

# SEPARATION DE FIBRES EN SUSPENSION DANS L'AIR, UNE APPLICATION A LA DETECTION EN TEMPS REEL

S. Clavaguera\*, A. Guiot, M. Pourprix, C. Brouard, Ph. Berne

Plateforme NanoSécurité, Commissariat à l'Energie Nucléaire et aux Energies Alternatives (CEA)  
Univ. Grenoble Alpes, 38054, Grenoble, France  
\*Courriel de l'orateur : simon.clavaguera@cea.fr

## TITLE

**Airborne fibre separation, an application to real-time detection**

## RESUME

La mesure en temps réel de la concentration des fibres d'amiante serait un grand progrès par rapport aux méthodes indirectes utilisées actuellement. Nous présentons un projet visant à concevoir, réaliser et évaluer un sélecteur permettant de séparer les fibres des particules d'autre forme, en combinant les forces électrostatique, de gravité et d'inertie. Le concept est étayé par des calculs analytiques qui fournissent aussi un pré-dimensionnement. Des simulations numériques permettent d'optimiser la conception. A ce stade, différents dispositifs : chargeurs par diffusion, sélecteurs de divers types, ont été construits et sont en cours d'évaluation.

## ABSTRACT

Real-time monitoring of asbestos fibres concentrations would be a big step forward compared to the current indirect measurement techniques. We present here a project to design and build a selector able to separate fibres from other particles by the combined use of electrostatic, gravity and inertia forces. Analytical calculations confirm that the concept is sound and also provide basic design parameters. The latter are further refined thanks to numerical simulations. At this stage, various devices (unipolar diffusion chargers, fibre selectors) have been built accordingly and are currently under test and evaluation.

**MOTS-CLES** : fibres, sélecteur, électrostatique, inertie / **KEYWORDS**: fibres, selector, electrostatic, inertia

## 1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DU PROJET

Des niveaux d'empoussièrement élevés se rencontrent couramment sur les chantiers de démolition ou d'enlèvement de l'amiante. La grande diversité des particules en suspension, en termes de morphologie comme de composition, est connue pour perturber les mesures par comptage de fibres d'amiante.

Si des instruments à lecture directe fiables donnant les concentrations en nombre des fibres étaient disponibles, ils présenteraient un grand progrès par rapport aux méthodes conventionnelles (microscopie électronique).

Les appareils à lecture directe disponibles sur le marché n'ont pas de sélectivité particulière vis-à-vis des fibres, ce qui limite fortement leur utilisation pour la détection, l'identification et la quantification des fibres en suspension.

Dans ce cadre, un projet a été lancé (projet Selfi, pour Sélection de Fibres), dont l'objet est de concevoir, réaliser et évaluer un appareil qui réalise la séparation physique entre particules fibreuses et non-fibreuses selon des critères de morphologie. Placé en amont d'un instrument de mesure à lecture directe, il permettrait un suivi en temps réel des concentrations des fibres d'intérêt. De plus, un tel module pourrait être également placé en amont de préleveurs destinés à des analyses réglementaires afin de faciliter le travail de préparation des échantillons et de leur analyse.

## 2. LE CONCEPT ET SES VARIANTES

Le principe retenu est de séparer les différentes classes de particules par l'action conjuguée de la gravité, ou de l'inertie, et d'un champ électrique antagoniste. Ce principe est illustré par la Figure 1 (Clavaguera et Pourprix, 2019). Les particules préalablement chargées (négativement sur cet exemple) sont introduites par le débit  $q_0$  entre deux plaques portées à une différence de potentiel  $U$ . Les flux  $q_1$  et  $q_2$  amènent de l'air propre d'appoint. Les différentes classes de particules sont récupérées dans les flux  $Q_1$  et  $Q_2$ .

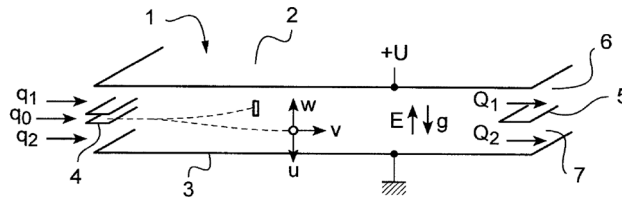


Figure 1. Concept de séparation sous l'effet de la gravité et du champ électrique.

Sous l'effet de la gravité, les particules les plus lourdes sont collectées par la plaque inférieure ; les particules les plus mobiles sont attirées par la plaque supérieure ; les particules « intermédiaires », ni trop lourdes, ni trop mobiles, peuvent s'échapper du dispositif.

