

FORMATION D'INGÉNIEUR DU GÉNIE SANITAIRE

Avril 2004

---

## ATELIER SANTÉ-ENVIRONNEMENT

# ÉVALUATION ET GESTION DES RISQUES LIÉS AUX POUSSIÈRES AGRICOLES

---

Présenté par :

**GELLON Sandrine**  
**PIQUÉ Marie-Laure**  
**RABIER Priscilla**

Référent pédagogique :

**CARRÉ Jean**

# Sommaire

<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES SIGLES UTILISES .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>1 SOURCES ET CONDITIONS D'ÉMISSIONS DES POUSSIÈRES AGRICOLES.....</b>	<b>9</b>
1.1 QUELQUES DEFINITIONS .....	9
1.2 LES PRATIQUES AGRICOLES ENGENDRENT LA FORMATION DE POUSSIÈRES.....	10
1.2.1 <i>Le mécanisme de l'érosion</i> .....	10
1.2.2 <i>Agriculture et émissions de poussières</i> .....	10
1.3 DIFFÉRENTS TRAVAUX AGRICOLES ET ÉMISSIONS DE POUSSIÈRES .....	12
1.4 INFLUENCE DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES.....	15
<b>2 CARACTÉRISATION DES POUSSIÈRES AGRICOLES .....</b>	<b>18</b>
2.1 CARACTÉRISATION DES POUSSIÈRES ÉMISES .....	18
2.1.1 <i>Les poussières minérales</i> .....	18
2.1.2 <i>Les poussières organiques</i> .....	20
2.2 PROPORTION DES FRACTIONS ORGANIQUES ET MINÉRALES EN FONCTION DES TRAVAUX AGRICOLES...	21
2.3 DYNAMIQUE DES POUSSIÈRES .....	22
2.4 BRUIT DE FOND .....	23
2.5 REMARQUES.....	23
<b>3 POUSSIÈRES AGRICOLES ET EFFETS SUR LA SANTÉ .....</b>	<b>25</b>
3.1 EN QUOI LES POUSSIÈRES PEUVENT-ELLES ÊTRE DANGEREUSES POUR L'HOMME ?.....	25
3.1.1 <i>La pénétration des particules dans l'organisme</i> .....	25
3.1.2 <i>Dangerosité en fonction du site de dépôt</i> .....	27
3.1.3 <i>Élimination des particules dans l'organisme</i> .....	27
3.2 LES DANGERS LIÉS AUX POUSSIÈRES ORGANIQUES.....	28
3.2.1 <i>Effets ponctuels</i> .....	28
3.2.2 <i>Exposition chronique</i> .....	29
3.3 LES DANGERS ASSOCIÉS AUX POUSSIÈRES MINÉRALES .....	32
3.3.1 <i>Effets du quartz : essais sur des animaux</i> .....	32
3.3.2 <i>Effets du quartz : études sur les humains</i> .....	33
<b>4 ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX POUSSIÈRES .....</b>	<b>38</b>
4.1 IDENTIFICATION DES DANGERS.....	38
4.2 RELATION DOSE-REPOSSE .....	38
4.3 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION .....	39

4.3.1	<i>Populations exposées</i> .....	39
4.3.2	<i>Valeurs d'exposition</i> .....	40
4.4	CARACTERISATION DU RISQUE .....	43
<b>5</b>	<b>GESTION DU RISQUE</b> .....	<b>45</b>
5.1	POPULATION AGRICOLE.....	45
5.1.1	<i>Prévention technique collective</i> .....	45
5.1.2	<i>Prévention technique individuelle</i> .....	46
5.1.3	<i>Prévention médicale</i> .....	47
5.1.4	<i>Prévention par la législation</i> .....	47
5.2	POPULATION RURBAINE.....	48
	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>49</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>51</b>
	<b>DÉFINITIONS</b> .....	<b>57</b>

## LISTE DES SIGLES UTILISES

BIT	Bureau International du Travail
CAA	Concentration Atmosphérique Admissible
CIRC	Comité International de Recherche sur le Cancer (ou IARC : International Agency for Research on Cancer)
CITEPA	Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
FI	Facteur d'Incertitude
INSEE	Institut National des Statistiques et des Études Économiques
LED	Lupus Érythémateux Disséminé (se dit aussi Lupus Érythémateux Systémique)
LOAEL	Low Observable Adverse Effect Level (plus faible dose à l'origine d'un effet toxique)
QD	Quotient de Danger
STPO	Syndrome Toxique de la Poussière Organique
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

# LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

## Liste des tableaux

Tableau 1. Proportion des émissions de poussières émises par les différentes activités agricoles, par rapport aux émissions totales en France métropolitaine en 2001.....	11
Tableau 2. Concentrations de poussières totales en mg/m <sup>3</sup> d'air selon divers travaux agricoles [33].....	13
Tableau 3. Concentrations totales et respirables de poussières selon les activités agricoles [34]. .....	14
Tableau 4. Concentrations en poussières respirables selon les activités agricoles [35].....	15
Tableau 5. Pourcentage de fraction organique, minérale et niveau de SiO <sub>2</sub> en fonction des travaux agricoles [34]. .....	21
Tableau 6. Bruits de fond relevés dans la littérature. ....	23
Tableau 7. Récapitulatif des activités agricoles et des concentrations de poussières émises. ....	41
Tableau 8. Valeurs d'exposition des agriculteurs au quartz.....	41
Tableau 9. Valeurs d'exposition des rurbains au quartz.....	42
Tableau 10. Quotients de danger pour les agriculteurs. ....	43
Tableau 11. Quotients de danger pour les rurbains. ....	43

## Liste des figures

Figure 1. Emissions de poussières en France métropolitaine selon les différents types d'activités agricoles (données CITEPA) [32]. .....	12
Figure 2. Appareil respiratoire et pénétration des particules.....	26

## INTRODUCTION

Que l'on vive à la campagne ou en ville, les poussières font partie de notre quotidien. Les poussières des villes font l'objet d'une attention particulière : elles sont surveillées, leur composition, leurs sources d'émission et leurs effets sur la santé sont relativement bien connus. En revanche, les poussières en zones rurales, notamment les poussières d'origine agricole, ne suscitent pas la même inquiétude. Pourtant il est probable que leurs effets ne soient pas anodins.

Des études en milieu professionnel ont déjà montré le risque induit par les poussières d'amiante, de bois, de carrières... En ce qui concerne le secteur agricole, les poussières s'avèrent constituer un problème émergent actuellement. Lors de la 88<sup>ième</sup> session de l'Organisation Internationale du Travail (OIT) en juin 2000 portant sur la santé des travailleurs en agriculture, de nombreux états membres ont demandé de compléter la liste des paramètres à prendre en compte pour la surveillance de la santé des travailleurs en agriculture. Il a notamment été demandé de rajouter les poussières minérales et organiques.

La France est particulièrement concernée par ce risque : en effet elle occupe le deuxième rang mondial pour ce qui concerne l'agriculture (notamment céréales et agro-alimentaire) et reste le premier producteur et exportateur agricole européen. L'interrogation porte sur le risque encouru non seulement par la population agricole mais également par les personnes vivant à proximité.

Il existe peu d'informations relatives aux poussières d'origine agricole. Ce rapport fait le bilan des quelques données existantes sur l'émission de poussières, leur caractérisation et leurs effets sur la santé. À partir de ce bilan une évaluation des risques sera menée sur les populations jugées à risque, les populations agricoles mais également les populations urbaines vivant à proximité des zones rurales et dont l'effectif ne cesse de s'accroître. Des mesures de gestion seront proposées.

# 1 SOURCES ET CONDITIONS D'ÉMISSIONS DES POUSSIÈRES AGRICOLES

## 1.1 Quelques définitions

Avant d'expliciter les sources des poussières agricoles, quelques définitions sont nécessaires à la compréhension. La manière de les définir dépend des secteurs considérés : lorsqu'il s'agit d'exposition environnementale il est d'usage de les définir en fonction de leur granulométrie. Lorsqu'il s'agit d'exposition professionnelle, il est d'usage de parler en fonction du site de dépôt des particules dans l'organisme humain : cette manière de les définir sera décrite dans le chapitre 3. Il existe encore d'autres définitions selon les pays et les auteurs des études sur les poussières.

Comme les particules en suspension dans l'air peuvent présenter des formes et des densités variables, il n'est pas aisé de leur attribuer un diamètre. Selon [39], on définit comme le diamètre aérodynamique une grandeur qui se prête à la description d'une série de processus. Il correspond au diamètre qu'une particule sphérique d'une densité de  $1 \text{ g/cm}^3$  devrait avoir pour présenter la même vitesse de chute que la particule concernée.

A partir de cette donnée, les poussières seront classifiées entre : particules totales en suspension,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  et particules ultrafines.

Les particules totales en suspension d'après le Code du Travail (Article R232-5-1) sont « toutes les particules solides dont le diamètre aérodynamique est au plus égal à  $100 \mu\text{m}$  ou dont la vitesse limite de chute, dans les conditions normales de température, est au plus égale à  $0,25 \text{ m/s}$  ».

Les  $PM_{10}$  sont des particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à  $10 \mu\text{m}$  (plus précisément, particules passant un orifice qui présente un degré de 50% d'efficacité de séparation des particules d'un diamètre aérodynamique de  $10 \mu\text{m}$ ) [39].

De même on définit les  $PM_{2.5}$  comme des particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à  $2,5 \mu\text{m}$ . On les nomme aussi particules fines. Les particules ayant un diamètre aérodynamique se situant entre  $2,5 \mu\text{m}$  et  $10 \mu\text{m}$  sont appelées particules grossières [39].

Enfin les particules ultrafines sont des particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à  $0,1 \mu\text{m}$  [39].

Cette classification succincte permet d'appréhender les études relatives aux poussières. Des informations plus détaillées seront exposées dans la partie sur les maladies induites par les poussières agricoles ; il est à noter dans une première approche que les

PM<sub>10</sub> sont les poussières dont la taille leur permet de pénétrer dans l'organisme et que les PM<sub>2,5</sub> sont plus dangereuses car plus petites.

## **1.2 Les pratiques agricoles engendrent la formation de poussières**

### **1.2.1 Le mécanisme de l'érosion**

Selon un rapport canadien [30], l'érosion des sols est la principale source d'émissions de poussières. En effet, lorsque le sol est sec, meuble et dépourvu d'une couverture végétale, le vent peut entraîner les particules de surface et les transporter sur de grandes distances.

L'érosion se déroule en deux étapes. D'abord, le vent détache de petits grains du sol (0,1 à 0,5 mm) qui agissent ensuite comme un abrasif sur des particules plus grosses du sol. Les particules détachées se déplacent de trois façons : par saltation, par glissement et par mise en suspension. Lors du déplacement par saltation, les particules rebondissent à la surface ; lors du glissement du sol, les grosses particules (0,5 à 1,0 mm) roulent et glissent après avoir été heurtées et mises en mouvement par les particules qui « rebondissent ». Ce sont ces deux procédés qui sont surtout responsables de l'érosion. Toutefois, dans le cas des sols de texture fine comportant de nombreuses particules de taille inférieure à 0,1 mm, le sol peut être soulevé bien au-dessus de la surface (mis en suspension), ce qui produit des nuages de poussières pouvant être transportés sur des centaines de kilomètres. Les particules en suspension finissent par retomber lorsque le vent se calme ou lorsqu'elles sont entraînées par la pluie.

Les particules dont la taille varie de 2,5 à 10 µm sont entièrement éliminées par sédimentation gravitationnelle ; leur durée de vie atmosphérique est de quelques heures à quelques jours. Les PM<sub>2,5</sub> demeurent fréquemment en suspension dans l'atmosphère plusieurs jours, voire semaines, avant de tomber au sol sous forme de dépôt sec ou d'y être entraînées par les précipitations [40].

### **1.2.2 Agriculture et émissions de poussières**

La fumée produite par le brûlage des mauvaises herbes et de la paille constitue une source de poussières d'origine agricole. Mais c'est principalement pendant les travaux des champs que les poussières sont injectées dans l'air, lors d'épisodes localisés d'érosion, comme indiqué dans le tableau 1 ci-dessous. L'impact des activités agricoles sur l'émission de poussières ne doit pas être négligé car, comme indiqué dans [38], l'érosion due au vent uniquement a lieu seulement quelques jours par an, alors que celle due au travail régulier des agriculteurs constitue une source quasi permanente.

D'après le rapport du Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) [31], le tableau récapitulatif suivant pour la France métropolitaine peut être construit (données février 2003) :

	Toutes activités	Agriculture			
	Emissions totales en 2001 (en kt)	Contribution des cultures	Contribution des autres sources de l'agriculture	Contribution de l'élevage	Total agriculture
Particules totales en suspension	1510	30%	3,9%	2,6%	36,5%
PM <sub>10</sub>	550	18%	7%	3,1%	28,1%
PM <sub>2,5</sub>	303	7,8%	10%	1,3%	19,1%

**Tableau 1. Proportion des émissions de poussières émises par les différentes activités agricoles, par rapport aux émissions totales en France métropolitaine en 2001.**

Les cultures représentent donc la source principale d'émission de poussières agricoles. D'après le tableau 1, parmi les particules émises par l'agriculture, celles qui sont les plus nombreuses sont les PM<sub>10</sub>.

La figure 1 ci-après présente les émissions de poussières en France métropolitaine selon les différents types d'activités agricoles. Il est à noter que les émissions de poussières sont globalement constantes au cours du temps ainsi que la proportion poussières totales – PM<sub>10</sub> – PM<sub>2,5</sub>, quel que soit le type de pratique agricole qui les émet.

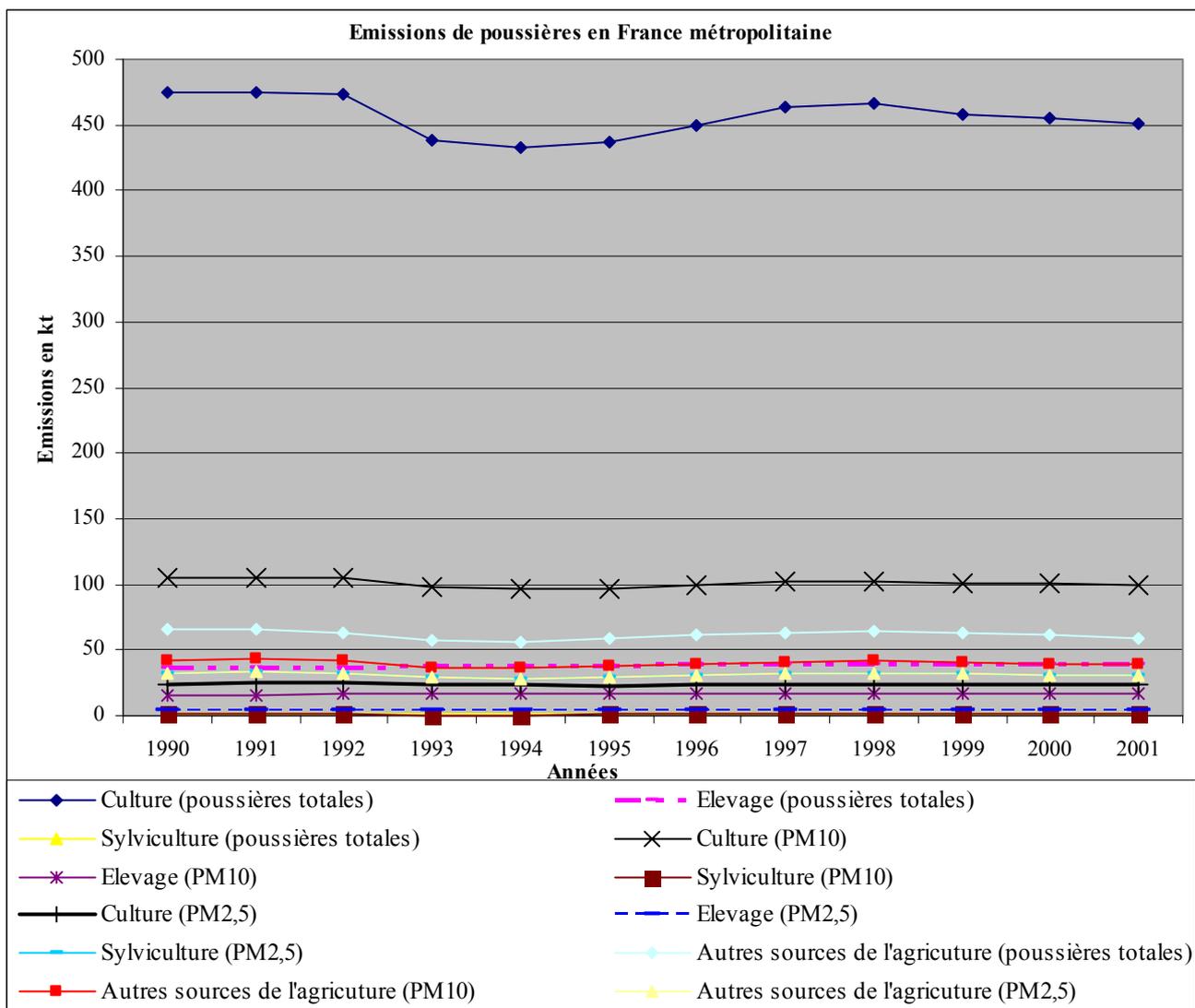


Figure 1. Emissions de poussières en France métropolitaine selon les différents types d'activités agricoles (données CITEPA) [32].

