

I : L'amiante : qu'est-ce que c'est ?



- Substance connue depuis l'antiquité, longtemps exploitée pour ses propriétés physico-chimiques
 - Amiante, mot dérivé du latin Amiantus = incorruptible
 - Asbeste, mot dérivé du grec Asbestos = incombustible
 - Flexibilité, résistance à la traction, faible conductivité thermique, acoustique et électrique (isolant), très bonne résistance au feu (incombustible), résistance aux agressions chimiques, résistance aux micro-organismes (imputrescible)...
 - Fibre d'amiante : 400 à 2000 plus fine qu'un cheveu
- Substance minérale naturelle correspondant à 6 variétés de silicates fibreux (ainsi qu'à tous les mélanges entre ces différents silicates)
- Liste des 6 minéraux limitée aux seules espèces minéralogiques ayant fait ou faisant encore l'objet d'une exploitation industrielle → définition commerciale
- Cette liste de 6 minéraux correspond au terme « amiante » tel que défini dans la directive 2009/148/CE du Parlement Européen et du Conseil concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à une exposition à l'amiante pendant le travail
- Autres silicates fibreux à morphologie asbestiforme (non réglementés) :
 - *Erionite, Fluoro-edenite, Winchite, Carlosturanite, Balangéroite, Sépiolite...*



Minéraux « amiantes » (N° CAS)	Composition chimique	Minéraux non « amiantes » (N° CAS)
Groupe des serpentines		
Chrysotile (12001-29-5)	$[\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]_n$	Antigorite (12135-86-3) Lizardite (12161-84-1)
Groupe des amphiboles		
Actinolite-amiante (12172-67-7)	$[\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]_n$	Actinolite (13768-00-8)
Anthophyllite-amiante (17068-78-9)	$[(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]_n$	Anthophyllite (17068-78-9)
Trémolite-amiante (14567-73-8)	$[\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]_n$	Trémolite (14567-73-8)
Amosite (12172-73-5)	$[(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]_n$	Grunérite (14567-61-4)
Crocidolite (12001-28-4)	$[\text{NaFe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2]_n$	Riébeckite (17787-87-0)



- 1973 : Amphiboles classées cancérigènes par le CIRC
- 1977 : Toutes les variétés d'amiantes sont classées cancérigènes par le CIRC
- Arrêté du 29 juin 1977 interdisant le flocage à base d'amiantes dans les locaux d'habitation
- France : Décrets n°96-97 & 96-98 du 7/02/1996 :
repérage des flocages et calorifugeages dans les bâtiments
protection des travailleurs (0,1 fibre/cm³/heure) → 100 f/l (CdT)
passage de 100 f/l à 10 f/l au 1^{er} Juillet 2015
- France : Décret n°96-1133 du 24/12/1996 :
fabrication, importation et mise en vente de produits contenant de l'amiantes interdites
- 1998 : La France attaquée par le Canada devant l'OMC
- 2001 : Victoire des communautés européennes
cancérogénicité du chrysotile confirmée
- 1^{er} janvier 2005 : Interdiction de l'amiantes dans les 25 pays de l'UE, au terme d'une période transitoire de 5 ans.
- Arrêté du 23 février 2012 définissant les modalités de la formation des travailleurs à la prévention des risques liés à l'amiantes



- L'amiante est un matériau hautement toxique
- Lorsque des fibres d'amiante, en suspension dans l'air, sont inhalées, elles peuvent provoquer des pathologies respiratoires
- Les effets délétères de l'amiante sont liés à leur caractère indestructible et à leur dépôt dans le tissu pulmonaire, qui précède leur migration vers l'enveloppe du poumon (plèvre, péritoine)
 - Plus une particule est petite, plus elle peut pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire
 - Plus les fibres sont longues et fines, plus l'organisme a des difficultés à les éliminer
 - La bio-persistance des fibres d'amphiboles est supérieure à celle du chrysotile
- Maladies liées à l'exposition à l'amiante :
 - Maladies non cancéreuses (atteintes pleurales bénignes, asbestose)
 - Maladies cancéreuses (cancer broncho-pulmonaire, mésothéliome)
- Asbestose : Pénétration des fibres, inflammation qui se transforme en fibrose (épaississement du tissu pulmonaire) → insuffisance respiratoire → parfois mortelle
- Atteintes pleurales bénignes : lésions de la plèvre considérées comme des marqueurs d'une exposition à l'amiante → généralement sans conséquences graves
- Cancer du poumon : 25 000/an (5 à 10% imputable à l'amiante)
- Mésothéliome (cancer de la plèvre) : quasi-exclusivement imputable à une exposition à l'amiante (30 à 40 ans après l'exposition)
- Dernières études : 100 000 morts d'ici 2025



- Le chrysotile constitue à lui seul 90 à 95% de l'amiante produit jusqu'à ce jour, le reste correspondant à des exploitations de crocidolite et d'amosite
 - France : Canari (Haute-Corse)
- En termes de production, l'exploitation des variétés asbestiformes de l'anthophyllite, de la trémolite et de l'actinolite peut donc être considérée comme négligeable
 - France : Val de Péas (Hautes-Alpes)



Canari



Val de Péas

II : Où trouve t'on de l'amiante ?



- Amiante industriel (manufacturé) :

- Plusieurs milliers de produits générés par l'industrie :
fibrociment, tissus ignifugés, flochage, calorifugeage, faux plafonds, freins automobiles, revêtements de sols et routiers
- A l'origine des principales « affaires » qui alimentent régulièrement les chroniques :
Clémenceau, Université de Jussieu, Michelin, Péchiney, Alstom, etc.

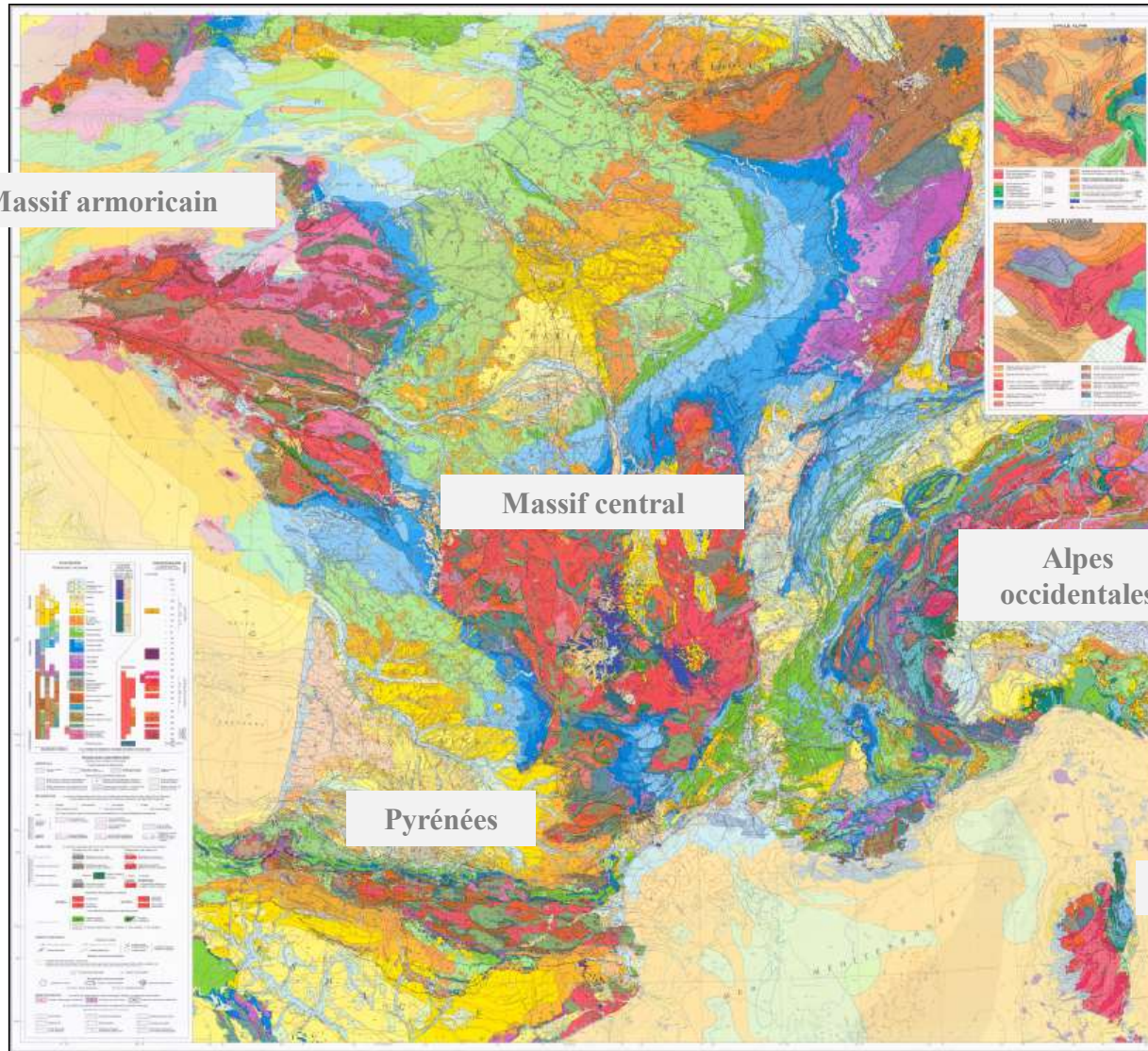
- Amiante environnemental (*l'amiante dans son environnement naturel*) :

- Complexité des objets géologiques :
zones orogéniques, caractérisées par des évolutions tectoniques et métamorphiques polyphasées
Chaines anciennes (Massif armoricain, Massif central, Vosges)
Chaines récentes (Alpes, Pyrénées, Nouvelle-Calédonie)
- Multiplicité des sources d'exposition :
Processus d'altération (affleurement naturel soumis aux contraintes climatiques)...
Processus d'érosion (affleurement naturel soumis à des instabilités naturelles)...
Travaux d'aménagement s. l...
Anciens sites d'extraction d'amiante (Canari, Termignon, Val de Péas, etc.)...
Circulation de véhicules sur les voies non asphaltées
Processus de dégradation des sols végétaux...



