



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

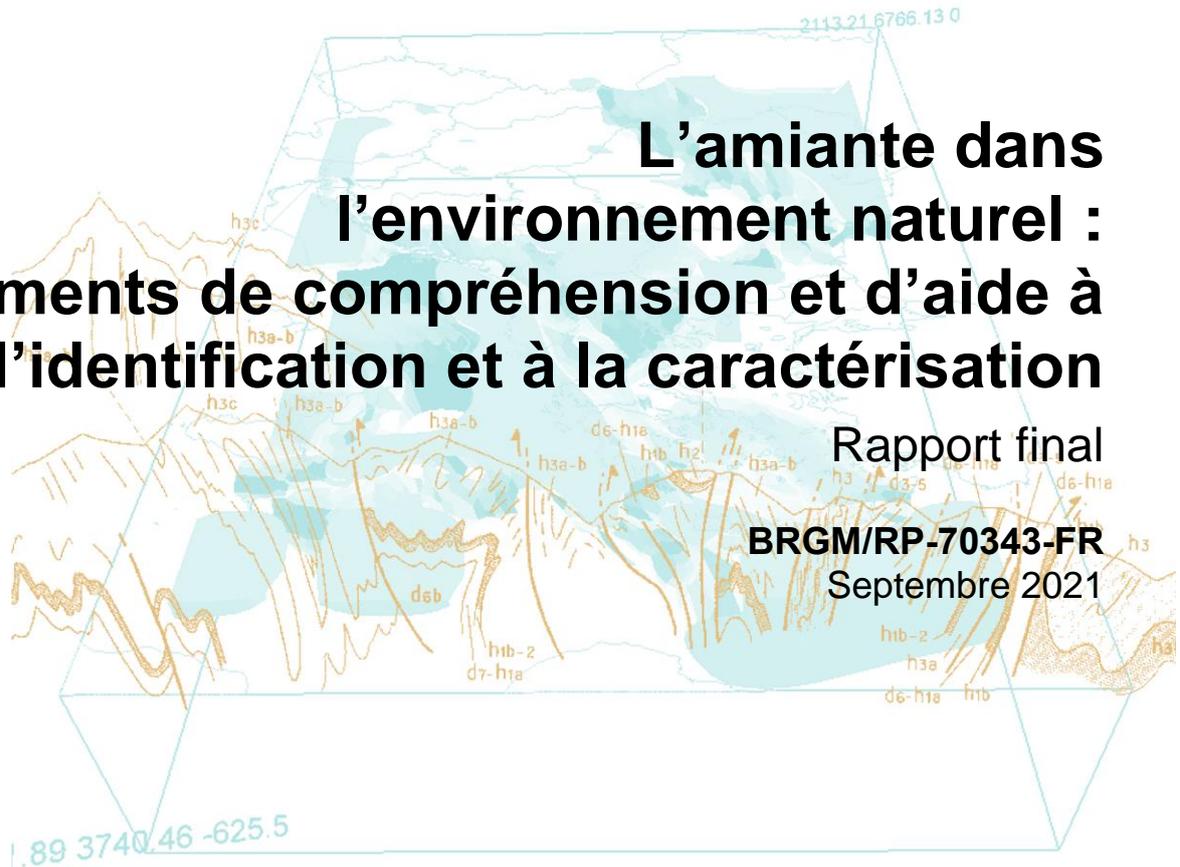
Document public

# L'amiante dans l'environnement naturel : Éléments de compréhension et d'aide à l'identification et à la caractérisation

Rapport final

BRGM/RP-70343-FR

Septembre 2021



MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



Document public

# L'amiante dans l'environnement naturel : Éléments de compréhension et d'aide à l'identification et à la caractérisation

Rapport final

**BRGM/RP-70343-FR**  
Septembre 2021

**D. Lahondère, F. Cagnard, G. Wille**  
Avec la collaboration de  
**J. Duron et A. Hertout**

**Vérificateur :**

Nom : Olivier Blein

Fonction : Géologue

Date : 11/06/2021

Signature :



**Approbateur :**

Nom : Christophe Didier

Fonction : Directeur de la  
Direction des Géoressources

Date : 22/06/2021

Signature :



Christophe Didier  
Directeur  
Direction des Géoressources

Le système de management de la qualité et de l'environnement  
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)

Mots-clés : Amiante environnemental, Roche, Géologie, Géologue, Chrysotile, Actinolite-amiante, Trémolite-amiante, Anthophyllite-amiante, Crocidolite, Amosite, Carte géologique, Susceptibilité de présence, France métropolitaine, Analyse, Protocole analytique, Microscopie optique, Microscopie électronique, Réglementation.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Lahondère D., Cagnard F., Wille G., Duron J., Hertout A.** (2021) – L'amiante dans l'environnement naturel : Éléments de compréhension et d'aide à l'identification et à la caractérisation. Rapport final, BRGM/RP-70343-FR, 157 p., 31 fig., 33 pl., 6 tab., 1 ann.

## Synthèse

Dans le cadre général des plans nationaux Santé-Environnement et à la demande de la Direction Générale de la Prévention des Risques, le BRGM a conduit plusieurs études dans le but de caractériser le potentiel amiantifère des terrains naturels. Ces études ont intéressé des zones étendues du territoire métropolitain (Alpes, Corse, Pyrénées, Massif central, Massif armoricain, Vosges) et ont permis d'acquérir un ensemble important de données, tant sur le terrain qu'en laboratoire.

Les évolutions réglementaires en cours faisant suite à la publication de l'article L. 4412-2 CT issu de la loi n° 2016-1088 du 8 août 2016 sont susceptibles d'apporter un éclairage nouveau sur les données préalablement produites par le BRGM. Pour permettre une meilleure prise en compte de ces données, le BRGM a rédigé un document technique à l'usage des maîtres d'ouvrage, des responsables de chantier ou de toute autre personne souhaitant acquérir un premier niveau de compétence sur la thématique de l'amiante dans l'environnement naturel. Ce document constitue le présent rapport et traite en particulier des aspects suivants :

- rappels généraux sur l'amiante ;
- définition du champ correspondant à l'amiante environnemental ;
- rappels de terminologie (fibre, fibre OMS, fibre asbestiforme, ...) ;
- minéralogie des serpentines et des amphiboles ;
- potentiel amiantifère des principaux types de roches ;
- stratégie de recherche et d'identification des occurrences fibreuses sur le terrain ;
- informations sur les stratégies d'échantillonnage et les types d'échantillon ;
- présentation des avantages et limites des techniques analytiques susceptibles d'être mises en œuvre en laboratoire.

De nombreuses roches contiennent des minéraux de la famille des serpentines ou de la famille des amphiboles et certaines d'entre elles sont susceptibles de contenir des variétés fibreuses, parfois asbestiformes, de ces serpentines et amphiboles. La susceptibilité de présence d'amiante dans les roches les plus fréquemment rencontrées est décliné dans ce document selon quatre niveaux (Nul, Faible, Intermédiaire, Fort). Les types de roches considérés sont (§ 3.) :

- les roches carbonées ;
- les roches sédimentaires carbonatées et leurs dérivés métamorphiques ;
- les roches évaporitiques ;
- les roches sédimentaires détritiques et leurs dérivés métamorphiques ;
- les roches plutoniques et leurs dérivés métamorphiques ;
- les roches volcaniques et leurs dérivés métamorphiques.

En France métropolitaine, les principales zones géologiques concernées par la présence de roches amiantifères sont localisées dans la chaîne des Alpes occidentales dont la Haute-Corse constitue la terminaison méridionale. Les autres domaines géologiques concernés par la présence de roches amiantifères sont, à des degrés divers, les massifs cristallins externes des Alpes, la Corse du Sud, le Massif des Maures-Tanneron, le Massif Central, les Vosges, le Massif Armoricaïn et la chaîne des Pyrénées. Dans le but de visualiser les principaux domaines géologiques impactés, ou susceptibles de l'être à des degrés divers, par la présence de terrains amiantifères, le BRGM a élaboré dans le cadre de cette étude une carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 pour l'ensemble du territoire métropolitain (§ 4.1).

Compte tenu de son échelle, cette carte ne permet pas d'accéder à un niveau d'information adapté à la taille d'un chantier et ne pourra donc en aucun cas être utilisée comme source unique d'informations dans le cadre d'une recherche d'amiante, à l'exception toutefois de certaines zones dans lesquelles la susceptibilité de présence d'amiante est nulle. Hors de ces zones, les opérateurs en charge des recherches sont invités à consulter des documents cartographiques plus précis, en particulier les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et leur notice explicative, lesquels couvrent pratiquement l'ensemble du territoire métropolitain, et les cartes des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/50 000. Les conditions de réalisation et de bonne utilisation de ces documents sont rappelées dans le présent rapport.

Dans le cadre d'une recherche d'amiante, il est également important de repérer les structures géologiques les plus à même d'héberger des occurrences amiantifères. Ces structures correspondent notamment aux contacts tectoniques, qu'ils soient ductiles ou fragiles, et aux structures filoniennes telles que les veines tardi-magmatiques (hydrothermales) ou tardimétamorphiques (veines cristallisées en faciès schiste vert en particulier). Des exemples de telles structures sont présentés dans le présent rapport (§ 4.2.). Le présent document propose également des éléments techniques concernant le prélèvement d'échantillons (§ 5.)

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>13</b>
1.1. RAPPELS GÉNÉRAUX .....	14
1.1.1. L'amiante .....	14
1.1.2. L'amiante environnemental .....	15
1.2. TERMINOLOGIE .....	17
1.2.1. Les fibres minérales .....	17
1.2.2. Les fibres OMS .....	17
1.2.3. Les fibres asbestiformes .....	18
1.2.4. Les particules minérales allongées (PMA) .....	21
1.2.5. Les fragments de clivage .....	21
<b>2. Minéralogie de l'amiante environnemental.....</b>	<b>25</b>
2.1. LES SERPENTINES.....	25
2.2. LES AMPHIBOLES.....	29
2.2.1. Les amphiboles calciques.....	31
2.2.2. Les amphiboles calco-sodiques .....	31
2.2.3. Les amphiboles sodiques .....	32
2.2.4. Les amphiboles ferro-magnésiennes .....	33
<b>3. Quelles sont les roches susceptibles de contenir des fibres d'amiante ?.....</b>	<b>35</b>
3.1. LES ROCHES DE NATURE OU D'ORIGINE SÉDIMENTAIRE .....	38
3.1.1. Les roches carbonées (Groupe 1A) .....	38
3.1.2. Les roches sédimentaires carbonatées, non métamorphiques (Groupe 1B) .....	38
3.1.3. Les roches sédimentaires carbonatées, métamorphiques (Groupe 1C) .....	38
3.1.4. Les roches évaporitiques (Groupe 1D) .....	40
3.1.5. Les roches détritiques du groupe 1E .....	40
3.1.6. Les roches de nature ou d'origine détritique du groupe 1F .....	41
3.2. LES ROCHES DE NATURE OU D'ORIGINE PLUTONIQUE.....	43
3.2.1. Les roches du groupe 2A (Type I).....	43
3.2.2. Les roches du groupe 2B (Type I).....	45
3.2.3. Les roches du groupe 2C (Type I) .....	48
3.2.4. Les roches du groupe 2D (Type II) .....	50
3.2.5. Les roches groupe 2E (Type II).....	52
3.2.6. Les roches du groupe 2F (Type III).....	60
3.2.7. Les roches du groupe 2G (Type III) .....	62

3.3.	LES ROCHES DE NATURE OU D'ORIGINE VOLCANIQUE .....	66
3.3.1.	Les roches du groupe 3A (Type I) .....	66
3.3.2.	Les roches du groupe 3B (Type I) .....	66
3.3.3.	Les roches du groupe 3C (Type I) .....	67
3.3.4.	Les roches du groupe 3D (Type II) .....	67
3.3.5.	Les roches du groupe 3E (Type II) .....	69
3.3.6.	Les roches du groupe 3F (Type II) .....	73
3.3.7.	Les roches des groupes 3G et 3H (Type III) .....	73
<b>4.</b>	<b>Rechercher des occurrences naturelles d'amiante .....</b>	<b>75</b>
4.1.	EXAMEN DES DONNÉES DISPONIBLES.....	75
4.1.1.	Carte des susceptibilités de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000.....	76
4.1.2.	Les cartes géologiques éditées par le BRGM (1/50 000).....	80
4.1.3.	Cartes départementales ou régionales de susceptibilité de présence d'amiante environnemental (1/50 000) .....	83
4.1.4.	Cartes communales ou régionales de susceptibilité de présence d'amiante environnemental (1/5 000).....	85
4.2.	ÉTUDES DE TERRAIN .....	88
<b>5.</b>	<b>Prélever des occurrences naturelles d'amiante .....</b>	<b>97</b>
5.1.	CONCEVOIR UN PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE .....	99
5.2.	PRÉLEVER DES ÉCHANTILLONS.....	99
5.2.1.	Les échantillons cohérents (massifs).....	99
5.2.2.	Les échantillons non cohérents (friables) .....	100
5.2.3.	Le cas particulier des formations détritiques polygéniques .....	100
<b>6.</b>	<b>Analyser des occurrences naturelles d'amiante.....</b>	<b>103</b>
6.1.	MICROSCOPIE OPTIQUE .....	104
6.1.1.	Microscope Optique à Contraste de Phase (MOCP) .....	104
6.1.2.	Microscope Optique à Lumière Polarisée (MOLP).....	104
6.1.3.	Microsonde électronique (MSE) .....	106
6.1.4.	Microscope Électronique à Balayage (MEB).....	108
6.1.5.	Microscope Électronique à Transmission Analytique (META).....	112
6.1.6.	Spectroscopie Raman .....	115
6.2.	NORMES ET PROTOCOLES ANALYTIQUES.....	117
6.2.1.	Norme NF ISO 22262-1 .....	117
6.2.2.	NF X 43-050.....	118
6.2.3.	Les travaux de l'ANSES .....	118
6.2.4.	L'arrêté du 1 <sup>er</sup> octobre 2019 .....	120

<b>7. Évolutions réglementaires et perspectives .....</b>	<b>123</b>
7.1. ÉVOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES .....	123
7.1.1. La norme NF P 94-001 .....	124
7.2. PERSPECTIVES : VERS UNE APPROCHE IN SITU ? .....	128
<b>8. Conclusions.....</b>	<b>129</b>
<b>9. Références et documents consultés.....</b>	<b>131</b>

## Liste des figures

Figure 1 : a : Gabbro à fibres noires de magnésio-ferri-hornblende (Corse du Sud) b : Talcschiste à fibres vertes d'actinolite (Haute-Corse).....	18
Figure 2 : a : Association de fibres OMS et non-OMS de trémolite (Serpentinites, Haute-Corse) b : Association de fibres OMS et non-OMS d'actinolite (Métabasaltes, Haute-Corse). .....	18
Figure 3 : Superposition des champs dimensionnels correspondant aux différents types de particules fibreuses (fibres asbestiformes, fibres OMS, particules minérales allongées). .....	23
Figure 4 : Conditions Pression-Température des faciès métamorphiques (P-P : faciès à prehnite-pumpellyite).....	37
Figure 5 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques acquises à partir de roches du groupe 1C. ....	39
Figure 6 : Classification des roches plutoniques (Q : Quartz, A : Feldspaths alcalins, P : Plagioclases).43	
Figure 7 : Exemples d'analyses d'amphiboles calciques dans des roches du groupe 2A. ....	45
Figure 8 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques des roches du groupe 2B. ....	46
Figure 9 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calco-sodiques (haut) et sodiques (bas) acquises à partir de roches du groupe 2C.....	50
Figure 10 : Exemples d'analyses d'amphiboles calciques dans des roches du groupe 2D. ....	52
Figure 11 : Exemples d'analyses d'amphiboles calciques dans des roches du groupe 2E.....	53
Figure 12 : Classification des roches ultrabasiques (a) et exemple d'enclave de péridotite (b). ....	60
Figure 13 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques de roches du groupe 2G.....	63
Figure 14 : Classification des roches volcaniques. ....	66
Figure 15 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques de roches du groupe 3D. ....	67
Figure 16 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles de roches du groupe 3E. ....	70
Figure 17 : Carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 (cf. explications dans le texte).....	76
Figure 18 : Exemple de carte géologique à 1/50 000 éditée par le BRGM (Santo-Pietro di Tenda). ....	81
Figure 19 : Localisation des départements et des zones ayant fait ou faisant l'objet d'études spécifiques. ....	84
Figure 20 : Communes du département de la Haute-Corse concernées par la réalisation de cartographies détaillées à l'échelle 1/5 000. ....	86

Figure 21 : Méthodologie d'échelonnement des études relatives à l'amiante environnemental. ....	87
Figure 22 : Principe du MOLP et exemple d'équipement. ....	105
Figure 23 : Exemple de microsonde et principe de l'équipement. ....	107
Figure 24 : Principe du MEB et exemple d'équipement (BRGM/ISTO) ....	108
Figure 25 : Image générale (haut) et vues détaillées (bas) d'une lame mince correspondant à un échantillon de metabasalte recoupé par des veines pro parte fibreuses. ....	110
Figure 26 : Cartographies multi-élémentaires obtenues à partir des zones 1 & 2 (haut) et spectres correspondant aux particules fibreuses de la zone 1 (actinolite) et aux amphiboles matricielles (zone 2). ....	111
Figure 27 : Exemples de fibres et de particules fibreuses observées par META. Les échantillons d'origine correspondent à un amas de fibres asbestiformes (trémolite-amiante) prélevé dans des serpentinites de Bastia (haut) et à des fibres asbestiformes d'actinolite prélevées dans des veines recoupant des metabasaltes de Rutali (centre et bas). ....	115
Figure 28 : Veines de chrysotile observées en lame mince (a-b) et spectres RAMAN correspondants (c-d). ....	116
Figure 29 : Veine à antigorite (a-b) et spectres BF (c) et HF (d) correspondants. ....	116
Figure 30 : Classification des matériaux concernés et logigramme analytique (source : ANSES, 2017). ....	119
Figure 31 : Logigramme synthétisant les étapes de détection et d'identification d'amiante naturellement présent dans les matériaux bruts (source : arrêté du 1er octobre 2019). ....	121

## Liste des planches

Planche 1 : Faisceaux de fibres asbestiformes observés au microscope électronique à balayage : a-b : Faisceaux polyfilamenteux et fibrilles de chrysotile (Serpentinites, Haute-Corse) ; c-d : Faisceaux polyfilamenteux et fibrilles d'actinolite-amiante (Metabasaltes, Haute-Corse) ; e-f : Faisceaux de fibres et fibrilles de trémolite-amiante (Colluvions à serpentinites, Haute-Corse). ....	20
Planche 2 : Fragments de clivage observés au microscope électronique à balayage : a-b : Fragments de clivage (trémolite) et fibre isolée de trémolite assimilable à une fibre d'amiante ; (Schistes à trémolite, Haute-Corse) ; c-d : Fragments de clivage d'anthophyllite et fibre isolée assimilable à une fibre d'amiante (Serpentinite, Auvergne), e-f : Fragments de clivage d'antigorite et particule d'antigorite de type OMS (Serpentinites, Haute-Corse).....	22
Planche 3 : Aspects macroscopiques de veines à chrysotile. a : Veines plurimillimétriques à centimétriques dans des péridotites serpentinisées (Haute-Corse) ; b : Péridotites serpentinisées à veinules de chrysotile (Nouvelle-Calédonie) ; c : Réseau de veinules à chrysotile dans des serpentinites (Haute-Corse) ; d : Faisceaux pluricentimétriques de chrysotile dans des serpentinites (Haute-Corse) ; e : Faisceaux pluricentimétriques de chrysotile dans des péridotites serpentinisées (Nouvelle-Calédonie) ; f : Veines sombres à lizardite ± chrysotile dans des dunités serpentinisées (Nouvelle-Calédonie). ....	26
Planche 4 : (Ci-avant) Aspects macroscopiques de veines à antigorite. a : Veine à antigorite recoupant des serpentinites (Haute-Corse) ; b : Veine à antigorite (à droite) et veine à trémolite-amiante (à gauche) recoupant des serpentinites (Haute-Corse) ; c & d : Veine à antigorite altérée, avec fragmentation et dissociation des lattes d'antigorite (Nouvelle-Calédonie) ; e & f : Veine à antigorite altérée, avec fragmentation et dissociation des lattes d'antigorite en amas de fibres blanches (Nouvelle-Calédonie) ; g & h : Amas blanchâtre constitué de particules hétérométriques d'antigorite, issu de l'érosion d'une veine à antigorite massive (Nouvelle-Calédonie). ....	28

Planche 5 :	a : Cristaux noirs d'actinolite dans un talcschiste (Haute-Corse) b : Veine décimétrique à gerbes de trémolite recoupant des serpentinites (Haute-Corse).....	31
Planche 6 :	Haut : affleurements de metabasaltes à glaucophane (amphibole bleue) (Haute-Corse) Bas : ancienne carrière de granites alcalins à amphiboles sodiques (Corse du Sud). .....	32
Planche 7 :	Occurrence à anthophyllite fibreuse correspondant à une bordure réactionnelle entre des gneiss migmatitiques et des péridotites serpentinisées. Les fibres d'anthophyllite forment une veine très continue d'épaisseur pluricentimétrique, associées à de la trémolite et du phlogopite (Col de l'Amiante, Isère).....	33
Planche 8 :	Exemples de marbres à amphiboles calciques fibreuses, non asbestiformes : a-b : Marbre à trémolite (Ariège) ; c-d : Marbre à trémolite (Ariège) ; e-f : Marbre à trémolite (Haute-Garonne). .....	40
Planche 9 :	Exemples d'affleurements de roches détritiques non consolidées : a : Éboulis à blocs hétérométriques de serpentinites (Montagne du Cristillan, Hautes-Alpes) ; b : Éboulis de serpentinites (Rocca Bianca, Hautes-Alpes) ; c-d : Alluvions du Guil, à éléments de serpentinites amiantifères (Hautes-Alpes) ; e : Paléoterrasse de la Durance, à éléments ophiolitiques (Les Mées, Hautes-Alpes) ; f : Exemples de galets ophiolitiques, pour certains amiantifères, observés dans les alluvions du lit majeur de la Durance. ....	42
Planche 10 :	Exemples de morphologies pour les amphiboles calciques des roches du groupe 2A : a-b : Cristaux bruns de hornblende dans une granodiorite (Corse du Sud) ; c-d : Cristaux bruns de hornblende dans une granodiorite (Haute-Corse) ; e : Cristaux bruns d'hastingsite dans une granosyérite (Haute-Corse) ; f : Cristaux verts de magnésio-hornblende dans une granodiorite à amphibole-biotite (Ariège).....	44
Planche 11 :	Exemples de morphologies des amphiboles des roches du groupe 2B : a-b : Amas d'actinolite observé dans une métagranodiorite à biotite (Hautes-Pyrénées) ; c-d : Veine à fibres d'actinolite, observée dans une métagranodiorite (Hautes-Pyrénées) ; e-f : Leptynite à pargasite et magnésio-hornblende (Limousin). ....	47
Planche 12 :	Exemples de morphologies pour les amphiboles sodiques des roches du groupe 2C. Les amphiboles correspondent aux plages noires sur les images MOLP : a-b : Granite alcalin à riébeckite de Bonifato (Haute-Corse) ; c-d : Granite alcalin à riébeckite, parfois fibreuse, d'Aïtone (Haute-Corse). ....	48
Planche 13 :	Exemples d'amphiboles fibreuses observées dans des métaglaciogranites (Groupe 2C) : a-b : Métaglaciogranite à veines fibreuses (Hautes-Alpes) ; c : Amas fibreux observé dans un métaglaciogranite (Haute-Corse) ; d : Fibres observées dans un métaglaciogranite à ferro-glaucophane et riébeckite (Haute-Corse).....	49
Planche 14 :	Morphologie des amphiboles calciques des roches du groupe 2D : a-b : Gabbro à amphibole (Corse du Sud) ; c-d : Diorite à amphibole (Corse du Sud) ; e : Gabbro à amphibole-spinelle (Auvergne) ; f : Diorite à magnésio-hastingsite (Limousin). ....	51
Planche 15 :	Exemples de morphologies d'amphiboles dans des métagabbros ophiolitiques : a-b : Métagabbro ferrotitané à ferro-hornblende et ferro-ferri-winchite non fibreuses (Haute-Corse) ; c-d : Métagabbro alumino-magnésien, très déformé, à longues fibres d'actinolite (Haute-Corse). ....	54
Planche 16 :	Exemples de morphologies d'amphiboles, non fibreuses, dans des métagabbros : a-b : Métagabbro à magnésio-hornblende, cummingtonite et phlogopite (Ariège) ; c-d : Syénodiorite non déformée, à hornblende, actinolite et biotite (Haute-Corse).....	54
Planche 17 :	Exemples de morphologies d'amphiboles dans des dolérites hydrothermalisées : Haut : Vacuoles à chlorite et actinolite (Côtes d'Armor) ; Centre : Vacuole à fibres d'actinolite (à gauche) et veine à actinolite fibreuse (à droite) (Ille-et-Vilaine) ; Bas : Veine à quartz et actinolite fibreuse en faisceaux (à gauche ; Tarn) et veine à albite et actinolite fibreuse en faisceaux (à droite ; Deux-Sèvres). ....	56

Planche 18 : Exemples de morphologies d'amphiboles dans des amphibolites : a : Amphibolite à magnésio-hornblende et pargasite (Limousin) ; b : Amphibolite à magnésio-hornblende et actinolite (Limousin) ; c : Amphibolite à grenat, magnésio-ferri-hornblende et actinolite (Limousin) ; d : Amphibolite à magnésio-ferri-hornblende (Limousin) ; e : Amphibolite à diopside, ferro-pargasite et pargasite (Limousin) ; f : Amphibolite à katophorite, pargasite et grenat (Albigeois). .....	57
Planche 19 : Exemples d'amphiboles fibreuses dans des amphibolites : a-b : Amphibolite à fibres de magnésio-hornblende et d'actinolite (Limousin) ; c-d : Amphibolite à fibres de magnésio-hornblende (Vendée) ; e-f : Amphibolite à fibres de magnésio-hornblende et d'actinolite (Loire-Atlantique).....	58
Planche 20 : Exemples de morphologies d'amphiboles dans des éclogites amphibolitisées : Haut : Éclogite très peu rétro-morphosée (Auvergne) ; Centre : Éclogite rétro-morphosée à sadanagite (Albigeois) ; Bas : Éclogite rétro-morphosée à ferro-pargasite (Albigeois). .....	60
Planche 21 : Textures caractéristiques des roches du groupe 2F : a, b : Lherzolite (Ariège) ; c, d : Péridotite (Auvergne) ; e, f : Nodule de péridotite (Auvergne).....	62
Planche 22 : Exemples de textures observées dans des péridotites serpentinisées (MOLP). Haut : Bastite à talc + trémolite développée à partir d'un clinopyroxène (Ariège) ; Centre : Clinopyroxène déstabilisé en magnésio-hornblende (La Marche) ; Bas : Péridotites serpentinisées à veines de chrysotile (Limousin à gauche, Auvergne à droite). .....	64
Planche 23 : Exemples de textures observées dans des schistes à actinolite et/ou trémolite. Haut : Images MOLP d'un schiste à trémolite (Limousin) ; Centre : Schistes à grands cristaux verts d'actinolite (Haute-Corse) (à gauche) et image MOLP d'un schiste à trémolite-talc-chlorite (Haute-Corse) (à droite) ; Bas : Auréole fibreuse réactionnelle à trémolite-anthophyllite-phlogopite (Isère).....	65
Planche 24 : Exemples de textures des roches volcaniques du groupe 3D (MOLP). Haut : Basalte à phénocristaux d'olivine et de pyroxène (Auvergne) (LN & LP) ; Centre : Trachybasalte à olivine (± serpentinisée) et à pyroxène (Morvan) (LN & LP) ; Bas : Andésite (Monts du lyonnais) (LN & LP). .....	68
Planche 25 : Exemples d'occurrences fibreuses dans des roches du groupe 3D. Haut : Amas de fibres d'actinolite (Hautes Pyrénées) ; Centre : Métandésite à veine à fibres d'actinolite (Hautes-Pyrénées) (MOLP) ; Bas : Détail d'une vacuole à fibres d'actinolite et chlorite (Hautes-Pyrénées) (MOLP). .....	71
Planche 26 : Exemples d'occurrences fibreuses dans des roches du groupe 3D (MOLP). Haut : Métabasalte à glaucophane-épidote-lawsonite (± chlorite, albite) (Haute-Corse) ; Centre : Métabasalte à glaucophane recoupé par une veine à fibres d'actinolite + winchite (Haute-Corse) ; Bas : Métabasalte prasinitique recoupé par une veine à albite, actinolite fibreuse et épidote (Haute-Corse).....	72
Planche 27 : Exemples d'affleurements caractérisés par la présence de différents types de roches : a : microgranite clair à éléments sombres de microdiorite ; b : amphibolites sombres alternant avec des niveaux clairs de leptynites ; c : contact entre un filon de dolérite et des gneiss à niveaux sombres d'amphibolites ; d : filon métrique de dolérite recoupant des grès quartzitiques ; e-f : filon de dolérite recoupant des quartz-diorites porphyriques (f : vue rapprochée du contact). .....	89
Planche 28 : Exemples de contacts tectoniques ductiles (cf. explications dans le texte).....	91
Planche 29 : Exemples de structures associées à des zones à déformation ductile (cf. explications dans le texte).....	92
Planche 30 : Veines à fibres asbestiformes d'actinolite observées dans différentes lithologies : a-b : amphibolites à veines synfoliales ; c-d : amphibolites à poches à albite et gerbes d'actinolite ; e-f : dolérites hydrothermalisées à veines fibreuses polyminérales. ....	93

Planche 31 : (Ci-avant) Exemples de veines et de fractures ouvertes à actinolite-amiante observées dans différents types de lithologies basiques : a-b : veine blanche à fibres d'actinolite recoupant une dolérite. Les fibres s'altèrent pour donner des amas de fibrilles enmêlées ; c-d : veines à fibres d'actinolite recoupant un métagabbro. Les fibres produisent des amas « cotonneux » sous l'effet de l'altération ; e-f : Réseau de fractures ouvertes découpant un affleurement de métagabbros. Les parois des fractures sont tapissées de fibres d'actinolite-amiante ; g-h : veines ouvertes à fibres d'actinolite-amiante recoupant des prasinites (métabasaltes prasinitiques). .....	95
Planche 32 : Images obtenues au MOLP à partir d'une lame mince taillée dans un métabasalte recoupé par des veines à albite et amphiboles fibreuses (haut). Les photos du bas correspondent à une vue détaillée des fibres, en lumière polarisée non analysée (gauche) et en lumière polarisée analysée (droite). .....	106
Planche 33 : Images MET de faisceaux de fibres de chrysotile (haut). La résolution des images permet de mesurer la largeur du canal central ou la distance des plans réticulaires (centre). L'utilisation d'un MET permet également d'établir des clichés de diffraction et des spectres compositionnels (bas). .....	114

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition chimique et numéro CAS des minéraux réglementés au titre de l'amiante et de leurs équivalents chimiques non amiantes (Source : ANSES, 2017). .....	14
Tableau 2 : Espèces asbestiformes réglementées au titre de l'amiante et non réglementées. ....	16
Tableau 3 : Classification, nom et composition chimique des principales espèces d'amphiboles. ....	30
Tableau 4 : Intervalles de composition théoriques des principaux éléments chimiques entrant dans la composition des amphiboles d'intérêt et des serpentines (Source : ANSES, 2017). ....	30
Tableau 5 : Susceptibilité de présence d'amiante des principaux types de roches : (1) : Roches indemnes de toute recristallisation tardi- ou post-magmatique ; (2) : Susceptibilité dépendante de la nature et de l'importance des recristallisations. ....	36
Tableau 6 : Avantages et inconvénients des différentes stratégies d'échantillonnage. ....	98

## Liste des annexes

Annexe 1 : Exemples d'occurrences « types » .....	135
---	-----



# 1. Introduction

À la demande de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et dans le cadre, notamment, des mises en place successives des différents PNSE, le BRGM a réalisé plusieurs études relatives à la caractérisation du potentiel amiantifère des terrains naturels. Ces études ont intéressé des zones étendues du territoire métropolitain (Alpes, Corse, Pyrénées, Massif central, Massif armoricain, Vosges) et ont permis d'acquérir un ensemble important de données, tant sur le terrain (localisation et description des principales occurrences amiantifères) qu'en laboratoire (identification minéralogique et caractérisation morphologique des occurrences). Les évolutions réglementaires en cours faisant suite à la publication de l'article L. 4412-2 CT issu de la loi n° 2016-1088 du 8 août 2016 sont susceptibles d'apporter un éclairage nouveau sur l'ensemble de ces données.

Dans un but de synthèse, le BRGM a proposé de produire un document technique à l'usage des maîtres d'ouvrage, des responsables de chantier ou de toute autre personne souhaitant acquérir un premier niveau de compétence sur la thématique de l'amiante dans l'environnement naturel. Ce document constitue le présent rapport. Il s'appuie en particulier sur les données et les connaissances acquises dans le cadre de la réalisation de différents projets, en partenariat notamment avec le Ministère de la Transition Écologique et l'Office de l'Environnement de la Corse.

Les aspects traités dans le présent document incluent :

- des rappels généraux sur l'amiante (§ 1.1) ;
- une définition du champ correspondant à l'amiante environnemental (§ 1.1) ;
- des rappels sur la terminologie (fibre, fibre OMS, fibre asbestiforme, etc.) (§ 1.2) ;
- des données sur la minéralogie des serpentines et des amphiboles (§ 2.) ;
- une présentation du potentiel amiantifère des principaux types de roches (§ 3.) ;
- des éléments de stratégie de recherche et d'identification des occurrences fibreuses sur le terrain ;
- des informations sur les stratégies d'échantillonnage et les types d'échantillon ;
- une présentation des avantages et des limites des techniques analytiques susceptibles d'être mises en œuvre en laboratoire.

Ce document rappelle également ce qu'est une carte géologique et de quelle manière ces cartes peuvent être utilisées dans le cadre d'une analyse préalable à la recherche d'amiante.

## 1.1. RAPPELS GÉNÉRAUX

### 1.1.1. L'amiante

L'amiante est un terme commercial qui désigne six minéraux cristallisés sous forme de faisceaux fibreux constitués de fibrilles très minces (Diamètre < 1 µm), faciles à séparer. Ces minéraux correspondent à une espèce de serpentine (chrysotile) et à cinq espèces d'amphibole (Tableau 1) :

- la crocidolite (ou riébeckite-amiante) ;
- l'anthophyllite-amiante ;
- l'amosite (ou grunérite-amiante) ;
- l'actinolite-amiante ;
- la trémolite-amiante.

Variétés amiantes (N° CAS)	Composition chimique	Variétés non amiantes (N° CAS)
<b>Groupe des serpentines</b>		
Chrysotile (12001-29-5)	[Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub> ]	Antigorite (12135-86-3)
		Lizardite (12161-84-1)
<b>Groupe des amphiboles</b>		
Actinolite-amiante (77536-66-4)	[Ca <sub>2</sub> (Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> ]	Actinolite (13768-00-8)
Anthophyllite-amiante (77536-67-5)	[(Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>7</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> ]	Anthophyllite (17068-78-9)
Trémolite-amiante (77536-68-6)	[Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> ]	Trémolite (14567-73-8)
Amosite (12172-73-5)	[(Mg, Fe <sup>2+</sup> ) <sub>7</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub> ]	Grunerite ((14567-61-4)
Crocidolite (12001-28-4)	Na <sub>2</sub> (Fe <sup>2+</sup> ,Mg) <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	Riébeckite (17787-87-0)

Tableau 1 : Composition chimique et numéro CAS des minéraux réglementés au titre de l'amiante et de leurs équivalents chimiques non amiantes (Source : ANSES, 2017).

En raison de leurs propriétés chimiques et physiques (flexibilité, résistance élevée à la traction, résistance à la chaleur et à la dégradation chimique), les fibres d'amiante (principalement le chrysotile, la crocidolite et l'amosite) ont fait et font encore dans plusieurs pays l'objet d'une exploitation industrielle.

Cette liste de six minéraux correspond à la définition commerciale et réglementaire de l'amiante. Parmi ces six espèces minérales, le chrysotile constitue à lui seul 90 à 95 % de l'amiante produit jusqu'à ce jour, le reste correspondant principalement à des exploitations de crocidolite et d'amosite. En termes de production, les exploitations d'anthophyllite-amiante, de trémolite-amiante et d'actinolite-amiante sont donc très marginales.

Les fibres d'amiante utilisées par l'industrie (amiante industriel) sont caractérisées par des diamètres très faibles et sont de ce fait susceptibles d'être inhalées et de rejoindre les parties profondes du système respiratoire (alvéoles pulmonaires). Elles sont considérées comme un cancérigène humain de catégorie 1 (par exemple, IARC 1987, 2012; OMS 1986; Kazan-Allen 2005) car l'inhalation de fibres d'amiante provoque des maladies respiratoires, en particulier l'asbestose, les cancers du poumon et le mésothéliome malin. En France, l'amiante est interdit depuis un décret officiel publié en 1997 (n° 96-1133). Ce texte interdit la fabrication, la transformation, la vente et l'importation de fibres d'amiante à compter du 1<sup>er</sup> janvier 1997. L'interdiction de l'amiante a fait l'objet d'une directive européenne publiée en 1999 (99/77/CE), laquelle pose une interdiction similaire au sein de l'Union européenne à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2005.

### 1.1.2. L'amiante environnemental

Le terme « amiante environnemental » a été utilisé dans différentes études pour caractériser des sources susceptibles de générer une pollution de l'environnement en fibres d'amiante.

Dans les travaux de l'INSERM (1997) et de l'INVS (2008), les expositions environnementales aux fibres d'amiante sont classées en trois catégories correspondant à autant de types de sources :

- les sources naturelles, qui correspondent à tous les affleurements de roches et de sols contenant des fibres d'amiante susceptibles d'être relâchées dans l'atmosphère ;
- les sources industrielles, qui regroupent tous les sites dans lesquels de l'amiante a été extrait (mines) ou utilisé (usines de transformation) ;
- les sources intra-murales ou urbaines, qui correspondent à l'émission de fibres d'amiante au sein de bâtiments et autres installations, du fait de la dégradation des matériaux amiantifères présents ou d'intervention sur ces derniers.

Dans l'étude conduite par la Haute Autorité de Santé en 2009, la notion d'exposition environnementale à l'amiante est utilisée pour décrire toutes les expositions aux fibres d'amiante, dès lors que ces dernières ne sont pas d'origine professionnelle et liées à des activités au contact avec des matériaux contenant de l'amiante. Dans le présent rapport, le terme *amiante environnemental* sera utilisé de telle manière à correspondre au mieux au terme NOA (Naturally Occurring Asbestos), largement utilisé dans la littérature anglo-saxonne pour caractériser les occurrences d'amiante associées à des sources strictement naturelles (Bailey et Kalika, 2020), excluant de fait tous les matériaux amiantifères issus de procédés commerciaux.

D'un point de vue minéralogique, le terme *amiante environnemental* s'applique donc à toutes les occurrences fibreuses présentes dans l'environnement naturel (roches, sols) et contenant au moins l'une des six espèces minérales réglementées au titre de l'amiante (chrysotile, actinolite-amiante, trémolite-amiante, anthophyllite-amiante, amosite, crocidolite).

D'autres espèces minérales, caractérisées par des morphologies et/ou par des compositions chimiques proches de celles qui caractérisent les fibres réglementées au titre de l'amiante, peuvent également être rencontrées dans l'environnement naturel. Certaines de ces espèces sont classées agents cancérigènes pour l'Homme. Il s'agit en particulier de la fluoro-édenite, une amphibole classée par le CIRC<sup>1</sup> en novembre 2014, et de deux autres amphiboles (winchite et richtérite) classées par l'US EPA<sup>2</sup> en décembre 2014. **Ces différentes espèces ne sont toutefois pas réglementées au titre de l'amiante.**

Les études réalisées en France métropolitaine ont également permis d'identifier et de caractériser des occurrences constituées pour les unes par des fibres asbestiformes de ferro-actinolite et pour les autres par des fibres asbestiformes de magnésio-riébeckite (Lahondère *et al.*, 2018 ; Lahondère *et al.*, 2019). Le champ compositionnel correspondant à l'ensemble des fibres asbestiformes susceptibles d'être rencontrées dans l'environnement naturel est donc plus large que celui qui caractérise aujourd'hui les fibres réglementées au titre de l'amiante (Bailey et Kalika, 2020).

Il est cependant important de rappeler que les espèces d'amphiboles susceptibles de cristalliser sous un habitus asbestiforme, en particulier la richtérite, la winchite, la fluoro-édenite, la ferro-actinolite et la magnésio-riébeckite (Tableau 2), ne sont pas concernées par la réglementation amiante actuellement en vigueur.

<sup>1</sup> Centre International de Recherche sur le Cancer

<sup>2</sup> United States Environmental Protection Agency

	Réglementées au titre de l'amiante	Non réglementées au titre de l'amiante
Amphiboles	Actinolite-amiante	Fluoro-édénite (asbestiforme)
	Trémolite-amiante	Winchite (asbestiforme)
	Anthophyllite-amiante	Richtérite (asbestiforme)
	Crocidolite (Riébeckite-amiante)	Ferro-actinolite (asbestiforme)
	Amosite (Grunérite-amiante)	Magnésio-riébeckite (asbestiforme)
Serpentines	Chrysotile	Antigorite (asbestiforme)
Zéolites		Erionite (asbestiforme)

Tableau 2 : Espèces asbestiformes réglementées au titre de l'amiante et non réglementées.

## 1.2. TERMINOLOGIE

Les définitions rappelées ci-après sont extraites ou inspirées des rapports de l'ANSES relatifs aux « effets sanitaires et à l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière » (ANSES, 2015) et aux « particules minérales allongées » (ANSES, 2017).

### 1.2.1. Les fibres minérales

Une fibre minérale est une particule minérale allongée caractérisée par un rapport Longueur/Diamètre (L/D) supérieur à 3 et par des côtés parallèles ou subparallèles (Figure 1). La valeur du rapport L/D ( $> 3$ ) est essentiellement basée sur un consensus établi par les hygiénistes. Les minéralogistes utilisent plutôt un rapport L/D supérieur à 5 ou à 10 pour qualifier une particule minérale de fibreuse (INSERM, 1999). Observée dans une section perpendiculaire à son allongement (section basale), une fibre minérale peut présenter plusieurs formes : circulaire (chrysotile), losangique (amphiboles), triangulaire (tourmalines), carrée (pyroxènes), *etc.* Dans une fibre, les deux dimensions les plus courtes, mesurables à partir des sections basales, sont égales ou relativement proches.

### 1.2.2. Les fibres OMS

Les fibres OMS correspondent à des particules solides, naturelles ou artificielles, allongées à bords parallèles, ayant un diamètre inférieur à  $3 \mu\text{m}$ , une longueur supérieure à  $5 \mu\text{m}$  et un rapport d'allongement (L/D) supérieur à 3 (Figure 2). En France, les arrêtés du 19 août 2011<sup>3</sup> et du 14 août 2012<sup>4</sup> fixent respectivement les modalités de réalisation des mesures d'empoussièrement en fibres d'amiante, en particulier dans les immeubles bâtis, ainsi que les conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrement et du contrôle du respect de la Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP) aux fibres d'amiante. Pour l'application de ces arrêtés sont prises en compte « toutes les fibres d'amiante dont la longueur est supérieure à 5 microns, la largeur est inférieure à 3 microns et dont le rapport longueur sur largeur est supérieur à 3 » ( $L > 5 \mu\text{m}$  ;  $D < 3 \mu\text{m}$  ;  $L/D > 3$ ).

L'analyse des prélèvements est réalisée en microscopie électronique à transmission analytique (META), selon la norme NF X 43-050 de janvier 1996 relative à la détermination de la concentration en fibres d'amiante par META. L'application de ces deux arrêtés peut conduire à assimiler à des fibres d'amiante des fibres OMS non asbestiformes d'actinolite, de trémolite, d'anthophyllite, de riébeckite et de grunérite.

<sup>3</sup> Arrêté du 19 août 2011 relatif aux modalités de réalisation des mesures d'empoussièrement dans les immeubles bâtis.

<sup>4</sup> Arrêté du 14 août 2012 relatif aux conditions de mesurage des niveaux d'empoussièrement, aux conditions de contrôle du respect de la valeur limite d'exposition professionnelle aux fibres d'amiante et aux conditions d'accréditation des organismes procédant à ces mesurages.

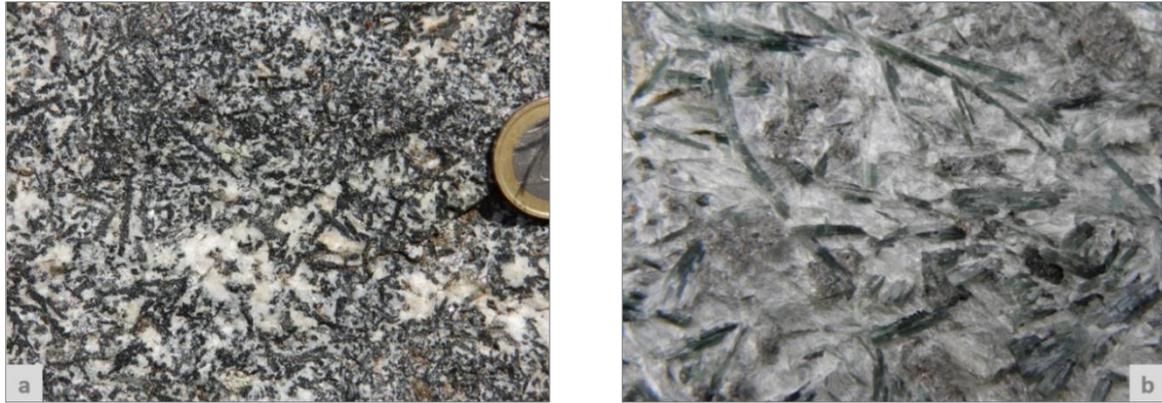


Figure 1 : a : Gabbro à fibres noires de magnésio-ferri-hornblende (Corse du Sud)  
b : Talcshiste à fibres vertes d'actinolite (Haute-Corse).

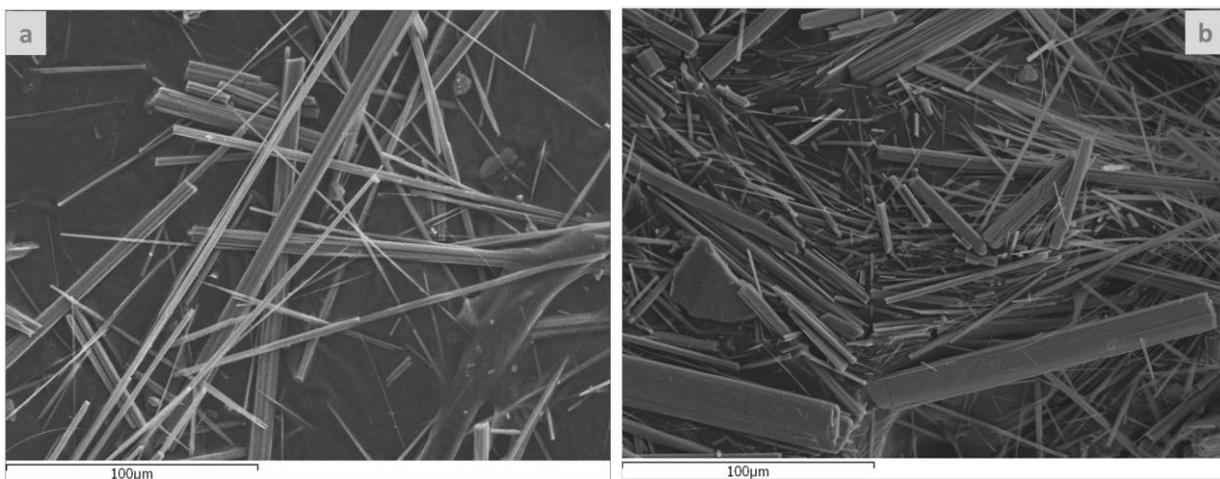


Figure 2 : a : Association de fibres OMS et non-OMS de trémolite (Serpentinites, Haute-Corse)  
b : Association de fibres OMS et non-OMS d'actinolite (Métabasaltes, Haute-Corse).

### 1.2.3. Les fibres asbestiformes

Le terme asbestiforme fait référence à une morphologie provenant d'une cristallisation naturelle et unidimensionnelle d'un minéral donnant des fibres ayant l'apparence de cheveux (fibres longues et filiformes). Cette morphologie confère au minéral des caractéristiques particulières dont un rapport d'allongement élevé, et dans certains cas, des propriétés mécaniques accrues (dont la résistance, la flexibilité et la durabilité). Ces fibres sont rassemblées dans des agglomérats ou des faisceaux pouvant facilement se séparer en plus petites fibres (fibrilles).

Cet aspect est à la base de la terminologie « polyfilamenteux » qui correspond à la caractéristique la plus importante de l'amiante (MSHA, 2005).

L'US EPA (1993) a recommandé la définition suivante pour caractériser une fibre d'asbestiforme :

Un minéral qui est comme l'amiante, c'est-à-dire cristallisé dans une morphologie d'amiante. Certains minéraux asbestiformes peuvent ne pas avoir les qualités qui donnent à l'amiante sa valeur commerciale, telles que la longueur des fibres et la haute résistance à la traction. En microscopie optique, la morphologie asbestiforme est généralement reconnue par les caractéristiques suivantes :

- le rapport d'allongement (longueur/diamètre) varie de 20:1 à 100:1 (ou supérieur pour des fibres de longueur supérieure à 5  $\mu\text{m}$ ). Les rapports d'allongement doivent être déterminés pour les fibres et non pour les faisceaux ;
- fibrilles très fines (diamètre inférieur à 0,5  $\mu\text{m}$ ) ;
- deux caractéristiques ou plus parmi les suivantes :
  - fibres parallèles regroupées en faisceaux,
  - faisceaux de fibres avec des extrémités effilochées,
  - agglomérats de fibres individuelles enchevêtrées,
  - fibres incurvées.

