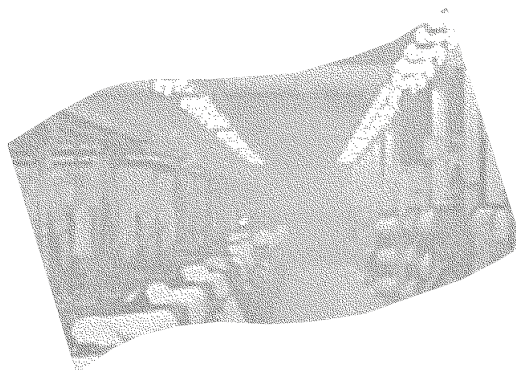


**Documentation des endotoxines  
présentes dans l'air ambiant  
des usines textiles du Québec  
traitant la fibre de coton**



**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

Geneviève Marchand  
Michèle Lalonde  
Carole Pépin  
Yves Beaudet  
Gilles Boivin  
Sylvie Villeneuve

R-354

**RAPPORT**





Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

## NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

### MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

### POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.  
Abonnement : 1-817-221-7046

IRSST - Direction des communications  
505, boul. De Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : (514) 288-1551  
Télécopieur : (514) 288-7636  
[publications@irsst.qc.ca](mailto:publications@irsst.qc.ca)  
**[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)**

© Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
décembre 2003.

# Documentation des endotoxines présentes dans l'air ambiant des usines textiles du Québec traitant la fibre de coton

Geneviève Marchand, Carole Pépin et Yves Beaudet  
Hygiène du travail, IRSST

Michèle Lalonde, Gilles Boivin et Sylvie Villeneuve  
Préventex

# ÉTUDES ET RECHERCHES

**RAPPORT**

Cliquez recherche  
[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)



Cette publication est disponible  
en version PDF  
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document  
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

## Table des matières

1.	Introduction.....	1
2.	Matériel et méthode .....	4
2.1	Usines.....	4
2.2	Procédés.....	5
2.3	Stratégie d'échantillonnage.....	10
2.4	Analyse des endotoxines.....	11
	Extraction.....	11
	Analyse LAL (lymulus amoebocyte lysate).....	11
2.5	Analyse statistique.....	12
3.	Résultats et discussion .....	13
3.1	Variation temporelle des concentrations d'endotoxines (hypothèse 1).....	13
3.2	Analyse des résultats par usine pour chaque intervention (hypothèses 2 et 3).....	15
3.2.1	Usine A .....	16
3.2.2.	Usine B .....	18
3.2.3	Usine C .....	20
3.2.4.	Usine D .....	24
3.3	Relation entre les concentrations d'endotoxines mesurées dans les différentes matrices (hypothèse 4).....	27
3.4	Les valeurs limites relatives (VLR) d'exposition .....	31
3.5	Les endotoxines dans le coton brut (hypothèse 5).....	32
4.	Conclusion .....	33
	Références.....	33

## Liste des figures

Figure 1 : Schéma des procédés.....	4
Figure 2 : Ouvraison manuelle.....	5
Figure 3 : Nettoyage ouvert .....	6
Figure 4 : Carde .....	6
Figure 5 : Métier à filer.....	7
Figure 6 : Banc à broche.....	7
Figure 7 : Métier à filer.....	8
Figure 8 : Ourdissage.....	8
Figure 9 : Encollage.....	9
Figure 10 : Tissage.....	9

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Concentrations moyennes d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine A. ....	16
Tableau 2 : Concentrations d'endotoxines dans les matériaux transformés - Usine A .....	17
Tableau 3 : Concentrations moyennes d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine B.....	18
Tableau 4 : Concentrations d'endotoxines dans les matériaux transformés – Usine B.....	19
Tableau 5 : Concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine C.....	20
Tableau 6 : Concentrations d'endotoxines dans les différents matériaux – Usine C .....	22
Tableau 7 : Concentrations d'endotoxines dans l'eau des laveurs d'air – Usine C.....	23
Tableau 8 : Concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine D .....	24

## RÉSUMÉ

L'industrie du textile représente environ 750 usines au Québec et implique plus de 33 000 travailleurs. Les travailleurs du coton ont été reconnus, il y a déjà plusieurs années, comme étant un groupe de travailleurs à risque de développer des maladies pulmonaires professionnelles. L'agent étiologique responsable de cette condition respiratoire demeure toutefois encore inconnu. Les endotoxines sont identifiées par certains chercheurs comme étant un agent étiologique potentiel de certains des problèmes respiratoires rencontrés chez les travailleurs de l'industrie du coton.

L'objectif principal du projet était de documenter les concentrations d'endotoxines rencontrées dans l'air ambiant des usines textiles du Québec où sont manipulées des fibres de coton. Le projet voulait également identifier les étapes de travail pour lesquelles les concentrations d'endotoxines dans l'air sont les plus élevées et d'identifier certains facteurs qui influencent les variations des concentrations d'endotoxines dans l'air.

Les usines étudiées lors de ce projet transforment les fibres de coton. Au total quatre usines ont participé au projet. Dans chaque usine, les différentes étapes de transformation ont été échantillonnées à trois reprises. Tous les échantillons d'air, d'eau et de matière ont été analysés par la méthode chromogénique du LAL en utilisant un principe de détection cinétique selon la méthode IRSST 332-1.

Cette étude a permis d'observer une grande variabilité des concentrations d'endotoxines tant dans l'air que dans les autres matrices. Malgré ces variations, il a été possible d'identifier certains procédés de transformation comme étant de plus grands générateurs d'endotoxines dans l'air ambiant. Les relations entre les concentrations dans l'air et dans les matériaux ou l'eau des laveurs d'air sont de bonnes pistes de contrôle des concentrations dans l'air puisqu'une relation a pu être démontrée. Nos résultats ne peuvent toutefois pas identifier toutes les variables qui influencent les concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant des usines de textiles qui transforment la fibre de coton. Les caractéristiques des systèmes de ventilation tels entre autres, le pourcentage d'air recirculé, le chauffage, le taux d'humidité et l'entretien, les système de captation à la source sont des facteurs qui ont été identifiés en cours d'étude comme pouvant avoir des effets sur les concentrations d'endotoxines mais qui n'ont pas été étudiés dans ce projet.

Ce projet permet de documenter pour quatre usines du Québec les concentrations d'endotoxines présentes dans l'air ambiant. Il est maintenant évident que les endotoxines sont des contaminants présents à différentes étapes de transformations des fibres de coton dans les usines du Québec.

## 1. INTRODUCTION

L'industrie du textile représente environ 750 usines au Québec et implique plus de 33 000 travailleurs. Environ 350 de ces usines utilisent le coton à un moment de leur production. Ceci concerne plus de 13 000 travailleurs qui manipulent de la fibre de coton lors de la fabrication de fils, tissus ou tricots.

En décembre 1995, un colloque intitulé « Étiologie des maladies respiratoires dues à la poussière de coton » avait lieu à Longueuil. Lors de ce colloque, le Dr Raymond Bégin du Centre hospitalier de l'Université de Sherbrooke avait rapporté une augmentation des maladies respiratoires parmi les travailleurs du textile au Québec au cours des 15 dernières années<sup>1</sup>. De 1980 à 1995, la CSST a reconnu 71 cas de byssinose dont 7 cas en 1995 seulement. La moitié de ces cas seraient rattachés à des emplois reliés aux ateliers de cardage<sup>1</sup>. Également à cette conférence, le Dr Castellan suggérait que les endotoxines puissent être un des agents responsables des problèmes respiratoires rencontrés dans les usines<sup>1</sup>. L'industrie du textile a été identifiée par certains chercheurs comme un milieu où des concentrations importantes d'endotoxines peuvent être rencontrées<sup>2,3,4</sup>.

Le protocole d'analyse des endotoxines de l'air n'est pas encore standardisé. Mais une méthode a été développée et est disponible pour effectuer l'analyse des endotoxines dans différents milieux de travail<sup>5</sup>. Des comparaisons inter-laboratoires ont démontré de grandes variations entre les résultats obtenus par ces laboratoires<sup>25</sup>. Par contre, lorsque les laboratoires utilisent les mêmes protocoles d'extraction, les écarts observés diminuent. Le lysat utilisé est également d'une grande importance au niveau de la variabilité inter-laboratoires. L'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist) rapporte que ces deux facteurs sembleraient même avoir un effet synergique<sup>25</sup>. La méthode d'analyse des endotoxines de l'air est une très bonne méthode comparative. Les analyses d'endotoxines effectuées à l'intérieur d'un même laboratoire fournissent de très bons indicateurs des concentrations relatives rencontrées.

Les endotoxines sont des composantes de la membrane cellulaire des bactéries Gram négatives<sup>6</sup>. On rencontre des endotoxines dans plusieurs environnements puisque tous les matériaux qui à un moment quelconque peuvent avoir été colonisés par des bactéries Gram négatives sont sujets à en contenir. Les endotoxines sont des toxines très puissantes qui peuvent causer de la fièvre lorsqu'elles pénètrent le système sanguin. Elles sont un adjuvant très puissant qui peut affecter le système immunitaire<sup>7</sup>. Elles peuvent se retrouver sur les particules inhalées qui se déposent à différents niveaux du système respiratoire selon leur dimension. Le chercheur Rylander considère que la pénétration maximale au niveau profond des poumons a lieu pour des particules inférieures à 2 µm de diamètre<sup>8</sup>. Une recherche de Hagling a démontré que 97% des particules au cardage étaient inférieures à 3 µm et 70% inférieures à 0,5-0,7 µm<sup>9</sup>. L'ACGIH rapporte que les particules sur lesquelles les endotoxines sont présentes font partie des particules de dimension sous-micronique.