> Milieu naturel :

- De nombreuses roches possèdent une composition chimique favorable à la cristallisation de serpentines et/ou d'amphiboles
 - Roches ultrabasiqes : péridotites, péridotites \pm serpentinisées, serpentinites, (méta)-pyroxénites,
 - Roches basiques métamorphisées : amphibolites, metabasaltes, métagabbros, métadolérites, prasinites, spilites, etc.
 - Certaines roches carbonatées métamorphiques ...
- Toutes ces roches sont susceptibles de contenir des formes dérivées fibreuses, parfois asbestiformes, de ces minéraux
- Les minéraux asbestiformes présents dans certaines roches peuvent également être rencontrés dans les sols et dans les sédiments dérivés de l'altération et de l'érosion de ces mêmes roches
- La présence éventuelle de minéraux fibreux dans des roches exploitées par l'industrie extractive peut entraîner, notamment lors de certaines opérations (minage, broyage, concassage, roulage, etc.), la libération de fibres dans l'air et conduire alors à une exposition des travailleurs





Serpentinites à trémolite-amiante (Cap Corse, 2B)



Métagabbros Al-Mg à trémolite-amiante (Cap Corse, 2B)

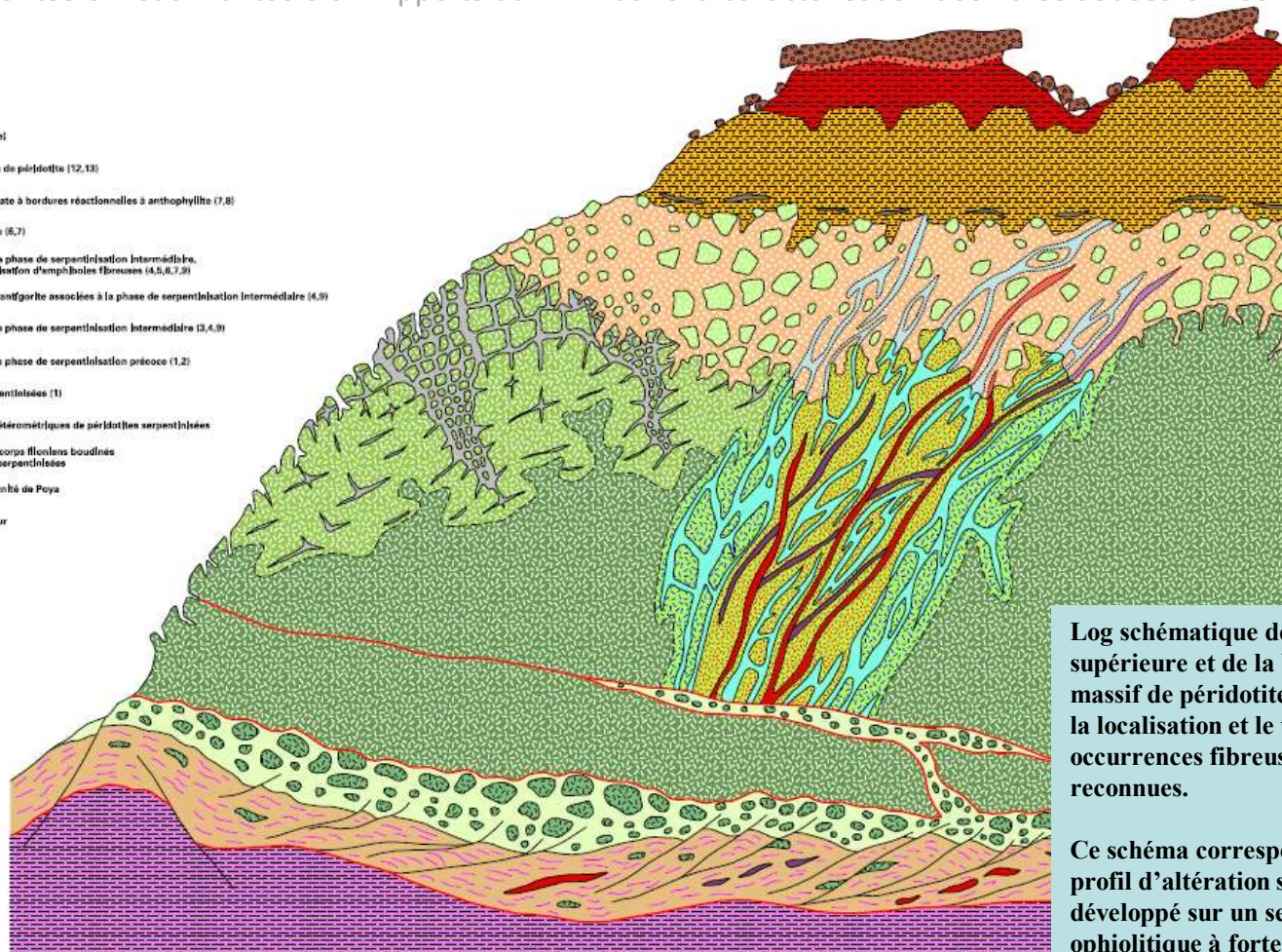


Métabasaltes Al-Mg à actinolite-amiante (Rutali, 2B)

Amiantes s.l. et amiantes s.s. : Apports du MEB dans la caractérisation des fibres asbestiformes



- Cuasse ferrugineuse
- Niveau plioéolique
- Latérite rouge
- Latérite jaune (14 à la base)
- Saprolite à blocs résiduels de péridotite (12,13)
- Complexe filonien leucocrate à bordures réactionnelles à anthophyllite (7,8)
- Complexe filonien basique (6,7)
- Péridotites affectées par la phase de serpentinisation intermédiaire, à veines et plans à cristallisation d'amphiboles fibreux (4,5,6,7,9)
- Veines fibro-lamellaires à antigorite associées à la phase de serpentinisation intermédiaire (4,9)
- Péridotites affectées par la phase de serpentinisation intermédiaire (3,4,9)
- Péridotites affectées par la phase de serpentinisation précoce (1,2)
- Péridotites peu à pas serpentinisées (1)
- Serpentinites à nodules hétéométriques de péridotites serpentinisées
- Serpentinites clauillées, à corps filonien boudinés et nodules de péridotites serpentinisées
- Basaltes et dolérites de l'unh de Poya
- Accident tectonique majeur



Log schématique de la partie supérieure et de la base d'un massif de péridotite, incluant la localisation et le type des occurrences fibreuses reconnues.

Ce schéma correspond à un profil d'altération supergène développé sur un segment ophiolitique à forte structuration horizontale, caractérisée par l'existence d'un axe filonien central.

- 1 • Nodules anastomosés précoces (lizardite)
- 2 • Veines sombres et claires précoces (lizardite, chrysotile)
- 3 • Veines claires intermédiaires (chrysotile, antigorite)
- 4 • Veines fibro-lamellaires (antigorite)
- 5 • Veines fibro-radiales à trémolite et à trémolite + antigorite (trémolite-amiante)
- 6 • Plans de mouvement à cristallisations de trémolite fibreuse (trémolite-amiante)
- 7 • Plans de mouvement à cristallisations d'anthophyllite fibreuse (anthophyllite-amiante)
- 8 • Veines fibreuses et bordures réactionnelles à anthophyllite + ou + gédrite (anthophyllite-amiante)
- 9 • "Megaveines" tardives à chrysotile
- 10 • Veines à chrysotile associées aux nodules de péridotites serpentinisées
- 11 • Veines à chrysotile, veines et plans à cristallisations fibreuses d'amphiboles, clauillées
- 12 • Amas fibreux (trémolite-amiante, anthophyllite-amiante)
- 13 • Amas fibro-lamellaires (chrysotile, antigorite)
- 14 • Terres blanches



Faisceau de trémolite-amiante (Mine de Poro)



Faisceau altéré de trémolite-amiante (Massif du Koniambo)



Plan à anthophyllite très altéré, montrant la coexistence de fibres rigides et de fibres souples (Vulcain)



Plan à anthophyllite très altéré, montrant la coexistence de fibres rigides et de fibres souples (Presqu'île de Bogota)



III : Critères morphologiques

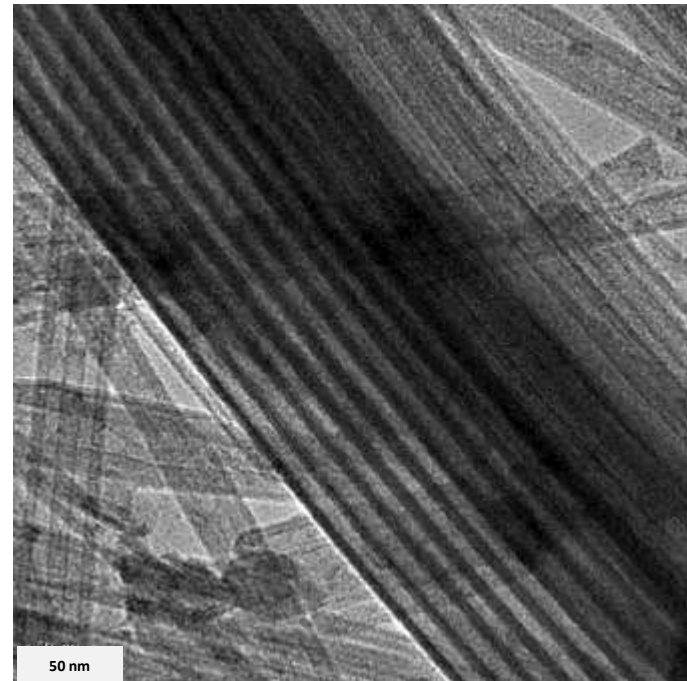
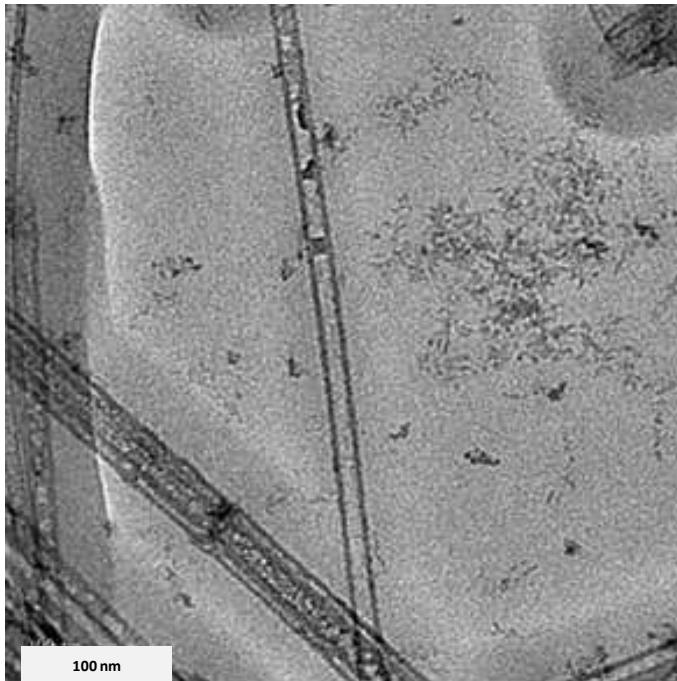


- Qualité de l'air : Détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission (Norme NF X 43-050 / Janvier 1996 → CSP : 5 f/l au max.)
 - La méthode permet de déterminer les dimensions, la nature et les concentrations des fibres d'amiante présentes. *La méthode ne peut pas différencier les fibres individuelles issues d'amphiboles asbestiformes de celles issues d'autres variétés du même minéral amphibole (?)*
 - La méthode est définie pour les filtres en mélange d'esters de cellulose à travers lesquels un volume connu d'air a été aspiré. Elle convient pour déterminer l'amiante dans les atmosphères extérieures et intérieures des bâtiments
 - META : Diffraction électronique, Analyse en dispersion d'énergie des rayons X
 - Fibre : Toute particule ayant des bords parallèles sur une partie de sa longueur ou étagés, avec une longueur minimum de 0,5 µm et un rapport L/l > 3 (bords étagés : moyenne des largeurs)
 - Comptage : Toute structure d'amiante avec L > 0,5 µm, l < 3 µm, L/l > 3

