

Il est important de noter que les ensacheuses rotatives, très répandues à l'heure actuelle, ont considérablement fait baisser les niveaux d'expositions aux poussières.

Lors de l'expédition en vrac, les émissions de poussières sont plus limitées et se produisent en cas de défaillance du joint faisant la liaison entre la canalisation et le réservoir.

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Ensacheuse	Poussières de ciment
Chargeuse	Poussières de diesel

3.1.2.6 Cas particulier de la maintenance

Le personnel de maintenance peut intervenir à tous les niveaux de la cimenterie. Il est donc soumis aux mêmes types d'expositions que les autres et aux produits de maintenance. Il est peu probable mais possible qu'ils soient soumis aux fluides transportés dans les tuyaux qui parcourent l'usine si un problème advient sur l'un d'entre eux (acétylène dissout, oxygène, argon, azote, hydrogène...).

Sources de l'exposition	Type de nuisances engendrées
Maintenance sur l'ensemble de l'usine	Produits de maintenance Poussières d'usine

3.1.2.7 Synthèse de l'exposition par site

L'ensemble des données précédentes et des entretiens avec des experts du secteur cimentier [35] [37] ont permis de déterminer les principales expositions de chaque secteurs.

La formation de GHE ne peut pas être plus fine à partir des données qui ont été recueillies. En effet, il n'est pas possible de dire au niveau français quelles est la nature exacte des expositions attribuables à chaque groupe car elle varie trop d'une cimenterie à l'autre.

Contrairement au schéma de la cimenterie présentée en annexe 1, les cimenteries ne sont pas construites longitudinalement. C'est pourquoi les cases du tableau ont été remplies en échelles de probabilité. En théorie, certains travailleurs ne devraient pas être exposés à certaines nuisances, mais des expositions « au voisinage » sont toujours possibles voire probables en fonction des usines. Par exemple, le personnel administratif sur site ne devrait pas être exposé, mais si les locaux administratifs sont situés aux abords de machines produisant beaucoup de poussières, il peut être exposé. Les tableaux sont donc généraux et doivent être affinés en fonction de l'usine à laquelle ils se rapportent.

La légende qui a été choisie présente une gradation des niveaux de probabilité d'exposition :

	Exposition possible
	Exposition possible
	Exposition certaine

Tableau 8 : Expositions par secteurs avant l'automatisation et l'utilisation de déchets

Secteur	Sous secteur	Catégorie	Matières pulvérulentes				
			Poussières de carrière	Déchets	Amiante	Poussières de ciment	Fumées d'engin motorisé
Carrière	Exploitation	En cabine (conducteur)					
		A pied (sondeur..)					
	Concassage						
Fabrication							
Maintenance							
Expédition	Ensachage						
	Palettisation						
Laboratoire							
Administration	Sur site						
	Sur siège						

Tableau 9 : Expositions par secteurs après l'automatisation et l'utilisation de déchets

Secteur	Sous secteur	Catégorie	Matières pulvérulentes				
			Poussières de carrière	Déchets	Amiante	Poussières de ciment	Fumées d'engin motorisé
Carrière	Exploitation	En cabine (conducteur)					
		A pied (sondeur..)					
	Concassage						
Fabrication							
Maintenance							
Expédition	Ensachage						
	Palettisation						
Laboratoire							
Administration	Sur site						
	Sur siège						

Les principales modifications de l'exposition en carrière viennent de l'utilisation d'engins avec des cabines filtrant l'air, et l'utilisation de déchets.

En fabrication et maintenance, les expositions sont équivalentes en terme de probabilité mais il faut noter que l'exposition des travailleurs à la production est plutôt chronique alors que les travailleurs à la maintenance ont des expositions moins fréquentes mais aiguës. Les probabilités d'exposition ont baissé car les émissions de poussières ont diminué, le port de protections individuelles a été mis en place et l'amiante a disparu.

Aux expéditions, bien que les nouvelles ensacheuses produisent beaucoup moins de poussières, les travailleurs sont toujours exposés aux poussières de ciment, notamment lors de dysfonctionnement de l'ensacheuse ou le déchirement de sacs.

3.1.3 Effets possibles des nuisances sur la santé des travailleurs

Il faut tout d'abord noter qu'aucune étude épidémiologique française n'est parue actuellement dans le secteur. Et bien que les cimentiers soient suivis par la médecine du travail, aucune synthèse sur les maladies recensées n'est disponible. [38]

Plusieurs études ont mis en avant une prévalence accrue de broncho-pneumopathies chroniques obstructives dans le secteur cimentier (Saric et coll., 1976 ; Bonny et coll., 1988 ; Vesbo et coll., 1990 ; Yang et coll., 1996 ; Menghesha et coll., 1995 ; Al Naeimi et coll., 2001). Les symptômes les plus fréquemment retrouvés sont la toux et l'expectoration, et le risque de pneumoconiose ne semble pas plus accru chez les cimentiers. [9]

En ce qui concerne les cancers, le seul qui ait été spécifiquement relié à l'usage du ciment est le cancer du larynx et il a été mis en évidence chez des maçons (Maier et coll. 1997 ; Maier et coll. 2002 ; Dietz et coll. 2004). En cimenteries, une étude a trouvé une augmentation significative de cancer de l'estomac (McDowall et coll., 1984) et deux du cancer colorectal (Jakobsson et coll., 1993, 1994). [22] Une revue complète des études en rapport avec le ciment a été réalisée par la Commission anglaise Health and Safety Executive. L'annexe 2 reprends quelques notions épidémiologiques et statistiques et présente quelques résultats.

Selon l'INRS, il est difficile de conclure sur le rôle du ciment car il existe des co-expositions, notamment à la silice et à l'amiante. Il faut cependant noter que l'amiante n'a été utilisé en cimenterie que comme joint de portes de four ou en plaques isolantes.

La silice fait partie des substances pouvant causer des maladies professionnelles. Le mode d'action n'est pas totalement connu, mais il semble que les particules qui ne sont pas excrétées se fixent dans les poumons et altèrent les tissus. L'altération est généralement chronique et progressive. [11] [45]

De nombreuses études toxicologiques et épidémiologiques ont été entreprises sur les fibres d'amiante. Ces particules auraient un rôle potentialisateur de réactions allergiques respiratoires. Elles sont aussi à l'origine de maladies graves comme l'asbestose ou le mésothéliome. [16] [45]

Les particules de diesel présentent aussi des effets cancérogènes notamment sur les poumons. Certaines études tendent à montrer que les diesel pourraient avoir des effets cancérogènes sur d'autres fonctions telles que la reproduction ou le système cardiovasculaire. [29]

Le chrome VI est celui qui est problématique pour la santé des hommes. Il est classé dans le groupe 1 du CIRC : « *cancérogène pour l'homme* », de même pour l'US-EPA (classe A) depuis 1998 pour l'exposition par inhalation. Certaines études ont montré une altération des fonctions pulmonaires (Lindberg et Hendenstierna, 1983). Cependant, il faut noter que les études épidémiologiques qui ont montré des risques de cancer dû au chrome étaient réalisées sur des populations ayant des niveaux d'exposition très supérieurs à ceux mesurés en cimenterie. [11] [28]

Le tableau 10 présente une liste non exhaustive de maladies associées aux principales nuisances des cimenteries.

Tableau 10 : Quelques maladies associées aux principales nuisances des cimenteries

Nuisances	Maladies associées
Amiante	Asbestose insuffisance respiratoire ou ventriculaire Cancer broncho-pulmonaire type « chrysolite » ou « amphibole » Mésothéliome (de la plèvre, du péritoine, du péricarde) Dégénérescence maligne broncho-pulmonaire Atteintes pleurales bénignes ...
Silice	Irritation du tractus respiratoire Pneumoconiose : silicose, pneumoconiose du houiller, schistose, talcose graphitoses Cancer des poumons Tuberculoses pulmonaires Maladies extra-pulmonaires ...
Ciment	Ulcérations, pyodermites. Dermites eczématiformes Blépharite. Conjonctivite irritations du tractus respiratoire ...
Chrome	Troubles respiratoires (toux, sifflements,...) Ulcération, perforation des muqueuses nasales Cancer pulmonaire, cancer des cavités naso-sinusiennes

Sources : Inserm, [11] [45]

3.2 Facteurs déterminants pour estimer l'exposition

3.2.1 Moyens de réduction des émissions

Les premières mesures à prendre pour réduire l'exposition des travailleurs sont les mesures permettant de réduire les émissions à la source. Si ces mesures ne s'avèrent pas suffisantes, il faut faire porter aux travailleurs des protections individuelles.

Dans le cas des poussières, leur production lors du procédé constitue une perte de matière que les cimenteries ont tout intérêt à minimiser.

3.2.1.1 Automatisation des cimenteries

La grande majorité des étapes du processus de fabrication est, à l'heure actuelle, essentiellement commandée par voie automatique. Des ordinateurs règlent le fonctionnement des installations sur la base de renseignements fournis par des capteurs mesurant en permanence les températures, pressions, débits et compositions chimiques. L'automatisation a commencé en France au début des années 80.

Les objectifs étaient la régularisation de la qualité du ciment, une meilleure maîtrise du procédé, notamment le processus de cuisson, ainsi qu'une augmentation de la rentabilité.

L'automatisation a permis de rassembler les commandes et les indicateurs de fonctionnement dans une salle de contrôle. La technologie a été améliorée afin de limiter les interventions humaines sur les équipements. Certains équipements peuvent être « encoffrés ». Il s'agissait essentiellement d'un moyen de lutte contre la pollution sonore du voisinage, mais cela a aussi eu un impact sur l'empoussièremement des usines. [37]

3.2.1.2 Entretien des équipements

Avant de parler d'équipements à mettre en place pour réduire les émissions, il faut d'abord tenir compte de l'entretien des équipements du process. En effet, la technologie

d'une machine peut avoir un impact sur l'empoussièrement, mais si elle est mal entretenue, elle peut être à l'origine de plus de poussières qu'une machine ayant une technologie moins « propre » mais bien entretenue.

L'entretien a aussi un impact important dans le transport des produits au sein des cimenteries. Le processus de fabrication ayant été très automatisé, le transport se fait souvent par soufflage. Il faut être vigilant quant à l'herméticité des canalisations, notamment au niveau des raccords et des vannes.

3.2.1.3 Méthodes de dépoussiérage.

Il est à noter que les dépoussiéreurs doivent être entretenus et engendrent d'autres risques pour les travailleurs. Outre le risque d'asphyxie, l'électrocution, la chute, les hautes températures, les incendies ou les explosions sont à prendre en compte au niveau de ces machines. [10] [23]

Les dépoussiéreurs se retrouvent le plus souvent aux trois principaux points d'émission de poussières des cimenteries : les fours, les refroidisseurs à clinker et les broyeurs à ciment. Les filtres les plus communément utilisés actuellement sont les filtres électrostatiques et les filtres à manche.

Filtre électrostatique ou électrofiltre :

Il s'agit d'un appareil de dépoussiérage des gaz, composé d'électrodes d'émission négatives qui chargent les poussières négativement. Celles-ci sont ensuite attirées sur des plaques positives réceptrices. Les poussières ainsi captées sont récupérées par frappage des plaques. Le rendement est de l'ordre de 99 % lorsque les gaz sont bien conditionnés (humidité et température) et leur vitesse de passage faible.

Cet appareil présente cependant l'inconvénient d'être cher à l'achat, mais compte tenu de ses performances et de sa faible consommation en énergie, il reste le plus employé dans les cimenteries françaises.

Filtres à manche :

Ils sont composés d'un tissu qui est traversé par les gaz et dont le diamètre permet d'arrêter les poussières émises.