L'originalité de l'approche proposée consiste ici à l'appliquer à la séparation des particules d'après leur morphologie, fibreuse (allongée) ou non-fibreuse (plus ou moins sphérique). La validité de ce concept a été établie par des calculs analytiques sur un mélange de fibres et de sphères de même masse (Figure 2 –  $\beta$  est le rapport longueur sur diamètre des fibres). Les caractéristiques des fibres : nature (carbone) dimensions (diamètre 3,74  $\mu\text{m}$ ), masse volumique (1832  $\text{kg/m}^3$ ), loi de charge et loi de traînée... proviennent d'articles de la littérature (Chen et al, 1993 et 1996).

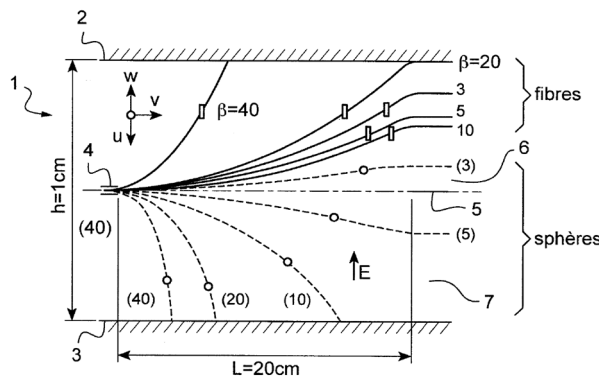


Figure 2. Séparation de fibres et de particules sphériques de même masse.

Ce calcul montre clairement qu'il est possible de séparer les deux populations avec des dimensions de dispositif, un débit, une tension appliquée... parfaitement réalistes. Comme le montre le Tableau 1, cette séparation est due à la mobilité électrique  $Z$  plus grande et au temps de relaxation  $\tau$  plus petit des fibres : par rapport aux sphères équivalentes, elles sont plus sensibles à l'effet du champ électrique et moins à celui de la gravité.

Tableau 1. Comparaison entre les mobilités électriques et les temps de relaxation des fibres et des sphères

	$Z$ ( $\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )		$\tau$ (s)	
	Fibre	Sphère eq.	Fibre	Sphère eq.
$\beta = 10$	$8 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$
$\beta = 20$	$11,3 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-8}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-4}$

Une géométrie radiale a aussi été envisagée : séparation entre deux disques parallèles, avec entrée de l'air en périphérie et sortie par deux conduits axiaux symétriques. L'intérêt est notamment d'avoir une entrée d'air omnidirectionnelle.

Cette série de calculs préliminaires a également montré que l'effet de la gravité n'est pas toujours suffisant pour assurer la séparation. Une dernière version met en jeu la rotation du dispositif (en géométrie cylindrique, cf. Figure 3, ou sphérique, cf. Figure 5 plus loin), d'où l'apparition d'une force centrifuge modulable par cette vitesse de rotation. Au total, trois configurations ont été étudiées : séparation par gravité et force électrostatique en géométrie linéaire ou radiale, séparation par les forces centrifuge et électrostatique.

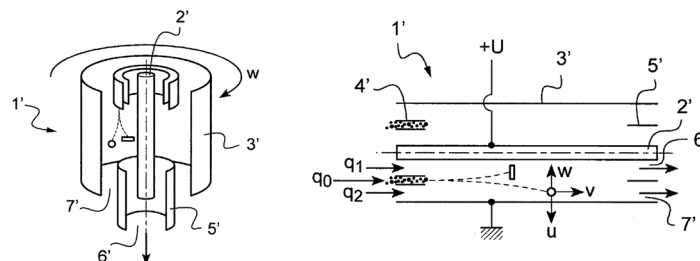


Figure 3. Dispositif en rotation (Clavaguera et Pourprix, 2019).

### 3. CALCULS ANALYTIQUES ET SIMULATIONS NUMERIQUES DE DIMENSIONNEMENT

Le calcul à la base de la Figure 3 peut faire l'objet d'une représentation graphique particulière. Ce graphique permet de prévoir le devenir d'une particule en fonction d'un nombre sans dimension (rapport des temps de transit vertical et horizontal). La méthode est illustrée en Figure 4 : en abscisse, la cote d'injection de la particule, en ordonnée ce nombre sans dimension. A chaque particule correspond une valeur de ce nombre et une droite horizontale. Selon la position de cette droite vis-à-vis d'un réseau de courbes, on voit si la particule est collectée ou si elle sort, suivant sa cote d'injection. Cet outil a été utilisé pour dégager des configurations intéressantes en géométrie plane ou radiale.