Cette définition est également reprise dans la norme australienne AS 4964-2004 pour l'identification de l'amiante dans les matériaux et par l'Health and Safety Executive (HSE) au Royaume-Uni. Des images de faisceaux et de fibres asbestiformes, acquises au microscope électronique à balayage, sont présentées ci-après (Planche 1).

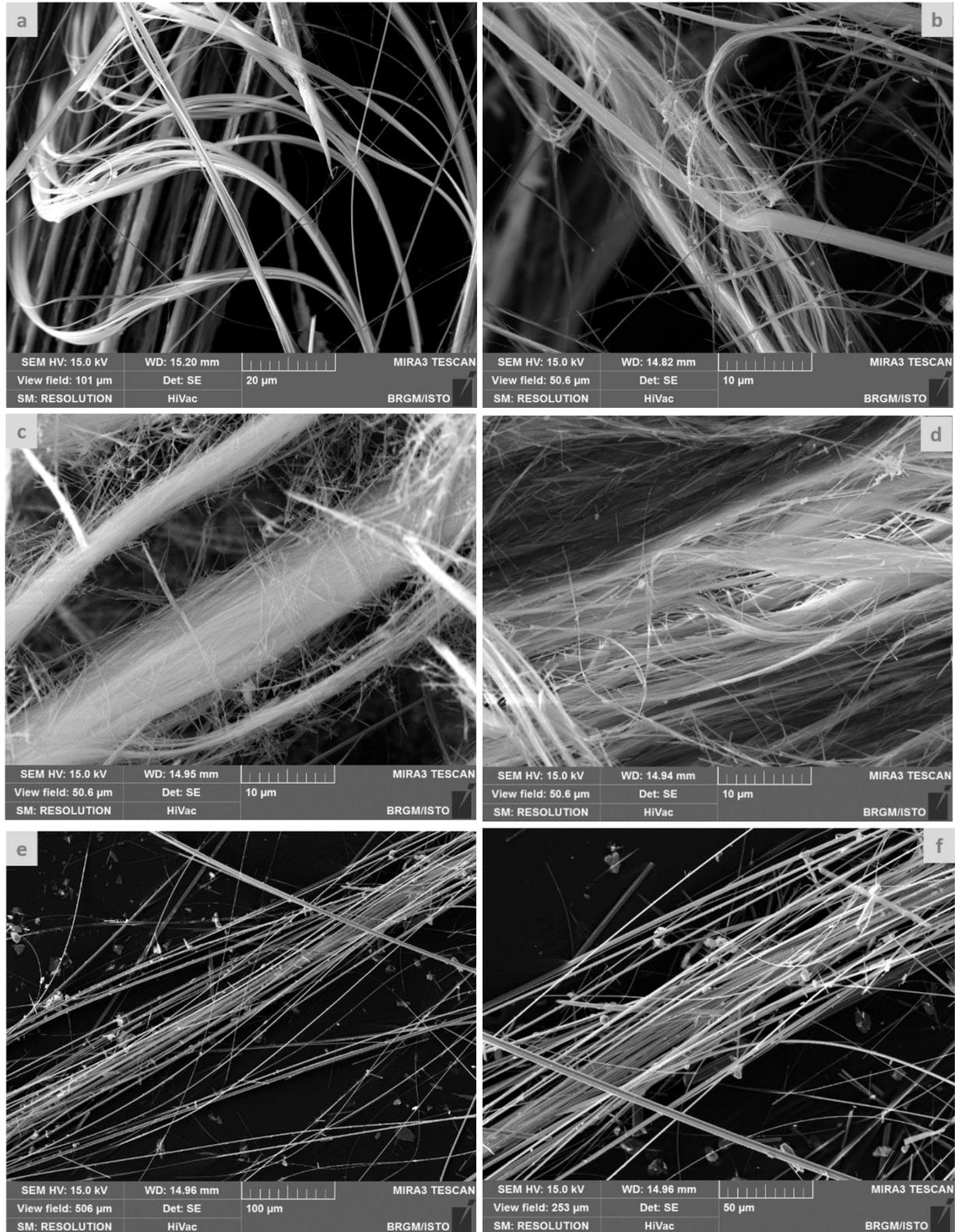


Planche 1 : Faisceaux de fibres asbestiformes observés au microscope électronique à balayage :  
 a-b : Faisceaux polyfilamenteux et fibrilles de chrysotile (Serpentinites, Haute-Corse) ;  
 c-d : Faisceaux polyfilamenteux et fibrilles d'actinolite-amiante (Métabasalts, Haute-Corse) ;  
 e-f : Faisceaux de fibres et fibrilles de trémolite-amiante (Colluvions à serpentinites, Haute-Corse).

#### 1.2.4. Les particules minérales allongées (PMA)

Le terme de Particule Minérale Allongée (PMA) s'applique à toute particule minérale ayant un rapport d'allongement supérieur à 3 (NIOSH, 2011). Les PMA peuvent être présentes comme constituants naturels des roches (morphologie primaire liée aux conditions de cristallisation, morphologie secondaire issue de contraintes auxquelles les roches ont été soumises au cours de leur évolution géologique) ou être générées sous l'effet de contraintes mécaniques d'origine anthropique ayant pour effet de fragmenter les minéraux préexistants en particules fibreuses ou fibriformes (fragments de clivage).

Dans son rapport relatif aux effets sanitaires et à l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière, l'ANSES (2015) recommande que le terme PMA soit employé pour décrire les particules ayant un rapport d'allongement supérieur à 3, sans prise en compte de leur caractère asbestiforme ou non asbestiforme. Le terme de PMA s'applique donc aux fibres asbestiformes (au sens de l'EPA) ainsi qu'à toutes les particules non asbestiformes répondant à ce seul critère dimensionnel. Dans ce même rapport, l'ANSES (2015) recommande également que les préconisations de la réglementation amiante soient appliquées aux PMA de longueur supérieure à 5 µm et de diamètre inférieur à 3 µm (PMA Anses, Figure 3) :

- (i) des cinq amphiboles réglementées au titre de l'amiante (actinolite-amiante, trémolite-amiante, anthophyllite-amiante, amosite, crocidolite) et de leurs homologues non asbestiformes (actinolite, trémolite, anthophyllite, grunérite, riébeckite) ;
- (ii) des amphiboles de type winchite, richterite et fluoro-édenite, compte-tenu des effets sanitaires similaires à ceux de l'amiante mis en évidence pour ces trois espèces ;
- (iii) d'érionite, espèce de zéolite classée agent cancérigène pour l'Homme (cat. I) par le CIRC.

Dans l'expertise conduite par l'ANSES en 2017, les PMA dites d'intérêt (PMAi) correspondent à toutes les PMA des espèces minérales suivantes : actinolite, anthophyllite, trémolite, grunérite, riébeckite, fluoro-édenite, winchite, richterite, érionite, chrysotile et antigorite. Les PMAi incluent donc d'une part des fibres asbestiformes et d'autre part des fibres non asbestiformes, susceptibles d'être inhalées car caractérisées par un diamètre inférieur à 3 µm.

À la suite des recommandations de l'ANSES, la Direction Générale du Travail rappelle, dans sa note du 9 juillet 2018, que les quatre autres variétés de fibres (winchite, richterite, fluoro-édenite, érionite) visées par les avis de l'ANSES de décembre 2015 et juin 2017 ne sont pas concernées par l'interdiction de l'amiante posée par le décret du 24 décembre 1996 et n'entrent pas dans le champ d'application de la « réglementation amiante » (laquelle ne vise que les six substances définies réglementairement comme étant de l'amiante).

#### 1.2.5. Les fragments de clivage

Les fragments de clivage sont des particules minérales issues de la dissociation et/ou de la fragmentation de minéraux fibreux non asbestiformes (par altération naturelle ou action anthropique impliquant par exemple un broyage de la roche-mère). D'une façon très générale, les fragments de clivage se différencient des fibres asbestiformes par des rapports d'allongement beaucoup plus faibles et par des bordures et des terminaisons moins régulières. Une population hétérométrique de fibres et/ou de particules fibriformes, observée dans un même échantillon, correspond le plus souvent à des fragments de clivage. Un fragment de clivage issu de la fracturation d'un cristal d'amphibole non asbestiforme peut avoir les dimensions d'une fibre OMS et être assimilé à une fibre d'amiante par application de la norme NF X 43-050 (Planche 2).

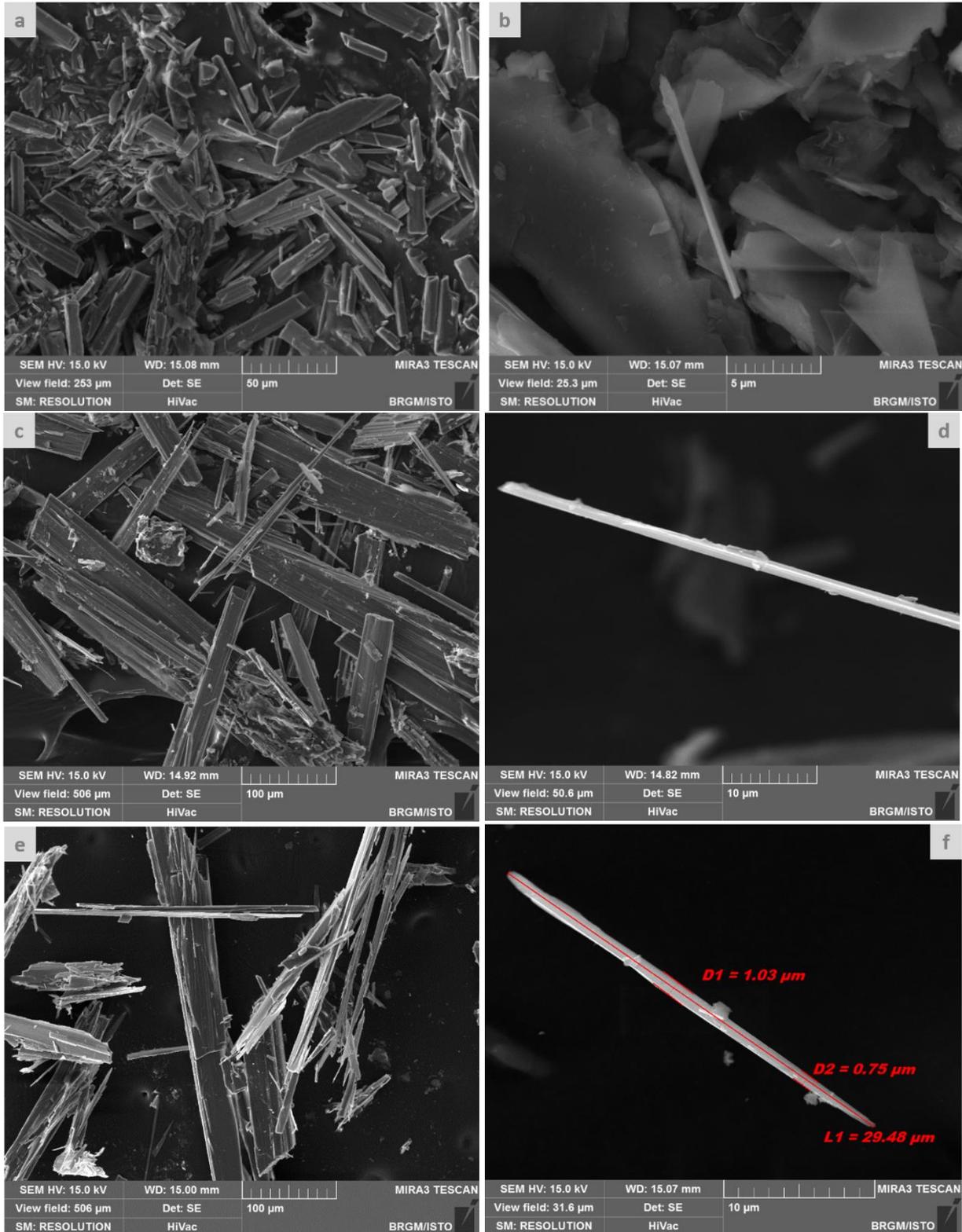


Planche 2 : Fragments de clivage observés au microscope électronique à balayage :  
 a-b : Fragments de clivage (trémolite) et fibre isolée de trémolite assimilable à une fibre d'amiante ;  
 (Schistes à trémolite, Haute-Corse) ; c-d : Fragments de clivage d'anthophyllite et fibre isolée  
 assimilable à une fibre d'amiante (Serpentinite, Auvergne), e-f : Fragments de clivage d'antigorite  
 et particule d'antigorite de type OMS (Serpentinites, Haute-Corse).

À la suite des recommandations de l'ANSES, la Direction Générale du Travail rappelle, dans sa note du 09 juillet 2018, que les fragments de clivage issus des cinq variétés amphiboles (actinolite, trémolite, anthophyllite, grunérite, riébeckite) ainsi que des quatre autres variétés de fibres (winchite, richterite, fluoro-édenite, ériónite) visées par les avis de l'ANSES de décembre 2015 et juin 2017 ne sont pas concernée par l'interdiction de l'amiante posée par le décret du 24 décembre 1996 et n'entrent pas dans le champ d'application de la « réglementation amiante » (laquelle ne vise que les six substances définies réglementairement comme étant de l'amiante).

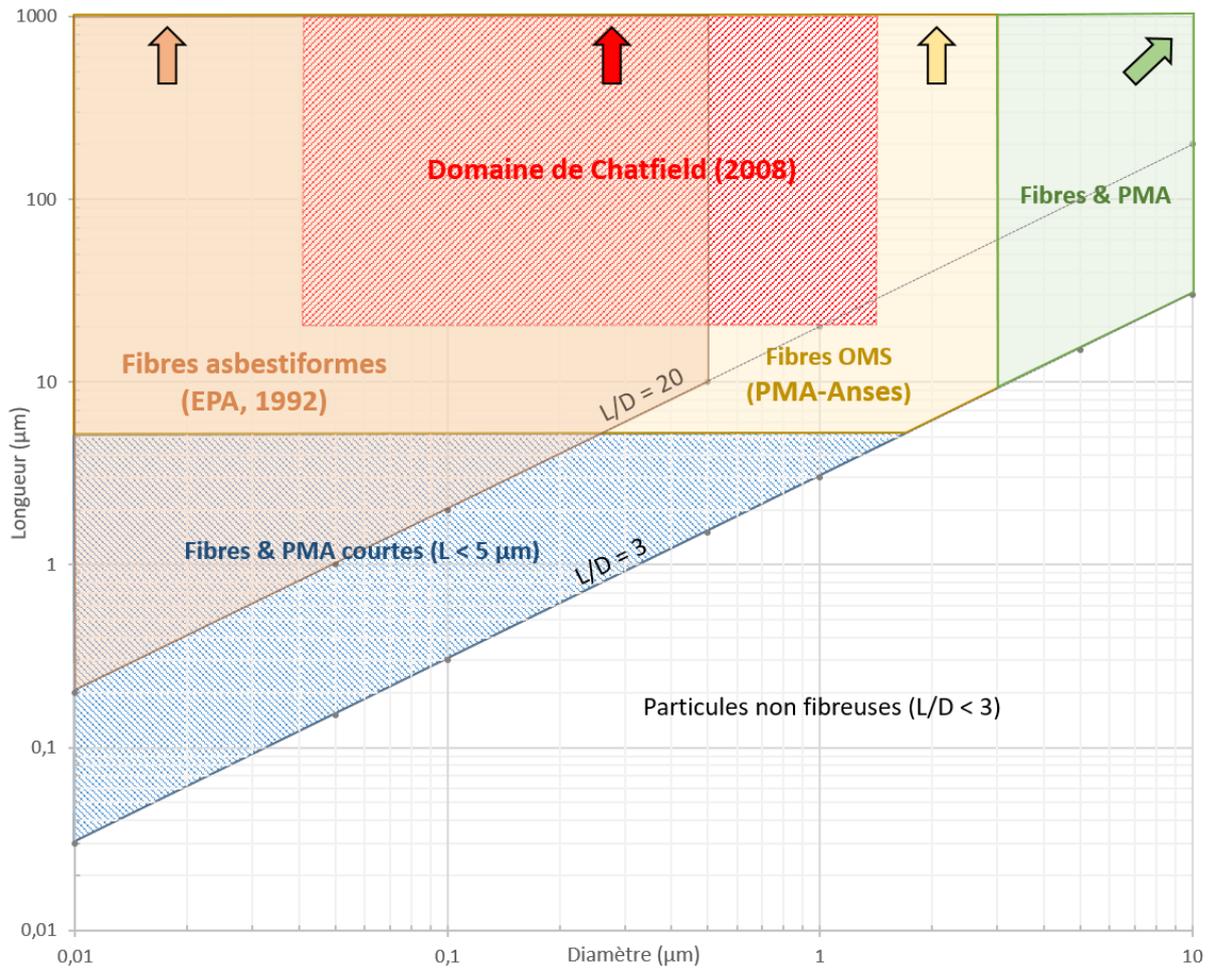


Figure 3 : Superposition des champs dimensionnels correspondant aux différents types de particules fibreuses (fibres asbestiformes, fibres OMS, particules minérales allongées).



## 2. Minéralogie de l'amiante environnemental

Les espèces considérées dans le présent document sont celles listées précédemment (Tableau 2). Ces espèces appartiennent à deux grandes familles de minéraux que sont les serpentines et les amphiboles.

### 2.1. LES SERPENTINES

Les serpentines constituent une famille de minéraux du groupe des silicates, sous-groupe des phyllosilicates (silicates lamellaires). Ce sont des constituants minéralogiques très importants des péridotites serpentinisées et des serpentinites (Planche 3). Cette famille contient plus de 20 membres ou polymorphes. La composition théorique idéale d'une serpentine est  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ . L'hétérogénéité chimique des serpentines est associée au remplacement du magnésium ( $Mg^{2+}$ ) par d'autres cations (Fe, Mn, Ni, Zn) et du silicium ( $Si^{4+}$ ) par de l'aluminium ( $Al^{3+}$ ). Les trois plus importants polymorphes de la serpentine sont l'antigorite, le chrysotile et la lizardite.

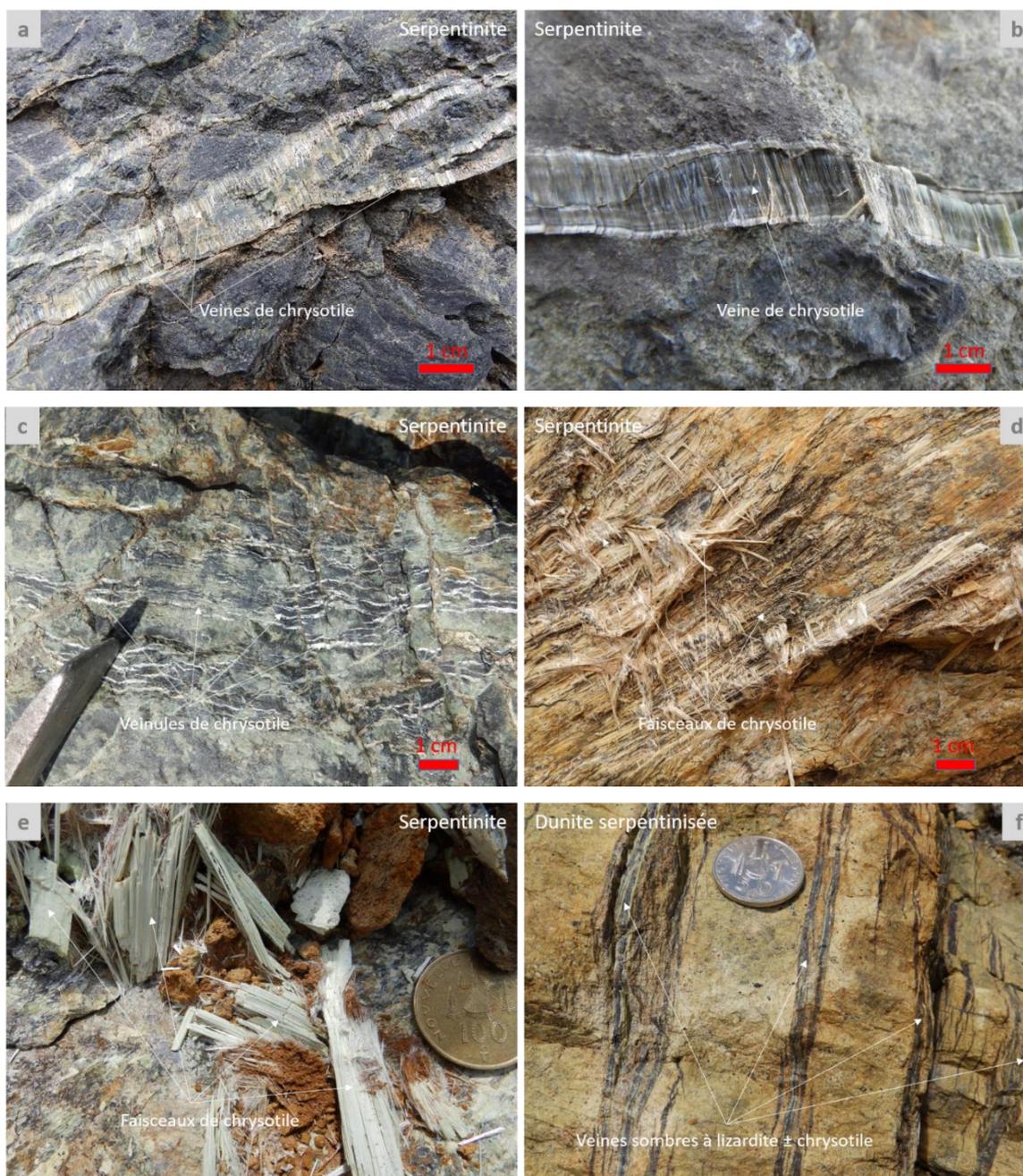
Dans la plupart des réglementations en vigueur, seul le chrysotile est réglementé au titre de l'amiante. En Nouvelle-Calédonie, l'accroissement des connaissances relatives aux occurrences naturelles d'amiante a conduit les autorités locales à adopter en 2010 une législation spécifique sur la protection des travailleurs contre les poussières issues de terrains amiantifères dans les activités extractives, de bâtiment et de travaux publics. La délibération n° 82 du Congrès de la Nouvelle-Calédonie, en date du 25 août 2010, comporte ainsi un champ d'application élargi par rapport aux textes existant en métropole en matière d'amiante industriel, du fait de la présence avérée dans les sols calédoniens d'autres minéraux que ceux mentionnés à l'article 2 de la directive 2009/148/CE du 30 novembre 2009 et susceptibles de présenter une toxicité comparable, en particulier l'antigorite (e.g. Lahondère *et al.*, 2019 ; Belluso *et al.*, 2020 ; Petriglieri *et al.*, 2020).

Dans les massifs miniers de Nouvelle-Calédonie, les occurrences à antigorite correspondent principalement à des veines d'épaisseur centimétrique à décimétrique. Les analyses réalisées à partir de ces occurrences ont montré que du chrysotile était associé d'une manière très étroite à ces veines et que certaines occurrences contenaient également des fibres de trémolite-amiante. Soumis à l'altération, ces veines à antigorite se désagrègent en un matériau blanchâtre, constitué par un mélange de fibres très fines, et de fragments rigides correspondant à des particules plus ou moins plates et hétérométriques d'antigorite. Les données analytiques obtenues à partir ces veines à antigorite très altérées, *pro parte* désagrégées, montrent que la fraction la plus fine des particules observées sont des fibres inhalables au sens de l'OMS.

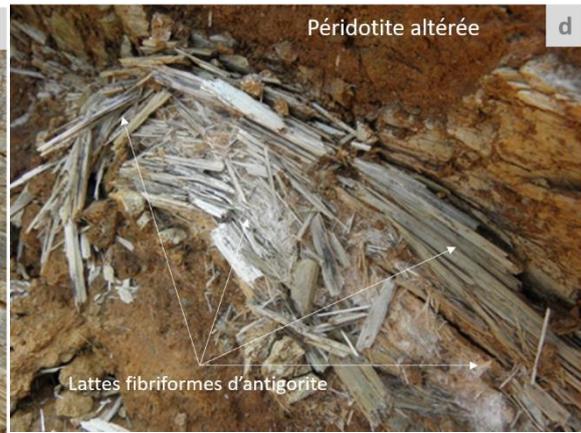
En 2014, à la suite d'une saisine commune de la direction générale de la prévention des risques, de la direction générale de la santé et de la direction générale du travail, et à la demande de la direction de l'industrie, des mines et de l'énergie de la Nouvelle-Calédonie, l'ANSES a conduit une étude relative à la toxicité de l'antigorite. Les conclusions de ce travail ont souligné les points suivants :

- les données géologiques et minéralogiques de Nouvelle-Calédonie montrent que le chrysotile et la trémolite (dont la trémolite amiante) sont associées de manière très étroite à l'antigorite ;
- il n'existe pas de données de toxicité suffisantes sur les effets spécifiques de l'antigorite ;
- les données de la littérature scientifique sont très insuffisantes et ne distinguent pas les effets de l'antigorite fibreuse en comparaison de ceux de l'antigorite non fibreuse ;
- les données sur les effets toxiques des PMA, dont fait partie l'antigorite, ne permettent pas de se prononcer sur la toxicité de l'antigorite.

Dans le cadre d'une recherche d'amiante et en présence de veines d'antigorite, du fait de leur association fréquente avec des occurrences de chrysotile et/ou de trémolite-amiante, il conviendra de les considérer comme des structures amiantifères ou à fort potentiel amiantifère et de les traiter comme telles. Des exemples macroscopiques de veines à chrysotile ou antigorite sont proposés ci-après (Planche 3 ; Planche 4).



*Planche 3 : Aspects macroscopiques de veines à chrysotile. a : Veines plurimillimétriques à centimétriques dans des péridotites serpentinisées (Haute-Corse) ; b : Péridotites serpentinisées à veinules de chrysotile (Nouvelle-Calédonie) ; c : Réseau de veinules à chrysotile dans des serpentinites (Haute-Corse) ; d : Faisceaux pluricentimétriques de chrysotile dans des serpentinites (Haute-Corse) ; e : Faisceaux pluricentimétriques de chrysotile dans des péridotites serpentinisées (Nouvelle-Calédonie) ; f : Veines sombres à lizardite ± chrysotile dans des dunites serpentinisées (Nouvelle-Calédonie).*





*Planche 4 : (Ci-avant) Aspects macroscopiques de veines à antigorite. a : Veine à antigorite recoupant des serpentinites (Haute-Corse) ; b : Veine à antigorite (à droite) et veine à trémolite-amiante (à gauche) recoupant des serpentinites (Haute-Corse) ; c & d : Veine à antigorite altérée, avec fragmentation et dissociation des lattes d'antigorite (Nouvelle-Calédonie) ; e & f : Veine à antigorite altérée, avec fragmentation et dissociation des lattes d'antigorite en amas de fibres blanches (Nouvelle-Calédonie) ; g & h : Amas blanchâtre constitué de particules hétérométriques d'antigorite, issu de l'érosion d'une veine à antigorite massive (Nouvelle-Calédonie).*

## 2.2. LES AMPHIBOLES

Les amphiboles forment une grande famille de minéraux silicatés (inosilicates). Ces minéraux cristallisent dans les systèmes orthorhombique (orthoamphiboles) ou monoclinique (clinoamphiboles), en prismes plus ou moins allongés, avec un clivage typique observé sur les faces du prisme. Les compositions chimiques des amphiboles, indiquées dans le tableau ci-après (Tableau 3), correspondent aux compositions des pôles purs telles qu'indiquées dans la nomenclature des amphiboles recommandée par l'International Mineralogical Association (IMA) (Hawthorne *et al.* 2012). Cette classification est basée sur la formule générale  $AB_2C_5T_8O_{22}W_2$  dans laquelle :

- A = Na, K, Ca, Pb, Li ;
- B = Na, Ca,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ , Mg, Li ;
- C = Mg,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , Al,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ , Li ;
- T = Si, Al,  $Ti^{4+}$ , Be ;
- W = (OH), F, Cl,  $O^{2-}$ .

Dans la classification de Hawthorne *et al.* (2012), les amphiboles pour lesquelles le site W est essentiellement rempli par des anions du groupe (OH, F, Cl) ont été réparties en huit sous-groupes, en fonction des groupes de cations occupant les sites A, B et C. Pour une amphibole donnée, la détermination précise de son nom (espèce) nécessite de calculer sa formule structurale, laquelle conduit à répartir les différents cations dans les sites A, B, C et T. Pour ce faire, il est recommandé d'utiliser la feuille de calcul de Locock (2014), cette dernière permettant une estimation des rapports  $Fe^{3+}/\Sigma Fe$  et  $Mn^{3+}/\Sigma Mn$  et de la valeur OH. Les intervalles de composition en poids d'oxydes pour les principaux éléments entrant dans la composition des amphiboles d'intérêt sont présentés ci-après (Tableau 4). Il s'agit de compositions idéales pour les principaux éléments entrant dans la composition des amphiboles d'intérêt. Dans la nature, ces amphiboles peuvent incorporer d'autres éléments en traces (Mn, Cr, Ti, Li, Be, F, Cl...), ce qui, sauf cas très particulier, n'influencera que de façon marginale ces gammes de compositions.

Deux amphiboles calciques sont actuellement réglementées au titre de l'amiante. Il s'agit des variétés asbestiformes de l'actinolite (actinolite-amiante) et de la trémolite (trémolite-amiante) (Tableau 1). Une autre espèce d'amphibole calcique a été intégrée dans les travaux conduits par l'ANSES. Il s'agit de la fluoro-édenite asbestiforme, une espèce reconnue de façon très ponctuelle dans des cavités de lave de trachyandésites sur les flancs du Mont Etna, à Biancavilla (Sicile, Italie). **Cette espèce n'entre pas dans le champ d'application de la « réglementation amiante ».**

Aucune amphibole calco-sodique n'est actuellement réglementée au titre de l'amiante mais deux espèces ont été intégrées dans les travaux conduits par l'ANSES. Il s'agit de la winchite et de la richterite, deux amphiboles identifiées en particulier dans les mines de Vermiculite de Libby (Montana, USA), exploitées jusqu'en 1990. **Ces deux espèces n'entrent pas dans le champ d'application de la « réglementation amiante ».**

Une seule espèce d'amphibole sodique est actuellement réglementée au titre de l'amiante. Il s'agit de la crocidolite, qui correspond à la variété asbestiforme de la riébeckite.

Deux espèces d'amphibole ferro-magnésienne sont actuellement réglementées au titre de l'amiante. Il s'agit de l'anthophyllite-amiante et de l'amosite, qui correspond à la variété asbestiforme de la grunérite.

	A	B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	T <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	W <sub>2</sub>	NOM		A	B <sub>2</sub>	C <sub>5</sub>	T <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	W <sub>2</sub>	NOM
<b>AMPHIBOLES FERRO-MAGNÉSIENNES</b>															
Mg, Al	-	Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Anthophyllite (orthorhombique) Cummingtonite (monoclinique)	Fe <sup>2+</sup> , Al	-	Fe <sup>2+</sup> <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-anthophyllite (orthorhombique) Grunérite (monoclinique)
	-	Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Gédrite (orthorhombique)		-	Fe <sup>2+</sup> <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-gédrite
<b>AMPHIBOLES CALCIQUES</b>															
Mg, Al	-	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Trémolite	Fe <sup>2+</sup> , Al	-	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-actinolite
	-	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Magnésio-hornblende		-	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-hornblende
	-	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Tschermakite		-	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-tschermakite
	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Edenite		Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>5</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-édenite
	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Pargasite		Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Al	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-pargasite
	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>5</sub> Al <sub>3</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Sadanagaite		Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>5</sub> Al <sub>3</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-sadanagaite
Mg, Fe <sup>3+</sup>	-	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Magnésio-ferri-hornblende	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	-	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-hornblende
	-	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferri-tschermakite		-	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-tschermakite
	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Magnésio-hastingsite ( <i>Ferri-pargasite</i> )		Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Hastingsite ( <i>Ferro-ferri-pargasite</i> )
	Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>5</sub> Al <sub>3</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferri-sadanagaite		Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>5</sub> Al <sub>3</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-sadanagaite
<b>AMPHIBOLES CALCO-SODIQUES</b>															
Mg, Al	-	Na, Ca	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Winchite	Fe <sup>2+</sup> , Al	-	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Al	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-winchite
	-	Na, Ca	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Barroisite		-	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-barroisite
	Na	Na, Ca	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Richtérite		Na	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-richtérite
	Na	Na, Ca	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Katophorite		Na	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Al	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-katophorite
	Na	Na, Ca	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Taramite		Na	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-taramite
Mg, Fe <sup>3+</sup>	-	Na, Ca	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferri-winchite	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	-	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-winchite
	-	Na, Ca	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferri-barroisite		-	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-barroisite
	Na	Na, Ca	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferri-katophorite		Na	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-katophorite
	Na	Na, Ca	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferri-taramite		Na	Na, Ca	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-taramite
<b>AMPHIBOLES SODIQUES</b>															
Mg, Al	-	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Glaucofane	Fe <sup>2+</sup> , Al	-	Na <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-glaucofane
	Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Al	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Eckermannite		Na	Na <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Al	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-eckermannite
	Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Nyboïte		Na	Na <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Al <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-nyboïte
Mg, Fe <sup>3+</sup>	-	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Magnésio-riébeckite ( <i>Ferri-glaucofane</i> )	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	-	Na <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Riébeckite ( <i>Ferro-ferri-glaucofane</i> )
	Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Magnésio-arfvedsonite ( <i>Ferri-eckermannite</i> )		Na	Na <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>4</sub> Fe <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub>	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Arfvedsonite ( <i>Ferro-ferri-eckermannite</i> )
	Na	Na <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferri-nyboïte		Na	Na <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup> <sub>3</sub> Fe <sup>3+</sup> <sub>2</sub>	Si <sub>7</sub> Al	O <sub>22</sub>	(OH) <sub>2</sub>	Ferro-ferri-nyboïte

Tableau 3 : Classification, nom et composition chimique des principales espèces d'amphiboles.

	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)
Anthophyllite/Cummingtonite	47-62%	0-7%	0-28%	0%	16-36%	0%	0%
Ferro-anthophyllite/Grunérite	42-54%	0-6%	28-50%	0%	0-16%	0%	0%
Trémolite	54-59%	0-3%	0-4%	0%	22-25%	14%	0%
Ferro-actinolite	46-54%	0-3%	20-37%	0%	0-11%	12-13%	0%
Actinolite	51-58%	0-3%	4-20%	0%	11-22%	13-14%	0%
Edenite	43-54%	3-9%	0-20%	0%	11-24%	12-13%	3-4%
Ferro-édenite	43-49%	3-8%	20-36%	0%	0-11%	11-12%	3%
Winchite	52-60%	6-10%	0-17%	0%	9-20%	7%	4%
Ferro-winchite	49-56%	6-9%	17-31%	0%	0-9%	6-7%	3-4%
Richtérite	50-59%	0-3%	0-20%	0%	11-25%	6-7%	7-8%
Ferro-richtérite	46-54%	0-4%	20-37%	0%	0-11%	6%	6-7%
Magnésio-riébeckite	47-57%	0-6%	0-12%	18-19%	7-14%	0%	7%
Riébeckite	45-54%	0-6%	12-23%	17-18%	0-7%	0%	7%
Antigorite/Chrysotile/Lizardite	43,36%	0%	0%	0%	43,63%	0%	0%

Tableau 4 : Intervalles de composition théoriques des principaux éléments chimiques entrant dans la composition des amphiboles d'intérêt et des serpentines (Source : ANSES, 2017).

### 2.2.1. Les amphiboles calciques

Le terme actinolite<sup>5</sup> est largement utilisé dans les études minéralogiques et géologiques. Il s'agit d'un terme intermédiaire entre deux pôles purs, l'un strictement ferreux (ferro-actinolite) et l'autre strictement magnésien (trémolite) (Tableau 3). Toutes les compositions intermédiaires existent par substitution entre les atomes de fer ( $Fe^{2+}$ ) et les atomes de magnésium ( $Mg^{2+}$ ). On parle de solution solide. Le nom « actinolite » est attribué lorsque la valeur du rapport  $Mg^{2+}/(Fe^{2+} + Mg^{2+})$  (apfu<sup>6</sup>) est comprise entre 0,5 et 0,9. Ce même rapport est compris entre 0 et 0,5 pour les ferro-actinolites et entre 0,9 et 1 pour les trémolites. Dans un même échantillon, il n'est donc pas rare d'identifier des associations minérales à trémolite et actinolite ou à actinolite et ferro-actinolite.

L'actinolite et la ferro-actinolite sont des amphiboles fréquemment rencontrées, en particulier dans les roches métamorphiques correspondant à d'anciennes roches magmatiques affectées par des recristallisations dans les conditions de pression et de température du faciès des schistes verts (Greenschist, Figure 4) (Lahondère *et al.*, 2018 ; Lahondère *et al.*, 2019).

La trémolite est une espèce d'amphibole moins fréquente que l'actinolite. Les principaux gisements correspondent à des roches métamorphiques issues d'anciennes roches magmatiques ultrabasiques (Lahondère *et al.*, 2019 ; Cluzel *et al.*, 2019). La trémolite peut également être présente dans des marbres issus du métamorphisme d'anciens sédiments calcaréo-dolomitiques.



Planche 5 : a : Cristaux noirs d'actinolite dans un talcschiste (Haute-Corse)  
b : Veine décimétrique à gerbes de trémolite recoupant des serpentinites (Haute-Corse).

### 2.2.2. Les amphiboles calco-sodiques

La richtérite n'est pas une espèce d'amphibole que l'on rencontre fréquemment. En France métropolitaine, les occurrences à richtérite sont rares. De la ferro-richtérite a été identifiée dans des granites alcalins de Corse, associée à d'autres amphiboles sodiques (katophorite, riébeckite) et calco-sodiques (winchite). De la ferro-richtérite a également été identifiée dans des métaplagiogranites, également associée à des amphiboles sodiques (glaucophane, riébeckite) et calco-sodiques (winchite). De la richtérite est également signalée dans des metabasites ophiolitiques alpines, associée à du glaucophane, de la winchite ou de l'actinolite.

<sup>5</sup> Actinote dans la littérature française

<sup>6</sup> apfu : atoms per formula units

### 2.2.3. Les amphiboles sodiques

En France métropolitaine, les roches qui renferment des amphiboles sodiques dans leur minéralogie affleurent principalement dans la chaîne des Alpes occidentales et en Corse. D'autres gisements, très limités, sont également connus dans le Massif armoricain, comme sur l'île de Groix ou au Bois de Céné. Les roches à amphiboles sodiques correspondent pour certaines à des roches métamorphiques et pour les autres à des granites alcalins ou à des plagiogranites océaniques (Planche 6).

Les roches métamorphiques à amphiboles sodiques correspondent principalement à des roches ophiolitiques affectées par un métamorphisme de type HP - BT<sup>7</sup>. Il s'agit en particulier de metabasaltes (glaucophanites), de métagabbros ferrotitanés et de métaglaciogranites.

Les granites alcalins à amphibole sodique affleurent principalement en Corse où ils ont été rattachés à plusieurs complexes (Popolasca, Kyrie-Eleison, Bavella, Evisa, Capu Rossu).



*Planche 6 : Haut : affleurements de metabasaltes à glaucophane (amphibole bleue) (Haute-Corse)  
Bas : ancienne carrière de granites alcalins à amphiboles sodiques (Corse du Sud).*

<sup>7</sup> HP - BT : Haute Pression - Basse Température

De la magnésio-riébeckite fibreuse a été identifiée en Haute-Corse, dans des roches métamorphiques basiques associées aux formations granitiques hercyniennes avec lesquelles elles ont été déformées au cours de l'orogénèse alpine. De la riébeckite et/ou de la magnésio-riébeckite sont également présentes dans des filons de métadolérites recoupant ces mêmes formations granitiques, associée à du ferro-glaucophane, dans des métaplagiograntes et dans des granites alcalins.

#### 2.2.4. Les amphiboles ferro-magnésiennes

Deux espèces d'amphiboles ferro-magnésiennes sont réglementées au titre de l'amiante. Il s'agit des variétés asbestiformes de l'anphophyllite (anphophyllite-amiante) et de la grunérite (amosite).

Les amphiboles ferro-magnésiennes sont relativement peu fréquentes. En France métropolitaine, les occurrences les plus significatives sont associées à des affleurements de serpentinites, de métagabbros et d'amphibolites (Planche 7).

La grunérite est une amphibole riche en fer, que l'on trouve dans des roches métamorphiques relativement riches en fer, associée à de la magnétite, de l'ankérite, du grenat (almandin), du stilpnomélane et des pyroxènes riches en fer. L'un des gisements-types est situé en France, dans le département du Var, sur la commune de Collobrières. La collobriérite est un faciès constitué par de la magnétite, du grenat et de la grunérite. Il s'agit d'un faciès particulier correspondant à une amphibolite issue de la transformation d'anciens niveaux oolithiques.

Des gites sulfurés aurifères contenant des lentilles à sidérite et grunérite, parfois asbestiforme, ont également été décrits dans les Cévennes méridionales (Nebout, 1985). Ces occurrences restent néanmoins très marginales en France.



*Planche 7 : Occurrence à anphophyllite fibreuse correspondant à une bordure réactionnelle entre des gneiss migmatitiques et des péridotites serpentinisées. Les fibres d'anphophyllite forment une veine très continue d'épaisseur pluricentimétrique, associées à de la trémolite et du phlogopite (Col de l'Amiante, Isère).*



### 3. Quelles sont les roches susceptibles de contenir des fibres d'amiante ?

Les types de roches les plus fréquemment rencontrés dans l'environnement naturel et considérés dans le présent document sont :

- les roches carbonées ;
- les roches sédimentaires carbonatées et leurs dérivés métamorphiques ;
- les roches évaporitiques ;
- les roches sédimentaires détritiques et leurs dérivés métamorphiques ;
- les roches plutoniques et leurs dérivés métamorphiques ;
- les roches volcaniques et leurs dérivés métamorphiques.

Certaines de ces roches contiennent, ou sont susceptibles de contenir, des minéraux de la famille des serpentines ou de la famille des amphiboles, parfois sous des formes fibreuses à asbestiformes.

Les études préalablement conduites, notamment en France métropolitaine et en Nouvelle-Calédonie, ont permis d'établir une liste des principales roches susceptibles de contenir des fibres d'amiante et d'acquérir un socle de données analytiques important. Le tableau ci-dessous présente les niveaux de susceptibilité de présence d'amiante dans les roches les plus fréquemment rencontrées et dans leurs équivalents métamorphiques (Tableau 5<sup>8</sup>). Quatre niveaux de susceptibilité sont considérés (Nul, Faible, Intermédiaire, Fort).

**Métamorphisme :** Transformation d'une roche à l'état solide du fait d'une élévation de température et/ou de pression, avec cristallisation de nouveaux minéraux, dits néoformés, et acquisition de textures et structures particulières, sous l'influence de conditions physiques et/ou chimiques différentes de celles ayant présidé à la formation de la roche originelle<sup>9</sup>.

Placé devant un nom de roche, le préfixe méta- indique que celle-ci a été métamorphisée. Le préfixe méta- est utilisé dans le présent document pour décrire toutes les roches affectées par des processus de recristallisation, que ces derniers soient de nature tardi-magmatiques (circulation de fluides hydrothermaux de haute température) ou associés à des évolutions métamorphiques de type métamorphisme de contact ou métamorphisme régional.

Les roches magmatiques renferment fréquemment des minéraux ferromagnésiens dans leur minéralogie primaire (olivines, pyroxènes, amphiboles). Lorsque ces roches sont affectées par des processus métamorphiques, ces minéraux primaires sont déstabilisés et des minéraux secondaires cristallisent, tels que des serpentines (aux dépens des cristaux d'olivines) et des amphiboles (aux dépens des pyroxènes et des amphiboles magmatiques). Ces processus affectent très souvent les roches magmatiques basiques et ultrabasiques, du fait de leur très grande richesse en minéraux ferromagnésiens, mais ne sont pas toujours identifiables d'un point de vue macroscopique. Lorsque ces processus se produisent dans les conditions de pression et de température du faciès des schistes verts (Greenschist : Figure 4), ils se traduisent régulièrement par la cristallisation d'actinolite aux dépens des minéraux magmatiques (Lahondère *et al.*, 2018).

---

<sup>8</sup> Liste non exhaustive

<sup>9</sup> Définition extraite du Dictionnaire de Géologie (3<sup>e</sup> édition, Masson, 1988)

GROUPE		PRINCIPAUX TYPES PETROGRAPHIQUES		Susceptibilité de présence d'amiante
Roches de nature ou d'origine sédimentaire	Carbonées	1A	Tourbes - Lignites - Houilles - Anthracites	Nulle
	Carbonatées	1B	Calcaires - Calcaires argileux - Calcaires crayeux - Calcaires gréseux - Faluns Dolomies - Calcaires dolomitiques - Marnes - Marno-calcaires Calcaires marmoréens - Dolomies marmoréennes - Marbres purs	Nulle
		1C	Marbres à minéraux - Cipolins - Cornéennes - Skarns - Gneiss à silicates calciques	Faible
	Évaporitiques	1D	Gypses - Cargneules - Travertins	Nulle
	Détritiques	1E	Arkoses - Grès - Grès calcaires - Siltites - Pérites - Cherts - Silexites Flysch ardoisier - Flysch calcaire - Flysch gréseux Quartzites - Quartzites calcareux - Séricitoschistes - Micascchistes - Calcschistes	Nulle
		1F	Grès et arkoses lithiques - Conglomérats - Brèches - Poudingues Quartzites impurs - Schistes et paragneiss indifférenciés Paragneiss migmatitiques - Quartzites conglomératiques - Métaarkoses - Métaconglomérats	Faible
Roches de nature ou d'origine plutonique	Type I	2A	Tonalites - Granodiorites - Monzogranites - Syénogranites (1)	Nulle
		2B	Métatonalites - Métagranodiorites - Métamonzogranites - Métasyénogranites Orthogneiss tonalitiques, granodioritiques, monzogranitiques, syénogranitiques	Faible
		2C	Granites alcalins - Syénites alcalines - Plagiogranites Métagranites alcalins - Métasyénites alcalines - Méta-plagiogranites Orthogneiss granitiques et syénitiques alcalins, orthogneiss plagiogranitiques	Faible
	Type II	2D	Gabbros - Diorites - Monzogabbros - Monzodiorites - Monzonites - Syénites (1) Dolérites (dont ophites) - Lamprophyres (dont vaugnérites) - Teschérites (1)	Nulle
		2E	Métagabbros - Métdiorites - Métamonzogabbros - Métamonzodiorites - Métamonzonites - Métasyénites (2) Dolérites (dont ophites) hydrothermalisées - Amphibolites - Amphibololites - Eclogites rétro-morphosées (2)	Moyenne
	Type III	2F	Péridotites (Iherzolites, harzburgites, dunites, wehrrites) - Pyroxénites (webstérites, clinopyroxénites, orthopyroxénites) (1)	Nulle
		2G	Métapéridotites serpentinisées - Serpentinites - Méta-pyroxénites - Métacortlandites (2) Talschistes et schistes à actinolite/trémolite - Ophicalcites - Auréoles réactionnelles à anthophyllite	Forte
	Roches de nature ou d'origine volcanique	Type I	3A	Rhyolites - Rhyodacites - Trachytes - Trachydacites - Dacites - Trachyandésites - Andésites (1)
3B			Métarhyolites - Métarhyodacites - Métra-chytes - Méta-dacites - Méta-andésites Orthogneiss rhyolitiques, dacitiques, andésitiques	Faible
3C			Rhyolites alcalines Métarhyolites alcalines Orthogneiss rhyolitiques alcalins	Faible
Type II		3D	Trachyandésites basaltiques - Trachybasaltes - Basaltes andésitiques - Basaltes (1)	Nulle
		3E	Métatrachyandésites basaltiques - Métra-chybasaltes, Métabasaltes andésitiques - Métabasaltes Prasinites, spilites, chloritoschistes à actinolite	Moyenne
Type III		3F	Trachytes alcalins, métra-chytes alcalins	Faible
		3G	Picrites (1)	Nulle
		3H	Métapicrites serpentinisées	Forte
Veines minérales		4	Veines polyminérales à quartz, calcite, épidote, etc. - Auréoles réactionnelles	Moyenne

Tableau 5 : Susceptibilité de présence d'amiante des principaux types de roches :  
 (1) : Roches indemnes de toute recristallisation tardi- ou post-magmatique ;  
 (2) : Susceptibilité dépendante de la nature et de l'importance des recristallisations.

De nombreuses roches ne possèdent aucun potentiel amiantifère (susceptibilité de présence d'amiante nulle) et peuvent être exclues de toute recherche. Deux ensembles de roches peuvent ainsi être considérés, le premier regroupant des roches de nature ou d'origine sédimentaire et le second des roches magmatiques indemnes de toute recristallisation tardi-magmatique et/ou post-magmatique (Tableau 5).

**Avertissement :**

Les roches magmatiques sont régulièrement affectées par des processus tardi-magmatiques, lesquels peuvent conduire à la déstabilisation des pyroxènes et des amphiboles magmatiques et à la cristallisation d'amphiboles calciques (actinolite, trémolite) et ferro-magnésiennes (anthophyllite). Pour cette raison, une attention particulière devra toujours être accordée à ces roches, même lorsqu'elles sont considérées comme n'ayant pas subi de telles recristallisations (les altérations hydrothermales ne sont pas toujours mentionnées dans les rapports et les notices explicatives des cartes géologiques).