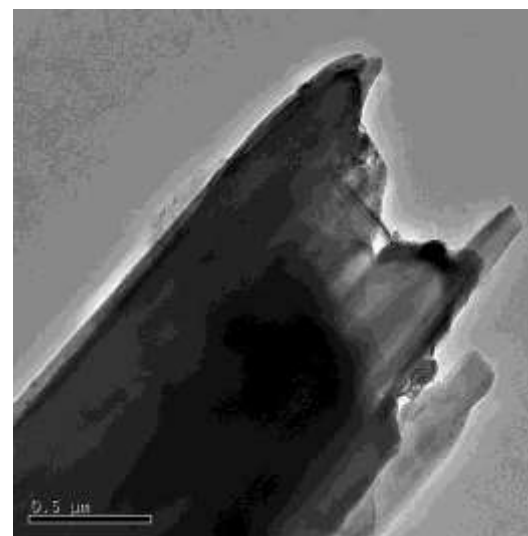
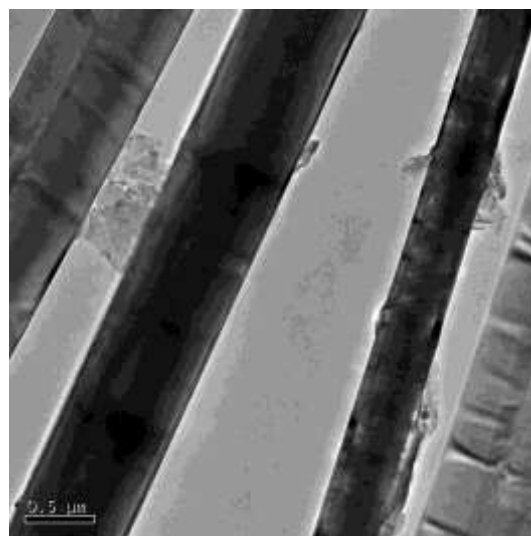
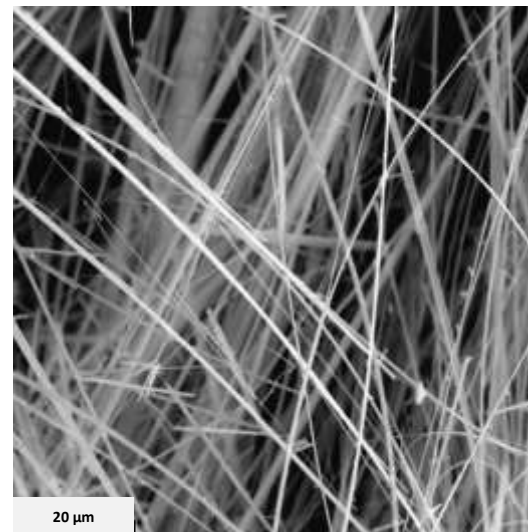
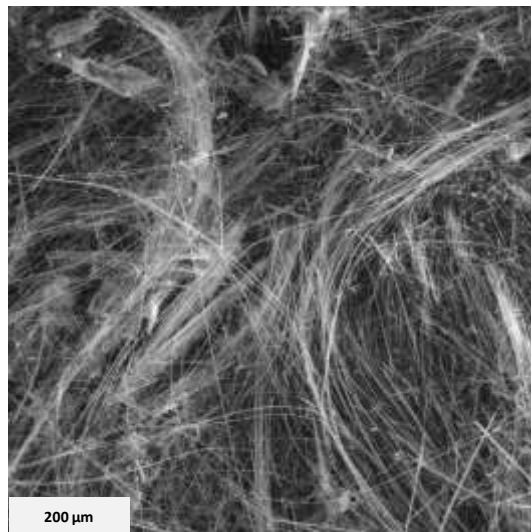
- Campagne de mesures d'exposition aux fibres d'amiante par META (INRS, 2011)
 - Fibres « OMS » (0,2 µm < D < 3 µm), FFA (0,01 µm < D < 0,2 µm), FCA (L < 5 µm)
 - Utilisation de la méthode de comptage par **META** en remplacement de la MOCP
 - Prise en compte des FFA dans le comptage (17% des fibres analysées)
 - Sensibilité analytique cohérente avec la future VLEP du CdT (10 f/l/h)



- **Les méthodes utilisées (NFX 43-050, NFX 43-269) ne permettent pas de « différencier les fibres individuelles issues d'amphiboles asbestiformes de celles issues d'autres variétés du même minéral amphibole »**
- **Comptage de toutes les fibres, indépendamment de leur mode de cristallisation**
 - **fibres unidimensionnelles (amiante s.s.)**
 - **fragments de clivage = réduction de cristaux tridimensionnels (amiante s.l.)**
- Critères de l'EPA (Environmental Protection Agency) = **Amiante s.s.**
 - *Rapport d'allongement des fibres (L/D) > 20*
 - *Existence de fibrilles très fines ($0,5 < \mu\text{m}$)*
 - *2 caractéristiques au moins parmi les suivantes :*
 - Fibres parallèles regroupées en faisceaux,*
 - Faisceaux de fibres avec des extrémités effilochées,*
 - Agglomérats de fibres individuelles enchevêtrées,*
 - Existence de fibres incurvées*

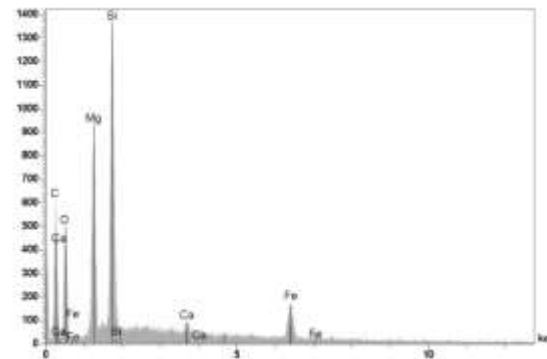
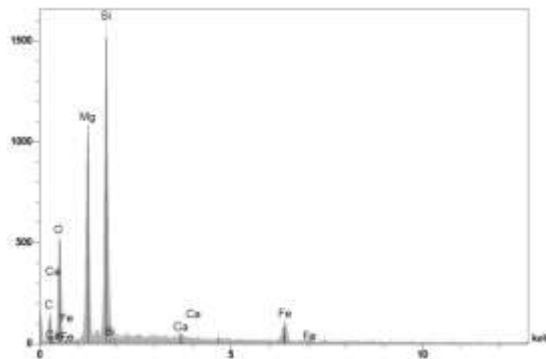
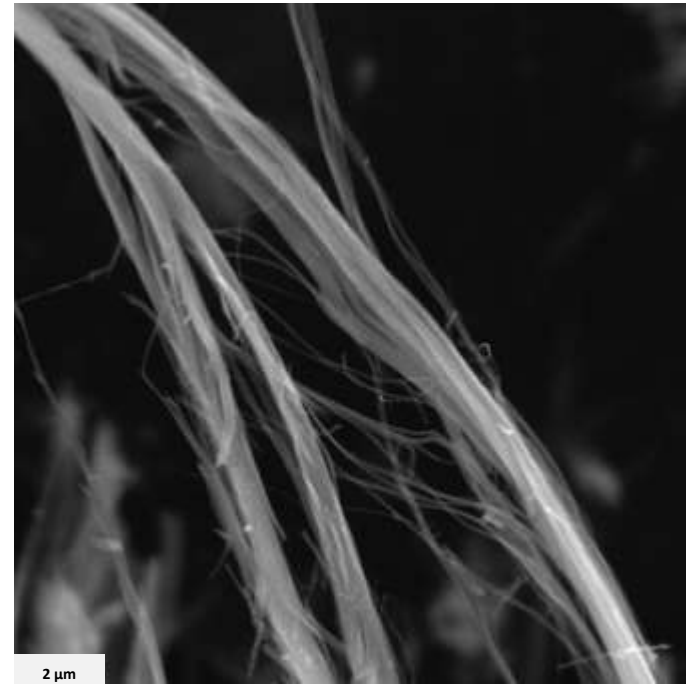
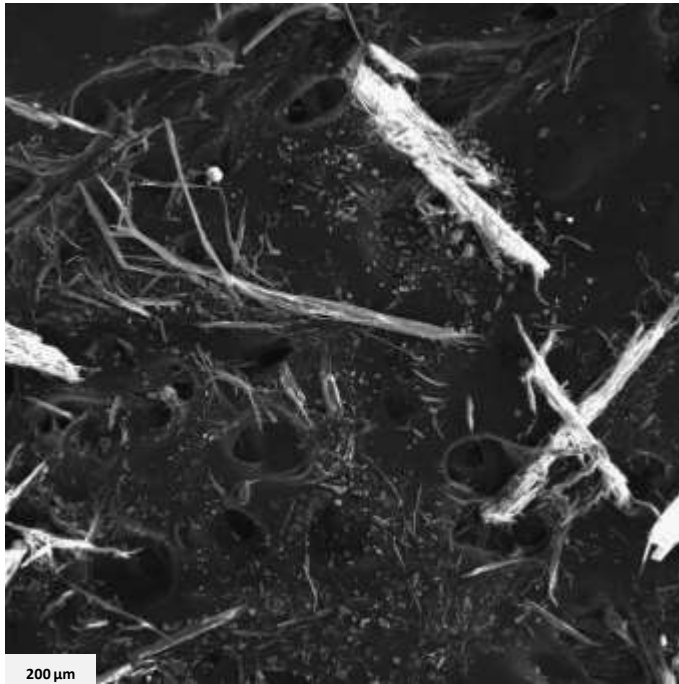


Serpentinite à chrysotile (Bastia, 2B)