La nature du tissu varie en fonction de la température des gaz qui le traversent et donc de la machine sur laquelle il est placé :

Température du gaz	Nature du tissu
< 100°C	Tissu synthétique
100 < T < 250°C	Fibres de verres traitées à l'amiante ou au silicone

Les manches sont situés à l'envers et les gaz les traversent en montant. Les poussières filtrées tombent dans une trémie et sont réutilisées dans le circuit matière.

L'inconvénient principal de ce système vient du colmatage.

Dépoussiéreurs à cyclone :

Les poussières sont retenues au moyen de la force centrifuge. Le gaz entre tangentiellement et les forces d'inertie entraînent les particules vers la paroi extérieure. Elles glissent alors vers le bas tandis que le gaz purifié est éjecté en haut de l'appareil cylindrique. Il existe un diamètre de coupure en dessous duquel les particules ne sont plus séparées.

Ils sont moins performants que les autres et constituent donc souvent un dépoussiérage primaire qui est complété par un autre filtre.

3.2.1.4 Limitation des émissions fugitives

Outre les émissions de poussières au niveau des machines, on peut aussi trouver des émissions fugitives de poussières. Elles sont principalement liées au stockage et à la manutention des matières premières, des combustibles et du clinker ainsi qu'à la circulation des véhicules sur le site de fabrication. [10]

Protection des matériaux pulvérulents stockés à ciel ouvert. Il faut éviter tant que possibles d'avoir recours à ce système. Cependant, lorsque ce n'est pas possible, la mise en place de pare-vents permet de diminuer les émissions.

Le mode de stockage par silo est celui qui permet de limiter au mieux les émissions de poussières, notamment s'il est entièrement automatisé en milieu fermé. L'utilisation de filtres à manches empêche les émissions de poussières fugitives pendant le chargement et le déchargement. [10]

Lorsque la source de poussières est localisée, au moment du concassage primaire par exemple, il est possible de pulvériser de l'eau afin de favoriser l'agglomération des poussières et leur dépôt. Par ailleurs, certains agents chimiques permettent d'améliorer l'efficacité générale des pulvérisations d'eau.

Pavage, humidification des chaussées. Autant que possible, les voies de circulation des camions doivent être empierrées. Ceci n'est pas toujours possible car le pavage a un coût et les fronts de tailles changent régulièrement. Afin de limiter l'envol des poussières dû à la circulation des engins, le recours à l'arrosage des pistes est utilisé lorsque le sol est sec.

3.2.2 Politique de gestion du risque en cimenterie

3.2.2.1 Guide « Prévention et sécurité »

Le Guide « Prévention et sécurité » [26] est un document édité par le SFIC en collaboration avec les quatre principales sociétés françaises. Trois éditions ont été publiées, en 1979, 1991, la plus récente datant de 2001.

Il se divise en seize chapitres et aborde des sujets allant des statistiques sur les accidents à la conduite à tenir pour limiter au maximum les risques en fonction des postes occupés, en passant par des considérations sur l'hygiène et la santé. Les résultats de cette action de prévention suivie sur le long terme sont très satisfaisants puisqu'ils montrent une diminution allant de 892 accidents en 1976 à 84 en 2000. Le taux de gravité, en rapport avec la durée des arrêts de travail montre aussi une diminution forte des accidents graves. Les CHSCT ont aussi participé aux progrès qui ont été réalisés dans ces domaines.

En ce qui concerne le risque d'inhalation, plusieurs mesures sont préconisées :

- Les canalisations transportant des fluides possèdent un code couleur qui permet d'estimer l'importance du danger en cas de fuite.

Familles de fluides gazeux	Couleur
Vapeur	Gris
Gaz	Jaune orangé
Air	Bleu clair
Autres marquages	Blanc

Le sens d'écoulement est aussi indiqué afin de pouvoir agir sur les vannes et les dispositifs d'isolement adaptés le plus vite possible.

- Un code couleur différent est utilisé pour caractériser les bouteilles contenant du gaz

Gaz	Couleur
Acétylène dissous	Marron clair
Oxygène	Blanc
Argon	Jaune moyen
Azote	Noir
Hydrogène	Rouge vif

- Des étiquettes de danger et de manutention présentent la nature du risque de divers conteneurs.
- Sur les camions, des panneaux couleur orange précisent la nature des matières dangereuses transportées.

Des sessions de formation sont organisées régulièrement afin de rappeler les principes de sécurité aux travailleurs.

3.2.2.2 Moyens de protection individuels à disposition des employés

Les protections individuelles ne sont pas indispensables sur tous les postes. Elles concernent la protection de la tête, des yeux, des mains, des pieds, de l'ouïe, du corps, des voies respiratoires et permettent de lutter contre les chutes ou la noyade.

Les dangers possibles sont l'inhalation de poussières, de fibres, de vapeur/gaz/aérosols toxiques ou irritants. Les atmosphères confinées augmentent le risque d'intoxication.

L'obligation de porter un masque est indiquée sur site par le panneau suivant :

On distingue deux types de protection respiratoire :

- Les appareils filtrants, qui épurent l'air extérieur,
- Les appareils isolants, qui génèrent de l'air ou de l'oxygène depuis une source propre.

Les appareils filtrants peuvent être utilisés jusqu'à des concentrations ne dépassant pas 2000 fois la valeur limite de concentration de la substance en question si elle est connue.

Le guide « Prévention et sécurité » réalisé par le SFIC ne fait état que d'appareils filtrants et ne précise leur nature que pour l'utilisation de déchets :



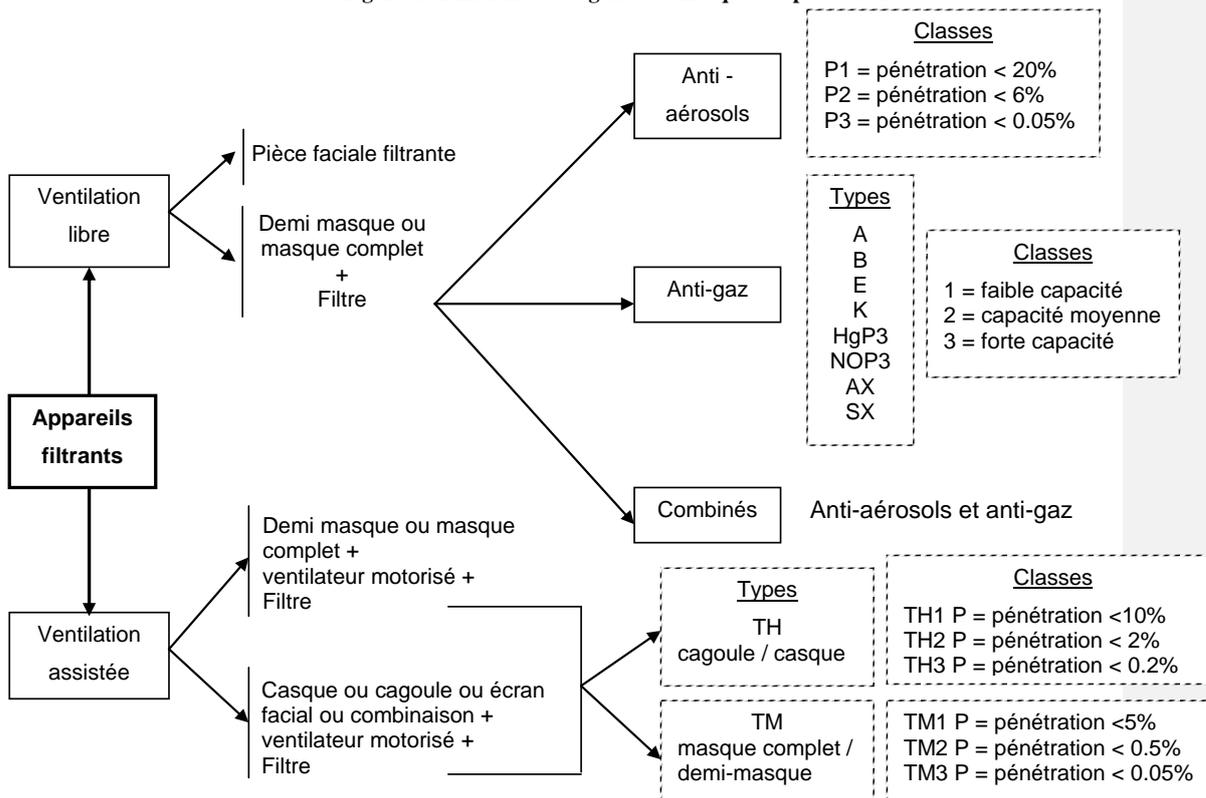
Déchet	Risque	Opération	Masque préconisé
G2000 G3000	Vapeurs nocives Vapeurs toxiques	Dépotage Intervention sur l'installation	Masque à cartouche Masque A2B2P2
Sciures imprégnées	Inhalation	Dépotage	Masque à cartouche
		Intervention sur l'installation	Masque A2B2P2
		Nettoyage / balayage des halls	Masque P2
Farines animales	Irritation par voie respiratoire	Dépotage	Masque P3
		Intervention sur l'installation	Masque P3
		Manutention d'équipements ayant contenu des farines	Masque P3
		Nettoyage / balayage des halls	Masque P2
Déchets Industriels Banaux	Déglutition de poussières	Déchargement et manipulation de DIB	Masque P2

Source : Guide prévention et sécurité (SFIC)

L'utilisation de protections respiratoires est aussi notée dans le guide pour les opérations mettant en jeu des gaz et des produits chimiques sans préciser le type de masque à utiliser.

Pour résumer, les masques sont spécifiques à certaines substances. Il existe donc différents types de masques correspondant aux différentes substances, ainsi que des classes permettant d'adapter le filtre aux concentrations présentes dans les milieux environnants :

Figure 1 : Différentes catégories de masques de protection



Source : Protections individuelles, INRS

Les masques recommandés dans le guide correspondent donc aux données suivantes :

- masque P2 = filtre contre les aérosols de classe 2
- masque P3 = filtre contre les aérosols de classe 3
- masque A2B2P2 = Filtre contre les gaz et vapeurs organiques de classe 2, contre les gaz et vapeurs inorganiques de classe 2 (sauf monoxyde de carbone) et contre les aérosols de classe 2.

La durée de vie des filtres est limitée et ils doivent être renouvelés avec des fréquences variables. Les filtres anti-aérosol se colmatent peu à peu. Le pouvoir filtrant ne baisse pas et il doit donc être changé lorsqu'il occasionne une gêne respiratoire trop importante. A *contrario*, les masques anti-gaz perdent leur pouvoir filtrant au cours de leur utilisation. Le temps de claquage (ou temps de saturation) est le temps au bout duquel la saturation du masque va s'effectuer de façon rapide. Il dépend de plusieurs paramètres et est calculé *a priori*.

Au-delà de ces considérations, il faut noter que les masques doivent être parfaitement positionnés sur le visage pour protéger effectivement le travailleur. Les masques peuvent aussi constituer une gêne due à leur poids, à leur encombrement, à la chaleur en période estivale... Les masques ne sont donc pas toujours bien accueillis et bien utilisés. C'est pour cela qu'au-delà des considérations physiques des masques, il faut aussi tenir compte de l'aspect psychologique des personnes qui doivent les porter. Il paraît opportun de sensibiliser le personnel à l'intérêt du port de masques et à leur utilisation correcte, de laisser un certain choix dans l'esthétique des masques. Il faut donc prendre en compte ces considérations lors de l'estimation de l'exposition en évitant de se baser uniquement sur un fonctionnement optimal des masques.