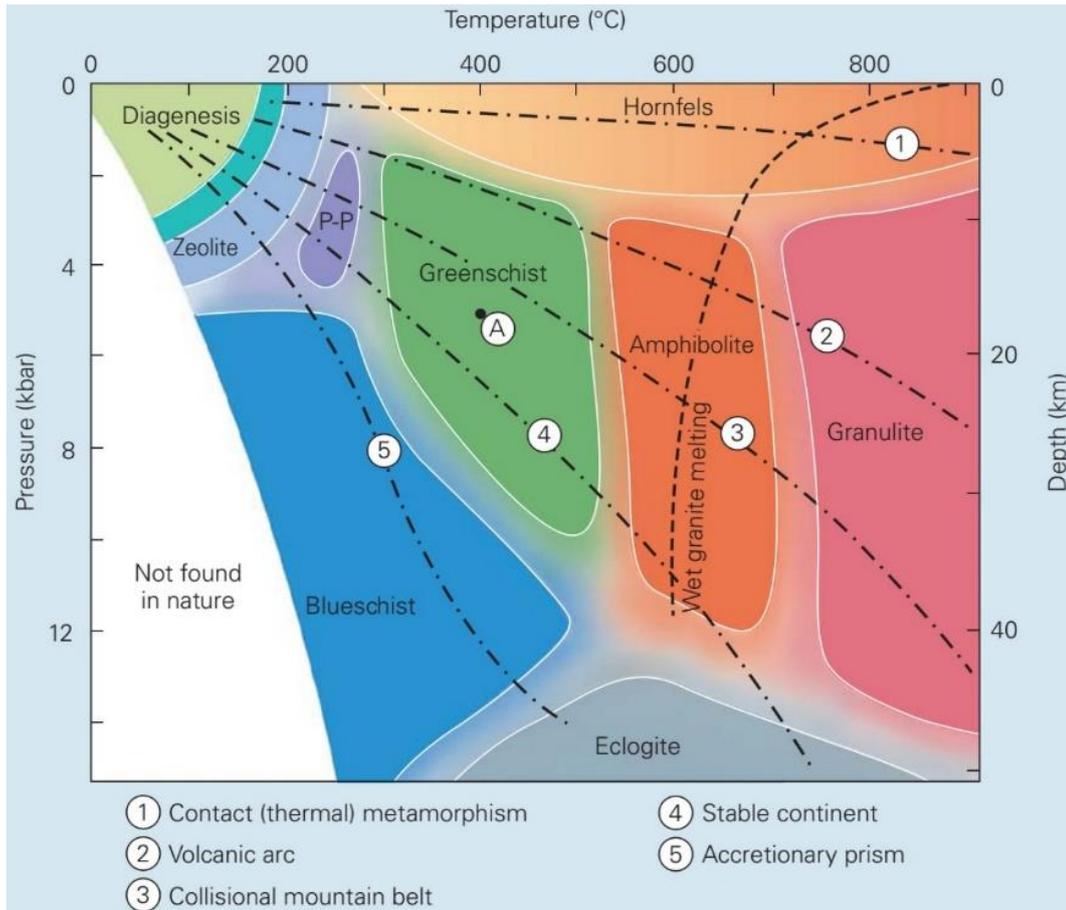


Figure 4 : Conditions Pression-Température des faciès métamorphiques (P-P : faciès à prehnite-pumpellyite).

### 3.1. LES ROCHES DE NATURE OU D'ORIGINE SÉDIMENTAIRE

#### 3.1.1. Les roches carbonées (Groupe 1A)

Les roches de ce groupe (tourbes, lignites, houilles, anthracites) ne sont pas susceptibles de contenir des fibres d'amiante. Il en est de même pour les sols résultant de l'altération de ces roches.

#### 3.1.2. Les roches sédimentaires carbonatées, non métamorphiques (Groupe 1B)

Les roches du groupe 1B (Tableau 5) sont des roches sédimentaires carbonatées, non métamorphisées. Elles correspondent à des calcaires, calcaires argileux, calcaires crayeux, dolomies, calcaires dolomitiques, marnes, marno-calcaires, faluns, *etc.* Les sédiments carbonatés non métamorphiques (quel que soit leur âge) ainsi que les sols résultant de l'altération de ces roches, ne constituent pas des matériaux susceptibles de contenir des fibres d'amiante<sup>10</sup>.

#### 3.1.3. Les roches sédimentaires carbonatées, métamorphiques (Groupe 1C)

Les roches qui constituent le groupe 1C correspondent à des roches sédimentaires carbonatées, métamorphisées (Tableau 5). Dans ce groupe ont été regroupés les calcaires marmoréens, les marbres, les marbres impurs à minéraux, les cornéennes, les skarns ainsi que les gneiss à silicates calciques. Ces types de roches peuvent, de façon exceptionnelle et dans des volumes généralement peu importants, renfermer des occurrences à amphiboles fibreuses à asbestiformes. D'un point de vue macroscopique, ces occurrences correspondent le plus souvent à des veines, ouvertes ou non, et/ou à des plans porteurs de longues fibres. Pour ce groupe de roches, le niveau de susceptibilité de présence d'amiante peut être considéré comme faible.

Les skarns résultant de l'intrusion de granitoïdes dans des séries carbonatées, sont des sites privilégiés pour la cristallisation d'amphiboles fibreuses, potentiellement asbestiformes. Dans le cadre d'une recherche d'amiante, l'observation de skarns affectant une série carbonatée et la proximité d'une intrusion granitique devront attirer l'attention sur l'existence possible d'occurrences fibreuses. Une même attention devra être accordée aux séries métacarbonatées affectées par un métamorphisme régional de haut grade.

D'une manière très générale, lorsque des amphiboles sont observées dans ces formations carbonatées métamorphiques, elles se présentent sous forme de grandes fibres non asbestiformes (Planche 8). Cependant, des occurrences fibreuses asbestiformes ou à fort potentiel asbestiforme ont été identifiées en France métropolitaine, en particulier dans plusieurs secteurs de la chaîne des Pyrénées (Cagnard *et al.*, 2015), ce qui conduit à ne pas négliger ces roches dans le cadre d'une recherche d'amiante.

Des points représentatifs d'analyses acquises à la microsonde électronique et issues de travaux préalablement réalisés (Cagnard *et al.*, 2015) sont reportés ci-après (Figure 5). Il s'agit toujours d'amphiboles calciques de type pargasite, magnésio-hornblende, actinolite et/ou trémolite.

---

<sup>10</sup> Il convient de rappeler que des niveaux détritiques plus ou moins grossiers (sables, conglomérats) peuvent localement s'intercaler dans des séries à dominante marneuse.

Des conglomérats d'âge Oligocène inférieur, à éléments de serpentinites, de métagabbros, de prasinites et de diabases de type variolite sont par exemple cartographiés dans le synclinal de Barrême, sur la feuille géologique à 1/50 000 de Digne (Graciansky *et al.*, 1982). Dans le même bassin de Barrême, des lentilles de grès verts à serpentine détritique, d'âge Oligocène supérieur, sont associées à des marnes sableuses (Graciansky *et al.*, 1982).

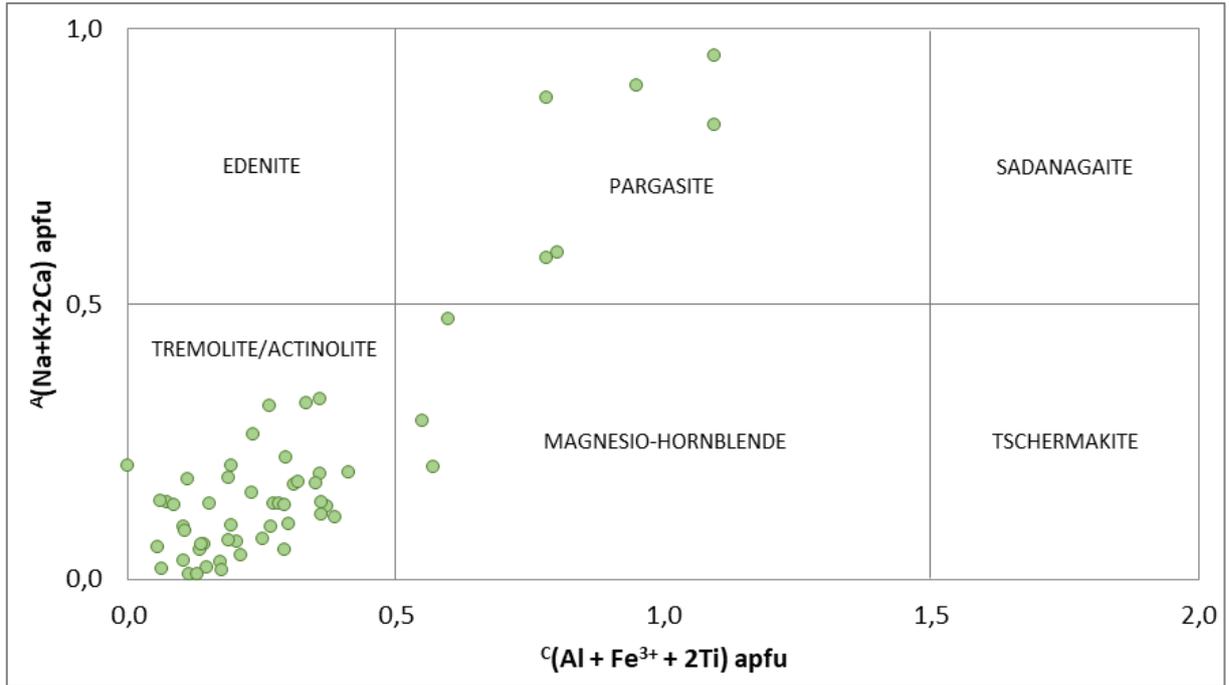
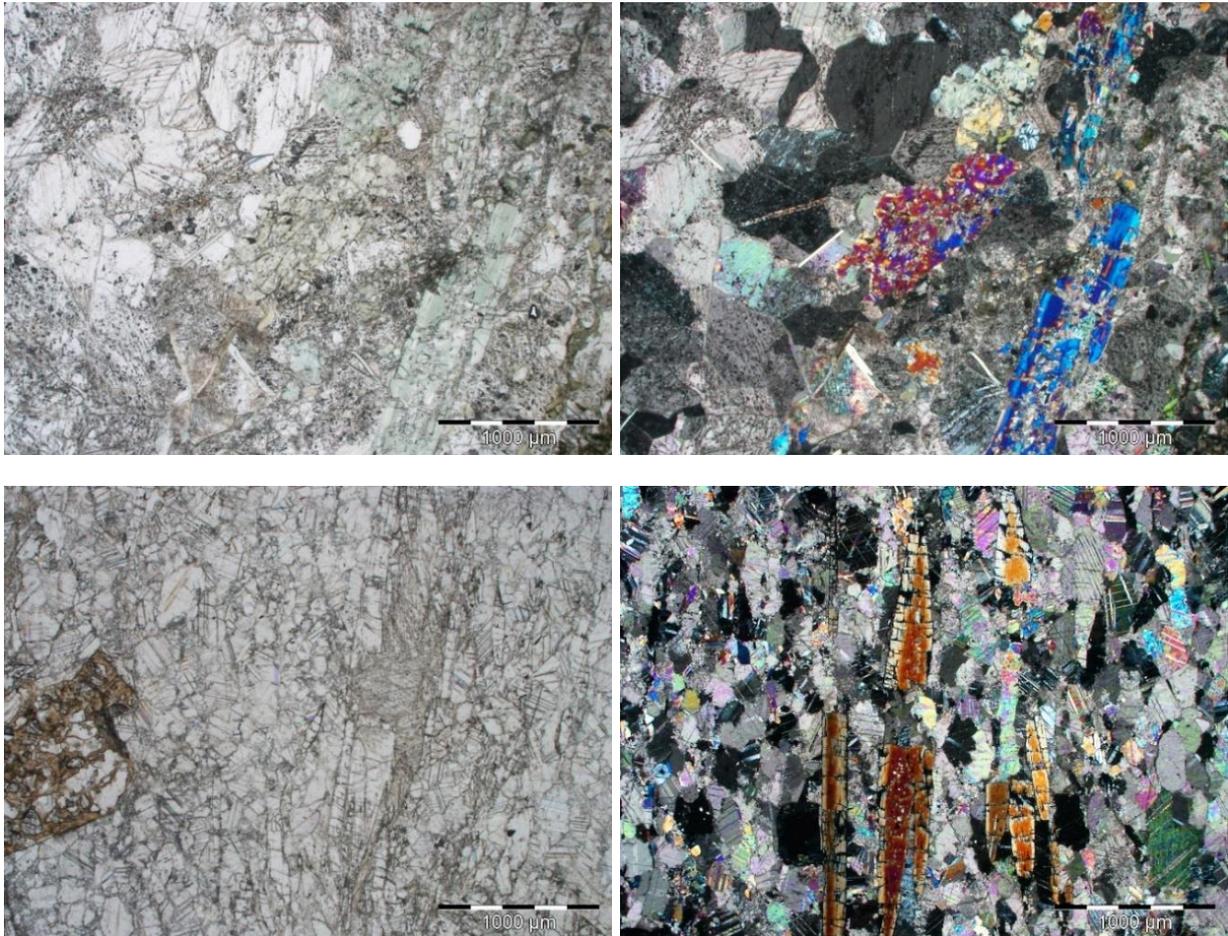
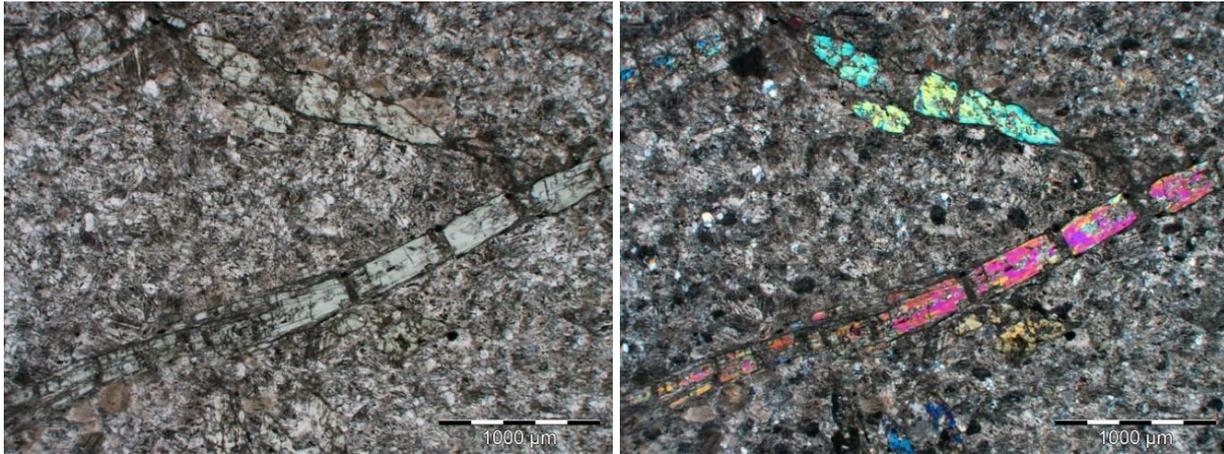


Figure 5 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques acquises à partir de roches du groupe 1C.





*Planche 8 : Exemples de marbres à amphiboles calciques fibreuses, non asbestiformes :*  
*a-b : Marbre à trémolite (Ariège) ;*  
*c-d : Marbre à trémolite (Ariège) ;*  
*e-f : Marbre à trémolite (Haute-Garonne).*

### 3.1.4. Les roches évaporitiques (Groupe 1D)

Les roches de ce groupe correspondent à des roches évaporitiques (gypses, cargneules, travertins), lesquelles ne sont pas susceptibles de contenir des fibres d'amiante. Il en est de même pour les sols résultant de l'altération de ces roches.

### 3.1.5. Les roches détritiques du groupe 1E

Dans le groupe 1E ont été rangés plusieurs types de roches sédimentaires de nature ou d'origine détritique (Tableau 5) :

- roches consolidées non métamorphiques, de type arkoses, grès, grès calcaires, siltites, pélites, flysch ardoisier, flysch calcaire, flysch gréseux, etc. ;
- roches métamorphiques issues de la transformation d'anciens sédiments détritiques, de type quartzites, quartzites calcaires, etc. ;
- roches métamorphiques d'origine sédimentaire, de type séricitoschistes, micaschistes, calcschistes, paragneiss et paragneiss migmatitiques (sans amphibole).

Les roches du groupe 1E ne constituent pas des faciès susceptibles de renfermer des fibres d'amiante, à l'exception toutefois de certains quartzites riches en fer dans lesquels des fibres de crocidolite peuvent être présentes. En dehors de ces occurrences tout à fait exceptionnelles et très marginales, le potentiel amiantifère des roches du groupe 1E et des sols résultant de leur altération peut être considéré comme nul.

### 3.1.6. Les roches de nature ou d'origine détritique du groupe 1F

Dans ce groupe 1F ont été rangés plusieurs types de roches détritiques ainsi que des roches métamorphiques d'origine sédimentaire.

Les roches détritiques incluent les grès et les arkoses lithiques<sup>11</sup>, les conglomérats, les brèches, et les poudingues. Les roches métamorphiques incluent les quartzites et les schistes à amphibole, les paragneiss à amphibole, les paragneiss migmatitiques à amphibole, les métaarkoses et les métaconglomérats (Tableau 5).

Le potentiel amiantifère des roches détritiques dépend de la nature des terrains dont elles sont issues et du caractère amiantifère ou non de ces derniers. Ce potentiel dépend également d'autres paramètres, parmi lesquels la distance entre les zones sources soumises à l'érosion et les zones de dépôt. Les zones sources potentielles incluent également les anciens dépôts sédimentaires, glaciaires ou fluvio-glaciaires (paléo-terrasses, moraines, *etc.*) dont l'origine est elle-même liée à l'érosion de terrains amiantifères.

La caractérisation du potentiel amiantifère d'une formation détritique peut être plus difficile à établir, du fait par exemple d'une hétérogénéité importante, tant granulométrique que pétrographique, ou d'une complexité plus grande (terrasses emboîtées, paléo-chenaux divagants, *etc.*). L'hétérogénéité est liée au caractère plus ou moins complexe des zones géologiques dont sont issus les alluvions, à l'éloignement de ces zones par rapport au lieu du dépôt, à la topographie du lieu de dépôt, à la multiplicité des apports longitudinaux et latéraux, *etc.*

Des exemples significatifs de formations sédimentaires détritiques sont proposés ci-après (Planche 9). Ces exemples ont été empruntés à des formations de type éboulis, à des formations alluvionnaires et à des formations glaciaires et fluvio-glaciaires périalpines.

---

<sup>11</sup> Adjectif utilisé pour rendre compte de la présence, dans une roche, de débris correspondant à d'autres roches



*Planche 9 : Exemples d'affleurements de roches détritiques non consolidées :*  
*a : Éboulis à blocs hétérométriques de serpentinites (Montagne du Cristillan, Hautes-Alpes) ;*  
*b : Éboulis de serpentinites (Rocca Bianca, Hautes-Alpes) ;*  
*c-d : Alluvions du Guil, à éléments de serpentinites amiantifères (Hautes-Alpes) ;*  
*e : Paléoterrasse de la Durance, à éléments ophiolitiques (Les Mées, Hautes-Alpes) ;*  
*f : Exemples de galets ophiolitiques, pour certains amiantifères, observés dans les alluvions du lit majeur de la Durance.*

### 3.2. LES ROCHES DE NATURE OU D'ORIGINE PLUTONIQUE

Les roches plutoniques et leurs équivalents métamorphiques ont été classées en trois types (I, II, III) et sept sous-types (2A à 2G ; Tableau 5).

#### 3.2.1. Les roches du groupe 2A (Type I)

Dans ce groupe 2A ont été rangées plusieurs variétés de roches magmatiques, de nature plutonique (Tableau 5). Il s'agit de roches de type tonalites, granodiorites, monzogranites et syénogranites (Figure 6), indemnes de toute recristallisation tardi-magmatique et/ou post-magmatique.

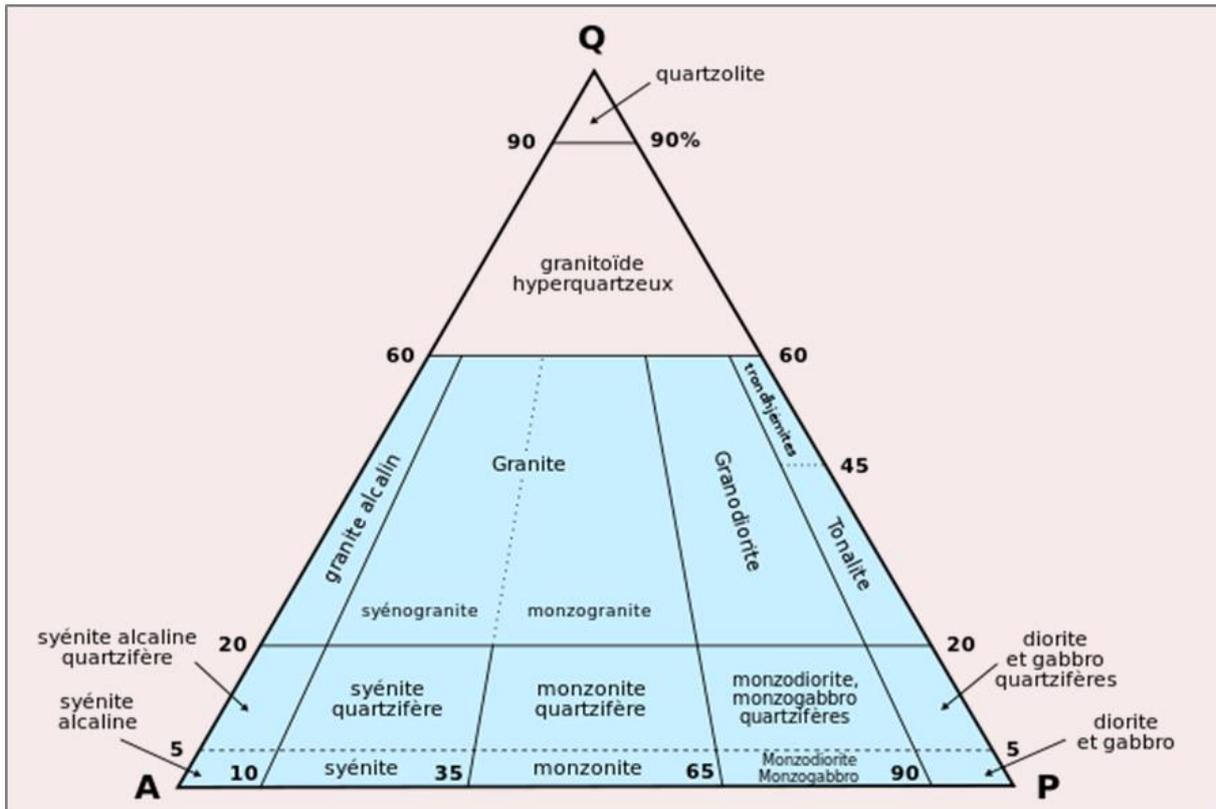


Figure 6 : Classification des roches plutoniques (Q : Quartz, A : Feldspaths alcalins, P : Plagioclases).

Les tonalites, les granodiorites, les monzogranites et les syénogranites renferment fréquemment des amphiboles calciques dans leur minéralogie primaire. Ces amphiboles ont le plus souvent des compositions de hornblendes et/ou de pargasites (Figure 7) et se présentent sous forme de cristaux millimétriques à plurimillimétriques, plus ou moins allongés et le plus souvent non orientés (Planche 10).

En l'absence de tout processus de recristallisation de ces amphiboles magmatiques, le potentiel amiantifère de ces roches peut être considéré comme inexistant et il en est de même pour les sols résultant de l'altération supergène de ces roches.

Dans le cadre d'une recherche d'amiante intéressant ces types de roches et en l'absence d'information précise sur la présence ou non de recristallisations tardi-magmatiques et/ou post-magmatiques, il conviendra de les considérer comme appartenant au groupe 2B (cf. infra).

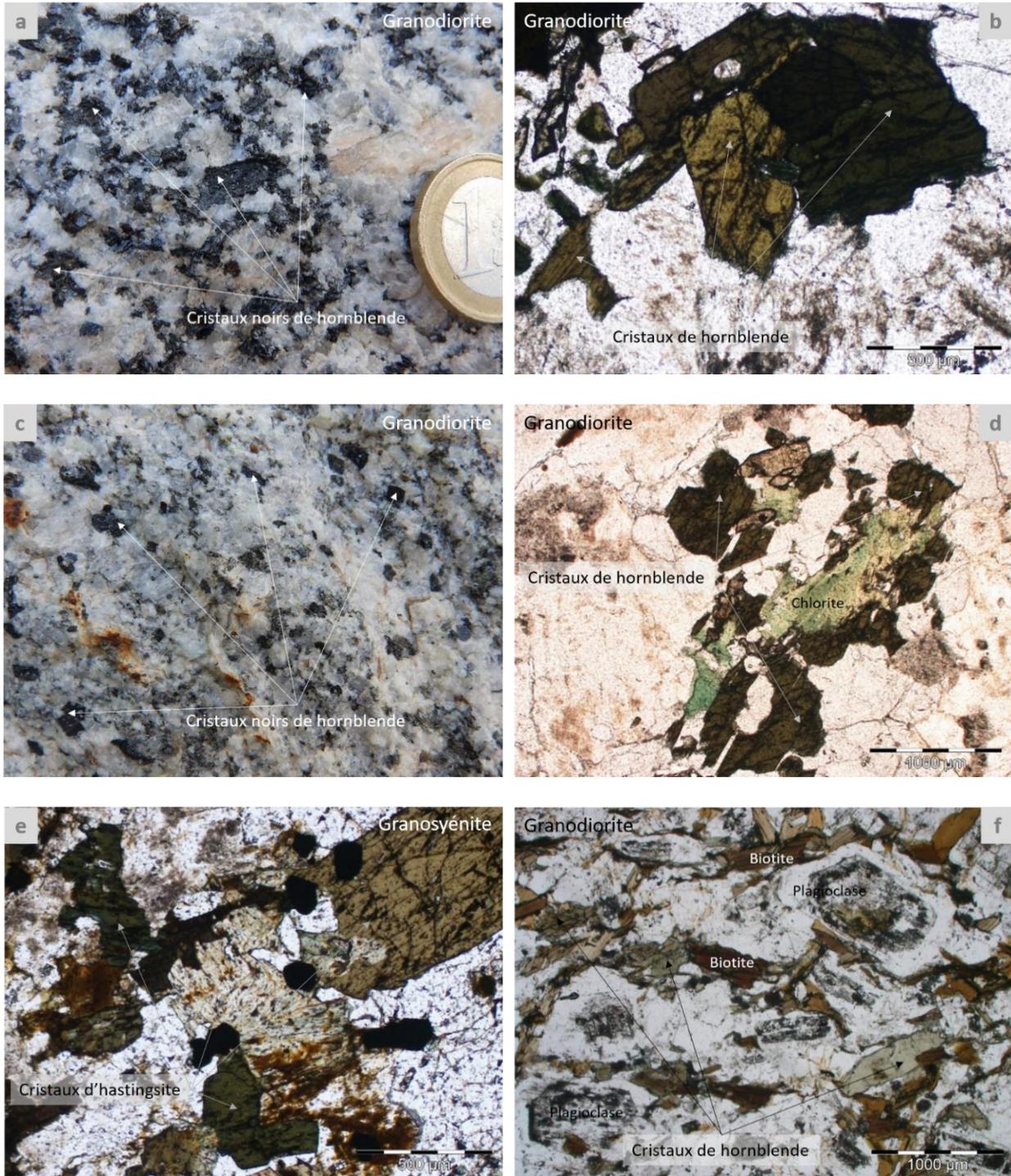


Planche 10 : Exemples de morphologies pour les amphiboles calciques des roches du groupe 2A :  
a-b : Cristaux bruns de hornblende dans une granodiorite (Corse du Sud) ;  
c-d : Cristaux bruns de hornblende dans une granodiorite (Haute-Corse) ;  
e : Cristaux bruns d'hastingsite dans une granosyenite (Haute-Corse) ;  
f : Cristaux verts de magnésio-hornblende dans une granodiorite à amphibole-biotite (Ariège).

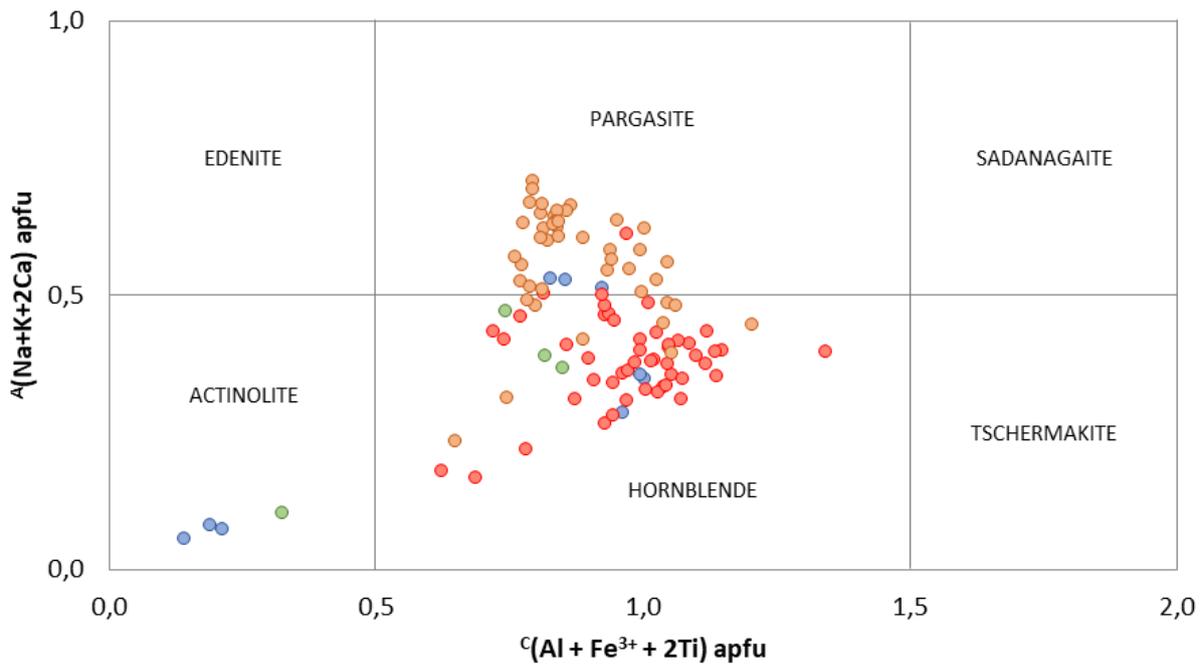


Figure 7 : Exemples d'analyses d'amphiboles calciques dans des roches du groupe 2A.

### 3.2.2. Les roches du groupe 2B (Type I)

Les roches du groupe 2B constituent les équivalents déformés et/ou métamorphisés des roches du groupe 2A. Il s'agit donc de métatonalites et d'orthogneiss tonalitiques, de métagranodiorites et d'orthogneiss granodioritiques, de métamonzogranites et d'orthogneiss monzogranitiques et de métasyénogranites et d'orthogneiss syénogranitiques (Tableau 5). À ce groupe ont également été rattachées les roches de type leptynites.

Les roches du groupe 2B peuvent renfermer des amphiboles dans leur minéralogie, notamment des amphiboles calciques, mais ceci n'est pas systématique. Dans le cadre d'une recherche d'amiante, il conviendra donc de déterminer en priorité si les roches concernées contiennent ou non des amphiboles.

Les processus tardi-magmatiques et/ou métamorphiques auxquels ces roches ont été soumises conduisent à une déstabilisation et à une recristallisation des minéraux magmatiques, en particulier les amphiboles lorsqu'elles sont présentes. Ces processus peuvent être très discrets et non identifiables d'un point de vue macroscopique ou au contraire largement développés. Le remplacement des minéraux magmatiques par des minéraux secondaires néoformés peut être plus ou moins achevé en fonction de l'échantillon considéré. Lorsque ce remplacement n'est que partiel, les textures et les assemblages minéralogiques observés sur les sites des anciens minéraux ferromagnésiens sont souvent complexes et difficiles à analyser, notamment pour ce qui concerne les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des minéraux néoformés. Ces minéraux néoformés peuvent également cristalliser à l'intérieur de veines polyminérales plus ou moins épaisses (millimétriques à pluricentimétriques). Ceci est particulièrement vrai pour les amphiboles de type actinolite qui possèdent généralement une morphologie clairement fibreuse, parfois asbestiforme, au sein de ces veines. L'importance et la fréquence de ce type d'occurrence sont encore mal documentées. Un exemple de ce type d'occurrence a été identifié dans les granodiorites du Massif de Néouvielle, dans les Pyrénées, au niveau de zones hydrothermalisées (Cagnard *et al.*, 2015).

En raison du caractère plus ou moins achevé des recristallisations, la gamme des amphiboles calciques est plus étendue que dans les roches du groupe 2A (Figure 8).

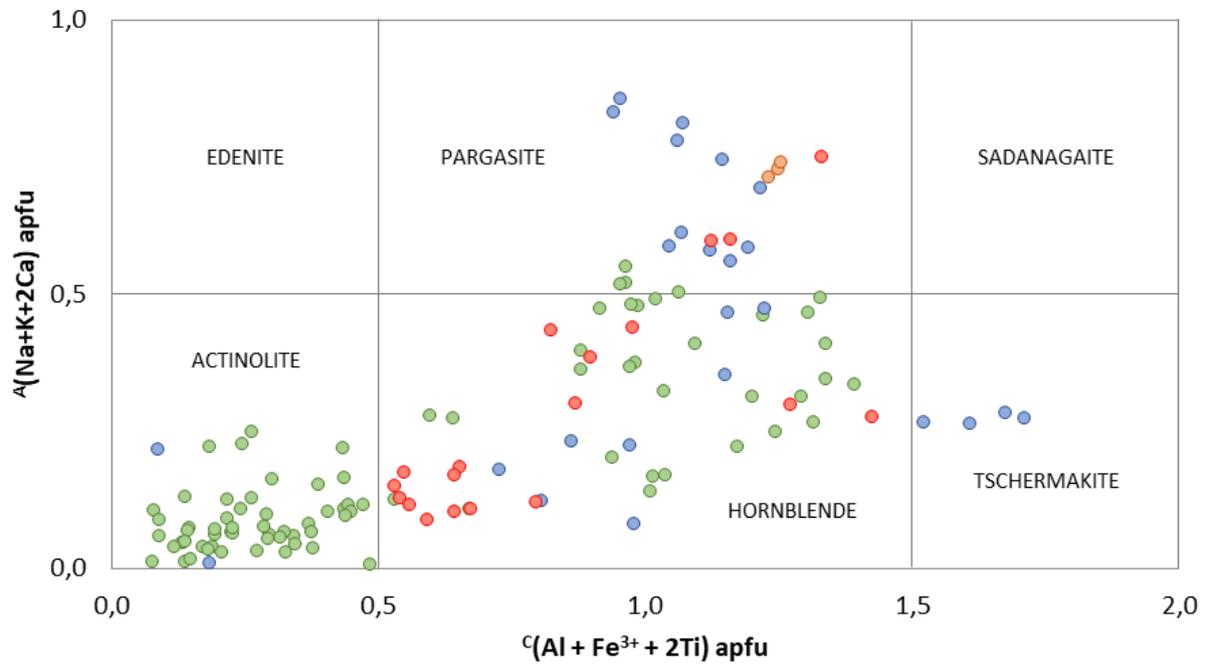
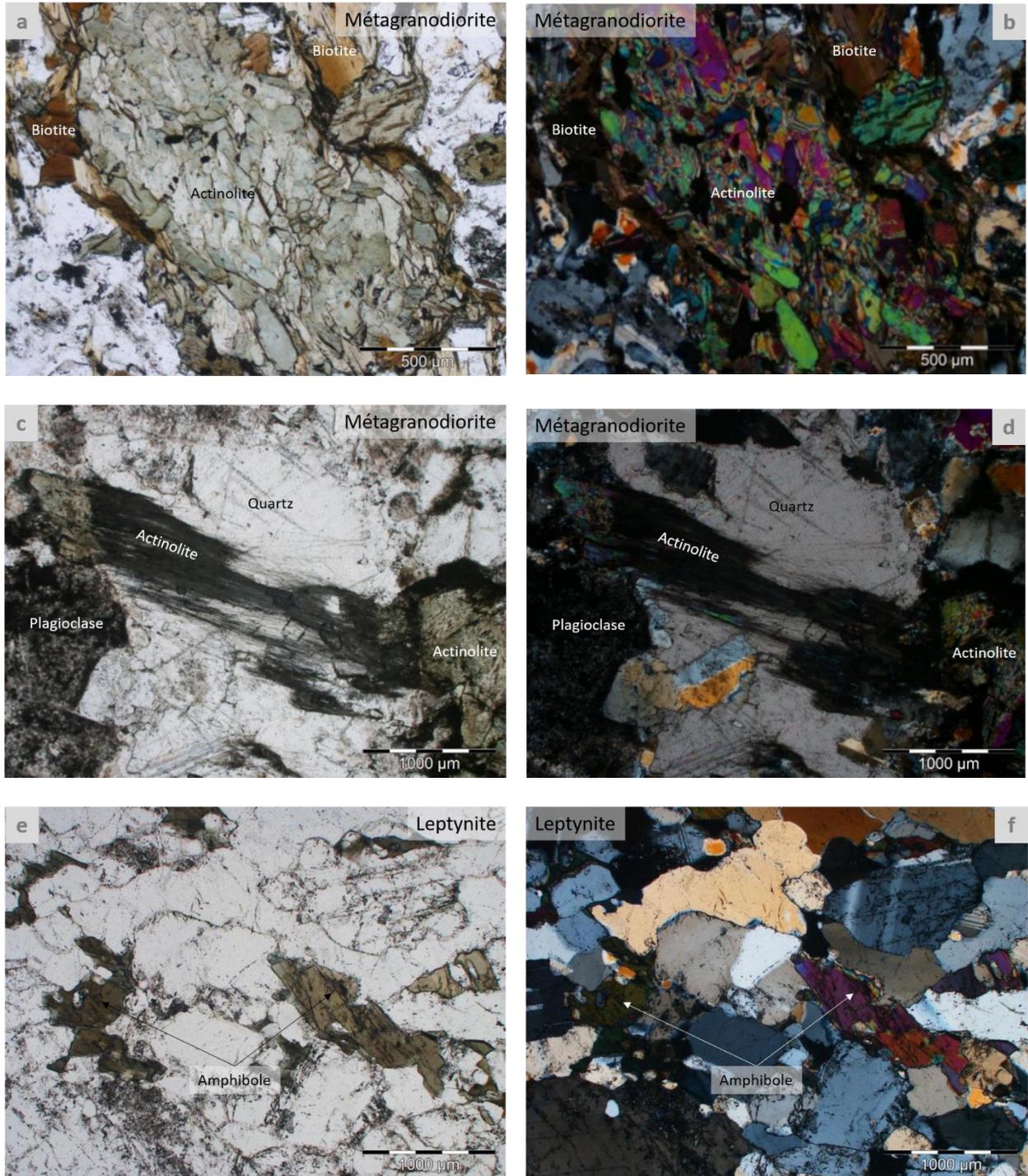


Figure 8 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques des roches du groupe 2B.



*Planche 11 : Exemples de morphologies des amphiboles des roches du groupe 2B :  
 a-b : Amas d'actinolite observé dans une métagranodiorite à biotite (Hautes-Pyrénées) ;  
 c-d : Veine à fibres d'actinolite, observée dans une métagranodiorite (Hautes-Pyrénées) ;  
 e-f : Leptynite à pargasite et magnésio-hornblende (Limousin).*

### 3.2.3. Les roches du groupe 2C (Type I)

Ce groupe rassemble des roches plutoniques alcalines de type granites alcalins et syénites alcalines, des granites océaniques (plagiogranites) ainsi que tous les dérivés métamorphiques de ces roches : métagranites alcalins et orthogneiss granitiques alcalins, métasyénites alcalines et orthogneiss syénitiques alcalins, métaplagiogranites et orthogneiss plagiogranitiques (Tableau 5). Dans ces roches, des amphiboles sodiques sont régulièrement présentes, parfois associées à des amphiboles calco-sodiques.

Dans les granites alcalins, les cristaux d'amphibole se présentent sous forme de grands cristaux très sombres d'apparence peu à pas fibreuse (Planche 12). Des fibres peuvent néanmoins être observées dans ces faciès pétrographiques. Ces amphiboles ont majoritairement des compositions de riébeckite et de ferro-ferri-katophorite ( $\pm$  ferro-richtérite, ferro-ferri-winchite) (Figure 9).

Dans les métaplagiogranites associés aux métaophiolites des zones alpines internes, les amphiboles analysées ont des morphologies plus clairement fibreuses (Planche 13), en lien avec l'intensité des déformations auxquelles ces roches ont été soumises au cours de leur histoire.

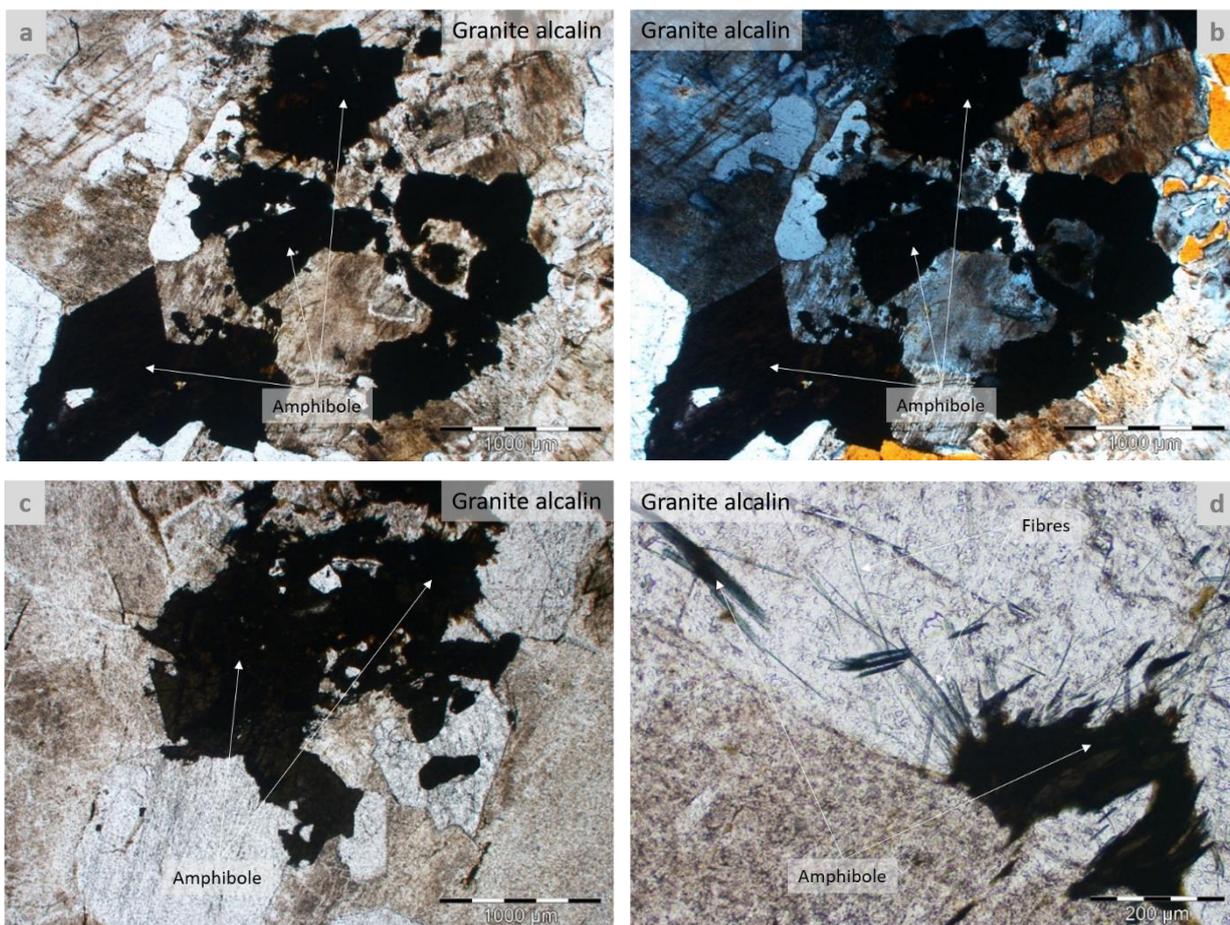
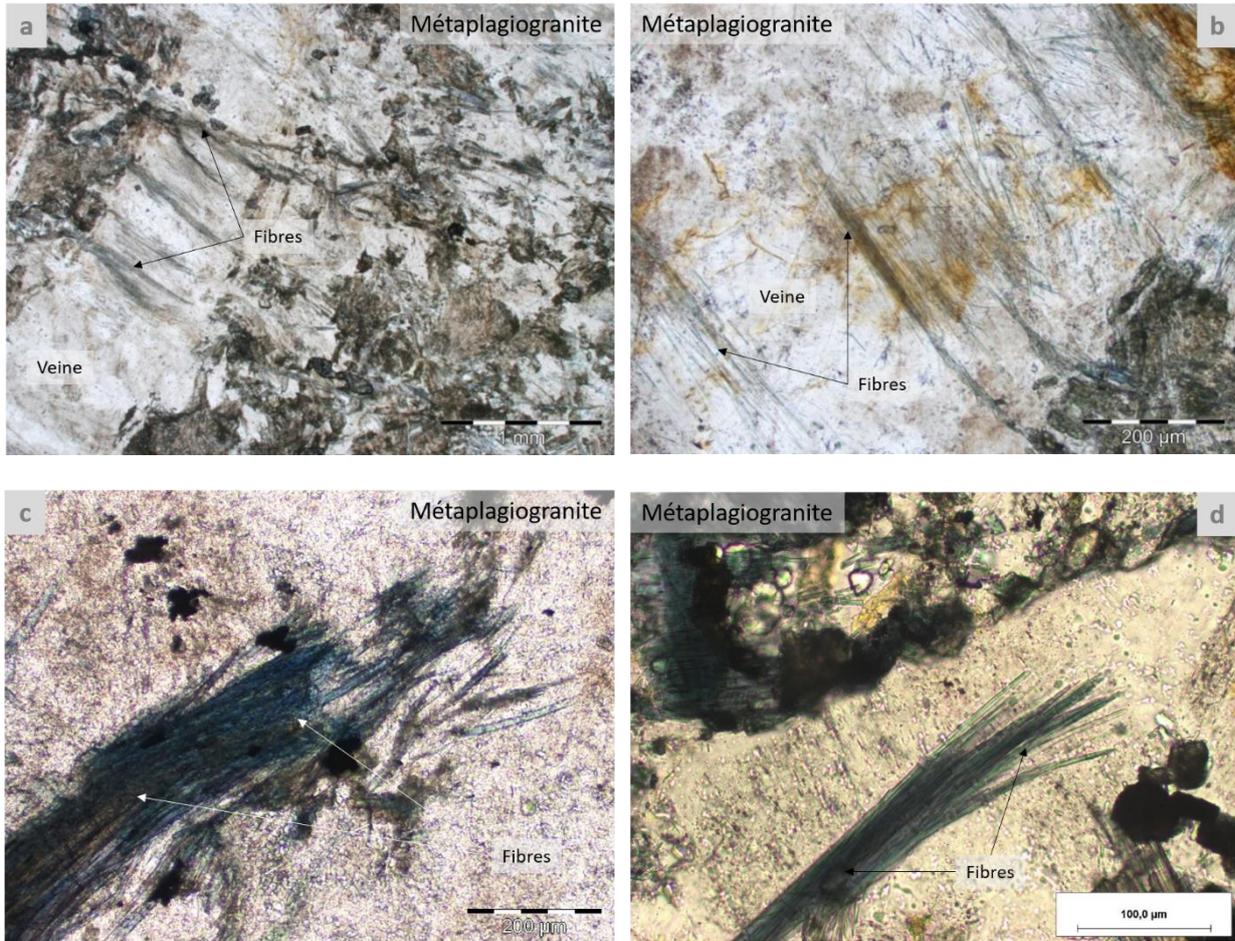


Planche 12 : Exemples de morphologies pour les amphiboles sodiques des roches du groupe 2C. Les amphiboles correspondent aux plages noires sur les images MOLP :  
a-b : Granite alcalin à riébeckite de Bonifato (Haute-Corse) ;  
c-d : Granite alcalin à riébeckite, parfois fibreuse, d'Aitone (Haute-Corse).



*Planche 13 : Exemples d'amphiboles fibreuses observées dans des métaplagiogranites (Groupe 2C) : a-b : Métaplagiogranite à veines fibreuses (Hautes-Alpes) ; c : Amas fibreux observé dans un métaplagiogranite (Haute-Corse) ; d : Fibres observées dans un métaplagiogranite à ferro-glaucophane et riebeckite (Haute-Corse).*

Le potentiel amiantifère des roches du groupe 2C peut être considéré comme nul à très faible dans les roches plutoniques. Il sera sans doute plus élevé dans les roches métamorphisées et déformées, en particulier les métaplagiogranites. Dans le cadre d'une recherche d'amiante, toutes les roches du groupe 2C ainsi que les sols résultant de leur altération devront faire l'objet d'une analyse détaillée.