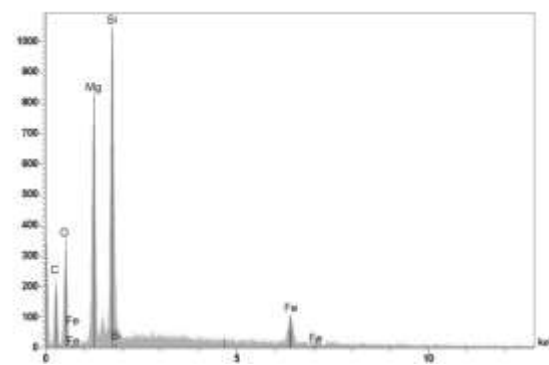
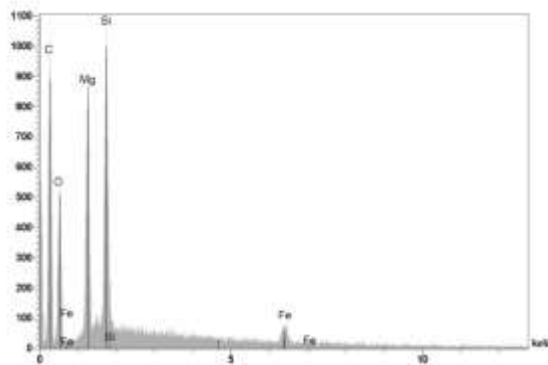
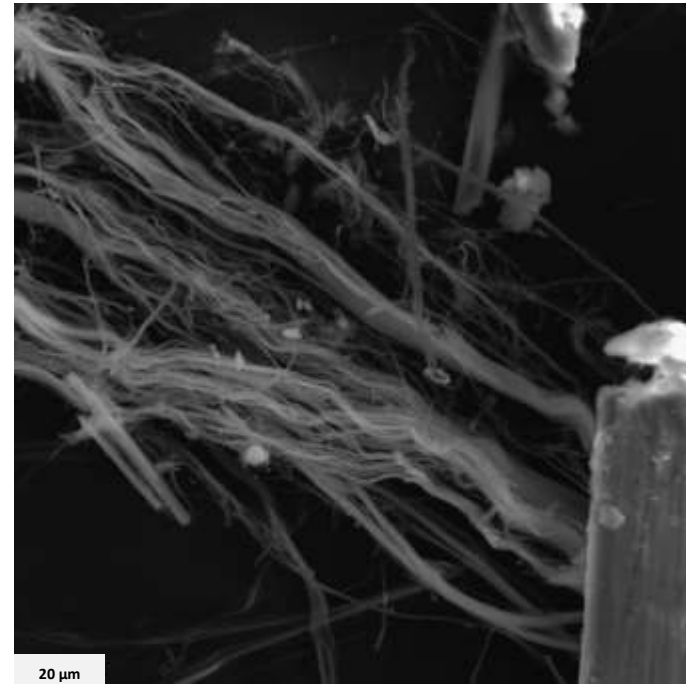
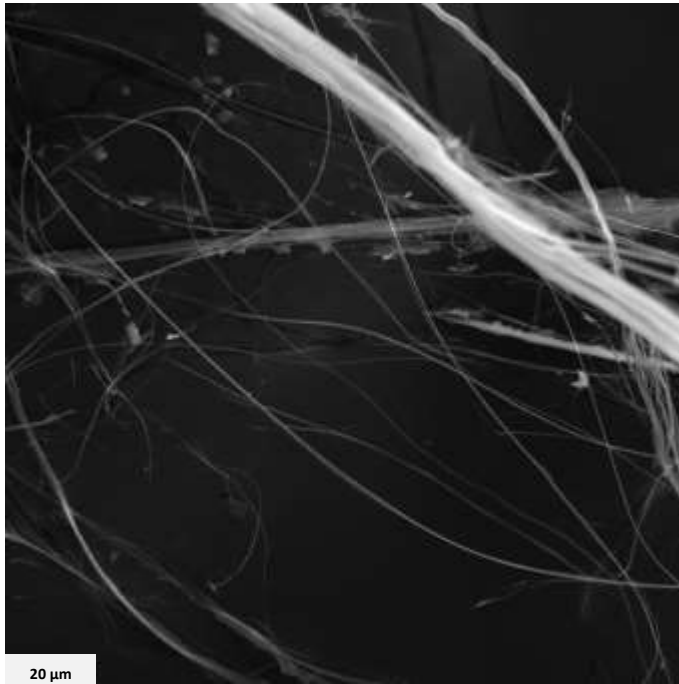
Serpentinite à trémolite-amiante (Bustanico, 2B)

IV : Les fibres d'amiante au MEB



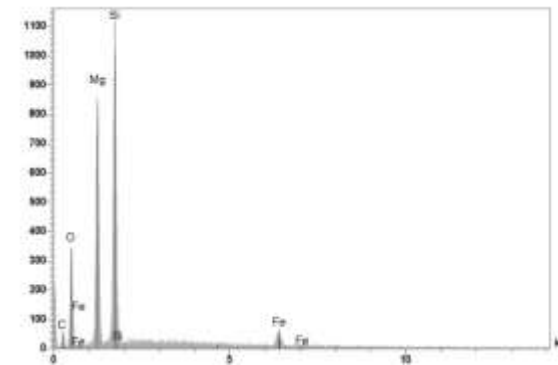
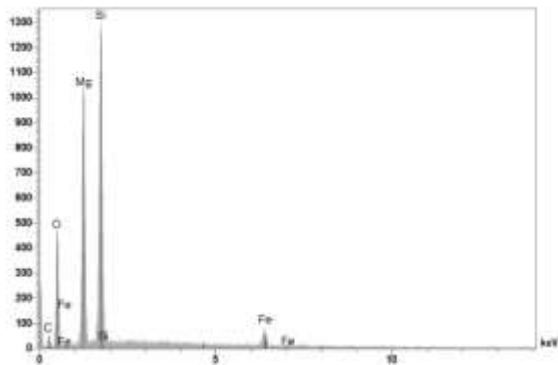
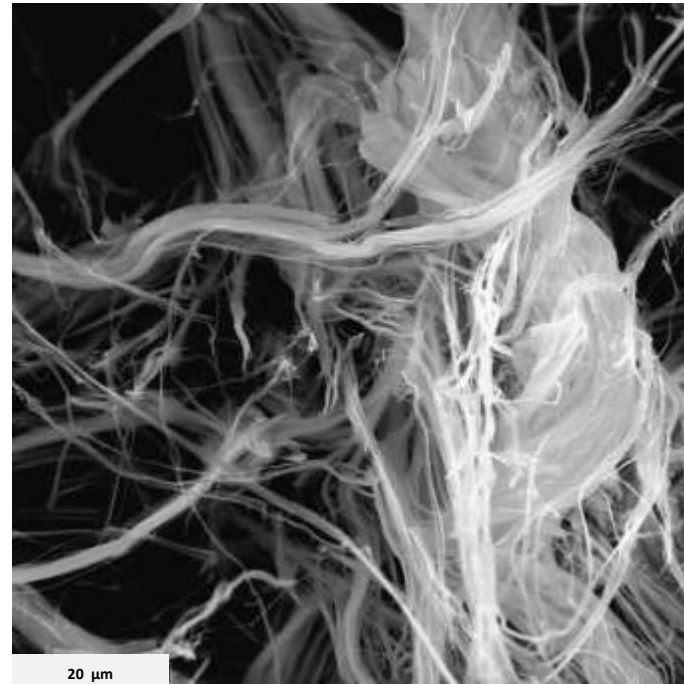
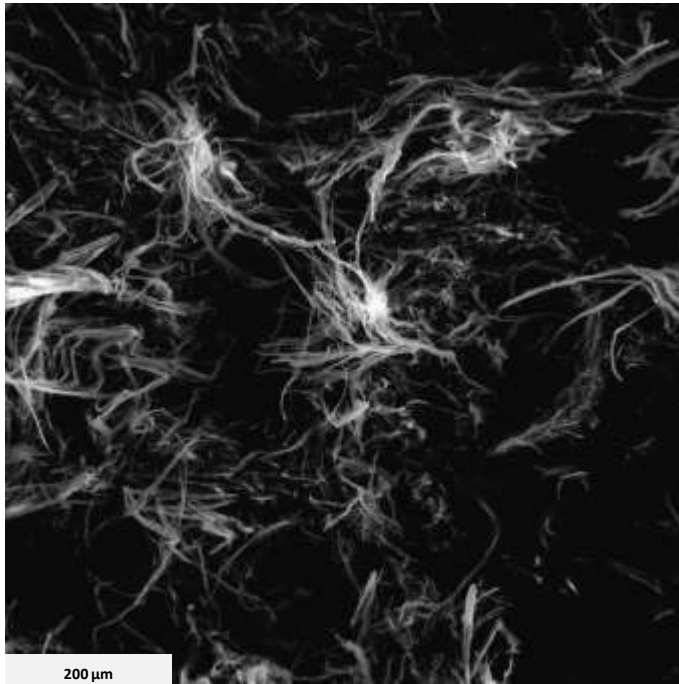
Amiante s.s.

Serpentinite à chrysotile (Ville-de-Pietrabugno, 2B)



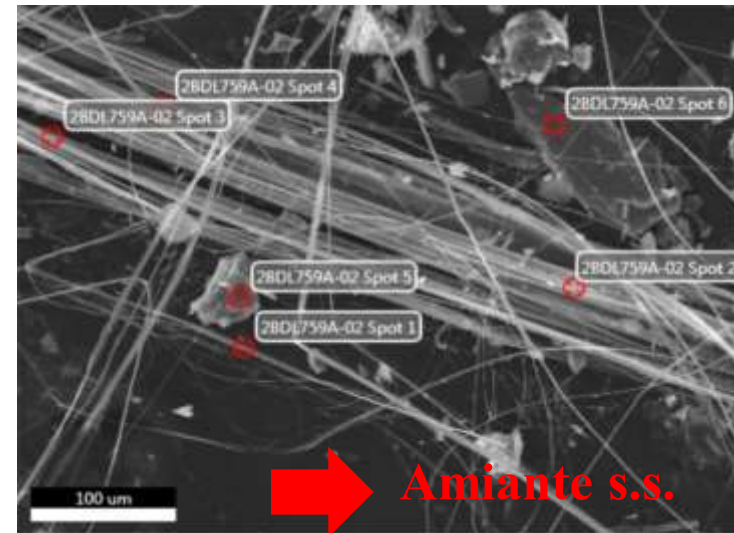
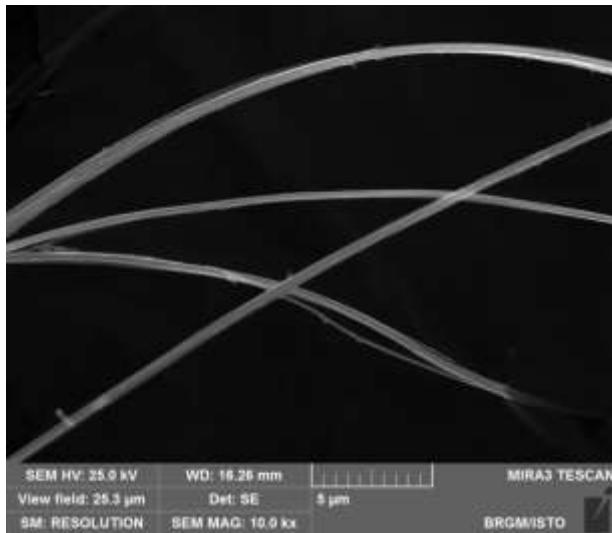
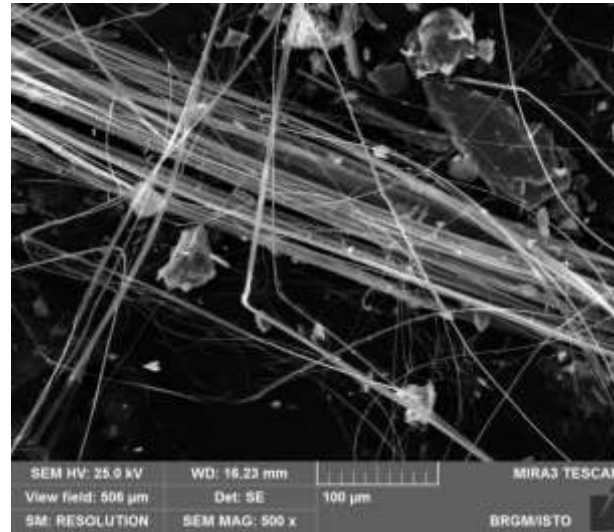
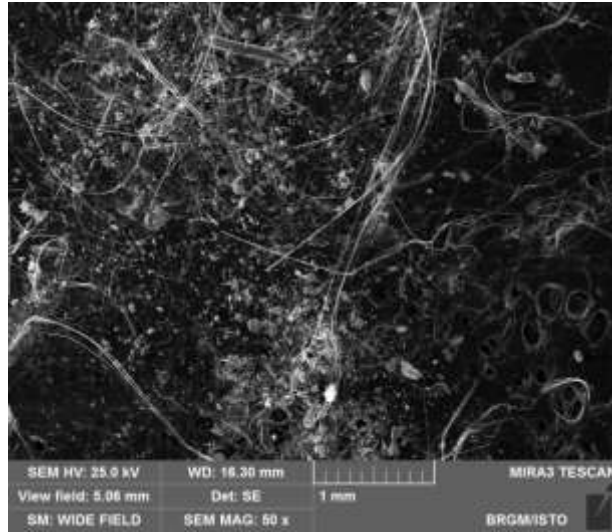
Serpentinite à chrysotile (Borgo, 2B)

Amiante s.s.