Ainsi, l'émission moyenne (calculée de 1990 à 2001) générée par les activités concernant les cultures est de 456 kt par an de poussières totales, 101 kt par an de PM<sub>10</sub> et 24 kt par an de PM<sub>2,5</sub>.

### 1.3 Différentes travaux agricoles et émissions de poussières

Une étude réalisée en Finlande [33] a eu pour but de mesurer les concentrations en poussières totales dans des exploitations agricoles de 1980 à 1982. La plupart de ces mesures sont faites à l'extérieur des bâtiments, du printemps à l'automne, dans la zone d'air respiré.

Type d'activité	Concentration en poussières totales (mg/m <sup>3</sup> )		
	Moyenne	Minimum	Maximum
Labours	2,2	0,5	4,7
Hersage	14,0	1,5	43,0
Semences	7,7	1,4	37,6
Passage de rouleaux	18,2	2,3	60,2
Mise en balles	9,9	7,5	13,8
Fenaison	4,4	0,5	12,3
Battage	4,0	0,5	9,2

**Tableau 2. Concentrations de poussières totales en mg/m<sup>3</sup> d'air selon divers travaux agricoles [33].**

Les résultats de l'étude montrent que les concentrations en poussières durant les labours sont occasionnellement élevées ; par contre les concentrations moyennes durant le hersage et le passage de rouleaux dépassent la valeur limite de référence de 10 mg/m<sup>3</sup> finlandaise pour les poussières inorganiques. La concentration moyenne durant la mise en balles est supérieure à la valeur limite de référence de 5 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières organiques. Pendant le battage, elle excède occasionnellement les limites.

Une étude réalisée en Pologne [34] a consisté à mesurer l'exposition de fermiers aux poussières agricoles selon les différentes activités effectuées. Le tableau 3 suivant présente les résultats obtenus pour le travail des cultures.

Type d'activité	Intervalles de concentrations en poussières	
	Totales (mg/m <sup>3</sup> )	Respirables (mg/m <sup>3</sup> )
Labours de printemps	7,7 – 23,8	1,0 – 3,1
Labours après moisson	14,5 – 81,2	1,9 – 10,8
Hersage	11,1 – 26,1	1,1 – 2,5
Culture du sol	5,1 – 15,7	0,5 – 1,6
Travail avec une herse à disques	3,1 – 13,0	0,3 – 1,3
Passage de rouleaux	4,7 – 21,6	1,2 – 5,5
Récolte mécanique des cultures	4,5 – 31,8	0,7 – 5,2
Récolte manuelle des cultures – désherbage	3,3 – 16,8	0,5 – 2,4

Fertilisation	4,4 – 17,2	0,3 – 1,2
Fertilisation avec fertilisants naturels	4,1 – 7,2	0,2 – 0,4
Semences	5,6 – 11,3	0,4 – 0,9
Plantations de pommes de terre	7,2 – 28,00	0,5 – 2,1
Semences et plantations manuelles	4,8 – 11,5	0,2 – 0,4
Moisson des céréales	31,7 – 72,9	3,9 – 8,8
Moisson de la paille	4,0 – 17,9	0,3 – 1,5
Coupe du fourrage vert avec faucheuse	2,7 – 6,3	0,4 – 0,9
Fenaison, ratissage	3,5 – 7,8	0,3 – 0,6
Pressage du foin	5,3 – 8,4	0,4 – 0,7
Bêchage des pommes de terre	7,5 – 30,6	0,9 – 3,8
Moisson manuelle et tri des légumes	4,1 – 10,1	0,2 – 0,5

**Tableau 3. Concentrations totales et respirables de poussières selon les activités agricoles [34].**

Les conclusions de cette étude indiquent que bien que les intervalles de concentrations en poussières soient larges, il apparaît que généralement la fraction respirable représente plus de 10% de la fraction totale. L'étude réalisée dans l'ouest canadien [36] présente quant à elle un résultat différent : la fraction respirable (particules dont le diamètre est inférieur à 5 µm) dans la zone irriguée représente 50% ou plus de la masse des poussières émises.

Enfin une étude réalisée en Californie [35] fournit d'autres valeurs. Cette étude présente l'avantage d'avoir été réalisée dans un site fermé, ce qui limite les mouvements des particules. L'agriculture de cette vallée du Sacramento est par contre très intensive.

Type d'activité	Concentration en poussières respirables (mg/m <sup>3</sup> )		
	Moyenne	Minimum	Maximum
Fertilisation	0,79	0,18	2,45
Semences du maïs	1,02	0,30	1,86
Moisson du blé	1,04	0,80	1,64
Arrachage mauvaises herbes	1,09	0,02	4,41
Passage des disques	4,05	0,28	10,56
2 <sup>ème</sup> et 3 <sup>ème</sup> passages des disques	4,94	1,14	11,55
Récolte des tomates	4,34	1,57	7,74
Moisson du maïs	5,63	2,23	9,72
Aplanissement du sol	10,29	1,73	19,74

**Tableau 4. Concentrations en poussières respirables selon les activités agricoles [35].**

De manière générale, une comparaison des mesures effectuées dans ces 3 études [33], [34], [35] montre que la préparation des champs constitue l'activité qui génère le plus de poussières : on peut citer le passage de disques et de rouleaux, le hersage, l'aplanissement du sol.

Les labours engendrent normalement beaucoup de poussières ; les valeurs obtenues dans l'étude finlandaise [33] sont très inférieures à celles mesurées dans des cas similaires en Suède et en Allemagne. Parmi les études réalisées en Allemagne, celle réalisée au nord-ouest du pays, près des Pays-Bas [38], montre que la production de poussières due à des labours prolongés est 6 fois plus importante que celle due à l'érosion naturelle.

On peut ensuite citer la récolte mécanique, telle que la moisson des céréales et de la paille, et enfin la mise en balles, comme activités émettant le plus de poussières. Les concentrations maximales de poussières résultent d'une interaction sol/machine et culture/machine [36].

Il en résulte que les concentrations moyennes respirables pour les personnes les plus exposées (agriculteurs) lors de ces fortes émissions peuvent se situer entre 1 et 10 mg/m<sup>3</sup>.

Les activités qui génèrent globalement le moins de poussières sont la fertilisation des sols, le battage, la fenaison, les semences, le ratissage et les activités manuelles (récolte, plantation, moisson).

#### **1.4 Influence des conditions environnementales**

Les conditions dans lesquelles sont effectués les travaux agricoles influent sur l'émission de poussières.

Dans l'étude [35] réalisée en Californie, la concentration en particules a été corrélée à diverses variables (température de l'air, humidité du sol, vitesse du tracteur, vitesse du vent...) considérées comme indépendantes. Il en résulte que la concentration de poussières émises est fortement corrélée à la température de l'air (plus la température est faible et plus l'émission est faible), à l'humidité du sol (plus le sol est humide et plus l'émission est faible), à l'effet du vent (plus le vent est faible et plus l'émission est faible) et à la vitesse du tracteur (plus la vitesse est faible et plus l'émission est faible).

Une étude réalisée dans l'ouest canadien [36] établit une comparaison entre l'émission de poussières dans une zone où l'irrigation est peu développée et une zone où les agriculteurs irriguent beaucoup. Dans la région peu irriguée, il y a un pic des concentrations en poussières au printemps et à l'automne ; dans la région irriguée, le pic du printemps est avancé d'un mois et celui de l'automne est atténué. Les niveaux des pics en particules totales ne sont quant à eux pas affectés par l'irrigation : ils restent les mêmes pour les 2 régions, environ 140 – 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'étude [44], qui établit un modèle de simulation d'émissions de poussières, relate la même corrélation en ce qui concerne l'humidité du sol et l'émission de poussières que précédemment [35] : plus le sol est humide, plus la quantité de poussières émises est faible. Dans les résultats concernant la concentration en  $\text{PM}_{10}$  selon l'humidité du sol [46], il y a une nette diminution des émissions de poussières lorsque l'humidité augmente. Avec des sols grossiers, la concentration en  $\text{PM}_{10}$  passe d'environ 400  $\text{mg}/\text{m}^3$  dans un sol ayant 3% d'humidité à moins de 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  dans un sol ayant 8% d'humidité.

D'après [37], la pluie permet un abattement de la poussière dans les grandes villes ; même si les caractéristiques de ces poussières sont différentes de celles générées par le milieu agricole, l'abattement observé mérite d'être considéré. En grande ville, par temps sec, la concentration en poussières courante est de 20 – 25  $\text{mg}/\text{m}^3$ , et après la pluie elle passe à 5 – 10  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Mais en contrepartie l'humidité favorise le développement des moisissures et donc la proportion de la fraction organique dans les poussières émises [45]. De plus, des microorganismes tels que les *Actinomycètes thermophiles*, se développent dans des régions à forte pluviométrie printanière [33]. C'est dans ces régions que l'on rencontre le plus d'affections de poumon de fermier (voir partie « Poussières agricoles et effets sur la santé »).

Bien qu'une humidité du sol plus importante permette de diminuer l'émission de poussières, la texture du sol semble jouer un rôle [46]. Par exemple, lorsqu'il s'agit de sols à la texture très fine, pour une humidité du sol identique, la quantité de  $\text{PM}_{10}$  émise est beaucoup plus importante que dans le cas d'un sol grossier. Dans le cas d'un sol grossier,

pour une humidité égale à 3%, elle est de 400 mg/m<sup>3</sup> environ alors que dans le cas d'un sol fin, elle est de 800 mg/m<sup>3</sup>. On obtient une diminution de la concentration en poussières jusqu'à 25 mg/m<sup>3</sup> pour une humidité du sol égale à 13% dans le sol fin et 6% dans le sol grossier.

Les mesures faites dans une étude réalisée en Allemagne [38], indiquent que la concentration totale de poussières passe de 20 – 30 µg/m<sup>3</sup> à 85 – 120 µg/m<sup>3</sup> environ lorsqu'il y a beaucoup de vent ; mais aucune précision n'est donnée sur la vitesse atteinte par celui-ci. Par contre sa valeur moyenne est de 2,9 m/s et il a plu 42 % des jours sur lesquels s'est réalisée l'étude. L'étude [43] confirme ce phénomène : la quantité de poussières émises dans une zone humide et peu ventée d'Argentine est bien moindre que dans une autre zone très ventée. D'après [44], les émissions de poussières débutent quand la vitesse de friction du vent<sup>1</sup> dépasse 0,2 m/s (Iversen and White, 1982).

Donc, plus un sol est humide (grâce aux pluies ou à l'irrigation) et possède une texture grossière, plus la température et le vent sont faibles, et enfin plus les appareils agricoles travailleront lentement, et moins l'émission de poussières sera importante. Cependant, bien des activités concernant les cultures s'effectuent par temps chaud et sec (moissons, passage de disques, hersage...) et alors l'émission de poussières est inéluctable. Les contraintes temporelles imposent aussi au personnel agricole de travailler le plus rapidement possible.

## 2 CARACTÉRISATION DES POUSSIÈRES AGRICOLES

### 2.1 Caractérisation des poussières émises

Le sol agricole est à l'origine principalement de la formation de particules ayant un diamètre aérodynamique compris entre 2,5 et 10  $\mu\text{m}$  (particules grossières) [49] [40].

#### 2.1.1 Les poussières minérales

##### A) Origine

L'étude à Lublin en Pologne [34] montre que le sol est la source primaire de la fraction minérale de la poussière. Cette fraction minérale provient de l'altération des roches locales et des produits chimiques inorganiques introduits par l'homme dans le sol lors de la culture et l'entretien des récoltes.

##### B) Composition principale

L'analyse minéralogique des poussières montre que celles-ci contiennent des minéraux usuellement rencontrés dans les sols. Les éléments de la croûte terrestre sont riches en oxydes de silicium, en aluminium, en fer et en calcium [40].

La terminologie commune de la silice est  $\text{SiO}_2$ . Elle s'applique à plusieurs composés dont l'unité structurale est le tétraèdre  $\text{SiO}_4$ - [41] [29]. C'est l'organisation spatiale de ces tétraèdres qui va définir la structure amorphe ou cristalline des composés, responsable en partie de leur nocivité. A l'inverse des cristaux de silice, les silices amorphes sont considérées comme peu nocives. La famille des silices cristallines comporte les variétés suivantes : quartz- $\alpha$  et  $\beta$ , tridymite- $\alpha$ ,  $\beta_1$  et  $\beta_2$ , cristobalite- $\alpha$  et  $\beta$ , moganite, coesite et stishovite. Ces deux derniers composés sont considérés comme sans effet sur la santé.

Dans le cas de l'ouest canadien [36], on retrouve dans les poussières les minéraux suivants, dont une large part sont silicatés : quartz, feldspath<sup>2</sup>, calcite<sup>3</sup>, illite<sup>4</sup>, kaolinite<sup>5</sup>, chlorite<sup>6</sup>, montmorillonite<sup>7</sup> et anhydrite<sup>8</sup>. A cela s'ajoutent une quantité variable de dolomite<sup>9</sup>, pyrite<sup>10</sup>, halite<sup>11</sup>, smectite<sup>12</sup>, gypse<sup>13</sup>... Le contenu en quartz est très variable (0,85 – 17,5% de la masse) d'un échantillon à l'autre ; par contre celui-ci n'a pas été considéré comme significativement différent selon le niveau d'irrigation.

L'étude réalisée en Finlande [33] montre que la concentration en quartz dans les poussières inorganiques fines (diamètre aérodynamique inférieur à 5  $\mu\text{m}$ ) varie de 11 à 66%.

La proportion des particules fibreuses (particules dont le rapport des dimensions est au minimum de 3:1) est très faible (2,9%). Ces particules sont majoritairement composées de silicone<sup>14</sup>, rutile<sup>15</sup>, silicates d'aluminium (kaolin<sup>16</sup>, mullite<sup>17</sup>), silicates de magnésium et

muscovite<sup>18</sup>. Enfin des fibres dont les caractéristiques physiques et chimiques sont semblables à celles de l'amiante ont été très rarement identifiées.

Dans les régions d'Europe du Nord, le pourcentage de limons et d'argiles est considérable dans la couche supérieure du sol [38]. Les composés minéraux les plus fréquemment rencontrés dans les sols étudiés en Pologne (sols bruns et podzols<sup>19</sup>) sont les silicates, les minéraux argileux (dont les aluminosilicates), les oxydes de fer et d'aluminium, et les carbonates de calcium [34].