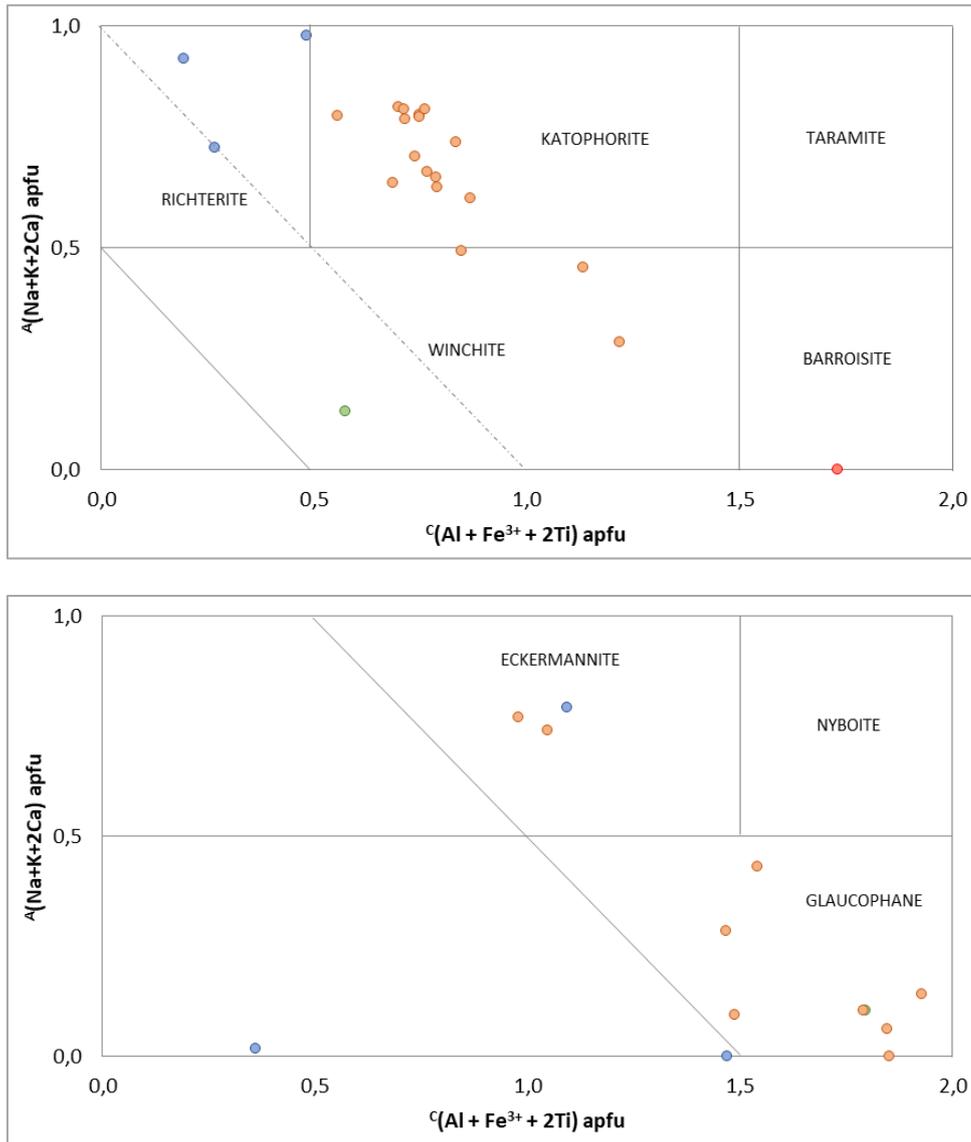


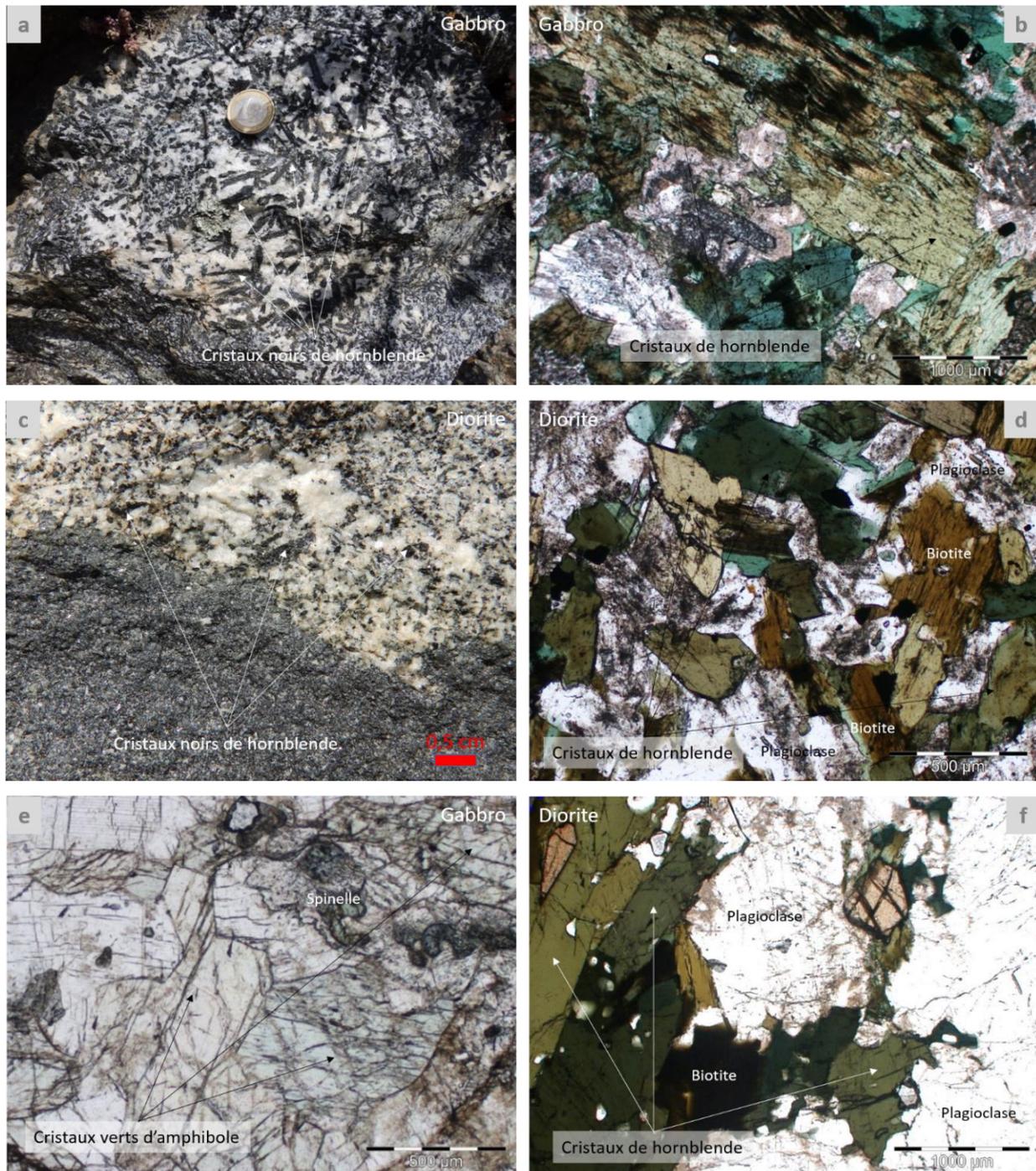
Figure 9 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calco-sodiques (haut) et sodiques (bas) acquises à partir de roches du groupe 2C

### 3.2.4. Les roches du groupe 2D (Type II)

Les roches du groupe 2D correspondent à des roches plutoniques plus pauvres en quartz que les précédentes (< 20 %) et indemnes de tout processus de recristallisation tardi-magmatique et/ou métamorphique (Tableau 5). Il s'agit de diorites, de gabbros, de diorites et gabbros quartzifères, de monzodiorites, de monzogabbros, de monzodiorites et de monzogabbros quartzifères, de monzonites, de monzonites quartzifères, de syénites et de syénites quartzifères (Figure 6). Les roches magmatiques basiques de type dolérites (dont ophites), lamprophyres (dont vaugnérites) et teschénites ont également été rattachées à ce groupe.

Ces roches contiennent presque toujours des pyroxènes et/ou des amphiboles dans leur paragenèse magmatique, parfois associés à des olivines (Planche 14). Les amphiboles calciques ont des compositions variables qui vont du champ des tschermakites à celui de l'actinolite/trémolite (Figure 10).

Le potentiel amiantifère de ces roches ne peut être considéré comme nul que si la paragenèse magmatique n'a subi aucune modification métamorphique ou hydrothermale. Dans la nature, ce cas de figure ne sera rencontré que de façon exceptionnelle. Dans le cadre d'une recherche d'amiante intéressant ces types de roches et en l'absence d'information précise sur leur minéralogie, il conviendra de toujours les considérer comme appartenant au groupe 2E (*cf. infra*).



*Planche 14 : Morphologie des amphiboles calciques des roches du groupe 2D :  
a-b : Gabbro à amphibole (Corse du Sud) ; c-d : Diorite à amphibole (Corse du Sud) ;  
e : Gabbro à amphibole-spinelle (Auvergne) ; f : Diorite à magnésio-hastingsite (Limousin).*

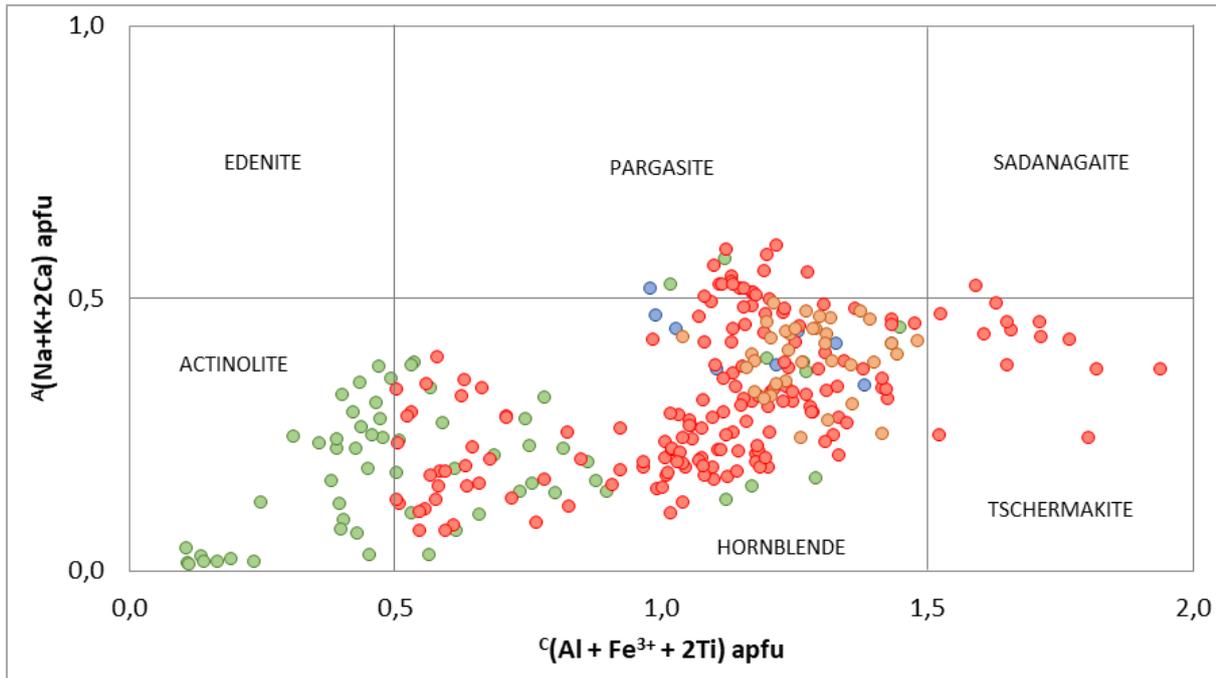


Figure 10 : Exemples d'analyses d'amphiboles calciques dans des roches du groupe 2D.

### 3.2.5. Les roches groupe 2E (Type II)

Les roches de ce groupe correspondent à tous les dérivés, plus ou moins déformés et métamorphisés, des roches du groupe précédent (2D) (Tableau 5). Ces roches correspondent donc à différents types pétrographiques, certains fréquemment rencontrés dans la nature : méta(monzo)gabbros, méta(monzo)diorites, métamonzonites, métasyénites, métadolérites, ophites hydrothermalisées, métalamprophyres, teschérites hydrothermalisées, amphibolites, éclopites rétrotransformées, etc. Le potentiel amiantifère de certaines roches composant ce groupe est aujourd'hui bien documenté, en particulier les métadolérites et certains métagabbros ophiolitiques (Lahondère *et al.*, 2018 ; Lahondère *et al.*, 2019).

Des amphiboles sont fréquemment rencontrées dans toutes les roches du groupe 2E. Elles correspondent majoritairement à différentes espèces d'amphiboles calciques (Figure 11). Des amphiboles ferro-magnésiennes peuvent également être rencontrées, ainsi que des amphiboles calco-sodiques et sodiques, en fonction des conditions métamorphiques auxquelles ces roches ont été soumises.

La morphologie des amphiboles associées aux roches du groupe 2E est très dépendante des déformations que ces roches ont ou non subies. D'une manière très générale, les amphiboles observées possèdent des morphologies d'autant plus fibreuses et allongées que la roche-hôte a été soumise à des déformations ductiles importantes. Lorsque ces roches n'ont pas subi de telles déformations et que les textures initiales sont préservées, les amphiboles néoformées présentent généralement des morphologies non fibreuses ou plus trapues (Planche 16).

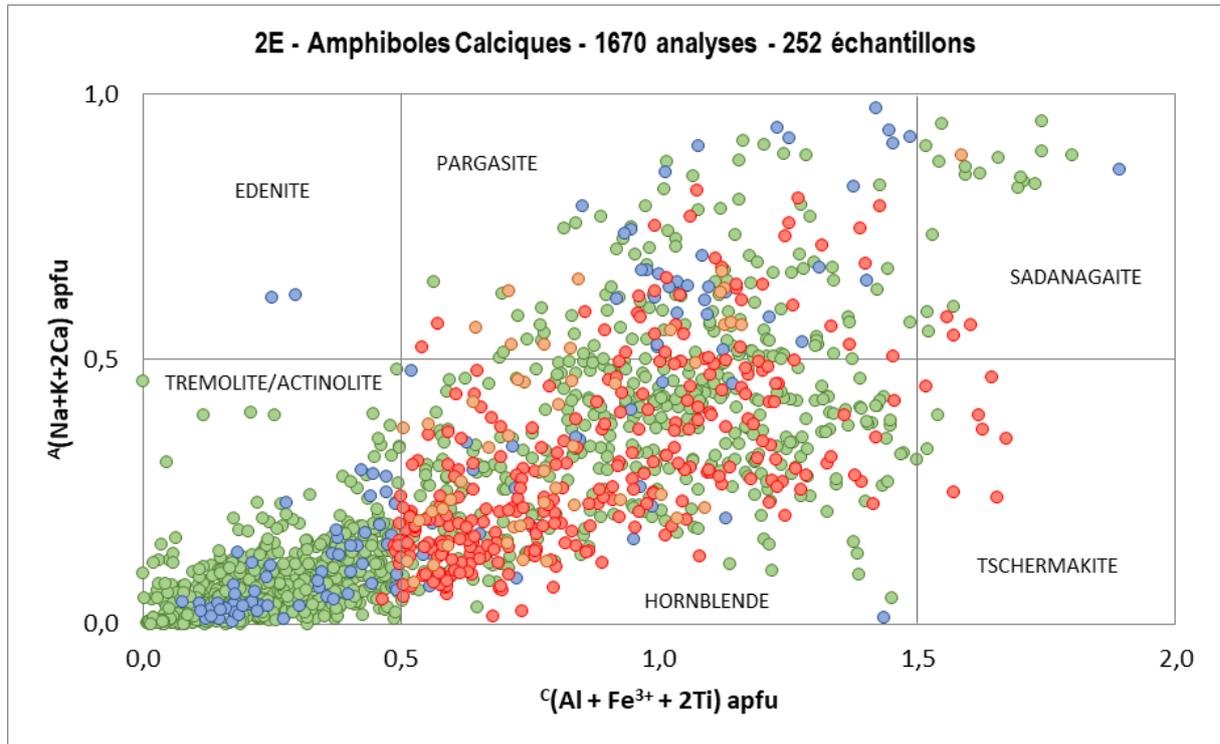
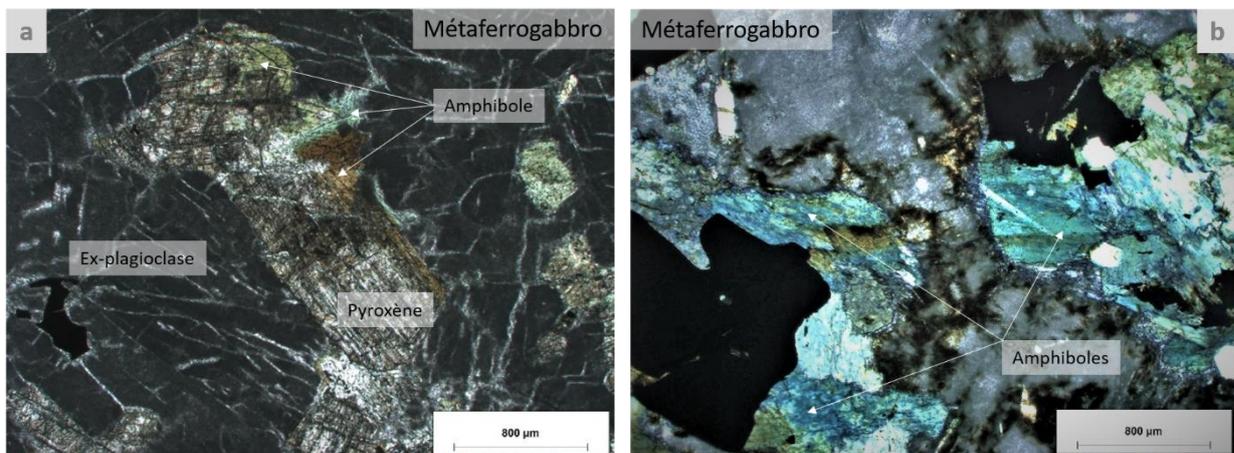


Figure 11 : Exemples d'analyses d'amphiboles calciques dans des roches du groupe 2<sup>E</sup>.

### a) Les métagabbros

Les espèces d'amphiboles rencontrées dans un échantillon de métagabbro dépendent de la composition chimique du gabbro et des conditions métamorphiques (P, T) auxquelles ce gabbro a été soumis. Dans les métagabbros ophiolitiques, généralement très déformés, des zones internes des Alpes occidentales et de Haute-Corse, les amphiboles les plus fréquemment rencontrées sont des actinolites très magnésiennes dans les métagabbros aluminomagnésiens et des amphiboles calco-sodiques (winchite) et sodiques (glaucophane) dans les métagabbros ferrotitanés (Planche 15).



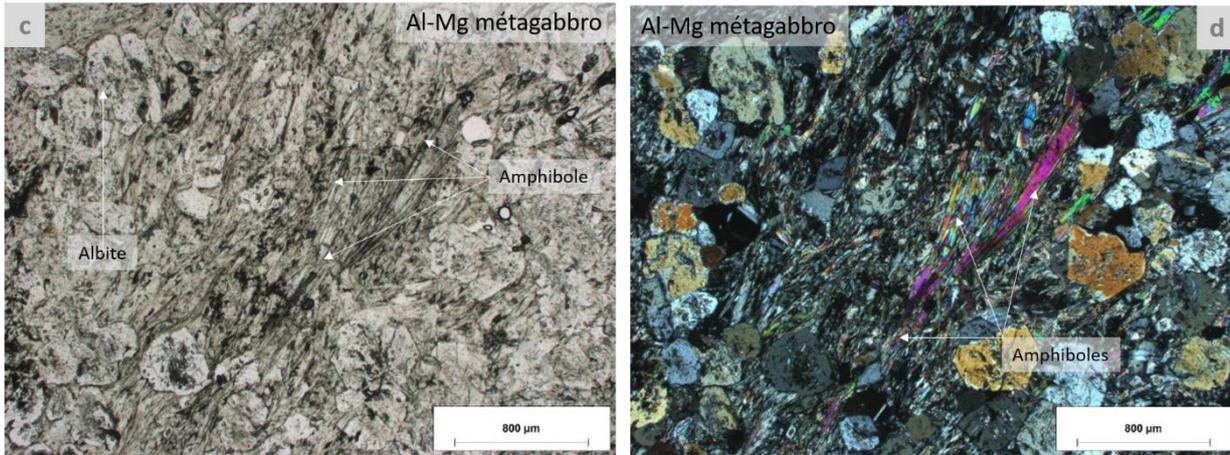


Planche 15 : Exemples de morphologies d'amphiboles dans des métagabbros ophiolitiques :  
a-b : Métagabbro ferrotitané à ferro-hornblende et ferro-ferri-winchite non fibreuses (Haute-Corse) ;  
c-d : Métagabbro alumino-magnésien, très déformé, à longues fibres d'actinolite (Haute-Corse).

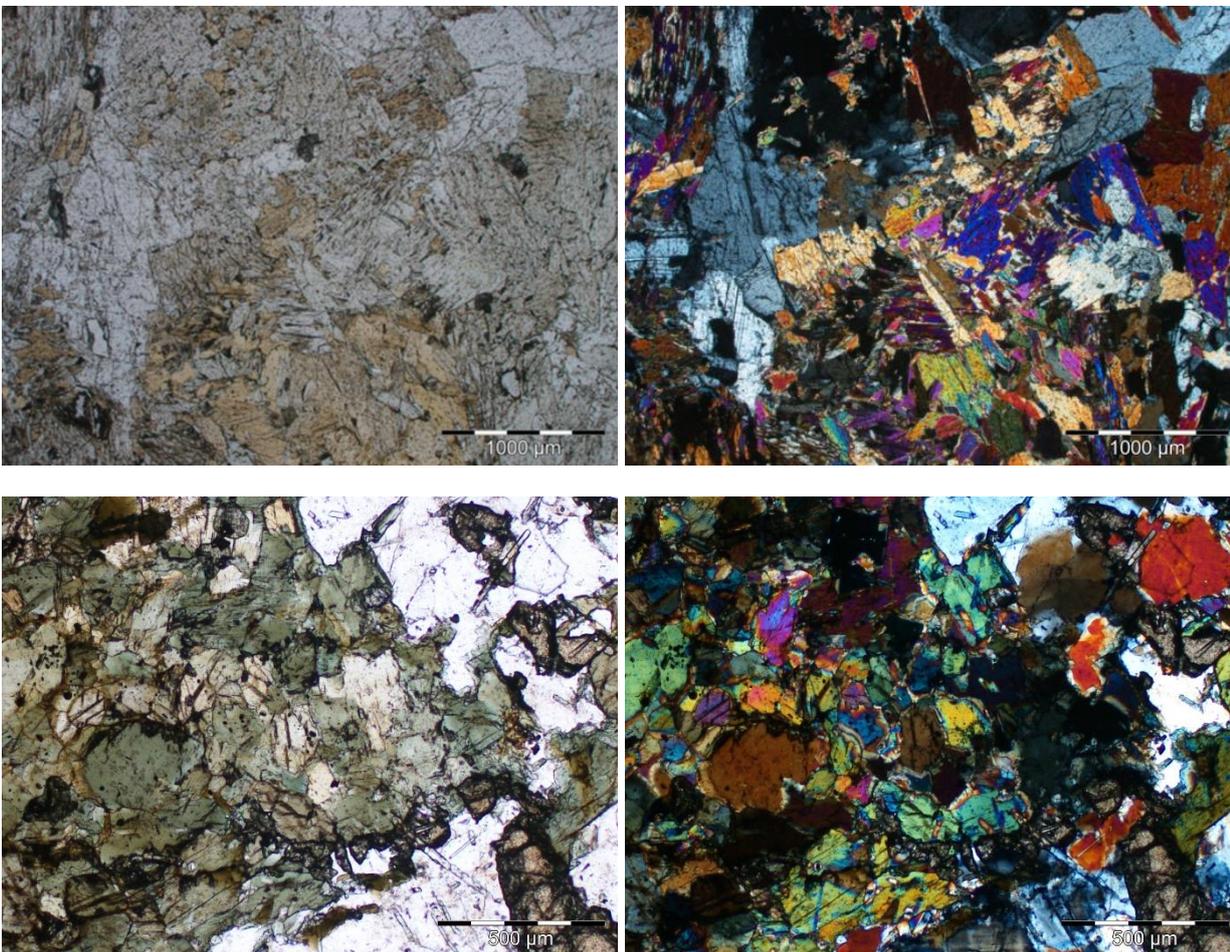
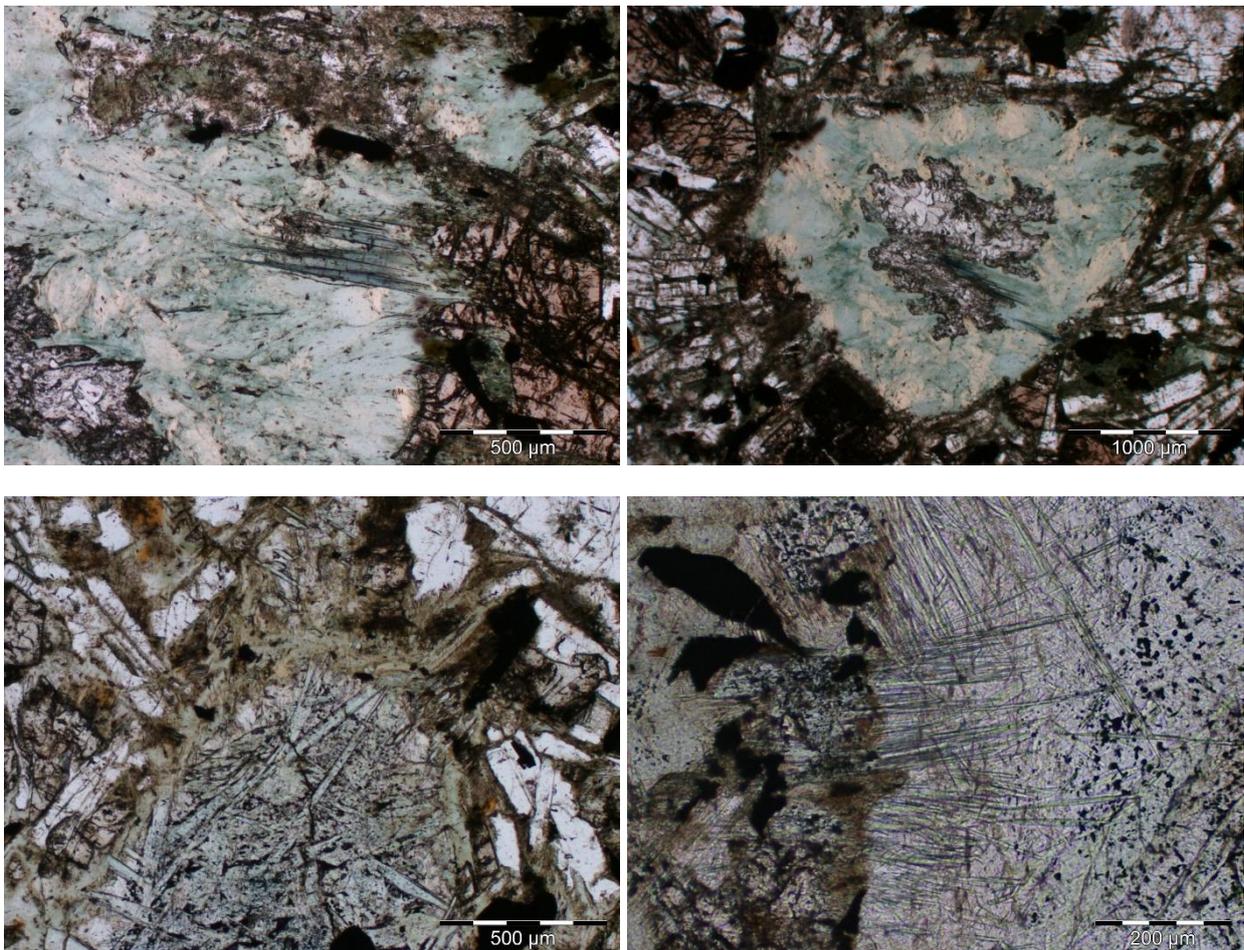


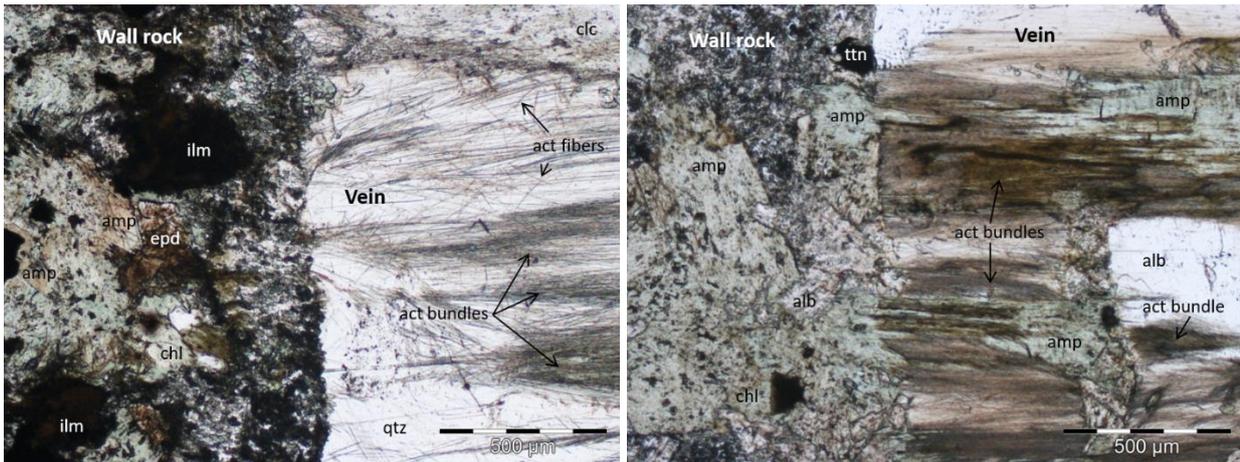
Planche 16 : Exemples de morphologies d'amphiboles, non fibreuses, dans des métagabbros :  
a-b : Métagabbro à magnésio-hornblende, cummingtonite et phlogopite (Ariège) ;  
c-d : Syénodiorite non déformée, à hornblende, actinolite et biotite (Haute-Corse).

### **b) Les dolérites (dont ophites) hydrothermalisées**

Le potentiel amiantifère des dolérites hydrothermalisées a récemment été documenté (Lahondère *et al.*, 2019). Des amphiboles fibreuses de type actinolite et ferro-actinolite ont été régulièrement identifiées dans ces dolérites hydrothermalisées, et ce quel que soit le domaine géologique concerné. Dans la masse de la roche, les amphiboles cristallisent aux dépens des clinopyroxènes magmatiques et leur caractère fibreux n'est pas toujours évident. Dans les veines polyminérales qui recoupent ces dolérites hydrothermalisées, les fibres d'actinolite et de ferro-actinolite possèdent en revanche des morphologies nettement plus fibreuses à asbestiformes (Planche 17).

Les ophites sont des dolérites qui possèdent une texture particulière (texture ophitique), caractérisée par la présence de grands cristaux poecilites de pyroxène englobant de petites lattes de plagioclase automorphe (andésine, labrador). Des dolérites à texture ophitique affleurent en de nombreux points, dans la partie occidentale de la chaîne des Pyrénées, sous forme de petits massifs et/ou de pointements de roches sombres. Ces ophites sont souvent hydrothermalisées et affectées par des recristallisations dans les conditions métamorphiques du faciès schiste vert. Les assemblages minéralogiques identifiés dans ces ophites peuvent être riches en actinolite fibreuse, localement asbestiforme.





*Planche 17 : Exemples de morphologies d'amphiboles dans des dolérites hydrothermalisées :*  
 Haut : Vacuoles à chlorite et actinolite (Côtes d'Armor) ;  
 Centre : Vacuole à fibres d'actinolite (à gauche) et veine à actinolite fibreuse (à droite) (Ille-et-Vilaine) ;  
 Bas : Veine à quartz et actinolite fibreuse en faisceaux (à gauche ; Tarn)  
 et veine à albite et actinolite fibreuse en faisceaux (à droite ; Deux-Sèvres).

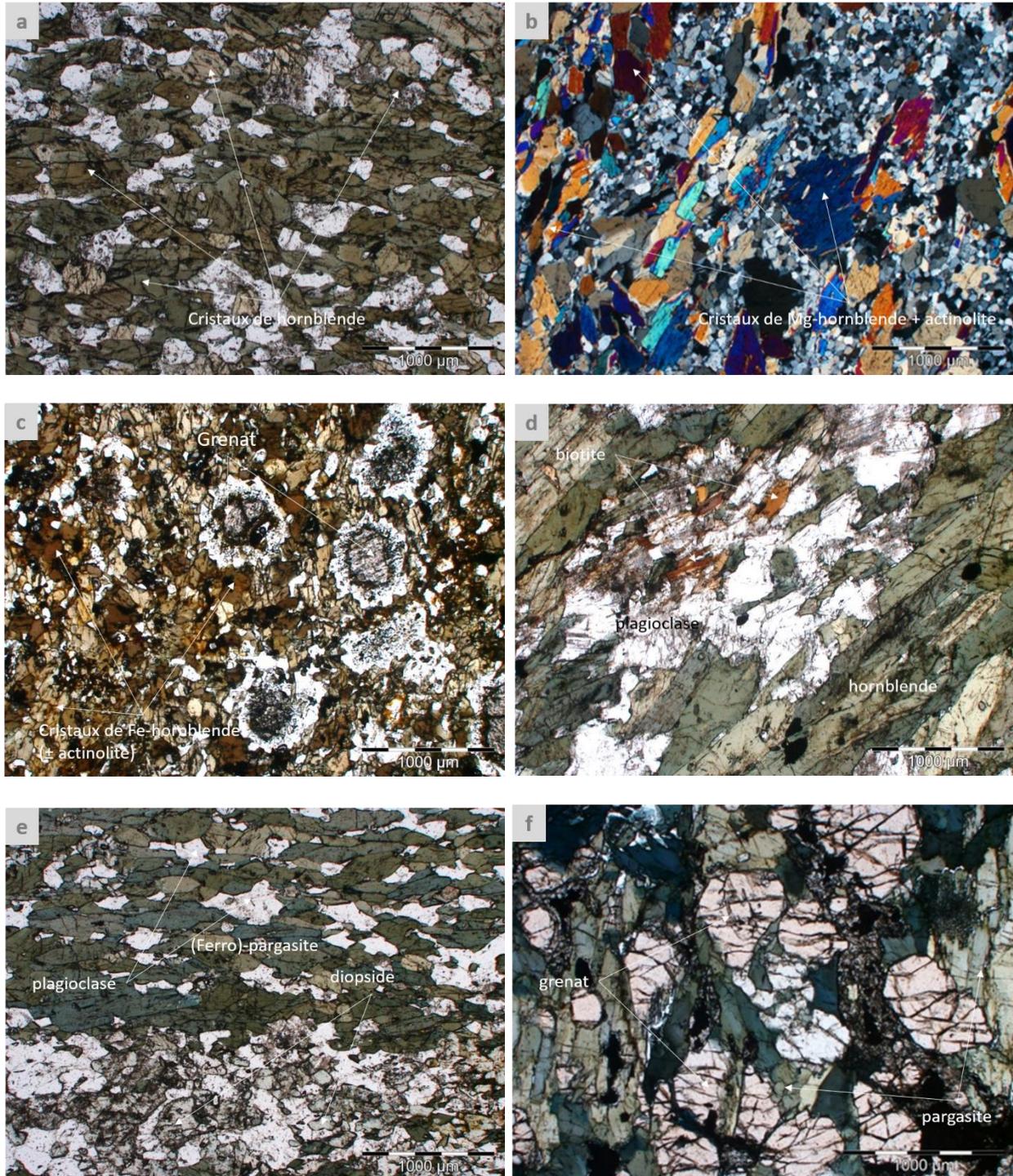
### c) Les amphibolites

Les amphibolites sont des roches métamorphiques du métamorphisme général (mésozone) à amphiboles et plagioclases, généralement sombres et massives. Elles sont essentiellement constituées par des cristaux d'amphibole plus ou moins alignés et disposés à plat dans les plans de schistosité ou de foliation. Les amphibolites peuvent dériver de plusieurs types de roches, notamment volcano-sédimentaires et magmatiques. Les amphibolites issues du métamorphisme d'anciennes roches magmatiques de type basaltes, diorites ou gabbros sont parfois dénommées ortho-amphibolites.

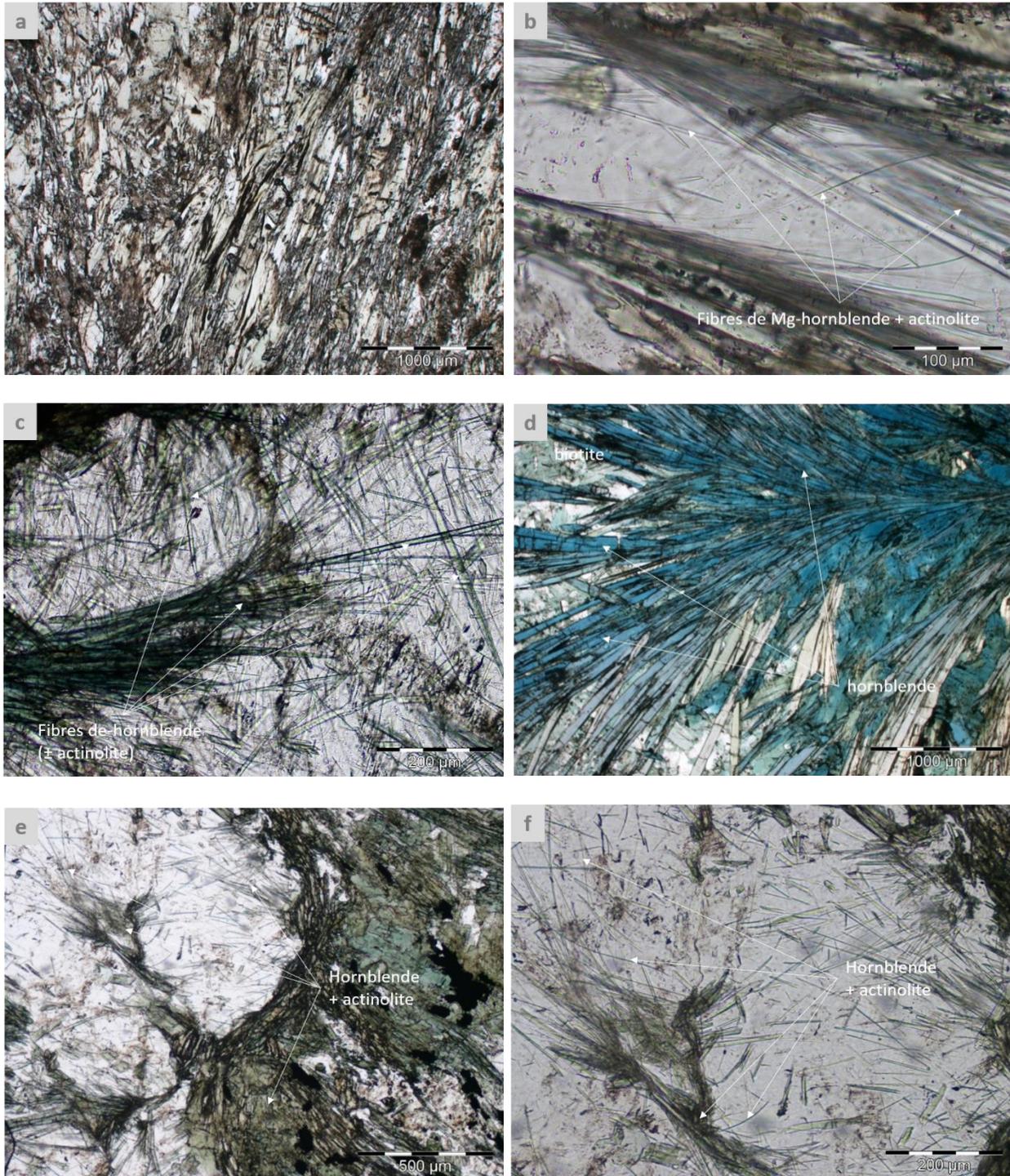
Les amphiboles présentes dans les amphibolites sont le plus souvent des hornblendes. Dans les faciès les plus pauvres en calcium, les amphiboles sont des amphiboles ferro-magnésiennes (cummingtonite, anthophyllite, gédrite, grunérite). Des amphiboles calciques de type actinolite sont régulièrement identifiées dans les amphibolites affectées par des recristallisations dans les conditions du faciès schiste vert. Les amphiboles observées ont des morphologies très variables, parfois massives et trapues (texture granoblastique), parfois très allongées à fibreuses (texture nématoblastique). D'une manière très générale, ces amphiboles ne possèdent pas une morphologie asbestiforme. Des photographies illustrant les morphologies des amphiboles présentes dans les amphibolites sont proposées ci-après (Planche 18).

Les morphologies les plus fibreuses sont généralement rencontrées dans les amphibolites affectées par des recristallisations dans les conditions du faciès schiste vert. Ces recristallisations s'accompagnent très souvent par l'ouverture de veines métamorphiques colmatées par des assemblages à albite, épidote et actinolite ( $\pm$  quartz, K-feldspath, chlorite), souvent minéralisées (sulfures) (Planche 19). Ces veines claires sont facilement identifiables sur le terrain et constituent les objets géologiques identifiables d'un point de vue macroscopique les plus à même d'héberger des occurrences fibreuses asbestiformes (actinolite-amiante).

Dans le cadre d'une recherche d'amiante avant travaux, la présence de ce type de veines devra systématiquement être contrôlée. Si de telles veines sont identifiées, elles devront être échantillonnées et faire l'objet d'observations détaillées.



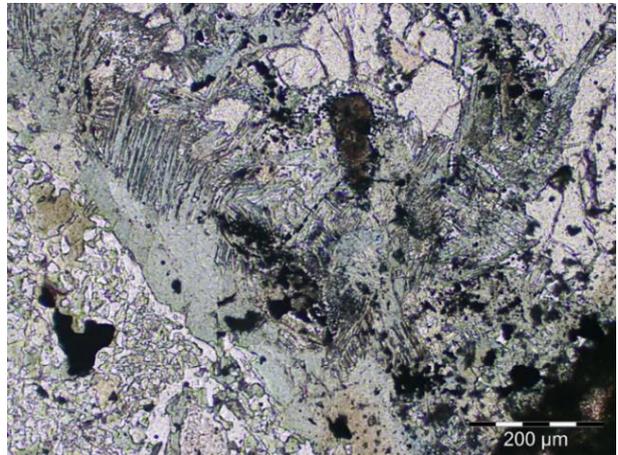
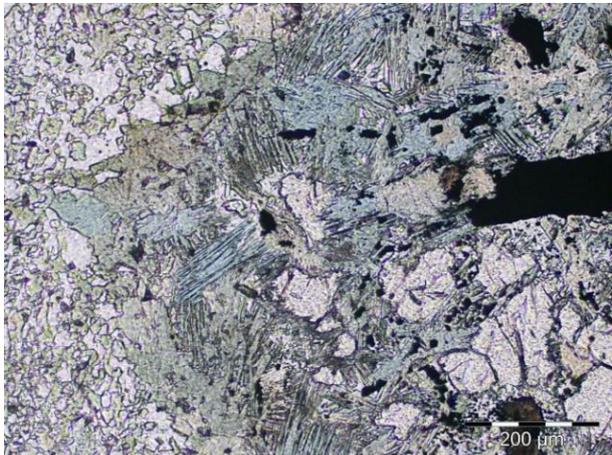
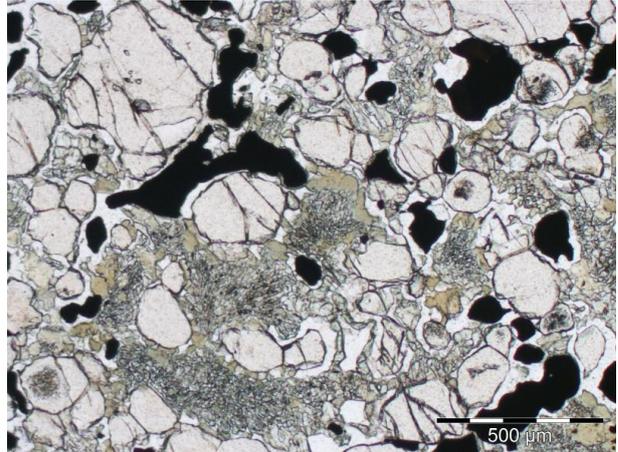
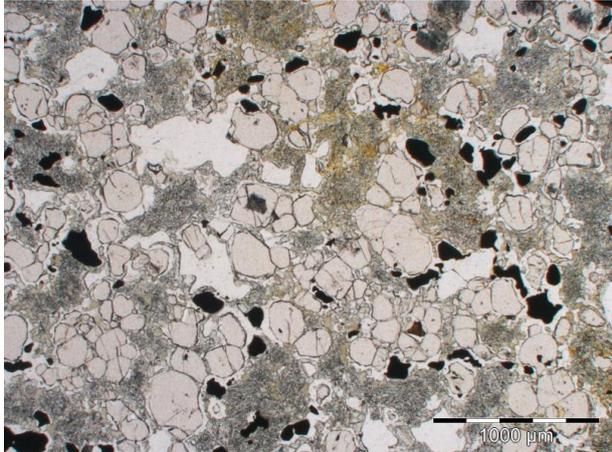
*Planche 18 : Exemples de morphologies d'amphiboles dans des amphibolites :*  
*a : Amphibolite à magnésio-hornblende et pargasite (Limousin) ;*  
*b : Amphibolite à magnésio-hornblende et actinolite (Limousin) ;*  
*c : Amphibolite à grenat, magnésio-ferri-hornblende et actinolite (Limousin) ,*  
*d : Amphibolite à magnésio-ferri-hornblende (Limousin) ;*  
*e : Amphibolite à diopside, ferro-pargasite et pargasite (Limousin) ;*  
*f : Amphibolite à katophorite, pargasite et grenat (Albigeois).*



*Planche 19 : Exemples d'amphiboles fibreuses dans des amphibolites :  
a-b : Amphibolite à fibres de magnésio-hornblende et d'actinolite (Limousin) ;  
c-d : Amphibolite à fibres de magnésio-hornblende (Vendée) ;  
e-f : Amphibolite à fibres de magnésio-hornblende et d'actinolite (Loire-Atlantique).*

#### d) Les écloğites rétro-morphosées

Les écloğites sont des roches métamorphiques massives et dures, anhydres, à cristaux de grenat rouge et de pyroxène vert (omphacite) ( $\pm$  rutile). La composition chimique d'une écloğite est celle d'un gabbro ou d'un basalte. Les écloğites sont des roches cristallisées à grandes profondeurs, à des pressions de l'ordre ou supérieures à 10 kbar. Observées à la surface terrestre, les écloğites sont souvent rétro-morphosées, ce qui se traduit par la déstabilisation des cristaux d'omphacite et la cristallisation d'amphiboles. D'une manière très générale, les amphiboles observées dans les écloğites rétro-morphosées ne possèdent que très rarement une morphologie fibreuse. Ceci est lié au fait que ces amphiboles cristallisent directement aux dépens et sur le site même des cristaux d'omphacite, lesquels sont caractérisés par des formes plutôt trapues (Planche 20).



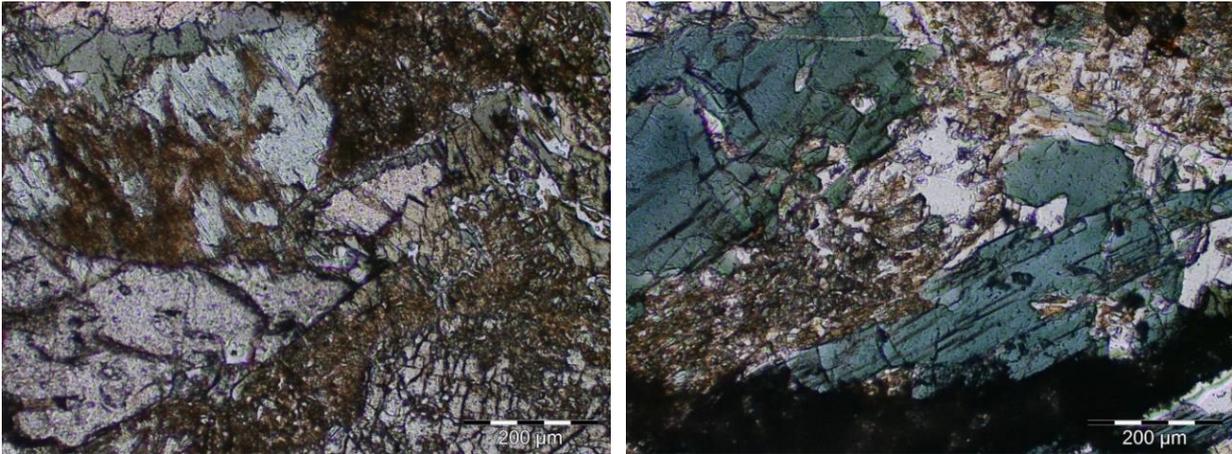
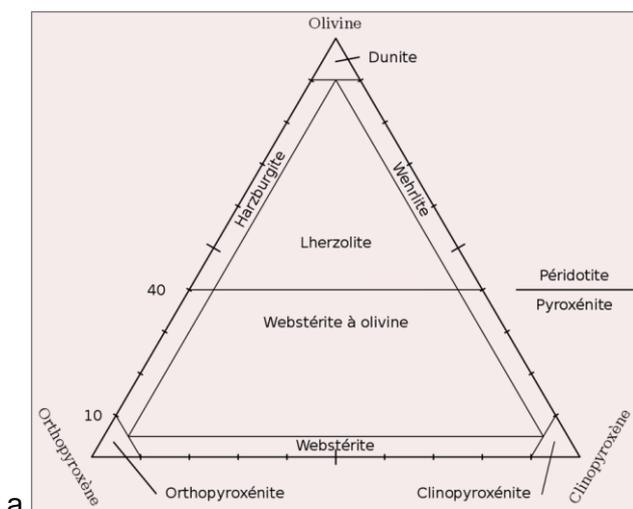


Planche 20 : Exemples de morphologies d'amphiboles dans des éclogites amphibolitisées :  
 Haut : Éclogite très peu rétroformosée (Auvergne) ; Centre : Éclogite rétroformosée à sadanagaite (Albigeois) ; Bas : Éclogite rétroformosée à ferro-pargasite (Albigeois).