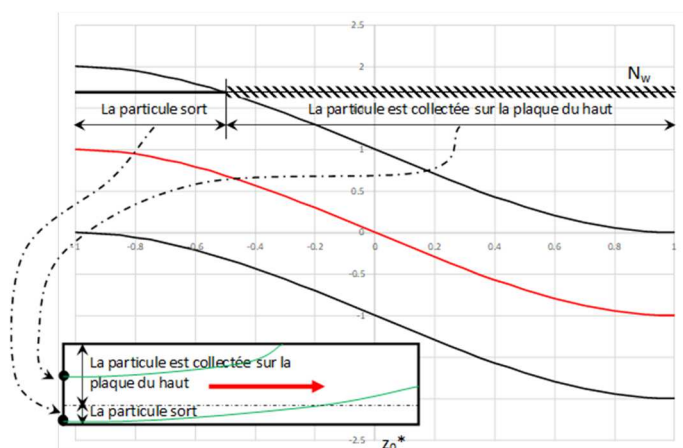


Figure 4. Dimensionnement par calcul analytique et outil graphique.

Cette approche a été enrichie par un ensemble de simulations numériques faites à l'aide du logiciel Comsol Multiphysics, qui ont permis d'aborder des configurations hors de portée de l'approche analytique. Les différents aspects du problème ont été traités de manière couplée : champ de vitesse de l'air, champ de potentiel électrique, trajectoire des particules en prenant en compte l'ensemble des forces agissantes. Ces simulations ont permis d'affiner la conception des dispositifs et d'optimiser certains points délicats. La Figure 5, par exemple, illustre un travail sur un sélecteur en géométrie sphérique comportant deux canaux d'entrée et de sortie d'air, avec optimisation de la forme des lèvres qui délimitent ces canaux.

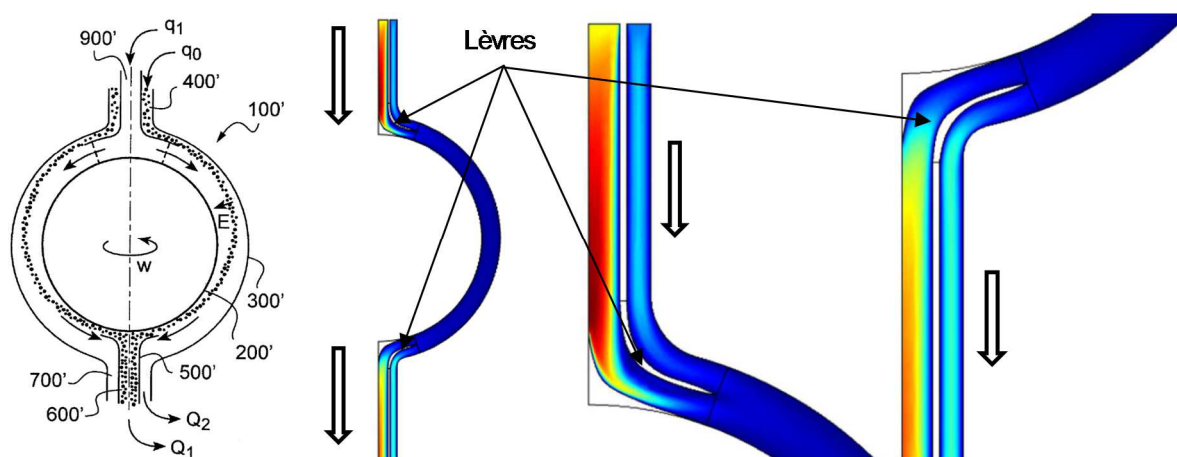


Figure 5. Optimisation des entrées et sortie d'air par calcul numérique  
A gauche : configuration de base – Au centre : carte de vitesse – A droite : gros plan sur l'entrée et la sortie.

### 4. REALISATIONS PRATIQUES ET SUITE DE L'ETUDE

Trois modèles de chargeurs unipolaires par diffusion d'ions ont été réalisés, en s'inspirant de dispositions publiées dans la littérature (Figure 6 ; Han, 2008 ; Qi, 2008 ; Biskos, 2005).