Donc les éléments constitutifs des poussières minérales sont principalement composés de silice, sous différentes formes. Il est à noter que le contenu en quartz du sol représente moins de 20% des poussières totales mais que dans les fines il peut atteindre des valeurs beaucoup plus élevées (66%).

### C) Caractéristiques

Les poussières minérales sont de très petite taille ; elles ont un diamètre médian voisin de 2 - 3  $\mu\text{m}$  [36]. Une autre étude spécifie que la fraction argileuse est constituée de particules de taille comprise entre 2 et 20  $\mu\text{m}$ , qui sont principalement des silicates [34]. Les dimensions des particules fibreuses varient de 1,4 à 7,5  $\mu\text{m}$  en longueur pour 0,08 à 1,5  $\mu\text{m}$  en largeur. Le rapport des dimensions varie de 5,5:1 à 27:1 [36].

Ces caractéristiques sont influencées par la pratique de l'irrigation. Celle-ci semble influencer sur la morphologie des particules [36] : celles de la zone irriguée sont plus petites et arrondies, et la taille est plus uniforme. L'irrigation entraîne une sédimentation différentielle, les particules les plus fines se déposent en surface. Les particules de la zone non irriguée sont légèrement irrégulières de forme. De plus, ces poussières émises dans la zone irriguée contiennent une fraction soluble dans l'eau plus importante : cela provient de l'accumulation des sels dans le sol supérieur des terrains irrigués ; ce sol supérieur est celui qui est mis en suspension et qui entre dans la composition des poussières.

Par contre, l'irrigation ne semble pas influencer sur le diamètre médian des poussières minérales : en zone irriguée, le diamètre médian est de 2,5  $\mu\text{m}$  et celui dans la zone non irriguée est de 3,4  $\mu\text{m}$ . La différence n'est pas statistiquement significative.

La vitesse de dépôt des particules minérales est estimée à 0,1 m/s [38].

## 2.1.2 Les poussières organiques

### A) Origine

La fraction organique provient de la désagrégation de plantes (après moisson), de fertilisants organiques (compost, fumier, déchets verts), ainsi que de la décomposition de la micro et macrofaune du sol [34].

### B) Composition

La composition de la poussière organique est très hétérogène. C'est un mélange complexe de matière végétale, de pollens, de déjections d'animaux, d'insecte, de résidus de rongeurs et d'oiseaux, de plumes, de micro-organismes (virus, bactéries, nématodes, spores<sup>20</sup> [38]), de toxines bactériennes et fongiques, de pesticides et d'antibiotiques. De manière générale, les composants majoritaires sont : les microorganismes, les dérivés bactériens et les pneumallergènes [26] [34].

Dans l'étude allemande [38], les particules organiques sont principalement composées de pollen. Mais dans une étude suisse [39], il est indiqué que la taille des grains de pollen est la plupart du temps supérieure à 10  $\mu\text{m}$  ; ils ne contribuent donc que faiblement à la charge de  $\text{PM}_{10}$ . Par contre, la taille des fragments de pollen et des spores peut être inférieure à 10  $\mu\text{m}$ .

Parmi les principaux groupes de pollens observés sur le territoire français, beaucoup proviennent de la végétation naturelle, c'est-à-dire hors cultures agricoles : les bétulacées viennent du bouleau, du charme et du noisetier ; les fagacées sont les pollens du châtaignier, du chêne et du hêtre ; les salicacées proviennent du saule et du peuplier... Certains pollens sont quant à eux spécifiques des graminées fourragères et céréalières, telles que l'avoine, le dactyle, la fétuque, la flouve, l'avoine, le blé, le seigle, le maïs et l'orge [45].

Les actinomycètes thermophiles tels que *rectivirgula Saccharaopolyspora* et les moisissures fongiques notamment les espèces du genre *Aspergillus* sont souvent recherchés car mis en causes dans des phénomènes de sensibilisation [26]. Il est à noter la présence d'un composant significatif de la poussière de grain : l'endotoxine bactérienne. Elle représente la paroi externe des bactéries Gram négatif et contient une partie toxique, le lipide A, et une partie polysaccharidique hydrophilique spécifique à chaque bactérie Gram négatif [48].

D'autres produits microbiens sont retrouvés dans les poussières organiques tels que les (1.3) bêta-d-glucanes des espèces fongiques, les exotoxines des bactéries gram positives et les superantigènes des activateurs de cellules T.

### C) Caractéristiques

Les poussières organiques ont une densité plus faible que les poussières minérales [38] ; leur vitesse de dépôt est 4 fois plus faible que celle des particules minérales, elle est estimée à 0,025 m/s. Le diamètre médian de ces particules serait au-dessous de 20 µm et de diamètre moyen des poussières compris entre 5 et 43 µm. Cette valeur est donnée pour les poussières totales mais dans l'étude en référence [38], les poussières organiques mesurées sont majoritaires.

Les pollens ont une taille comprise entre 2 et 200 µm.

## 2.2 Proportion des fractions organiques et minérales en fonction des travaux agricoles

Comme le montre le tableau 5 la fraction minérale provient principalement de la culture et de l'entretien des cultures. Selon l'étude réalisée en Finlande [33], les poussières sont principalement inorganiques (70 – 95%). Quand à la moisson des céréales elle émet des poussières dont la composition est un mélange des 2 fractions avec une prédominance de poussière d'origine organique. La proportion de SiO<sub>2</sub> retrouvée pour les différentes activités varie en moyenne de 30 à 60%.

Travaux agricoles	Fraction organique (%)	Fraction minérale (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
Culture des sols	1,2 – 5,7	<b>94,3 – 98,9</b>	28,2 – 65,2
Entretien des cultures	3,0 – 6,2	<b>93,8 – 97,0</b>	28,0 – 61,0
Récolte de pommes de terre	6,4 – 10,0	<b>90,0 – 93,6</b>	27,0 – 60,8
Moisson de blé	48,0 – 82,0	17,0 – 52,0	5,3 – 34,3
Moisson de seigle	61,0 – 72,0	28,0 – 39,0	8,3 – 24,7

Tableau 5. Pourcentage de fraction organique, minérale et niveau de SiO<sub>2</sub> en fonction des travaux agricoles [34].

Les niveaux de SiO<sub>2</sub> les plus élevés sont observés lors de la récolte manuelle ou mécanique des cultures et lors de leur entretien [34]. Les fractions de SiO<sub>2</sub> respirable et totale présentent des valeurs similaires. Les fractions de SiO<sub>2</sub> respirable sont élevées pendant les récoltes, l'entretien et le traitement des cultures. On peut donc dire que la poussière agricole ne présente pas une composition uniforme mais qu'elle varie en fonction de l'activité agricole.

Cependant, d'après [38], la fraction de poussières organiques serait majoritaire et relativement constante au cours du temps (15 – 25 µg/m<sup>3</sup>) ; les labours multiplient la concentration en poussières minérales par 3 à 6 (passage de 5 – 10 µg/m<sup>3</sup> à 30 µg/m<sup>3</sup>).

L'irrigation paraîtrait avoir aussi une influence sur la proportion de matières minérales et organiques. L'étude réalisée dans l'ouest canadien [36] montre que les poussières de la zone irriguée contiennent une fraction organique plus importante que les poussières de la zone peu irriguée. Cependant, ce résultat doit être nuancé car il existe une différence dans l'utilisation des fertilisants qu'il faut prendre en compte : dans la zone irriguée, ce sont des fertilisants organiques qui sont utilisés. Ce résultat peut aussi être influencé par la différence entre les cultures mises en œuvre et enfin la différence entre la quantité d'humus présente dans les deux types de sols, irrigué et non irrigué.

### **2.3 Dynamique des poussières**

Une étude réalisée non loin de Cloppenburg [38], au nord-ouest de l'Allemagne, près des Pays-Bas, s'est attachée à déterminer la dynamique des poussières. La zone d'étude étant essentiellement agricole et le paysage relativement plat (pentes < 1% et différences altimétriques faibles), il est ainsi possible d'évaluer le comportement dynamique des poussières sans biais sur la provenance de celles-ci ou les interactions avec le paysage.

Il résulte de cette étude qu'il y a une forte stratification verticale des poussières au printemps et à l'automne : la concentration de poussières est plus importante dans les strates inférieures de l'air, avec les particules les plus grosses dans cette strate. A l'inverse, la concentration de poussières est significativement moins importante dans la partie supérieure (les mesures ont été faites jusqu'à 10 mètres de hauteur). En été et en hiver, périodes qui correspondent à des quantités de poussières émises très réduites, il n'y a pas de stratification : des quantités égales de poussières sont transportées à toutes les altitudes. La stratification des poussières serait principalement induite par les poussières minérales. La poussière organique quant à elle est bien mélangée dans l'atmosphère étudiée (à cause de sa densité plus faible).

Par contre, l'étude [43] mentionne les travaux de Drees et al (1993) et Nickling (1983), qui trouvent qu'à partir de 2 mètres de hauteur, les poussières ont une taille uniforme.

Le flux horizontal de poussières est généralement de  $30 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ , le maximum relevé dans cette étude étant de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$  (mois de mai 1999). Le flux horizontal de poussières minérales estimé est généralement faible (<  $10 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ), à l'exception de 2 pics (avril - mai 1999 : >  $50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$  et octobre :  $25 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ ).

Après leur transport, les poussières se déposent. Les dépôts les plus importants ont été remarqués lorsque les émissions sont les plus importantes (printemps et automne), avec

un dépôt moyen de poussières totales pour 1999 estimé à 0,14 g/m<sup>2</sup>j. Le dépôt de poussières organiques est considéré comme constant toute l'année (0,03 g/m<sup>2</sup>j) ; par contre le dépôt de poussières minérales peut atteindre 0,15 – 0,30 g/m<sup>2</sup>j pendant les périodes d'émissions importantes.

## 2.4 Bruit de fond

Cette dynamique des poussières conduit à leur déplacement. Il est bien évident que le bruit de fond constitué par ces poussières sera inférieur aux valeurs d'émission sur la zone cultivée. Par exemple, dans l'étude [46], il est indiqué que la concentration en argile dans les PM<sub>10</sub> mesurées à 90 mètres du lieu d'émission diminue d'environ 200 à 50 µg/m<sup>3</sup> et que la concentration en silt<sup>21</sup> passe de 1300 à 200 µg/m<sup>3</sup> à 225 mètres du lieu d'émission.

Quelques études et rapports indiquent des valeurs du bruit de fond attribué aux poussières agricoles.

Source – lieu d'étude	Bruit de fond estimé
[36] – Ouest du Canada	40 – 80 µg/m <sup>3</sup> (niveaux maximums atteints durant activités agricoles : 140 – 160 µg/m <sup>3</sup> )
[37] – France	0,25 – 4 mg/m <sup>3</sup>
[38] – Allemagne	20 – 30 µg/m <sup>3</sup> (à 2 m de hauteur)
[49] – Canada	11 – 17 µg/m <sup>3</sup> (années 1990)
[40] – Est du Canada (sites ruraux avec circulation)	4,1 µg/m <sup>3</sup> (Ontario) 6,1 µg/m <sup>3</sup> (Québec)
[40] – Ouest des Etats-Unis	4 – 8 µg/m <sup>3</sup> (PM <sub>10</sub> ) 1 – 4 µg/m <sup>3</sup> (PM <sub>2,5</sub> )
[40] – Canada	2,9 – 12 µg/m <sup>3</sup> ; moyenne = 8,8 µg/m <sup>3</sup> (PM <sub>10</sub> ) 1,7 – 3,8 µg/m <sup>3</sup> ; moyenne = 3,2 µg/m <sup>3</sup> (PM <sub>2,5</sub> )
[39] – Suisse (zone rurale)	15 – 25 µg/m <sup>3</sup> (PM <sub>10</sub> ) (valeurs moyennes annuelles)

Tableau 6. Bruits de fond relevés dans la littérature.

## 2.5 Remarques

De manière générale, il est important de souligner que les études mettent en évidence un manque de connaissances à propos de la caractérisation des poussières agricoles et urbaines, surtout au niveau européen. Les études réalisées dans d'autres pays que ceux de l'Europe sont difficilement extrapolables car les sols sont peut-être différents, ainsi que les techniques agricoles et l'aménagement du territoire [38]. Les

particules responsables de la pollution atmosphérique urbaine sont quant à elles beaucoup mieux connues.

De plus, les poussières agricoles peuvent être responsables du transport d'autres éléments. Les argiles peuvent gonfler et ainsi présenter des vides susceptibles de contenir des particules organiques et des pesticides. Cependant peu d'informations existent sur la nature et les quantités de particules et de pesticides ainsi transportés. Le transport par des particules minérales est un phénomène connu, mais l'importance de ce problème dans la réalité de l'exposition à la poussière chez les agriculteurs reste mal connue aujourd'hui [48] [38].

Bien qu'anecdotique et ayant eu lieu hors de nos frontières européennes, le cas du virus Junin qui s'est transmis via les poussières agricoles permet d'entrevoir l'importance revêtue par ces poussières. Responsable de la "fièvre hémorragique d'Argentine", il a été identifié en 1958 [51]. La maladie est apparue à la fin des années 40 à l'est de Buenos Aires, dans la région de la pampa. A l'époque, de grandes surfaces de culture de maïs avaient été développées, avec pour conséquence un changement d'écosystème qui a favorisé la pullulation de certains rongeurs (*Callomys musculinus*, *Callomys laucha*), qui se trouvent être des réservoirs du virus. Les contacts se sont donc multipliés entre ces rongeurs réservoirs et les ouvriers agricoles ayant inhalé des poussières souillées par les excréta des rongeurs, au moment où ils récoltaient le maïs à la main. Aujourd'hui, avec la mécanisation, ce sont les conducteurs de machines agricoles qui sont en première ligne car outre les poussières en suspension, ils inhalent également un aérosol de sang infectieux lorsque les moissonneuses broient les rongeurs... 3000 cas d'infections ont été rapportés en 1964. Un vaccin a été développé en Argentine et largement administré à la population de la région à risque.

### **3 POUSSIÈRES AGRICOLES ET EFFETS SUR LA SANTÉ**

Il existe plusieurs études sur les pathologies liées à l'exposition aux poussières agricoles mais la quasi-totalité de ces études ont été réalisées à l'étranger, aux Etats-Unis notamment, et en milieu professionnel. Aucune ne semble avoir été réalisée en France ou sur des populations autres que les travailleurs.

D'après la littérature, l'exposition aux poussières agricoles peut causer de nombreuses maladies. Mais selon leur composition, organique ou minérale, elles ne causent pas le même type de pathologies.

Dans un premier temps, nous essaierons de comprendre en quoi les poussières peuvent être dangereuses, puis nous expliciterons les dangers liés à chacune de ces deux catégories de poussières (organiques et minérales) en présentant les maladies qui leur sont associées.

#### **3.1 En quoi les poussières peuvent-elles être dangereuses pour l'homme ?**

Les particules en suspension dans l'air sont inhalées au cours de la respiration et déposées en différentes régions des voies respiratoires, qui constituent ainsi l'accès principal à l'organisme. La probabilité de passage à travers le nez ou la bouche et la probabilité de dépôt dépendent de nombreux paramètres [21] :

- physiques (vitesse et direction du vent extérieur, diamètre aérodynamique des particules) ;
- anatomiques (calibres bronchiques, angles de ramification) ;
- physiologiques (type de cycle respiratoire, volume courant, fréquence respiratoire).

##### **3.1.1 La pénétration des particules dans l'organisme**

Les particules, comme pratiquement tous les polluants de l'air, sont absorbées par l'appareil respiratoire de l'homme [23].

Ce sont les poussières dites respirables<sup>22</sup>, c'est-à-dire d'un diamètre inférieur à 10 µm et de forme aérodynamique, qui sont les plus dangereuses (voir ci-après). En effet ces particules pénètrent plus profondément dans les poumons et peuvent atteindre les alvéoles, alors que les particules plus grosses sont retenues au niveau de la trachée ou des bronches.

La figure 2 présente la pénétration des particules dans l'appareil respiratoire.