Les endotoxines ont été impliquées pour la première fois comme agent causant une maladie professionnelle en 1942 par Neal<sup>10</sup>. Les travailleurs affectés étaient des fabricants de matelas utilisant du coton de mauvaise qualité. En 1961, Pernis et ses collaborateurs ont fait une étude pour déterminer le rôle des endotoxines dans certaines maladies professionnelles causées par l'inhalation de poussières végétales. Selon eux, plusieurs maladies professionnelles pourraient être attribuables à l'inhalation d'endotoxines. Parmi les maladies citées se retrouvent la fièvre du lundi, la byssinose, la toux du tisserand, la fièvre des imprimeurs, le poumon du fermier et quelques



autres<sup>11</sup>. Ces chercheurs sont conscients que la contamination n'est pas exclusive aux bactéries Gram négatives; mais ils prétendent que les produits de ces bactéries jouent un rôle majeur dans la pathologie de ces maladies professionnelles. Rylander a décrit les endotoxines comme un agent causant une inflammation des voies respiratoires. Il propose maintenant des valeurs guides de concentrations d'endotoxines dans l'environnement. Selon ses recherches, aucun effet de pneumonie toxique ne serait rencontré à des concentrations environnementales inférieures à 200 ng/m<sup>3</sup> (2000 unités d'endotoxines (UE)), et aucune inflammation des voies respiratoires à des concentrations inférieures à 10 ng/m<sup>3</sup> (100 UE)<sup>12</sup>. Toujours selon ce chercheur, une concentration inférieure à 100 ng/m<sup>3</sup> (1000 UE) préviendrait l'apparition des effets systémiques. Bien que la relation entre la dose d'endotoxines et les effets sur la santé ait été identifiée, Rylander ne considère pas que ceci prouve nécessairement la causalité. Selon lui, différentes autres démonstrations doivent être faites au préalable. Toutefois, Rylander suggère que rien n'empêche d'utiliser les endotoxines à titre d'indicateur du risque de maladie. L'ACGIH recommande maintenant des limites relatives d'exposition (LRE). Les LRE sont 10 fois le niveau de base pour des endroits où des symptômes ont été ressentis et 30 fois le niveau de base pour des endroits sans symptômes<sup>25</sup>. Les niveaux de base peuvent être un prélèvement fait dans l'air extérieur ou dans une pièce dont les niveaux attendus seront faibles et serviront de comparaison. L'ACGIH recommande la prudence lors du choix de ce qui doit constituer le niveau de base.

Les travailleurs du coton ont été reconnus, il y a déjà plusieurs années, comme étant un groupe de travailleurs à risque de développer des maladies pulmonaires professionnelles<sup>13</sup>. L'inhalation de la poussière de coton est associée à la byssinose, la fièvre des usines de textile (syndrome des poussières organiques), la bronchite chronique, des problèmes d'asthme et des irritations oculaires et nasales<sup>14,15,16</sup>. La byssinose est la plus reconnue des maladies respiratoires associées à l'exposition au coton. L'agent étiologique responsable de cette condition respiratoire demeure toutefois encore inconnu. Ceci est probablement dû à l'hétérogénéité du coton brut qui rend l'identification de l'agent causal difficile. Des études épidémiologiques ont démontré une relation entre les effets respiratoires et l'exposition à la poussière de coton mesurée de façon gravimétrique. Malgré les résultats de ces études, Castellan, Li et plusieurs autres considèrent que les effets sont causés par un agent biologique actif compris dans cette poussière<sup>14,15</sup>. En effet, une étude menée par des chercheurs de NIOSH a démontré une relation dose/effet claire entre une diminution marquée de FEV1 (volume d'expiration forcée en une minute) moyen et les concentrations d'endotoxines alors que les concentrations de poussières n'avaient pas de corrélation avec cet indicateur de la fonction respiratoire<sup>3,17,18</sup>. Les endotoxines sont identifiées par certains chercheurs comme étant un agent étiologique potentiel de certains des problèmes respiratoires rencontrés chez les travailleurs de l'industrie du coton<sup>19,20</sup>.

La poussière de coton est un mélange complexe qui comprend une grande variété de substances. Dans la définition de l'OSHA (Occupational Safety and Health Administration) la poussière présente dans l'air ambiant des usines lors de la manipulation du coton peut contenir un mélange de substances incluant des débris de plantes, des fibres, des bactéries, des moisissures, des particules de sol, des pesticides et d'autres contaminants qui se sont accumulés durant la culture, la récolte et les étapes d'entreposage<sup>14,21</sup>. Plusieurs facteurs peuvent influencer les caractéristiques de la poussière de coton. Des conditions de culture jusqu'aux étapes de transformation en usine, toutes les interactions effectuées avec le coton sont sujettes à un certain degré d'influence sur ces caractéristiques. La grande variabilité de la composition du coton a été identifiée par le Docteur Castellan comme étant une des explications possibles des différentes courbes de relation dose/effet définies à l'aide des mesures gravimétriques de la poussière de coton<sup>14</sup>. En effet, les concentrations

des différentes composantes qui pourraient avoir des effets sur la santé peuvent être très variables d'un coton à un autre. Rylander a rapporté que les concentrations d'endotoxines ne sont pas constantes dans toutes les poussières de coton<sup>11,22</sup>. Cavagna, Niven et Cinkotai ont présenté des résultats indiquant que l'incidence de la byssinose est fortement en relation avec les concentrations d'endotoxines mais pas avec celles de la poussière dans l'air du milieu de travail<sup>3,23,24</sup>.

L'objectif principal du projet était de documenter les concentrations d'endotoxines rencontrées dans l'air ambiant des usines textiles du Québec qui manipulent des fibres de coton. Le projet voulait également identifier les étapes de travail pour lesquelles les concentrations d'endotoxines dans l'air sont les plus élevées et d'identifier certains facteurs qui influencent les variations des concentrations d'endotoxines dans l'air.

Plusieurs facteurs peuvent influencer les concentrations d'endotoxines dans un milieu de travail. En premier lieu, les concentrations d'endotoxines dans la matière brute et le matériel manipulé lors de la transformation sont des facteurs importants qui peuvent influencer les concentrations d'endotoxines dans l'air du milieu de travail. Les matériaux utilisés au début de la transformation sont susceptibles de contenir des concentrations plus élevées que les matériaux transformés en fin production. Le type de manipulations que subissent les matériaux est un autre facteur d'influence important. En effet, la quantité d'endotoxines générées dans l'air peut être influencée par le degré de manipulation des matériaux. Au cours du projet, l'analyse de l'eau des laveurs d'air a été incorporée car il nous a semblé raisonnable de croire que les laveurs d'air puissent être responsables d'une certaine fraction des endotoxines présentes dans l'air du milieu de travail. Les informations recueillies lors de ce projet permettent de tracer un portrait des concentrations d'endotoxines rencontrées dans quatre usines textiles du Québec.

Les hypothèses de recherche du projet sont les suivantes.

Hypothèse 1 : les concentrations d'endotoxines de l'air sont constantes pour un même poste dans une même usine à des temps différents (comparaison temps<sub>0</sub>/temps<sub>six semaines</sub>/et temps<sub>six mois</sub>) si le même matériel est utilisé.

Hypothèse 2 : les concentrations d'endotoxines dans l'air diminuent à chaque étape de transformation (plus élevées au cardage qu'au tissage).

Hypothèse 3 : pour une même étape de transformation le type de procédé a une influence sur les concentrations d'endotoxines dans l'air (ex. : cardes ouvertes/cardes fermées).

Hypothèse 4 : une relation peut être démontrée entre les concentrations d'endotoxines dans l'air et celles mesurées dans le matériel de travail et l'eau des laveurs d'air.

Hypothèse 5 : les concentrations d'endotoxines dans le coton brut utilisé dans les usines contiennent des concentrations variables d'endotoxines selon leur grade et leur provenance.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

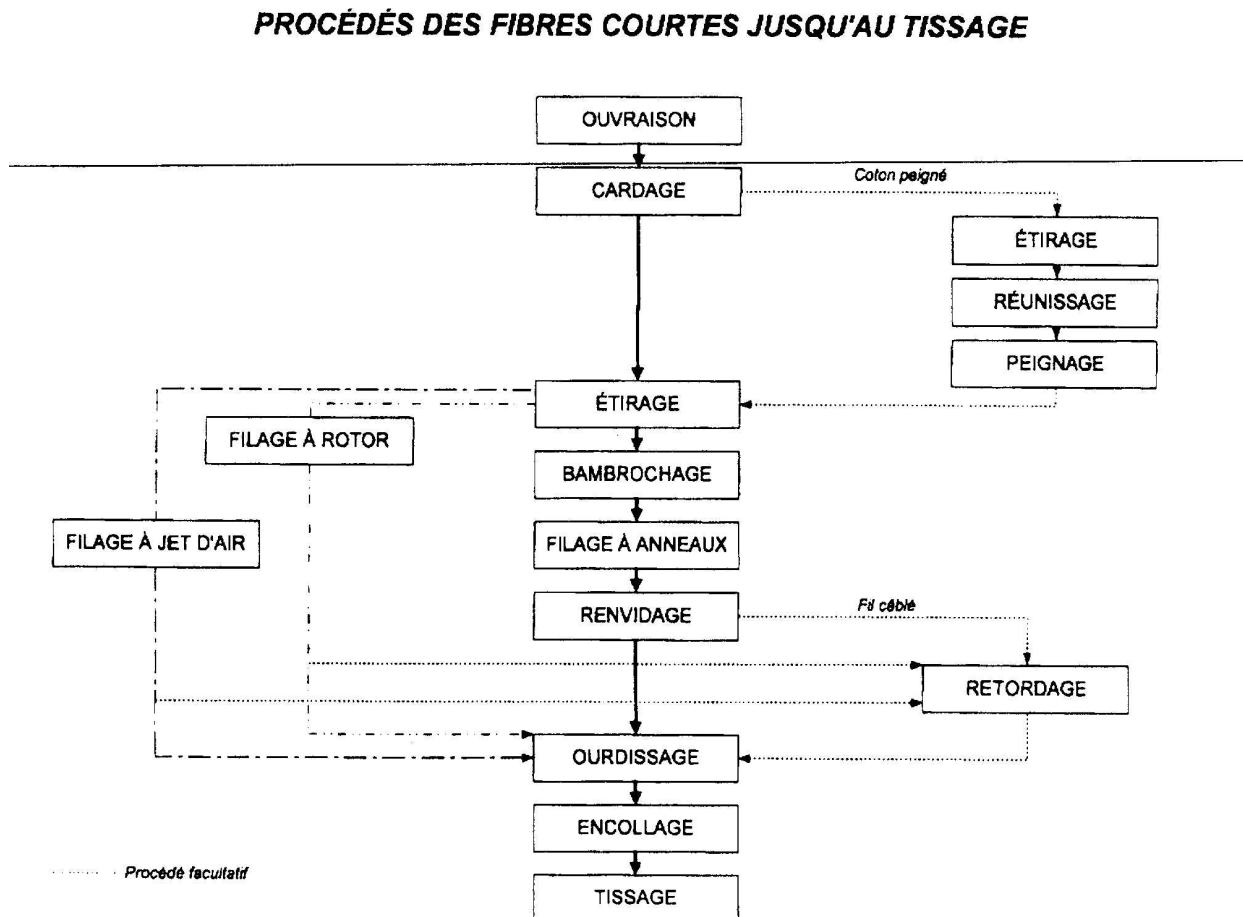
### 2.1 Usines

Les usines étudiées lors de ce projet transforment les fibres de coton. Elles travaillent soit avec du coton pur à 100% ou avec des mélanges de fibres contenant des pourcentages variés de coton. Au total quatre usines ont participé au projet. Bien qu'initialement une cinquième usine ait accepté de participer, des circonstances incontrôlables ont rendu l'évaluation de cette usine impossible.

Les usines évaluées sont de dimensions variables. Les usines A et B sont des constructions récentes et transforment les fibres jusqu'à la production du fil. Les usines C et D sont de dimension supérieure et font la transformation jusqu'à la production des tissus. Les équipements utilisés dans les usines A et B sont plutôt modernes alors que les usines C et D possèdent de la machinerie datant de diverses époques.