### 3.2.6. Les roches du groupe 2F (Type III)

Les roches du groupe 2F correspondent aux roches ultrabasiqes (péridotites, pyroxénites), lesquelles renferment entre 90 et 100 % de minéraux ferromagnésiens (olivines, orthopyroxènes, clinopyroxènes). Les distinctions pétrographiques suivantes sont admises (Figure 12) :

- dunites (olivine > 90 %) ;
- péridotites (90 % > olivine > 40 %) ;
- clinopyroxénites (clinopyroxène > 90 %) ;
- orthopyroxénites (orthopyroxène > 90 %) ;
- wehrlites (péridotites à clinopyroxènes) ;
- harzburgites (péridotites à orthopyroxènes) ;
- lherzolites (péridotites à clinopyroxènes et orthopyroxènes).



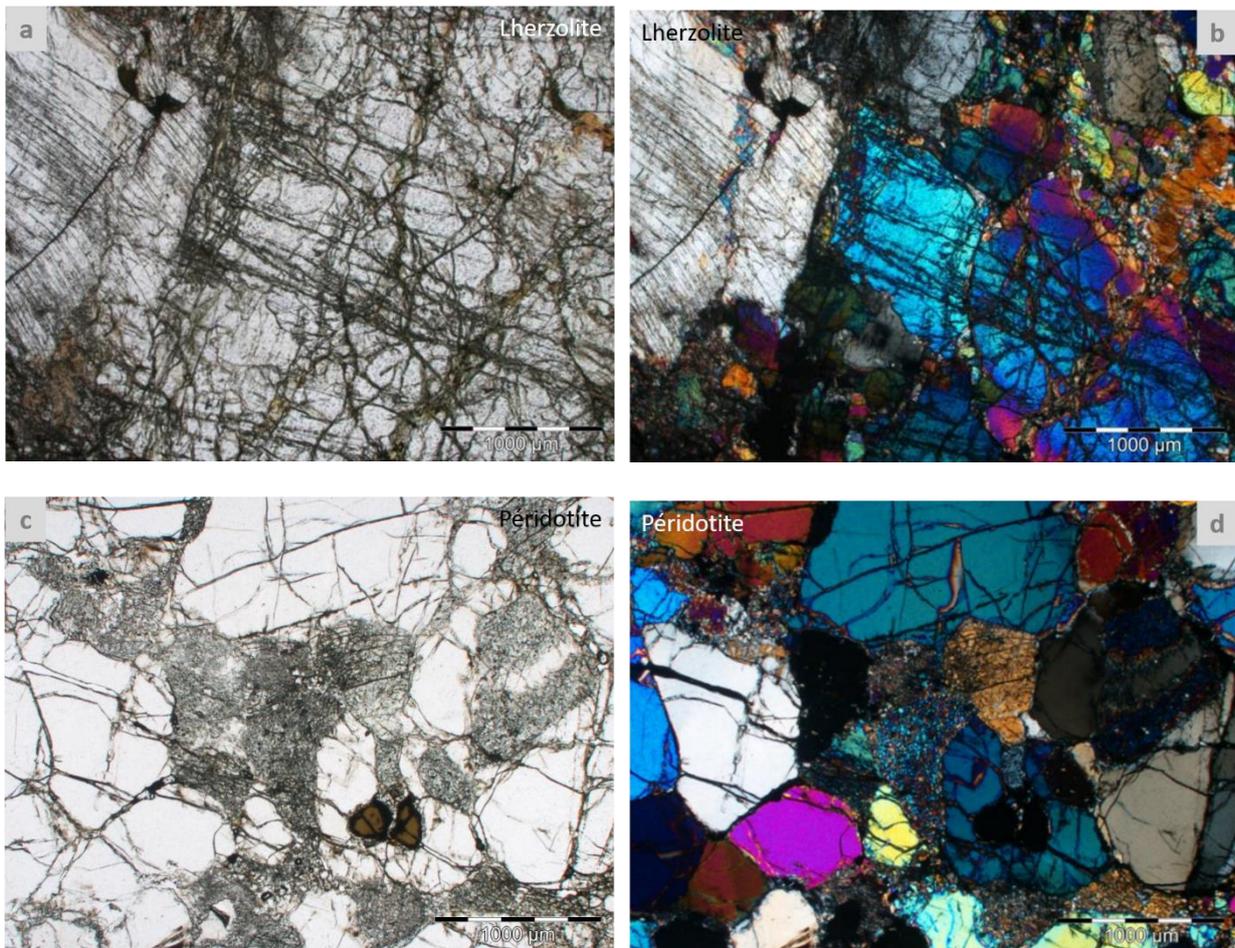
BOMBE VOLCANIQUE BASALTIQUE A ENCLAVE DE PERIDOTITE  
 (Mont Coupet près de Langeac / Hte. Loire) n° 178 (9 cm x 10 cm env.) Collection : Y. & C. LEMEUR

Figure 12 : Classification des roches ultrabasiqes (a) et exemple d'enclave de péridotite (b).

Lorsque les roches de ce groupe ne sont pas affectées par des processus métamorphiques et/ou hydrothermaux, elles ne sont pas susceptibles de contenir des fibres d'amiante. Mais, dans la nature, il est cependant exceptionnel d'observer des roches ultrabasiques totalement préservées et indemnes de toute recristallisation. Des occurrences de péridotites saines ont été identifiées dans des lherzolites des Pyrénées (occurrences ponctuelles) et dans les basaltes du Massif central, sous forme d'enclaves (Figure 12, Planche 21).

**D'une manière très générale, les roches du groupe 2F sont affectées, à des degrés divers, par des processus métamorphiques et/ou hydrothermaux, lesquels se traduisent par la déstabilisation des pyroxènes magmatiques et par la cristallisation d'amphiboles calciques (actinolite, trémolite) et ferro-magnésiennes (anthophyllite). Les olivines sont également fréquemment déstabilisées et serpentinisées. Pour cette raison, une attention particulière devra toujours être accordée à ce groupe de roches, même lorsqu'elles ne sont pas considérées ou connues comme ayant subi des recristallisations (les recristallisations hydrothermales ne sont pas toujours mentionnées).**

Dans le cadre d'une recherche d'amiante intéressant ces types de roches et en l'absence d'information précise sur l'importance et la nature des processus de recristallisation, il conviendra donc de les considérer comme appartenant au groupe 2G (*cf. infra*).



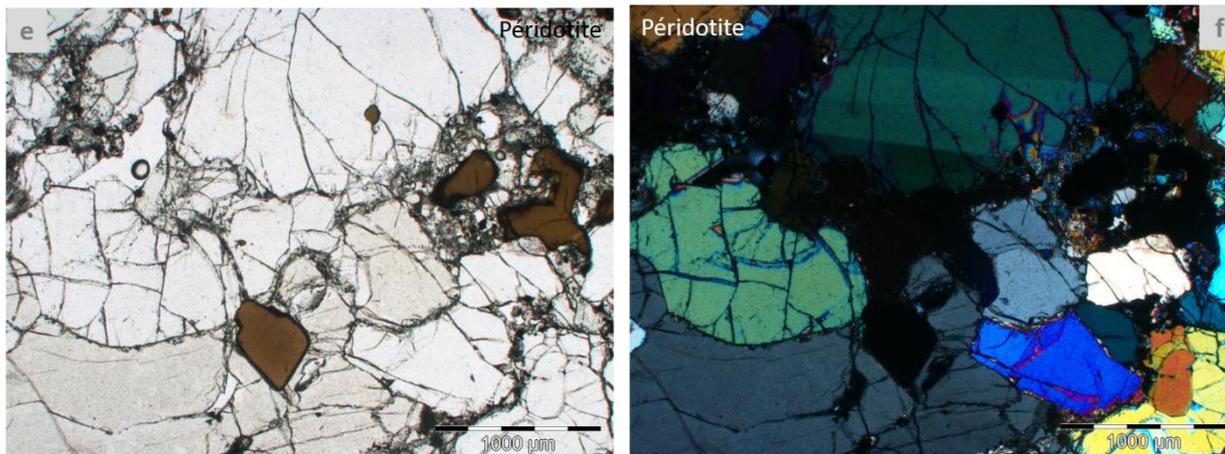


Planche 21 : Textures caractéristiques des roches du groupe 2F :  
a, b : Lherzolite (Ariège) ; c, d : Péridotite (Auvergne) ; e, f : Nodule de péridotite (Auvergne).

### 3.2.7. Les roches du groupe 2G (Type III)

Le groupe 2G correspond aux roches ultrabasiques serpentinisées (péridotites serpentinisées, serpentinites, métapyroxénites, etc.). Dans ces différentes roches, les minéraux ferromagnésiens qui constituent les péridotites sont partiellement ou complètement destabilisés et transformés en un assemblage de minéraux secondaires pouvant inclure des serpentines (lizardite, chrysotile, antigorite), du talc, des amphiboles (trémolite, anthophyllite) et des granules opaques. Cette destabilisation peut se faire sans que la roche ne soit déformée dans le même temps, conduisant au développement de textures pseudomorphiques plus ou moins complètes.

Les péridotites serpentinisées et les serpentinites constituent les plus importants gisements d'amiante exploités à ce jour. En Haute-Corse, la mine d'amiante de Canari a exploité des serpentinites à chrysotile très fracturées. Le lecteur trouvera des informations complémentaires en cliquant sur le lien suivant (<https://doi.org/10.1007/s12665-019-8548-x>).

D'autres variétés de roches ont été associées à ce groupe, du fait de leur mode de gisement et de leur association très étroite avec des serpentinites et des péridotites serpentinisées. Il s'agit de toutes les roches de type talcschistes à actinolite et/ou trémolite, chloritoschistes à actinolite et/ou trémolite et ophicalcites<sup>12</sup>. Les talcschistes et les chloritoschistes sont des roches très souvent associées à des serpentinites très déformées<sup>13</sup>.

Au groupe 2G ont également été rattachées les auréoles réactionnelles que l'on observe parfois au contact entre des lithologies ultrabasiques et des roches acides (Planche 7).

Les amphiboles observées dans les roches du groupe 2G sont majoritairement des amphiboles calciques (pargasites, hornblendes, actinolite, trémolite) (Figure 13), plus rarement des amphiboles ferro-magnésiennes (anthophyllite).

<sup>12</sup> Le terme « Ophicalcite » peut recouvrir des roches d'origine variée. Il s'agit de roches carbonatées à éléments de serpentinites, souvent recoupées par des veines fibreuses à serpentine et/ou trémolite.

<sup>13</sup> Ces roches peuvent également être rencontrées dans des massifs de metabasaltes et de métagabbros très déformés.

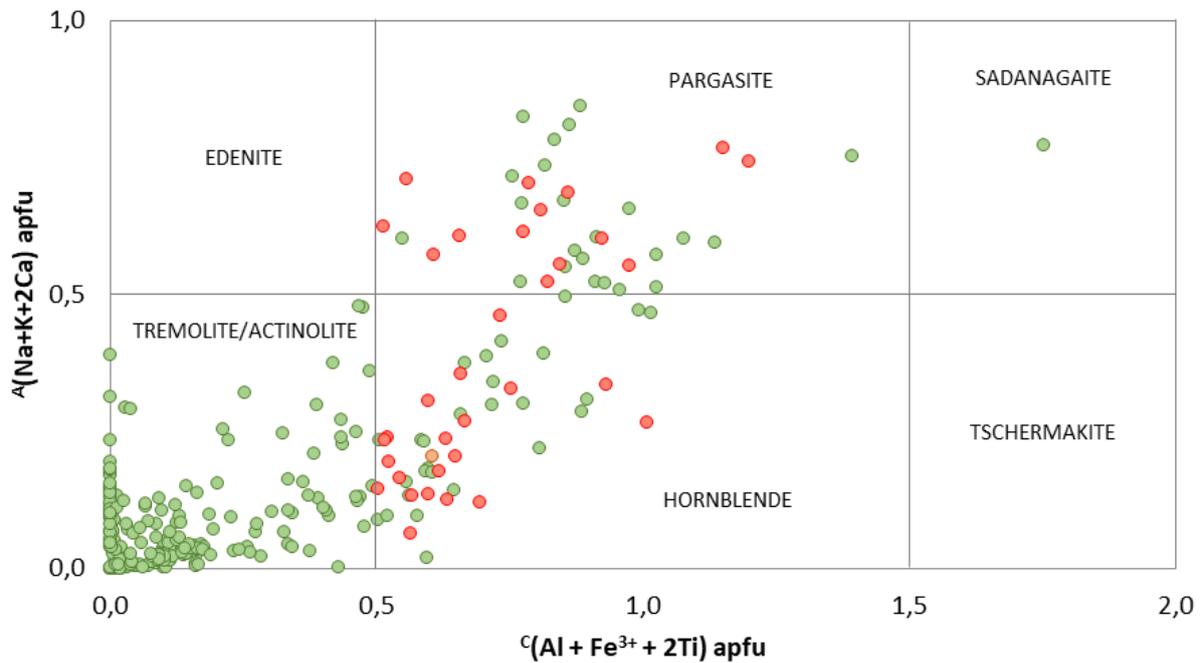
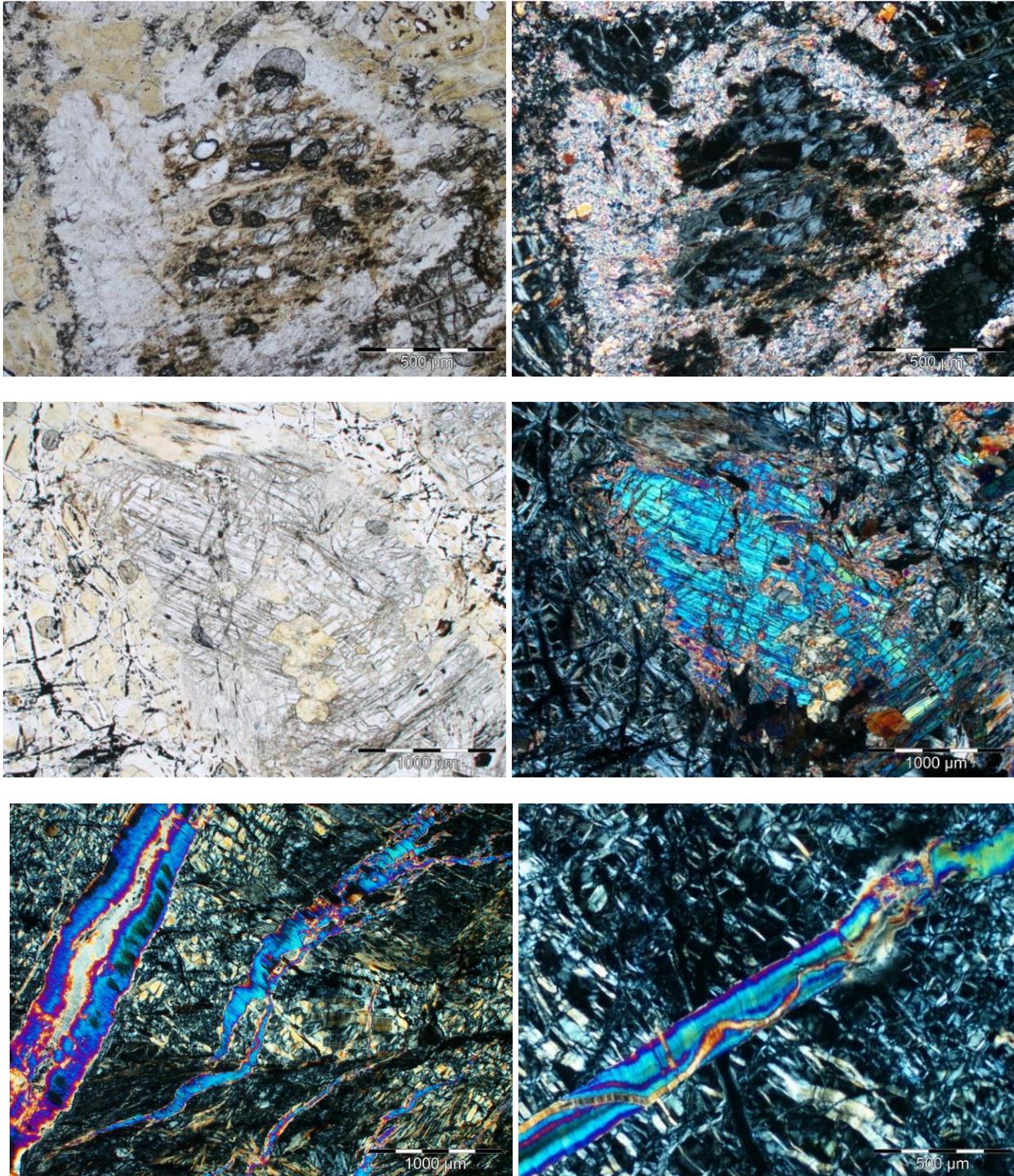
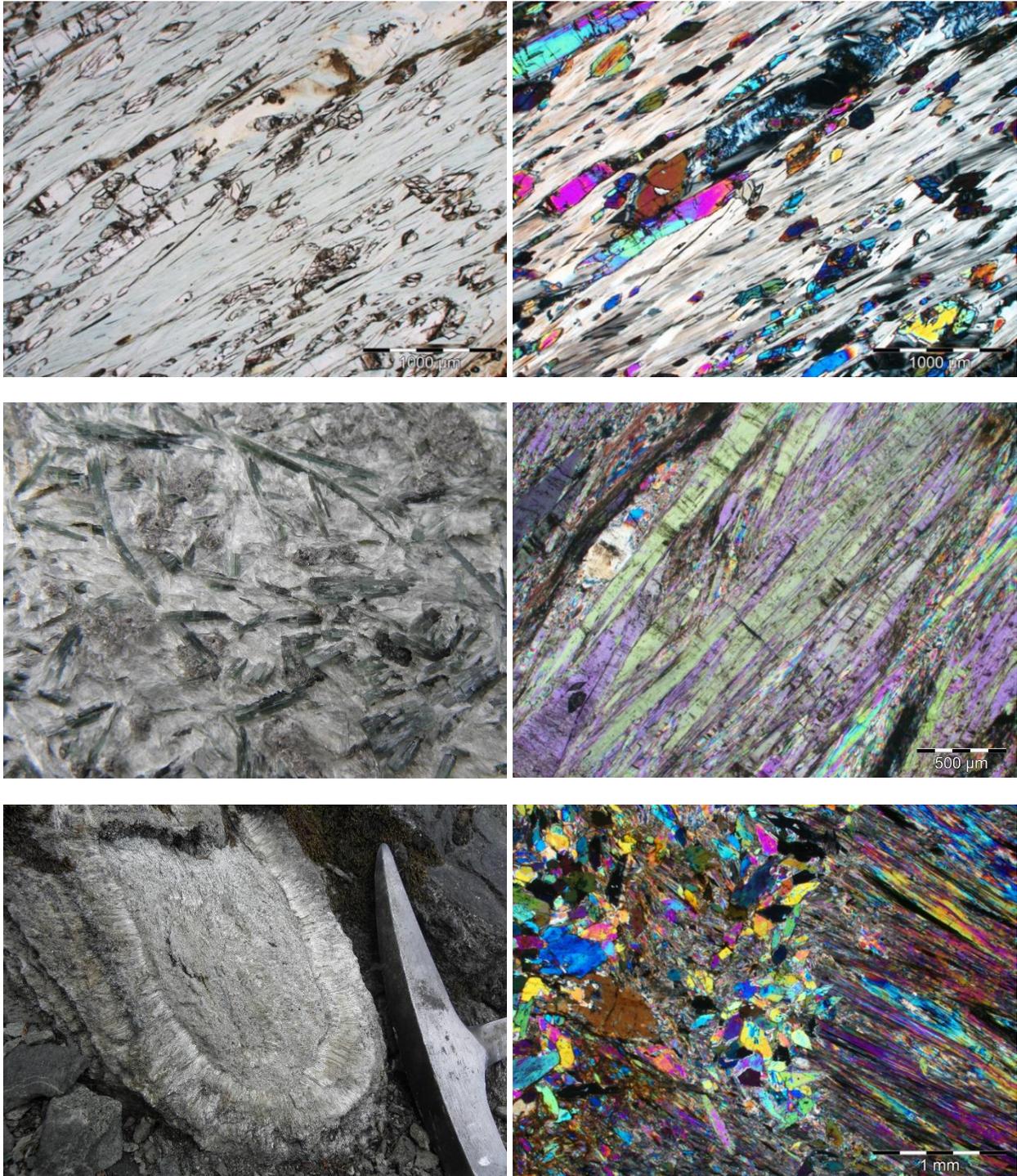


Figure 13 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques de roches du groupe 2G.

Dans le cadre d'une recherche d'amiante, toutes les roches du groupe 2G, à partir du moment où elles sont identifiées ou suspectées, doivent être considérées comme étant probablement amiantifères, et ce même si aucune information disponible ne permet réellement d'étayer ce point.



*Planche 22 : Exemples de textures observées dans des péridotites serpentinisées (MOLP).  
Haut : Bastite à talc + trémolite développée à partir d'un clinopyroxène (Ariège) ;  
Centre : Clinopyroxène destabilisé en magnésio-hornblende (La Marche) ;  
Bas : Péridotites serpentinisées à veines de chrysotile (Limousin à gauche, Auvergne à droite).*



*Planche 23 : Exemples de textures observées dans des schistes à actinolite et/ou trémolite.  
Haut : Images MOLP d'un schiste à trémolite (Limousin) ;  
Centre : Schistes à grands cristaux verts d'actinolite (Haute-Corse) (à gauche) et image MOLP d'un  
schiste à trémolite-talc-chlorite (Haute-Corse) (à droite) ;  
Bas : Auréole fibreuse réactionnelle à trémolite-anthophyllite-phlogopite (Isère).*

### 3.3. LES ROCHES DE NATURE OU D'ORIGINE VOLCANIQUE

Les roches volcaniques et leurs équivalents métamorphiques ont été classés en trois types (I, II, III) et huit sous-types (3A à 3H ; Tableau 5).

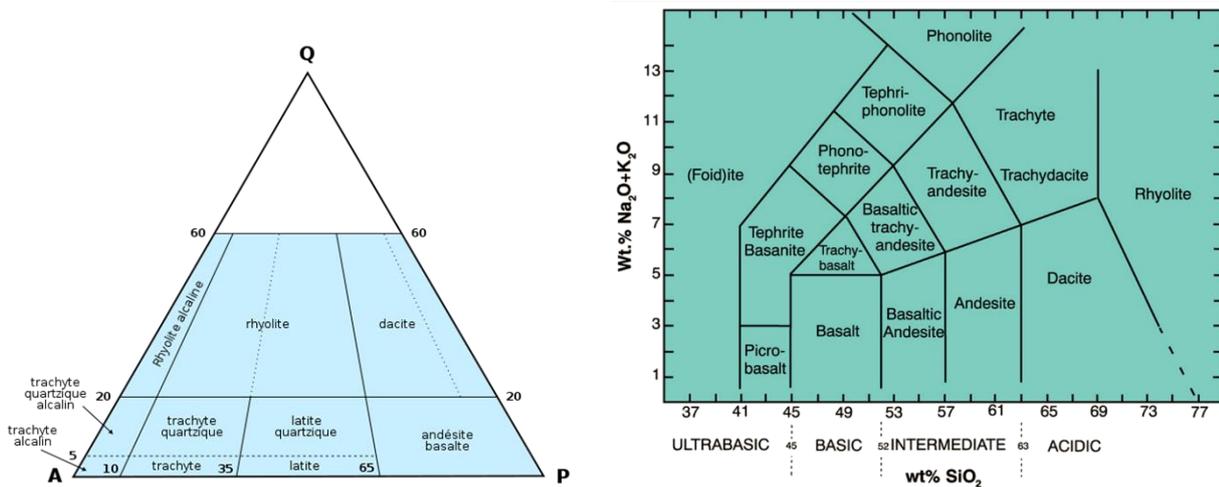


Figure 14 : Classification des roches volcaniques.

#### 3.3.1. Les roches du groupe 3A (Type I)

Les roches rattachées à ce groupe sont des roches volcaniques intermédiaires à acides de type dacites, trachydacites, trachytes et rhyolites (Figure 14).

Des minéraux ferromagnésiens (pyroxènes, amphiboles) peuvent être présents dans la minéralogie magmatique de ces roches, en quantité généralement subordonnée (< 20 %). Ces minéraux ferromagnésiens correspondent souvent à des cristaux automorphes, peu à pas fibreux.

Le potentiel amiantifère de ces roches est inexistant dès lors qu'elles n'ont pas été affectées par des processus hydrothermaux susceptibles d'avoir induit une recristallisation des phases minérales ferromagnésiennes. Dans le cadre d'une recherche d'amiante intéressant ces types de roches et en l'absence d'information précise sur l'intervention ou non de tels processus, il conviendra de les considérer comme appartenant au groupe 3B (*cf. infra*).

#### 3.3.2. Les roches du groupe 3B (Type I)

Les roches de ce groupe correspondent aux équivalents métamorphiques, déformés ou non, des roches du groupe 3A. Il s'agit donc de toutes les roches de type métadacites, métatrachydacites, métatrachytes et métarhyolites ainsi que de tous les orthogneiss de composition dacitique, trachytique ou rhyolitique.

Le potentiel amiantifère de ces roches est aujourd'hui très peu documenté. La présence de minéraux ferromagnésiens dans la minéralogie magmatique rendant possible la cristallisation d'amphiboles fibreuses néoformées dans les termes déformés et métamorphisés, ces roches devront donc faire l'objet de contrôles dans le cadre d'une recherche d'amiante avant travaux. Ces recherches devraient cependant conduire à des diagnostics très souvent négatifs (absence d'amiante).

### 3.3.3. Les roches du groupe 3C (Type I)

Les roches de ce groupe correspondent à des roches acides, de nature ou d'origine volcanique, d'affinité alcaline. Il s'agit des variétés de roches correspondant aux rhyolites alcalines, aux métarhyolites alcalines et aux orthogneiss rhyolitiques alcalins.

À l'instar des granites alcalins (groupe 2C), les rhyolites alcalines peuvent renfermer des minéraux ferromagnésiens sodiques de type aegyrine (pyroxène) ou riébeckite (amphibole).

Le potentiel amiantifère des roches du groupe 3C peut être considéré comme nul à très faible pour ce qui concerne les rhyolites alcalines. Il pourra être un peu plus élevé dans les équivalents métamorphosées et déformées de ces rhyolites. Dans la cadre d'une recherche d'amiante, toutes les roches du groupe 3C ainsi que les sols résultant de leur altération devront faire l'objet d'une analyse détaillée.

### 3.3.4. Les roches du groupe 3D (Type II)

Les roches du groupe 3D correspondent à des roches volcaniques de composition basique à intermédiaire : basaltes, andésites, basaltes andésitiques, trachybasaltes, trachyandésites basaltiques (Figure 14). Des minéraux ferromagnésiens (pyroxènes, amphiboles, olivines) sont régulièrement présents dans la minéralogie magmatique de ces roches, en quantité plus ou moins importante (Planche 24).

Ce type de roche est localement abondant, notamment dans le complexe volcanique cénozoïque du Massif central. Le potentiel amiantifère de ces roches volcaniques est inexistant dès lors qu'elles n'ont pas été affectées par des processus hydrothermaux susceptibles d'avoir induit une recristallisation des phases minérales ferromagnésiennes. Dans le cadre d'une recherche d'amiante intéressant ces types de roches et en l'absence d'information précise sur l'intervention ou non de tels processus, il conviendra de les considérer comme appartenant au groupe 3E (cf. infra).

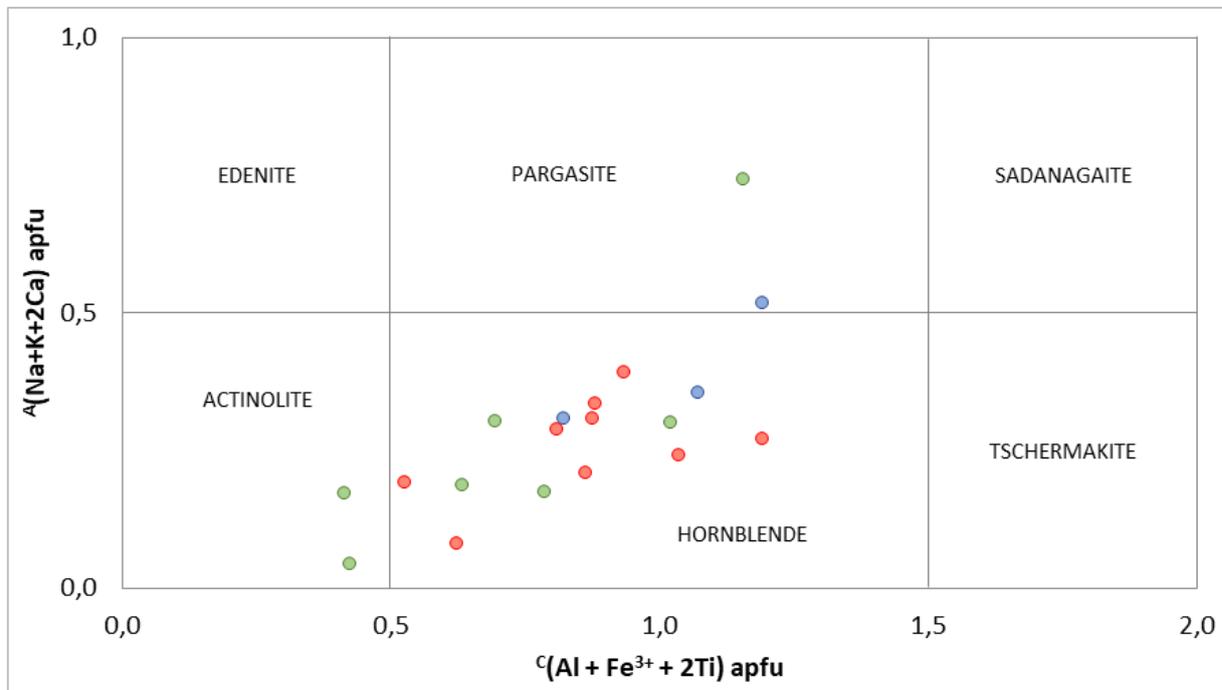
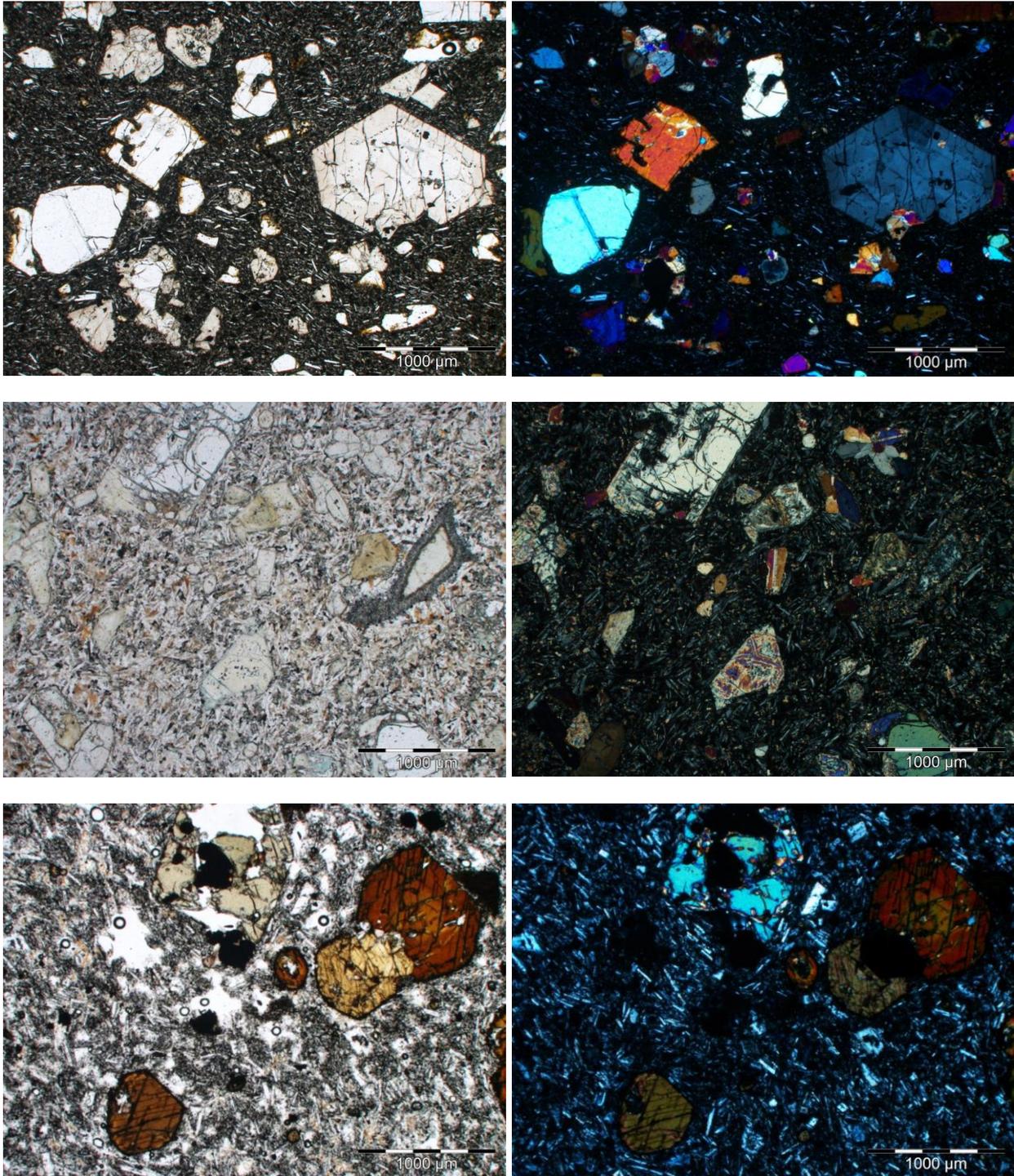


Figure 15 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles calciques de roches du groupe 3D.



*Planche 24 : Exemples de textures des roches volcaniques du groupe 3D (MOLP).  
Haut : Basalte à phénocristaux d'olivine et de pyroxène (Auvergne) (LN & LP) ;  
Centre : Trachybasalte à olivine (± serpentinisée) et à pyroxène (Morvan) (LN & LP) ;  
Bas : Andésite (Monts du lyonnais) (LN & LP).*

### 3.3.5. Les roches du groupe 3E (Type II)

Les roches de ce groupe correspondent à tous les dérivés, plus ou moins déformés et métamorphisés, des roches du groupe 3D (Tableau 5). Ces roches correspondent donc à tous les affleurements de métatrachyandésites, de métaandésites, de metabasaltes, de prasinites, de spilites, *etc.* Le potentiel amiantifère de certaines roches composant ce groupe est avéré, en particulier les metabasaltes ophiolitiques des unités internes des Alpes et de Haute-Corse (Lahondère *et al.*, 2019).

Les amphiboles présentes dans les roches du groupe 3E sont le plus souvent des amphiboles calciques (pargasite, hornblende, actinolite, trémolite) (Figure 16). Des amphiboles calco-sodiques et sodiques peuvent également être présentes, en fonction des conditions métamorphiques auxquelles ces roches ont été soumises. Les metabasaltes ophiolitiques des unités internes des Alpes et de Haute-Corse renferment ainsi fréquemment des amphiboles sodiques de type glaucophane (glaucophanites).

Les amphiboles observées dans les roches du groupe 3E ont des morphologies variables mais souvent fibreuses, en relation avec la nature et de l'intensité des déformations auxquelles ces roches ont été soumises.

#### a) Les métaandésites

Dans la chaîne des Pyrénées, des affleurements d'andésites paléozoïques sont connus dans la zone axiale de la chaîne ou dans les massifs nord-pyrénéens. Il s'agit de roches souvent affectées par des processus de recristallisation dans les conditions du faciès des schistes verts (métaandésites), localement riches en amphiboles calciques fibreuses à asbestiformes (actinolite).

D'autres échantillons d'andésites porphyriques, prélevés sous forme de galets dans les alluvions de la Durance, ont été étudiés. Les résultats obtenus montrent que ces échantillons contiennent régulièrement des fibres d'actinolite, lesquelles sont généralement associées à de l'épidote et à de la chlorite dans des veines hydrothermales peu épaisses.

#### b) Les metabasaltes (glaucophanites, prasinites)

Les glaucophanites correspondent à des roches essentiellement constituées par des amphiboles sodiques de type glaucophane. Ces roches sont rencontrées dans les unités géologiques affectées par un métamorphisme dans les conditions du faciès schiste bleu. Elles dérivent le plus souvent de la transformation d'anciennes roches magmatiques basiques (basaltes, dolérites, micro-ferrogabbros).

D'une manière très générale, les amphiboles de type glaucophane constituent des cristaux prismatiques plus ou moins allongés et ne possèdent donc pas une morphologie asbestiforme (Planche 26). Cependant, au cours de leur exhumation, les glaucophanites ont parfois enregistré des recristallisations dans les conditions du faciès schiste vert. Ces recristallisations conduisent à la déstabilisation des cristaux de glaucophane en amphiboles fibreuses calciques (actinolite, ferro-actinolite) ou calco-sodiques (winchite). Les occurrences les plus fibreuses sont généralement observées dans des veines d'épaisseur inframillimétrique à décimétrique.

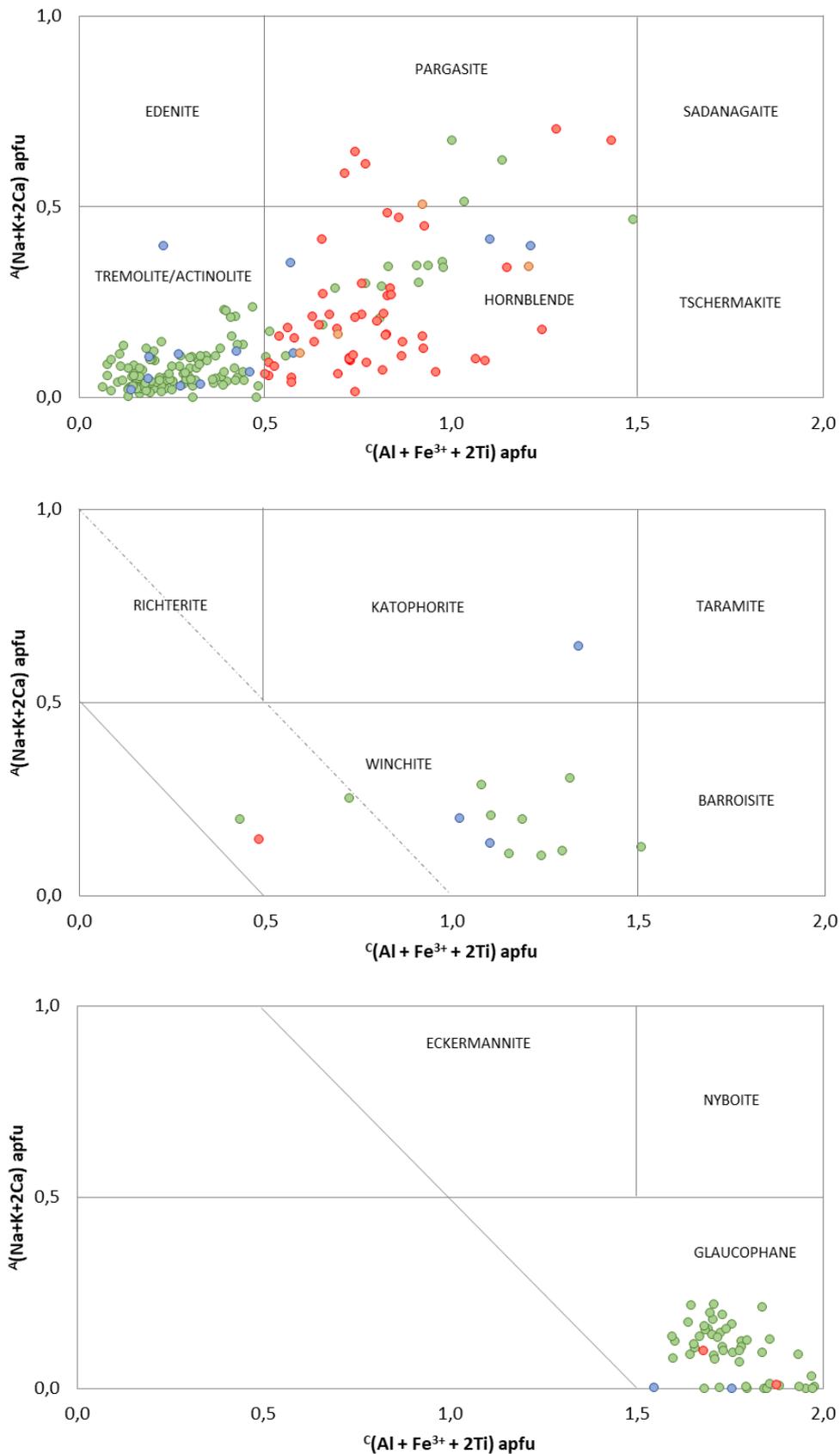
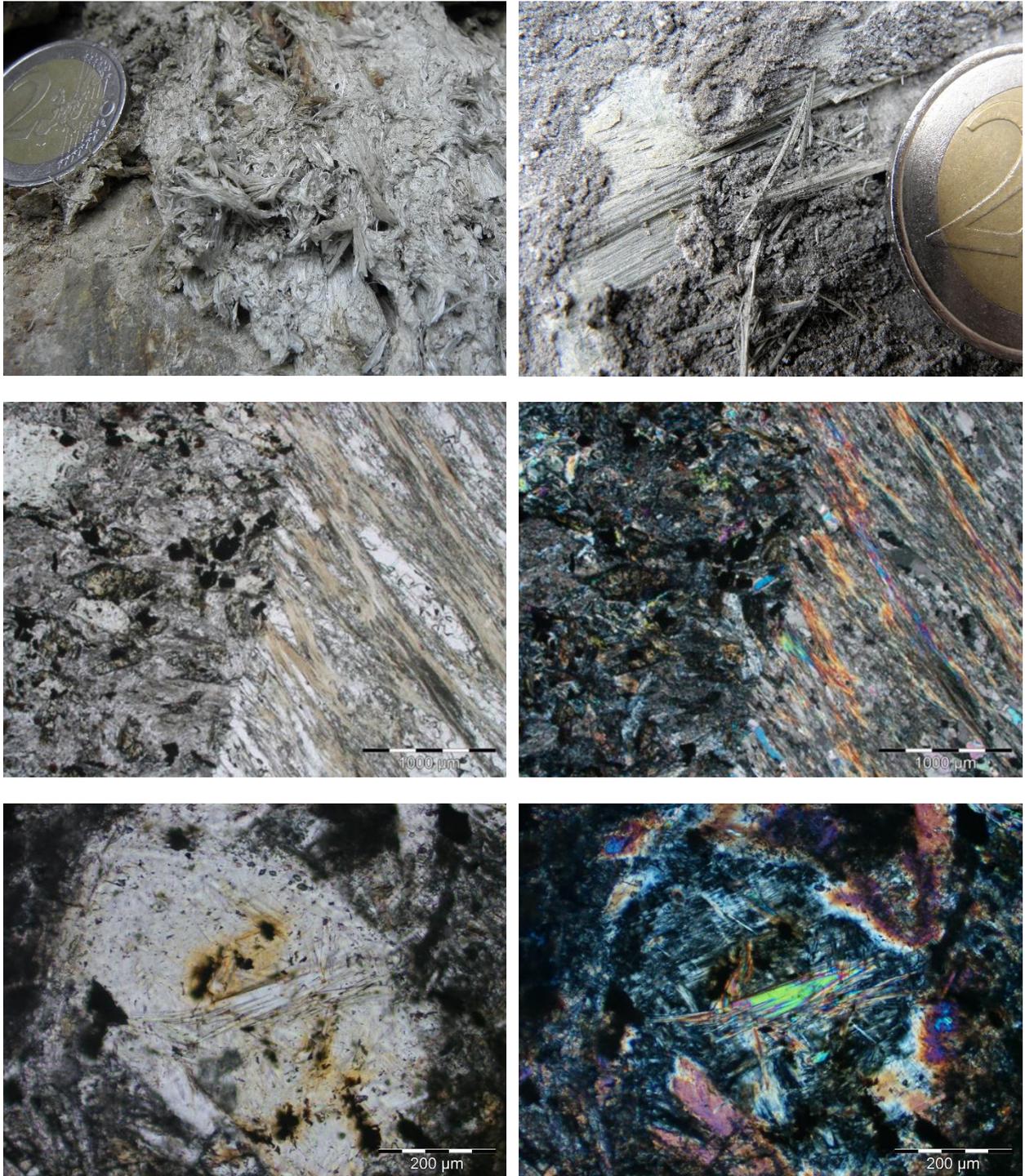
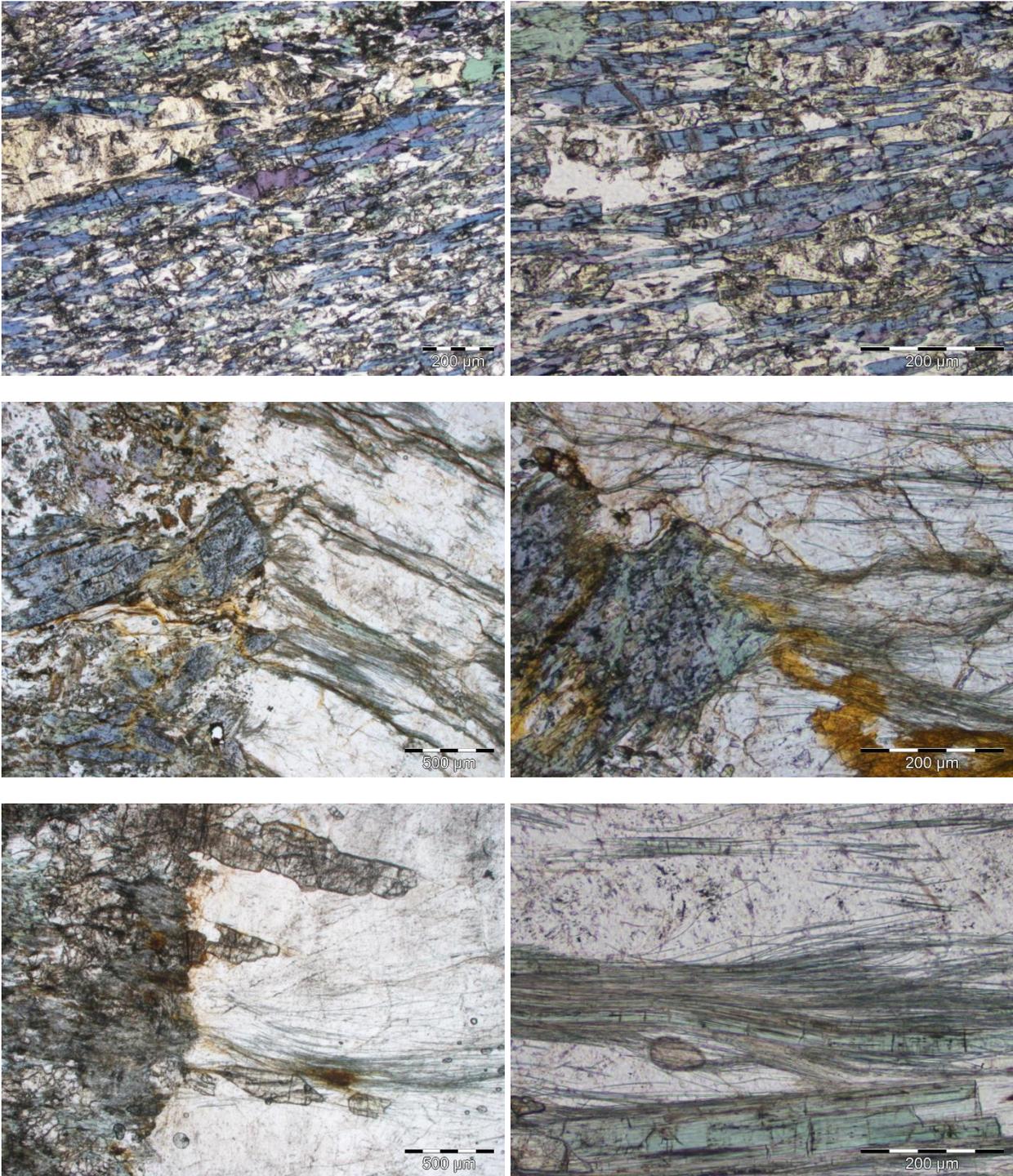


Figure 16 : Points représentatifs d'analyses d'amphiboles de roches du groupe 3<sup>E</sup>.



*Planche 25 : Exemples d'occurrences fibreuses dans des roches du groupe 3D.  
Haut : Amas de fibres d'actinolite (Hautes Pyrénées) ;  
Centre : Métandésite à veine à fibres d'actinolite (Hautes-Pyrénées) (MOLP) ;  
Bas : Détail d'une vacuole à fibres d'actinolite et chlorite (Hautes-Pyrénées) (MOLP).*



*Planche 26 : Exemples d'occurrences fibreuses dans des roches du groupe 3D (MOLP).  
Haut : Métabasalte à glaucophane-épidote-lawsonite (± chlorite, albite) (Haute-Corse) ;  
Centre : Métabasalte à glaucophane recoupé par une veine à fibres d'actinolite + winchite  
(Haute-Corse) ;  
Bas : Métabasalte prasinitique recoupé par une veine à albite, actinolite fibreuse et épidote  
(Haute-Corse).*

### 3.3.6. Les roches du groupe 3F (Type II)

Les roches de ce groupe correspondent aux trachytes alcalins et à tous leurs dérivés, plus ou moins déformés et métamorphisés (Tableau 5). Ce sont des roches volcaniques à teneur en silice élevée (Figure 14), riches en feldspaths alcalins (sanidine, albite, orthose) avec parfois du quartz, des plagioclases, de la biotite et des amphiboles (subordonnées).