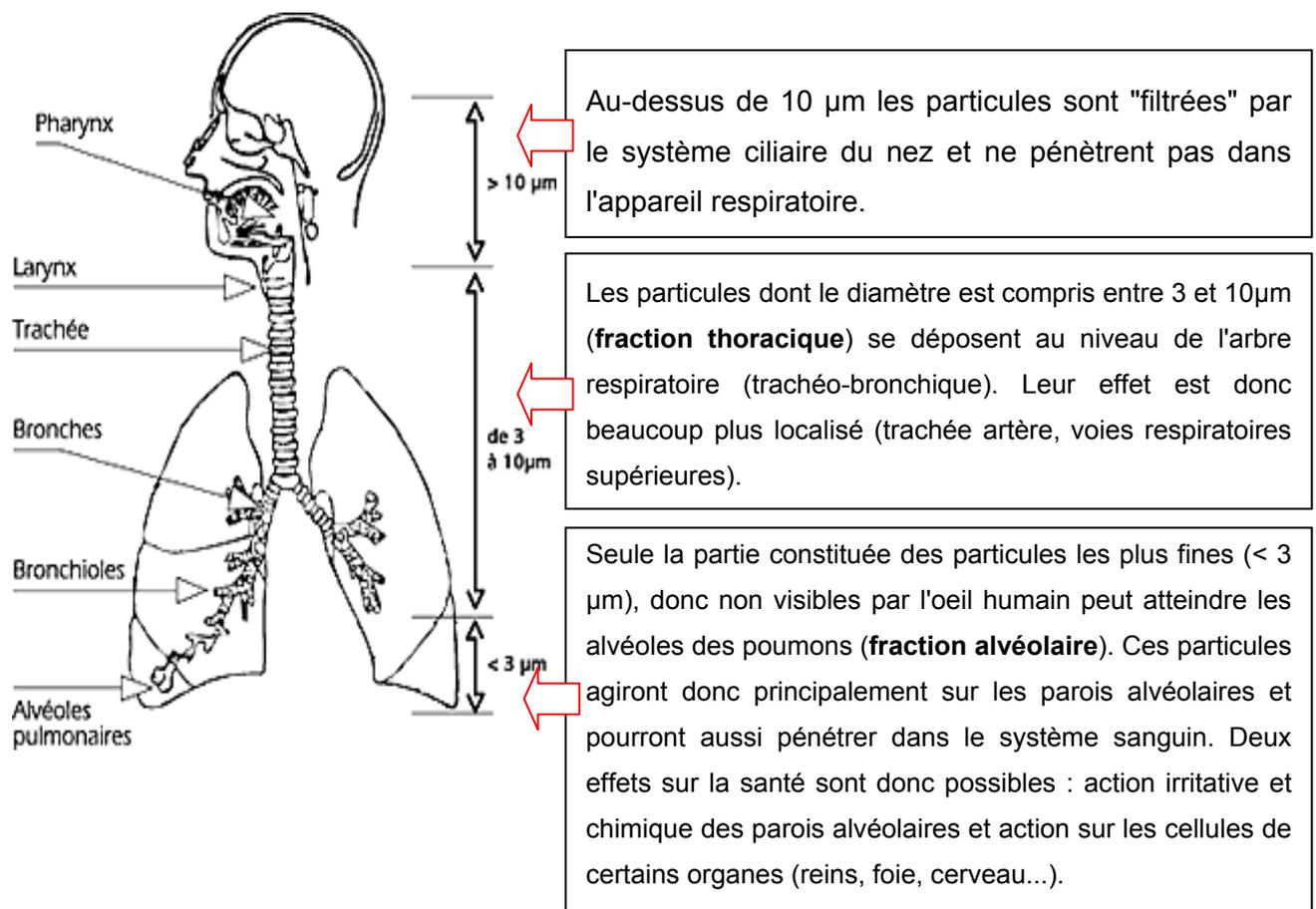


Figure 2. Appareil respiratoire et pénétration des particules.

Les particules les plus grosses sont visibles à l'oeil nu et provoquent souvent une gêne sensorielle. Hormis quelques cas assez rares, ces particules ne sont pas les plus inquiétantes pour la santé. En conséquence, la fraction alvéolaire<sup>23</sup> représente la fraction la plus dangereuse pour la santé humaine du fait de la pénétration profonde des particules les plus fines dans les voies aériennes inférieures.

Parmi les particules fines on distingue depuis quelques années les particules ultrafines qui sembleraient les plus nocives. En effet les particules ultrafines, du fait de leur taille (diamètre <100 nm), ont non seulement la faculté d'atteindre les ramifications les plus profondes des voies respiratoires mais ont des grandes facultés à franchir les barrières épithéliales (alvéolaires ou intestinales) et passer dans la circulation générale sanguine [25].

Une autre de leur particularité est que, pour un volume inhalé équivalent, une particule de 5 µm équivaut à 12 500 particules de 100 nm représentant une surface 50 fois plus grande. Le nombre de ces très fines particules et leur grande surface spécifique augmentent d'autant les contacts avec les membranes et les molécules biologiques. Ces contacts, sources de radicaux, sont responsables, au moins en partie, de la toxicité des poussières qui possèdent un potentiel inflammatoire important, et ce pour des poussières qu'on pensait être « inertes » (silice amorphe...). Or l'inflammation est à l'origine de

nombreuses pathologies pulmonaires (silicose, fibrose...) consécutives à l'inhalation de poussières (voir partie suivante).

### **3.1.2 Dangersité en fonction du site de dépôt**

Le site de dépôt des particules est un paramètre très important dans l'expression de la toxicité des substances qu'elles contiennent [21]. En effet, le transfert des substances vers le sang dépend de l'état physique des particules, de leur temps de séjour dans les différents compartiments (bronches, alvéoles) et de leur solubilité dynamique dans les fluides biologiques en contact (mucus bronchique, surfactant alvéolaire, contenu des lysosomes des macrophages).

Ce temps de séjour dépend lui-même du site de dépôt en raison des mécanismes de clairance. Pour des particules solides déposées dans l'arbre trachéo-bronchique (fraction thoracique<sup>24</sup>), il est de l'ordre de quelques heures à quelques jours tout au plus, alors que dans la région alvéolaire non ciliée il se chiffre en mois, voire en année. Par ailleurs, certains effets induits localement par les particules sont très variables en intensité suivant les sites, comme par exemple les phénomènes d'irritation ou le développement d'une fibrose<sup>25</sup> qui concerne le poumon profond.

### **3.1.3 Elimination des particules dans l'organisme**

En règle générale, plus le diamètre des particules est petit, plus l'élimination pulmonaire par les bronches et les alvéoles est efficace. Cependant, l'élimination des particules par les poumons est un phénomène très lent [24].

Les particules de diamètre aérodynamique supérieur à 100  $\mu\text{m}$  sont arrêtées au niveau du nez et celles entre 20 et 100  $\mu\text{m}$  sont arrêtées dans la partie supérieure de l'arbre respiratoire : elles sont donc éliminées par filtration.

Les particules de diamètre aérodynamique compris entre 5 et 20  $\mu\text{m}$  peuvent atteindre la zone de conduction (de la trachée aux bronchioles terminales), elles vont pouvoir bénéficier d'une épuration mucociliaire rapide. Elles seront éliminées par des phénomènes naturels (toux, filtration par les cils de l'arbre respiratoire...).

Enfin, les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 5  $\mu\text{m}$  (et une faible fraction des particules de diamètre compris entre 5 et 10  $\mu\text{m}$ ) atteignent la zone d'échange : bronchioles respiratoires et alvéoles. Ces particules vont être phagocytées par les macrophages alvéolaires et, pour l'essentiel, être véhiculées vers l'interstitium pulmonaire puis être drainées vers le système lymphatique<sup>26</sup>. Ce processus dure plusieurs mois ou années. Une faible fraction est par ailleurs véhiculée vers la zone de conduction et rejoint le tapis mucociliaire bronchique.

## **3.2 Les dangers liés aux poussières organiques**

Les maladies respiratoires sont les maux les plus communément rencontrées chez les agriculteurs. Celles-ci sont causées par une pluralité de facteurs parmi lesquels l'inhalation de gaz toxiques, de vapeurs de solvants, de fumées, l'exposition à des agents infectieux, aux poussières organiques et inorganiques. Mais parmi ces causes, c'est l'exposition aux poussières organiques qui conduit majoritairement à des maladies respiratoires [3].

En effet les études s'accordent toutes à dire que le risque de développer une maladie respiratoire est beaucoup plus élevé (de l'ordre de trois fois plus élevé) chez les personnes exposées aux poussières respirables générées par l'agriculture. Les problèmes respiratoires sont dominés en terme de fréquence et de constance d'un secteur agricole à l'autre, par les atteintes bronchiques : bronchite chronique, obstruction chronique, et asthme [4].

Les auteurs distinguent deux types d'effets liés à l'inhalation de poussières organiques : des effets ponctuels aigus et des effets chroniques.

### **3.2.1 Effets ponctuels**

#### **A) Le Syndrome Toxique de la Poussière Organique**

Les effets aigus observés suite à une exposition ponctuelle ont été regroupés sous le terme de « Syndrome Toxique de la Poussière Organique » ou « STPO ». La fièvre des céréales, la fièvre de l'inhalation, la maladie des désensileurs, la fièvre du moulin sont des STPO.

Le STPO se définit comme un syndrome pseudo-grippal de brève durée (moins de 24h dans la moitié des cas, moins d'une semaine dans la quasi-totalité des cas), non allergique, non infectieux, semi-retardé (6 à 8h), survenant après une seule exposition, mais inhabituelle et massive à du matériel plus ou moins moisi [5].

Les premiers symptômes, qui apparaissent 4 à 12 heures après l'exposition, comprennent des brûlements aux yeux et à la gorge, des maux de tête et une toux. Ils sont suivis de symptômes grippaux (fièvre, toux, malaises, douleurs, etc.) qui durent de 24 à 72 heures. Passé ce délai, les symptômes disparaissent généralement. Cependant, une nouvelle exposition à de la poussière organique peut entraîner une rechute.

L'examen clinique en période aigue est le plus souvent normal de même que la radiographie des poumons et l'exploration fonctionnelle respiratoire [5]. En revanche on assiste souvent à une augmentation du nombre de leucocytes mais en général sans présence dans le sang d'anticorps spécifiques de la poussière [3].

D'après la littérature, de 10 à 40% des travailleurs exposés à de la poussière organique développeront un STPO. La prévalence chez les travailleurs du grain est de 10 à

35% [5]. Une étude chez les transporteurs de céréales a donné une prévalence de 35% chez les non-fumeurs et de 57% chez les fumeurs [6].

Les tâches favorisantes sont, entre autres, le maniement de matières moisies comme le grain, la paille, le foin, le déchargement des silos, particulièrement en milieu confiné.

Les agents responsables n'ont pas tous été identifiés. Deux marqueurs essentiels ont été retenus : les endotoxines et les spores totales. D'autres agents ont été proposés, comme les mycotoxines, le 1-3 glucane et le peptidoglycane des bactéries Gram positif [5].

#### B) Symptômes respiratoires non spécifiques

Les poussières agricoles peuvent entraîner des effets respiratoires qui se traduisent par des symptômes ORL et bronchiques d'allure non spécifique (irritation laryngée, obstruction nasale, conjonctivite, toux sèche). C'est le cas des particules organiques auxquelles on attribue ces manifestations regroupées parfois sous le terme anglo-saxon de « mucous membrane irritation ». La fréquence de ces troubles n'a jamais été évaluée précisément ; la toxicité à long terme est inconnue [4].

### 3.2.2 Exposition chronique

Les effets chroniques observés lors d'expositions prolongées aux poussières agricoles peuvent être regroupés sous le terme générique de « Pneumopathies d'Hypersensibilité ». La maladie du poumon du fermier, l'alvéolite allergique, en sont des exemples.

Les symptômes empirent généralement progressivement à chaque nouvelle exposition et peuvent aboutir à la bronchite chronique, à des difficultés respiratoires, une baisse de l'appétit et d'importantes réductions du volume pulmonaire et de la capacité de diffusion.

5 à 8% des personnes exposées à la poussière organique développent une pneumopathie d'hypersensibilité [3].

Selon les auteurs, la pneumopathie d'hypersensibilité peut désigner une maladie bien spécifique ou un terme générique englobant plusieurs maladies.

#### A) L'alvéolite allergique extrinsèque

Les alvéolites allergiques extrinsèques représentent un groupe de maladies pulmonaires induites immunologiquement, chez certains individus prédisposés, par l'exposition chronique et répétée à des poussières organiques. Le diagnostic repose sur un ensemble d'arguments, cliniques, radiologiques, et immunologiques chez des sujets exposés à des poussières organiques. La poursuite de l'exposition entraîne l'apparition d'une insuffisance respiratoire chronique irréversible.

Malgré leur notoriété, elles restent rares en France : 2 pour 100 000 habitants [7]. De plus elles sont rencontrées essentiellement en milieu d'élevage bovin et de production laitière, elles sont rares chez les agriculteurs céréaliers exclusifs [4].

Leur fréquence exacte est difficile à apprécier en raison de l'absence de critère diagnostique validé et standardisé.

## B) Le poumon de fermier

La maladie du poumon de fermier, ou encore la pneumopathie à précipitines, est la plus fréquente des alvéolites allergiques. Elle apparaît lors d'expositions répétées à des concentrations, mêmes faibles, de poussière organique.

Le poumon de fermier est une maladie allergique ordinairement causée par la respiration de poussières de foin moisi, mais bien d'autres poussières peuvent causer cette maladie, notamment les poussières de paille, de maïs, d'ensilage, de céréales, de grain et de tabac.

Réaction du système immunitaire aux bactéries ou aux champignons contenues dans la poussière (*Micropolyspora faeni*, *Thermoactinomyces vulgaris*, ou *Aspergillus* le plus souvent [8]), des symptômes grippaux se manifestent de 4 à 6 heures après l'exposition et durent de 12 à 24 heures. Les symptômes peuvent aussi comprendre l'essoufflement, une diminution du taux d'oxygène dans le sang, et des « râles » causés par la présence de fluides dans les poumons.

Il s'agit en fait d'une inflammation diffuse, du parenchyme pulmonaire, des bronches et des alvéoles, apparaissant chez les patients déjà sensibilisés, et causant l'essoufflement et une sensation générale de malaise, que cela soit soudainement ou graduellement. Une exposition soutenue peut causer des lésions pulmonaires permanentes, l'invalidité ou même la mort [8].

L'incidence du poumon du fermier n'est pas très bien documentée. Le poumon du fermier est plus répandu dans les régions où il fait humide au temps des moissons. Il est aussi plus courant dans les fermes laitières, surtout lorsque le foin et le fourrage ne sont pas distribués automatiquement. Les accès de cette maladie se produisent le plus souvent à la fin de l'hiver et au début du printemps, alors que le foin et le fourrage viennent des réserves.

Les études canadiennes [8] indiquent une incidence variable selon les régions et il semble qu'entre 2 et 10% des travailleurs agricoles soient atteints de la maladie. Dans certaines régions, des analyses de sang ont révélé que 20 à 40% des travailleurs agricoles étaient porteurs des anticorps de la maladie et auraient donc été exposés au moins une fois à de la poussière de moisissure.

En France la prévalence du poumon du fermier est estimée à 4370 cas sur 100 000 personnes à risque [9].

### C) La bronchite chronique

Plusieurs études épidémiologiques avec groupe contrôles et prise en compte des facteurs de confusion classiques, ont montré en milieu agricole, un excès important de bronchite chronique et plus modéré de trouble ventilatoire chronique [10-12].