Les usines A et B effectuent leur transformation dans un espace à aire ouverte. Les deux autres usines ont des procédés qui se séparent sur plusieurs étages.

Figure 1 : Schéma des procédés



## 2.2 Procédés

Lors de cette étude 12 étapes de transformation ont été évaluées pour un total de 17 techniques ou situations différentes. Voici une brève description des différentes techniques étudiées lors de ce projet.

Entrepôt : grand espace à l'intérieur duquel sont gardés les ballots de coton avant la transformation. La dimension des entrepôts varie en fonction de la grandeur de l'usine.

Ouvraison : premier procédé dans la transformation du coton. Procédé par lequel les ouvreuses défont les ballots et secoue lâchement les fibres pour les nettoyer. L'ouvraison permet d'effectuer un mélange des différents ballots de coton et d'obtenir un mélange qui réduit la variation dans le produit fini et assure la qualité de fil voulue.



**Figure 2 : Ouvraison manuelle**

Durant le projet deux techniques d'ouvraison différentes ont été évaluées, soit l'alimentation manuelle ou à l'aide d'un robot.

Nettoyage : étape de transformation qui permet de retirer du coton brut certaines impuretés. Le projet a permis d'évaluer un système clos et un système ouvert.



**Figure 3 : Nettoyage ouvert**

Cardage : sert à démêler les fibres et à éliminer les dernières impuretés du coton. Lors de cette étape, un ruban est créé et déposé en spirale dans un pot.



**Figure 4 : Carde**

Deux types de cardes ont été évalués; des cardes ouvertes et des cardes plus récentes qui sont pratiquement fermées. Différents modèles de cardes fermées ont été évalués.

Étirage : cette étape sert à régulariser le poids du ruban d'étirage. C'est lors de l'étirage que le mélange des différentes fibres peut se faire (ex. coton polyester). Il y a habituellement deux passages sur les bancs d'étirage.



**Figure 5 : Métier à filer**

Banc à broche : procédé qui permet la réduction de la dimension du ruban en un produit adéquat à la transformation au filage à anneaux.



**Figure 6 : Banc à broche**

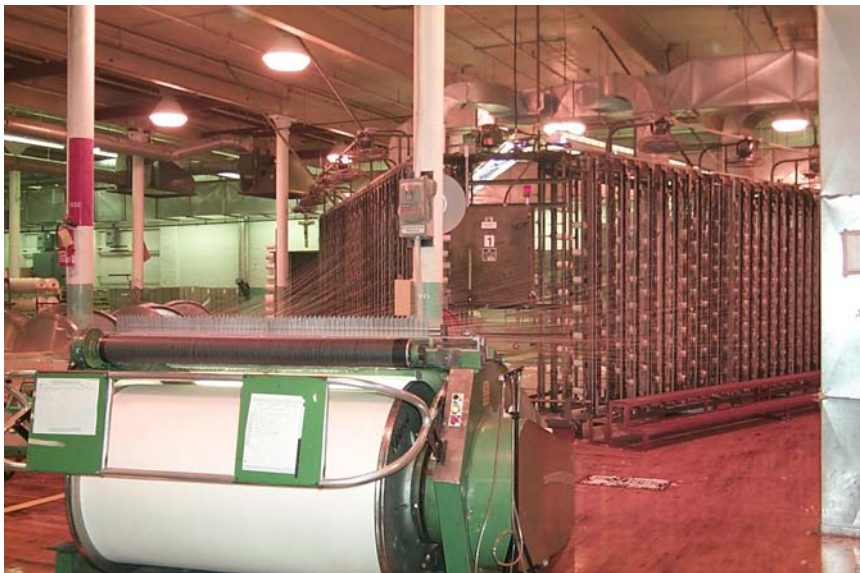
Métier à filer : étape de procédé qui permet la fabrication du fil à partir du banc à broche ou directement du banc d'étirage selon le procédé de filature utilisé.



**Figure 7 : Métier à filer**

Trois types de métier à filer ont été étudiés lors du projet. Le filage à anneaux, le filage à fibres libérées et le filage à jet d'air.

Ourdissage et ensouplage: opération qui permet la création d'une nappe de brin en préparation au tissage. Les brins sont enroulés côte à côte sur un gros rouleau à joues.



**Figure 8 : Ourdissage**

Encollage : étape qui permet d'augmenter la résistance de fils afin qu'ils puissent supporter les effets abrasifs subis au tissage.



**Figure 9 : Encollage**

Renvidage : étape qui permet de transférer les fils d'un support à un autre afin qu'ils puissent être utilisés à une étape subséquente de la transformation.

Tissage : étape qui permet la fabrication du tissu par l'entrecroisement à angle droit de deux séries de fils : les fils de chaîne et les fils de trame. Le fil de chaîne provient de l'ensouple.



**Figure 10 : Tissage**

Deux types de métier à tisser ont été étudiés durant le projet. Les métiers à projectiles et ceux à jet d'air.



### 2.3 Stratégie d'échantillonnage

Dans chaque usine les différentes étapes de transformation ont été échantillonnées à trois reprises. Une première série de prélèvements suivie de six semaines plus tard par une deuxième et six mois plus tard par une dernière série. Une telle stratégie permet de démontrer s'il y a variation temporelle des concentrations d'endotoxines à l'intérieur des usines. Les prélèvements ont été étalés sur une période de dix mois de mai 2000 à mars 2001.

Chaque usine sélectionnée a été visitée préalablement et le nombre de prélèvements pour chaque étape de procédé a été fixé suite à ces visites. Le nombre de prélèvements effectués à chaque étape varie de trois à neuf échantillons dépendamment de la superficie occupée et du type de transformation effectuée au poste de prélèvement. Pour chaque étape de transformation un échantillon du matériel traité a été prélevé. L'eau contenu dans les laveurs d'air des usines a également été échantillonnée. Dans les usines textiles, les laveurs d'air sont utilisés dans les systèmes de ventilation afin d'augmenter l'humidité de l'air et ce, bien qu'ils aient initialement été utilisés pour retirer les particules présentes dans l'air. L'eau était recueillie dans les bassins à l'aide de tubes Corning Costar (Fisher) stériles de 50 ml. Les échantillons de matière étaient aussi prélevés et placés dans les tubes stériles de 50 ml.

Lors de chaque journée d'échantillonnage, l'air extérieur a été prélevé car les concentrations rencontrées dans l'air extérieur ont servi de niveau de base au calcul de la valeur limite relative d'exposition. Les prélèvements d'air ont été réalisés à l'aide de cassettes Button munies de filtres de fibres de verre ayant une porosité de 1  $\mu\text{m}$ . L'échantillonneur d'aérosols Button de SKC est un porte filtre en stainless steel qui est réutilisable. Son orifice de captation est formé d'une demi-coquille sphérique ayant des trous dispersés également sur toute sa surface. Cette structure confère à l'échantillonneur une capacité de prélèvement multidirectionnelle. Le Button répond aux critères d'échantillonneur de particules inhalables de l'ACGIH/ISO. C'est-à-dire que le prélèvement des particules inférieures à 100  $\mu\text{m}$  de diamètre aérodynamique s'effectue avec une bonne efficacité de captation. Le design de l'échantillonneur Button minimise le prélèvement des particules supérieures à 100  $\mu\text{m}$  qui sont nombreuses dans l'industrie du textile.

Avant leur utilisation, les filtres de fibre de verre ont été traités au four Pasteur à 180°C pour une période minimum de quatre heures ce qui les rend apyrogènes. Les cassettes Button étaient également traitées au four Pasteur entre les journées de prélèvement pour éliminer également les produits pyrogéniques. Sur le site, après la première série de prélèvements, les filtres étaient transférés dans des tubes Corning Costar (Fisher) stériles de 50 ml et de nouveaux filtres apyrogènes étaient installés de façon stérile dans les cassettes qui étaient flambées entre les séries de prélèvements. Des extractions de blancs ont permis de démontrer que les tubes Corning stériles contenaient des concentrations d'endotoxines inférieures à 0,05 EU/ml. Un laboratoire temporaire était installé dans les usines. Le débit de captation utilisé est de 10 L/min pour une période de 60 minutes, tel que le recommande le manufacturier pour les prélèvements en air ambiant. Un volume total de 0,6 mètres cube d'air est ainsi prélevé pour l'analyse des endotoxines de l'air.

Le débit d'échantillonnage était ajusté au début de chaque prélèvement directement au site de prélèvement. À la fin, le débit était repris et le volume d'air prélevé était calculé à l'aide du débit moyen mesuré. Les débits ont été mesurés à l'aide de débitmètre à fils chauffants de marque Kurz ayant une étendue de mesure de 0 à 50 L/minutes.

## 2.4 Analyse des endotoxines

### Extraction

Dans les deux semaines suivant le prélèvement, les échantillons ont été extraits dans 20 ml d'eau stérile pour irrigation USP (Baxter corporation, Toronto, Canada) contenant moins de 0,05 EU/ml. L'extraction se fait par une sonification de 60 minutes suivie par une agitation de 30 minutes au vortex. Par la suite, une centrifugation à 1500 rpm de dix minutes est réalisée afin de se débarrasser des particules solides. Une fois l'extraction terminée le surnageant est transféré dans deux tubes stérils de 2,0 ml (BioRad Laboratories Hercules, Californie, USA).

### Analyse LAL (*lymus amoebacyte lysate*)

Tous les échantillons d'air, d'eau et de matière ont été analysés par la méthode chromogénique du LAL en utilisant un principe de détection cinétique selon la méthode IRSST 332-1. Les réactifs LAL utilisés sont produits par la compagnie Endosafe Charles River. Le tampon de reconstitution utilisé possède une spécificité accrue aux endotoxines, ce qui réduit les risques d'interférences produites par le 3-1-3 Glucan et d'autres produits. Chaque plaque 96 puits (Associate of Cape Cod, Cape Cod, USA) permet l'analyse de 12 échantillons.

Une courbe standard de trois points en double replicat est effectuée dans chaque plaque; elle couvre une étendue variant de 1 à 0,01 EU/ml. La variation entre les replicats doit être inférieure à 4%. Les concentrations des échantillons sont calculées à l'aide de ces courbes standard. Le standard d'endotoxines que nous avons utilisé correspond à 1 EU pour 10 ng. Tous les échantillons ont été analysés à l'aide d'un ajout dosé. Un pourcentage supérieur à 50% de récupération de cet ajout dosé devait être obtenu pour considérer que l'échantillon n'était pas influencé par de l'interférence. Si une interférence était démontrée l'échantillon était dilué à un facteur variant de 1/25 à 1/10 000 lorsque les concentrations d'endotoxines le permettaient. Des problèmes d'interférence ont été rencontrés pour plusieurs des échantillons. Comme contrôle positif, un ajout dosé était également effectué dans de l'eau LRW (LAL Reagent Water) (Associate of Cape Cod, Cape Cod, USA) et une récupération supérieure à 25% de cet ajout dosé devait être obtenue pour que les résultats soient conservés. Des contrôles négatifs ont été effectués dans chaque plaque et leurs temps de réponse devrait être supérieur au plus petit point de la courbe standard pour que les analyses soient valides. Tous les contrôles effectués permettent d'obtenir des résultats fiables et de haute qualité. Malgré la variabilité reconnue de toute méthode d'analyse des endotoxines, nos résultats peuvent être comparés entre eux grâce à cette rigueur et au respect des nombreux contrôles de qualité effectués pour cette méthode.