Le potentiel amiantifère de ces roches apparaît plus théorique que réel. Un niveau de susceptibilité faible leur a néanmoins été attribué pour prendre en compte la présence possible d'amphiboles dans ces roches (Tableau 5).

### 3.3.7. Les roches des groupes 3G et 3H (Type III)

Les roches de ce groupe correspondent aux picrites et à tous leurs dérivés, plus ou moins déformés et métamorphisés (Tableau 5). Ce sont des roches volcaniques riches en olivine et autres minéraux ferromagnésiens.

Les picrites rencontrées au niveau des points chauds sont parfois désignées sous le terme « océanites » (Hawaï, La Réunion, Comores). Les océanites sont des basaltes à grands cristaux d'olivine inclus dans un fond comprenant des microlites de plagioclase, de clinopyroxène, d'olivine et de minéraux opaques.

En France métropolitaine, des picrites sont associées aux roches magmatiques crétacées alcalines (teschénites) disséminées dans la zone interne métamorphique nord-pyrénéenne, sous forme de petites intrusions. Ces roches sont généralement rétro-morphosées et des occurrences fibreuses y ont été identifiées (Cagnard *et al.*, 2015). Ces occurrences correspondent principalement à des veines fibreuses et à des plans porteurs de fibres plus ou moins allongées.

Compte-tenu de leurs caractéristiques minéralogiques, un niveau de susceptibilité faible a été attribué à toutes les roches du groupe 3G et un niveau fort à celles du groupe 3H (Tableau 5). Dans le cadre d'une recherche d'amiante intéressant des formations géologiques dans lesquels de telles roches sont signalées, les études devront être suffisamment précises pour détecter des intrusions de très faibles dimensions.



## 4. Rechercher des occurrences naturelles d'amiante

Une recherche d'amiante avant travaux dans l'environnement naturel s'impose à un donneur d'ordre dès lors que ce dernier ne dispose pas d'éléments informatifs suffisants quant à la présence ou non de roches et/ou de sols amiantifères dans l'emprise de l'opération projetée et donc ne peut pas se prévaloir d'une dispense de repérage avant travaux.

En France métropolitaine, les principales zones géologiques concernées par la présence de roches amiantifères sont localisées dans la chaîne des Alpes occidentales dont la Haute-Corse constitue la terminaison méridionale. Les autres domaines géologiques les plus concernés par la présence de roches amiantifères sont les massifs cristallins externes des Alpes, la Corse du Sud, le Massif des Maures-Tanneron, le Massif Central, les Vosges, le Massif Armoricaïn et la chaîne des Pyrénées. Ces domaines géologiques ont fait et font encore l'objet d'études spécifiques par le BRGM dans le but de déterminer les niveaux de susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques qui les constituent.

Les fibres asbestiformes présentes dans certaines roches peuvent également être présentes dans les sols et dans les sédiments dérivés de l'altération et/ou de l'érosion de ces mêmes roches. La cartographie des terrains géologiques potentiellement amiantifères doit donc également s'intéresser et inclure ces formations dont l'extension en termes de surface peut être importante. Ainsi, la détermination du niveau de susceptibilité de présence d'amiante dans l'environnement naturel doit prendre en considération et de manière graduée les roches-sources, les altérites développées à partir des roches-sources, les zones de transfert (dépôts de pente, éboulis, colluvions) et les dépôts naturels secondaires (dépôts de sédiments anciens ou actuels, *pro parte* issus de l'altération et de l'érosion des roches-sources).

Dans le cadre d'une recherche d'amiante, le géologue en charge de l'opération (géologue opérateur de repérage au sens de la réglementation) peut procéder en une ou plusieurs étapes, en fonction de la difficulté de l'environnement qu'il doit caractériser, de l'existence ou non de données disponibles au démarrage de l'étude et du niveau de complexité des objets géologiques.

### 4.1. EXAMEN DES DONNÉES DISPONIBLES

La première étape consiste dans une analyse préalable de la zone à étudier, à partir des documents (cartes, rapports) et des données bibliographiques dont le géologue dispose ou qu'il peut obtenir. Les documents cartographiques qui peuvent être consultés correspondent en particulier à ceux mis à disposition par le BRGM :

- à la carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 ;
- aux cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 ;
- aux cartes des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/50 000 ;
- aux cartes des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/5 000.

### 4.1.1. Carte des susceptibilités de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000

Dans le but de mieux comprendre la répartition géographique des formations géologiques contenant ou susceptibles de contenir des occurrences amiantifères, le BRGM a élaboré, pour l'ensemble du territoire métropolitain, une carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 (Figure 17). Cette carte est directement dérivée d'un retraitement des données numériques de la carte géologique de France à l'échelle 1/1 000 000 (6<sup>e</sup> édition). Plusieurs niveaux de susceptibilité ont été pris en considération pour construire cette carte :

- susceptibilité nulle (0) ;
- susceptibilité nulle ou très faible (1) ;
- susceptibilité faible (2) ;
- susceptibilité moyenne (3) ;
- susceptibilité forte (4).

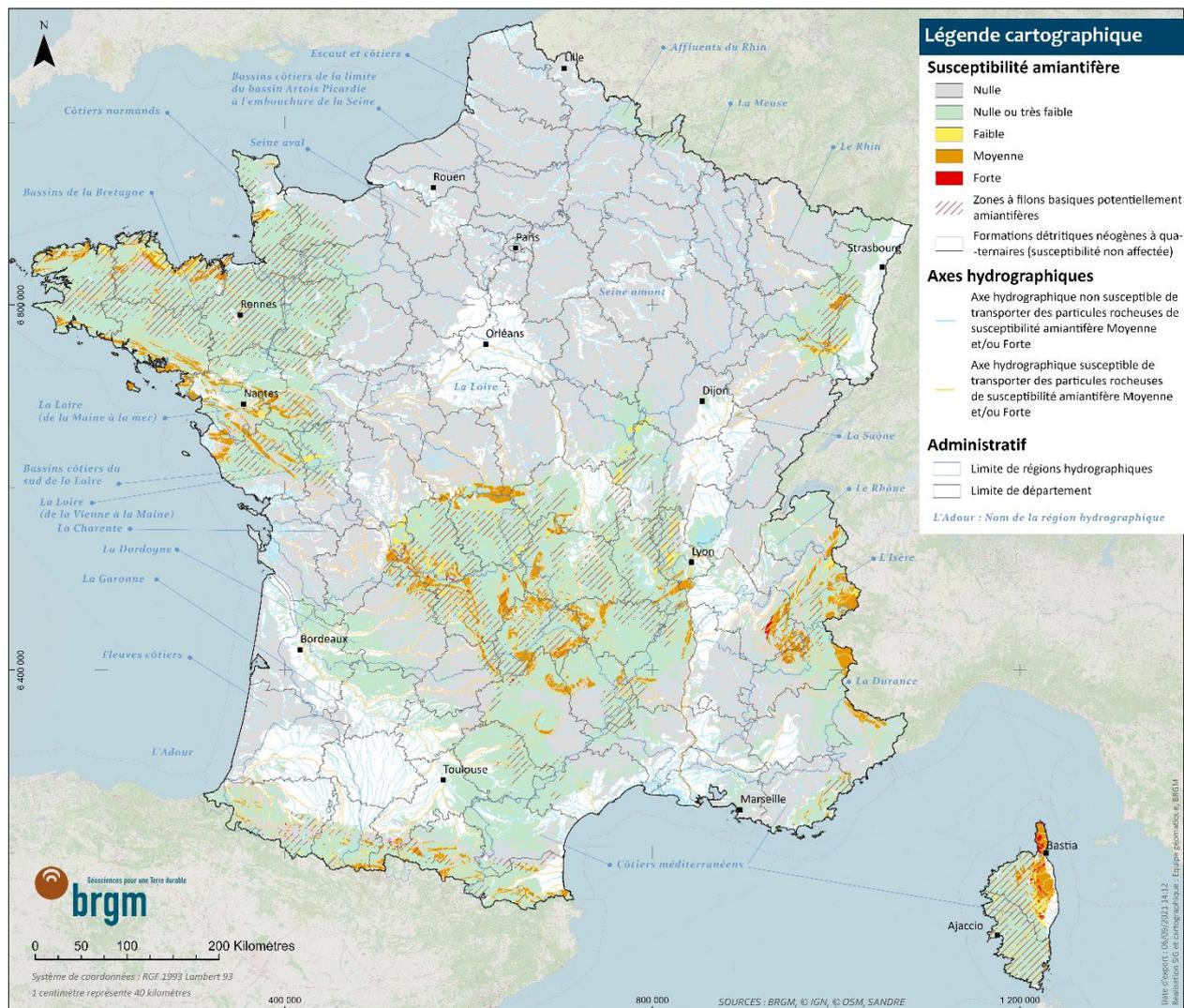


Figure 17 : Carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 (cf. explications dans le texte).

La carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 constitue un premier niveau d'information qui doit permettre au géologue opérateur de repérage d'établir un diagnostic préliminaire s'agissant de la présence éventuelle de formations géologiques amiantifères, ou susceptibles de l'être, dans l'environnement géologique de la zone soumise à investigations.

**Compte tenu de son échelle (1 cm sur la carte = 10 km sur le terrain), cette carte ne permettra jamais d'accéder à un niveau d'information adapté à la taille d'un chantier et ne pourra donc en aucun cas être utilisée comme source unique d'informations dans le cadre d'une recherche d'amiante avant travaux.** Les seules exceptions possibles à cette règle générale concernent les territoires dans lesquels le niveau de susceptibilité de présence d'amiante est toujours nul, du fait de la nature même des formations géologiques affleurantes. Les territoires pour lesquels le niveau de susceptibilité de présence d'amiante est toujours nul, correspondent à des surfaces très importantes, en particulier dans plusieurs départements dont la liste est faite ci-après.

Pour éviter les erreurs de compréhension et de perception de la réalité géologique, liées aux problèmes d'échelle, les donneurs et les opérateurs en charge des recherches sont invités à consulter des documents cartographiques plus précis, en particulier les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, lesquelles couvrent pratiquement l'ensemble du territoire métropolitain.

Les unités géologiques affectées d'une susceptibilité nulle (0) sont constituées par des roches dépourvues de tout potentiel amiantifère du fait de leur nature intrinsèque et/ou de leurs conditions de formation et/ou des évolutions qu'elles ont subies depuis leur formation. Ces unités géologiques sont nombreuses et couvrent des surfaces étendues, en particulier dans le bassin de Paris et dans le bassin d'Aquitaine (Figure 17). Ces unités géologiques sont constituées par des roches carbonées, par des roches sédimentaires carbonatées (calcaires, dolomies, craies, faluns, tuffeaux, etc.), par des roches évaporitiques (éaporites, gypse, cargneules, etc.) et par certaines roches sédimentaires détritiques (grès, argiles, marnes, sables, limons, etc.).

Les unités géologiques affectées d'une susceptibilité nulle ou très faible (1) sont également variées et couvrent aussi des surfaces importantes, en particulier dans les massifs montagneux (Figure 17). Dans ces unités géologiques, les géologues ne peuvent pas garantir en tout point l'absence d'éléments rocheux amiantifères, même si ce risque apparaît extrêmement faible et le plus souvent plus théorique que réel. Ces unités correspondent en particulier à : (i) des formations sédimentaires caractérisées par la présence de niveaux conglomératiques ou bréchiqes, (ii) des unités métasédimentaires susceptibles de contenir ponctuellement, et de façon très marginale, des roches amiantifères (Alpes-Jura, Pyrénées, Massif central, Massif armoricain, Corse, Vosges, etc.), (iii) des granites d'affinité alcaline (Corse), (iv) des roches magmatiques susceptibles de contenir des minéraux ferromagnésiens (amphiboles, pyroxènes, olivines) ou d'être cartographiquement associées à des roches en contenant (enclaves, filons, etc.) et (v) aux roches volcaniques cénozoïques (Massif central, Avant-pays alpin, etc.). La possibilité que des occurrences amiantifères significatives, en terme de volumes rocheux impactés, soient identifiées dans ces unités géologiques sera toujours extrêmement faible et le plus souvent négligeable.

La troisième catégorie regroupe des unités géologiques auxquelles un niveau de susceptibilité faible (2) a été attribué. Ces unités incluent en particulier : (i) des roches volcaniques basiques à intermédiaires paléozoïques plus ou moins métamorphiques, (ii) des roches plutoniques néoprotérozoïques à paléozoïques riches en minéraux ferromagnésiens (amphiboles, pyroxènes, olivines) et susceptibles d'avoir été affectées par des recristallisations tardi- à post-magmatiques et (iii) les unités métasédimentaires d'âge Mésozoïque des zones alpines internes. Ces unités couvrent des surfaces moins importantes que les précédentes mais sont présentes dans tous les massifs montagneux, qu'ils soient anciens ou récents (Figure 17).

La quatrième catégorie regroupe toutes les unités géologiques auxquelles un niveau de susceptibilité moyen (3) a été attribué. Ces unités géologiques sont caractérisées par le fait qu'elles contiennent - ou qu'elles sont réputées contenir - au moins une lithologie parmi les types de roches suivants : amphibolites, métagabbros, metabasaltes, prasinites, spillites, éclogites, tuffites basiques, dolérites et ophites. Ces unités géologiques sont présentes dans tous les massifs montagneux, qu'ils soient anciens ou récents. D'un point de vue cartographique, elles peuvent correspondre à des surfaces relativement importantes (Figure 17).

La dernière catégorie regroupe les unités géologiques constituées en totalité ou pour partie par des roches ultrabasiques (péridotites, métapéridotites, serpentinites, ultrabasites indifférenciées). Les domaines géologiques concernés par la présence de telles formations géologiques correspondent principalement à la chaîne des Alpes occidentales (massifs cristallins externes inclus) et à la chaîne alpine corse (Figure 17). Les autres domaines concernés sont localisés dans les massifs anciens (Massif armoricain, Massif central, Massif des Vosges) ainsi que le long de la chaîne des Pyrénées mais n'intéressent que des zones de moindres extensions (Figure 17).

Aucune susceptibilité n'a été affectée aux formations détritiques néogènes à quaternaires. En effet, la possibilité de rencontrer des éléments rocheux amiantifères dans ces formations est très variable et dépend de nombreux paramètres difficiles à maîtriser à cette échelle. Cette possibilité dépend en premier lieu de l'axe hydrographique considéré et de la présence ou non de zones amiantifères dans son bassin-versant. Si de telles zones sont cartographiées, la possibilité dépendra alors de l'importance cartographique de ces zones-sources amiantifères, de leur éloignement par rapport au point d'observation et de leurs caractéristiques topographiques et morphologiques (sont-elles ou non sujettes à des processus érosifs significatifs ?).

#### **a) Quels sont les départements non ou très faiblement concernés ?**

Déterminer la liste des départements non concernés par la réglementation à venir sur les obligations de repérage d'amiante avant travaux n'est pas une chose facile, les limites géologiques n'étant pas les limites administratives et la réalité de la problématique « amiante environnemental » étant très différente d'un département à l'autre ou d'une zone à l'autre d'un même département. La carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante dérivée de la carte géologique de France à l'échelle 1/1 000 000 (Figure 17) permet néanmoins d'écarter tout risque de présence significative d'amiante dans les sols et le proche sous-sol de plusieurs départements métropolitains, à savoir l'Aube (10), l'Essonne (91), l'Eure (27), l'Eure-et-Loir (28), les Hauts-de-Seine (92), la Marne (51), la Meuse (55), l'Oise (60), Paris (75), la Seine-et-Marne (77), la Seine-Maritime (76), la Seine-Saint-Denis (93), la Somme (80), le Val-de-Marne (94), le Val-d'Oise (95) et les Yvelines (78).

Ce risque peut également être pratiquement écarté pour les départements de l'Indre-et-Loire (37), du Loir-et-Cher (41) et du Loiret (45), **à l'exception des formations alluvionnaires, anciennes à actuelles, associées à la Loire et à certains de ses affluents, pour lesquelles un risque résiduel ne peut pas être définitivement écarté.** En l'état actuel de nos connaissances, ce risque résiduel apparaît néanmoins extrêmement faible et probablement non significatif.

Dans plusieurs départements, la susceptibilité de présence d'amiante attribuée aux différents terrains représentés sur la carte à 1/1 000 000 ne dépasse pas le niveau 1 (susceptibilité « Nulle ou très faible »). Ces terrains à susceptibilité « Nulle ou très faible » occupent des surfaces marginales dans les départements concernés, à savoir : l'Aisne (02), les Ardennes (08), la Charente-Maritime (17), le Doubs (25), la Haute-Marne (52), la Meurthe-et-Moselle (54), la Moselle (57), le Nord (59), le Pas-de-Calais (62) et l'Yonne (89).

À ces départements s'ajoutent ceux du Cher (18), de l'Indre (36), de la Sarthe (72) et de la Vienne (84), dans lesquels un risque résiduel concerne des portions marginales des territoires concernés et des **formations alluvionnaires, anciennes à actuelles, associées à la Loire, au Cher et à la Vienne**. En l'état actuel de nos connaissances, le risque résiduel associé aux formations alluvionnaires apparaît extrêmement faible et probablement non significatif.

Dans le but de préciser le statut de certains départements par rapport à la réglementation à venir sur les obligations de repérage d'amiante avant travaux, il sera nécessaire d'acquérir des informations complémentaires pour plusieurs formations géologiques détritiques, néogènes à quaternaires, identifiées dans les départements de l'Ain (01), des Bouches-du-Rhône (13), de la Côte-d'Or (21), de la Dordogne (24), de la Drôme (26), du Gard (30), du Gers (32), de la Gironde (33), de l'Hérault (34), du Jura (39), des Landes (40), du Lot-et-Garonne (47), du Tarn-et-Garonne (82) et du Vaucluse (84).

### ***b) La problématique des filons magmatiques basiques (à intermédiaires)***

Les filons magmatiques basiques (à intermédiaires) constituent des objets géologiques généralement très longs et peu épais (quelques mètres d'épaisseur pour les plus larges) et susceptibles a priori de recouper n'importe quel type d'encaissant. En France métropolitaine, de tels filons sont connus dans tous les massifs montagneux, qu'ils soient anciens ou récents. En raison de leurs caractéristiques dimensionnelles et de leur faible épaisseur, il est difficile de représenter de tels objets sur une carte géologique. De ce fait, les géologues ont pu être conduits à ne représenter que quelques filons et à exagérer leur épaisseur, de telle manière à les rendre visibles sur la carte. Sur une carte géologique à 1/50 000, un filon d'un millimètre d'épaisseur est sensé matérialiser une structure dont la largeur serait en réalité de 50 m. De telles épaisseurs ne sont que très rarement atteintes s'agissant des filons magmatiques basiques à intermédiaires. Pour ces mêmes raisons, ces filons magmatiques n'ont pas été représentés sur la carte géologique de la France à l'échelle 1/1 000 000.

Compte-tenu du potentiel amiantifère de ces filons, les zones dans lesquelles ils sont régulièrement présents et donc susceptibles d'être concernés ou découverts à l'occasion de travaux ont été représentées sur la carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 (zones hachurées ; Figure 17). On remarquera que des unités géologiques à susceptibilité « Nulle ou très faible » peuvent être recoupées par des filons basiques potentiellement amiantifères (ex : Centre-Bretagne).

### ***c) La problématique des formations alluvionnaires***

De nombreuses unités géologiques correspondent à des formations détritiques néogènes à quaternaires composées principalement d'argiles, de sables, de graviers et de galets. Ces formations géologiques sont très difficiles à caractériser car leur nature intrinsèque et leur composition peut varier de façon significative d'un point à l'autre d'une même formation, tant verticalement qu'horizontalement, en fonction notamment de la chronologie, de l'origine, de la diversité et de l'importance des apports détritiques successifs. Si des unités géologiques constituées de roches amiantifères sont présentes dans les massifs dont sont issues les alluvions, il sera très difficile, voire impossible, pour les géologues de garantir en un point donné une absence totale d'éléments rocheux amiantifères, et ce même si les observations de terrain ne conduisent pas à leur détection.

La possibilité de rencontrer des éléments rocheux amiantifères dans une formation alluvionnaire dépend de nombreux paramètres, pour certains difficiles à caractériser. Cette possibilité dépend en premier lieu de l'axe hydrographique considéré mais aussi du lieu d'observation le long de cet axe. Cette possibilité sera d'autant plus importante que les alluvions résultent de l'érosion de massifs dans lesquels des formations géologiques amiantifères affleurent d'une manière significative. Cette possibilité variera également en fonction d'autres paramètres, comme par exemple l'éloignement du point d'observation par rapport aux zones-sources amiantifères et l'importance des apports conduisant à la diminution progressive de la fraction correspondant aux seuls éléments rocheux amiantifères.

Un croisement entre la carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 et l'emprise des bassins-versants a permis d'identifier, parmi ces derniers, ceux caractérisés par l'existence, à l'affleurement et dans leur emprise respective, de formations géologiques affectées d'une susceptibilité « Moyenne » ou « Forte », lesquelles possèdent les potentiels amiantifères les plus élevés. Les principaux bassins-versants identifiés sont liés ou connectés à plusieurs axes hydrographiques, notamment (par ordre alphabétique) : l'Adour, la Charente la Dordogne, la Durance, le Fium Orbu, la Garonne, le Golo, l'Isère, la Loire, le Rhin, le Rhône, le Tavignano et la Vilaine . Pour chacun de ces axes hydrographiques, les surfaces des bassins-versants affectées d'une susceptibilité « Moyenne » ou « Forte » sont cependant très variables, comprises entre quelques km<sup>2</sup> seulement (Adour, Vilaine, Charente) et plusieurs centaines de km<sup>2</sup> (Isère, Durance, Tavignano).

Compte tenu des connaissances actuelles, encore très parcellaires, les systèmes hydrographiques les plus impactés par la présence de roches amiantifères dans les formations alluvionnaires néogènes à quaternaires qui leur sont associées sont les systèmes de l'Isère, de la Durance et de plusieurs fleuves côtiers de Haute-Corse (Golo, Tavignano, Fium Orbu, etc.). Ceci ne saurait constituer une surprise, ces systèmes drainant tous les reliefs constitués par des formations ophiolitiques basiques à ultrabasiques, à potentiel amiantifère avéré, localisés dans les Alpes occidentales d'une part (massifs cristallins externes compris) et dans la chaîne alpine de Corse d'autre part. Pour les autres systèmes hydrographiques listés ci-dessus, la possibilité que des roches amiantifères soient présentes dans les alluvions associées concerne a priori de nombreux cours d'eau. On notera cependant que si cette possibilité existe, du moins théoriquement, la fraction de roches amiantifères susceptible d'être présente dans ces alluvions est probablement très faible, voire indétectable, si on excepte les secteurs localisés au plus près de zones-sources. Les informations actuellement disponibles restent néanmoins très insuffisantes pour pouvoir qualifier précisément le potentiel amiantifère de ces formations détritiques. Sur la carte ont également été représentés les axes hydrographiques non susceptibles de transporter des éléments roches de susceptibilité « Moyenne » et/ou « Forte » (Figure 17), du fait de l'absence de telles roches dans les emprises des bassins-versants.

#### **4.1.2. Les cartes géologiques éditées par le BRGM (1/50 000)**

Dans le cadre d'une recherche d'amiante, les documents à consulter en priorité et d'une manière systématique correspondent aux cartes (coupures) géologiques à 1/50 000 éditées par le BRGM et aux notices explicatives qui accompagnent ces cartes.

La carte géologique régulière de la France, à l'échelle 1/50 000, offre une information condensée où 1 mm sur la carte représente 50 m sur le terrain. Les cartes géologiques à 1/50 000 constituent aujourd'hui les documents les plus précis et les plus pertinents en termes d'évaluation du risque amiantifère, et ce en tous points du territoire métropolitain. À ce titre, ces cartes doivent être consultées d'une manière systématique dès lors que des travaux intéressant une formation géologique susceptible de renfermer des occurrences amiantifères sont envisagés. Un exemple de carte géologique à 1/50 000 est reproduit ci-après (Figure 18).

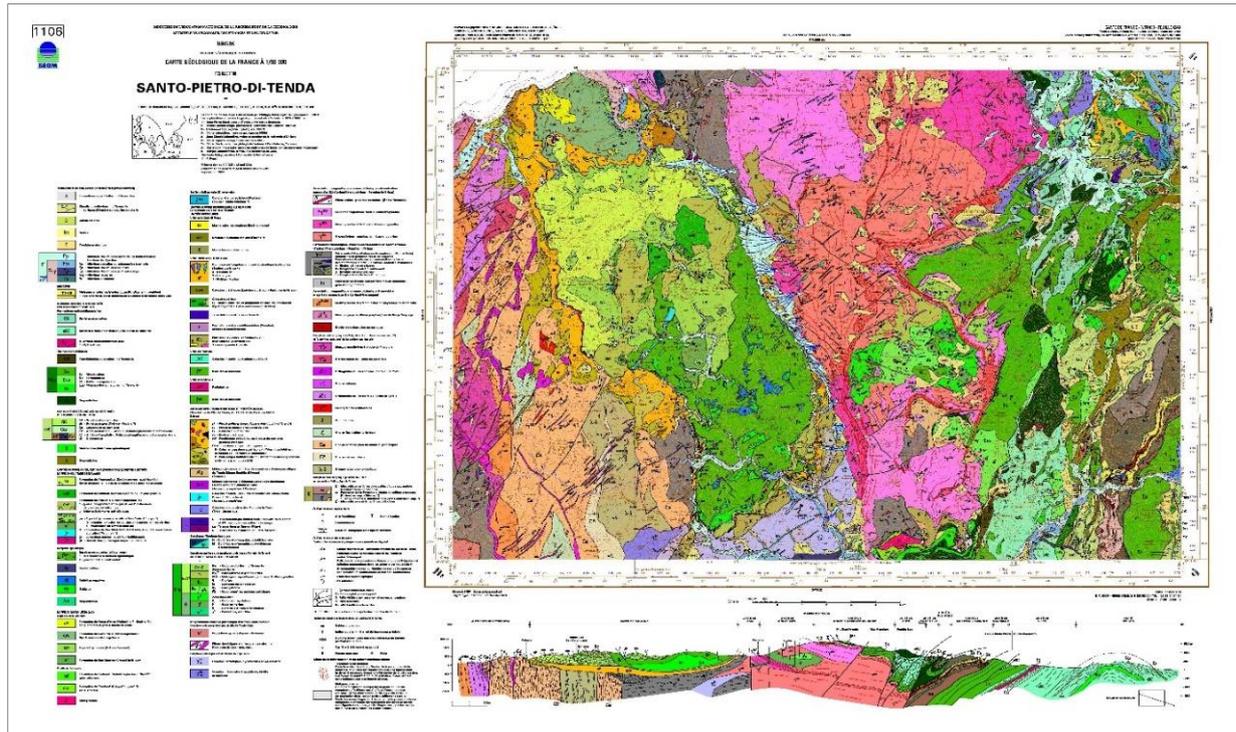


Figure 18 : Exemple de carte géologique à 1/50 000 éditée par le BRGM (Santo-Pietro di Tenda).

### **Avertissement :**

**Le BRGM attire spécialement l'attention sur l'utilisation qui pourrait être faite d'extraits agrandis des cartes géologiques à 1/50 000, notamment pour ce qui concerne la précision des limites géologiques représentées sur ces cartes.** Ces limites constituent des éléments linéaires dont la précision est directement liée à la qualité et à la densité des informations géologiques disponibles à la surface. La précision peut varier pour une même limite de quelques mètres (secteurs avec affleurements nombreux) à plusieurs centaines de mètres (zones avec affleurements peu nombreux et/ou substratum masqué par des dépôts superficiels ou par des constructions anthropiques). En tout état de cause, lors de l'établissement d'une carte à 1/50 000, le pas d'échantillonnage, cohérent avec cette échelle, est de l'ordre de la cinquantaine à la centaine de mètres. Une limite contenue dans une bande de 50 m de largeur (soit 1 mm sur la carte géologique à 1/50 000) peut être considérée comme une limite précise. Dans la plupart des cas, cette bande sera cependant plus large (entre 100 et 200 m, soit 2 à 4 mm sur la carte géologique à 1/50 000). Une limite géologique contenue dans une bande de 4 mm sur la carte géologique à 1/50 000 sera contenue dans une bande de 4 cm dans le cas d'un document agrandi au 1/5 000 et de 20 cm dans le cas d'un agrandissement au 1/1 000.

Par ailleurs, la cartographie à l'échelle 1/50 000 ne permet pas, en théorie, de représenter les objets géologiques d'épaisseur et de longueur respectivement inférieures à 50 et 100 m (correspondant sur la carte à une enveloppe de 1 x 2 mm). Dans la pratique, un tel objet géologique est parfois représenté quand les auteurs de la carte estiment qu'il présente un intérêt particulier et/ou quand il permet une meilleure compréhension du document. Mais dans le cas général, les petits objets sans intérêt particulier ne sont pas représentés. Il est donc important de noter que des passées de roches potentiellement amiantifères peuvent ne pas avoir été représentées sur la carte géologique car de taille trop petite. Cartographier les objets géologiques dans un but de caractériser leur potentiel à émettre des fibres amiantifères nécessiterait de travailler à une échelle plus précise, de l'ordre du 1/1 000 (1 mm sur la carte représentant 1 m sur le terrain).

Quand bien même ce travail serait entrepris et achevé, la carte finale ne vaudrait que pour les zones affleurantes et directement accessibles à l'observation et ne concernerait pas les secteurs dans lesquels le substratum potentiellement amiantifère est masqué par une pellicule superficielle plus ou moins épaisse, d'origine naturelle (sols, éboulis, colluvions, alluvions, etc.) ou anthropique (cas des remblais), susceptible d'être entièrement décapée à l'occasion de travaux. De plus, cette information n'intéresserait que la surface observable des affleurements et ne préjugerait pas de l'existence ou non, sous quelques mètres voire quelques centimètres de profondeur, de passées amiantifères non détectées car non présentes en surface. Le bref résumé suivant rappelle ce qu'est une carte géologique, son intérêt mais aussi ses limites.

Une carte géologique (2D) représente la projection sur un plan de l'intersection des formations géologiques (3D) avec la surface topographique (3D). Elle se définit géométriquement comme un ensemble de courbes fermées qui délimitent les aires de répartition des formations identifiées, chaque formation étant affectée d'une couleur symbolisant son âge. L'intégration, au sein d'une courbe fermée, des points de caractéristiques identiques qui résultent d'observations de terrain, nécessite de les relier entre eux malgré le caractère discontinu des possibilités d'observation, dû au recouvrement superficiel qui masque en partie les affleurements rocheux. Il est donc nécessaire de formuler des hypothèses pour relier entre eux les points de caractères identiques en argumentant cette liaison, notamment sur la base de raisonnements géologiques mais aussi à partir de l'interprétation de données géophysiques, géochimiques ou satellitaires. La recherche des limites entre les différentes formations se solde généralement par la mise en évidence de zones au niveau desquelles la probabilité de présence des discontinuités recherchées est la plus grande, sans que ces dernières ne soient directement observables par manque d'affleurement propice. Les rapports géométriques des contacts entre formations avec la topographie, ainsi que les caractéristiques géologiques et structurales intrinsèques des formations, permettent d'extrapoler les formes des volumes rocheux en trois dimensions sur une profondeur qui est fonction de la maille et de la densité des informations collectées en surface.

Par sa nature même, toute carte géologique impose une démarche réductrice et donc sélective. On ne peut pas en effet représenter sur la surface une feuille de papier ou d'un écran, le contenu en vraie grandeur de ce que contient un terrain de dimension 50 000 fois supérieure (cas de la carte régulière de la France à 1/50 000). La conception même de la carte impose donc un processus mental « d'élagage » et de regroupement synthétique des données dans lequel intervient nécessairement un concept organisateur dominant.

La carte géologique, instrument indispensable à toute approche du terrain, constitue donc une synthèse cohérente de toutes les observations et mesures faites par les géologues mais reste un document interprétatif.

#### **4.1.3. Cartes départementales ou régionales de susceptibilité de présence d'amiante environnemental (1/50 000)**

Les cartes géologiques à 1/50 000 ont été utilisées pour établir des cartes de susceptibilité de présence d'amiante pour plusieurs départements et zones géographiques du territoire métropolitain (Figure 19).

Les départements et zones concernées correspondent aux territoires suivants :

- Haute-Corse (Lahondère *et al.*, 2010) ;
- Loire-Atlantique (Béchenec *et al.*, 2010) ;
- Savoie (Blein *et al.*, 2010) ;
- Isère (Lahondère *et al.*, 2012a) ;
- Hautes-Alpes (Lahondère *et al.*, 2012b) ;
- départements du Massif Armoricaïn<sup>14</sup> (Béchenec *et al.*, 2013) ;
- département pyrénéens (Cagnard *et al.*, 2015) ;
- zone « Monts du Lyonnais » (Duron *et al.*, 2020) ;
- zone « Limousin » (Duron *et al.*, 2020) ;
- zone « La Marche » (Cagnard *et al.*, 2020) ;
- zone « Albigeois » (Cagnard *et al.*, 2020) ;
- zone « Nord-Auvergne » (Duron *et al.*, 2020) ;
- zone « Morvan » (Duron *et al.*, 2020).

---

<sup>14</sup> En cours de révision

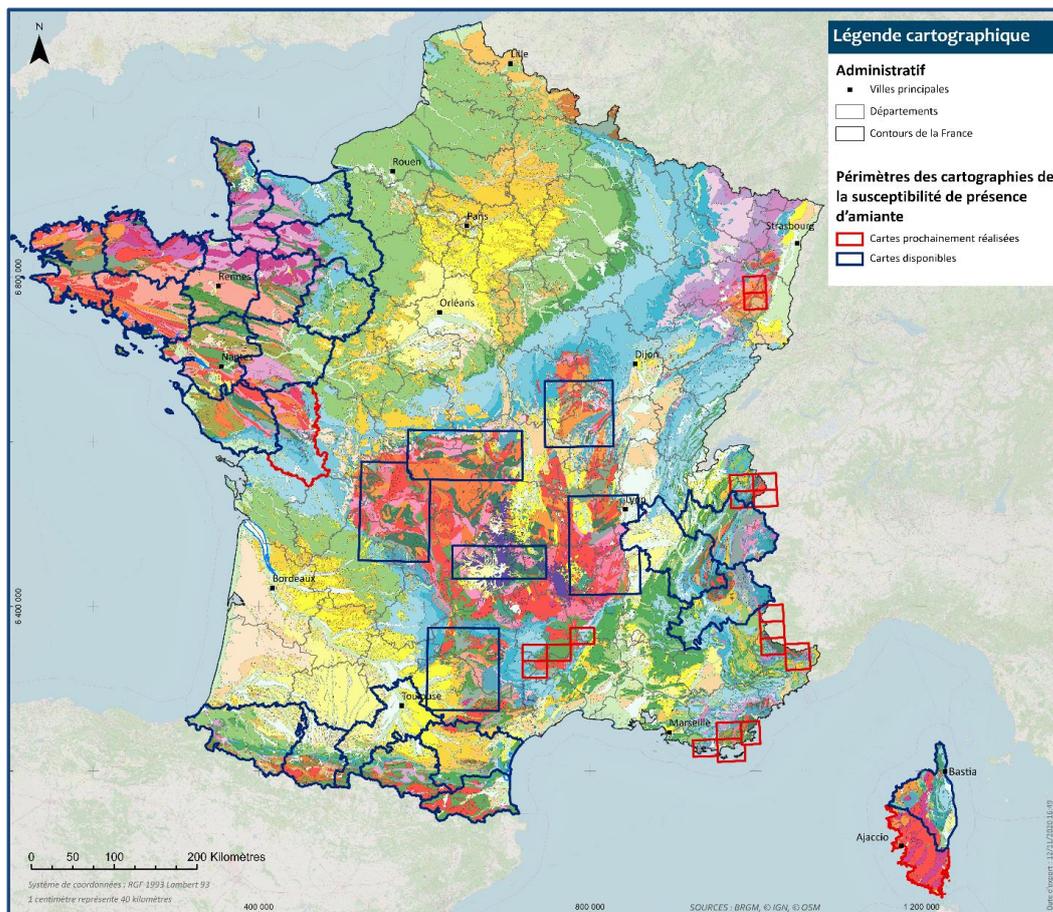


Figure 19 : Localisation des départements et des zones ayant fait ou faisant l'objet d'études spécifiques.

Dans le cadre de l'établissement des premières cartographies départementales, quatre classes ont été définies pour caractériser le niveau de susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques. Ces quatre classes (ou niveaux) ont été retenues pour établir toutes les cartes départementales et régionales à l'échelle 1/50 000 :

- Classe 1 : formations géologiques dans lesquelles aucun indice d'amiante n'est actuellement connu et pour lesquelles la probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères est nulle ou pratiquement nulle (susceptibilité « Nulle à très faible ») ;
- Classe 2 : formations géologiques dans lesquelles des occurrences d'amiante très localisées et exceptionnelles sont connues (susceptibilité « Faible ») ;
- Classe 3 : formations géologiques dans lesquelles les occurrences d'amiante sont plus fréquentes mais encore localisées et non systématiques (susceptibilité « Moyenne ») ;
- Classe 4 : formations géologiques dans lesquelles les occurrences d'amiante sont très nombreuses et pour lesquelles la probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères est forte (susceptibilité « Forte à très forte »).

#### **4.1.4. Cartes communales ou régionales de susceptibilité de présence d'amiante environnemental (1/5 000)**

Des cartes plus précises, à l'échelle 1/5 000, ont été élaborées et sont d'ores et déjà disponibles pour certaines communes de Haute-Corse (Lahondère *et al.*, 2013, Gutierrez *et al.*, 2016). Un même travail est actuellement en cours sur d'autres communes de ce département, le but étant au final d'étudier toutes les communes impactées par la présence de terrains amiantifères (Figure 20).

L'objectif de ces études détaillées est de fournir des éléments cartographiques précis, à l'échelle 1/5 000, concernant la probabilité de présence d'amiante dans l'environnement naturel, de telle manière à pouvoir anticiper et optimiser la préparation des chantiers intéressant des terrains amiantifères ou suspectés de l'être. La méthodologie d'échelonnement des études est présentée ci-dessous (Figure 21). Elles ont également pour objectif de localiser les principaux affleurements constitués de roches amiantifères, susceptibles de constituer des sources pérennes d'émission de fibres d'amiante dans l'air.

Ces documents cartographiques à 1/5 000 concernent des Zones d'Investigation Prioritaires (ZIP), reconnues à enjeux, dont le nombre et les contours ont été préalablement définis avec les commanditaires des études. Ces ZIP couvrent en particulier les zones en cours d'urbanisation ou destinées à la construction. Les investigations sont également étendues aux anciennes carrières, aux axes routiers ainsi qu'aux principaux chemins et sentiers ouverts au public.

Sur ces cartes à 1/5 000 sont indiqués les emplacements des affleurements expertisés ainsi que les limites des secteurs n'ayant pas fait l'objet d'investigation du fait de leur inaccessibilité (topographie escarpée, zones de broussailles, propriétés privées et/ou clôturées, *etc.*). Ces secteurs correspondent donc à des zones dans lesquelles les informations cartographiques restent encore aujourd'hui insuffisantes (zones insuffisamment documentées).

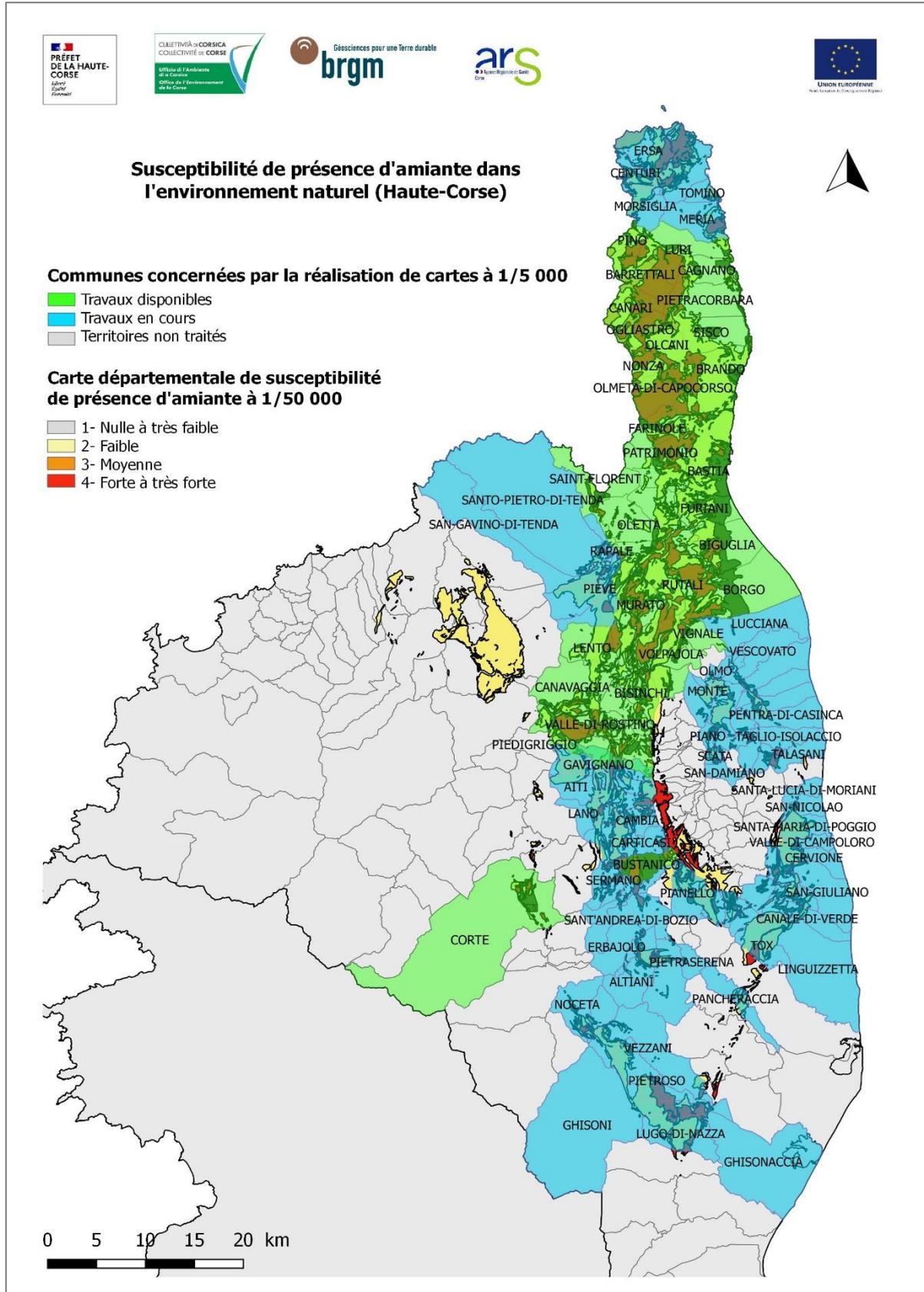


Figure 20 : Communes du département de la Haute-Corse concernées par la réalisation de cartographies détaillées à l'échelle 1/5 000.

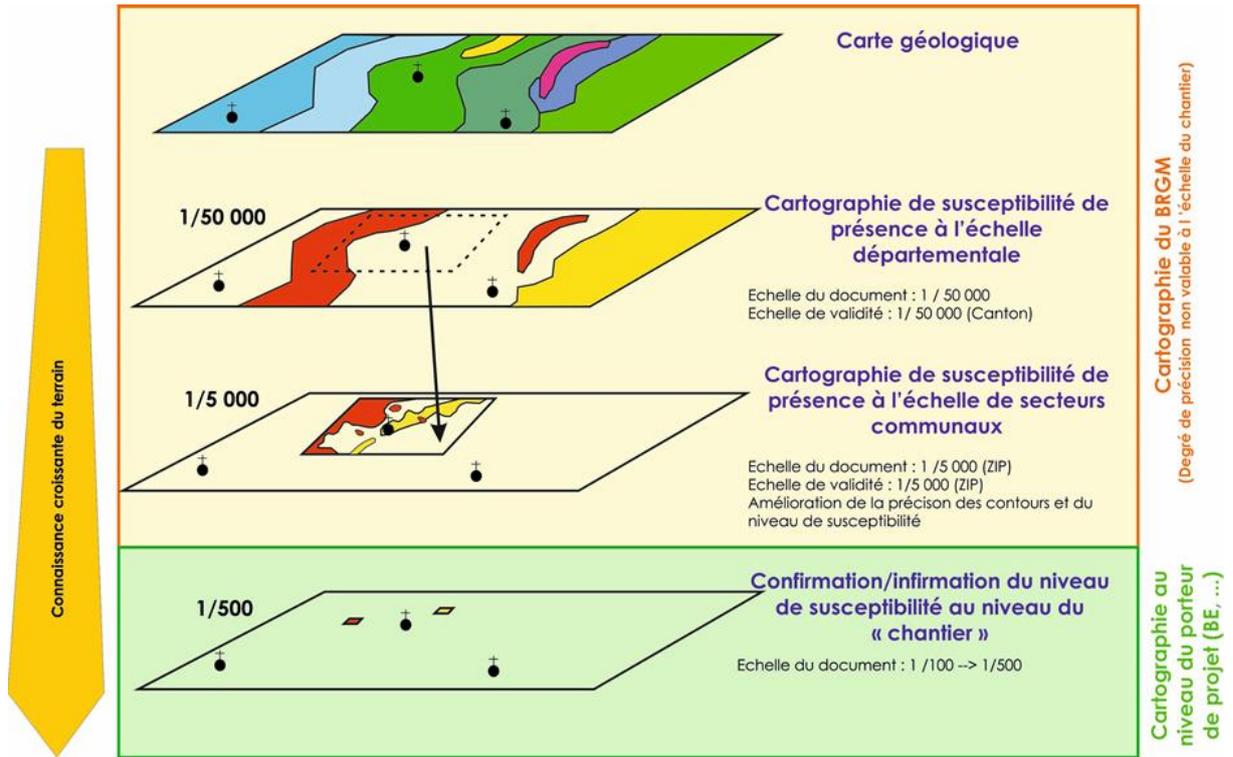


Figure 21 : Méthodologie d'échelonnement des études relatives à l'amiante environnemental.

## 4.2. ÉTUDES DE TERRAIN

Si l'étude des documents existants ne permet pas d'exclure la présence de roches et/ou de sols amiantifères dans le périmètre de la zone soumise à investigation, il est alors nécessaire de réaliser une étude de terrain, laquelle doit permettre :

- l'identification de tous les types de roches et de sols présents dans la zone ;
- la détermination des structures géologiques contrôlant l'agencement, la répartition dans l'espace et les relations géométriques des différents types de roches et de sols identifiés ;
- l'identification des différents types de roches et de sols contenant effectivement de l'amiante ainsi que ceux susceptibles d'en contenir ;
- l'établissement d'une typologie des structures géologiques (veines, plans de faille, auréole réactionnelle, *etc.*) contenant effectivement de l'amiante ou susceptibles d'en contenir (dimensions, orientations, répartition, fréquence, *etc.*) ;
- le prélèvement d'échantillons pertinents à des fins analytiques.

### a) *Identification des objets géologiques*

Le géologue en charge de l'étude de terrain doit déterminer si des roches ou des sols contenant de l'amiante ou susceptibles d'en contenir sont présents dans la zone soumise à investigation. Il doit donc en premier lieu recenser tous les types de roches et de sols présents dans cette zone. Ces types peuvent être très différents les uns des autres et appartenir à différents groupes de roches (Tableau 5). Ces différents types de roches peuvent être superposés, juxtaposés ou imbriqués de façon plus ou moins étroite les uns dans les autres.

Des exemples d'affleurements caractérisés par la présence de différents types de roches sont illustrés ci-après (Planche 27). Tous les types de roches ne sont pas concernés par la présence éventuelle d'amiante et le géologue doit donc identifier parmi tous ces types ceux pour lesquels la présence d'amiante peut être suspectée. Dans les exemples ci-après, les lithologies à caractériser sont les éléments sombres de microdiorite dans l'exemple (a), les niveaux sombres d'amphibolites dans l'exemple (b), les passées sombres d'amphibolite et le filon de dolérite dans l'exemple (c) et les filons de dolérite uniquement dans les exemples (d), (e) et (f).





Planche 27 : Exemples d'affleurements caractérisés par la présence de différents types de roches :  
 a : microgranite clair à éléments sombres de microdiorite ; b : amphibolites sombres alternant avec des niveaux clairs de leptynites ; c : contact entre un filon de dolérite et des gneiss à niveaux sombres d'amphibolites ;  
 d : filon métrique de dolérite recoupant des grès quartzitiques ;  
 e-f : filon de dolérite recoupant des quartz-diorites porphyriques (f : vue rapprochée du contact).