La prévalence de la bronchite chronique en milieu agricole est variable selon le secteur agricole concerné et les caractéristiques de la population étudiée (âge, sexe et tabagisme). Le risque relatif par rapport aux groupes contrôles est presque toujours supérieur à 2 et peut atteindre 10 dans certains secteurs agricoles [12]. Ce risque est le plus élevé dans les secteurs agricoles où il existe une exposition importante aux particules organiques (poussières végétales et leurs microorganismes bactériens et fongiques). C'est notamment le cas des silos à grains. Une étude réalisée en Tunisie sur des céréaliers [13] a trouvé une prévalence de la bronchite chronique de 35% chez les travailleurs exposés contre 14% chez les non exposés. Il en est de même pour les anomalies obstructives (47% versus 15%). Les études transversales montrent en général une altération modérée mais significative des paramètres fonctionnels respiratoires (notamment les débits) chez les agriculteurs par rapport à des groupes contrôles ; mais les études longitudinales qui se heurtent à des difficultés méthodologiques et d'interprétation (effet du travailleur sain, effet apprentissage, modification de l'exposition et du statut tabagique...) sont peu nombreuses. Néanmoins la preuve d'un déclin accéléré des débits expiratoires et de la capacité vitale forcée chez les ouvriers des silos à grains [11] [14] apparaît acquise.

En France, la fréquence des bronchopathies chroniques est deux fois plus élevée en population agricole qu'au sein d'une population témoin (12% contre 6% d'après une étude de Pariente portant sur 500 sujets dans le Doubs).

### D) L'asthme

C'est la pathologie la plus connue. Sa définition est classique, caractérisée par une obstruction bronchique variable de plus de 12%, d'une hyperréactivité bronchique non spécifique prolongée et distante, et en réaction contre un antigène environnemental [5].

De nombreuses études épidémiologiques [11] [15-17], récemment revues, ont été réalisées dans divers secteurs agricoles, notamment chez les ouvriers des silos à grains. La plupart montrent un excès de symptômes d'asthme à type de sifflements ou d'oppression thoracique par rapport à une population témoin. Une des études portant sur 10600 sujets a donné une prévalence de 5,6% alors que la moyenne nationale est établie entre 2 et 4%. Mais elle peut atteindre 40%.

Ces symptômes respiratoires s'accompagnent d'une hyperréactivité bronchique non spécifique, mais sont mal corrélés avec l'atopie<sup>27</sup>. L'acquisition d'une hyperréactivité bronchique chez l'agriculteur au contact des poussières organiques a été clairement

démontrée, avec d'importantes variations saisonnières en fonction du type d'allergène en cause (période de la moisson chez les sujets sensibilisés aux céréales).

Cependant d'autres auteurs [26] disent que la prévalence de l'asthme chez les agriculteurs est généralement plus faible que dans la population générale. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les individus réellement asthmatiques ne supportant pas la poussière quittent la profession. De plus des études [27] suggèrent que les enfants élevés en milieu rural ont une prévalence plus faible que les autres car leur exposition précoce aux antigènes leur a permis de développer une protection à long terme contre les allergies.

### **3.3 Les dangers associés aux poussières minérales**

Le principal constituant dangereux des poussières minérales étant la silice (souvent sous forme de quartz), nous exposerons dans cette partie les effets d'une exposition à la silice.

Le quartz est un constituant solide souvent présent dans la plupart des poussières minérales naturelles. Les agriculteurs peuvent y être exposés lors de déplacement de masses de terre. Les particules de quartz respirables peuvent être inhalées et se déposer dans les poumons.

#### **3.3.1 Effets du quartz : essais sur des animaux**

D'après [29], le quartz provoque une inflammation cellulaire in vivo. Des études expérimentales à court terme sur des rats, des souris et des hamsters ont montré que l'instillation intratrachéenne de particules de quartz conduisait à la formation de nodules<sup>28</sup> silicotiques discrets. L'inhalation d'aérosols de particules de quartz gêne la fonction de nettoyage alvéolaire des macrophages et conduit à des lésions évolutives et à une pneumopathie inflammatoire. Un stress oxydatif (c'est à dire la formation accrue de radicaux hydroxyles et d'espèces oxygénées ou azotées réactives) a été observé chez des rats après instillation intratrachéenne ou inhalation de particules de quartz. De nombreuses études expérimentales in vitro ont permis de constater que les propriétés de surface des particules de silice cristallisées influent sur leur activité fibrogène et sur un certain nombre de caractéristiques de leur activité cytotoxique. De nombreux mécanismes possibles sont décrits dans la littérature, mais en fait les lésions cellulaires provoquées par le quartz sont le résultat de mécanismes complexes dont la nature n'est pas encore totalement élucidée.

Les études d'inhalation à long terme effectuées sur des rats et des souris montrent que les particules de quartz entraînent une prolifération cellulaire, la formation de nodules, la dépression des fonctions immunitaires et une protéinose<sup>29</sup> alvéolaire pulmonaire. Des études expérimentales sur des rats ont permis de mettre en évidence la formation d'adénocarcinomes<sup>30</sup> et de carcinomes spinocellulaires<sup>31</sup> consécutives à l'inhalation ou à l'instillation intratrachéenne de particules de quartz. Les études sur le hamster ou la souris

n'ont pas permis de mettre en évidence ce genre de tumeurs pulmonaires. On ne dispose pas de données dose-réponse (par exemple dose sans effet nocif ou dose minimale produisant un effet nocif) satisfaisantes pour le rat ou d'autres rongeurs car peu d'études de cancérogénicité comportant une variété de doses ont été effectuées.

Les tests de mutagénicité<sup>32</sup> classique sur bactérie ne donnent pas de résultats positifs. Les résultats des études de génotoxicité<sup>33</sup> sont contradictoires et il n'a pas été possible de confirmer ou d'infirmer l'existence d'un effet génotoxique direct.

Les résultats d'études sur les particules peuvent donner des résultats variables selon le matériau testé, la granulométrie, la concentration administrée aux animaux, et l'espèce utilisée. Les essais effectués avec des particules de quartz ont porté sur diverses espèces avec échantillons d'origine, de concentration et de granulométrie variée, autant de facteurs qui ont pu avoir une influence sur les observations.

On ne dispose pas de données concernant les effets que le quartz pourrait avoir sur la reproduction ou le développement chez des animaux d'expérience.

Les effets indésirables du quartz sur les organismes aquatiques et les mammifères terrestres n'ont pas été étudiés non plus.

### **3.3.2 Effets du quartz : études sur les humains**

Il existe beaucoup d'études épidémiologiques portant sur des cohortes de divers professionnels exposés à des poussières respirables de quartz. L'exposition professionnelle à la poussière de quartz est associée à la silicose, au cancer du poumon et à la tuberculose pulmonaire. Le CIRC a classé la silice cristallisée (quartz ou cristobalite) inhalée sur le lieu de travail dans le groupe 1 des produits dont la cancérogénicité pour l'homme et l'animal repose sur des preuves suffisantes. Dans son évaluation générale de cette substance, le groupe de travail a noté qu'aucun signe n'avait été relevé au cours de toutes ses enquêtes dans l'industrie. Il est possible que la cancérogénicité de la silice cristallisée dépende de certaines propriétés intrinsèques de cette substance ou encore de facteurs extérieurs susceptibles d'influer sur son activité biologique ou sur la proportion relative des différentes formes (IARC/CIRC, 1997).

#### **A) La pneumoconiose**

La pneumoconiose a été définie par le Bureau International du Travail (BIT) en 1976 comme une maladie due à l'accumulation de poussières dans les poumons et à la réaction tissulaire qui en résulte.

Les pneumoconioses (dont la plus connue est la silicose) sont des maladies pulmonaires irréversibles provoquées par l'inhalation de poussières de dimension inférieure à cinq millièmes de millimètre qui pénètrent jusqu'à l'alvéole pulmonaire. L'essoufflement, la toux, l'insuffisance respiratoire apparaissant dans le cours de la maladie peuvent s'aggraver et

conduire au décès par étouffement ou par complications cardiaques ou pulmonaires. Elle est rencontrée surtout chez les mineurs de charbon.

## B) La silicose

La silicose est une pneumoconiose fibrogène résultant de l'inhalation de particules de silice cristalline libre respirables. Si l'incidence de cette pneumoconiose a nettement diminué en France (247 patients ont été nouvellement indemnisés au titre du régime général de la Sécurité Sociale et 348 au titre du régime minier en 1994 contre 591 nouveaux cas indemnisés dans le régime général et 2211 dans le régime minier en 1978), il s'agit d'une maladie professionnelle qui demeure fréquente et potentiellement grave [2]. La silicose est une maladie irréversible et les traitements sont difficiles à mettre en œuvre.

La silicose entraîne des affections telles que la fibrose pulmonaire et l'emphysème<sup>34</sup> [18]. La forme et la gravité des manifestations de la silicose dépendent du type et de l'étendue de l'exposition aux poussières de silice : on connaît des formes chroniques (qui apparaît généralement après 10 ans ou plus d'exposition à de relativement basses concentrations), des formes d'installation rapide (qui apparaissent généralement après 5 à 10 ans après la première exposition) et des formes aiguës (qui se développent après l'exposition à de fortes concentrations et dont les symptômes se manifestent de quelques semaines à 4 ou 5 ans après la première exposition). Aux stades plus tardifs, l'affection devient plus invalidante et est souvent mortelle. Parmi les causes fréquentes de décès chez les personnes atteintes de silicose figurent la tuberculose pulmonaire (silico-tuberculose). L'insuffisance respiratoire due à la fibrose massive et à l'emphysème (avec ou sans destruction du tissu respiratoire) peut conduire à la mort, de même que l'insuffisance cardiaque.

Une étude de l'INRS [19] sur la situation en France dans les années 90 a montré qu'avec environ 300 nouveaux cas reconnus par an, la silicose reste une des maladies professionnelles les plus importantes en France. Cependant la majorité des cas sont des travailleurs dans le bâtiment ou les carrières, dans cette étude aucun cas n'a été attribué à une exposition à de la poussière agricole.

Il y a de grandes variations (2 à 90%) dans les estimations du risque relatives à la prévalence de la silicose par suite d'une exposition tout au long de la vie professionnelle à des particules respirables de quartz de concentration comprise entre 0.05 et 0.10 mg/m<sup>3</sup> sur le lieu de travail. En ce qui concerne l'exposition aux particules présentes dans l'air ambiant de l'environnement général, une analyse de référence conclut que le risque de silicose pour une exposition continue pendant 70 ans à 0.008mg/m<sup>3</sup> (c'est à dire la valeur estimative élevée de la concentration de silice cristallisée en milieu urbain aux Etats-Unis), est inférieur à 3% pour les individus en bonne santé ne souffrant pas de pathologie respiratoire (US EPA,

1996). Le risque de silicose pour les personnes exposées dans les mêmes conditions mais présentant une pathologie respiratoire n'a pas été évalué.

#### C) Bronchite chronique et obstruction bronchique chronique

Il a été montré [20] que la bronchite et la limitation chronique du débit respiratoire sont plus fréquentes chez les travailleurs exposés à la silice que dans la population générale, et il semble que le risque dépende de l'exposition totale aux contaminants présents dans l'atmosphère du lieu de travail. En général ces affections entraînent une morbidité importante et peuvent être responsables de décès prématurés. L'importance de la morbidité qu'elles entraînent en l'absence de silicose n'a pas fait l'objet d'études poussées.

#### D) Le cancer du poumon

La relation entre l'exposition aux poussières de quartz, la silicose et le cancer du poumon fait depuis longtemps l'objet d'un débat dans les milieux de prévention des risques professionnels. En 1997, le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) a classé la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite dans le groupe 1 soit comme cancérigène pulmonaire humain, avec toutefois deux restrictions, à savoir que ce classement ne s'applique qu'à l'exposition professionnelle et que la relation de cause à effet n'a pas pu être établie pour tous les secteurs d'activité.

Une méta-analyse [21] portant sur 35 études épidémiologiques consacrées aux effets silicogène et cancérigène pulmonaire du quartz a abouti à la conclusion suivante : le taux de cancer pulmonaire n'est pas accru, par rapport à la population générale, chez les personnes professionnellement exposées aux poussières de quartz, lorsque celles-ci ne présentent pas de silicose.

En revanche une étude portant sur les dégâts causés aux poumons en lien avec une exposition à la poussière minérale [22] a démontré que les particules minérales sont des inducteurs de stress oxydatif dans le poumon et qu'un stress oxydatif intense peut causer une altération de l'ADN, une déstructuration des protéines et une peroxydation des lipides. Du fait de procédés mettant en jeu des radicaux, les particules minérales peuvent être tenues responsables de l'initiation et de la promotion de tumeur du poumon, d'emphysème pulmonaire et d'hypersensibilité.

Certains chercheurs [20] ont avancé que le facteur de risque de cancer le plus important était peut-être la silicose, plutôt que l'exposition à la silice.

#### E) La tuberculose

L'association entre la silicose et la tuberculose pulmonaire a été établie par plusieurs études. Parmi les plus récentes, on peut citer une enquête réalisée aux Etats-Unis sur les cas de décès par tuberculose chez des patients atteints de silicose sur la période 1979-1991 [52], une étude de mortalité chez 590 Californiens atteints de silicose [53], et une étude

rétrospective chez des mineurs atteints de silicose dans les mines Freegold en Afrique du Sud [1].

En revanche, en l'absence de silicose, la relation entre l'exposition à la silice et l'apparition d'une tuberculose pulmonaire est beaucoup moins certaine. Quelques études épidémiologiques reportent des incidences de tuberculose plus élevées chez les travailleurs exposés à la silice et non atteints de silicose ; mais la plupart n'ont pu établir de relation significative [29].

#### F) Le lupus érythémateux systémique (LED)

Il s'agit d'une variété d'urticaire qui s'achève sur la formation d'une plaque ronde d'hyperkératose (dermatose consistant en un développement exagéré de la couche cornée de l'épiderme). Il peut être aigu ou chronique, infecter la peau, conduire à l'apparition de taches rouges et écailleuses ou laisser des cicatrices grisâtres.

Une étude cas-témoin [28] en population générale dans le Sud-Est des USA a tenté d'établir une relation entre l'exposition professionnelle à la silice cristalline et le lupus érythémateux systémique. L'intérêt de cette étude réside dans le fait que 45% des sujets étudiés avaient vécu ou travaillé en milieu rural. Une matrice emploi-exposition à la poussière, tenant compte de la nature du sol et de la culture, a été développée pour estimer les expositions à la silice dans le secteur agricole. Les résultats sont les suivants. Le fait d'avoir travaillé dans une ferme plus de 40 heures par semaine pendant plus de 12 mois était associé au LED avec un Odds Ratio à 1,7. Le risque de LED était multiplié par 3 pour des sujets ayant eu un emploi agricole fortement exposé à la poussière, quelle que soit sa durée.

Cette étude a donc permis grâce à la qualité de l'évaluation de l'exposition professionnelle, d'établir l'excès de risque de LED pour des expositions relativement faibles et irrégulières à la silice, en particulier dans le secteur agricole.

On a également fait état d'une augmentation statistiquement significative des décès ou des cas d'emphysème, de broncho-pneumopathie chronique obstructive, de maladies à composante auto-immune (comme la sclérodermie<sup>35</sup>, l'arthrite rhumatoïde) ou encore de néphropathie<sup>36</sup>.

#### G) Incertitudes

Il existe un certain nombre d'incertitudes concernant l'évaluation des études épidémiologiques et l'estimation du risque d'effets toxiques résultant de l'exposition à des poussières de quartz. Les difficultés, qui pour une grande part sont liées à l'étude même des affections respiratoires dans les diverses professions, tiennent au nombre et à la qualité des données longitudinales d'exposition, à l'insuffisance des informations sur les facteurs de confusion possibles – comme le tabagisme à la cigarette, par exemple – et à l'interprétation

des radiographies thoraciques en tant que preuves de l'exposition. En outre, l'exposition professionnelle à la poussière de quartz est complexe car les travailleurs sont fréquemment exposés à des mélanges qui contiennent du quartz à côté d'autres types de substances minérales. Les propriétés de ces poussières (par exemple la granulométrie, les caractéristiques de surface, la forme cristalline) peuvent varier selon leur origine géologique et même se modifier lors des divers traitements industriels. Ces variations peuvent influencer sur l'activité biologique des poussières inhalées. Le groupe de travail du CIRC a évalué la cancérogénicité de la silice cristallisée (quartz notamment) et a concentré son attention sur les études épidémiologiques les moins susceptibles d'être affectées par des facteurs de confusion et des biais de sélection, et il en a tiré des relations dose-réponse (IARC/CIRC, 1997 [29]).