La limite de détection de la méthode est d'environ 3 UE/m<sup>3</sup> d'air pour un volume d'échantillonnage de 0,6 m<sup>3</sup>. La limite de détection est affectée par le volume d'air qui a été prélevé.

## 2.5 Analyse statistique

Afin de vérifier la première hypothèse de recherche, c'est-à-dire que les concentrations d'endotoxines de l'air sont constantes pour un même poste dans une même usine à des temps différents nous avons vérifié l'effet de la variable période par une analyse de variance (ANOVA). Les comparaisons entre les concentrations d'endotoxines de l'air obtenues aux différents postes ont été faites à l'aide du test de Kuskal Wallis pour les données dont les résultats ne respectent pas la distribution normale puisque ce test ne demande pas le respect rigoureux de ce critère. Afin de vérifier si un lien existe entre les concentrations d'endotoxines présentes dans l'air et celles mesurées soit dans les matériaux et l'eau des laveurs d'air, des analyses de corrélation et de régression ont été effectuées sur le logarithme naturel des concentrations d'endotoxines mesurées dans chaque matrice.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

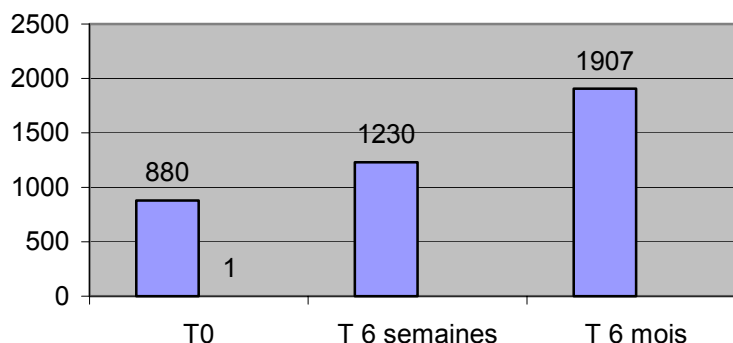
#### 3.1 Variation temporelle des concentrations d'endotoxines (hypothèse 1)

Pour chacune des usines étudiées, des analyses de variance ont été effectuées sur les données afin de vérifier la variabilité dans le temps des concentrations d'endotoxines dans l'air.

Usine A

Graphique 1 : concentrations moyennes d'endotoxines aux trois périodes d'intervention à l'usine A

L'usine A est une filature qui fabrique des fils de coton ou des fils mixtes de coton et polyester.

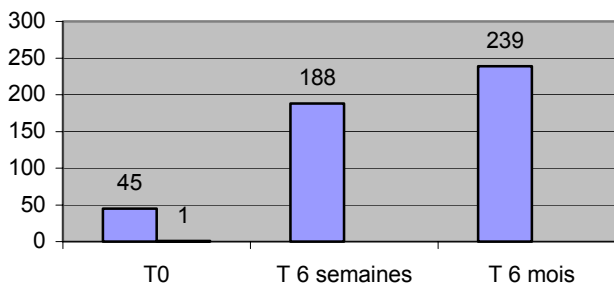


Lors des interventions T 0 et T 6 semaines, les deux types de fils étaient produits. Lors de la dernière intervention, seuls des fils de coton à 100% étaient produits. Un tel changement dans la transformation peut être responsable d'une certaine variation des concentrations d'endotoxines dans le temps.

Les résultats démontrent que les concentrations aux temps zéro et 6 mois sont significativement différentes l'une de l'autre. Les concentrations à la dernière intervention sont plus élevées que lors de la première intervention. La manipulation exclusive de coton lors de la dernière intervention peut avoir généré des concentrations plus élevées d'endotoxines dans l'air ambiant de l'usine.

Usine B

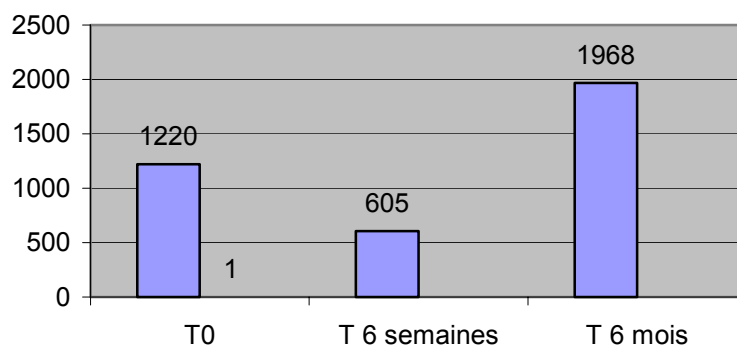
Graphique 2 : concentrations moyennes d'endotoxines de l'air aux trois périodes d'intervention à l'usine B



L'usine B est également une filature. Cette usine fabrique des fils de fibres mixtes de polyester et de coton. Les concentrations moyennes obtenues lors de interventions au temps zéro sont significativement plus faibles que celles obtenues lors des deux autres interventions. Lors de la deuxième intervention, le système de ventilation de cette usine avait été en panne durant une partie de la nuit. Une telle panne du système de ventilation peut avoir une certaine responsabilité de l'augmentation des concentrations. Au temps 6 mois, aucune modification au niveau des procédés ou de l'environnement ne permet d'expliquer la variation lors de cette intervention. Les concentrations moyennes d'endotoxines mesurées dans l'air ambiant de cette usine sont les plus faibles qui ont été mesurées au cours de notre étude.

#### Usine C

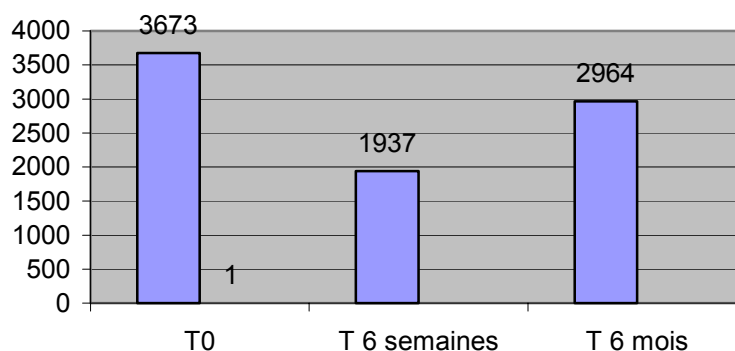
Graphique 3 : concentrations moyennes d'endotoxines de l'air aux trois périodes d'intervention à l'usine C



L'usine C est une usine de grande dimension dans laquelle les procédés de transformation sont répartis sur plusieurs étages. Cette usine fabrique des fils et des tissus faits de fibres mixtes ou de coton à 100%. Les concentrations moyennes d'endotoxines de l'air mesurées aux temps 6 semaines sont significativement différentes de celles mesurées au temps 6 mois. Aucune modification des procédés ou de l'environnement ne permet d'expliquer cette différence entre ces interventions.

#### Usine D

Graphique 4 : concentrations moyennes d'endotoxines de l'air aux trois périodes d'intervention dans l'usine D



L'usine D est également une usine de grande dimension dont les procédés sont répartis sur plusieurs étages. Dans cette usine les fils et tissus fabriqués sont faits de coton à 100%. La variation entre les différentes interventions ne peut non plus être expliquée par une modification des procédés ou de l'environnement.

L'analyse temporelle des concentrations des endotoxines de l'air a permis de démontrer qu'une variation non négligeable est rencontrée peu importe l'usine analysée. Cette variation pourrait être expliquée dans certaines situations, par des modifications des matériaux traités ou des changements au niveau de la ventilation mais pas pour toutes les situations. La quantité d'air frais selon la période de l'année peut également être un facteur influant à ce niveau. Beaucoup de facteurs peuvent influencer les concentrations d'endotoxines dans le temps.(i.e. les matériaux traités selon les périodes, les fibres de coton traités, l'entretien des laveurs d'air et des systèmes de ventilation, les conditions de fonctionnement des systèmes de ventilation...)

#### Comparaison entre les usines

Une analyse de comparaison multiple a été effectuée sur l'ensemble des données recueillies dans les quatre usines afin de vérifier si des concentrations moyennes significativement différentes pouvaient être démontrées. Le test de Kruskal-Wallis appliqué à l'ensemble des données permet de démontrer que les concentrations d'endotoxines mesurées dans l'air ambiant de l'usine B sont significativement inférieures que les concentrations mesurées dans l'air des usines C et D. De plus, les concentrations mesurées dans l'air de l'usine D sont significativement plus élevées que celles mesurées dans les usines A, B et C.

### **3.2 Analyse des résultats par usine pour chaque intervention (hypothèses 2 et 3)**

Puisque pour toutes les usines étudiées, une uniformité des concentrations d'endotoxines dans l'air n'a pu être démontrée entre chaque intervention, celles-ci doivent être analysées séparément. Des différences statistiques obtenues par une comparaison multiple de Kruskal-Wallis seront données à partir des concentrations les plus élevées.

### 3.2.1 Usine A

#### a) L'air ambiant

**Tableau 1 : Concentrations moyennes d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine A.**

Postes		T 0 (mai)		T 6 semaines (juillet)		T 6 mois (novembre)	
		# échantillon	Concentrations moyennes	# échantillon	Concentrations moyennes	# échantillon	Concentrations moyennes
			UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air
Banc d'étirage	100%	6	790a D	6	1921 D	6	1787a
	Mixte	5	1140 C	6	2678b	-	-
Cardage	100%	9	896a	8	2105	9	1924a
	Mixte	8	1118	8	1466a	-	-
Entrepôt	100%	3	884a	2	670a	3	3628b
Métier à filer	100%	9	1003a	8	1792 D	9	1767a
	Mixte	8	1494b	8	2722b	-	-
Nettoyage	100%	3	1026	3	693a	2	2504
Ouvraison	100%	6	1084	4	1483a	6	1486a

Remarque : Les concentrations d'endotoxines mesurées aux postes identifiés de la lettre a sont significativement différentes de celles mesurées aux postes identifiés de la lettre b. Les concentrations mesurées aux postes marqués de la lettre C sont significativement différents des postes marqués de la lettre D.