## b) Structure des objets géologiques

Dans le périmètre d'une zone devant faire l'objet d'une recherche d'amiante, les limites qui séparent les différents objets géologiques identifiés peuvent être de nature variée :

- limite sédimentaire séparant un ensemble de roches sédimentaires de son substratum ou séparant deux horizons de sédiments ;
- limite lithologique séparant deux types de roche dans une même formation métamorphique (ex. : groupes leptyno-amphiboliques) ;
- limite magmatique séparant l'enveloppe extérieure d'un corps magmatique des roches encaissantes ou deux types de roche dans un même ensemble magmatique (ex. : enclaves dioritiques dans un granite) ;
- limite tectonique de type faille normale, faille inverse, faille de décrochement, zone de cisaillement ductile etc. ;

- limite métamorphique séparant, au sein d'une même formation géologique, des zones plus ou moins affectées par un même évènement thermique (auréoles thermiques autour des intrusions magmatiques) ;
- limite correspondant à des bordures de filons ou de veines tardi-magmatiques ou tardimétamorphiques (filons et veines polyminérales à quartz, albite, épidote, calcite, etc.) ;
- limite d'altération séparant une roche saine de ses équivalents superficiels plus ou moins altérés ou séparant deux horizons différenciables au sein du profil d'altération ;
- limite séparant un substratum altéré du sol végétal sus-jacent ;
- etc.

Parmi ces différentes structures, les plus à même d'héberger des occurrences fibreuses macroscopiques potentiellement amiantifères sont d'une part les zones correspondant à des contacts tectoniques, qu'ils soient ductiles ou fragiles, et d'autre part les filons correspondant à des veines tardi-magmatiques (hydrothermales) ou tardimétamorphiques (veines cristallisées dans les conditions P-T du faciès des schistes verts en particulier). Les limites séparant un sol végétal de son substrat altéré peuvent également être marquées par un enrichissement marqué en particules fibreuses dès lors que ce substrat correspond à des roches à serpentines et/ou à amphiboles. Dans le cadre d'une recherche d'amiante et en présence de plusieurs types de roches et de sols, il est donc important de déterminer la nature et les caractéristiques des limites qui séparent les objets géologiques les uns des autres.

Les contacts tectoniques ductiles constituent des objets géologiques d'épaisseur très variable, pluricentimétrique à pluri-hectométrique, au niveau desquels les roches sont généralement très écrasées et étirées. Ce type de contact est fréquemment observé dans les édifices orogéniques (chaines de montagne) où ils soulignent des limites entre des unités géologiques de nature et d'origine variées. Dans ces zones très déformées, les roches acquièrent une structure macroscopique caractérisée par le développement d'une anisotropie planaire plus ou moins pénétrative (schistosité, foliation). Ces plans de schistosité ou de foliation portent souvent une linéation d'allongement minéral correspondant à un alignement de cristaux, parfois fibreux, dans une direction préférentielle. Dans ces zones de cisaillement, les contrastes de ductilité entre les différentes roches affectées par la déformation conduisent au tronçonnement et au boudinage des niveaux les plus compétents (ou les moins déformables) et à l'ouverture de veines et/ou de zones inter-tronçons.

Deux exemples de contacts ductiles sont présentés ci-après (Planche 28). Ils ont été observés dans le Cap Corse, le long de la D 80. Le premier contact (a) correspond à une lame de schistes à fibres de trémolite, à corps très allongés de méta-ferrogabbros sombres (glaucophanites) et de serpentinites, séparant des metabasaltes prasinitiques (prasinites) et des métasédiments (calcschistes). L'épaisseur de cette zone de contact est faible, d'ordre métrique, mais cette zone est très riche en fibres d'amiante. Facilement identifiée dans le talus de la route, cette zone de contact serait plus difficile à détecter si elle était masquée par un sol végétal. La seconde zone (b) correspond à un contact entre des metabasaltes à glaucophane (glaucophanites) et des serpentinites très fragmentées et cataclastiques, très riches en trémolite-amiante.

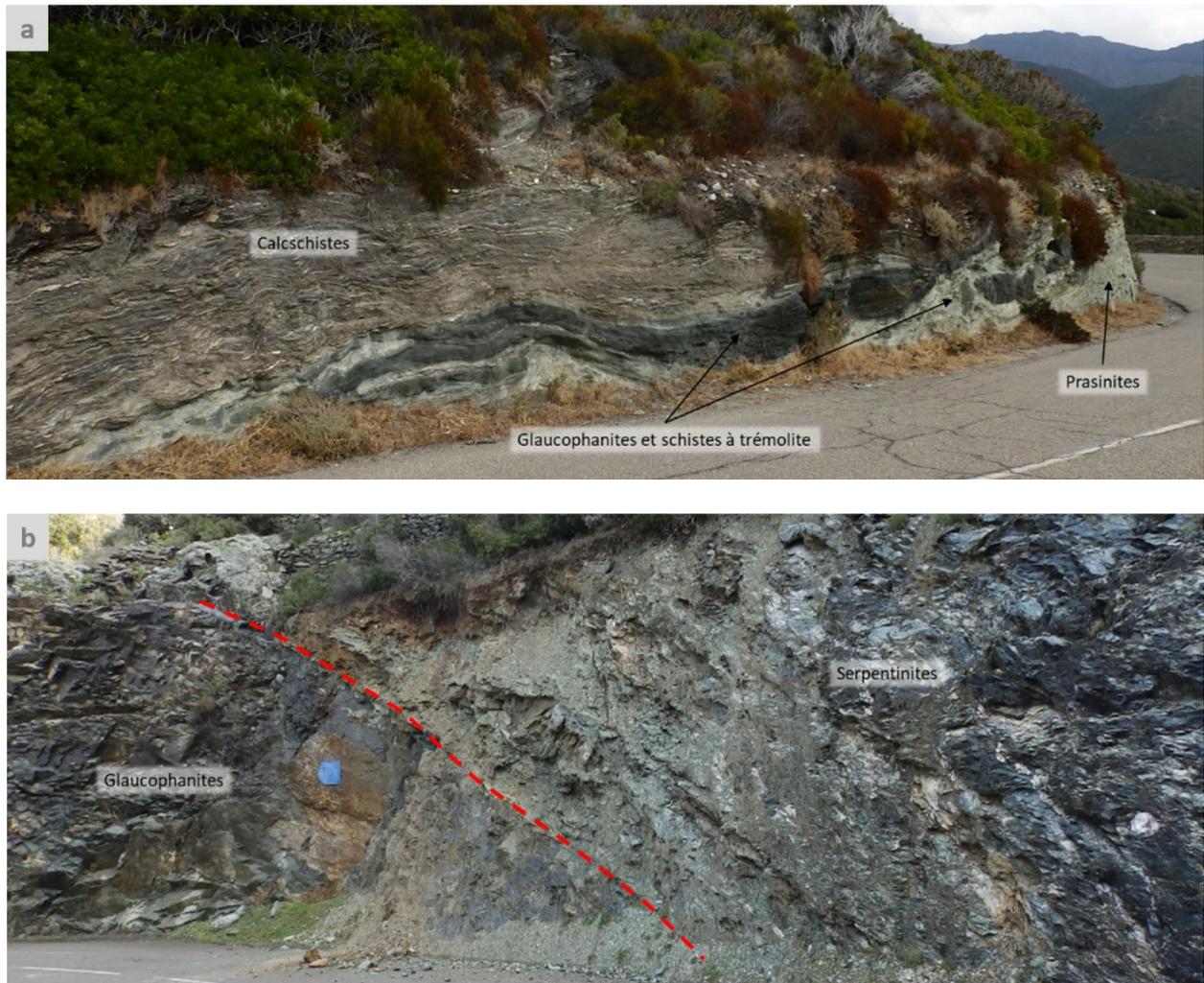


Planche 28 : Exemples de contacts tectoniques ductiles (cf. explications dans le texte).

Deux exemples de structures associées à ces zones ductiles très déformées sont également présentés ci-contre (Planche 29). Le premier exemple (a) est une structure d'échelle métrique correspondant à un niveau de metabasaltes (prasinites) tronçonné. La zone inter-tronçon, ici partiellement remplie par le fluage de serpentinites mylonitiques, constitue un site très favorable à la cristallisation de minéraux fibreux asbestiformes. Le second exemple (b) correspond à une veine métamorphique à longues fibres d'actinolite magnésienne, développée en réponse à la déformation par de la roche-mère (ici des métagabbros ophiolitiques).

Dans le cadre d'une recherche d'amiante, toute zone susceptible de contenir des roches métamorphiques basiques à ultrabasiques très déformées devra faire l'objet d'un examen particulièrement détaillé. Cet examen devra en particulier s'intéresser aux limites entre ces roches métamorphiques et les autres types de roches identifiés sur le site du projet, ces zones de contact potentiellement très déformées étant susceptibles d'héberger des occurrences fibreuses asbestiformes. L'attention du lecteur est attirée sur le fait que ces zones peuvent avoir des épaisseurs très faibles, n'excédant pas quelques millimètres.

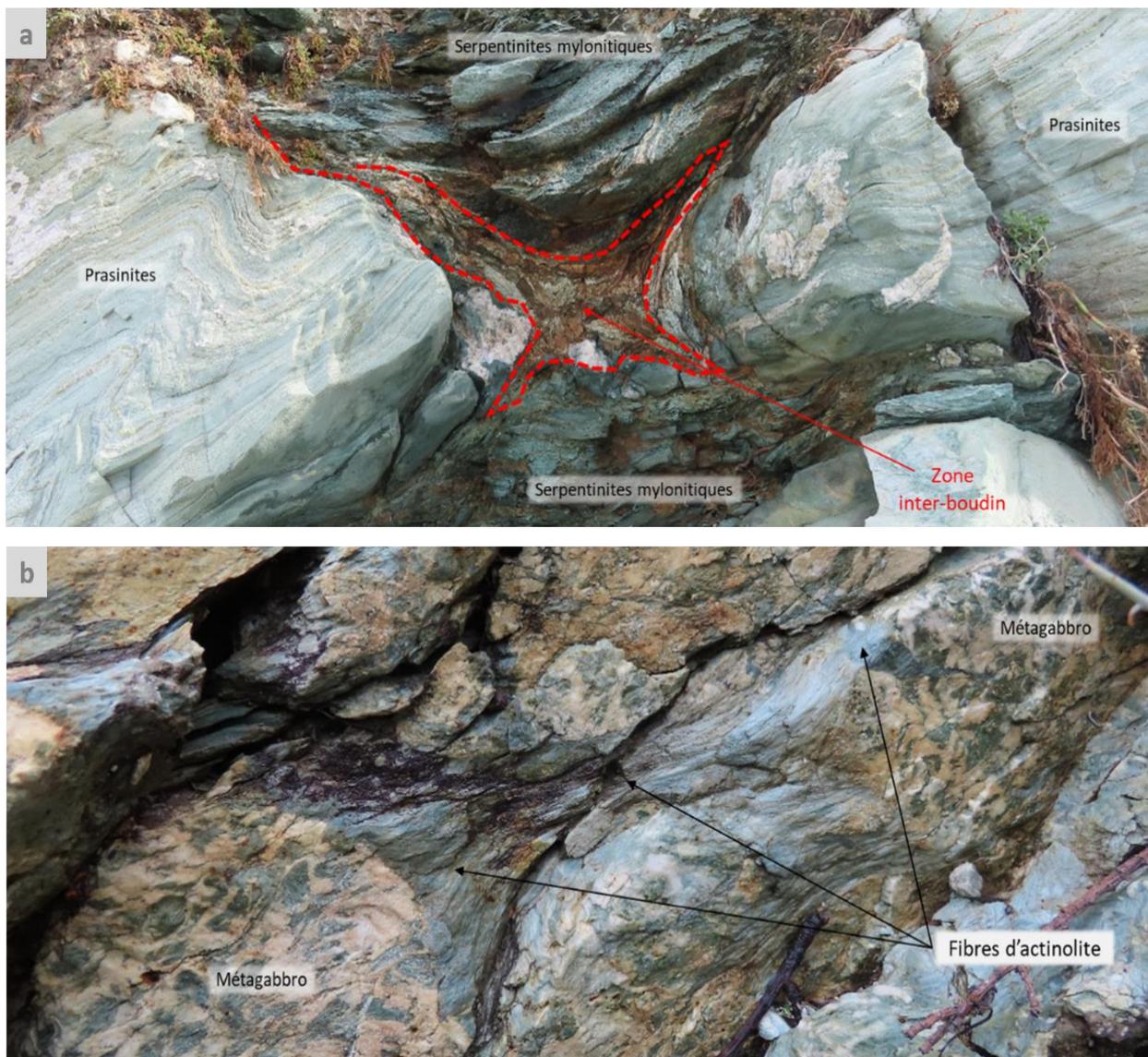
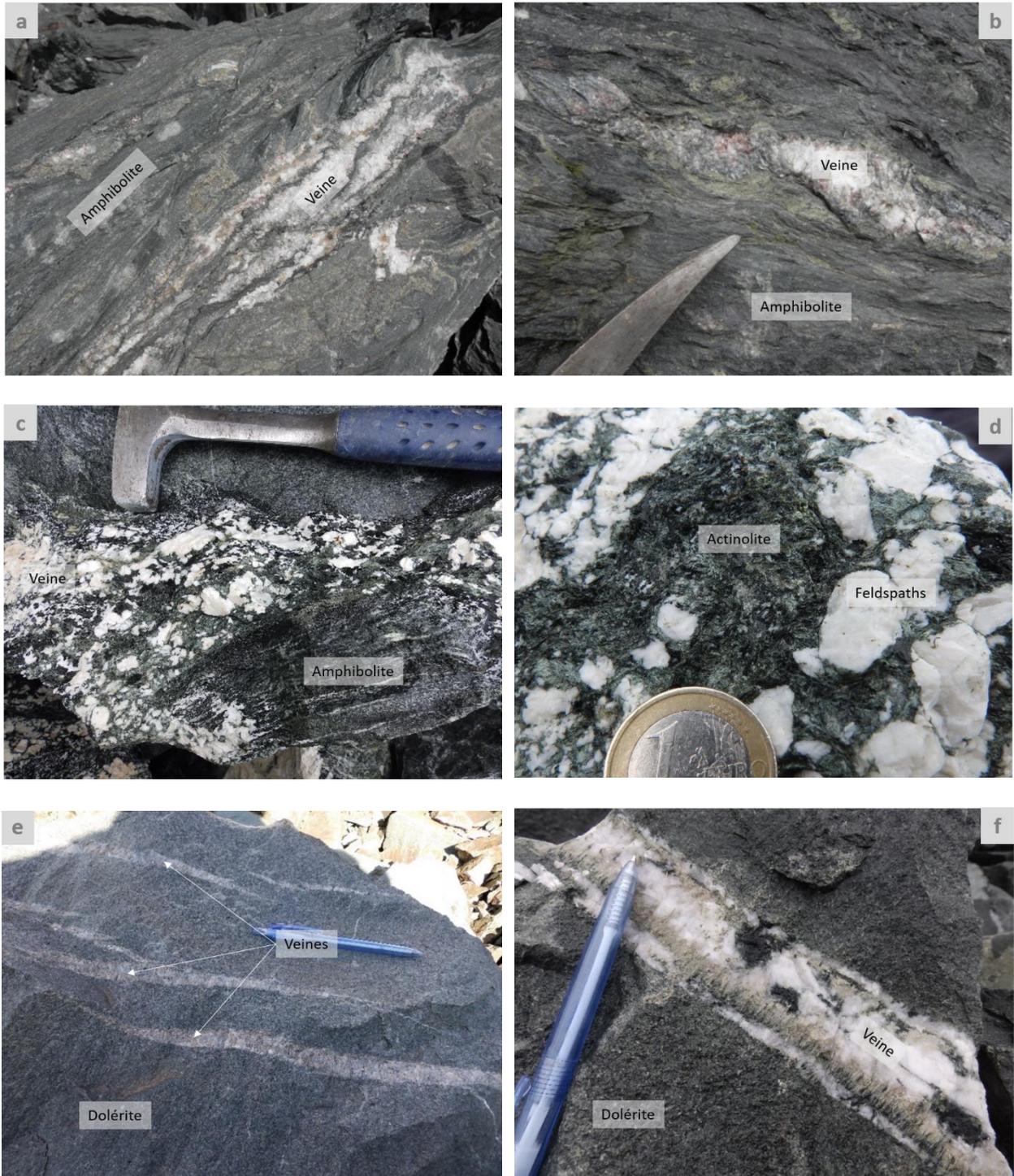


Planche 29 : Exemples de structures associées à des zones à déformation ductile (cf. explications dans le texte).

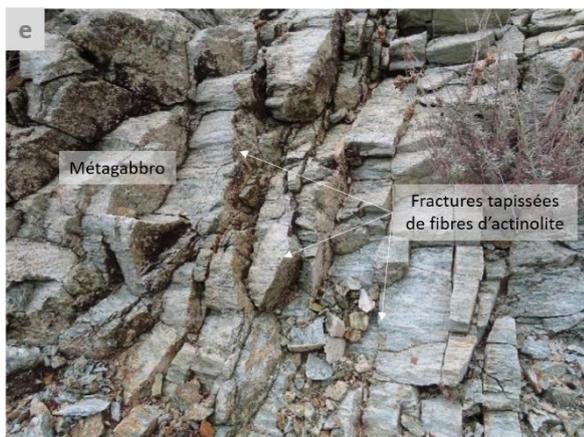
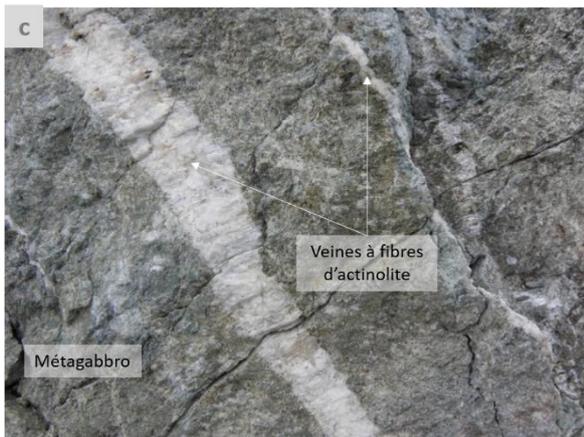
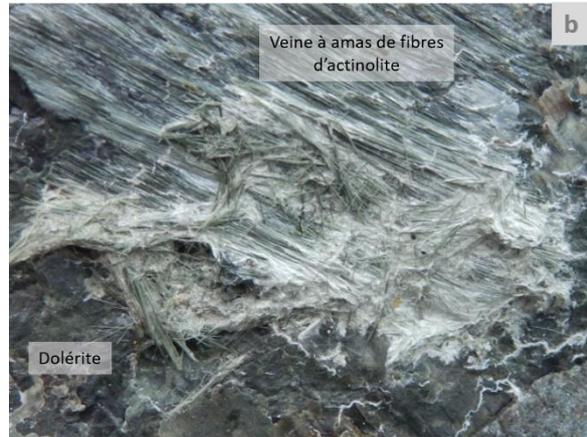
Parmi les autres structures susceptibles d'héberger des occurrences fibreuses amiantifères, celles qui correspondent aux filons et/ou aux veines tardi-magmatiques (hydrothermales) ou tardimétamorphiques (veines cristallisées dans les conditions P-T du faciès des schistes verts) doivent également être étudiées en détail à partir du moment où elles sont identifiées.

Ces structures sont généralement faciles à reconnaître sur le terrain, notamment quand elles affectent des roches magmatiques ou métamorphiques basiques à intermédiaires. Dans ces roches, ces structures se présentent sous forme de veines polyminéales claires, à quartz, albite, épidote et actinolite ( $\pm$  calcite, chlorite). Dans les roches métamorphiques foliées, ces veines peuvent être synfoliales ou sécantes sur la foliation. Les veines synfoliales sont généralement étirées, discontinues et caractérisées par des formes irrégulières. Quand ces veines sont tronçonnées ou boudinées, des cristallisations fibreuses peuvent se développer entre les tronçons ou dans les zones inter-boudins, à l'image des observations faites dans les zones de cisaillement ductiles (Planche 30 : a à d). Les veines sécantes sur la foliation ont en général des formes plus régulières, caractérisées par des épontes plus franches et subparallèles (Planche 30 : e à f).



*Planche 30 : Veines à fibres asbestiformes d'actinolite observées dans différentes lithologies :  
a-b : amphibolites à veines synfoliales ; c-d : amphibolites à poches à albite et gerbes d'actinolite ;  
e-f : dolérites hydrothermalisées à veines fibreuses polyminérales.*

On soulignera que ces veines sont parfois très minces (épaisseur inframillimétrique) et difficiles à identifier sur le terrain. Dans les métagabbros ophiolitiques de Haute-Corse, ces veines très minces sont parallèles à un réseau de fractures très régulier. En présence d'un tel réseau de fractures et dans des objets géologiques susceptibles de contenir des fibres d'amiante, le géologue en charge du repérage devra procéder à un examen minutieux de ces surfaces pour déterminer si elles correspondent ou non à des veines fibreuses (Planche 31).





*Planche 31 : (Ci-avant) Exemples de veines et de fractures ouvertes à actinolite-amiante observées dans différents types de lithologies basiques :*

*a-b : veine blanche à fibres d'actinolite recoupant une dolérite. Les fibres s'altèrent pour donner des amas de fibrilles enmêlées ; c-d : veines à fibres d'actinolite recoupant un métagabbro. Les fibres produisent des amas « cotonneux » sous l'effet de l'altération ; e-f : Réseau de fractures ouvertes découpant un affleurement de métagabbros. Les parois des fractures sont tapissées de fibres d'actinolite-amiante ; g-h : veines ouvertes à fibres d'actinolite-amiante recoupant des prasinites (métabasaltes prasinitiques).*

L'attention du géologue en charge du repérage doit également être attirée sur le potentiel des terrains meubles superficiels (altérites) à contenir des fibres asbestiformes dès lors que ces derniers dérivent de l'altération supergène de roches contenant des serpentines et/ou des cristaux d'actinolite, de trémolite, d'anthophyllite, de riébeckite ou de grunérite. En effet, les processus d'altération conduisant à la formation de ces altérites se traduisent par une fragilisation de ces cristaux d'amphibole, lesquels acquièrent une capacité à se dissocier pour former des fibres très fines. De tels processus ont notamment été décrits dans les péridotites altérées de Nouvelle-Calédonie.



## 5. Prélever des occurrences naturelles d'amiante

Les stratégies d'échantillonnage et les techniques de prélèvement n'étaient que rarement décrites dans les publications relatives à l'amiante environnemental. Dans son annexe B, la norme NF P 94-001 indique désormais des lignes directrices pour l'élaboration des stratégies d'échantillonnage, l'échantillonnage et la constitution des échantillons à partir des prélèvements.

L'élaboration d'un plan d'échantillonnage dépend des objectifs recherchés et de la complexité des objets géologiques présents, ou susceptibles d'être présents, dans le périmètre de l'étude. La stratégie d'échantillonnage et le nombre d'échantillons à prélever doivent également tenir compte des contraintes environnementales, techniques et financières du projet. Une stratégie d'échantillonnage ayant pour but l'analyse de sols comprend généralement plusieurs phases successives :

- 1<sup>re</sup> phase : analyse des données bibliographiques concernant la nature (lithologie), la composition (minéralogie), la structure et la cohérence des matériaux et des sols présents (étude préliminaire) ;
- 2<sup>e</sup> phase : définition précise des objectifs, niveau d'information attendu, détermination des paramètres discriminants à analyser ;
- 3<sup>e</sup> phase : élaboration du plan d'échantillonnage ;
- 4<sup>e</sup> phase : mise en œuvre du plan d'échantillonnage sur le terrain (prélèvements) ;
- 5<sup>e</sup> phase : conditionnement et envoi des échantillons au laboratoire.

Les méthodes d'échantillonnage classiquement mises en œuvre sont (Pascal, 2008) :

- échantillonnage à dire d'expert. Cette méthode permet de prélever des échantillons pertinents par rapport aux objectifs de l'étude. Elle est généralement facile et rapide à mettre en œuvre. Les données acquises peuvent cependant être difficiles à interpréter d'un point de vue statistique. Les choix faits par l'expert doivent être argumentés et la portée de l'étude précisée. Cette méthode correspond à la « stratégie basée sur le jugement du géologue opérateur de repérage », présentée dans l'annexe B de la norme NF P 94-001 ;
- échantillonnage aléatoire. Cette méthode consiste à prélever des échantillons au hasard, sans prise en compte d'aucune ligne directrice. Il s'agit d'une méthode objective d'un point de vue statistique mais qui nécessite le prélèvement d'un nombre souvent très important d'échantillons ;
- échantillonnage systématique. Dans cette méthode, les échantillons sont prélevés selon une grille spatiale prédéfinie. Dans le cas d'une contamination d'un sol, cette méthode permet de cartographier les zones polluées. La précision de la carte dépend des caractéristiques dimensionnelles de la maille élémentaire. Cette méthode correspond à la « stratégie basée sur un échantillonnage systématique », présentée dans l'annexe B de la norme NF P 94-001 ;
- échantillonnage stratifié. Cette méthode repose sur un découpage du volume étudié en strates supposées homogènes puis sur la réalisation d'un échantillonnage de chaque strate (aléatoire ou systématique). Dans le cas d'une contamination d'un sol constitué de plusieurs couches, cette méthode permet de préciser la géométrie des zones polluées en trois dimensions. Cette méthode correspond à la « stratégie stratifiée », présentée dans l'annexe B de la norme NF P 94-001.

Les avantages et les inconvénients de chacune de ces méthodes d'échantillonnage sont rappelés ci-après (Tableau 6).

Dans son rapport sur l'amiante environnemental, l'Anses (2010) a abordé la problématique de l'échantillonnage de sols en vue de mettre en évidence la présence d'amiante et cite notamment le guide d'investigation des sites élaboré par le California Dpt Conservation (Clinkenbeard *et al.* 2002) qui décrit deux types de stratégies d'échantillonnage :

- l'échantillonnage ciblé, basé sur des considérations géologiques et dont l'objectif est de confirmer de façon quantitative la présence d'amiante. Cet échantillonnage se rapproche de « l'échantillonnage à dire d'expert » décrit précédemment ;
- l'échantillonnage non ciblé, à mettre en œuvre quand les observations macroscopiques ne permettent pas de savoir si de l'amiante est ou non présent dans les matériaux et sols étudiés. L'échantillonnage peut être de type aléatoire, systématique ou stratifié, en fonction de la configuration des lieux et des objets géologiques présents.

Les zones d'étude peuvent être très simples à analyser (un seul objet géologique présent) ou beaucoup plus complexes et constituées par plusieurs objets géologiques imbriqués les uns dans les autres et/ou superposés. Dans ces cas complexes, la distribution spatiale des occurrences amiantifères peut être très hétérogène et limitée à certains objets géologiques ou à certaines parties de ces mêmes objets. En fonction de la complexité des objets géologiques à caractériser, une stratégie d'échantillonnage reposant sur une combinaison entre ces différentes méthodes pourra être adoptée.

Stratégie	Exécution	Avantages	Inconvénients
A dire d'expert	Les sites de prélèvement sont choisis par l'expert en fonction de ses connaissances.	Simple et rapide à mettre en œuvre. Qualité et pertinence des échantillons.	Pas d'analyse statistique des résultats. Biais possible si les hypothèses initiales sont fausses. Transparence moindre.
Aléatoire simple	Sites de prélèvement choisis au hasard, sans idée préconçue.	Probabilité de prélèvement égale en tout point. Faible erreur systématique. Adaptée à une cible petite et homogène.	Nombre élevé d'échantillons. Exécution coûteuse.
Systématique	Répartition des points suivant un maillage régulier prédéterminé.	Précision de la répartition spatiale.	Erreurs possibles en cas de grilles inadaptées
Stratifié	Subdivision de la zone d'étude en sous-zones homogènes. Répartition des sites de prélèvement dans chaque zone.	Amélioration de la précision spatiale. Nombre réduit d'échantillons.	Très sensible aux hypothèses faites. Nécessite une connaissance préalable très fine de la zone d'étude.

Tableau 6 : Avantages et inconvénients des différentes stratégies d'échantillonnage.

## 5.1. CONCEVOIR UN PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

Dans le cadre d'une recherche d'amiante dans une zone donnée, le géologue en charge de l'étude pourra être amené à concevoir un plan d'échantillonnage. Des guides généraux relatifs à l'élaboration d'un plan d'échantillonnage de sols en vue d'analyses ultérieures existent (CEAEQ, 2008 ; ANSES, 2010), lesquels peuvent fournir des éléments intéressants pour concevoir une stratégie d'échantillonnage d'un site en vue d'une analyse d'amiante.

Un plan d'échantillonnage constitue un mode opératoire détaillé qui précise notamment :

- la (ou les) stratégie(s) d'échantillonnage adoptée(s) ;
- les différentes actions à entreprendre sur le terrain ;
- les moyens à mettre en œuvre pour réaliser les prélèvements ;
- la localisation des zones devant faire l'objet de prélèvements ;
- le nombre, le type et la masse des échantillons à prélever ;
- la (ou les) technique(s) analytique(s) à mettre en œuvre à partir des échantillons prélevés.

Le plan d'échantillonnage doit être conçu et dimensionné pour permettre l'établissement d'un diagnostic solide sur l'absence ou la présence d'amiante dans les matériaux et les sols étudiés. Le nombre d'échantillons prélevés doit être adapté à la complexité de l'environnement géologique. Il sera d'autant plus important que les objets géologiques seront nombreux et hétérogènes.

## 5.2. PRÉLEVER DES ÉCHANTILLONS

Deux types d'échantillons doivent être considérés : les échantillons cohérents (massifs) et les échantillons non cohérents (friables). Dans la pratique, ces deux types d'échantillons seront fréquemment présents dans les zones d'étude impliquant d'une part des niveaux superficiels désagrégés, non cohérents, issus de l'altération du substratum rocheux (altérites) et d'autre part les roches massives sous-jacentes. On remarquera également que des massifs de roches cohérentes peuvent être recoupés par des structures amiantifères composées de faisceaux fibreux faiblement liés aux autres constituants minéralogiques. Les échantillons constitués à partir de telles structures sont faciles à prélever, souvent par simple arrachement à l'aide d'une petite pince. Ces échantillons majoritairement fibreux s'apparentent à des échantillons non cohérents.

### 5.2.1. Les échantillons cohérents (massifs)

Les occurrences fibreuses amiantifères ou potentiellement amiantifères présentes dans certaines roches massives sont plus ou moins faciles à identifier dans le cadre d'une expertise sur le terrain. Ceci est en lien avec la nature géologique des matériaux présents, le (ou les) type(s) d'occurrence(s) et la répartition spatiale de ces occurrences (distribution homogène ou inhomogène/localisée). Dans les cas les plus simples, les occurrences fibreuses seront identifiables à l'œil nu ou à l'aide d'une simple loupe de terrain. Dans d'autres cas, plus difficiles, ces occurrences seront indétectables à l'œil nu et ne pourront être que suspectées au stade de la visite de terrain.

Lorsque des occurrences fibreuses amiantifères ou potentiellement amiantifères sont identifiées sur le terrain, le géologue peut établir une typologie de ces occurrences et apporter des éléments d'information sur leur répartition spatiale et leur abondance dans les différents matériaux présents. La stratégie d'échantillonnage peut alors privilégier le prélèvement d'échantillons ciblés, à dire d'expert (Expertise).

Dans le cas contraire, lorsqu'aucune occurrence fibreuse amiantifère ou potentiellement amiantifère n'a été identifiée dans le cadre de la visite de terrain, la stratégie d'échantillonnage à mettre en œuvre consiste en un échantillonnage adapté, non systématique et non aléatoire, des matériaux présents. Outre la nature des roches présentes, cet échantillonnage doit être guidé par la recherche et la prise en considération d'indices susceptibles de trahir la présence de fibres microscopiques : veines polyminérales à quartz et/ou albite et/ou épidote, zones déformées et/ou affectées par des recristallisations dans les conditions du faciès des schistes verts, veines minéralisées, auréoles réactionnelles, etc.

Dans la pratique, la stratégie d'échantillonnage reposera souvent sur une combinaison entre un échantillonnage à dire d'expert et un échantillonnage adapté.

### **5.2.2. Les échantillons non cohérents (friables)**

Les échantillons non cohérents peuvent correspondre à des roches très altérées et désagrégées (altérites) ou à des occurrences majoritairement fibreuses, plus ou moins dissociables, prélevés au niveau de structures particulières recoupant des roches massives.

Dans le cas des altérites, deux cas de figures peuvent être considérés. Si le matériau altéré et friable contient des structures fibreuses identifiables à l'œil nu, ces structures peuvent alors être directement prélevées à l'aide d'une petite pince et conditionnées par double ensachage de telle manière à pouvoir être transportées jusqu'au laboratoire. Si aucune structure fibreuse ne peut être identifiée sur le terrain mais que leur présence est suspectée, du fait notamment de la nature du substratum rocheux sous-jacent, il conviendra de prélever une quantité représentative du matériau ciblé et de le conditionner pour pouvoir le transporter jusqu'au laboratoire.

Les échantillons majoritairement fibreux prélevés au niveau de structures fibreuses recoupant des roches massives sont généralement faciles à prélever et à analyser. Pour caractériser de tels échantillons, les techniques les plus pertinentes susceptibles d'être mises en œuvre sont la microscopie optique à lumière polarisée, la microscopie électronique à transmission analytique et la microscopie électronique à balayage (cf. § 6.).

### **5.2.3. Le cas particulier des formations détritiques polygéniques**

La caractérisation du potentiel amiantifère d'une formation géologique composée d'alluvions ou de sédiments fluvioglaciers polygéniques nécessite une approche spécifique, très différente de celle applicable aux formations géologiques massives et autochtones. Cette caractérisation peut nécessiter une analyse préalable des formations géologiques affleurant en amont du site investigué, dans le bassin-versant correspondant, puis une analyse détaillée de la structure interne du gisement. L'échantillonnage doit être représentatif de la formation géologique étudiée et rendre compte à la fois de la diversité granulométrique (argiles, sables, cailloutis, galets, blocs) et pétrographique des éléments rocheux constitutifs du dépôt sédimentaire.

L'analyse géologique du bassin-versant a pour objectif de déterminer si des zones-sources correspondant à des formations géologiques amiantifères ou potentiellement amiantifères sont présentes et, le cas échéant, d'en préciser l'importance en termes de surface. Ces zones-sources peuvent correspondre à des affleurements rocheux non déplacés (sources primaires) et/ou à des volumes rocheux plus ou moins déplacés et plus ou moins étendus tels que les dépôts de pente, les éboulis, les cônes de déjection ainsi que les dépôts fluviaux, fluvioglaciers et glaciaires anciens (sources secondaires). Une synthèse des données bibliographiques, incluant l'analyse des cartes géologiques disponibles, suffira le plus souvent à ce stade de l'expertise pour caractériser le potentiel des alluvions examinées à contenir ou non des éléments de roches amiantifères.

La nature pétrographique des éléments rocheux constitutifs d'une formation composée d'alluvions ou de sédiments fluvio-glaciaires dépend de la nature géologique de tous les terrains présents en amont, que ces derniers correspondent à des sources primaires ou à des sources secondaires. La diversité pétrographique des éléments rocheux présents dans une formation alluvionnaire est d'autant plus importante que le bassin-versant correspondant est étendu et varié d'un point de vue de la nature des terrains géologiques. D'une manière assez générale, les formations alluvionnaires ont un caractère polygénique, ce qui signifie qu'elles sont constituées par différents types de roches. Dans le cadre de la caractérisation du potentiel amiantifère d'un gisement, le géologue devra rechercher en priorité si des roches appartenant aux groupes 2E, 2G et 3E (Tableau 5) y sont présentes ou non. Si de telles roches sont identifiées dans le dépôt, il conviendra d'estimer, sur le terrain, les fractions relatives par l'étude d'un échantillon représentatif. Dans la pratique, cela pourra nécessiter la caractérisation pétrographique d'un nombre important d'éléments rocheux (plusieurs centaines), de telle manière à pouvoir estimer avec une précision suffisante les parts relatives des différents types de roches constitutifs de l'échantillon de départ. Une fois ces éléments rocheux caractérisés et classés, le géologue pourra sélectionner des éléments rocheux représentatifs des types pétrographiques contenant ou susceptibles de contenir des fibres d'amiante, à des fins de contrôle, de caractérisation et de quantification en laboratoire.



## 6. Analyser des occurrences naturelles d'amiante

Les évolutions de la réglementation française imposeront bientôt l'identification préalable d'amiante dans les sols naturels ou les roches susceptibles d'être impactés par l'exécution de travaux. L'arrêté publié par le ministère du Travail, en date du 1<sup>er</sup> octobre 2019, définit en particulier le protocole que les laboratoires accrédités doivent désormais suivre dans le cadre d'une recherche d'amiante naturellement présent dans les matériaux (amiante non ajouté volontairement). Cette réglementation s'applique aux matériaux strictement naturels et à ceux contenant des éléments naturels, tels que certains enrobés et bétons.

L'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019 précise que les mises en œuvre des parties concernées des normes NF ISO 22262-1 et NF X 43-050 sont réputées répondre aux exigences réglementaires pour les analyses réalisées au microscope optique à lumière polarisée (MOLP) et au microscope électronique à transmission analytique (MET), respectivement. Il précise également que des observations et des analyses complémentaires peuvent être acquises à partir de lames minces pour expliquer et comprendre la présence d'amiante, via l'utilisation d'un microscope optique à lumière polarisée, d'une microsonde électronique ou d'un microscope électronique à balayage (EDS).

Différentes techniques analytiques sont susceptibles d'être mises en œuvre pour rechercher des fibres d'amiante dans un matériau rocheux naturel. Ces techniques dépendent avant tout de la nature même de l'échantillon et de ses caractéristiques macroscopiques. Les microscopes électroniques à balayage semblent particulièrement pertinents pour l'analyse des échantillons correspondant à - ou contenant - des structures fibreuses facilement dissociables (Cossio *et al.* 2018 ; Lahondère *et al.* 2018 ; Lahondère *et al.* 2019). Ils sont également performants dans le cadre d'étude de lames minces réalisées à partir d'échantillons de roches (Lucci *et al.* 2018 ; Lahondère *et al.* 2021).

Deux grandes catégories d'échantillons peuvent être considérées : les échantillons cohérents et les échantillons non cohérents (meubles ou friables). Pour ces derniers, il convient de différencier les échantillons dans lesquels des structures minérales fibreuses sont observées et ceux dans lesquels aucune structure de ce type ne peut être observée à l'œil nu et/ou à l'aide d'une loupe de terrain. Les informations ci-dessous concernent des échantillons cohérents à partir desquels il est possible de fabriquer des lames minces polies.

## 6.1. MICROSCOPIE OPTIQUE

### 6.1.1. Microscope Optique à Contraste de Phase (MOCP)

La méthode par microscopie optique à contraste de phase (MOCP) est utilisée pour l'analyse des prélèvements d'air dans la majorité des pays et jusqu'en 2012 en France. La méthode du filtre à membrane avec lecture en MOCP s'est progressivement imposée comme la méthode de référence pour les évaluations professionnelles des expositions. Les fibres comptées sont celles ayant les dimensions d'une fibre OMS. Cette méthode simple d'emploi et peu coûteuse présente cependant plusieurs limites :

- elle n'est pas spécifique à l'amiante car elle ne permet pas l'identification chimique ou cristallographique des fibres ;
- les fibres les plus fines, d'un diamètre inférieur à 0,2 µm, ne sont pas visibles ;
- les fragments de clivage qui ont les dimensions d'une fibre OMS ne peuvent pas être différenciés des fibres asbestiformes.

### 6.1.2. Microscope Optique à Lumière Polarisée (MOLP)

Le microscope optique à lumière polarisée (MOLP) est un instrument d'optique équipé de 2 filtres spéciaux, appelés polariseur et analyseur, permettant d'observer et d'identifier les minéraux constitutifs d'un échantillon (Figure 22). Le MOLP utilise pour cela les propriétés optiques des minéraux, lesquelles sont modifiées quand ces minéraux sont traversés par des rayons lumineux. Lorsque le polariseur et l'analyseur sont croisés (perpendiculaires l'un à l'autre), les rayons lumineux qui sortent du polariseur sont arrêtés par l'analyseur : il y a extinction. Aucune lumière n'est visible dans l'oculaire. Lorsqu'un cristal est placé entre le polariseur et l'analyseur, ce cristal dévie les rayons lumineux issus du polariseur et modifie ses caractéristiques. L'analyseur agit ensuite sur la lumière polarisée en modifiant les teintes, qui sont ainsi caractéristiques du cristal observé. Ces couleurs de polarisation servent de « signature » pour identifier les minéraux.

La méthode d'analyse par MOLP convient à l'analyse des matériaux naturels contenant ou susceptibles de contenir de l'amiante. La caractérisation d'un minéral est effectuée sur la base de ses caractéristiques morphologiques et de ses propriétés optiques (couleur et pléochroïsme biréfringence, extinction, signe d'élongation, indices de réfraction) (HSE, 2006 ; NF ISO 22262-1).

Le MOLP est un équipement très utilisé par les géologues, notamment pour l'analyse des matériaux naturels cohérents (roches).

La préparation de l'échantillon consiste dans la réalisation d'une ou plusieurs lames minces de 30 µm d'épaisseur<sup>15</sup>, correspondant à une surface d'observation utile comprise classiquement entre 10 cm<sup>2</sup> et 20 cm<sup>2</sup>. Ces lames minces doivent être taillées de telle manière à prendre en compte les caractéristiques pétrographiques et structurales des échantillons et de privilégier l'observation des fibres éventuellement présentes dans leur plus grande longueur.

---

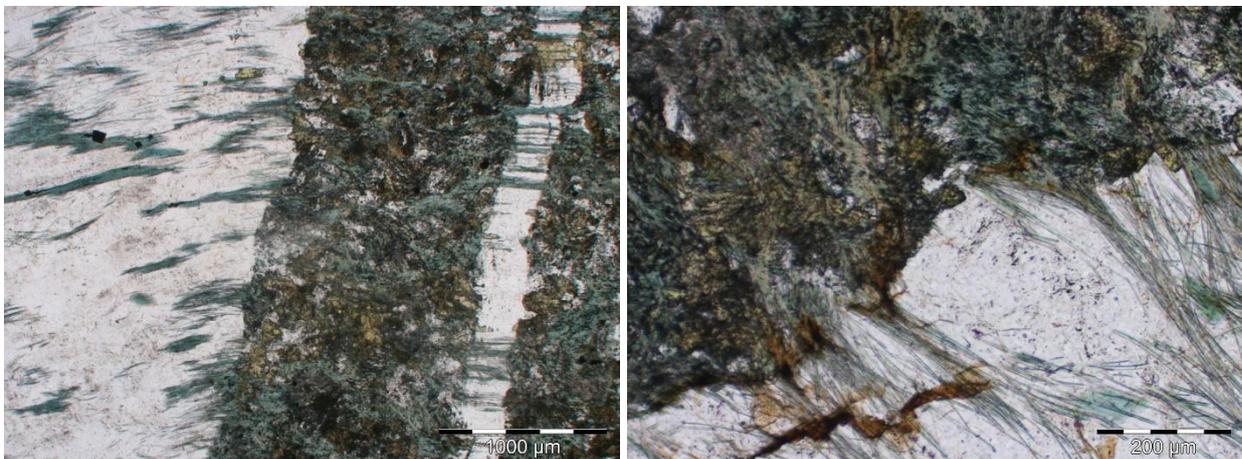
<sup>15</sup> Le coût d'une lame mince polie, prête à être métallisée, est d'environ 60 €

L'étude des lames minces permet de décrire la texture de la roche et d'identifier les minéraux constitutifs. Elle permet également de décrire la morphologie de ces minéraux, de comprendre leurs relations et de préciser leur origine (minéraux magmatiques, minéraux métamorphiques, minéraux d'altération). Il s'agit là d'une méthode non destructive.

Le MOLP est un équipement qui permet déjà d'identifier la présence des structures fibreuses dans un échantillon, voire des fibrilles très fines (Planche 19, Planche 32). Seuls les minéraux fibreux et/ou les structures fibreuses les plus épaisses ( $D > 3 \mu\text{m}$ ) peuvent néanmoins être observées dans de bonnes conditions et faire réellement l'objet d'une caractérisation minéralogique précise. Il est en revanche très difficile de déterminer les caractéristiques optiques, et donc l'espèce d'appartenance, des fibres les plus fines ( $D < 1 \mu\text{m}$ ), et ce même en utilisant des objectifs à fort grossissement ( $\times 20$  ou  $\times 50$ ). Il est également difficile de faire la distinction entre des phases minérales très proches d'un point de vue cristallographique et chimique (distinction entre les hornblendes siliceuses et l'actinolite par exemple). Dans ce cas, il peut être nécessaire de poursuivre les analyses et de recourir à d'autres techniques analytiques : microscopie électronique, analyse par dispersion d'énergie des rayons X et/ou à la diffraction électronique, diffraction des rayons X, spectroscopie infrarouge, etc.



Figure 22 : Principe du MOLP et exemple d'équipement.



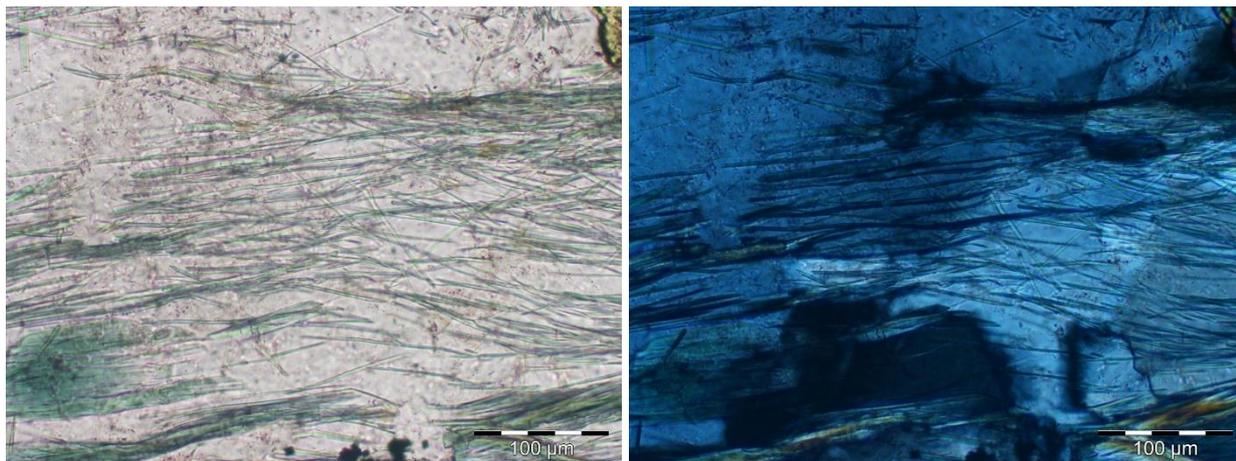


Planche 32 : Images obtenues au MOLP à partir d'une lame mince taillée dans un metabasalte recoupé par des veines à albite et amphiboles fibreuses (haut). Les photos du bas correspondent à une vue détaillée des fibres, en lumière polarisée non analysée (gauche) et en lumière polarisée analysée (droite).

### 6.1.3. Microsonde électronique (MSE)

Le principe de la microsonde électronique (MSE) repose sur la détection de rayons X émis par les atomes de l'échantillon, dans un volume d'environ  $1 \mu\text{m}^3$  soumis au bombardement d'un faisceau d'électrons présentant une tension de plusieurs centaines d'eV à 50 keV (Figure 23). L'accélération des électrons a lieu entre le wehnelt (grille de commande d'un tube cathodique qui permet de faire varier l'intensité du faisceau d'électrons) et l'anode. Le courant de faisceau des électrons est régulé de manière à être le plus stable possible dans le temps d'analyse (amélioration notable de la précision analytique). Les rayons X sont détectés par trois à cinq spectromètres à dispersion de longueur d'onde (WDS).

La microsonde électronique est un outil analytique très utilisé par les géologues pour déterminer les compositions chimiques précises des phases minérales étudiées. La microsonde électronique permet d'obtenir des données quantitatives (titres massiques) et qualitatives (spectres). La résolution en imagerie est de l'ordre d'une dizaine de nanomètres et en microanalyses, elle est de l'ordre de  $1 \mu\text{m}^3$ . En pratique, cette technique permet d'acquérir des analyses chimiques ponctuelles correctes d'un point de vue stœchiométrique à partir des fibres les plus larges ( $D > 2 \mu\text{m}$ ) et/ou des structures encore plus larges, composées par la juxtaposition de plusieurs fibres. L'efficacité de cette technique diminue cependant quand on cherche à analyser des fibres très fines, de diamètre inférieur à  $1 \mu\text{m}$  (fibrilles) (Wille et Lahondère, 2019).

Pour les géologues, l'un des avantages réside dans le fait de pouvoir utiliser les mêmes supports que ceux utilisés pour faire les observations au MOLP, à savoir des lames minces de  $30 \mu\text{m}$ , métallisées pour l'occasion. Il est donc possible de faire un lien très précis entre les observations faites au MOLP et les analyses MSE.