## 4 ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX POUSSIÈRES

### 4.1 Identification des dangers

Malgré le grand nombre de problèmes de santé induits par les poussières (voir la partie sur les effets sur la santé induits par les poussières agricoles), nous nous intéresserons uniquement à ceux provoqués par les poussières minérales ; la composition des poussières organiques est trop variable et il n'existe aucune Valeur Toxicologique de Référence (VTR) associée.

Comme expliqué dans le chapitre précédent, la silice peut induire des effets chroniques mais également aigus. Or, nous ne disposons de données toxicologiques que pour les effets chroniques. C'est pourquoi l'évaluation des risques ne portera que sur les effets chroniques occasionnés par la silice. Nous nous intéresserons aux effets non cancérogènes, donc avec seuil.

Il est actuellement impossible de donner une estimation précise du risque des autres effets sanitaires. Parmi toutes les pathologies induites par les poussières minérales, c'est la silicose qui constitue l'effet déterminant et on possède suffisamment de données épidémiologiques pour permettre une évaluation quantitative du risque de silicose. De plus, la survenue de silicose est directement liée à l'exposition à la silice alors que les autres pathologies (cancer du poumon, tuberculose) semblent découler de la silicose. Une évaluation groupée utilisant des études épidémiologiques consacrées à la silice et au cancer du poumon est en cours au CIRC.

### 4.2 Relation dose-réponse

D'après une évaluation des risques sanitaires liés aux poussières dans les carrières d'extraction de matériaux [24], l'ingestion de silice cristalline n'apparaît pas toxique pour l'homme [58]. Seule l'inhalation de particules siliceuses sera donc considérée.

Fabrice Lancia [24] a déterminé une VTR à partir d'études chez le rat ; celle-ci est calculée à partir de la concentration équivalente chez l'homme pour la plus faible valeur avec effet observé ( $LOAEL_{HEC}$ ). Elle est égale à  $0,18 \text{ mg/m}^3$  [29].

La Concentration Atmosphérique Admissible (CAA) associée est égale à :

$$CAA = \frac{LOAEL_{HEC}}{FI}$$

avec FI (Facteurs d'Incertitudes) =  $FI_1 \times FI_2 \times FI_3$ . On considèrera que :

- $FI_1$  = facteur d'incertitude lié à l'obtention d'une dose sans effet toxique = 10 ;
- $FI_2$  = prise en compte de la variabilité intra-espèce = 10 ;
- $FI_3$  = prise en compte de la variabilité inter-espèce = 10.

Donc  $FI = 1000$  et CAA peut être calculée.

$$CAA = \frac{0,18}{1000} = 0,00018 \text{ mg} / \text{m}^3$$

## 4.3 Évaluation de l'exposition

### 4.3.1 Populations exposées

Étant donné que l'essentiel des données dont nous disposons ne concerne que les populations agricoles, nous avons étudié l'exposition de cette population puis étendu notre évaluation à celle des rurbains, à partir des mêmes hypothèses.

#### A) Population agricole

La population agricole est la plus directement exposée aux poussières émises par les activités agricoles. Ce rapport s'est focalisé principalement sur les poussières émises lors des travaux des champs car ce sont ces dernières qui engendrent le bruit de fond en campagne.

Cependant, les activités réalisées à l'intérieur de bâtiments notamment méritent une étude particulière car les concentrations de poussières et leurs caractéristiques sont assurément différentes.

La population agricole (toutes activités confondues), d'après le recensement de l'INSEE de 1999, représente 626 000 personnes.

#### B) Population rurale

Actuellement, la population des agglomérations a débordé sur les communes rurales voisines, par installation de ménages citadins qui conservent généralement leur emploi en ville et font donc chaque jour des navettes pour se rendre de leur résidence rurale à leur travail en ville [54] : ce sont les rurbains.

Il s'agit donc d'une nouvelle forme d'extension de la ville plus que d'une « renaissance rurale », puisque la dépendance au pôle urbain est manifeste : la majorité des emplois et des services se trouve dans le pôle urbain, la majorité des achats s'y réalise grâce à la forte mobilité des ménages périurbains. Cependant, cet espace périurbain peut être considéré comme encore rural par certains côtés, notamment par son paysage à dominante de cultures, de prairies et de forêt, par la prédominance de l'habitat individuel, par une densité de population relativement faible (environ 70 habitants/km<sup>2</sup>), par des commerces et des services locaux encore insuffisants, et par l'impression des périurbains eux-mêmes d'habiter la campagne.

Nous définissons la population rurale comme l'ensemble de la population des communes périurbaines : ce sont des communes des couronnes périurbaines<sup>37</sup> et des communes multipolarisées<sup>38</sup>.

Lors du dernier recensement de 1999, l'INSEE a estimé à 9 674 000 le nombre de personnes habitant dans les communes périurbaines, ce qui représentait 16,5% de la population française.

#### 4.3.2 Valeurs d'exposition

Etant donné qu'aucune mesure n'a jamais été effectuée en milieu rural et que peu de mesures existent en ce qui concerne l'exposition des agriculteurs, diverses hypothèses seront prises pour estimer les valeurs d'exposition. Ces hypothèses s'appuient sur des résultats d'études tous présentés dans les parties de ce rapport concernant les sources et conditions d'émissions des poussières agricoles, et la caractérisation de celles-ci.

La silice, sous sa forme quartz, est seule prise en compte (car études basées sur l'inhalation de quartz). Le contenu en quartz est très variable d'un échantillon de sol à l'autre ; d'après la caractérisation des poussières minérales, ce contenu en quartz varie de 0,85 à 17,5% de la masse et peut même atteindre 66 % dans les fines [33]. Compte tenu de l'étendue des valeurs, trois scénarii seront adoptés.

**Scénario 1 (scénario minorant) :** nous prendrons pour hypothèse que le quartz représente 1% de la concentration en poussières minérales.

**Scénario 2 (scénario moyen) :** nous prendrons pour hypothèse que le quartz représente 17% de la concentration en poussières minérales.

**Scénario 3 (scénario majorant) :** nous prendrons pour hypothèse que le quartz représente 70% de la concentration en poussières minérales.

##### A) Population agricole

À quelle concentration de poussières est soumise la population agricole ?

Dans la plupart des études sur la santé, il est considéré que les poussières les plus dangereuses sont les poussières dites « respirables » ; la plupart du temps, ces poussières respirables sont assimilées aux PM<sub>10</sub>. Pour estimer cette concentration de poussières à laquelle est soumise la population agricole, nous allons utiliser les PM<sub>10</sub>.

D'après les données du CITEPA, les PM<sub>10</sub> représentent 20% des poussières totales (voir figure 1). Le tableau suivant présente un récapitulatif des activités agricoles générant le plus de poussières. On considèrera que la concentration en poussières respirables est égale à 20% de la concentration en poussières totales.

Étude	Lieu de réalisation de l'étude	Activité qui génère le plus de poussières	Concentration en poussières totales	Concentration en poussières respirables
[33]	Finlande	Passage de rouleaux	18,2 mg/m <sup>3</sup> (en moyenne)	3,64 mg/m <sup>3</sup>
[34]	Pologne	Labours après moisson	14,5 – 81,2 mg/m <sup>3</sup>	2,9 – 16,24 mg/m <sup>3</sup>
[35]	Californie	Aplanissement du sol		10,29 mg/m <sup>3</sup> (en moyenne)

Tableau 7. Récapitulatif des activités agricoles et des concentrations de poussières émises.

Il est impossible que les agriculteurs soient exposés toute l'année à des concentrations aussi élevées, d'une part parce que ce sont les activités qui génèrent le plus de poussières, d'autre part parce que les activités des champs sont saisonnières. L'hypothèse suivante pourra donc être adoptée : les agriculteurs sont soumis en moyenne annuelle à une concentration en poussières respirables de 1 mg/m<sup>3</sup> lors des travaux agricoles. L'évaluation des risques portant sur les effets chroniques il est légitime d'utiliser une concentration moyenne annuelle.

La fraction respirable est-elle essentiellement minérale ?

Selon l'étude réalisée en Finlande [33], les poussières générées par plusieurs activités agricoles sont principalement inorganiques (70 – 95%). Une autre étude [38] indique quant à elle que la fraction de poussières organiques serait majoritaire et relativement constante au cours du temps. Compte tenu de la taille plus petite des particules minérales qui correspond davantage à la fraction respirable que les particules organiques, nous prendrons pour hypothèse que la fraction minérale représente 90% des poussières respirables.

Le calcul de la concentration en quartz à laquelle sont exposés les agriculteurs est le suivant : pour le scénario 1, les agriculteurs, sous ces hypothèses, sont soumis annuellement à une concentration en quartz égale à : 1 mg/m<sup>3</sup> x 90% x 1% = **0,009 mg/m<sup>3</sup>**.

Pour les scénarii 2 et 3, les calculs sont identiques ; le tableau suivant récapitule les résultats.

	Concentration en poussières respirables	Fraction minérale	Proportion de quartz	Concentration en quartz
Scénario 1	1 mg/m <sup>3</sup>	90%	1%	<b>0,009 mg/m<sup>3</sup></b>
Scénario 2	1 mg/m <sup>3</sup>	90%	17%	<b>0,15 mg/m<sup>3</sup></b>
Scénario 3	1 mg/m <sup>3</sup>	90%	70%	<b>0,63 mg/m<sup>3</sup></b>

Tableau 8. Valeurs d'exposition des agriculteurs au quartz.

## B) Population ruraine

Afin de calculer la concentration d'exposition de la population ruraine, il sera considéré que la concentration en milieu rurbain est égale à la concentration en milieu rural.

Les bruits de fond inscrits dans le tableau 6 permettent de connaître la concentration en milieu rural ; cependant certaines concentrations sont exprimées en poussières totales, d'autres en PM<sub>10</sub> ou en PM<sub>2,5</sub>. De plus, les zones géographiques étudiées sont diverses.

La valeur du bruit de fond concernant la France [37] est très élevée par rapport aux autres valeurs obtenues dans des zones européennes ou non (100 à 1000 fois plus élevée), certaines zones ayant pourtant une agriculture beaucoup plus intensive que celle de notre pays (aux États-Unis par exemple). Nous ne choisirons pas cette valeur, bien qu'étant exprimée en France, car elle est supérieure à la plupart des concentrations maximales émises sur les lieux de culture et la concentration en poussières diminue fortement dès que l'on s'éloigne du point d'émission.

Considérons que le bruit de fond en poussières totales est égal à 30 µg/m<sup>3</sup> (valeur allemande maximale [38]). Cette valeur est bien supérieure à certaines valeurs de bruits de fond canadiens ou américains mais elle est proche de la concentration des PM<sub>10</sub> estimée en Suisse en zone rurale (15 – 25 µg/m<sup>3</sup>) [39].

En reprenant la même hypothèse que précédemment, c'est-à-dire que la concentration en poussières respirables est égale à 20% de la concentration en poussières totales, alors la concentration en poussières respirables à laquelle sont soumis les rurbains est de 6 µg/m<sup>3</sup>.

Le calcul de la concentration en quartz à laquelle sont exposés les rurbains est le suivant : pour le scénario 1, sous ces hypothèses, ils sont soumis annuellement à une concentration en quartz égale à :  $6 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3 \times 90\% \times 1\% = 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ mg/m}^3$ .

Pour les scénarii 2 et 3, les calculs sont identiques ; le tableau suivant récapitule les résultats.

	Concentration en poussières respirables	Fraction minérale	Proportion de quartz	Concentration en quartz
Scénario 1	$6 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$	90%	1%	$5,4 \cdot 10^{-5} \text{ mg/m}^3$
Scénario 2	$6 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$	90%	17%	$9,18 \cdot 10^{-4} \text{ mg/m}^3$
Scénario 3	$6 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$	90%	70%	$3,78 \cdot 10^{-3} \text{ mg/m}^3$

Tableau 9. Valeurs d'exposition des rurbains au quartz.

#### 4.4 Caractérisation du risque

Comme nous avons choisi de nous intéresser aux effets déterministes de la silice, la survenue de l'effet dépend du dépassement de CAA = 0,00018 mg/m<sup>3</sup>. On définit donc un

Quotient de Danger (QD) égal à :  $QD = \frac{CI}{CAA}$ . CI est la concentration moyenne inhalée.

Si QD < 1, alors la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable même pour les populations sensibles du fait des facteurs de sécurité utilisés.

Si QD > 1, l'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue.

##### A) Population agricole

Les résultats du calcul du quotient de danger, pour les différents scénarii, sont consignés dans le tableau suivant.

	Concentration moyenne inhalée CI	Quotient de danger QD	Risque
Scénario 1	0,009 mg/m <sup>3</sup>	50	QD > 1 : il existe un risque pour la santé
Scénario 2	0,15 mg/m <sup>3</sup>	830	
Scénario 3	0,63 mg/m <sup>3</sup>	3500	

Tableau 10. Quotients de danger pour les agriculteurs.

##### B) Population ruraine

Les résultats du calcul du quotient de danger, pour les différents scénarii, sont consignés dans le tableau suivant.

	Concentration moyenne inhalée CI	Quotient de danger QD	Risque
Scénario 1	5,4.10 <sup>-5</sup> mg/m <sup>3</sup>	0,3	QD < 1 : il n'y a pas de risque pour la santé
Scénario 2	9,18.10 <sup>-4</sup> mg/m <sup>3</sup>	5,1	QD > 1 : il existe un risque pour la santé
Scénario 3	3,78.10 <sup>-3</sup> mg/m <sup>3</sup>	21	

Tableau 11. Quotients de danger pour les rurbains.

##### C) Conclusion

Au vu des résultats obtenus, il semblerait que la population agricole soit dans tous les scénarii envisagés exposée à un risque par rapport à la silice (quartz). En ce qui concerne la population ruraine, elle est à risque dans les scénarii moyen et majorant envisagés.

Cependant les résultats présentent de nombreuses incertitudes : elles reposent sur le bruit de fond estimé en zone ruraine, la fraction de poussières respirables, la fraction minérale dans les poussières respirables et la concentration en quartz dans les poussières minérales... Pour une plus grande précision, il serait nécessaire de faire plus de mesures de bruit de fond en zone ruraine. Il faudra caractériser la composition des poussières afin de

déterminer notamment leur teneur en quartz. Ceci permettra une meilleure évaluation du risque pour cette population.

## 5 GESTION DU RISQUE

En milieu agricole des préconisations existent afin de limiter l'émission des poussières et l'exposition des agriculteurs. Celles-ci sont énumérées ci-dessous mais il faut préciser qu'en France elles semblent difficiles à mettre en place.

### 5.1 Population agricole

D'après [55], le secteur agricole fait partie des milieux professionnels les plus à risque d'affections respiratoires aiguës ou chroniques. Elles sont comme on l'a vu au chapitre concernant les effets sur la santé dues à l'exposition aux poussières minérales mais aussi, voire surtout, dues à l'exposition à des particules organiques biologiquement actives. La suppression de ces poussières n'est pas envisageable en milieu agricole. En revanche, la réduction de la quantité de substances inhalées, la diminution de l'exposition et la surveillance médicale des sujets exposés sont en théorie susceptibles de réduire significativement l'incidence de ces maladies.

De façon non spécifique, la prévention en milieu agricole comporte quatre volets :

- la prévention technique collective : c'est l'ensemble des mesures d'ordre technique permettant la suppression ou la réduction de l'exposition à des niveaux aussi bas que possible ;
- la prévention technique individuelle : elle regroupe les mesures d'hygiène et les moyens de protection limitant l'exposition au niveau de l'individu (masque de protection respiratoire par exemple) ;
- la prévention médicale : elle comprend notamment la détermination de l'aptitude d'un travailleur à un poste, mais aussi un suivi médical afin de détecter précocement la survenue d'une ou plusieurs pathologies d'origine professionnelle ;
- la prévention réglementaire : elle permettrait de mettre en place des programmes de surveillance voire des valeurs limites d'expositions.