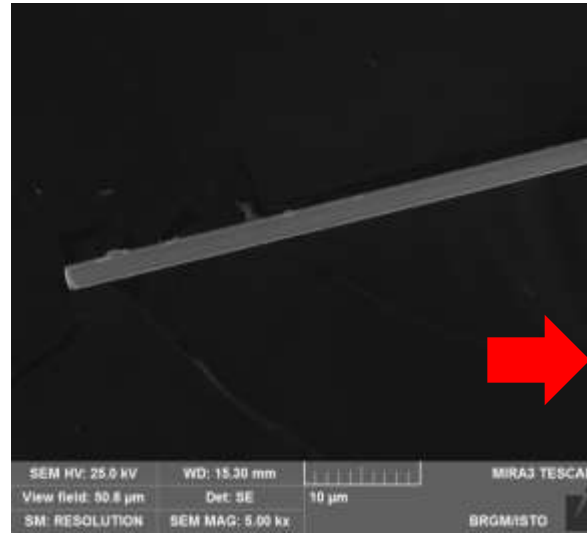
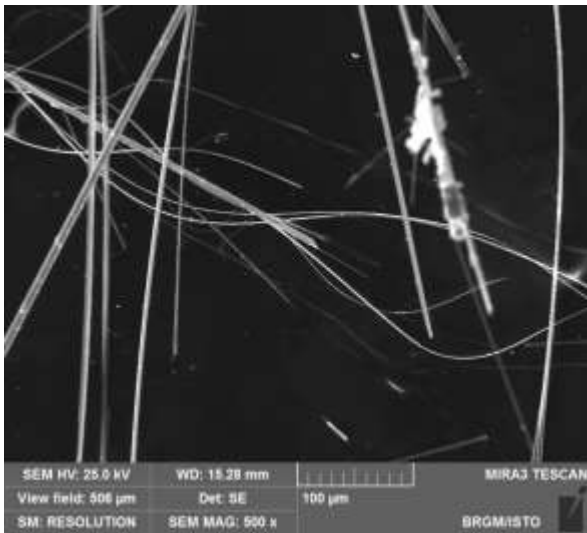
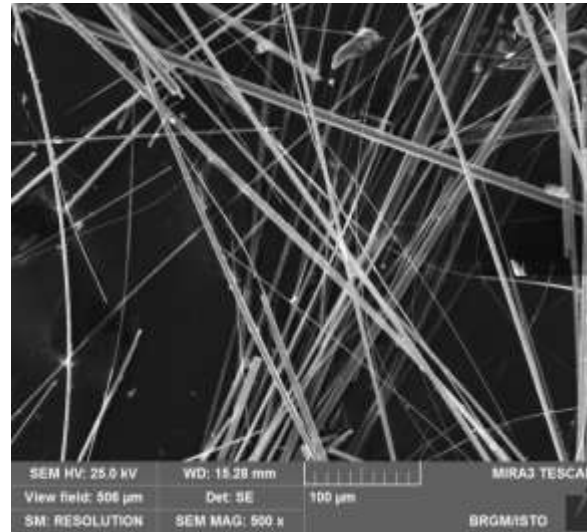
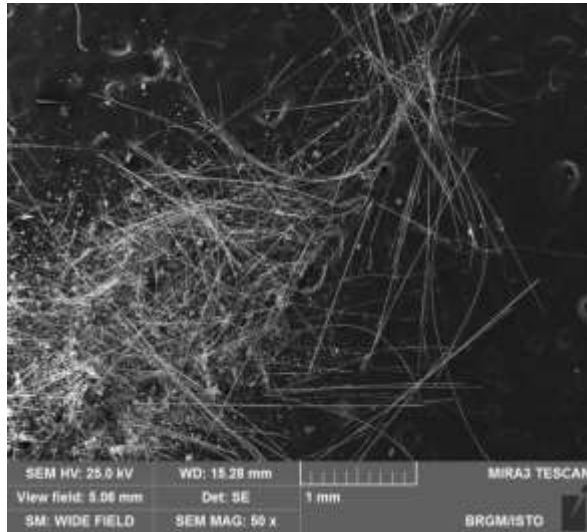
Amiante s.s.

Péridotite serpentinisée à chrysotile (Mine de Sireis, Nouvelle-Caédonie)



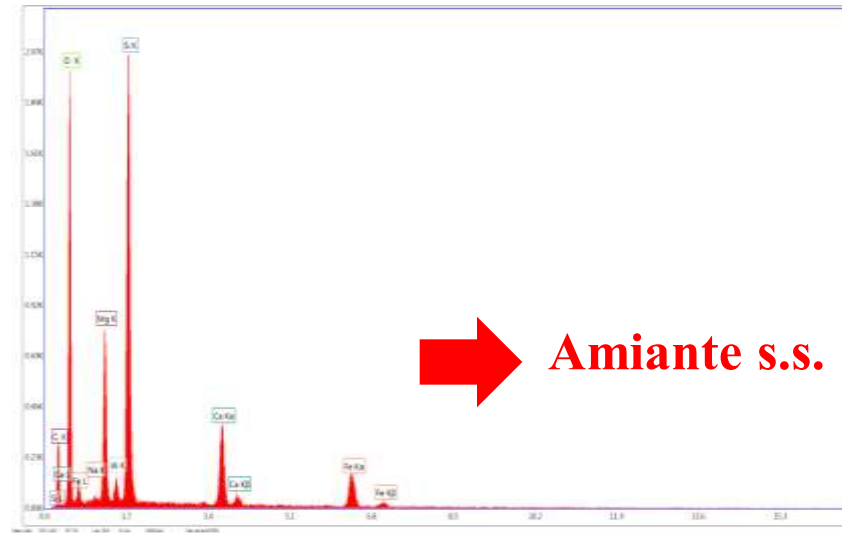
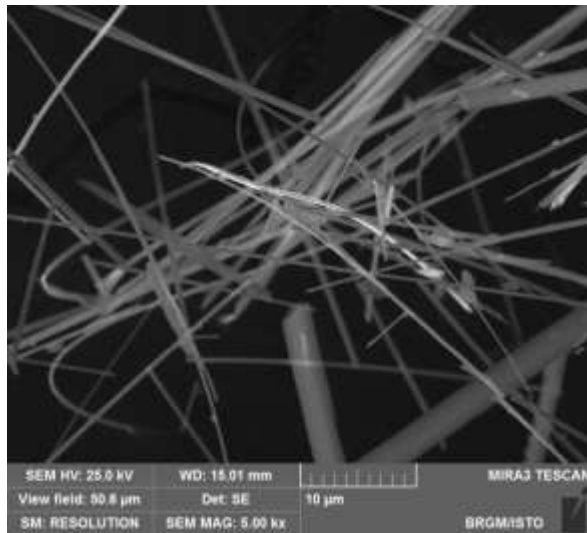
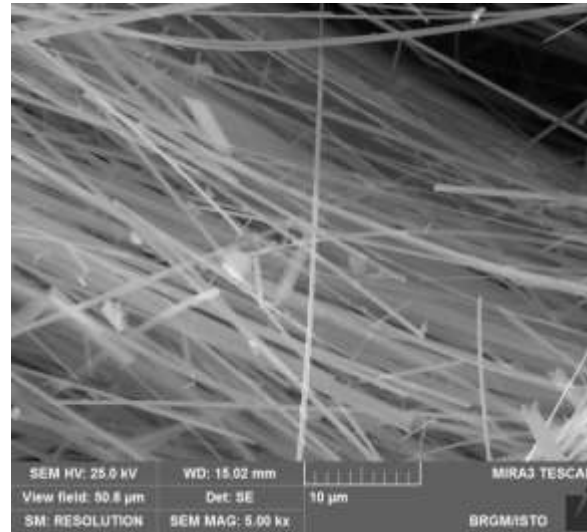
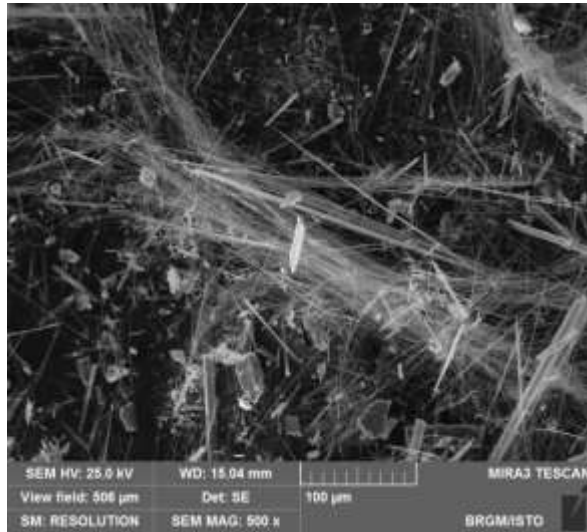
Amiante s.s.

Serpentinite à actinolite/trémolite-amiante (Bastia, 2B)

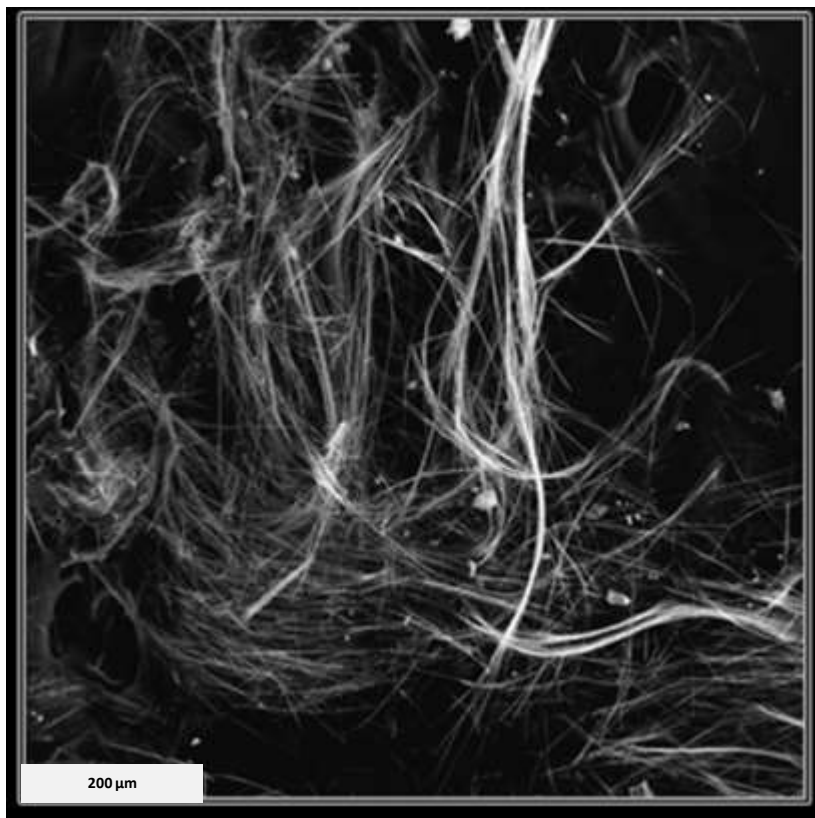


Amiante s.s.