L'usine A possède six étapes différentes de transformation. L'entrepôt, l'ouvraison et le nettoyage traitent des fibres de coton seulement. Le banc d'étirage, le cardage et les métiers à filer font la transformation des fibres mixtes et de 100% coton.

Dans cette usine, les concentrations d'endotoxines de l'air ont varié de 670 UE/m<sup>3</sup> d'air jusqu'à 3628 UE/m<sup>3</sup> d'air à l'entrepôt. Les résultats obtenus au temps 6m pour l'entrepôt sont reproductibles pour les trois échantillons mais ne semblent tout de même pas refléter les concentrations normales rencontrées dans les entrepôts. Nous n'avons pas retiré cette donnée mais nous pensons qu'il faille la traiter avec réserve.

Dans cette usine, lorsqu'il y a transformation de fibres mixtes et de fibres de coton, les concentrations maximales d'endotoxines dans l'air sont rencontrées au banc d'étirage et au métier

à filer qui effectue la transformation des fibres mixtes. Les concentrations au métier à filer qui transforme les fibres mixtes sont significativement plus élevées que les concentrations mesurées au banc d'étirage 100% coton, au cardage 100% coton, à l'entrepôt et au métier à filer 100% coton. Les concentrations mesurées au banc d'étirage des fibres mixtes sont également significativement plus élevées que les concentrations mesurées au banc d'étirage 100% coton pour les temps zéro et six semaines.

Ces résultats sont en contradiction avec certaines de nos attentes. En effet, dans cette usine, les concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant sont supérieures aux dernières étapes de transformation du coton alors que nous avons cru que les concentrations diminueraient tout au long de la transformation. De plus, comme le coton est la source première d'endotoxines, il aurait été attendu que les concentrations mesurées lors de la transformation de fibres mixtes soient inférieures pour un même procédé aux concentrations mesurées lors de la transformation des fibres 100% coton. Ces résultats démontrent que d'autres sources de variations sont probablement présentes dans le milieu.

Lorsque l'usine ne traite que des fibres de coton les concentrations maximales sont rencontrées à l'entrepôt, au nettoyage et au cardage. En effet, les concentrations d'endotoxines mesurées à l'entrepôt sont significativement supérieures à toutes les autres postes sauf celui du nettoyage.

#### b) Les matériaux

Dans cette usine, les concentrations d'endotoxines mesurées dans les matériaux ont varié de 13 160 UE/g pour le fil de fibres mixtes à 171 758 UE/g pour le ruban de coton.

**Tableau 2 : Concentrations d'endotoxines dans les matériaux transformés - Usine A**

Postes		T 0	T 6 semaines	T 6 mois
		UE/g	UE/g	UE/g
Ruban de carde	100%	32298	171758	47856
	Mixte	28126	53874	
Banc d'étirage	100%	54302	73232	48955
	Mixte	27692	43464	
Métier à filer	100%	21071	57721	22545
	Mixte	13160	30569	
Coton ouvrison		-	151045	36795

Dans les matériaux de coton à 100% les concentrations mesurées sont supérieures à celles mesurées dans les matériaux de fibres mixtes. Ces résultats sont en accord avec les résultats attendus. Dans l'air, une telle relation n'a pu être démontrée, le contenu en endotoxines dans les matériaux ne semble pas être en relation directe avec les concentrations mesurées dans l'air.



## c) Laveurs d'air

Dans l'eau des laveurs d'air, les concentrations sont de 1698 UE/ml au temps zéro, 1150 UE/ml au temps 6 semaines et de 6576 UE/ml au temps de 6 mois. L'augmentation des concentrations d'endotoxines dans l'eau des laveurs peut être en partie responsable de l'augmentation des concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant de l'usine.

**3.2.2. Usine B**

## a) L'air ambiant

**Tableau 3 : Concentrations moyennes d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine B**

Postes	T 0 (mai)		T 6 semaines (juin)		T 6 mois (octobre)	
	# échantillon	Concentrations moyennes	# échantillon	Concentrations moyennes	# échantillon	Concentrations moyennes
		UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air
Entrepôt	3	37 <sup>a</sup>	3	96	3	167 <sup>a</sup>
Ouvraison	6	57 <sup>b</sup>	6	353 <sup>b</sup>	6	356 <sup>b</sup>
Nettoyage	2	48	3	267 <sup>b</sup>	3	282
Cardage	7	70 <sup>b</sup>	7	273 <sup>b</sup>	9	390 <sup>b</sup>
Banc d'étirage	6	42	5	345 <sup>b</sup>	6	295
Métier à filer	6	50	8	67 <sup>a</sup>	9	146 <sup>a</sup>

Remarque : Les concentrations d'endotoxines mesurées aux postes identifiés d'un a sont significativement différentes de celles mesurées aux postes identifiés du b.

L'usine B possède six étapes de transformation différentes; ces étapes sont les mêmes que celles rencontrées dans l'usine A. Dans cette usine, seules des fibres mixtes de coton et de polyester sont traitées. Les postes de cardage, banc d'étirage et métier à filer transforment les fibres mixtes alors qu'à l'entrepôt, à l'ouvraison et au nettoyage se sont encore les fibres de coton à 100%.

Dans cette usine, les concentrations d'endotoxines dans l'air ont varié de 37 UE/m<sup>3</sup> d'air à l'entrepôt à 390 UE/m<sup>3</sup> au cardage.

Des différences significatives ont été démontrées par un test de Kruskal-Wallis pour données non paramétriques. Les concentrations d'endotoxines mesurées dans l'air ambiant à l'ouvraison et au cardage sont significativement plus élevées que celles mesurées à l'entrepôt lors de la première et la dernière intervention alors qu'elles sont plus élevées que celles mesurées au métier à filer lors des deux dernières interventions. Lors de la deuxième intervention les concentrations mesurées au nettoyage et au banc d'étirage sont également significativement plus élevées que celles mesurées au métier à filer.

## b) Les matériaux

Les concentrations d'endotoxines mesurées dans les matériaux transformés dans cette usine ont varié de 4 709 UE/g au fil produit au métier à filer à 217 857 UE/g dans un morceau de la nappe de coton brut.

**Tableau 4 : Concentrations d'endotoxines dans les matériaux transformés – Usine B**

Postes	T 0	T 6 semaines	T 6 mois
	UE/g	UE/g	UE/g
Cardage	55339	60537	20535
Étirage	42775	40780	16447
Filage	4709	23731	21769
Ouvraison	106870	165255	217857

Les concentrations d'endotoxines présentes dans les matériaux sont en général supérieures au début du processus de transformation par rapport aux concentrations obtenues dans les matériaux en fin de transformation.(i.e. ouvraison). Une telle relation ne se rencontre pas avec les concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant.

## c) Laveurs d'air

Les laveurs d'air n'ont été analysés que lors des deux dernières interventions. Les résultats obtenus sont pour le temps 6 semaines de 37 UE/ml pour le laveur d'air du système de ventilation qui alimente le cardage, l'étirage et l'ouvraison et de 28 UE/ml pour le système de ventilation qui alimente la section des métiers à filer. Lors de la dernière intervention les concentrations ont été de 46 et 151 UE/ml respectivement. L'augmentation des concentrations d'endotoxines dans l'eau au laveur d'air du système alimentant la section des métiers à filer pourrait peut-être expliquer une partie de l'augmentation des concentrations rencontrées dans l'air ambiant de ce procédé, puisque les concentrations d'endotoxines lors des deux interventions étaient équivalentes dans les matériaux.

### 3.2.3 Usine C

a) L'air ambiant

**Tableau 5 : Concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine C**

Postes	T 0 (juillet)		T 6 semaines (août)		T 6 mois (janvier)	
	# échantillon	Concentrations moyennes	# échantillon	Concentrations moyennes	# échantillon	Concentrations moyennes
		UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air
Entrepôt	3	48a	3	29a	2	215a
Ouvraison robot coton 100%	6	55a	4	24a	6	67a
Ouvraison manuelle coton et autres	4	5074b	5	2352b	6	4862b
Nettoyage	3	3912b	3	1284a	3	4316
Cardage vieille	8	5634b	7	1206a	8	3541
Cardage supercarde	7	7160c	6	2111b	9	4539b
Étirage	5	809a	6	1393	5	4061
Banc à broches	5	653a	6	432a	6	2827a
Métier à filer anneaux	7	1127	8	618a	8	4516b
Métier à filer jet d'air	7	519	9	366a	9	771a
Métier à filer fibres libérées (couvertes)	5	1838	6	872a	6	2123a
Renvidage	2	1000	3	619a	3	1633a
Encollage	2	70a	3	37a	1	93a
Ourdissage	3	32a	3	231a	1	457a
Tissage projectile 100% coton	8	330a	8	148a	7	422a
Tissage - Projectile flanelle	8	749a	9	535a	9	3744

Tissage – Mixte ancienne sulzer	9	266a	9	41a	9	330a
Tissage mixte nouvelle sulzer	9	272a	9	73a	9	364a

Remarque: Les concentrations d'endotoxines mesurées aux postes identifiés de la lettre a sont significativement différentes de celles mesurées aux postes identifiés de la lettre b. Les concentrations mesurées aux postes marqués de la lettre c sont significativement différents des postes marqués des lettres a et b.

Dans cette usine, les concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant des différentes étapes de transformation ont varié de 24 UE/m<sup>3</sup> pour l'ouvraison à 7160 UE/m<sup>3</sup> d'air pour les supers cardes. Cette usine permet d'effectuer certaines comparaisons entre des procédés. En effet, les concentrations mesurées dans l'air ambiant des deux postes d'ouvraison sont très différentes. Des concentrations inférieures à 100 UE/m<sup>3</sup> d'air ont été mesurées à l'ouvraison robotisée qui traite les fibres de coton brut, comparativement à des concentrations supérieures à 2000 UE/m<sup>3</sup> d'air à l'ouvraison manuelle qui traite du coton brut, des résidus de coton provenant du pneumafile et de freintes. La différence des concentrations est attribuable à la différence des machines. L'ouvraison manuelle crée une aérosolisation importante des particules. Il faut également noter que les matériaux manipulés ne sont pas les mêmes mais les concentrations d'endotoxines mesurées dans les matériaux manipulés aux deux procédés sont du même ordre de grandeur.

Pour chaque intervention, les concentrations obtenues aux supercardes sont supérieures aux concentrations obtenues aux vieilles cardes. La configuration des machineries laissait croire que les concentrations devraient être inférieures aux supercardes par rapport aux vieilles cardes. En effet, ces machines fonctionnent en circuit fermé ce qui aurait dû avoir comme effet de limiter la projection de particules dans l'air. D'autres facteurs influencent donc les concentrations pour ce procédé par exemple la quantité traitée/unité de temps pouvant être un des facteurs d'influence.

Au niveau des différents types de métiers à filer celui à jets d'air donne constamment des concentrations plus faibles que celles mesurées aux autres types de métiers à filer. Sauf pour la dernière intervention, les concentrations aux métiers à fibres libérées sont supérieures aux concentrations obtenues au métier à filer à anneaux. Le métier à filer à fibres libérées produit la flanelle.