#### 5.1.1 Prévention technique collective

Les mesures [55] vont consister à diminuer les émissions des particules inhalables, à favoriser leur évacuation et à développer l'automatisation des tâches qui permet de réduire les périodes de travail à risque et de limiter le contact avec l'ambiance polluée. Les différentes mesures envisageables sont présentées ci-après.

- Installer des cabines sur les tracteurs. En effet les concentrations en poussières à l'intérieur du tracteur sont beaucoup plus faibles que celles respirées à l'extérieur [33] : la concentration moyenne à l'intérieur de la cabine est de 11 mg/m<sup>3</sup>, alors

qu'elle est de 52,4 mg/m<sup>3</sup> à l'extérieur de celle-ci. La réduction moyenne apportée par la cabine est de 4,7 fois et la plus grande réduction est de 64 fois.

- Installer des ventilations dans les cabines et les espaces confinés (stockage des récoltes). En effet, l'installation de ventilation peut réduire jusqu'à 40 fois la concentration en poussières respirables [48].
- Mécaniser autant que possible la manutention du foin et du fourrage qui risque de produire des poussières de moisissure [8].
- Faire sécher les récoltes jusqu'à ce qu'elles ne contiennent plus que 13,5% d'humidité puis les stocker à basse température [56].
- Limiter le temps de travail, si possible, en proposant une rotation des équipes de travailleurs agricoles et limiter les accès des agriculteurs aux champs venant d'être traités [57].
- Humidifier les champs avant la récolte [3].

Il est à noter que la prévention technique collective est une prévention primaire qui s'adresse à des sujets sains ; on ne peut en effet demander à un exploitant agricole atteint d'une maladie respiratoire d'origine professionnelle de faire des investissements alors que son avenir professionnel est incertain.

### **5.1.2 Prévention technique individuelle**

Les mesures de protection individuelle sont essentiellement basées sur le port de masques et de vêtements adaptés.

- A) Utiliser des protections respiratoires lorsque les mesures collectives ne peuvent être mises en place

Les équipements utilisés sont des appareils respiratoires filtrants qui sont composés d'une pièce faciale qui peut être un demi-masque ou un masque complet et un filtre.

On distingue les masques à ventilation libre et les masques à ventilation assistée. Les masques à ventilation assistée comportent une petite pompe motorisée portée à la ceinture ou intégrée au casque lui-même, qui permet l'aspiration de l'air ambiant à travers un filtre. Dans le cas des autres masques, l'air n'est filtré que grâce aux mouvements respiratoires du sujet.

Dans la protection vis-à-vis des polluants biologiques, les masques filtrants doivent être de classe P2 (ou FFP2) au minimum, et de type « S » (protégeant contre les particules solides). Les masques à ventilation assistée, bien que théoriquement plus efficaces, sont généralement mal tolérés en raison de leur poids et de leur encombrement et on leur préfère

les masques à ventilation libre ; pour un meilleur confort et une meilleure efficacité, ceux-ci doivent être munis d'une pièce d'étanchéité et d'une soupape expiratoire [55].

L'exposition aux polluants, dans la plupart des secteurs agricoles, dure plusieurs heures par jour et l'utilisation des masques n'est guère envisageable de façon systématique. En pratique, ils sont « acceptés » par les agriculteurs qui ont déjà un problème respiratoire lors des tâches les plus exposantes. Les porteurs d'appareils doivent apprendre comment utiliser, entretenir et réparer ces équipements.

B) Porter une tenue adéquate : vêtements, lunettes, gants, tabliers, chaussures, chapeau

Ces équipements doivent être enlevés sur les lieux de travail, être lavés soigneusement [57]. La prévention technique individuelle est essentiellement secondaire ; en effet, il est illusoire d'envisager de faire porter un masque de protection respiratoire à un sujet asymptomatique étant donné les contraintes que cela représente.

### **5.1.3 Prévention médicale**

Actuellement il n'y a pas d'examens lors de l'embauche et de surveillance médicale respiratoire systématique chez les exploitants agricoles non salariés, qui en France représentent l'essentiel des agriculteurs. Or la surveillance médicale [55] permettrait de dépister précocement des maladies pour lesquelles l'agriculteur n'aurait pas spontanément consulté : asthme, bronchite chronique et trouble ventilatoire obstructif débutant, mais aussi parfois l'Alvéolite Allergique Extrinsèque.

Les agriculteurs exposés à la poussière minérale pourraient effectuer à l'embauche une radiographie thoracique destinée à servir de référence [20]. Celle-ci serait répétée au bout de 2 à 3 ans et ensuite tous les 2 ans. L'idéal serait de pratiquer un examen spirométrique et de faire remplir un questionnaire sur les symptômes chaque année ; si cela n'est pas possible, on pourra adopter la même fréquence que pour les radiographies. Autant que possible la surveillance devrait se prolonger pendant toute la vie des travailleurs.

Les agriculteurs devraient apprendre à reconnaître les causes et les symptômes des maladies liées aux poussières agricoles et particulièrement ceux du STPO qui surviennent rapidement et après une exposition unique [42].

Il conviendrait également d'informer les médecins du travail sur les maladies liées aux poussières agricoles et les expositions provoquant celles-ci afin de mieux les diagnostiquer et donc de les soigner plus efficacement et plus rapidement [42].

### **5.1.4 Prévention par la législation**

Actuellement aucune réglementation ne protège les agriculteurs des poussières agricoles. Or certains pays étrangers ont une réglementation. Ainsi les Etats-Unis ont fixé

des valeurs limites d'expositions à 15 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières totales, 5 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières respirables et 10 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières de grains.

En France seule la poussière inhalable siliceuse est soumise à réglementation par le décret n°97-331 du 10 avril 1997 qui fixe des valeurs d'exposition. « La concentration moyenne en silice cristalline libre des poussières alvéolaires de l'atmosphère inhalée par un travailleur pendant une journée de travail de 8 heures ne doit pas dépasser 0,1 mg/m<sup>3</sup> pour le quartz et 0,05 mg/m<sup>3</sup> pour la cristobalite et la tridymite ».

Mettre en place des programmes de surveillance et fixer des valeurs limites pour les poussières organiques permettraient aux travailleurs agricoles de mieux appréhender les situations à risque (le seuil définit le niveau d'alerte).

## **5.2 Population rurale**

Étant donné les imprécisions de l'évaluation de risques de la silicose pour cette population, il est nécessaire d'approfondir la recherche dans le domaine des poussières agricoles en zone rurale. Pour cela, des mesures complémentaires sont à effectuer, notamment pour la caractérisation du bruit de fond afin de déterminer la nature et la concentration exactes des poussières rencontrées.

S'il s'avère que ces mesures révèlent un risque pour la population rurale, il faudra alors l'en aviser voire mettre en place des mesures protectrices. Par exemple, elles pourraient comprendre la mise en garde des personnes potentiellement à risque (enfants et personnes souffrant de problèmes respiratoires). Mais il semble difficile de mettre en place des mesures qui soient à la fois acceptables et efficaces.

Un moyen coûteux mais efficace serait l'installation d'extracteurs de poussières ; ceux-ci peuvent être mobiles et permettent pour certains de retenir jusqu'à 99% des particules de 1 µm. En plus du rôle d'extraction des poussières, ce procédé permet d'améliorer la qualité de l'air intérieur, qui est un enjeu actuellement pour nos populations développées qui passent la majorité de leur temps à l'intérieur des logements.

## CONCLUSION

L'agriculture participe à l'émission de poussières selon deux modalités. D'une part les travaux agricoles qui soulèvent des masses de terre engendrent des poussières, d'autre part les champs laissés nus subissent le phénomène naturel de l'érosion. Les pratiques culturales sont la principale source de poussières en France : avec environ 450 kt de poussières émises par an, les cultures sont responsables d'environ 30% de la totalité des poussières émises. Des activités, telles que le passage de rouleaux, les labours, la récolte mécanique des cultures, les moissons de céréales, la mise en balles et l'aplanissement du sol, génèrent le plus de poussières (jusqu'à 80 mg/m<sup>3</sup>). L'émission de poussières est influencée par les conditions environnementales telles que l'humidité, la texture, la température, le vent et les appareils agricoles.

Le sol agricole contribue principalement à la formation de particules ayant un diamètre aérodynamique compris entre 2,5 et 10 µm, d'origine organique ou minérale. Alors que la composition des poussières organiques est difficile à déterminer et très variable, celle des poussières minérales dépend essentiellement de la composition du sol. Ces dernières sont principalement composées de minéraux silicatés, dont le contenu en quartz est variable. Contrairement aux poussières organiques dont la concentration semble rester constante au cours du temps, la concentration en poussières minérales augmente lors des activités agricoles. Les poussières ont une dynamique qui se traduit par une stratification de celles-ci dans la colonne d'air et un déplacement dans l'espace, qui va engendrer un bruit de fond. Ce bruit de fond présente des valeurs élevées dans certaines zones rurales européennes (en Allemagne, la concentration en poussières totales atteint 30 µg/m<sup>3</sup>).

Selon leur nature, les poussières d'origine agricole peuvent présenter des dangers pour la santé. En effet ces particules sont inhalées et peuvent pénétrer profondément dans le système respiratoire. Les poussières respirables, c'est-à-dire d'un diamètre inférieur à 10 µm, sont les plus dangereuses car elles peuvent atteindre les alvéoles pulmonaires et entraîner de graves lésions.

Les effets sur la santé diffèrent selon la composition organique ou minérale de la poussière. L'exposition à la poussière organique peut engendrer des effets ponctuels ou chroniques. Les effets ponctuels comprennent essentiellement des syndromes respiratoires non spécifiques (symptômes ORL, conjonctivite, rhinite...) et le Syndrome Toxique de la Poussière Organique qui survient après une seule exposition à une importante quantité de poussière organique. Les effets chroniques, regroupés sous le terme de « pneumopathies

d'hypersensibilité », comprennent principalement l'alvéolite allergique extrinsèque, le poumon de fermier, la bronchite chronique et l'asthme.

Le danger lié à la poussière minérale concerne essentiellement la silice sous sa forme quartz. Des essais sur les animaux ont montré que l'inhalation de quartz était responsable de plusieurs dysfonctionnements, de lésions cellulaires et de carcinomes. Sur les humains, les études épidémiologiques ont permis d'associer (avec de nombreuses incertitudes) la silice à la pneumoconiose, la silicose, la bronchite chronique, le cancer du poumon, la tuberculose et le lupus érythémateux systémique.

La composition des poussières organiques étant trop variable et aucune VTR n'étant disponible, nous avons choisi d'effectuer l'évaluation des risques sur la silice. Plusieurs scénarii ont été envisagés, dépendant de la concentration en quartz. Pour la population agricole, quel que soit le scénario envisagé, il y a un risque pour la santé. Pour la population urbaine, il y a un risque uniquement pour les scénarii moyen et majorant. Ces résultats doivent être considérés avec précaution étant donné le manque de fiabilité des hypothèses.

Pour palier à ce risque, il existe des préconisations en milieu agricole visant à réduire l'émission des poussières et l'exposition des agriculteurs. Elles comprennent une prévention technique collective, une prévention technique individuelle, une prévention médicale et une prévention réglementaire. Ces préconisations sont peu réalistes car ne tiennent pas compte de toutes les contraintes économiques associées au travail agricole.

Pour les urbains, il n'existe pas de réelle mesure de gestion du risque. D'une part, on ne peut éviter l'exposition, d'autre part d'éventuelles mesures de gestion seraient difficilement acceptables (déménagement, installation d'extracteurs de poussières...).

Il existe donc un bruit de fond non négligeable mais qui reste mal connu. Il faudrait faire des recherches complémentaires pour confirmer tout d'abord la présence du risque lié à la silice, puis pour évaluer le risque lié aux autres composés présents dans les poussières (poussières organiques notamment).

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Kleinschmidt, Churchyard G. Variation in incidences of tuberculosis in subgroups of South African gold miners, *Occupational and environmental medicine*, 1997, vol 54, pp. 636-641.

[2] [http://www.uvp5.univ-paris5.fr/UV\\_MED/AC/Intro.asp?NSuj=23&Intro=23-1](http://www.uvp5.univ-paris5.fr/UV_MED/AC/Intro.asp?NSuj=23&Intro=23-1) [Site Internet visité le 15 avril 2004].

[3] Lang L. Danger in the dust, *Environmental Health Perspectives*, January 1996, volume 104, n°1, [Site Internet visité le 15 avril 2004]. Disponibilité : <<http://ehp.niehs.nih.gov/docs/1996/104-1/focusdust.html>>

[4] Martinet Y, Anthoine D, Petiet G. *Les maladies respiratoires d'origine professionnelle*. Paris, Masson, 1999. 288p. Collection Médecine du Travail.

[5] Caillaud D. *Agriculture et pathologie respiratoire, les maladies professionnelles en milieu rural*. Clermond-Ferrand : SOFRAB Archives congrès, 2002. [Site Internet visité le 15 avril 2004]. Disponibilité : <<http://www.sofrab.com/archives/2002/caillaud.htm>>

[6] Asthma and Allergic Lung Diseases, Rural agricultural workers and populations, *Environment Research Inc*. [Site Internet visité le 15 avril 2004]. Disponibilité : <<http://www.nutramed.com/asthma/agriculture.htm>>

[7] Cormier Y, Laviolette M, Alvéolite allergique extrinsèque. *Encycl Med Chir*. Elsevier, Paris, June 1996.

[8] CCHST (Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité). *Réponses SST, Maladies et Lésions, Poumon de fermier*. [Site Internet visité le 15 avril 2004, dernière mise à jour le 12 avril 1999]. Disponibilité : <[http://www.cchst.ca/reponsesst/diseases/farmers\\_lung.html?print#\\_1\\_1](http://www.cchst.ca/reponsesst/diseases/farmers_lung.html?print#_1_1)>

[9] Sat Sharma. *Hypersensitivity pneumonitis*. [Site Internet visité le 15 avril 2004, dernière mise à jour le 17 janvier 2003]. Disponibilité : <<http://www.emedicine.com/med/topic1103.htm>>

[10] Zejda JE, Dosman JA. Respiratory disorders in agriculture, *Tuber. Lung. Dis.*, 1993, n°74, pp.74-86.

**[11]** Chan-Yeung M et al. The impact of grain dust on respiratory health. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1992, n°145, pp. 476-487.

**[12]** Dalphin JC et al. Prevalence of asthma and respiratory symptoms in dairy farmers in the French province of the Doubs. *Am. J. Resp. Crit. Care Med.*, 1998, n°158, pp. 1925-1935.

**[13]** Tabka F et al. Pathologie respiratoire liée à la poussière de céréales, étude dans la région de Sousse (Tunisie). *Arch. Mal. Prof.*, 1999, vol 60, n°2, pp. 101-106.

**[14]** Enarson D et al. Rapid decline in FEV1 in grain handlers. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1985, n°132, pp. 814-817.

**[15]** Bessot JC et al. L'asthme professionnel en milieu agricole. *Rev. Mal. Resp.*, 1996, n°13, pp. 205-215.

**[16]** Zejda JE et al. Epidemiology of health and safety in agriculture and related industries, practical applications for rural physicians. *West. J. Med.*, 1993, n°158, pp. 58-63.

**[17]** Do Pico GA. Hazardous exposure and lung disease among farm workers. *Clin. Chest. Med.*, 1992, n°13, pp. 311-328.