Le guide de la profession cimentière a été rédigé sur la base des travaux de l'INRS. Cependant, toutes les tâches et tous les déchets n'ont pas été étudiés. Il serait donc bon de détailler plus précisément les différentes tâches qui peuvent exposer les employés à la présence de gaz, de produits chimiques et de poussières. Forte de ces remarques, l'industrie cimentière a entrepris d'actualiser le guide en précisant les points qui ont été abordés précédemment. [19] [20]

3.3 Réalisation de matrices emplois-expositions

3.3.1 Bases de la réalisation de MEE

La méthode proposée a été réalisée sur la base de références bibliographiques et de contacts [31] [34] [36] [40] qui n'ont pas été référencés dans le texte mais qui sont précisés dans la bibliographie [30].

3.3.1.1 Comment sera utilisée la matrice ?

Exposition professionnelle des travailleurs

Les MEE doivent fournir un indice d'exposition pour chaque poste de travail recensé par l'étude de mortalité et ce, pendant toute la période d'exposition étudiée.

L'exposition de chaque travailleur est reconstituée en tenant compte de toute sa carrière professionnelle au sein de sites variables. A chaque moment de sa carrière, l'employé a été soumis à une exposition variable dont les niveaux sont estimés dans la matrice d'exposition.

Le lien entre la santé et l'exposition peut être testé en fonction de différentes caractéristiques d'exposition :

- Test en fonction des niveaux d'exposition :

Le test peut se faire entre les personnes ayant un niveau d'exposition supérieur et inférieur à un certain seuil d'exposition déterminés *a priori*.

Pour savoir s'il existe une relation dose-réponse, on peut tester la tendance des OR à augmenter avec les niveaux d'exposition. Il est alors intéressant de regrouper les niveaux d'exposition en classes et d'appliquer un test de Chi2 de tendance aux logarithmes des OR de catégories consécutives par voir s'il existe une relation dose-réponse.

Si la maladie étudiée présente un seuil de latence important, il faut tenir compte de son temps de latence et ignorer les dernières années d'exposition. Le temps de latence correspond à la période qui précède l'apparition clinique de la maladie.

- Test en fonction de la durée d'exposition :

Pour chaque durée d'exposition, on peut créer des groupes d'exposition en prenant par exemple l'ensemble des personnes ayant eu une exposition supérieure ou égale à une durée 1 puis à une durée 2...

Comme présenté ci-dessus, il faut tenir compte du temps de latence et le test de tendance de l'OR peut être réalisé.

- Test en fonction de la dose cumulée d'exposition :

Toujours selon le même principe, des groupes de niveau d'exposition cumulée peuvent être créés et la tendance des OR testée.

$$\text{Dose cumulée} = \sum D_i * C_i$$

D : durée passée à un poste de travail

C : niveau d'exposition correspondant à l'indice de la MEE

Méthode statistique :

La comparaison entre exposés et non exposés est généralement établie dans les études de cohorte par le calcul d'un risque relatif [5]. Il peut être étudié par le rapport d'incidences cumulées ou par le rapport de densité d'incidence. Ce dernier tient compte de la durée et convient donc mieux à nos objectifs. Il permet de comparer la répartition des cas et des témoins en fonction de divers paramètres d'exposition. Il s'agit du ratio entre la probabilité d'être malade quand on est exposé et la probabilité d'être malade quand on n'est pas exposé.

	Malade	Nombre de personnes-années
Exposé	a	E
Non exposé	c	NE

Rapport de densité d'incidence = $\frac{\frac{a}{E}}{\frac{c}{NE}}$

3.3.1.2 Identification des acteurs

Les acteurs peuvent se décliner en deux sous-groupes.

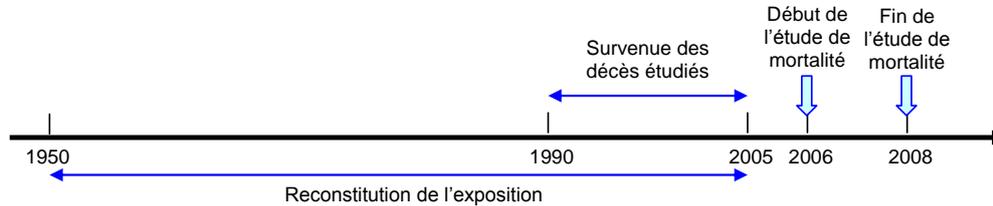
Le premier constitue le groupe d'experts amené à suivre l'étude complète et qui sera chargé d'analyser les résultats. Il doit comprendre un ou plusieurs épidémiologistes, ingénieurs, médecins du travail, spécialistes de la profession pouvant gérer les questions techniques du procédé et des hygiénistes industriels.

Le second varie en fonction des usines et rassemble des personnes travaillant ou ayant travaillé dans la cimenterie étudiée. Le CHSCT doit permettre de fournir des informations sur la santé des travailleurs de l'usine. Etant donné que l'exposition doit être reconstituée dans le passé, sur des périodes où aucune mesure n'est disponible, il est bon de demander la participation de travailleurs qui étaient sur le terrain à ce moment là. Ceci peut impliquer de contacter des personnes retraitées. Il paraît opportun de contacter des travailleurs ayant des postes d'ouvriers ou de contremaîtres pour avoir l'avis des personnes qui, *a priori*, passaient le plus de temps en extérieur.

3.3.1.3 Emplois-périodes ou pas de temps

L'étude de mortalité s'étend de 1990 à 2005. Il faut reconstituer l'exposition de toutes les personnes employées en usine pendant cette période. La MEE doit déterminer l'exposition de ces personnes durant l'ensemble de leur carrière professionnelle. Pour savoir sur quelle période doit être déterminée la matrice, il faut étudier le cas extrême d'un employé retraité en 1990 qui aurait effectué toute sa carrière dans une cimenterie. En supposant que la durée de cotisation était de 37,5 ans à cette époque et tenant compte

du fait que dans les années 40, un enfant pouvait commencer à travailler dès 16 ans (pas de cotisation entre 16 et 18 ans), les matrices d'exposition sont à faire sur la période : $1990 - 37.5 - (18 - 16) = 1950.5 \Rightarrow$ période d'étude \approx [1950 – 2005]



Le temps peut être représenté de deux manières dans les MEE :

- L'utilisation d'emplois-périodes consiste à créer un nouvel emploi dans les lignes de la matrice, à chaque fois que le poste évolue, même s'il garde officiellement le même nom. Ce système permet l'inclusion du temps dans les lignes de la matrice et l'utilisation des colonnes pour des expositions variées.

	Nuisance 1	Nuisance 2	...
Poste de travail 1 - Période 1	8	8	...
Poste de travail 1 - Période 2	5	4	...
Poste de travail 2 - Période 1	9	5	...
...

indices d'exposition

- Au contraire, l'utilisation du pas de temps en colonne ne permet pas d'étudier plusieurs exposition. Les lignes de la matrice représentent les postes, les colonnes le temps, et l'évolution des indices d'exposition dans le temps se fait à l'intersection des postes et du temps. Si plusieurs expositions sont étudiées, il faudra réaliser une matrice par exposition.

	1950	1951	...	2005
Poste de travail 1	8	8	...	3
Poste de travail 2	5	4	...	1
Poste de travail 3	9	5	...	5
...

indices d'exposition

La matrice générale qui est réalisée dans un premier temps doit pouvoir être adaptée à toutes les usines françaises. Les emplois-périodes devant être déterminés en fonction des conditions propres à chaque usine, la matrice générale devra se baser sur le second principe présenté.

Le pas de temps utilisé sur l'axe horizontal dépend de la finesse qui veut être donnée à l'estimation de l'exposition et du niveau de précision des données disponibles.

Certaines informations peuvent être très précises comme la date d'acquisition d'un filtre ou d'une nouvelle machine. Cependant, tous les événements ne sont pas aussi faciles à dater. Par exemple, le début du port de masques dans certaines parties des usines peut être obtenu par rapport aux souvenirs de certains employés et le fait de remonter si loin dans le temps va inévitablement entraîner des approximations.

Le pas de temps est donc à déterminer avec les personnes de terrain.

En France, l'automatisation des usines s'est faite principalement à partir de 1980 ce qui permet de penser que l'exposition des années 50 à 80 a été moins variable qu'après les années 80 car les avancées technologiques étaient moins fréquentes. Ceci est confirmé par les intervalles de temps considérés comme homogènes dans la MEE norvégienne qui étaient plus importants dans le passé [13]. Elle présente des intervalles de temps non réguliers. Un regroupement des années homogènes a été effectué après l'attribution des indices pour des questions de lisibilité sur un format A4. Le pas de temps initial n'a pas été précisé.

A partir du moment où les avancées technologiques et environnementales ont été plus fréquentes et où les informations sont devenues plus accessibles, le pas de temps choisi peut être l'année. Cela permet d'obtenir une bonne précision sans entrer dans une description mensuelle de l'exposition qui ne présente pas un grand intérêt et qui est trop fine pour obtenir certaines informations.

Lorsque les dates des investissements sont précisées, il n'y a pas de problème pour déterminer les variations d'exposition. Par contre, si le moment du changement est donné de mémoire d'homme, une précision supérieure à l'année semble peu probable.

3.3.2 Matrice générale

La construction d'une MEE peut se résumer en trois étapes :

1. obtention des informations sur les aspects qualitatifs de l'exposition
2. identification des différents emplois et les tâches qui leur sont associées
3. obtention des données quantitatives sur l'exposition

La matrice générale doit permettre de fournir une base de travail pour réaliser les MEE de toutes les usines françaises. Elle doit donc inclure tous les intitulés-emplois existant et fournir des indices d'exposition généraux.

Au niveau de chaque usine, les intitulés-emplois non présents seront éliminés et les indices d'exposition se verront appliquer des facteurs de correction en fonction des conditions d'exposition propres à chaque usine.

3.3.2.1 Détermination des intitulés-emplois de la matrice

a) Degré de précision

Avant d'entreprendre toute construction de matrice, il faut tenir compte de ce qui pourra être valorisé en fonction des données de l'étude de mortalité. En effet, il n'est pas productif de caractériser l'exposition à un niveau de finesse tel qu'il ne pourra pas être exploité. Les résultats peuvent s'avérer non exploitables car le nombre de décès est insuffisant pour décomposer des scénarios d'exposition.

b) Liste des intitulés-emplois harmonisés

Le choix des intitulés-emplois est une partie particulièrement délicate de cette étude puisque qu'elle s'applique en France à partir de données italiennes qui n'utilisent pas les mêmes intitulés. Il faut cependant rappeler la très grande similitude des cimenteries qui doit permettre d'établir les correspondances.

Les intitulés-emplois français sont basés sur la convention collective de 1968 [27]. Ils sont au nombre de 133 et ils n'ont pas été réactualisés depuis. Ceci entraîne des imprécisions dues à l'évolution des postes dans le temps, à la disparition de certains postes et à l'apparition de nouveaux. La modernisation et l'automatisation des cimenteries sont pour beaucoup dans cette évolution des postes.

Une réactualisation des postes est cependant en cours par l'équipe en charge d'estimer la mortalité des travailleurs. Elle doit recueillir des informations sur la santé des travailleurs en rapport avec les postes qui ont été occupés, et sera donc en mesure d'identifier les postes actuels des salariés en usine. Cette information est primordiale étant donné que, dans l'étude prospective européenne, l'ATILH est chargée de caractériser les postes afin qu'ils soient utilisés de façon homogène dans toutes les usines qui vont effectuer des mesures. D'autre part, les études INRS et APAVE peuvent aussi servir de base déterminer les postes actuels dédiés aux déchets.

Même si la liste des postes français n'est pas définitive, une harmonisation des postes a néanmoins été commencée. Ce travail a été réalisé sur une traduction anglaise des postes français afin qu'ils puissent être réutilisés pour l'étude de morbidité européenne.