Les concentrations mesurées au tissage sont relativement faibles entre 41 et 422 UE/m<sup>3</sup> d'air pour tous les métiers à tisser sauf ceux qui effectuent le tissage de la flanelle pour lesquels les concentrations ont varié de 535 à 3 744 UE/m<sup>3</sup> d'air.

Il est à noter, que lorsqu'il y a transformation de matériaux destinés à la fabrication de tissus de flanelle les concentrations sont en général plus élevées pour la machinerie qui effectue cette transformation. Par contre, la seule fabrication de ce type de tissus ne peut être responsable de toute l'augmentation des concentrations d'endotoxines puisqu'à chaque étape de transformation plusieurs autres différences importantes sont également observées. Toutes ces différences peuvent être en partie responsable d'une certaine part de la variation. Par exemple, au cardage il y a des supercardes pour la flanelle et des cardes beaucoup plus âgées et ouvertes pour les autres transformations. Une seule variable n'a pu être identifiée.

À l'ouvraison il y a utilisation d'un robot comparativement à l'ouvraison manuelle pour la flanelle. Au métier à filer la technologie du filage à fibres libérées est utilisée pour la flanelle alors que le

jet d'air ou le filage à anneaux est utilisé pour les autres. Il n'y a qu'au tissage que la technologie à projectile est utilisée pour la flanelle et les autres tissus. À cette étape, il est possible de contrôler certaines variables et ainsi comparer la fabrication de la flanelle et des autres tissus. La flanelle semble être responsable d'une partie des augmentations des concentrations d'endotoxines dans l'air pour cette étape.

b) Les matériaux

**Tableau 6 : Concentrations d'endotoxines dans les différents matériaux – Usine C**

Postes	T 0	T 6 semaines	T 6 mois
	Concentration	Concentration	Concentration
	UE/g	UE/g	UE/g
Banc à broche	39407	13388	127832
Carde supercarde	130055	14498	61906
Vieille carde	37742	10260	74721
Encollage	16223	7857	-
Étirage	30025	20793	100230
Filage anneaux	33431	28555	41028
Filage fibres libérées	48088	11590	26651
Filage jet d'air	58624	-	59783
Nettoyage	60655	17380	101491
Ouvraison robot	239371	-	83488
Ouvraison manuelle	41544 à 329423	8998 à 98286	1729 à 56988
Renvidage	41947	53827	52837
Tissage projectile 100% coton	40394	11563	-
Tissage projectile flanelle	-	7261	-
Tissage ancienne sulzer Mixte	-	2788	-
Tissage nouvelle sulzer Mixte	-	5700	-

Ourdissage	-	17672	42215
------------	---	-------	-------

Les concentrations obtenues dans les matériaux pourraient peut-être pour certains procédés expliquer une partie des variations obtenues dans le temps. Par contre, pour d'autres procédés aucun lien ne peut être effectué. Au banc à broche et à l'étirage, une augmentation importante des concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant s'est produite au temps 6 mois et c'est à cette période que les concentrations dans les matériaux sont les plus élevées, près de 4 fois plus élevées. Au niveau des supercardes et du nettoyage une relation entre les concentrations dans l'air et celles des matériaux est également observée.

Une variation importante des concentrations dans le matériel traité peut également être observée sans qu'une relation ne soit observée avec les concentrations dans l'air ambiant; l'ouvraison avec le robot est un exemple de cette observation.

c) Laveur d'air

Dans cette usine un système complexe de ventilation alimente les différentes sections de l'usine. Au total, neuf laveurs d'air différents ont été échantillonnés.

**Tableau 7 : Concentrations d'endotoxines dans l'eau des laveurs d'air – Usine C**

	<b>T 0</b>	T 6 semaines	T 6 mois
	concentration	concentration	concentration
	UE/ml	UE/ml	UE/ml
Banc à broche	1224	1214	3612
Carte vieille Supercarde Ouvraison manuelle	1211	1233	906
Étirage/nettoyage Filage à fibres libérées	1206	1298	698
Filage anneaux Renvidage	3923	1150	1154
Filage jet d'air	1099	1180	875
Tissage 100% coton	1197	702	1177
Tissage couvert	2181	963	2037
Tissage ancien sulzer	677	638	1966
Tissage nouveau sulzer	1066	356	1771

Les concentrations d'endotoxines obtenues dans l'eau des laveurs d'air ont varié de 356 UE/ml à 3 612 UE/ml.

L'augmentation des concentrations obtenues dans l'air ambiant au banc à broche peut en partie être expliquée par une augmentation de 3 fois des concentrations d'endotoxines du laveur d'air qui se retrouve dans le système de ventilation qui alimente cette section de l'usine. Par contre, d'autres variations des concentrations d'endotoxines dans les laveurs d'air ne sont pas ou très peu reflétées dans les concentrations de l'air ambiant.

### 3.2.4. Usine D

#### a) Air ambiant

**Tableau 8 : Concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant aux différents postes d'échantillonnage pour les trois périodes d'intervention – Usine D**

Postes	T 0 (septembre)		T 6 semaines (octobre)		T 6 mois (mars)	
	# échantillon	Concentration	# échantillon	Concentration	# échantillon	Concentration
		UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air		UE/m <sup>3</sup> d'air
Entrepôt	3	213 a	3	147a	3	38a
Ouvraison	6	1257a	6	688a	6	1091a
Nettoyage	5	11180b	5	5002b	3	14866d
Carde Ingolstadh	7	4124a	8	2408a	8	3032a
Carde Rieter	9	4382a	9	5419b	9	1994a
Étirage hollingsworth Ingolstadt Rieter	6	10617b	6	2788a	6	4790a
	5	5949a	4	2346a	6	1902a
	6	4699a	5	6422b	6	6546a
Banc à broches	6	8240	5	7743c	5	7102b
Métier à filer anneaux H&B Marzoli Zinzer	3	3624a	9	2262a	9	3733a
	8	3149a	8	1916a	9	3878a
	9	4233a	8	2000a	7	1874a
Métier à filer à fibre libérée	8	898a	9	1032a	9	1159a
Renvidage	3	5109a	3	1801a	3	2864a
Rensaplage	2	89a	3	195a	2	455a
Encollage	3	106a	3	3a	3	7a
Ourdissage	3	2206a	3	1269a	3	967a
Tissage jet d'air	8	8227	9	2786a	6	10925c

Tissage projectile SS projectile 1 <sup>er</sup> ét.	6 -	539a -	9 8	476a 569a	9 9	893a 269a
Teinture	-	-	3	35a	3	117a

Remarque: Les concentrations d'endotoxines mesurées aux postes identifiés de la lettre a sont significativement différentes de celles mesurées aux postes identifiés de la lettre b. Les concentrations mesurées aux postes marqués de la lettre c sont significativement différents des postes marqués des lettres a et b.

Les concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant de cette usine ont varié de 3 UE/m<sup>3</sup> d'air à l'encollage à 14 866 UE/m<sup>3</sup> d'air au nettoyage. Cette usine ne fabrique qu'un seul produit fait de coton à 100%. Bien que la différence ne soit pas significative, les concentrations aux métiers à filer à anneaux sont supérieures à celles mesurées aux métiers à fibres libérées.

Au niveau du tissage une différence significative est démontrée entre les concentrations obtenues aux métiers à tisser à jet d'air et ceux à projectiles. Les concentrations d'endotoxines sont de 4 à 10 fois supérieures dans l'air ambiant aux métiers à jets d'air.

#### b) Matériaux

**Tableau 9 : Concentrations d'endotoxines dans les différents matériaux – Usine D**

Postes	T 0	T 6 semaines	T 6 mois
	Concentration	Concentration	Concentration
	UE/g	UE/g	UE/g
Banc à broche	154024	43118	47903
Carde Rieter	78987	54923	30757
Carde Ingolstadt	-	90856	39038
Encollage	1543		
Étirage Hollingsworth	106194/56685	50689	32923
Étirage Ingolstat	67478	58131	53570
Étirage Rieter	56099	49954	33061
Filage anneaux Marzoli	36738	26716	18876



Filage anneaux Zinzer	80206/56742		15539
Filage anneaux H&B	31443	30246	14521
Filage fibres libérées	31337	29958	28314
Ourdissage	24268	24016	11541
Ouvraison	185901	26022	-
Rensouplage	-	3662	2381
Renvidage	8587	13489	37158
Tissage jet d'air	8417	31827	-
Tissage projectile 1 <sup>er</sup> étage	5743	63274	-
Tissage nouvelel sulzer Mixte	-	32486	25555
Teinture	-	4371	-

Aucune relation n'a pu être établie entre les concentrations d'endotoxines mesurées dans l'air ambiant de chacun des postes de travail et les concentrations rencontrées dans le matériel qui y est transformé.

c) Laveurs d'air

**Tableau 10 : Concentrations d'endotoxines dans l'eau des laveurs d'air – Usine D**

Postes	Concentration	Concentration	Concentration
	T0	T6 semaines	T 6 mois
	UE/ml	UE/ml	UE/ml
Banc à Broche, Étirage Rieter	1610	1424	2421
Cardage Ingolstadt et Rieter	1515	1475	26885
Étirage Ingolstat et Hollingsworth	1830	665	14861
Filage anneaux H&B et Zinzer	1690	936	5165
Filage anneaux	1481	810	10908
Filage à fibres libérées	1150	579	12005
Nettoyage	1349	560	5941
Ourdissage	1998	890	3773
Ouvraison	1625	1043	12001
Rensouplage	1162		5620
Renvidage	2789	967	2460
Tissage Jet d'air	746	239	6702
Tissage projectil sous-sol	403	1388	1456
Tissage projectil 1 <sup>er</sup> étage		756	2069

Dans cette usine on peut remarquer une augmentation considérable des concentrations d'endotoxines dans certains des laveurs d'air au temps 6 mois. Par contre une telle augmentation n'est pas observée au niveau des concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant de l'usine.

### **3.3 Relation entre les concentrations d'endotoxines mesurées dans les différentes matrices (hypothèse 4)**

Un des buts du projet était de vérifier s'il était possible de démontrer une relation entre les concentrations d'endotoxines mesurées dans l'air ambiant du milieu de travail et les concentrations mesurées dans les matériaux ou dans l'eau des laveurs d'air des différents systèmes de ventilation des usines.

Dans un premier temps, pour vérifier la présence d'une telle relation, une analyse de corrélation de Spearman a été effectuée sur l'ensemble des données. Pour cette analyse, toutes les données de toutes les usines et de tous les temps ont été regroupées. L'analyse de corrélation de Spearman est une analyse qui se comporte bien malgré le non respect de certains critères tel la normalité de la distribution.