**[18]** OMS. La silicose. Mai 2000, Aide-mémoire n°238, [Site Internet visité le 15 avril 2004]. Disponibilité : <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs238/fr/>>

**[19]** Le Bacle C, Bouchami R, Gouffier C. Silicose : la situation en France dans les années 1990. *Documents pour le médecin du travail*, 3<sup>ème</sup> trimestre 1995, n°63, [Site Internet visité le 15 avril 2004]. Disponibilité : [http://www.inrs.fr/html/silicose\\_la\\_situation\\_en\\_france\\_dans\\_les\\_annees\\_90.html](http://www.inrs.fr/html/silicose_la_situation_en_france_dans_les_annees_90.html)

**[20]** Wagner GR. *Exposition des travailleurs aux poussières minérales, dépistage et surveillance*. OMS, Genève, 1998, 75p.

**[21]** *Poussières, fumées et brouillards sur les lieux de travail : risques et prévention* [notes de congrès en ligne]. 2001 [Site internet visité le 15 avril 2004]. Toulouse. Disponibilité : <[http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/TD+113/\\$File/td113.pdf](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/TD+113/$File/td113.pdf)>.

**[22]** Cornelis JA Doelman et al. Mineral dust exposure and free radical-mediated lung damage. *Experimental Lung Research*, 1990, n°16, pp. 41-55.

**[23]** APPA Dauphiné-Savoie. [Site Internet visité le 15 avril 2004]. Disponibilité : <http://www.appa-ds.com/cdrom/dossiers/dos04elv.htm>.

**[24]** Lancia F. *L'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact : la problématique poussières dans les carrières d'extraction de matériaux*. Mémoire de fin d'étude, formation des ingénieurs du Génie Sanitaire, ENSP Rennes, 2003, 54p.

**[25]** OBERSON-GENESTE D. Poussière minérales et santé. *Bulletin d'information documentaire destiné aux professionnels des poussières minérales et de la santé* (INERIS), janvier 2003, n°6.

**[26]** Steven R. Kirkhorn. Agricultural respiratory hazards and disease, Partners in agricultural health – Module IV. [Site internet visité le 15 avril 2004]. Disponibilité : <http://www.farmershealth.com/resp.pdf>.

**[27]** Ernst P, Poulin M, Blouin M, Cormier Y. Indicators of asthma and atopy are less common among children living on a farm. *AJRCC*, n°159, A774.

**[28]** Parks CG, Cooper SG et al. Occupational exposure to crystalline silica and risk of systemic lupus erythematosus in a population based case-control study in the Southeastern United States. *Arthritis and Rheumatism*, 2002, n°46, pp. 1840-1850.

**[29]** Rice F. *Crystalline Silica, Quartz*. World Health Organization, Geneva, 2000, 50p, IPCS.

**[30]** [http://res2.agr.gc.ca/publications/ha/4d\\_f.htm](http://res2.agr.gc.ca/publications/ha/4d_f.htm) [Site Internet visité le 15 avril 2004].

**[31]** [www.citepa.org/emissions/nationale/Poussi%E8res/Emissions\\_FRmt\\_PM\\_mai03.pdf](http://www.citepa.org/emissions/nationale/Poussi%E8res/Emissions_FRmt_PM_mai03.pdf) [Site Internet visité le 15 avril 2004].

**[32]** [http://www.citepa.org/emissions/france\\_objectifs/Secten\\_2002\\_v06mai.pdf](http://www.citepa.org/emissions/france_objectifs/Secten_2002_v06mai.pdf) [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[33]** Louhelainen K, Kangas J, Husman K, Terho E.O. Total concentrations of dust in the air during farm work. *Eur J Respir Dis*, 1987, n°71 (suppl 152), pp. 73-80.

[34] Molocznick A. Qualitative and quantitative analysis of agricultural dust in working environment. *Ann Agric Environ Med*, 2002, n°9, pp. 71-78.

[35] Clausnitzer H, Singer M J. Respirable-dust production from agricultural operations in the Sacramento Valley, California. *J. Environ. Qual.*, 1996, n°25, pp. 877-884.

[36] Green F H Y, Yoshida K, Fick G, Paul J, Hugh A, Green W F. Characterization of airborne mineral dusts associated with farming activities in rural Alberta, Canada. *Int Arch Occup Environ Health*, 1990, n°62, pp. 423-430.

[37] [membres.lycos.fr/depollunet/Precis/Chap1/Aspirat1c3.html](http://membres.lycos.fr/depollunet/Precis/Chap1/Aspirat1c3.html) [Site internet visité le 15 avril 2004].

[38] Goossens D, Groß J, Spaan W. Aeolian dust dynamics in North-European agricultural areas. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : [www.geog.ucl.ac.uk/weels/final\\_report/section\\_4.4.pdf](http://www.geog.ucl.ac.uk/weels/final_report/section_4.4.pdf).

[39] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Division Protection de l'air et RNI. PM10 : Questions et réponses concernant les propriétés, les immissions, les effets sur la santé et les mesures. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/f/grundlagen/1.pdf>.

[40] [www.pyr.ec.gc.ca/FR/air/pm\\_report/report\\_2.shtml](http://www.pyr.ec.gc.ca/FR/air/pm_report/report_2.shtml) [Site internet visité le 15 avril 2004].

[41] Oberson-Geneste D. La silice ou les silices. *Poussières minérales et santé*, décembre 2001, 3, 1.

[42]. Musgrave K. Request for Assistance in Preventing Organic dust Toxic Syndrome. *NIOSH Publication*, April 1994, n°94-102. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : <http://www.cdc.gov/nasd/docs/d001001-d001100/d001027/d001027.pdf>.

[43] Ramsperger B, Peinemann N and Stahr K. Input and characteristics of aeolian dust in the Argentinean Pampa. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : <http://www.weru.ksu.edu/symposium/proceedings/ramsperg.pdf> >.

[44] Grini A, Myhre G, Zender C S, Sundet J K and Isaksen I S A. Model simulations of dust sources and transport in the global troposphere. Effects of soil erodibility and wind speed

variability. *Institute Report Series*. 2003, 124. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : <[folk.uio.no/alfgr/thesis/GMZ03.pdf](http://folk.uio.no/alfgr/thesis/GMZ03.pdf)>.

**[45]** [http://www.allergique.org/rubrique.php3?id\\_rubrique=13](http://www.allergique.org/rubrique.php3?id_rubrique=13) [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[46]** [agcenter.ucdavis.edu/Announce/AgChallenges2003Abstracts/PDF/8Southard2.pdf](http://agcenter.ucdavis.edu/Announce/AgChallenges2003Abstracts/PDF/8Southard2.pdf) [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[47]** Schenker M. Exposures and Health Effects from Inorganic Agricultural Dusts. *Environnement Health Perspectives Supplements*. Août 2000, volume 108, n° S4. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : <[http://www.ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2000/suppl-4/664\\_schenker](http://www.ehpnet1.niehs.nih.gov/docs/2000/suppl-4/664_schenker)>.

**[48]** <http://www.sofrab.com/archives/2002/caillaud.htm> [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[49]** <http://www.ec.gc.ca/substances/ese/fre/pesip/final/PM-10.cfm> [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[50]** Nieuwenhuijsen M J, Schenker M B. Determinants of personal dust exposure during field crop operations in California agriculture. *Am Ind Hyg Assoc*, 1998, J 59(1), pp. 9-13.

**[51]** <http://www.pasteur.fr/actu/press/com/dossiers/cnr/arbovirus.html> [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[52]** Althouse R et al. Tuberculosis comortality with silicosis: United States, 1979-1991. *Appl Occup Environ Hyg*, 1995, n°10, pp. 1037-1041.

**[53]** Goldsmith DF, Beaumont JJ, Morrin LA, Schenker MB. Respiratory cancer and other chronic disease mortality among silicotics in California. *Am J Ind Med*, 1995, n°28, pp. 459-67.

**[54]** <http://www.senat.fr/rap/r02-241/r02-24134.html> [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[55]** <http://www.sofrab.com/archives/2002/dalphin.htm> [Site internet visité le 15 avril 2004].

**[56]** Direction générale de la santé de la population et de la santé publique (Canada). A pleins poumons les dangers de la poussière. *La Santé de la Famille Agricole*, Printemps

1999, volume 7, n°1. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : <[http://www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/publicat/ffh-sfa/vol7-1/ff7-1k\\_f.html](http://www.hc-sc.gc.ca/pphb-dgspsp/publicat/ffh-sfa/vol7-1/ff7-1k_f.html)>.

**[57]** Legault M, Ayers PD. Agricultural respiratory protective equipment. *Farm & Ranch Series*, n°5020. [Visité le 15 avril 2004]. Disponible sur internet : <<http://www.ext.colostate.edu/pubs/farmmgmt/05020.pdf>>.

**[58]** Brondeau MT *et al.* Silice cristalline – INRS Fiche toxicologique n°232. *Cahiers de notes documentaires – hygiène et sécurité du travail*, 168, 1997, 3<sup>ième</sup> trimestre, 6 p.

## DÉFINITIONS

---

- <sup>1</sup> Vitesse de friction du vent : la force de friction résulte de la résistance au déplacement de l'air due au relief de la terre et sa surface courbe.
- <sup>2</sup> Feldspath : ensemble des minéraux tricliniques ou monocliniques, essentiellement des aluminosilicates de potassium, sodium, calcium et baryum  $Al (Na, K) Si_3O_3$ .
- <sup>3</sup> Calcite : minéral dimorphe de l'aragonite composé de carbonate de calcium cristallisant dans le système quadratique.
- <sup>4</sup> Illite : groupe de minéraux (silicates d'aluminium) dont les cristaux ont une structure réticulaire 2/1 (une couche octaédrique de  $Al_2O_3$  en sandwich entre 2 couches tétraédriques de  $SiO_2$ ) et une composition chimique indéterminée parce qu'une partie de Si a été remplacée par Al.
- <sup>5</sup> Kaolinite : l'un des constituants principaux des argiles, résultant de l'altération superficielle de nombreux silicates d'alumine (feldspaths...).
- <sup>6</sup> Chlorite : phyllosilicate à feuillets élémentaires épais de 14 Angstrom, hydraté et ferromagnésien  $(Mg, Fe, Al)_3Mg_3 [(Si, Al)_4O_{10} (OH)_2] (OH)_6$ , du système monoclinique pseudohexagonal.
- <sup>7</sup> Montmorillonite : groupe de minéraux argileux (silicates d'Al) dont les cristaux ont une structure réticulaire 2/1, extensible, (une couche octaédrique de  $Al_2O_3$  entre deux couches tétraédriques de  $SiO_2$ ), et une forte capacité d'échange de cations.
- <sup>8</sup> Anhydrite : sulfate de calcium naturel anhydre  $CaSO_4$ .
- <sup>9</sup> Dolomite :  $CaMg (CO_3)_2$ , carbonate alcalino-terreux.
- <sup>10</sup> Pyrite : sulfure de fer  $FeS_2$ .
- <sup>11</sup> Halite : chlorure  $NaCl$ , du système cubique, en cubes parfaits, montrant 3 clivages parfaits orthogonaux, en trémies (par évaporation assez rapide), plus souvent en masses granulaires, blanc ou coloré par impuretés (gris, rosé); gisements étendus dans des roches sédimentaires.
- <sup>12</sup> Smectite : minéraux argileux ayant un réseau cristallin 2 : 1 expansible.
- <sup>13</sup> Gypse : matière première, d'origine naturelle ou artificielle, constituée essentiellement de sulfate de calcium déshydraté.
- <sup>14</sup> Silicone : nom générique des composés du silicium renfermant des atomes d'oxygène et des groupements organiques.
- <sup>15</sup> Rutile : oxyde  $TiO_2$ .
- <sup>16</sup> Kaolin : argile d'un blanc très pur, habituellement sous forme de poudre impalpable. Il est principalement dérivé de la décomposition de feldspaths.
- <sup>17</sup> Mullite : silicate d'alumine de formule  $2 SiO_3 3 Al_2O_3$ .
- <sup>18</sup> Muscovite : mica d'aluminium et de potassium.

---

<sup>19</sup> Podzols : sols formés sous l'influence d'un humus de type mor (contient des molécules intermédiaires entre la matière organique d'origine et les composés humiques). Les acides fulviques libérés en grandes quantités sont responsables d'une altération poussée des silicates (destruction des argiles) et d'une complexation importante du fer et de l'aluminium.

<sup>20</sup> Spore : vecteur de la dissémination pour les fougères, mousses et champignons.

<sup>21</sup> Silt : sédiment détritique meuble très fin d'origine minérale ou organominérale dont les grains ont un diamètre inférieur à 0,06 mm.

<sup>22</sup> Fraction respirable ou inhalable : fraction massique des particules totales en suspension dans l'air inhalée par le nez et la bouche. La fraction inhalable dépend de la vitesse et de la direction de l'air, de la fréquence respiratoire et d'autres facteurs (norme européenne NF EN 481 (X 43-276)).

<sup>23</sup> Fraction alvéolaire : fraction massique des particules inhalées qui pénètrent dans les voies aériennes non ciliées. Ces particules ont un diamètre aérodynamique médian égal à 4,25 µm (norme européenne NF EN 481 (X 43-276)).

<sup>24</sup> Fraction thoracique : fraction massique des particules inhalées pénétrant au-delà du larynx. Ces particules ont un diamètre aérodynamique médian égal à 11,64 µm (norme européenne NF EN 481 (X 43-276)).

<sup>25</sup> Fibrose pulmonaire : épaissement fibreux de tous les éléments de la paroi des alvéoles pulmonaires, entravant la diffusion de l'oxygène.

<sup>26</sup> Système lymphatique : ensemble d'organes constitués d'un tissu lymphoïde, qui a pour fonctions d'évacuer les déchets accumulés par les cellules dans les liquides interstitiels, d'empêcher la prolifération d'agents infectieux et de cellules cancéreuses et de prévenir les œdèmes.

<sup>27</sup> Atopie : tendance constitutionnelle ou héréditaire à présenter des réactions d'hypersensibilité immédiate (asthme allergique, ou rhume des foins par exemple), ou d'autres réactions allergiques à des allergènes qui ne provoquent aucune réaction chez les sujets normaux.

<sup>28</sup> Nodule : amas de petits renflements circonscrits, de forme grossièrement arrondie.

<sup>29</sup> Protéinose : pneumopathie rare, à évolution souvent mortelle, caractérisée radiologiquement par de fines opacités diffuses, à point de départ hilare, parfois nodulaires, sans adénopathies trachéobronchiques.

<sup>30</sup> Adénocarcinome : néoplasme malin se développant à partir des revêtements muqueux cylindrocubiques (en particulier tube digestif, organes génitaux, voies biliaires), des canaux excréteurs, des glandes exocrines ou des parenchymes glandulaires eux-mêmes.

<sup>31</sup> Carcinome spinocellulaire cutané : cancer invasif, caractérisé par la présence de lobules néoplasiques dans le derme. Végétante ou ulcérée en surface, cette tumeur qui a largement franchi la basale épidermique infiltre plus ou moins le derme profond.

<sup>32</sup> Mutagénicité : pouvoir d'entraîner une mutation.

<sup>33</sup> Génotoxicité : désigne la propriété de certains toxiques physiques ou chimiques (agents génotoxiques) à déclencher des mutations qui affecteront le patrimoine génétique des organismes exposés.

---

<sup>34</sup> Emphysème : distension entraînée par la présence d'air dans les interstices du tissu conjonctif ou dans le tissu alvéolaire des poumons.

<sup>35</sup> Sclérodermie : dermatose (nom générique de toutes les affections de la peau, en général non tumorale) caractérisée par l'épaississement et l'induration de la peau et du tissu cellulaire sous-cutané, et parfois des tissus profonds.

<sup>36</sup> Néphropathie : nom générique de toutes les affections des reins dont la plupart peuvent être classées selon le segment du néphron ou des autres éléments du rein qui sont lésés.

<sup>37</sup> Couronnes périurbaines : ensemble des communes de l'aire urbaine à l'exclusion de son pôle urbain.

<sup>38</sup> Communes multipolarisées : communes rurales et les unités urbaines situées hors des aires urbaines, dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans plusieurs aires urbaines, sans atteindre ce seuil avec une seule d'entre elles, et qui forment avec elles un ensemble d'un seul tenant.