La première étape consistait donc en la traduction en anglais des postes français. [18] [41] Puis des correspondances ont été réalisées avec les postes italiens [2] [12]. Étant donné que le nombre de postes français est très supérieur à celui des postes italiens (33 postes), il a fallu regrouper certains postes français. Par exemple, les conducteurs de différents engins de carrière ont été regroupés.

Les différents regroupements, correspondances et autres hypothèses formulées sont évaluées par des experts

3.3.2.2 Détermination des indices d'exposition

a) Indices d'exposition

Les indices d'exposition sont souvent dichotomiques : exposé / non exposé, ce qui présente des limites importantes pour quantifier l'exposition. De plus en plus, des matrices qui utilisent des probabilités d'exposition, des indices semi-quantitatifs de niveau d'exposition et de période d'exposition sont mises en œuvre.

Notre étude se faisant en partenariat avec une équipe norvégienne ayant réalisé une MEE basée sur des indices semi-quantitatifs, la même méthodologie est envisagée.

10	Very heavy exposure (10 x light exposure)
4	Heavy exposure (4 x light exposure)
2	Middle exposure (2 x light exposure)
1	Light exposure
0	No exposure/ no person in this category.

Source : NORCEM (ciments norvégiens)

Une cellule peut contenir plusieurs indices d'exposition :

- Les probabilités d'exposition qui correspondent à la proportion de travailleurs exposés.
- Les niveaux d'exposition, qui correspondent en général à une moyenne journalière. Ils peuvent parfois se décliner en fréquence d'exposition et en intensité d'exposition.
- Les périodes d'exposition dans le cas où elles ne sont pas précisées sur l'axe horizontal.
- Les pics d'expositions peuvent aussi être signalés si cette information est jugée pertinente...

b) *Estimation de l'exposition*

Difficultés à évaluer l'exposition en cimenterie :

L'exposition varie d'un jour à l'autre en fonction des conditions environnementales et des types de tâches effectuées durant la journée...

Deux exemples :

- en carrière, les conditions d'envols de poussières varient beaucoup selon que le temps est sec ou non,
- à la maintenance, outre l'entretien normal, l'exposition des travailleurs va être beaucoup plus importante en cas de bourrage fréquent de certains équipements.

L'obligation de déterminer l'exposition usine par usine, donc de réaliser une MEE par usine :

- selon la configuration de la cimenterie, les travailleurs vont être exposés ou pas à certaines poussières. On parle de pollution « au voisinage ». Par exemple, si la carrière est éloignée des ateliers de production, il est moins probable que les travailleurs de la production soient soumis aux poussières de carrières ;
- les postes varient d'une usine à l'autre. Même si une convention collective a été établie pour l'ensemble de la profession cimentière française, chaque société utilise sa propre terminologie et les tâches effectuées par certaines personnes ayant le même titre de poste peuvent varier d'une usine à l'autre.
- la nature des poussières varie d'une usine à l'autre. Elle est fonction de la nature des matières premières mais aussi des types de déchets et des composés secondaires utilisés. Les déchets varient d'une usine à l'autre et au sein d'une même usine, d'une année à l'autre, voire même d'un mois à l'autre.

Les indices qui vont être présentés dans la matrice générale vont être déterminés en fonction des conditions les plus probables d'exposition. Ce travail devra être fait en tenant compte de l'avis d'experts techniques, de spécialistes d'hygiène industrielle.

Les données italiennes de terrain doivent être exploitées afin de tester les tendances pour chaque poste étudié. Un traitement statistique permettant de mettre en avant des différences d'exposition serait souhaitable d'après les objectifs initiaux. Si ce n'est pas possible, il faut dégager les principales tendances des mesures disponibles.

c) *Choix de la finesse de l'étude de l'exposition*

L'étude norvégienne a été à l'origine d'une MEE utilisant des indices d'exposition définis par cinq classes. Il faut que lors de l'analyse statistique, les effectifs des classes exposés / non exposés et malades / non malades soient suffisants pour avoir une puissance permettant d'apporter des conclusions. Le choix du nombre de classes n'est donc pas arbitraire, mais doit dépendre de la puissance statistique nécessaire pour exploiter les données de mortalité.

En effet, la puissance est déterminée par les quatre données L_1 , L_0 , C_1 et C_0 [36].

	Décédé	Non décédé	
Exposé	a	b	L_1
Non exposé	c	d	L_0
	C_1	C_0	

Lorsque les quatre facteurs sont égaux, la puissance est maximale. Le problème des études de cohortes est qu'elles présentent beaucoup de personnes non décédés et peu de décédées, ce qui déséquilibre les facteurs. Les études cas-témoins*, au contraire, égalisent ou rapprochent les marges C_1 et C_0 .

Plus le nombre de classes est élevé, moins il y aura de personnes-années dans les classes et moins la puissance sera importante. Une des techniques possibles serait de choisir *a priori* un nombre de classe et de séparer les personnes-années en quantiles. Afin de connaître le nombre de classes d'exposition maximum à avoir pour être suffisamment puissant statistiquement, il faut procéder à des simulations.

Il existe des modèles qui calculent l'effectif nécessaire à chaque classe pour pouvoir mettre en évidence un lien entre santé et exposition. A noter que cette mise en évidence dépend aussi de la force de ce lien et de la fréquence de survenue du problème de santé étudié

3.3.3 Matrices emplois-expositions par site

3.3.3.1 Collecte des données sur le terrain

La récupération de données de terrain correspondant à chaque usine peut se dérouler en deux étapes.

La première étape consiste à étudier les documents administratifs qui présentent les dates d'investissement dans les différents équipements, les dates d'utilisations de déchets et les natures de matière première utilisées. Ce travail va être effectué au niveau des usines et au niveau des sièges puisque les investissements les plus conséquents sont décidés et réalisés par la société.

Un questionnaire de terrain pourrait permettre d'orienter les recherches et d'éviter les oublis. Un questionnaire en cours de réalisation traite les investissements, l'utilisation de déchets et port d'EPI en usine. Il est divisé en trois parties à la réalisation desquelles des experts du secteur ont participé afin de cibler les informations nécessaires et de s'assurer de sa compréhensibilité.

La seconde étape consiste à rassembler des experts capables de réaliser et de valider la matrice. Le comité d'expert doit vraiment rassembler toutes les personnes compétentes capables de caractériser les niveaux d'expositions :

- Personnes de terrain
- Hygiénistes industriels
- Epidémiologistes
- Statisticiens, ingénieurs
- Médecins du travail des usines

Le problème peut venir du recrutement des personnes de terrain. Il paraît adéquat de faire participer à l'étude des responsables techniques permettant de renseigner sur le mode de production et les évolutions techniques, mais également faire intervenir des travailleurs qui étaient sur le terrain pendant la période où l'exposition doit être reconstituée.

3.3.3.2 Application des facteurs correctifs

Cette partie du travail est délicate car elle doit permettre de juger l'impact de chaque machine sur l'exposition des travailleurs.

Des données de terrains n'étant pas disponibles dans les usines françaises, il faut travailler avec des mesures effectuées en Italie. Rappelons que l'un des objectifs de

l'étude est de baser les indices d'exposition sur des valeurs de terrain et pas uniquement sur des dires d'experts.

L'idée serait donc de déterminer l'impact des machines présentes en cimenterie sur les niveaux d'exposition. Par exemple, si les mesures de terrain italiennes permettent de déterminer un niveau d'exposition en fonction de certaines machines, on peut supposer que la présence de ces mêmes machines dans les usines françaises entraînera un niveau d'exposition similaire. Ceci peut permettre d'établir des niveaux de base.

Dans un second temps, les données de terrain peuvent montrer qu'à chaque fois qu'un filtre à manches est mis en place, l'exposition des travailleurs est divisée par deux. Des tests de comparaison de moyenne (de type Student) pourront être entrepris pour valider les tendances observées. Toujours selon un raisonnement déterministe qui avance que les mêmes causes entraînent les mêmes effets, on pourra supposer que l'exposition dans une cimenterie française mettant en place ce système sera aussi divisée par deux. Il faut être particulièrement prudent en interprétant les résultats puisqu'ils dépendent grandement de l'état de vétusté des machines.

Là encore, les dires d'experts seront à prendre en compte impérativement.

3.4 Faisabilité de la méthode compte tenu des données existantes

3.4.1 Différentes méthodes de mesure des poussières

Le problème de la mesure des poussières s'est posé lors de l'exploitation des données italiennes. Les mesures effectuées sur le terrain n'ayant pas été réalisées avec les mêmes débits de filtration, il a fallu vérifier que ces données étaient bien comparables.

Les mesures peuvent être effectuées au niveau ambiant ou au niveau individuel. Lors des mesures d'ambiance, les systèmes de prélèvement sont généralement situés au centre des endroits étudiés et à hauteur de la bouche d'un homme. Lorsque le prélèvement est individuel, le système d'aspiration est porté par la personne et l'aspiration se fait toujours au niveau de la bouche.

En France, les prélèvements de la fraction alvéolaire en hygiène industrielle peuvent se faire avec un séparateur par cyclone 10 MM (NF X 43-259) ou avec un capteur individuel de poussière CIP 10 (NF X 43-262).

Les prélèvements de la fraction inhalable se font uniquement par une méthode de filtration décrite dans la norme NF X 43.257 puisque la méthode CIP 10 n'a pas encore été normée.

La fraction thoracique est quant à elle prélevée par filtration (NF X 43.050). [3]

Une évaluation de l'exposition pour réaliser une étude épidémiologique demande une démarche rigoureuse. En effet, pour qu'elles soient représentatives et correctement interprétées, les mesures doivent être réalisées sur une bonne base scientifique.

Une stratégie de mesurage consiste à établir *a priori* des groupes de travailleurs ayant une exposition homogène, et à choisir au hasard ceux qui seront suivis. Il existe des tables qui permettent de déterminer le nombre de travailleurs nécessaires à chaque groupe pour avoir une analyse assez puissante. (Leidel et coll., 1977) Dans le même état d'esprit, la CEN a établi en 1995 des critères d'acceptabilité pour dire qu'un groupe présente effectivement une exposition homogène.

3.4.2 Exploitation des données italiennes

Les données de terrain italiennes ont été obtenues dans le cadre d'une étude clinique menée par le professeur BERGAMASCHI, de l'Université de Rome, sur les cimentiers italiens.

Méthodes

Les données italiennes ont été recueillies afin de caractériser l'exposition dans certaines cimenteries.

Elles ont été faites pour les poussières inhalables et respirables ; les définitions retenues sont les suivantes :

- Les poussières inhalables représentent la fraction des particules totales inhalées par le nez et la bouche
- Les poussières respirables sont celles qui pénètrent dans la partie non ciliée du système respiratoire.

Pour les poussières inhalables, la méthode de collecte n'a pas varié au cours de l'étude et s'est faite avec des filtres PVC de diamètre 25mm et de porosité 0.8µm porté par un échantillonneur de poussières inhalables conique, avec un débit de 2.2l / min.

Par contre, la définition de « poussières respirables » a varié au cours de l'étude :

- Avant 2001, la définition utilisée a été celle de la Convention de Johannesburg datant de 1979. Le diamètre moyen des poussières respirables était alors de 5 µm de diamètre et les prélèvements ont été réalisés avec des cyclones de type Higgins-Dewell avec un débit de 1.9 l / min
- Après juin 2001, la définition de l'ACGIH et du CEN (EN 481 – CEN, 1993) a été retenue. La fraction respirable doit alors présenter une distribution log normale, avec un diamètre aérodynamique médian de 4.25 µm (déviation géométrique de 1.5) et deux méthodes de prélèvement ont été utilisé :

	Période	Type de cyclone	Diamètre du filtre	Débit (l / min)
Inhalable	toute	Higgins-Dewell	0.8µm	2.2
Respirable	Avant 2001	Higgins-Dewell	5 µm	1.9
	Après 2001	Dorr-Oliver (SKC GS3)	4.25 µm	2.75
		Higgins-Dewell		2.2

Les mesures de quartz ont été réalisées par diffraction au rayons X de la fraction respirable collectée.