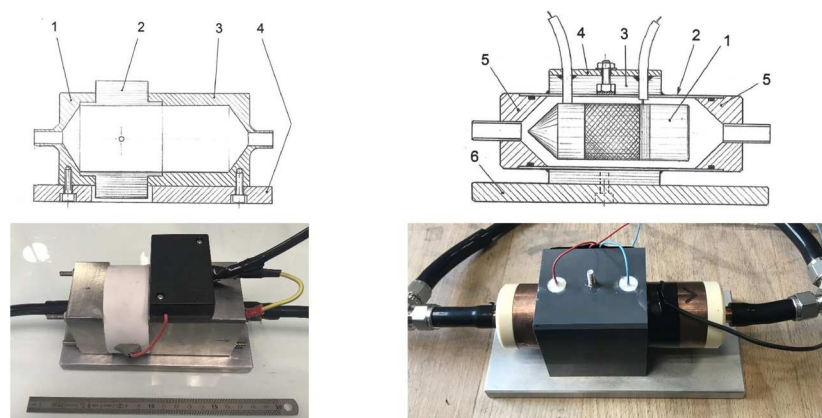


Figure 6. Deux des trois chargeurs par diffusion d'ions unipolaires.

De même, trois types de sélecteurs ont été construits (géométrie planaire, radiale et cylindrique en rotation). La Figure 7 illustre un modèle fonctionnant par force centrifuge et force électrostatique (la partie centrale est tournante, entraînée par le moteur visible en haut à gauche).

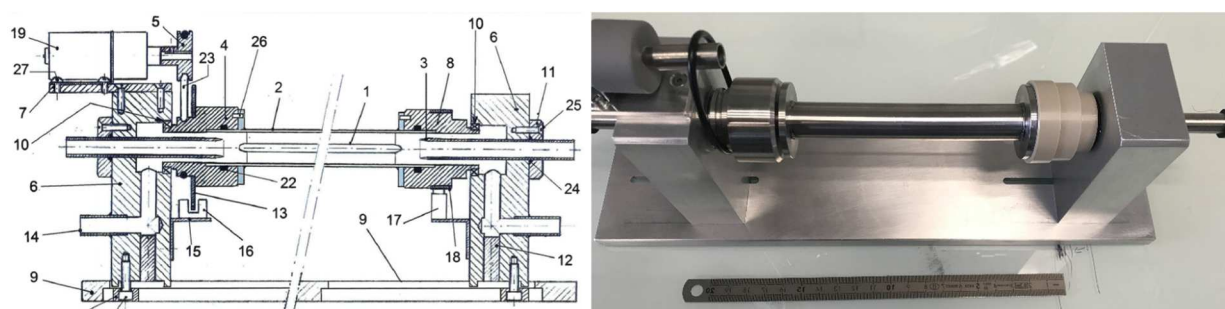


Figure 7. Sélecteur par force électrostatique et force centrifuge.

Ces différents dispositifs sont en cours de test et d'évaluation en laboratoire sur des aérosols modèles.

Une fois cette phase de tests terminée, une campagne d'essais d'un des sélecteurs associé à un des chargeurs est prévue, en utilisant d'abord un mélange de particules sphériques et d'analogues des fibres d'amiante (fibres de verre par exemple). Les mesures permettront de vérifier et d'optimiser les performances des dispositifs. Puis auront lieu des essais avec des fibres d'amiante réelles. La mise en œuvre de l'amiante étant très délicate, ces essais seront limités à la meilleure configuration relevée avec les fibres de verre. En pratique, ces expériences seront réalisées au CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment).

Ce travail est soutenu par le Plan Recherche et Développement Amiante (PRDA) du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, dans le cadre du projet Selfi.

## 5. REFERENCES

- Biskos G., Reavell K., Collings N., Electrostatic characterization of corona-wire aerosol charges, *J. Electrostat.*, 63 :69-83, 2005
- Chen B.T., Yeh H.C., Hobbs C.H., Size classification of carbon fiber aerosols, *Aerosol Science and Technol.*, 19:109-120, 1993.
- Chen B.T., Yeh H.C., Johnson N.F., "Design and use of a virtual impactor and an electrical classifier for generation of test fiber aerosols with narrow size distributions", *J. Aerosol Sci.*, 27(1):83-94, 1996.
- Clavaguera, S., Pourprix, M., Tardif, F., Brevets WO 2019 / 073006 et WO 2019 / 073009.
- Han B., Kim H-J, Kim Y-J, Sioutas C, Unipolar charging of fine and ultra-fine particles using carbon fiber ionizers, *Aerosol Sci. and Tech.*, 42:793-800, 2008
- Qi C, Chen D-R, Greenberg P, Performance study of a unipolar aerosol mini-charger for a personal nanoparticle sizer, *J. of Aerosol Sci.*, 39:450-459, 2008