

Actualité [amiante]

MESURE DES FIBRES D'AMIANTE EN SANTÉ AU TRAVAIL

Rôle et pertinence de la microscopie électronique à transmission analytique (Meta)

L'INRS rappelle que la microscopie électronique à transmission analytique (Meta) s'impose aujourd'hui comme la seule méthode valide et adaptée pour la mesure de l'exposition professionnelle à l'amiante. Pourquoi ? Cette méthode permet de prendre en compte plusieurs exigences : nécessité d'une identification chimique et cristallographique fiable et d'un comptage exhaustif de toutes les fibres d'amiante, y compris les fibres fines et courtes présentes dans les environnements professionnels.

MEASURING ASBESTOS FIBRES AND OCCUPATIONAL HEALTH: ROLE AND RELEVANCE OF ANALYTICAL TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY (ATEM) – INRS (French national research and safety institute for the prevention of occupational accidents and diseases) reminds readers that, today, analytical transmission electron microscopy (ATEM) is the only valid and appropriate method to measure occupational exposure to asbestos. The reasons for this exclusivity are that this method meets several requirements. In particular, the need for reliable chemical and crystallographic identification and for exhaustive counting of all asbestos fibres, including fine and short fibres present in occupational environments.

BENOÎT COURRIER
INRS, direction
des Études et
de la recherche

LUC LABORDE
INRS,
département
Information et
communication

En France, la norme NF X 43-050 prescrit l'usage de la microscopie électronique à transmission analytique (Meta) pour la mesure réglementaire de l'exposition professionnelle à l'amiante. Cette méthode constitue actuellement la seule technique capable de remplir l'ensemble des exigences métrologiques nécessaires à une évaluation fiable de l'exposition.

Spécificités et exigences métrologiques de la mesure des fibres d'amiante en prévention des risques professionnels

L'absence de seuil démontré d'innocuité pour l'exposition aux fibres d'amiante implique des exigences métrologiques particulièrement strictes. Les outils d'évaluation doivent permettre non seulement l'identification précise des fibres, fondée sur la caractérisation fiable de leur composition chimique et de leur structure cristallographique, mais également la quantification sensible et reproductible des fibres inhalables présentes dans l'air des lieux de travail.

L'amiante se distingue par son caractère particulière fibreux et par sa définition conjointe minéralogique et morphologique. Les six variétés d'amiante historiquement exploitées (chrysotile et cinq amphiboles) possèdent une structure cristalline silicatée de tétraèdres SiO_4 , enrichie en éléments caractéristiques tels que le magnésium, le fer ou le sodium, dont l'analyse permet de déterminer la variété minéralogique. Cette diversité chimique et structurale constitue un prérequis majeur pour leur classification analytique.

Les fibres d'amiante présentes dans les environnements professionnels sont regroupées en trois types :

- fibres OMS : longueur (L) > 5 μm , diamètre (d) < 3 μm , rapport L/d ≥ 3 ;
- fibres fines d'amiante (FFA) : diamètre < 0,2 μm ;
- fibres courtes d'amiante (FCA) : longueur < 5 μm .

Les fibres fines et courtes d'amiante, souvent abondantes dans les atmosphères de travail, jouent un rôle déterminant dans la quantification réelle de l'empoussièrement et leur présence importante sous la sensibilité analytique de certaines

techniques impose l'usage de méthodes de très haute résolution.

Pour répondre aux besoins de la prévention, une méthode de mesure fiable doit donc satisfaire simultanément à trois critères fondamentaux :

- une résolution suffisante pour visualiser l'ensemble du spectre des fibres, y compris les plus courtes et les plus fines ;
- une capacité d'analyse chimique permettant de connaître la composition chimique des fibres ;
- la détermination de la structure cristallographique, indispensable pour distinguer les différentes variétés d'amiante, notamment chrysotile et amphiboles.

Résolution et capacité de détection de la méthode Meta pour les mesures d'exposition

La méthode « Meta » offre une résolution nanométrique permettant l'observation détaillée des fibres d'amiante de très faible diamètre, notamment celles inférieures à 0,2 µm. Cette caractéristique est essentielle pour garantir le comptage exhaustif des fibres fines, dont une large proportion échappe aux autres techniques optiques ou électroniques moins résolutes.

À titre de comparaison, la microscopie électronique à balayage analytique conventionnelle (Meba/Sem), bien qu'utile pour l'analyse des matériaux ou les diagnostics exploratoires, présente une résolution insuffisante pour identifier les fibres fines d'amiante.