Résultats partiels

Deux documents Excel ont été développés. Le premier contient les données brutes ; il est composé de 4045 lignes correspondant aux différents postes par usine et par date et de 10 colonnes :

Caractéristiques des prises de mesure	Usine ; intitulé du poste ; secteur du poste
Données sur l'échantillonnage	Date Durée de prélèvement Type de mesure : environnemental (1454 mesures) / personnel (2591 mesures) Volume de prélèvement
Mesures de terrain	Dosage des poussières avec précision inhalable (1684 mesures) ou respirable (2361) Dosage du quartz 2220 (mesures)
Quelques analyses	Concentrations en mg/m3 de la fraction inhalable, respirable ou de quartz Fractions respirable / inhalable et quartz / respirable

Source : Elisa Romeo

Vingt-huit secteurs sont différenciés dans la base.

Les données sur les poussières varient de 0,005 à 52,55 mg, les valeurs les plus basses étant logiquement des mesures de poussières respirables (0,005 à 7,254 mg) et les valeurs les plus hautes des poussières inhalables (0,012 à 52,55mg). Il faut cependant noter que les valeurs importantes ne correspondent pas à des débits plus importants lors des mesures.

L'exploitation des données qui a été entreprise par l'équipe de travail italienne est une analyse de la variance (ANOVA) entre des groupes de niveaux de finesse différents définis *a priori*. [39] Aucune tendance n'a été mise en avant et ils ont donc entrepris de modéliser l'exposition. Les données à ce sujet ne sont pas disponibles à l'heure actuelle.

Cette étude n'ayant pas eu pour finalité une étude épidémiologique, des problèmes ont été mis à jour en essayant d'exploiter les données en fonction des objectifs de notre étude :

- 480 dates ne sont pas précisées
- Les fractions réalisées entre les mesures inhalables et respirables sont parfois faites à partir de données ne datant pas du même moment ; d'autres encore sont réalisées entre des mesures n'ayant pas été effectuées dans les mêmes secteurs.
- Les secteurs ne sont pas précisés pour 25 mesures.
- Les débits de mesure utilisés sont variables :
 - 2859 échantillons ont un débit de 2 litres/min
 - 1160 échantillons ont un débit de 3 litres/min
 - 10 échantillons ont un débit de 4 litres/min (utilisés uniquement pour les mesures environnementales d'inhalation)
 - 2 échantillons ont un débit de 5 litres/min (utilisés uniquement pour les mesures environnementales d'inhalation)
 - 4 échantillons ont un débit de 10 litres/min (utilisés uniquement pour les mesures environnementales d'inhalation)

Ces résultats montrent que la méthode de mesure n'a pas été tout à fait suivie. Les débits à 4, 5 et 10 litres/min ne devraient pas être utilisés. Les débits à 3 litres/min devraient être uniquement utilisés pour les prélèvements de poussières respirables et une trentaine de mesures concernent les poussières inhalables.

Cinq à six cent données sont donc erronées ou difficilement exploitables. Sur un total d'environ 4000 mesures, ces manques ne sont pas négligeables, d'autant plus que certains postes ne présentent qu'une à deux mesures alors que d'autres en ont plus de trente.

D'autre part, de nombreuses études ont mis en évidence le fait que les méthodes de mesure ont une influence sur les résultats obtenus. L'exploitation statistique rigoureuse de données basées sur des méthodes de prélèvement différentes est donc délicate. Par contre, il est envisageable d'avoir pour chaque poste une étendue de mesures, éventuellement rassemblées en classes.

Informations manquantes compte tenu de nos objectifs

Cependant, il est rare d'avoir accès à une série de mesures telles que celles fournies par les usines italiennes. Il serait donc intéressant de faire une étude descriptive poussée afin de voir si des tendances sont observées, du moins pour certains postes. Cette étude est actuellement en cours mais les premiers résultats ne laissent pas apparaître de tendances particulières.

Un biais important de cette étude vient du fait que, comme il s'agit d'une étude clinique, les mesures ont été réalisées sur des personnes pouvant avoir été exposées à des niveaux plus élevés que la population générale.

L'autre inconvénient, qui fait que la méthode proposée n'est pas actuellement applicable, vient du fait qu'aucune précision sur les conditions extérieures pouvant agir sur l'exposition n'a été recueillie. Donc le passage de la matrice générale aux matrices usines ne peut pas se faire en appliquant des facteurs de correction correspondants à des données de terrain. Les facteurs de correction peuvent néanmoins être déterminés par des experts mais cela ne correspond pas à un des objectifs qui était de se baser sur des données de terrain.

3.4.3 Exploitation des données norvégiennes

Une MEE a été réalisée sur l'une des deux cimenteries norvégiennes en utilisant cinq indices d'exposition semi-quantitatifs. Les estimations ont été réalisées par un groupe d'experts en reconstituant l'historique des investissements en équipement de l'usine et en recueillant le témoignage de travailleurs.

Peu de mesures de terrain ont été réalisées : 20 mesures de concentration en poussières totales et respirables et trois mesures de quartz. Ces mesures ont mis en évidence :

- une faible exposition au quartz au moment des mesurages et,
- un groupe de travailleurs exposés à des teneurs fortes : les responsables de nettoyage.

Les expositions ont été estimées par grands secteurs de production, en considérant, compte tenu de l'implantation de l'usine, qu'ils constituaient des groupes d'expositions similaires.

Informations manquantes compte tenu de nos objectifs

Le principal inconvénient de cette étude vient du fait que la traduction en anglais n'est pas encore disponible. Elle le sera sûrement courant septembre.

Les données qui pourront être utilisées après la traduction du rapport sont :

- La méthode de constitution de groupes d'exposition similaire.
- Les méthodes de recueil des informations sur site : questionnaires, méthodes de conduite d'entretien...
- Les facteurs déterminants de l'exposition. Certains facteurs décrits précédemment dans le mémoire pourront être précisés voire complétés.

Le fait que cette étude ne soit disponible qu'après que les réflexions auront été menées en France présente aussi des avantages. En effet, si des erreurs ou des oublis ont eu lieu lors de la réalisation de la matrice norvégienne, ils peuvent être évités dans les matrices françaises par des réflexions préalables. Se baser directement sur la méthode norvégienne aurait pu conduire à refaire les erreurs éventuelles.

4 DISCUSSIONS ET PROPOSITIONS

4.1 Réalisation de matrices emplois-expositions aux poussières

4.1.1 Données complémentaires nécessaires pour atteindre les objectifs fixés *a priori*

Compléter les données italiennes

Bien que les données de terrain italiennes n'aient pas été recueillies en suivant une procédure standardisée, elles peuvent néanmoins apporter quelques informations sur les niveaux de base et l'étendue de l'exposition.

Habituellement, la corrélation entre les données de terrain et les indices évalués se fait au niveau de chaque usine dans laquelle des mesures de terrain ont été faites. Les facteurs déterminants de l'exposition sont très variables d'une usine à l'autre et la comparaison d'un niveau d'exposition ne peut se faire qu'avec le niveau d'exposition qui lui est associé dans la matrice, c'est à dire correspondant à une année et un poste.

Le seul moyen de pouvoir comparer les données françaises et italiennes serait de tenir compte des facteurs jouant sur l'exposition. Il pourrait donc être intéressant de valoriser les mesures italiennes en étudiant plus précisément les facteurs qui agissaient sur l'exposition au moment où les mesures d'exposition ont été réalisées. Cette démarche devra se baser sur des archives d'investissement et sur la mémoire des personnes ayant répondu à l'enquête en Italie. Elle présentera donc des biais, mais cette étude peut apporter des informations précieuses qui pourraient permettre à l'équipe de travail italienne d'exploiter au mieux ces données, et de mettre en place un suivi plus rigoureux pour une exploitation statistique ultérieure.

Récupération d'autres données de terrain

L'inconvénient de travailler en rétrospectif est que les données de terrains ont rarement été effectuées de façon rigoureuse et elles peuvent être difficilement exploitables statistiquement. L'objectif dans ces cas là est de rassembler un maximum de données pour pouvoir se faire une idée, même imparfaite, des niveaux d'expositions.

Les données pourraient être recueillies dans le secteur cimentier. L'organisme CEMBUREAU peut être particulièrement utile dans ce genre de recherche étant donné qu'il rassemble vingt-six adhérents dans toute l'Europe.

D'autre part, des mesures de terrain effectuées dans d'autres secteurs pourraient être valorisées. L'utilisation de postes basés sur la classification des emplois du secteur cimentier de France présente l'avantage de pouvoir harmoniser les postes utilisés par les différentes usines (qui ne correspondent pas toujours à cette classification). Cependant, ils peuvent masquer des tâches qui peuvent se retrouver dans d'autres secteurs. Par exemple, le dépotage des déchets est aussi réalisé dans d'autres industries et des mesures de terrain effectuées dans celles-ci pourraient être valorisées dans notre étude.

Une comparaison précise des tâches présentes en cimenterie avec d'autres postes de secteurs différents pourraient donc permettre de récupérer de nouvelles mesures de terrain.

4.1.2 Discussion sur la méthode proposée

Le travail qui a été effectué peut servir de base à la comparaison entre les groupes d'employés au sein des usines. En effet, un des objectifs de l'étude épidémiologique est de comparer les données de mortalité entre différents groupes d'employés. Cette comparaison sera d'autant plus intéressante qu'elle concernera des employés ayant une exposition différente. Si une surmortalité est détectée, la nature des expositions détaillées dans l'étude qui précède pourra donner quelques orientations. Le cas échéant, une étude cas-témoin pourra être effectuée au sein de la cohorte afin d'établir des liens éventuels entre la mortalité et certaines expositions. Cette étude pourra donc servir de base à une étude épidémiologique de type cas-témoin.

Concernant l'harmonisation des postes français et italiens, le fait de travailler en anglais est source d'une double possibilité d'erreurs : lors du passage du français à l'anglais et de l'italien à l'anglais. Une caractérisation des postes par tâches permettrait de limiter le risque d'erreurs.

4.2 Exploitation des résultats du mémoire - proposition d'une autre démarche à suivre

4.2.1 Caractérisation de l'exposition

Le mémoire a permis de développer la première étape nécessaire à toute estimation de l'exposition. Il faut en effet connaître en détail les procédés de fabrication ainsi que la liste des substances qui peuvent être rencontrés sur site.

La difficulté vient du fait que l'exposition peut être très variable d'une usine à l'autre et que le travail général réalisé devra de toute façon être repris pour chaque usine. Il servira de base afin d'orienter le recueil des données mais une liste exhaustive des produits utilisés devra être établie à chaque fois. Par exemple, les déchets ne sont pas co-incinérés dans toutes les usines et l'exposition va dépendre des quantités et de la nature des déchets utilisés.

De plus, seuls trois experts du secteur ont été sollicités pour réaliser cette caractérisation. Il faudrait rassembler plus de personnes dont des ingénieurs d'hygiène industrielle ainsi que des membres des CHSCT.

4.2.2 Etude de cas en cohorte

Une étude de cohorte a l'avantage de permettre de mesurer directement l'incidence des groupes exposés et non exposés et d'étudier plusieurs effets pour une seule exposition, surtout quand cette exposition est rare. Cependant, elle présente des inconvénients en terme de durée et de coûts. De plus, elle permet difficilement d'étudier des maladies rares ou plusieurs expositions, comme c'est le cas dans une cimenterie.