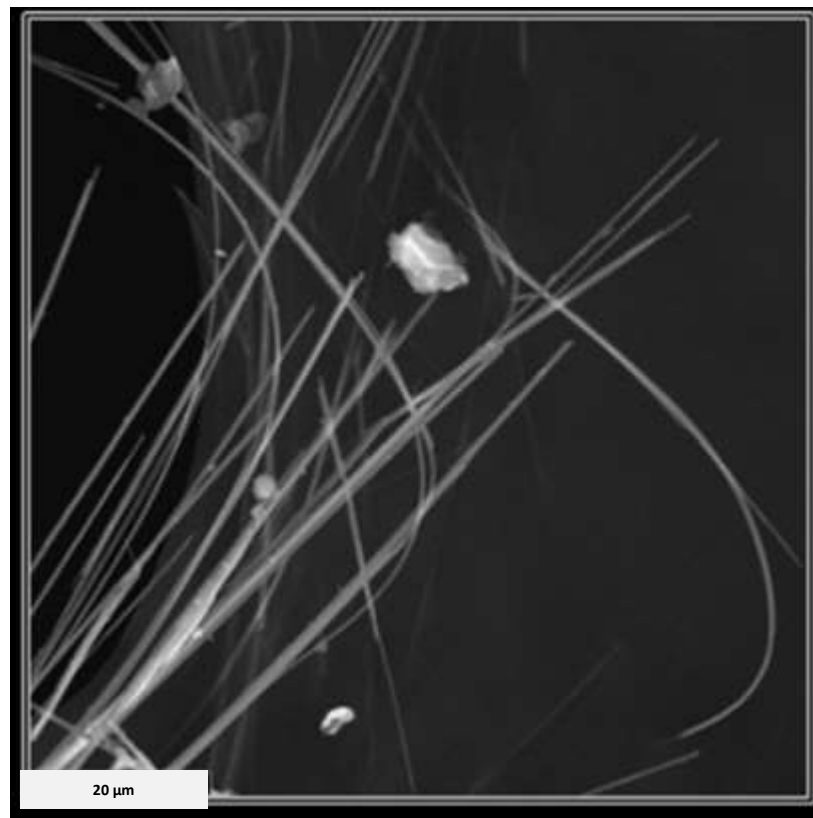
Serpentinite à actinolite/trémolite-amiante (Santa Maria di Lota, 2B)



Métabasalte à actinolite-amiante (Suerta, 2B)

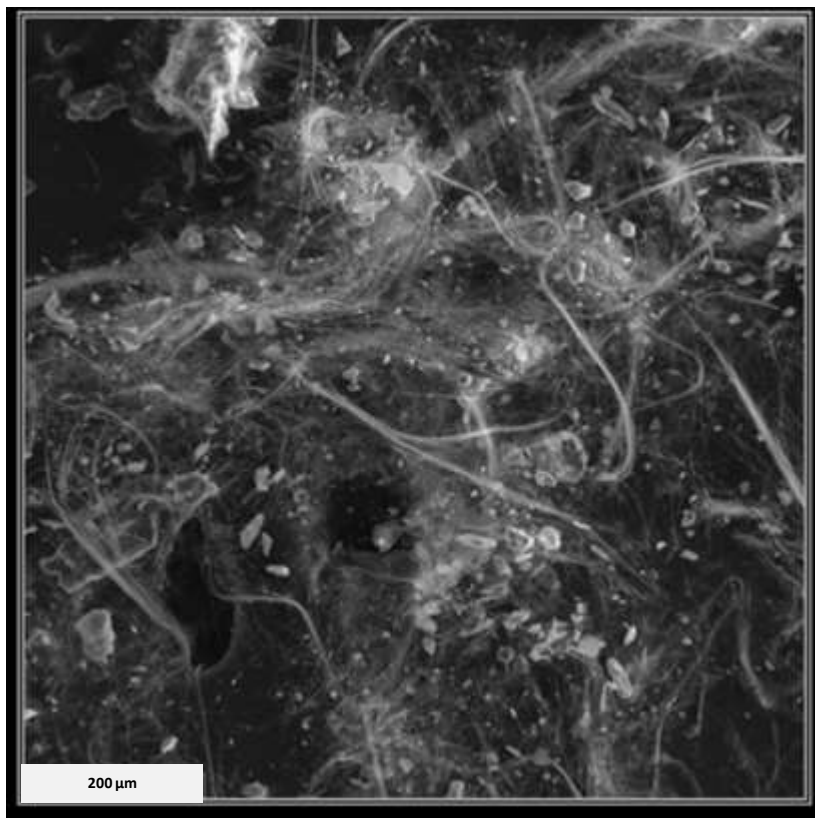


Faisceaux souples de trémolite-amiante prélevés sur un plan fibreux (Koniambo)

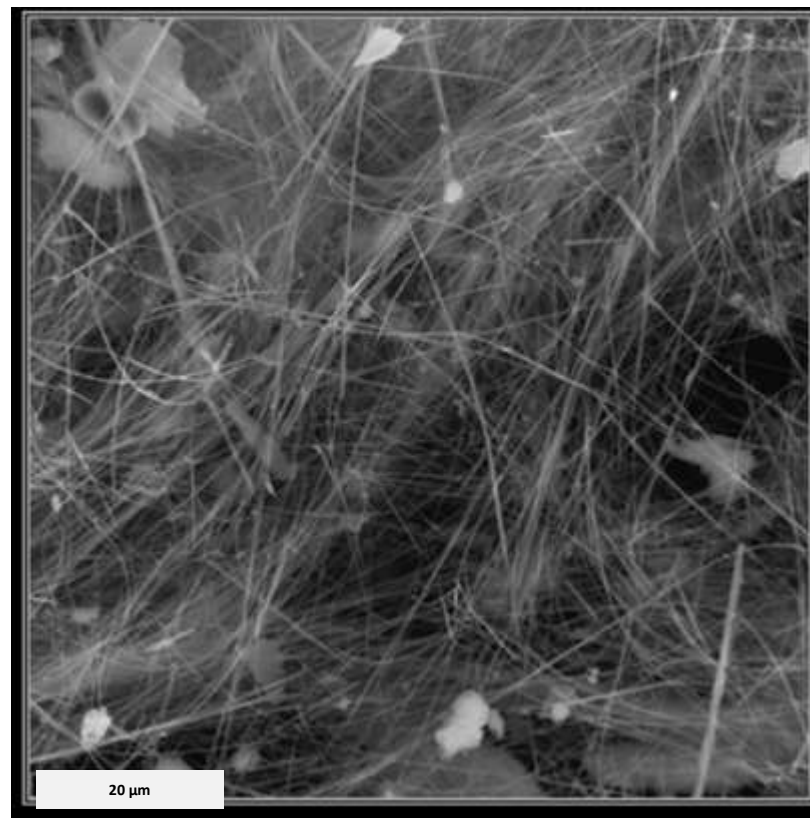


Détail des fibres de trémolite (Koniambo)

 **Amiante s.s.**

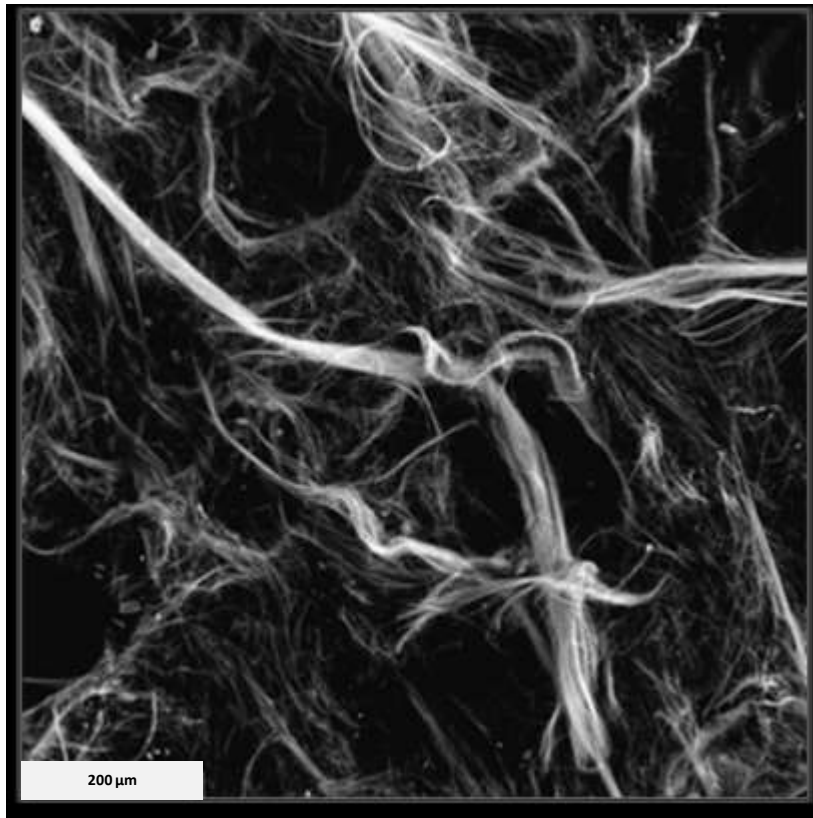


Faisceaux fibreux de trémolite (secteur de Ouassé)

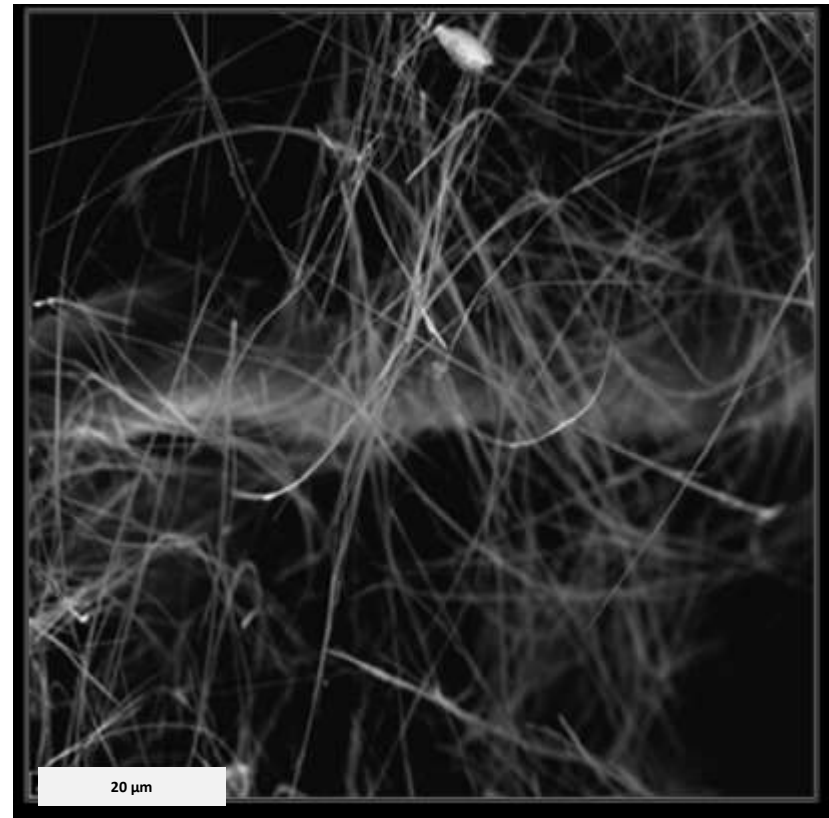


Détail des fibres de trémolite (Secteur de Ouassé)