Identification élémentaire et cristallographique

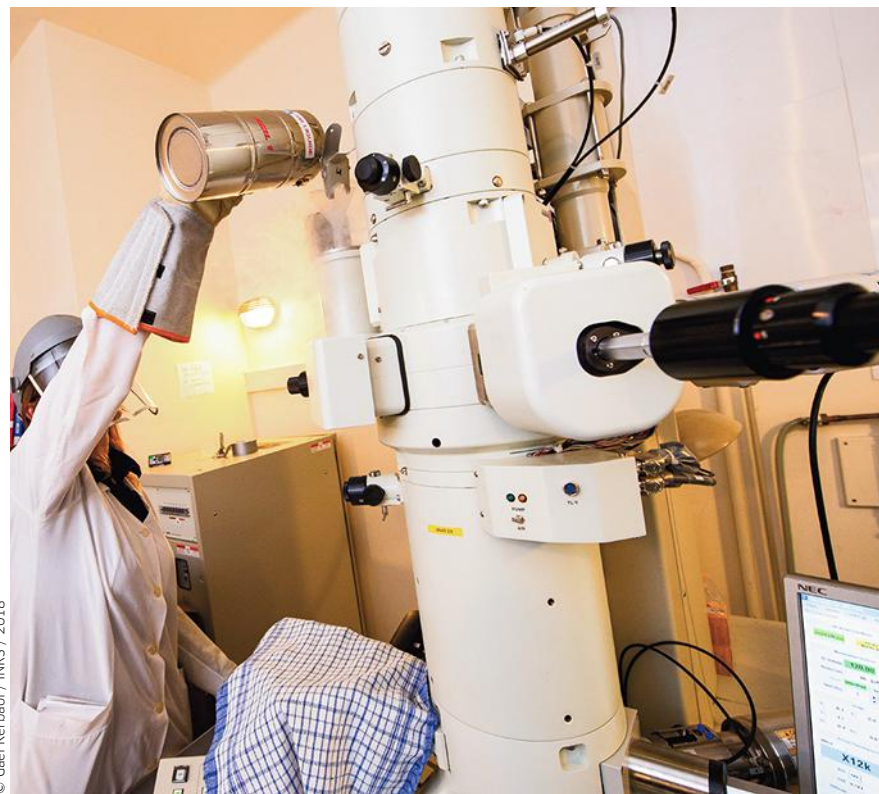
L'analyse « Meta » associe la microanalyse X par spectrométrie dispersive en énergie (EDS), permettant la détermination précise de la composition chimique des fibres, et la diffraction électronique en aire sélectionnée (SAED), permettant l'identification de leur structure cristallographique par l'interprétation des motifs de diffraction.

La combinaison « EDS + SAED » rend possible une identification minéralogique complète, y compris dans des matrices complexes contenant des fibres amiante et non amiante. La « Meta » est ainsi capable de distinguer sans ambiguïté les fibres de chrysotile des amphiboles, distinction indispensable pour l'évaluation des risques et la traçabilité des expositions.

En revanche, la « Meba » ne permet pas la détermination cristallographique et son aptitude à différencier certaines fibres minérales non amiante de fibres d'amiante est limitée, ce qui compromet la fiabilité du comptage dans un contexte de santé au travail.

Limites des autres techniques et justification du choix exclusif de la Meta

Bien que la méthode « Meba » présente des avantages opérationnels dans les domaines du diagnos-



© Gaël Kerbaol / INRS / 2018

tic des matériaux et de l'analyse minéralogique de surface, elle souffre de limitations majeures lorsqu'elle est utilisée pour la mesure d'exposition professionnelle :

- résolution insuffisante pour détecter les fibres fines ;
- impossibilité de déterminer la nature cristallographique ;
- risque accru de confusion avec des fibres non amiante.

Ces limites compromettent la précision, la représentativité et la robustesse des mesures. ●

Préparation d'un microscope électronique à transmission pour le comptage des fibres d'amiante.

POUR EN SAVOIR +

- INRS – *Dossier Web Amiante*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/amiante/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- INRS – *Rapport d'activité 2025 sur les mesures d'exposition à l'amiante Meta (période du 1^{er} juillet 2012 au 31 décembre 2024)*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/hst/bases-de-donnees.html> (voir en bas de page : « Base de données Scola »)
- INRS – *Base de données Scol@miante*. Accessible sur : <https://scolamiante.inrs.fr/Scolamiante/Accueil>
- INRS – *Amiante : définir le niveau d'empoussièrement d'un processus « sous-section 3 »*. ED 6367. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206367>
- INRS – *Conseils pour commander et décrypter des analyses d'amiante dans les matériaux et dans l'air*. ED 6554. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206554>