L'avantage essentiel qu'elle peut présenter dans le cadre de la cimenterie est que, à l'issue de l'étude de mortalité, elle peut mettre en évidence certains groupes d'employés particulièrement atteints par une maladie, qui pourront être étudiés par la suite dans une étude cas-témoins.

Une étude cas-témoins est entreprise lorsqu'on estime qu'il existe un lien entre une maladie et une exposition. Elle compare l'exposition des malades (cas) et des non-

malades (témoins), va alors permettre de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse et de déterminer des facteurs qui peuvent être associés à la maladie. L'étude cas-témoins permet d'étudier plusieurs expositions ainsi que des maladies rares. Elle présente une durée et un coût largement inférieurs à l'étude de cohorte, puisque la taille de l'échantillon est inférieure.

Il faut être particulièrement vigilant dans ce type d'étude lors de la collecte de données et de la sélection des témoins, qui doit se faire indépendamment de leur exposition, dans la même population source que les cas.

La méthode décrite dans le mémoire permettant de constituer des GHE peut aider à interpréter les données de mortalité. En effet, si les données de mortalité font ressortir un GHE particulier, l'étude des expositions principales associées à ce GHE peut orienter une éventuelle étude de cas en cohorte.

Une des méthodes qui pourrait être développée, si cette étude est entreprise, est la méthode Delphi. Elle est basée sur l'obtention d'un consensus d'expert sur l'estimation des niveaux d'exposition.

La méthode Delphi n'aboutit pas toujours à des résultats satisfaisants. Comme nous l'avons remarqué dans la partie résultats, il faut faire particulièrement attention au choix des personnes à inclure dans le comité d'experts.

Concernant les lignes de la MEE, il paraît intéressant de se baser plutôt sur les tâches que sur les emplois étant donné qu'en fonction de la fréquence de chaque tâche, l'exposition peut être très différente d'un poste à l'autre.

4.3 Discussion sur l'étude épidémiologique et l'étude de l'exposition

Une des questions qui ressort à la suite de cette étude est : pourquoi avoir lancé une étude épidémiologique ?

4.3.1 Etude épidémiologique / évaluation des risques

Les études épidémiologiques coûtent très cher et les résultats sont longs à obtenir. Elles permettent de répondre mieux aux questions sur la santé des employés, mais il est courant d'entreprendre une évaluation des risques sanitaires avant de se lancer dans un projet de si grande envergure.

Une évaluation des risques sanitaires permet de tenir compte de multiples expositions à de faibles doses tout en tenant compte de l'accumulation de doses. Elle se conclut par l'obtention d'un excès de risque individuel (ERI) qui permet de connaître l'impact (en nombre de cas) de l'exposition sur la population étudiée. Si l'étude de risque aboutit sur un risque non négligeable pour la santé des employés, une étude épidémiologique peut alors être entreprise.

Cette étude épidémiologique a été entreprise sans qu'il n'y ait de pression particulière de la part des employés ou associations. Elle a engendré des dépenses importantes et montre l'intérêt que portent les sociétés cimentières françaises à la santé de leurs employés.

4.3.2 Discussion sur les objectifs initiaux

Intérêt de caractériser l'exposition

Les premières réunions qui ont eu lieu avec l'équipe d'épidémiologistes et de médecins de la société LA-SER n'ont pas présenté les mesures d'exposition comme étant une partie importante, voire nécessaire de l'étude. De même, les courriers qui ont été envoyés aux employés des quatre sociétés concernées n'ont pas fait mention de l'étude de l'exposition menée en parallèle à l'étude de mortalité. Le seul objectif de l'étude mis en avant était la comparaison de la mortalité, entre employés en cimenterie et la population générale et entre employés.

Les comparaisons des durées de vie et des causes de décès des populations de travailleurs et de la population générale ont certes un intérêt puisqu'elles permettront de mettre en évidence une différence de mortalité d'une population par rapport à l'autre. Cependant, si la seule information sur l'exposition est « travaille en cimenterie », l'étude présente de nombreux biais et facteurs de confusion. D'autre part, cette classification dichotomique ne pourra donner des résultats que si la force du lien entre maladie et exposition est suffisamment forte pour s'affranchir de la variabilité interindividuelle de l'exposition.

Dans une optique de santé publique et pour avoir une vision plus juste de l'impact de la cimenterie sur les employés, il paraît plus intéressant de s'attacher à un niveau plus fin de caractérisation des dangers. En effet, la comparaison des sous-populations de travailleurs en tenant compte de leur exposition respective peut permettre de mettre en évidence des risques liés à des expositions spécifiques.

Il paraissait donc légitime que l'ATILH tente de voir si l'estimation de l'exposition était possible, afin d'exploiter au mieux les résultats de mortalité. Cependant, les objectifs fixés pour la réalisation de ce mémoire étaient prématurés à ce moment de l'étude...

Pertinence du choix de MEE pour estimer l'exposition

Tout d'abord, il faut noter que réaliser 33 MEE de qualité en l'espace de quatre mois était impossible. La réalisation d'une matrice d'exposition basée sur des mesures de terrain nécessite la mise en place d'un protocole scientifique, de plans d'échantillonnage et de procédures de recueil de données standardisées. Elle prend du temps et implique la participation de nombreuses personnes.

Compte tenu de l'ampleur du travail qui est à entreprendre pour réaliser une MEE par cimenterie française, il serait opportun de se limiter à certaines d'entre elles. Les MEE se rencontrent dans la littérature pour réaliser des études épidémiologiques de type cas-témoin. En se replaçant dans le contexte actuel de l'étude de cohorte qui a été entreprise, il serait intéressant d'attendre les résultats de l'étude de cohorte afin de voir si une surmortalité est mise en évidence. Si c'est le cas, certains sujets pourront être sélectionnés dans le cadre d'une étude cas-témoins. L'exposition serait alors à retracer pour ces individus là, ce qui limiterait le nombre d'usines à étudier.

CONCLUSION

La caractérisation de l'exposition qui a été entreprise n'a pas été exhaustive mais a permis que mettre en avant certains groupes de travailleurs présentant des expositions similaires.

La réalisation de MEE nécessite d'identifier l'ensemble des facteurs déterminants de l'exposition. Le mémoire a recensé les facteurs d'exposition d'un point de vue général. Ils devront être affinés par la suite au niveau de chaque cimenterie afin de reconstituer au mieux l'exposition des travailleurs.

La réalisation de MEE en se basant rigoureusement sur des données de terrain n'est pas réalisable actuellement. Les données de terrain disponibles ne le permettent pas. Les mesures de terrains italiennes présentent des lacunes, et la procédure de réalisation de la MEE norvégienne n'est pas encore disponible en anglais.

Cependant, les mesures italiennes pourraient être optimisées en caractérisant les conditions dans lesquelles elles ont été réalisées pour permettre une meilleure exploitation. Sans cette optimisation, les niveaux d'exposition par postes peuvent quand même être estimés (étendue) même si la rigueur n'est pas celle qui était souhaitée au départ.

Le contrat stipule que la matrice d'exposition sera utilisée pour effectuer « *des corrélations avec les données d'état de santé [...], en tenant compte des puissances statistiques, **si cette base le permet.*** ». Il n'y a donc pas par conséquent de retombées négatives sur l'étude de mortalité suite aux conclusions qu'avance ce mémoire quant à l'impossibilité actuelle de réaliser des matrices d'exposition exploitables pour l'étude de cohorte.

Il paraît cependant que, bien que la réalisation de MEE soit une idée intéressante, elle n'ait pas été lancée au bon moment. En effet, la littérature avançant des durées moyennes d'une année pour réaliser une MEE, la durée de réalisation de 33 MEE semble trop longue étant donné que les résultats de mortalité seront disponibles en 2008. Bien entendu, les dernières matrices devraient être plus rapides à réaliser mais la durée s'avère néanmoins trop importante. C'est pourquoi il paraît intéressant d'attendre les résultats de l'étude de mortalité afin de voir s'il existe ou pas une surmortalité chez certains employés du ciment. Si c'est le cas, une étude cas-témoin en cohorte pourra être entreprise sur un effectif limité de travailleurs, ce qui impliquera sûrement un nombre moindre de MEE à réaliser.

Bibliographie

- [1] ABENHAIM L., DAB W., FOSKETT N., *Etude épidémiologique rétrospective de mortalité dans l'industrie du ciment en France*. Protocole version 1.3 datant du 12 décembre 2005. Cabinet LA-SER. Confidentiel.
- [2] American concrete institute international. *Cement and concrete terminology*, 2000.
- [3] BLANCHARD O., DEL GRATTA F., DURIF M., FREJAFON E., LE BIHAN O. *Exposition par inhalation aux aérosols. Principes et méthodes de mesures*. Rapport d'étude. N° INERIS-DRC-04-56770-AIRE-n° 0401-OBI. 36 pages. 11 mai 2004.
- [4] BERGAMASCHI A. *Human health and cement dust exposure*. 57 diapositives. 2005
- [5] BOUYER J, HEMON D., CORDIER S., DERRIENNIC F., STUCKER I., STENGEL B., CLAVEL J. *Epidémiologie – Principes et méthodes quantitatives*. INSERM. 598 pages. 1995.
- [6] CEMBUREAU. *Report of the experts workshop. "Human health and cement dust exposure"*
- [7] CHOLLOT A., POURQUET M. *Analyse de l'activité des déchets en cimenterie*. Rapport final d'étude IP/AC/3011220/RE/04-001. INRS. 25 août 2004. 52 pages.
- [8] CIMbéton. *La Normalisation française des ciments*. 2001
- [9] CLEMENT P. *Pathologies respiratoires en cimenterie*. Ciment Calcia.
- [10] Commission Européenne. *Document de référence sur les meilleures techniques disponibles dans les industries de fabrication du ciment et de la chaux*. Prévention et réduction intégrées de la pollution (IPPC). Titre du CD Rom « BREF Ciment et chaud ». Avril 2003. 125 pages.
- [11] DELAHAIE E. *Risques sanitaires et environnementaux liés aux poussières de démolition d'installations nucléaires*. Mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique. 2005. 50 pages <http://ressources.ensp.fr/memoires/2005/igs/delahaye.pdf>

[12] ERNST R. **Dictionnaire Général des techniques industrielles Français / Anglais.** tome IX, édition de l'Usine Nouvelle. 1982.

[13] FELL A-K. **Effets à long terme de la poussière de ciment Portland sur les fonctions respiratoires.** NORCEM. 2005. 13 diapositives.

[14] FOSKETT N. **Présentation de nouvelles conclusions d'études publiées depuis le séminaire du 9 novembre 2004.** Cabinet LA-SER. 2005. 13 diapositives.

[15] GILLET, GUERRARD. **Etude des risques toxicologiques liés à l'exposition à des combustibles de substitution de fours de cimenteries.** APAVE Parisienne. Mars 2002. 43 pages.

[16] GOLDBERG M., HEMON D., Inserm. **Exposition à l'amiante et santé. Résultats d'une expertise collective de l'Inserm.** Actualité et dossier de santé publique n°17. Décembre 1996. pp 7-10.

[17] Guide des déchets. **Valorisation des déchets composites à matrice thermodurcissable.** Projet Recycomp 2. Janvier 2004-juin 2005. 27 pages. Disponibilité : http://www.agmat.asso.fr/test3/indus_rech/projets/textes/GUIDE_Recycomp2.pdf

[18] **Harrap's New Shorter French and English Dictionary.** Bordas. 1981.

[19] HURE Ph., GUIMON M., INRS. **Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation.** 2002. 54 pages.