 **Amiante s.s.**

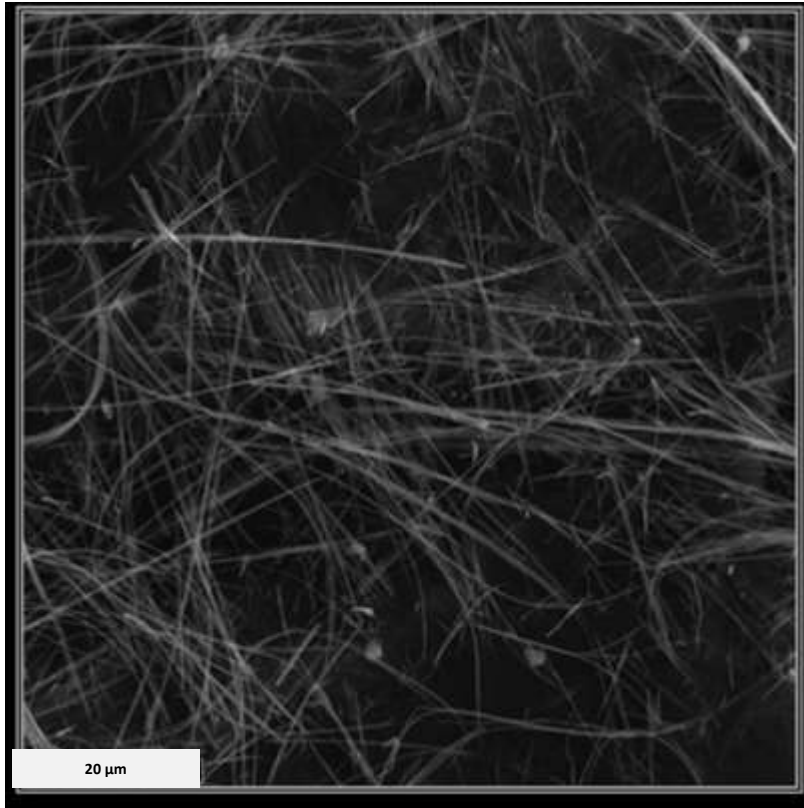


Faisceaux fibreux de trémolite (Col de Ngo)

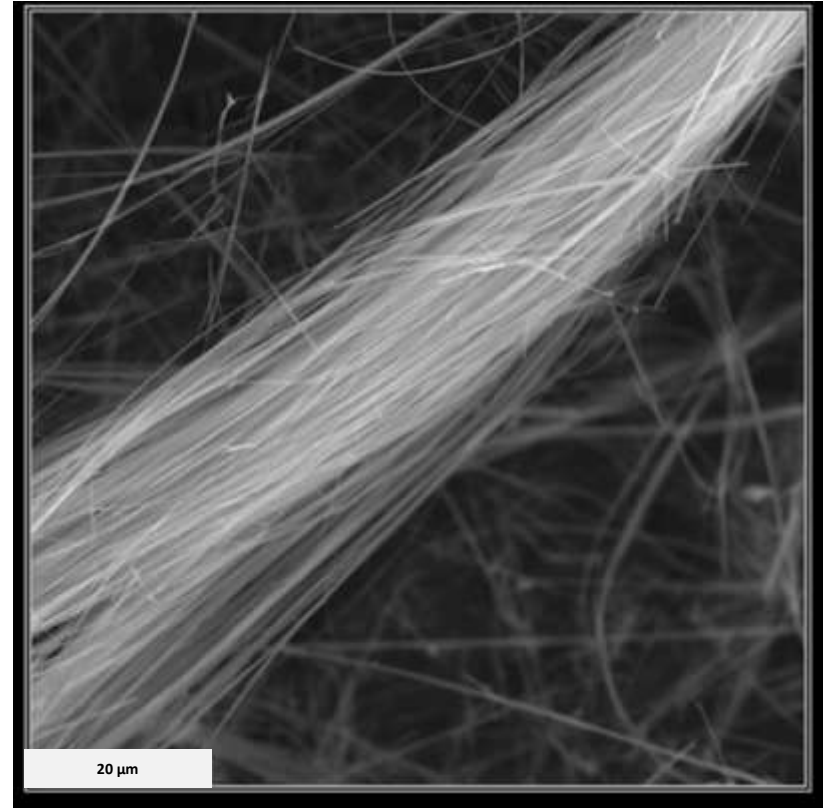


Détail des fibres de trémolite (Col de Ngo)

 **Amiante s.s.**

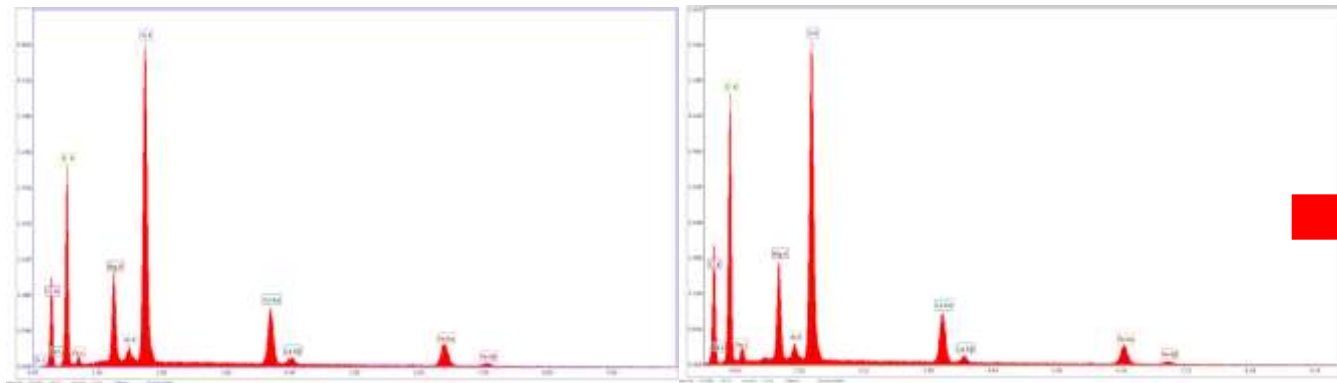
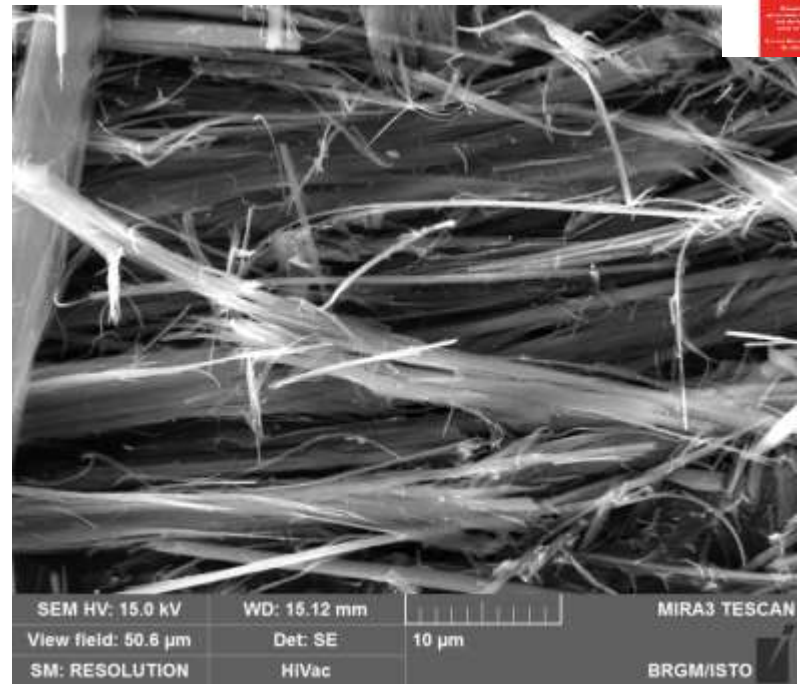
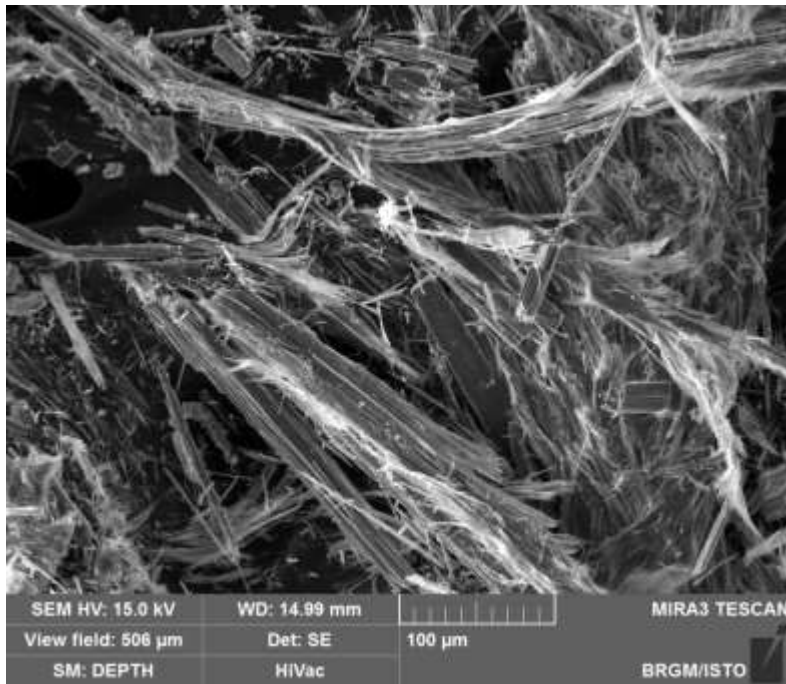


Fibres très fines et très souples d'anthophyllite
(Mine de Gémini, Nouvelle Calédonie)