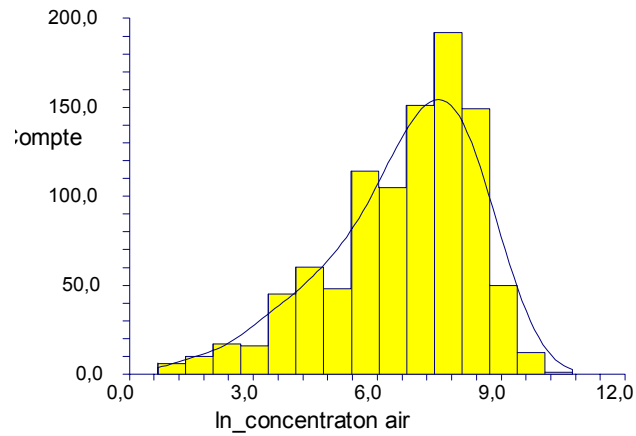
**Tableau 11 : Matrice de Corrélation de Spearman**

	<b>Air</b>	<b>Matériau</b>	<b>Eau</b>
<b>Air</b>	<b>1</b>	<b>0.258011</b>	<b>.302721</b>
<b>Matériau</b>	<b>0.258011</b>	<b>1</b>	<b>0.005830</b>
<b>Eau</b>	<b>0.302721</b>	<b>0.005830</b>	<b>1</b>

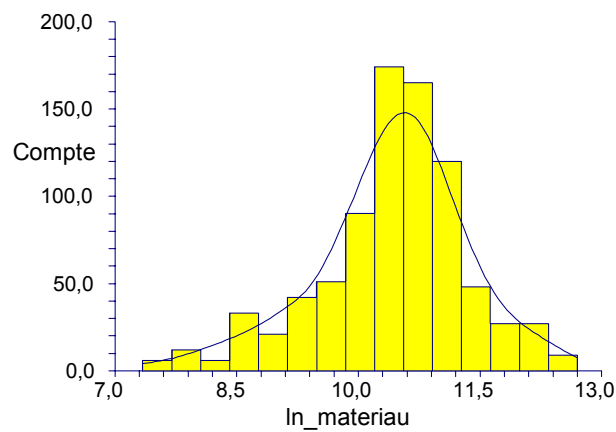
L'analyse de corrélation de Spearman permet de démontrer qu'il existe une relation entre les concentrations d'endotoxines mesurées dans l'air et celles que l'on rencontre tant dans les matériaux que dans l'eau des laveurs d'air. Selon l'analyse de corrélation, des relations directement proportionnelles sont démontrées entre l'air et les matériaux et entre l'air et l'eau des laveurs d'air. Une corrélation de 0,30 est obtenue pour la relation avec l'eau et de 0,25 pour celle avec les matériaux. C'est à dire qu'il y aurait environ 25% de la variation des concentrations obtenues dans l'air qui pourrait être expliquée par les concentrations dans les matériaux et 30% par l'eau des laveurs d'air.

Afin de visualiser la relation entre les différentes matrices, des analyses de régression ont été effectuées. Les analyses de régression ont été réalisées sur les données transformées des concentrations d'endotoxines. La transformation du logarithme naturel permet d'obtenir une distribution normale selon le test de Kurtosis pour les données d'endotoxines de l'air mais pas pour les données des matériaux et de l'eau. Toutefois, si on observe les courbes de distribution, on remarque que les données des matériaux se reprochent très fortement de la distribution normale.

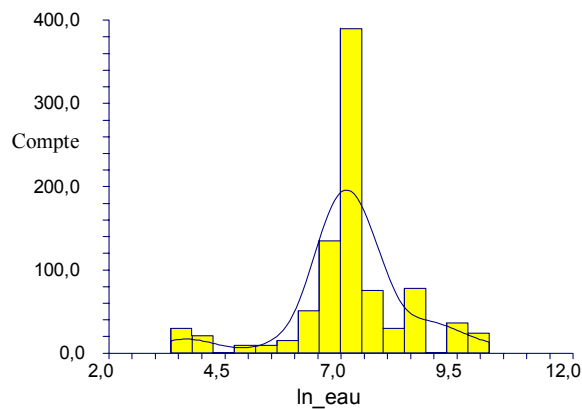
Histogramme 1 : Distribution des logarithmes des concentrations d'endotoxines de l'air



Histogramme 2 : Distribution des logarithmes des concentrations d'endotoxines dans les matériaux

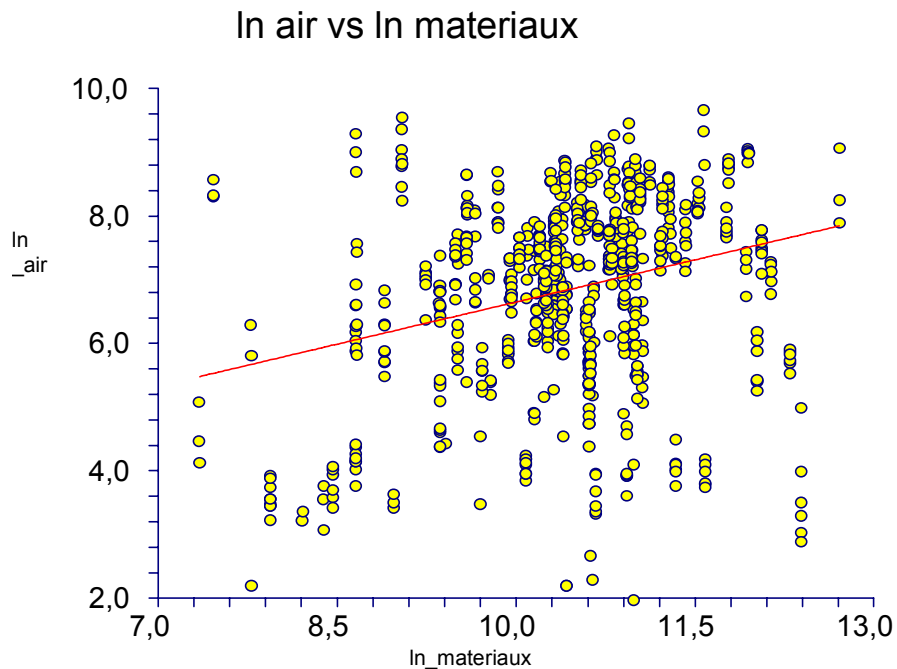


Histogramme 3 : Distribution des logarithmes des concentrations d'endotoxines dans l'eau des laveurs d'air

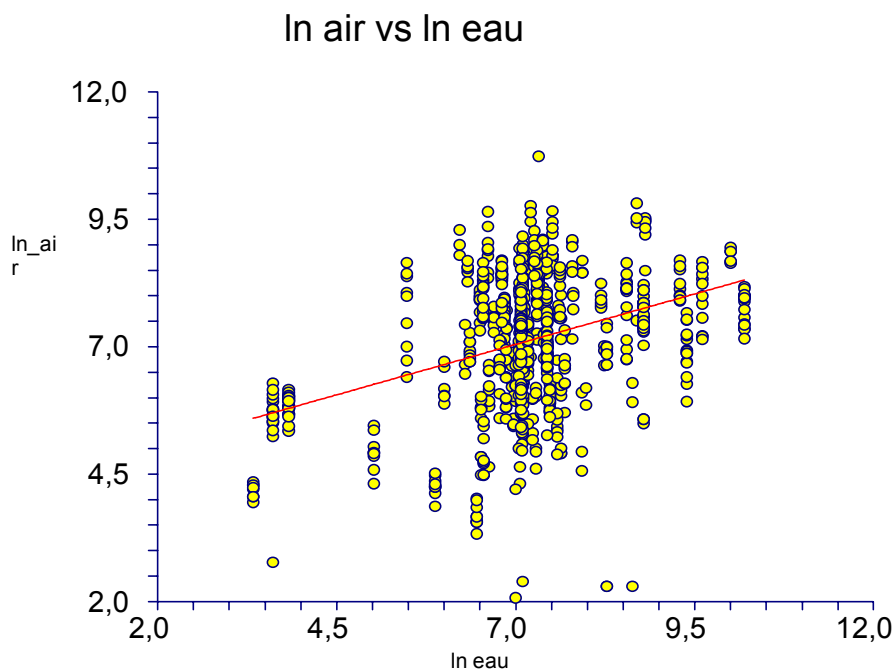


Le graphique 1 résultant de l'analyse de régression entre les concentrations mesurées dans l'air et celles mesurées dans les matériaux permet de visualiser la relation positive entre les deux variables. L'analyse de variance permet de démontrer que la pente de la courbe obtenue est significativement différente de zéro, c'est à dire qu'il y a bien une relation de présence entre les deux variables. Le graphique permet de démontrer que lorsqu'une augmentation des concentrations d'endotoxines est présente dans les matériaux, une augmentation est également rencontrée dans les concentrations d'air ambiant. Il faut toutefois noter que puisqu'un des sets de données ne respecte pas le critère de normalité il n'est pas possible de dire que la régression est significative mais les résultats de la corrélation de Spearman ainsi que les résultats graphique obtenus permettent tout de même de dire qu'une telle relation existe vraiment.

Graphique 1 : Graphique des concentrations d'endotoxines dans les matériaux en fonction de celles mesurées dans l'air.



Graphique 2 : Graphique des concentrations d'endotoxines dans l'eau des laveurs d'air en fonction de celles mesurées dans l'air.



Le graphique 2 qui résulte de l'analyse de régression entre les concentrations mesurées dans l'air et celles mesurées dans l'eau des laveurs d'air des différents systèmes de ventilation des usines permet également de visualiser la relation positive entre les deux variables. L'analyse de variance permet de démontrer que la pente de la courbe obtenue est significativement différente de zéro, c'est-à-dire qu'il y a bien une relation de présence entre les deux variables. Le graphique permet d'observer que lorsqu'il y a une augmentation des concentrations d'endotoxines dans l'eau des laveurs d'air, une augmentation est également rencontrée dans les concentrations d'air ambiant. Il faut encore noter que puisque l'un des sets de données ne respecte pas le critère de normalité il n'est pas possible de dire que la régression est statistiquement significative mais les résultats de la corrélation de Spearman ainsi que les résultats graphiques obtenus permettent tout de même de dire qu'une telle relation existe vraiment entre les deux variables.

### 3.4 Les valeurs limites relatives (VLR) d'exposition

La variabilité des résultats des analyses d'endotoxines obtenue entre les laboratoires empêche l'élaboration de valeurs limites d'exposition. Par contre, puisque les résultats obtenus à l'intérieur d'un laboratoire sont plus constants, des « chercheurs » d'un regroupement européen ont proposé des valeurs limites relatives. Une limite équivalente à 10 fois le niveau de base pour les milieux où des travailleurs ont déjà des problèmes respiratoires et de 30 fois ce niveau de base pour les autres milieux ont été proposées.