[20] INRS. **Protections individuelles.** Dossiers web. Disponibilité : <http://www.inrs.fr/>. Mise à jour 09 janvier 2006.

[21] INRS. **Valeurs limites d'exposition professionnelles aux agents chimiques en France.** Note documentaire. ND 2098. Disponibilité : <http://www.inrs.fr/htm/nd2098.pdf>. Mise à jour février 2005.

[22] LOOS-AYAV C., WILD P., HERY M., MOULIN J-J. **Expositions professionnelles aux poussières de ciment et risque de cancer : une revue de la littérature.** Les notes scientifiques et techniques de l'INRS n° 220. Avril 2002. 22 pages.

[23] PAPADAKIS, VENUAT. **Les industries, leurs productions, leurs nuisances. Industrie de la chaux, du ciment et du plâtre.** Dunod. 1970. 257 pages.

[24] PLISKIN L. **La fabrication du ciment.** Ciments français. Eyrolles. Septembre 1993. 113 pages.

[25] SFIC. **Fiche de données de sécurité des ciments courants.** Mise à jour janvier 2002. 6 pages.

[26] SFIC. **Guide de prévention et sécurité. Profession : cimentier.** Mise à jour décembre 2001. 88 pages.

[27] Syndicat National des Fabricants de ciment et de chaux. **Classification des emplois du personnel ouvrier, du personnel ETDAM.** 1986

[28] TANCOGNE-DEJEAN M., ATILH. **Chrome dans le ciment. Origine et traitements possibles.** Septembre 2003. pp 1-22.

[29] TISSOT S., INERIS. **Toxicité des particules émises par la circulation automobile : Suivi et Synthèse bibliographique.** Décembre 1999. 30 pages.

[30] **ETUDES LUES POUR REALISER LA METHODOLOGIE (NON REFERENCEES DANS LE RAPPORT) :**

BOHADANA A.B., MASSIN N., WILD P., TOAMAIN J.P., ENGEL S., GOUTET P., **Symptômes respiratoires, réactivité bronchique et exposition professionnelle aux poussières de chêne et de hêtre.** Document pour le médecin du travail. N°83. INRS. 3^{ème} trimestre 2000. pp 241-248.

BUISSON C., BOURGKARD E., GOLDBERG M., IMBERNON E., **Surveillance épidémiologique de la mortalité et investigation d'agrégats spatio-temporels en entreprise- Principes généraux et données nécessaires.** INRS, Institut de Veille Sanitaire. Juin 2004.

COWIE H.A., WILD P., BECK J., AUBURTIN G., PIERKARSKI C., MASSIN N., CHERRIE J.W., HURLEY J.F., MILLER B.G., GROAT S., SOUTAR C.A., **Etude épidémiologique de la santé respiratoire des travailleurs de l'industrie européenne des fibres**

céramiques réfractaires. Cahiers de notes documentaires- Hygiène et sécurité du travail- N° 193, 4^e trimestre 2003.

GERIN M., DE GUIRE L., SIEMIATYCKI J., **Etude sur la validité des matrices emploi-exposition multisectorielles en hygiène industrielle.** Rapport R-110 IRSST. Etudes et recherches de septembre 1995.

LUCE D., FEVOTTE J., **Le programme Matgéné. Matrice emplois-expositions en population générale.** Etat d'avancement Septembre 2005. Institut de Veille Sanitaire. Avril 2006.

MARCHAND J.L., IMBERNON E., GOLDBERG M., **Analyse de la mortalité générale et par cancer des travailleurs et ex-travailleurs d'électricité de France - Gaz de France.** Institut de Veille Sanitaire. Octobre 2005.

MOULIN J.J., ROMAZINI S., LASFARGUES G., PELTIER A., BOZEC C., DEGUERRY P., PELLET F., WILD P., PERDRIX A., **Elaboration d'une matrice emplois-expositions dans l'industrie productrice de métaux durs en France.** Revue Epidémiologique et Santé Publique, vol 45, pp. 41-51, 1997.

ROLLAND P., ORLOWSKI E., DUCAMP S., AUDIGNON-DURAND S., BROCHARD P. GOLDBERG M., InVS, ISPED. **Base de données Evalutil. Evaluation des expositions professionnelles aux fibres.** Novembre 2005. 50 pages. Disponibilité : <http://www.invs.sante.fr> et <http://isped.u-bordeaux2.fr>

THURET A., DELABRE L., GOLBREG M., IMBERNON E., **Evaluation des expositions et élaboration d'une matrice pour les salariés du BTP.** Journées Nationales de Santé au Travail dans le BTP, Annales 28 :59-64, BATIMEX.

VINCENT R., **Ethers de glycol. Matrice emplois-expositions.** Laboratoire d'étude générale de l'exposition professionnelle, Centre de recherche de l'INRS, Nancy. Cahiers de notes documentaires N° 162, 1^{er} trimestre 1996. 13 pages.

CONTACTS

- [31] Equipe de suivi de l'étude européenne ; 28th International Congress on Occupational Health. Milan. 16 juin 2006
- [32] M. CAPMAS, Directeur Général de l'ATILH
- [33] Mme CIARALDI, Juriste et Responsable du Droit en environnement, ATILH
- [34] Mme FEVOTTE, Epidémiologiste, Université de Lyon 1
- [35] M. GROSBOIS, expert, Ciment Calcia
- [36] Pr. JUNOD, enseignant épidémiologiste, ENSP
- [37] M. LAFFAIRE, Directeur Délégué Environnement, ATILH
- [38] Mme ROCCASALVA, Juriste et responsable Santé, SFIC
- [39] Mme ROMEO, statisticienne, Italie
- [40] M. WILD, Service Epidémiologie et Entreprise, INRS, Vandoeuvre-lès-Nancy

SITES INTERNET

- [41] <http://www.granddictionnaire.com> Mise à jour 16 août 2006
- [42] <http://www.bdsp.tm.fr/> Mise à jour 20 juillet 2006
- [43] <http://www.infociments.fr/> Visité le 23 août 2006
- [44] <http://www.inrs.fr/>
- [45] <http://inrs.dev.optimedia.fr/> Tableau des maladies professionnelles. Visité le 23 août 2006
- [46] http://www.cchst.ca/reponsesst/chemicals/how_do.html Mise à jour 12 janvier 1997

Glossaire

Asbestose : fibrose pulmonaire diagnostiquée sur des signes radiologiques spécifiques, qu'il y ait ou non des modifications des explorations fonctionnelles respiratoires.

By-pass : canal de dérivation pratiqué sur le trajet d'un fluide.

Cracking : Procédé qui permet de casser des molécules lourdes en molécules plus légères. Utiliser pour la transformation du pétrole brut.

Critère d'éligibilité : liste des critères auxquels doivent répondre les personnes pouvant être inclus dans une cohorte étudiée.

Détritique (roche) : roches dont les constituants proviennent de l'altération et de l'érosion de roches préexistantes, du transport des grains qui en résultent et de leur dépôt dans un milieu de sédimentation.

Diagenèse : Ensemble des changements biochimiques et physico-chimiques affectant un sédiment après son dépôt et amenant à une transformation progressive en roche.

Etude cas-témoin : Etude qui compare le niveau d'exposition à un agent particulier ou à un facteur de risque d'un groupe de personnes présentant une maladie ou un événement (cas), à un autre groupe de personnes, similaire autant que faire se peut au premier groupe, mais qui n'est pas atteint par la maladie étudiée (témoins). (BDSP)

Etude de cohorte : Etude dans laquelle un groupe de personnes (saines ou ne présentant pas de signe de la pathologie étudiée) est suivi pendant un certain temps. Les sujets choisis sont répartis en différents groupes d'exposition, au début ou pendant l'étude. Cette population à risque est suivie pendant une certaine période et les incidents sont identifiés. Les études de cohorte sont également appelées étude de suivi ou étude d'incidence. (BDSP)

Evaporite (roche) : roches sédimentaires provenant de l'évaporation de l'eau de mer dans des conditions particulières : milieu hypersalin et lagune.

Facteur de confusion : Variable liée à la fois à la maladie ou à un autre événement de l'étude lié à la santé et au facteur de risque, ce qui est susceptible d'induire un biais dans l'analyse du lien (entre maladie et facteur de risque), produisant ainsi de fausses associations. La recherche et la prise en considération de ces facteurs confondants sont essentielles dans le cadre d'une étude épidémiologique. (BDSP)

Maladie pulmonaire obstructive chronique : groupe de maladies chroniques des voies aériennes et des poumons caractérisées par la limitation progressive du débit aérien.

Métamorphique (roche) : Roche qui a subi une transformation minéralogique et structurale à la suite d'élévations de la température et de la pression.

Morbidité : Indicateur de mesure de la fréquence des maladies ou des états de mauvaise santé d'une population. (BDSP)

Mortalité : Mesure de la fréquence de décès dans une population. Il est calculé en divisant le nombre de décès pour une période donnée auprès d'une population à risque, par 1000. (BDSP)

Personnes-temps : Mesure qui permet de connaître à la fois le nombre de personnes exposées et pour chacune d'elle la période de temps pendant laquelle elles sont exposées au risque au cours de la période d'observation . La personne-temps (PT) est la somme des unités individuelles de temps auxquelles les personnes d'une population étudiée ont été exposées au problème ou risque considéré. La PT est une évaluation du risque d'exposition des sujets dans une population donnée. (BDSP)

Population source : population répondant aux critères d'éligibilité dans laquelle la cohorte va être déterminée. Si toutes les personnes de la population source peuvent être contactées et acceptent de faire partie de la cohorte, la cohorte et la population source ne font qu'un.

Prospective (étude épidémiologique) : Etude qui consiste à suivre un groupe de sujets exposés à un facteur particulier en vue d'étudier les effets de cette exposition sur sa santé. L'étude prospective renvoie au temps de collecte des données en relation avec le phénomène de santé étudié. (BDSP)

Pulvérulent : qui se présente sous forme de poudre.

Rétrospective (étude épidémiologique) : Etude d'observation de l'étiologie de la maladie dans laquelle les inférences de l'exposition vers un facteur causal éventuel proviennent des données reliées à l'histoire des personnes, à leurs événements ou expériences. Un exemple particulier d'étude rétrospective est l'étude cas-contrôle dans laquelle un groupe de personnes " malades " est comparé à un groupe de personnes qui ne sont pas atteintes par la maladie, en recherchant les expositions antérieures au facteur de risque. (BDSP)

Sédimentaire (roche) : Roche formée par l'accumulation de sédiments et par compaction.

Taux d'attaque : Concept qui mesure la vitesse de propagation d'une maladie ou de tout autre problème de santé dans une population à risque. Ce taux est calculé en divisant le nombre d'apparition de nouveaux cas de la maladie par le nombre d'unités personnes-temps à risque, dans une période donnée. (BDSP)

Taux d'incidence : Nombre de nouveaux cas d'une maladie ou d'un événement lié à la santé, dans une population donnée durant une période de temps connue. L'incidence cumulée mesure le risque de devenir malade. Il est calculé en divisant le nombre de nouveaux cas dans une population spécifique, durant une période de temps connue, par la population au début de la période. (BDSP)

Taux standardisé de mortalité (SMR) : Rapport du nombre de décès observés dans une population donnée au nombre de décès attendus si elle avait présenté la même structure que la population standard. Les taux standardisés de mortalité sont utilisés pour comparer les taux de mortalité entre deux ou plusieurs populations. La standardisation est nécessaire quand les populations sont différentes entre elles au regard de certaines caractéristiques de base comme l'âge, la race, le statut socio-économique, etc. ... (BDSP)

Thermie : unité de mesure de chaleur. 1 th = 106 cal

Tuyère (en cimenterie) : Conduit de section droite servant à introduire dans le four les combustibles pouvant être transportés dans des tuyaux.