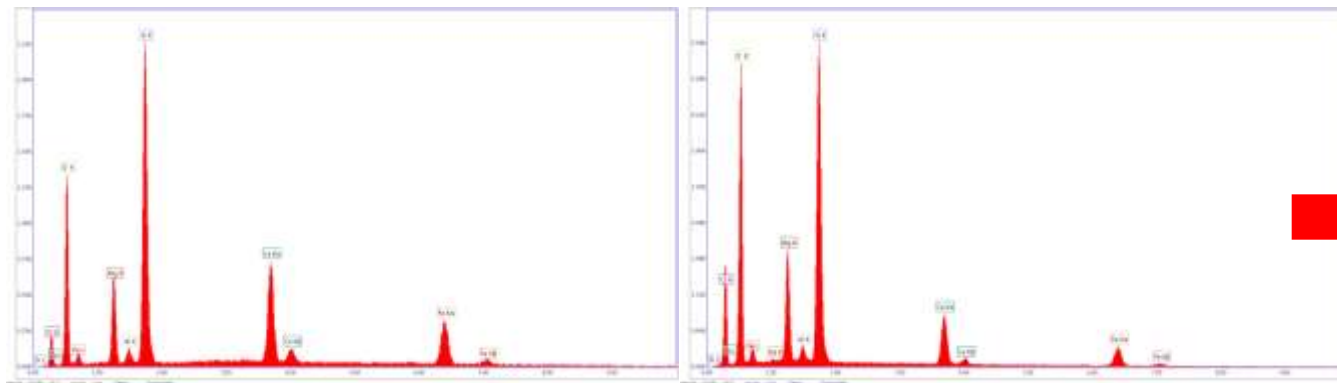
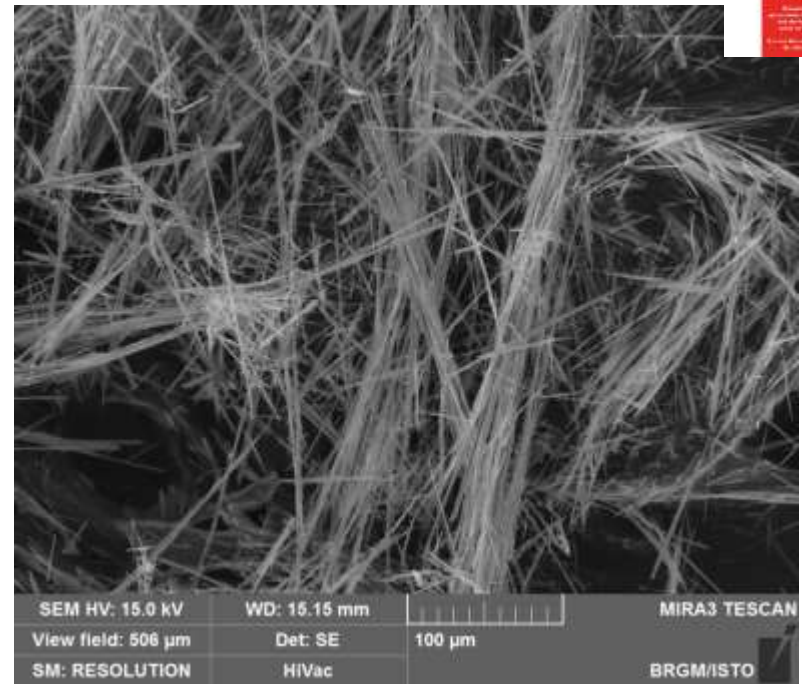
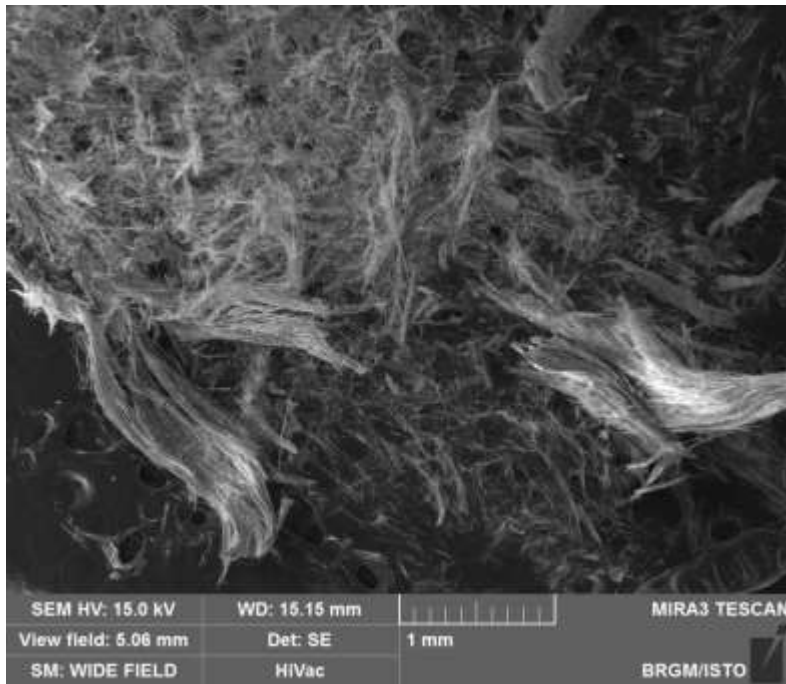
Faisceau torsadé de fibres très fines d'anthophyllite
(Mine de Gémini, Nouvelle Calédonie)

 **Amiante s.s.**



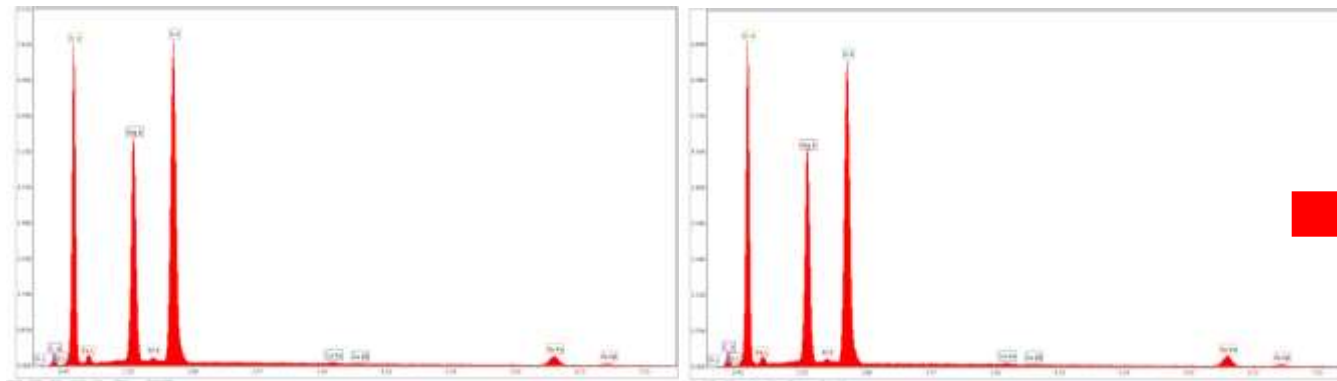
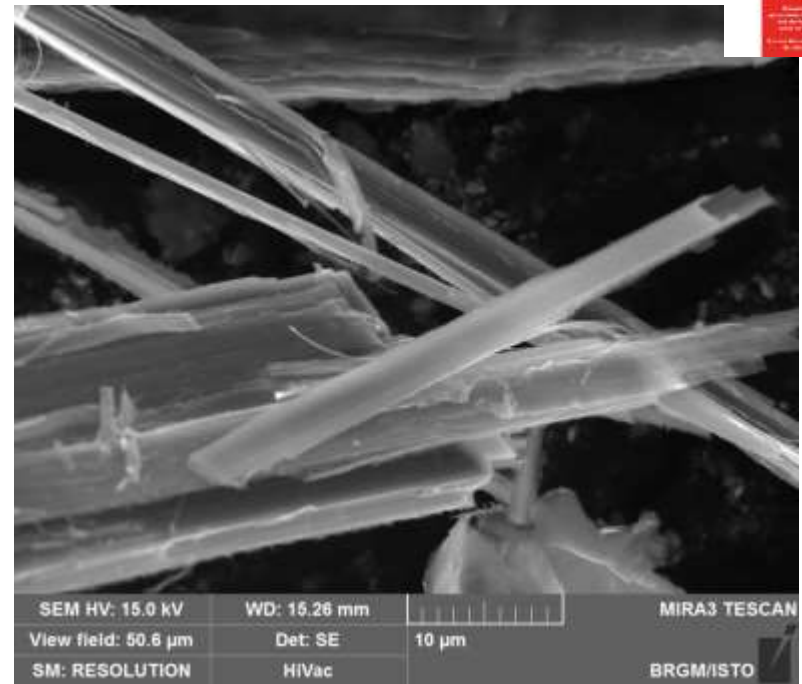
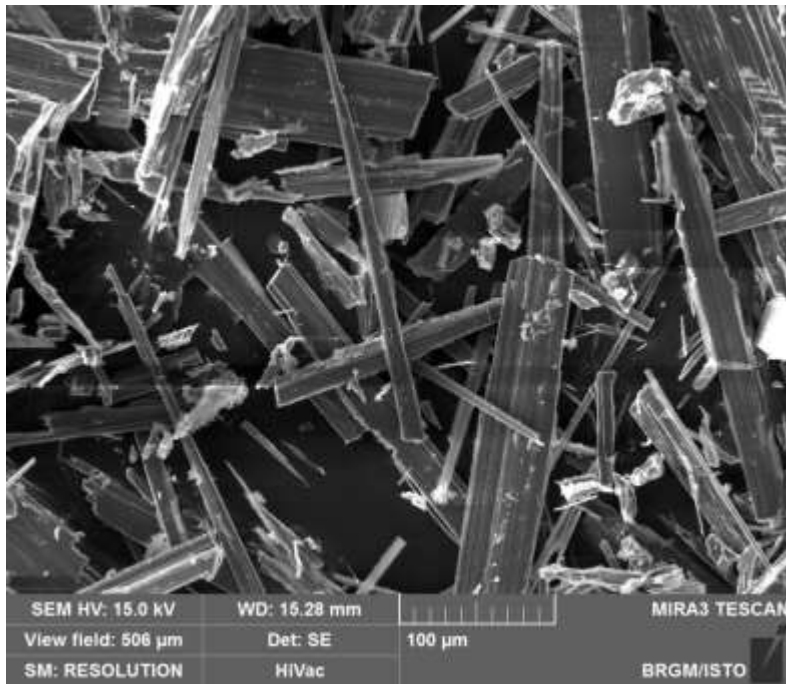
Amiante s.s.

Dolérite à actinolite (Deux-Sèvres)



Amiante s.s.

Dolérite à actinolite (Deux-Sèvres)



Amiante s.l.

Serpentinite à anthophyllite fibreuse (Saint Flour)

IV : Pourquoi utiliser un MEB ?



- Analyse d'une fraction importante de matière
- Approche tridimensionnelle des structures fibreuses
- Résolution adaptée à l'observation des fibres d'amiante ($0,1 \mu\text{m} < D < 3 \mu\text{m}$)
- Permet de caractériser dans un échantillon :

- la présence de fibres très longues ($L/D > 20$)
- La présence de fibrilles très fines ($0,5 \mu\text{m}$)
- L'existence de fibres regroupées en faisceaux
- L'existence de fibres individuelles enchevêtrées
- L'existence de fibres courbes

	Chrysotile (12001-29-5)	Amosite (12172-73-5)	Crocidolite (12001-28-4)
Longueur maximale des fibres :	40 mm	70 mm	70 mm
Diamètre des fibrilles :	0,02 μm	0,1 μm	0,08 μm
Diamètre de la fibre industrielle :	0,1 à 1 μm	1 à 2 μm	1 à 2 μm

→ **critères répondant à la définition la plus exigeante des fibres d'amiante (amiante s.s.)**

- Technique analytique performante et concurrentielle
 - Mise en œuvre
 - Réalisation d'analyses ponctuelles
 - Coût de l'analyse
- Technique pertinente pour la caractérisation d'amiante dans les échantillons de sols naturels
 - Chantiers de travaux publics
 - Carrières, mines, etc.