Dans notre étude nous utilisons comme niveau de base la moyenne obtenue à partir des 21 échantillons d'air extérieur prélevés. Notre limite relative d'exposition équivalente à 30 fois le niveau de base est donc de 846 UE/m<sup>3</sup> d'air puisque la moyenne des résultats obtenus dans l'air extérieur est de 28,2 UE/m<sup>3</sup> d'air. Nos analyses permettent de documenter les niveaux

d'endotoxines rencontrées en air ambiant mais pas de documenter les expositions personnelles des travailleurs.

#### Usine A

Lors de la première intervention dans l'usine A, seul le banc d'étirage qui transforme le coton 100% a démontré des concentrations inférieures à la VLR (790 UE/m<sup>3</sup> d'air). À la deuxième intervention les concentrations obtenues dans l'air ambiant de l'entrepôt et du nettoyage étaient inférieures à la VLR, des concentrations de 670 et 693 UE/m<sup>3</sup> d'air respectivement ont été mesurées. À la dernière intervention, toutes les concentrations obtenues dans l'air ambiant étaient supérieures à la VLR.

#### Usine B

Dans l'usine B, aucun des résultats obtenus et ce pour toutes les interventions ne dépassait pas la VLR. C'est la seule usine qui obtient des concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant aussi basses.

#### Usine C

Dans l'usine C, les postes pour lesquels des concentrations supérieures à la VLR ont été mesurées pour les trois interventions sont le filage à fibres libérées, le nettoyage, les deux types de carde (supercarde, ancienne) et l'ouvraison manuelle utilisée pour la ligne qui fabrique la flanelle. Lors de la première intervention des concentrations supérieures ont été obtenues également au filage à anneaux et au renvidage. À la deuxième intervention, les concentrations obtenues au banc d'étirage étaient également supérieures à la VLR. Et finalement lors de la dernière intervention, le filage à anneaux et le renvidage étaient à nouveau des postes où la VLR a été dépassée comme lors de la première intervention. Alors que celles au banc d'étirage l'étaient comme lors de la deuxième intervention. Pour cette dernière intervention, le banc à broche et le tissage des couvertes de flanelle sont venus rejoindre ce groupe de postes où les concentrations d'endotoxines mesurées dépassaient la valeur limite relative. Dans cette usine plus de la moitié des postes dépassaient à un moment ou l'autre la valeur limite relative.

#### Usine D

Dans l'usine D, plusieurs postes dépassaient la valeur limite relative lors des trois interventions. Il s'agit des bancs à broches, des cardes Ingolstadt et Rieter, des métiers à filer H&B, Marzoli et Zinzer, du métier à filer à fibres libérées, du nettoyage, de l'ourdissage, du renvidage, du tissage à jet d'air Tsudakoma et des bancs d'étirage Hollinsworth, Ingolstadt et Rieter. Au temps zéro et 6 mois l'ouvraison dépasse également la valeur limite relative. Au temps 6 mois les concentrations obtenues au tissage sulzer du sous-sol ont également dépassé la valeur.

### **3.5 Les endotoxines dans le coton brut (hypothèse 5)**

Un autre facteur qui pourrait influencer les concentrations d'endotoxines mesurées dans l'air ambiant des usines de textiles est la concentration d'endotoxines retrouvées dans le coton brut utilisé pour la transformation. Les analyses effectuées sur cette variable ne permettent pas de vérifier cette hypothèse. Le nombre d'échantillons pris n'est pas suffisant et plus de la moitié des échantillons provenait de la Georgie et de la Louisiane. Il n'a pas été possible de faire des

comparaisons entre les cotons utilisés selon leur provenance. Le seul constat que nous avons pu faire c'est que les concentrations moyennes d'endotoxines dans le coton brut les plus élevées ont été obtenues à l'usine A et que les plus faibles ont été rencontrées dans les usines B et C.

#### 4. CONCLUSION

Cette étude a permis d'observer une grande variabilité des concentrations d'endotoxines tant dans l'air que dans les autres matrices. Malgré ces variations, il a été possible d'identifier certains procédés de transformation comme étant de plus grands générateurs d'endotoxines dans l'air ambiant. Ainsi, le nettoyage, l'ouvraison, le cardage, les métiers à filer à anneaux et à fibres libérées, le renvidage et l'étirage sont des postes pour lesquels la valeur limite relative a été dépassée de façon régulière. Certains de ces postes sont en début de transformation et des concentrations plus élevées d'endotoxines dans l'air étaient attendues. Par contre, des procédés comme les métiers à filer et le renvidage sont des étapes de transformation plus tardives. Ils génèrent cependant des quantités importantes de particules dans l'air ambiant et ceci pourrait expliquer que ces étapes de transformation se retrouvent parmi celles qui ont montré des concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant supérieures aux limites relatives d'exposition.

Les relations entre les concentrations dans l'air et dans les matériaux ou l'eau des laveurs d'air sont de bonnes pistes de contrôle des concentrations dans l'air puisqu'une relation a pu être démontrée. Les mesures effectuées au niveau des laveurs d'air auraient peut être pu donner des relations plus marquées si les prélèvements avaient également été effectués dans l'air. Nos résultats ne peuvent toutefois pas identifier toutes les variables qui influencent les concentrations d'endotoxines dans l'air ambiant des usines de textiles qui transforment la fibre de coton. Les caractéristiques des systèmes de ventilation tels entre autres, le pourcentage d'air recirculé, le chauffage, le taux d'humidité et l'entretien, les système de captation à la source sont des facteurs qui ont été identifiés en cours d'étude comme pouvant avoir des effets sur les concentrations d'endotoxines mais qui n'ont pas été étudié dans ce projet.

Ce projet permet de documenter pour quatre usines du Québec les concentrations d'endotoxines présentes dans l'air ambiant. Il est maintenant évident que les endotoxines sont des contaminants présents à différentes étapes de transformations des fibres de coton dans nos usines du Québec. La recherche sur la présence des endotoxines en milieu de travail doit se poursuivre afin de pouvoir mieux documenter les milieux et poursuivre les recherches sur les relations entre les endotoxines et les effets sur la santé. De plus, les outils d'analyse ont encore avantage à être améliorés afin de rendre la méthode d'analyse plus sensible et plus précise.

#### RÉFÉRENCES

- 1- Préventex, bulletin d'information, Action prévention : Un agent biologique pourrait être la cause de la byssinose. Vol :13 :4-5,1996.
- 2- Jacobs, R.R., Endotoxins in the Environment. Int.J.Occ.Env.Health, Supp.vol 3 : p.S3-S5,1997.
- 3- Cinkotai, F.F., Lockwood, M.G., et Rylander, R., Airborne Micro-organisms and Prevalence of Byssinotic Symptoms in Cotton Mills. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., Vol 38 :554-559.1977.



- 4- Christiani, D.C., et Coll. Airborne Endotoxin Concentrations in Various Work Areas within a Cotton Mill in Central America. *Environmental Research*, vol 60 :187-192,1993.
- 5- Marchand, G., Analyse des endotoxines de l'air. Méthode d'analyse IRSST 332-1,1998.
- 6- Jacobs, R.J., Heederik D., Douwes, J. et Zähringer, U., Endotoxin Structure., *Int.J.Occ.Env.Health*, Supp.vol 3 : S6-S7, 1997.
- 7- Highsmith, A.K. et Jarvis, W.R., Endotoxin Production as a virulence Factor in Disease. Dans *Detection of Bacterial Endotoxins with the Limulus Ameobocyte Lysate Test*. P387-403, 1987.
- 8- Rylander, R. et Snella, M-C., Endotoxins and the Lung: Cellular Reactions and Risk for Diseases., *Prog. Allergy*, Vol:33 : 332-344,1987.
- 9- Hagling, P., Lundholm, M. et Rylander, R., Prevalence of Byssinosis in Swedish Cotton Mills., *Br. J. Ind. Med.*, Vol :38 :138-143,1981.
- 10- Neal, P.A., et coll., Report on Acute Illness among Rural Mattress Makers using Low Grade Stained Cotton., *J. Amer. Med. Ass.*, vol : 119,1074-1082,1942.
- 11- Pernis, B., et coll., The Role of Endotoxins in Occupational Diseases Caused by Inhaling Vegetable Dusts., *Brit. J. Industr. Med.*, vol :18,120-129,1961.
- 12- Rylander, R., Evaluation of the Risks of Endotoxin Exposures., *Int.J.Occ.Env.Health*, Supp.vol 3 :S32-S36. 1997.
- 13- Furness, G. et Maitland, H.B., Studies on Cotton Dust in Relation to Byssinosis. *Brit. J. Industr. Med.*, vol 9 :138-145,1952.
- 14- Castellan, R.M. Cotton Dust. Dans *Occupational and Environmental Respiratory Disease*. Mosby., St-Louis., Section IV, Chapter 25 :401-419.1995.
- 15- Li, D., Zhong, Y.N., Rylander, R., Ma, Q.Y., Zhou, X.Y., Longitudinal Study of the Health of Cotton Workers., *Occ. Env. Med.*, vol 52 :328-331,1995
- 16- Keman, S., Jetten, M., Douwes, J., et Borm, P.J.A., Longitudinal Changes in Inflammatory Markers in Nasal Lavage of Cotton Workers., *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, vol: 71 :131-137.1998.
- 17- Rylander, R., Role of Endotoxins in the Pathogenesis of Respiratory Disorders. *European J. Respiratory. Disease*, vol 71 :136-144,1987.
- 18- Rylander, R., et coll. Endotoxin in Cotton Dust and Respiratory Function Decrement among Cotton Workers in an Expirimental Cardroom. *Ann. Occup. Med.* vol 101 :157-163.1984.
- 19- Rylander, R., et Hagling P., Exposure of Cotton Workers in an Experimental Cardroom with Referance to Airborne Endotoxins. *Env. Health Perspectives*, Vol :66 :83-86,1986.
- 20- Castelan R.M. et coll. Acute bronchoconstriction Induced be Cotton Dust : Dose-Related Responses to Endotoxin and other Dust Factor. *Ann. Intern. Med.*, Vol :101 157-163,1984.

- 21- Occupational Safety and Health Administration : Occupational Exposure to Cotton Dust., Fed Regist., vol :50 :51120-51179,1985.
- 22- Rylander, R., Bacterial Toxins and Etiology of Byssinosis. Chest, vol :79 :34S-38S.1981.
- 23- Cavagna, G. Foa, V. et Vigliani, E.C., Effect in Man and Rabbits of Inhalation of Cotton Dust or Extract and Purified Endotoxins., Br. J. Ind. Med., vol :26,314-321,1969.
- 24- Niven, R.M., et coll. Endotoxin Exposure and Respiratory Symptoms in Cotton and Man-made Fibre Textile Workers., Am. Rev. Respir. Dis., Vol :143, A103,1991.
- 25- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 1999. Bioaerosols: Assessment and Control. ACGIH Worldwide, Janet Macher editor. 526p.