Transversale (Etude épidémiologique) : Etude qui mesure à un même moment la maladie ou l'évènement lié à la santé (cas prévalent) et l'exposition au facteur de risque. On l'appelle également étude de prévalence. L'étude détermine le niveau d'exposition passé ou actuel des sujets. La séquence temporelle de cause à effet n'est pas nécessairement mise en évidence. Les études transversales sont des études d'observation. (BDSP)

Spirométrie : Mesure des volumes d'air mobilisés par les mouvements respiratoires et des débits ventilatoires.

Liste des annexes

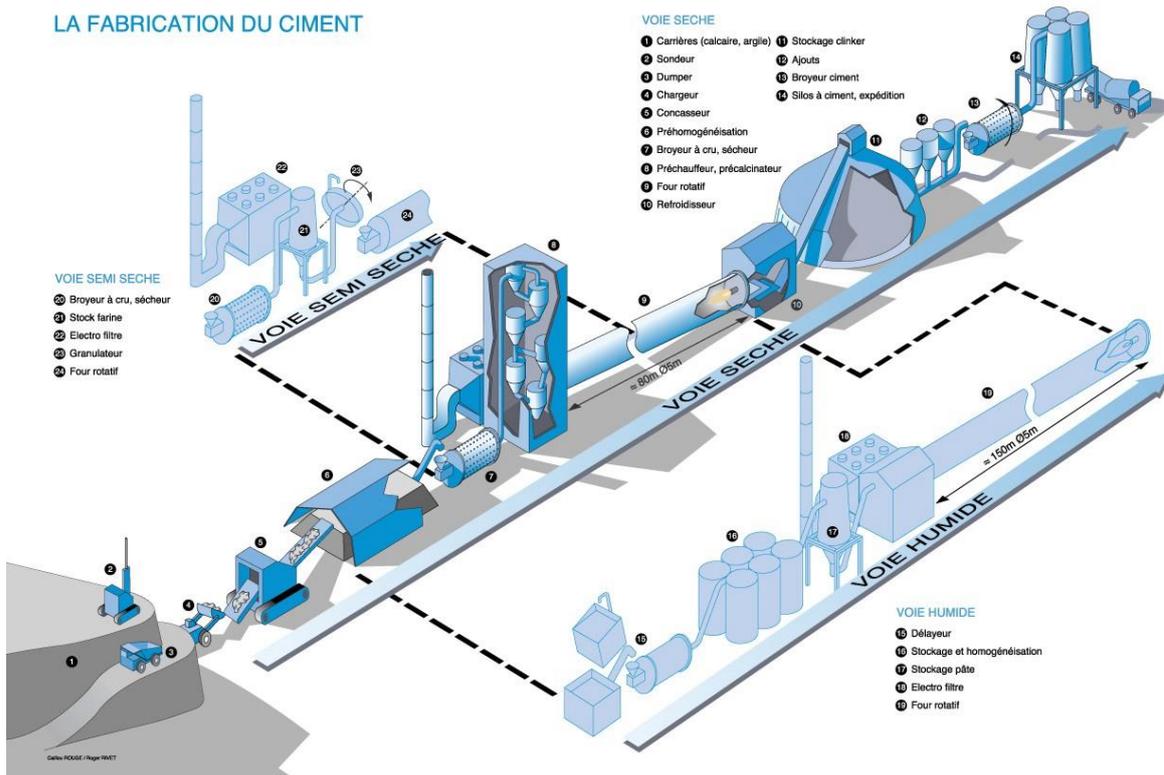
Annexe 1 : La fabrication du ciment

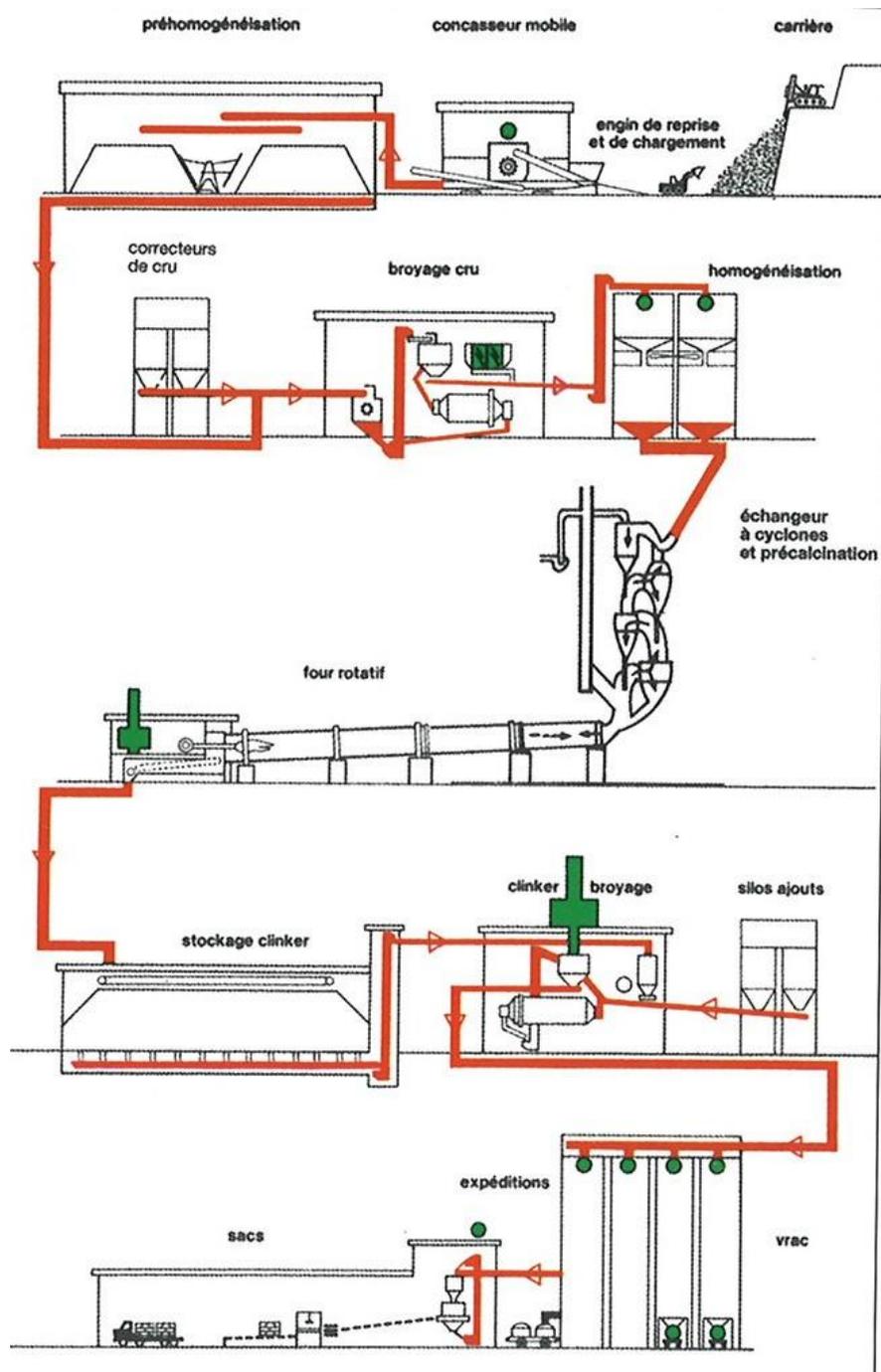
Annexe 2 : Quelques données statistiques et épidémiologiques

Annexe 1

La fabrication du ciment

LA FABRICATION DU CIMENT





Source : CIMbéton

Annexe 2

Quelques données statistiques et épidémiologiques

Rappel des notions permettant de comprendre les résultats d'une étude épidémiologique :

Une étude de cohorte est une étude qui permet de comparer le taux d'attaque* des personnes exposées à celui des non exposés.

Une étude cas-témoin permet de comparer la proportion d'exposés parmi les cas et celle parmi les témoins.

Nombre de cas attendus : il s'agit du nombre de cas qui serait obtenu si la population étudiée présentait la même fréquence / incidence de tomber malade que la population normale

Nombre de cas observés : nombre de cas effectifs dans la population étudiée.

Intervalle de confiance : La vraie valeur du RR ou de l'OR n'est pas connue puisque tous les sujets ne sont pas retrouvés. Le RR et l'OR sont donc estimés avec une précision qui dépend du nombre d'individus inclus dans l'étude et de la valeur du risque. L'IC 95% représente un intervalle qui a 95% de chances d'englober la valeur vraie

Signification statistique :

Le degré ou seuil de significativité exprime la probabilité que les différences observées soient le fruit du hasard (risque de première espèce). Pour chaque test statistique effectué, le degré de significativité a été calculé et exprimé par la donnée du seuil " p " associé. Un test est dit « statistiquement significatif au seuil de 0.05 » lorsque $p < 0.05$. Cela signifie que l'intervalle de confiance à 95% du RR ou de l'OR ne contient pas la valeur 1 d'absence de risque.

Interprétation des RR et OR :

- OR ou RR (IC 95%) > 1 => facteur de risque
- 1 compris dans l'intervalle IC 95% de l' OR ou RR => absence de risque
- OR ou RR (IC 95%) < 1 => facteur protecteur

	Malade	Non malade	
Exposé	a	b	L ₁
Non exposé	c	d	L ₀
	C ₁	C ₀	

$$OR = \frac{a * d}{b * c}$$

$$RR = \frac{\frac{a}{L_1}}{\frac{c}{L_0}}$$

Risque relatif RR	Incidence exposés / incidence non exposés	Cohorte	Excès de risque de l'exposition par rapport au risque de base
Odd Ratio OR	(Cas exposés / cas non exposés) / (témoins exposés / témoins non exposés)	Cas-témoin	Estimateur du RR OR=RR pour les maladies rares
Ratio standardisé de mortalité SMR	Cas observés / cas attendus	Etude de mortalité	Cas = décès
Ratio standardisé d'incidence SIR	Cas observés / cas attendus	Etude d'incidence	Cas = maladie

Quelques études épidémiologiques en lien avec l'exposition au ciment ayant obtenu des résultats statistiquement significatifs au seuil de 0.05 :

Année	Auteurs	Pays	Type	Maladie	Odd Ratio et IC (95%)	Remarques
2005	Jansson et coll.	Suède	Prospective d'incidence	Cancer de l'œsophage	IRR = 3.8 [1.5-9.6]	Pour les très fortes expositions
2004	Dietz et coll.	All	Cas-témoin	Cancer du larynx	OR = 2.0 [1.2-3.6]	Etude par postes
2004	Smailyte et coll.	Lituanie	Mortalité et incidence.	Tous cancer	SMR = 1.3 [1-1.5]	Tabagisme non pris en compte
				Cancer poumons	SMR = 1.4 [1-1.9] SIR = 1.5 [1.1-2.1]	
1997	Maier et coll.	All	Cas-témoin	Cancer du larynx	OR = 1.8 [1.0-3.2]	Sur des patients hospitaliers
1994	Jakobsson et coll.	Suède	Incidence	Cancer colorectal	SIR = 1.68 [1.11-2.44]	
1993	Jakobsson et coll.	Suède	Mortalité et incidence	Cancer colorectal	SIR=1.61 [1.1-2.29]	Durée d'activité > 15 ans
1986	Amandus et coll.	USA	mortalité	Cancer de l'estomac	SMR =1.5 (non signif)	Manque de puissance
1984	Mc Dowall et coll.	UK	mortalité	Cancer de l'estomac	SMR = 1.8 [1.09-2.65]	Durée d'exposition non précisée

Sources : LA-SER, INRS