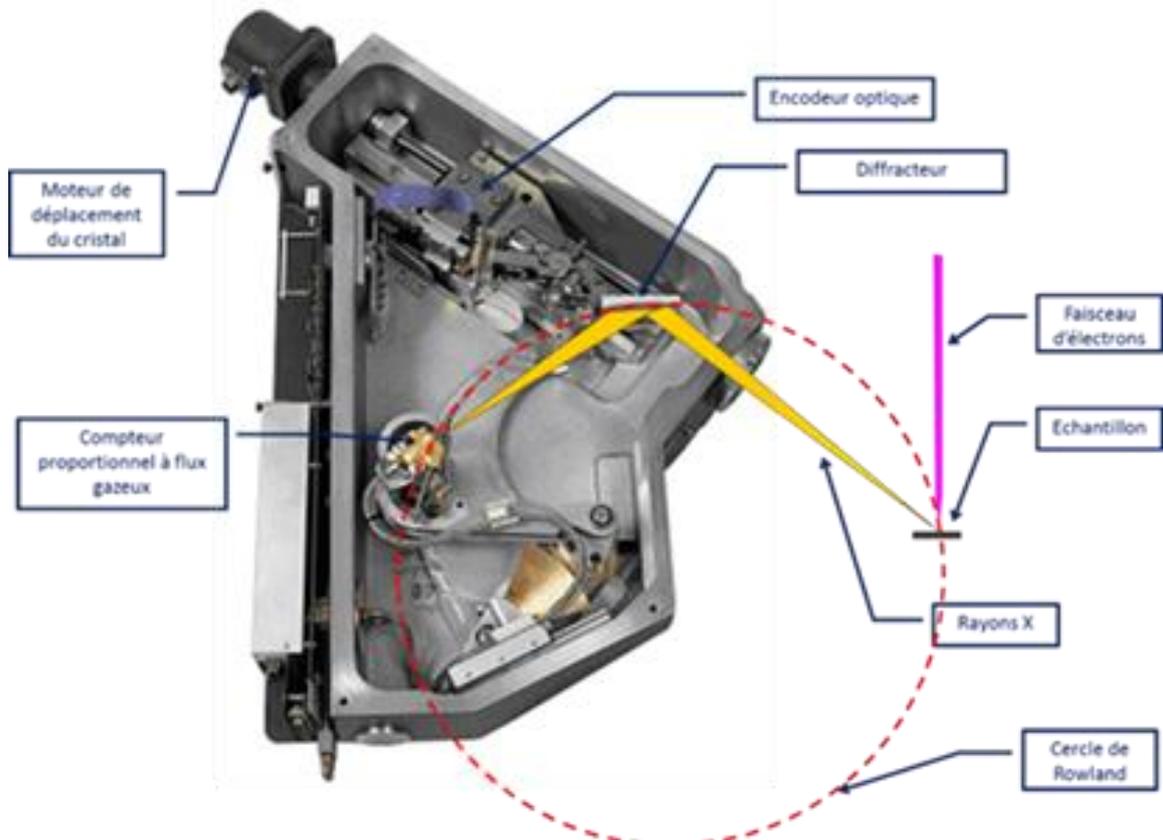


Figure 23 : Exemple de microsonde et principe de l'équipement.

### 6.1.4. Microscope Électronique à Balayage (MEB)

Le principe du microscope électronique à balayage (MEB) repose sur les interactions entre un faisceau d'électrons et l'échantillon, lesquelles génèrent des particules et des rayonnements (électrons secondaires, électrons rétrodiffusés, rayons X) (Figure 24). Le faisceau d'électrons issu d'un canon à électrons est focalisé sur l'échantillon à travers des lentilles électromagnétiques.

Cette technique repose sur l'exploitation des interactions électrons-matière. En MEB, un faisceau focalisé d'électrons accélérés par une tension de 0,5 à 30 kV balaye point par point et ligne après ligne la surface d'un échantillon. Diverses interactions entre les électrons incidents (primaires) et la matière génèrent ensuite différents signaux utilisés pour l'imagerie (électrons secondaires, électrons rétrodiffusés, cathodoluminescence) et pour la microanalyse chimique élémentaire (rayons X). Des détecteurs appropriés, tels que des détecteurs d'électrons spécifiques (secondaires, rétrodiffusés...) et des détecteurs de photons X, permettent de recueillir des signaux significatifs lors du balayage de la surface et d'en former diverses images significatives (images en contraste chimique ou topographique) et des spectres de microanalyse. Les interactions entre le faisceau électronique incident et les atomes de la surface de l'échantillon génèrent des photons X, provenant d'une transition électronique au sein du nuage électronique des atomes. Chaque photon X possédant une énergie caractéristique peut alors être collecté par un détecteur dédié, son énergie (mesurée en eV) permettant d'identifier spécifiquement l'atome qui l'a émis. Chaque photon détecté est donc attribué et il est ainsi possible de procéder à une analyse chimique qualitative (voire semi-quantitative dans certains cas) localisée ( $\mu\text{m}^3$ ) de la surface d'un échantillon. Les photons X de basse énergie ne sont pas (ou mal) détectés, l'analyse dispersive en énergie (EDX ou EDS) ne prenant pas en compte les éléments légers (H, He, Li, Be, B).

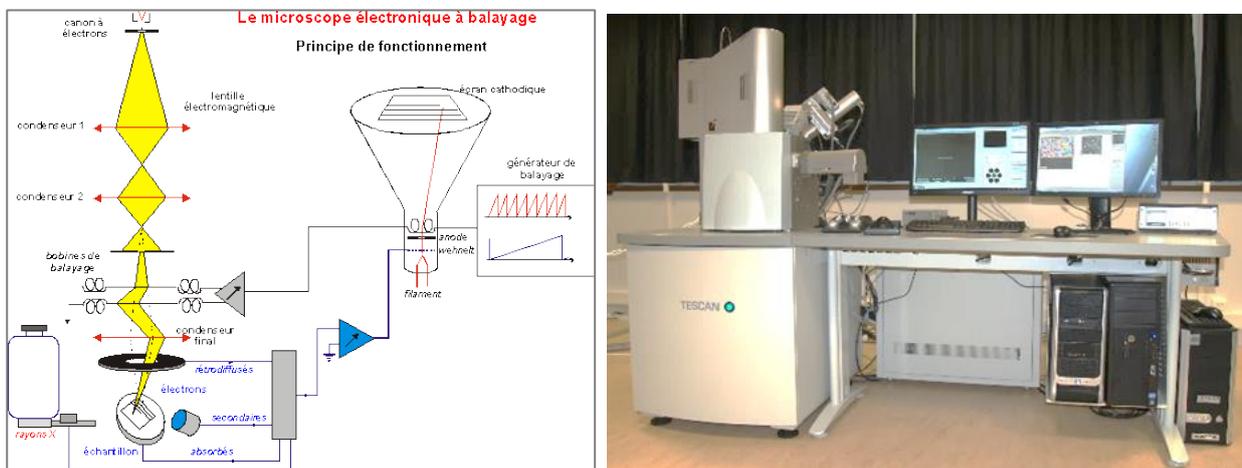


Figure 24 : Principe du MEB et exemple d'équipement (BRGM/ISTO)

S'agissant de l'amiante, le MEB n'est pas utilisé en France car sa résolution était réputée trop faible pour détecter les fibres fines et que cette technique ne permettait pas d'accéder à la diffraction électronique. Les nouveaux équipements offrent maintenant des résolutions très fines, adaptées à l'identification de fibres asbestiformes, que ces dernières soient observées à partir de la surface d'un échantillon de roche (lame polie) ou à partir d'une structure fibreuse non liée.

Dans le rapport de l'ANSES relatif aux effets sanitaires et à l'identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière (2015), les principales méthodes d'analyse utilisées en routine pour des échantillons sont présentées. Ce rapport précise que le MEB peut être utilisé en complément de la MOLP dans le cadre de la recherche d'amiante dans les matériaux et que cette technique est appliquée dans certains pays pour la détermination des concentrations en nombre de particules fibreuses inorganiques dans l'air des lieux de travail, en complément de la MOCP. Rappelons également que l'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019 précise que des observations et des analyses, venant en complément des analyses MOLP et META, peuvent être acquises avec un microscope électronique à balayage, à partir de lames minces, dans le but d'expliquer et de comprendre la présence d'amiante.

Les lames minces taillées à partir d'échantillons cohérents peuvent être observées et étudiées avec un microscope électronique à balayage équipé d'un dispositif d'analyse ponctuelle (MEB-EDS). L'utilisation d'un MEB permet d'abord d'acquérir des images à différentes échelles de l'ensemble de la lame mince ou de microsites représentatifs de l'image de surface (Figure 25), dans le but de repérer les zones susceptibles de contenir des minéraux fibreux. Le MEB permet également d'établir des cartographies chimiques multi-élémentaires et d'acquérir des informations sur la composition chimique des fibres identifiées (Figure 26).

L'utilisation d'un microscope électronique à balayage apparaît également particulièrement adapté à l'analyse des échantillons majoritairement fibreux et reconnus comme tels sur le terrain. En effet, cette technique permet de reconnaître les principales caractéristiques morphologiques des fibres et des faisceaux asbestiformes au sens de l'EPA (Planche 1).

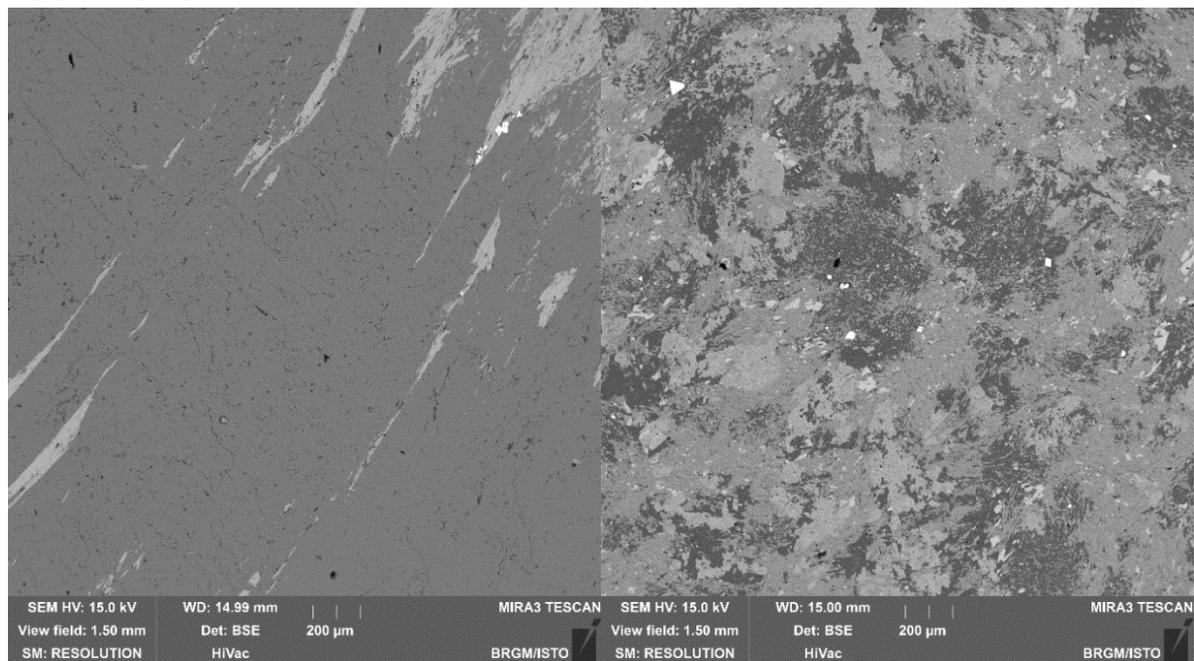
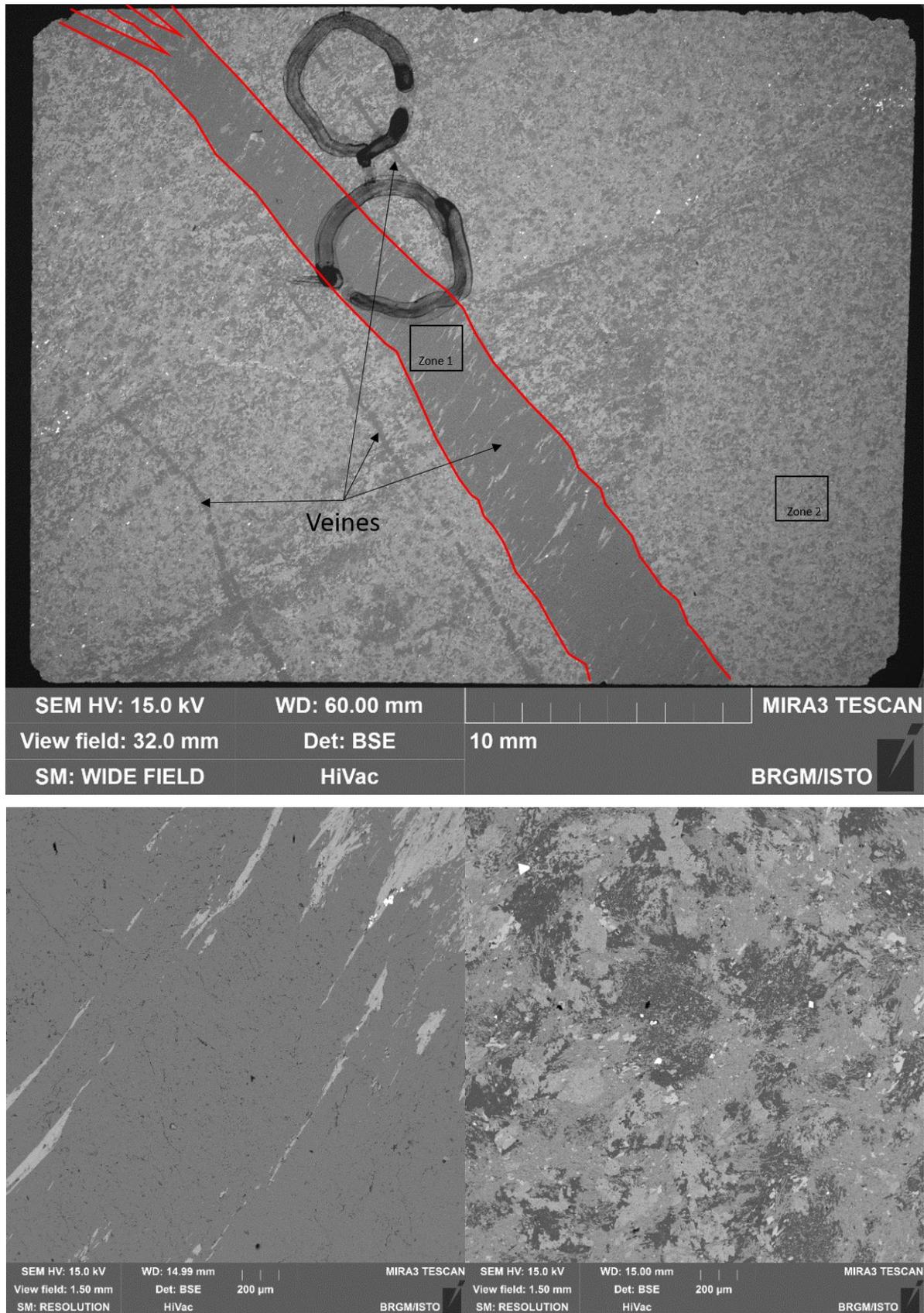
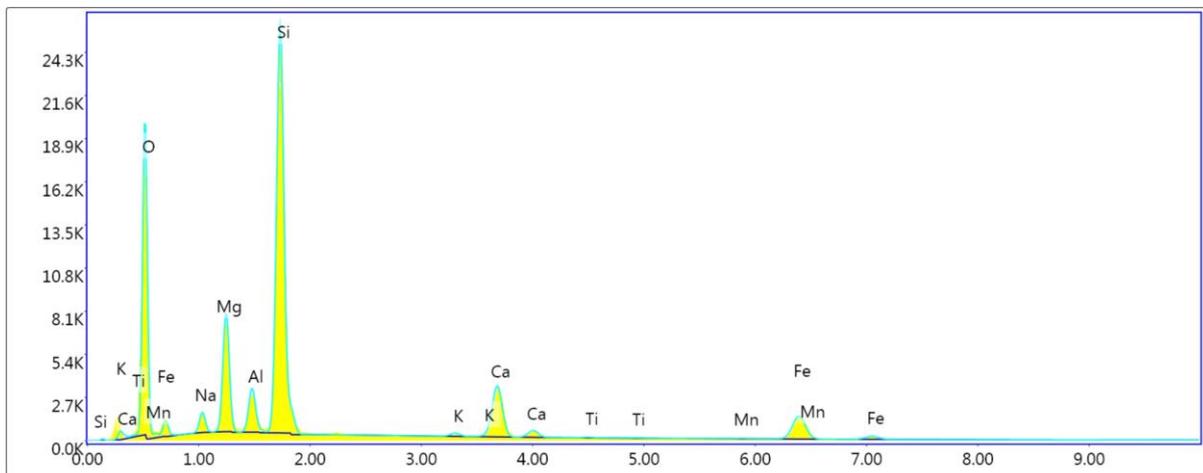
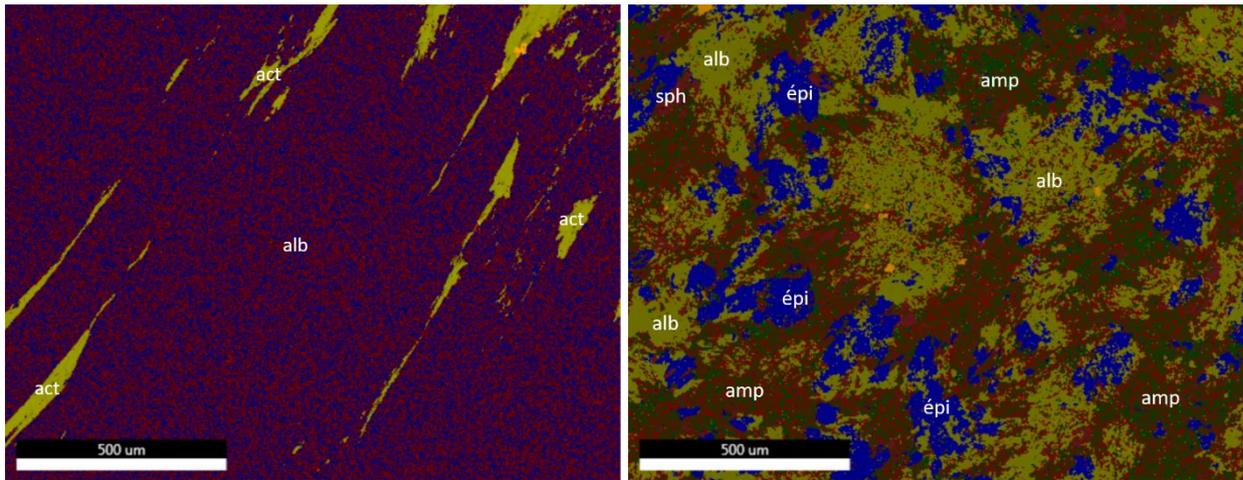
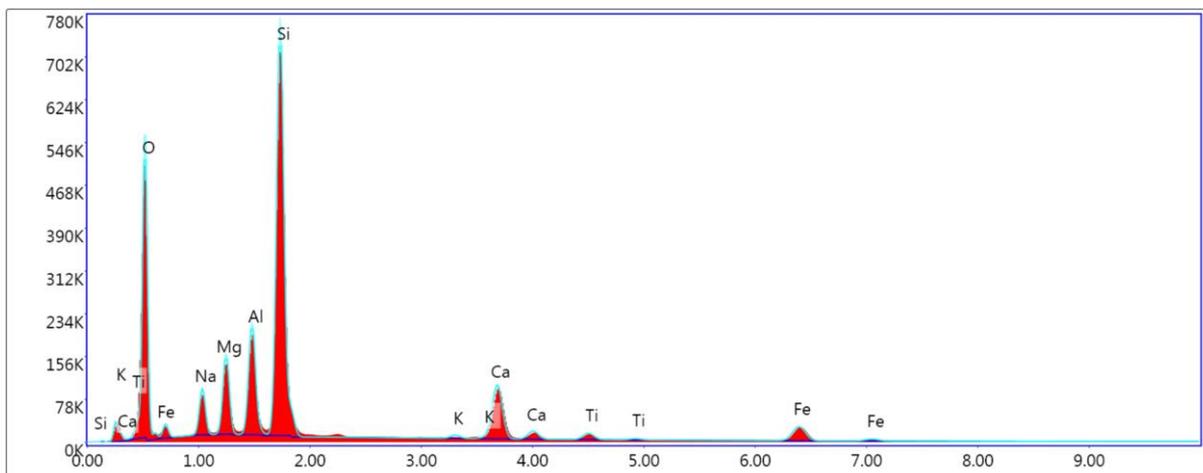


Figure 25 : Image générale (haut) et vues détaillées (bas) d'une lame mince correspondant à un échantillon de metabasalte recoupé par des veines pro parte fibreuses.



Lsec: 31.3 0 Cnts 0.000 keV Det: Apollo XP-SDD



Lsec: 901.1 0 Cnts 0.000 keV Det: Apollo XP-SDD

Figure 26 : Cartographies multi-élémentaires obtenues à partir des zones 1 & 2 (haut) et spectres correspondant aux particules fibreuses de la zone 1 (actinolite) et aux amphiboles matricielles (zone 2).

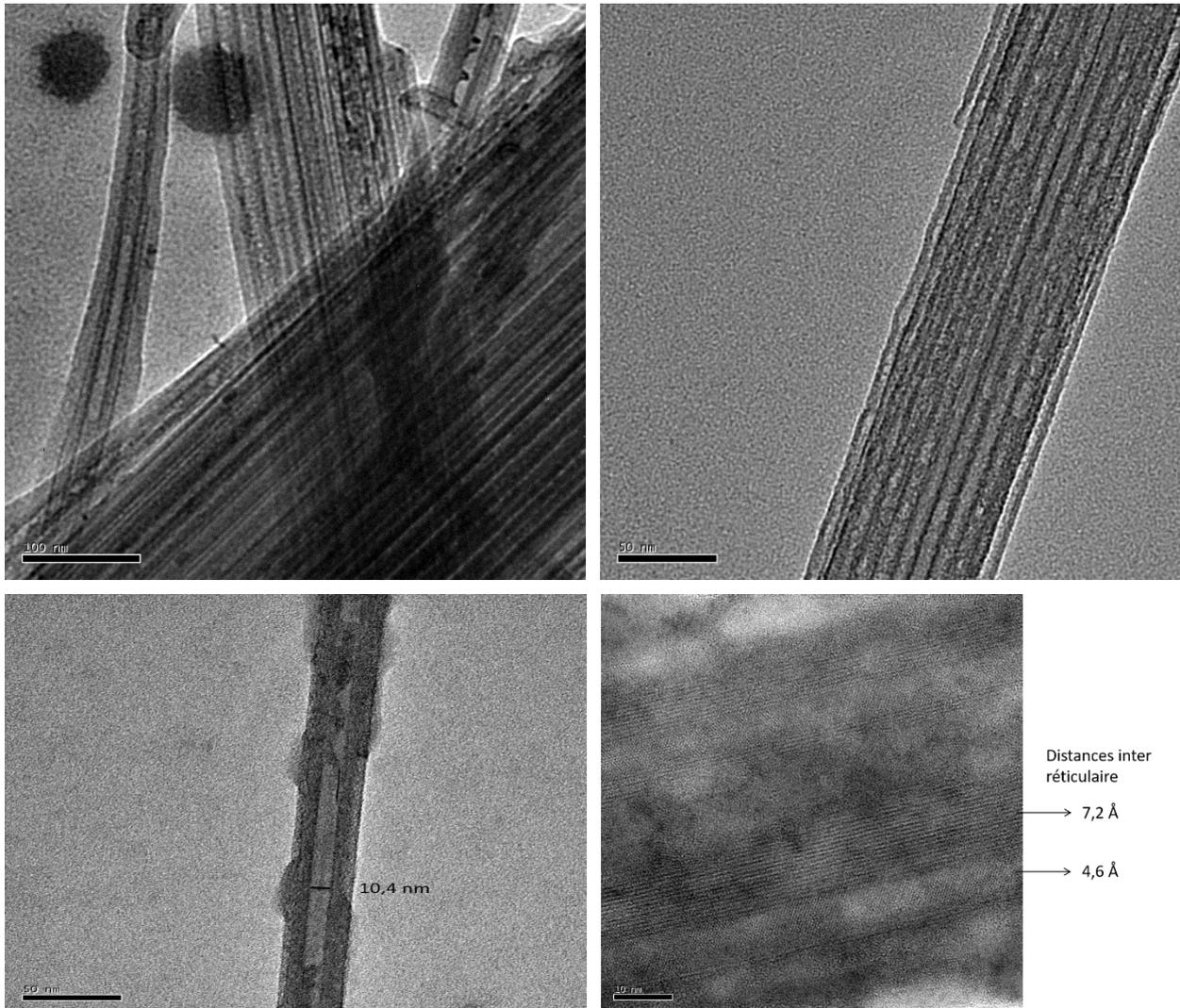
### 6.1.5. Microscope Électronique à Transmission Analytique (META)

Le microscope électronique à transmission analytique (META) est utilisé pour l'analyse des prélèvements d'air et des matériaux. Cette technique est proche, dans son principe, de la microscopie optique en lumière visible. Cependant, la longueur d'onde associée au faisceau d'électrons étant beaucoup plus faible ( $< 5.10^{-3}$  nm) que celle de la lumière visible, la résolution en microscopie électronique s'en trouve nettement améliorée. Cette technique repose sur l'interaction des électrons avec la matière et la détection des électrons ayant traversé l'échantillon (électrons transmis et électrons diffusés). La distinction entre les électrons transmis et les électrons diffusés permet de créer le contraste des images en META. Le META permet une analyse morphologique, structurale et chimique d'échantillons solides à l'échelle atomique. Elle est ainsi considérée comme la technique la plus fiable pour l'analyse de l'amiante en raison de son pouvoir de résolution très élevé, de la possibilité d'obtenir une information en diffraction d'électrons et pour ses possibilités d'identifications chimiques (Walton, 1982 ; Santee et Lott, 2003). En France, cette technique est utilisée pour le dénombrement de fibres d'amiante dans l'air et pour la recherche d'amiante dans les matériaux quand la MOLP ne suffit pas. Par comparaison avec le MEBA, l'observation de filtres ou de matériaux nécessite plusieurs étapes de préparation permettant le dépôt de particules sur des grilles de microscopies.

Le META permet de déterminer la nature et les dimensions des fibres dans l'air ou les matériaux mais pas toujours de différencier leur faciès, asbestiforme ou non asbestiforme, pour un même minéral amphibole. En effet, une micrographie META n'est qu'une projection dans le plan, issue des interactions entre l'échantillon et les électrons qui l'ont traversé. La nature tridimensionnelle d'une particule n'est que partiellement accessible, sous réserve que le porte-échantillon puisse opérer une rotation (porte-échantillon « double-tilt »), qui restera néanmoins limitée à quelques dizaines de degrés. L'information sur la morphologie réelle d'une particule peut être obtenue ensuite avec un MEBA haute-résolution (MEBA FEG ou FESEM). Une autre alternative peut être l'utilisation d'un STEM (Scanning Transmission Electron Microscopy - Microscope Électronique à Balayage et à Transmission, MEBT) haute résolution. S'agissant de la micro-analyse, qui peut être effectuée notamment à l'aide d'un spectromètre dispersif en énergie de rayons X (système EDS ou EDX) associé au META, les résultats obtenus peuvent être sensiblement affectés par divers paramètres : qualité du détecteur, temps de collection des photons, orientation relative de la particule par rapport au détecteur, orientation de la particule par rapport aux barreaux de cuivre de la grille de microscopie, orientation par rapport à d'autres particules et épaisseur de la particule. Pour minimiser ces biais, il est impératif de préserver et maintenir le détecteur dans la meilleure configuration possible et de comparer les spectres des particules inconnues à des spectres de références acquis dans les mêmes conditions. Même en prenant toutes ces précautions, l'analyse EDX est une analyse semi-quantitative en raison d'un rapport signal/bruit généralement élevé, de sa faible résolution en énergie (chevauchements de pics), de la présence d'un signal X émis par la grille de cuivre (voire de pièces du META), de la différence d'épaisseur de l'échantillon par rapport à la référence et de son incapacité à détecter les éléments légers.

L'analyse META est particulièrement adaptée à la détection des fibres de chrysotile, lesquelles représentent l'immense majorité des fibres d'amiante identifiées dans les matériaux manufacturés dans lesquels de l'amiante a volontairement été ajouté. Dans le cas du chrysotile, l'analyse par META permet notamment d'observer le canal central, très caractéristique de ce type de fibre (Planche 33). L'utilisation du META peut être en revanche plus délicate quand il s'agit de déterminer si des fibres amiantifères d'amphibole sont ou non présentes dans une préparation. Cette difficulté est principalement due à la préparation de l'échantillon, laquelle nécessite une phase de broyage (cf. § 6.2). Si des faisceaux de fibres asbestiformes sont présents dans l'échantillon, cette phase de broyage conduira à leur dissociation et à l'individualisation de fibrilles répondant pour une grande partie d'entre elles aux caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des fibres EPA.

Si de tels faisceaux sont absents et que l'échantillon ne contient que des cristaux tridimensionnels d'amphibole, non asbestiformes, le broyage pourra conduire à la production de particules fibreuses ou fibriformes répondant pour une fraction d'entre elles aux caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des fibres OMS, voire même à celles des fibres EPA. Observées au META, il sera parfois difficile pour un opérateur de déterminer si les particules fibreuses ou fibriformes qu'il observe sont issues de la dissociation de faisceaux amiantifères ou correspondent à des artéfacts produits lors du broyage (fragments de clivage).



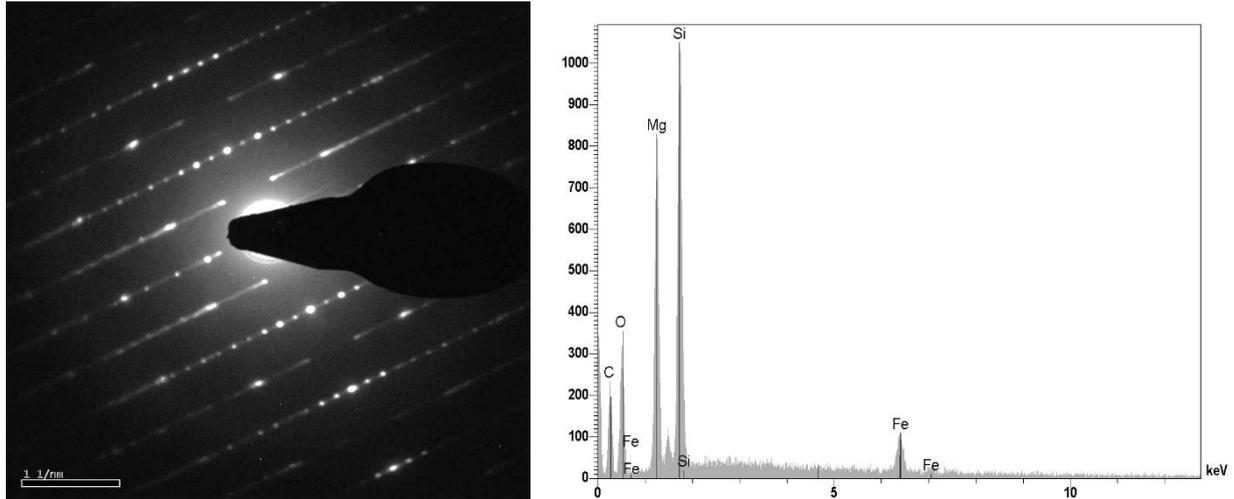
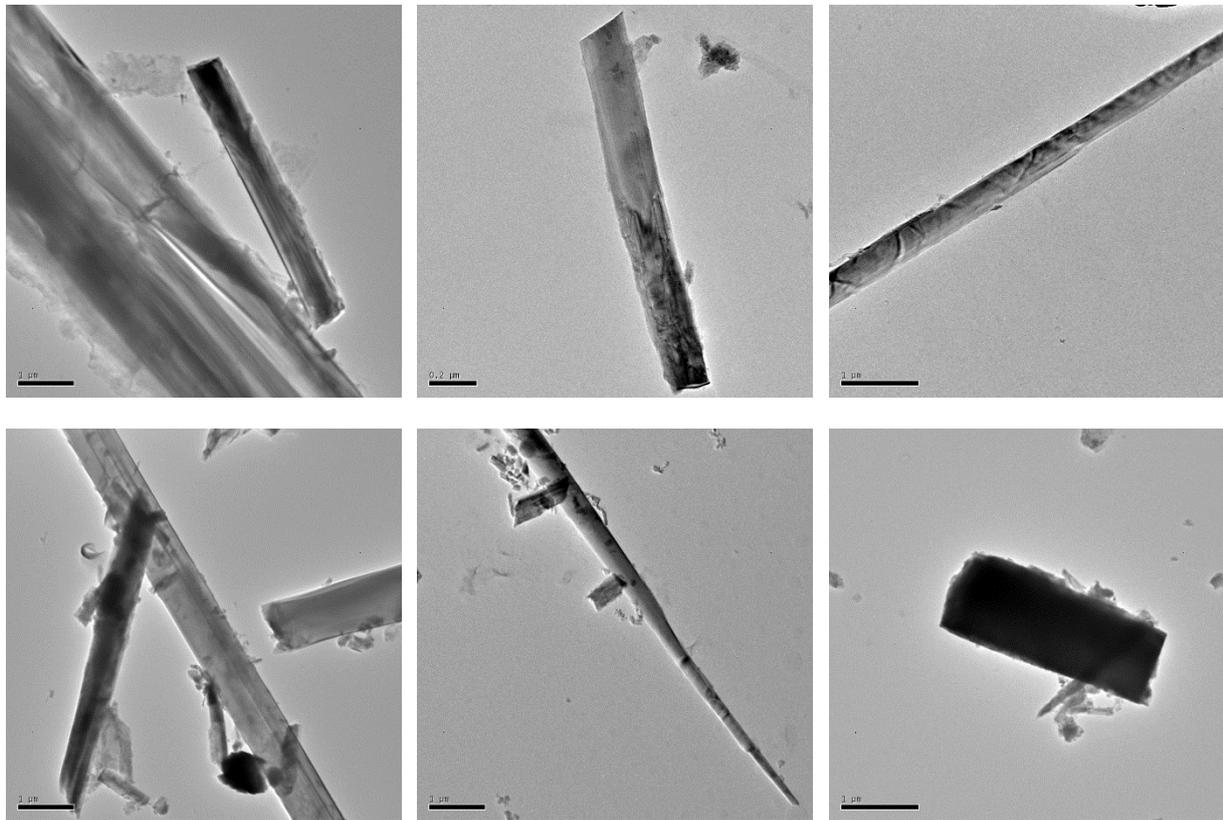


Planche 33 : Images MET de faisceaux de fibres de chrysotile (haut). La résolution des images permet de mesurer la largeur du canal central ou la distance des plans réticulaires (centre). L'utilisation d'un MET permet également d'établir des clichés de diffraction et des spectres compositionnels (bas).



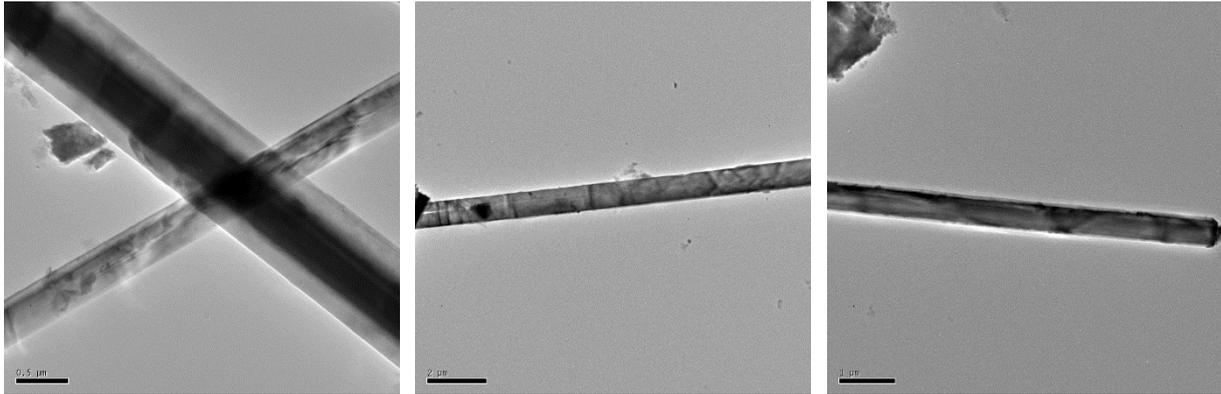


Figure 27 : Exemples de fibres et de particules fibreuses observées par META. Les échantillons d'origine correspondent à un amas de fibres asbestiformes (trémolite-amiante) prélevé dans des serpentinites de Bastia (haut) et à des fibres asbestiformes d'actinolite prélevées dans des veines recoupant des metabasaltes de Rutali (centre et bas).

### 6.1.6. Spectroscopie Raman

La spectroscopie Raman consiste à envoyer sur l'échantillon un faisceau de lumière monochromatique et d'analyser le rayonnement diffusé inélastique (avec changement de longueur d'onde). Ces changements de longueur d'onde sont dus à un transfert d'énergie entre la lumière incidente et la matière. Cette méthode non destructive permet de caractériser la structure moléculaire d'un matériau. Dans le cas d'un minéral, le spectre Raman est une signature de la structure cristallographique de la phase (phase cristalline, cristallinité, influence d'éléments en trace, présence de groupements chimiques spécifiques...).

Dans le cas de l'amiante, le spectre Raman permet d'identifier les espèces minéralogiques présentes et de différencier les amphiboles et serpentines, à l'échelle du  $\mu\text{m}$ , voire mieux.

La spectroscopie Raman peut être utilisée en analyse ponctuelle (spectre), en imagerie, voire, dans certains cas, en acquisition 3D.

Les types d'échantillons analysables par spectroscopie Raman sont variés : lame mince, section polie, échantillon à surface non plane, faisceaux de fibres, *etc.*

Plusieurs études récentes ont utilisé la spectroscopie RAMAN pour distinguer les différents types de serpentine en fonction de leurs propriétés structurales et des spectres de référence ont été proposés (Lemaire, 2000 ; Auzende, 2003 ; Rinaudo et Gastaldi, 2003 ; Auzende *et al.*, 2004 ; Groppo *et al.*, 2006).

Les pics de basse fréquence (bf) obtenus permettent de différencier d'une manière assez simple l'antigorite des autres serpentines, grâce à sa raie caractéristique à  $1\,044\text{ cm}^{-1}$  et à la position autour de  $370/375\text{ cm}^{-1}$  du pic  $\nu_5(\text{e})\text{SiO}_4$ .

Pour différencier les autres serpentines entre elles, il apparaît plus pertinent d'analyser également la position des pics de haute fréquence (hf). La lizardite possède un pic hf très important à  $3\,684\text{ cm}^{-1}$  et un second, moins marqué, autour de  $3\,704\text{ cm}^{-1}$ . Le chrysotile présente une bande unique entre  $3\,695$  et  $3\,700\text{ cm}^{-1}$ , précédé d'un pic peu important mais identifiable à  $3\,651\text{ cm}^{-1}$ . Pour l'antigorite, les pics hf sont décalés entre  $3\,665$  et  $3\,670\text{ cm}^{-1}$  et entre  $3\,697$  et  $3\,700\text{ cm}^{-1}$ . La serpentine polygonale se caractérise pour sa part par un pic « composite » associant deux fréquences très proches ( $3\,689\text{ cm}^{-1}$  et  $3\,696\text{ cm}^{-1}$ ).

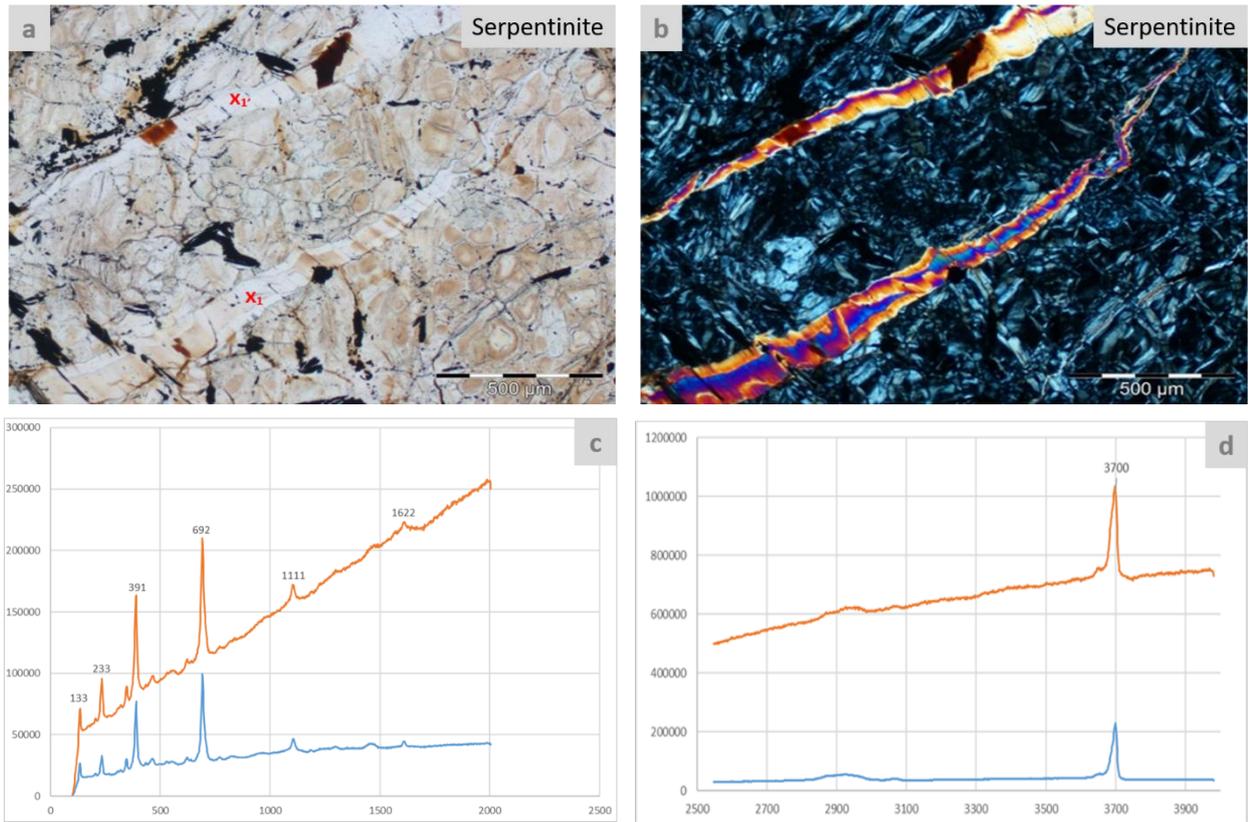


Figure 28 : Veines de chrysotile observées en lame mince (a-b) et spectres RAMAN correspondants (c-d).

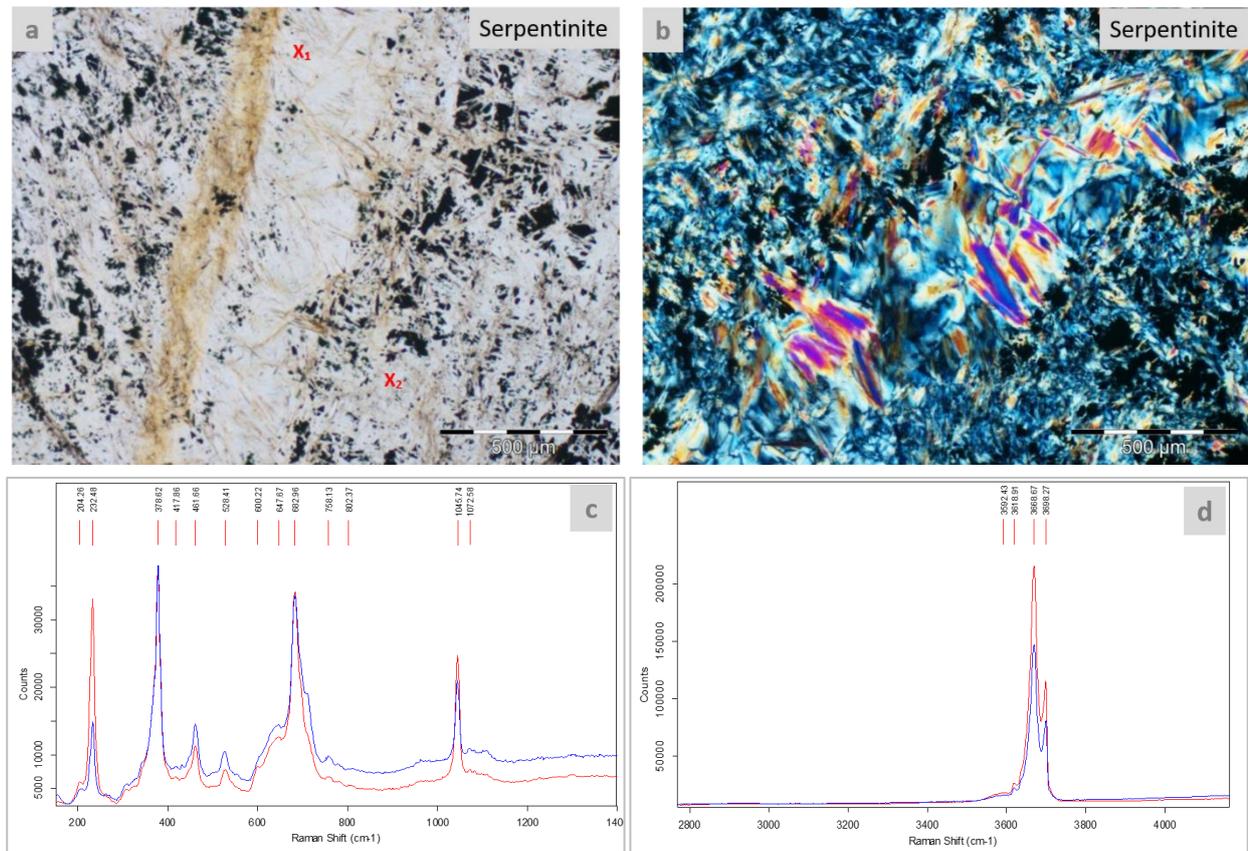


Figure 29 : Veine à antigorite (a-b) et spectres BF (c) et HF (d) correspondants.

## 6.2. NORMES ET PROTOCOLES ANALYTIQUES

Confrontés à une demande de recherche d'amiante dans ce type de matériau, les laboratoires accrédités mettent principalement en œuvre deux protocoles analytiques, l'un mis au point pour identifier l'amiante dans les matériaux solides d'origine commerciale (NF ISO 22262-1) et l'autre construit pour déterminer la concentration en fibres d'amiante dans les atmosphères ambiantes (NF X 43-050).

L'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019 est relatif aux modalités de réalisation des analyses de matériaux et produits susceptibles de contenir de l'amiante, aux conditions de compétences du personnel et d'accréditation des organismes procédant à ces analyses. Cet arrêté définit en particulier les essais à mettre en œuvre selon la nature des échantillons, dont les matériaux et produits bruts dans lesquels de l'amiante est naturellement présent du fait de la nature pétrographique des roches et de leur composition minéralogique. L'analyse des échantillons doit être réalisée par microscopie optique à lumière polarisée (MOLP) et/ou par microscopie électronique à transmission analytique (META). Cet arrêté précise :

- que la mise en œuvre des parties concernées de la norme NF ISO 22262-1 relative à « *l'échantillonnage et au dosage qualitatif de l'amiante dans les matériaux solides d'origine commerciale* » est réputée répondre à l'exigence réglementaire d'analyse par MOLP ;
- que la mise en œuvre des parties concernées de la norme NF X 43-050 relative à « *la détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission* » est réputée répondre à l'exigence réglementaire d'analyse par META.

La norme NF ISO 22262-1 précise que l'identification de l'amiante peut se faire avec un microscope électronique à balayage (MEB) ou un microscope électronique à transmission équipé d'un dispositif d'analyse ponctuelle (META) et l'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019 ouvre la possibilité d'utiliser toute autre méthode validée et permettant la détection et l'identification de fibres d'amiante dont la largeur est d'au moins 20 nanomètres.

### 6.2.1. Norme NF ISO 22262-1

La norme NF ISO 22262-1 (Août 2012) précise les procédures de préparation de l'échantillon et d'identification de l'amiante par microscopie optique à lumière polarisée (MOLP) et dispersion de coloration. La norme rappelle (p. 15) qu'il « *est parfois impossible d'identifier l'amiante dans les matériaux solides en raison de l'interférence des autres constituants, soit du fait d'une faible fraction massique d'amiante, soit du fait de la répartition tellement inhomogène de l'amiante qu'une grande quantité de l'échantillon devrait être étudiée pour détecter de manière fiable l'amiante présent. Dans ce cas, plusieurs méthodes de préparation chimique ou physique peuvent être utilisées, avant examen microscopique, pour éliminer une grande proportion des constituants autres que l'amiante, ce qui facilite la détection de l'amiante dans la plus petite quantité de matériau restante* ».

Les critères morphologiques à prendre en considération sont (i) la présence de fibres présentant un rapport d'allongement supérieur à 20 ou plus pour les fibres de longueur supérieure à 5 µm, (ii) la capacité de fissuration longitudinale en fibrilles très minces ( $D < 0,5 \mu\text{m}$ ), (iii) l'existence de fibres parallèles les unes aux autres, organisées en faisceaux, (iv) la présence de faisceaux de fibres s'évasant à leur extrémité, (v) l'observation de fibres sous la forme de fines aiguilles et/ou de masses de fibres emmêlées et/ou de fibres incurvées.

### 6.2.2. NF X 43-050

Ce document décrit les procédures de préparation à mettre en œuvre de telle manière à concentrer les fibres d'amiante et à éliminer les composants organiques et hydrosolubles éventuellement présents dans les échantillons.

Il est rappelé dans le texte (p. 4) que la méthode présentée ne permet pas « de différencier les fibres individuelles issues d'amphiboles asbestiformes de celles issues d'autres variétés du même minéral amphibole ». Autrement dit, pour une amphibole donnée (ex. : actinolite), cette méthode ne permet pas de différencier, parmi les particules minérales allongées observées, les fragments de clivage des fibres d'actinolite-amiante (s.s.). Les caractéristiques morphologiques des fibres comptabilisées sont celles des fibres inhalables au sens de l'OMS :  $L > 0,5 \mu\text{m}$  ;  $D < 3 \mu\text{m}$  ;  $L/D > 3$ .

### 6.2.3. Les travaux de l'ANSES

En février 2016, l'ANSES a été saisie par la Direction Générale du Travail (DGT), la Direction Générale de la Santé (DGS) et la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) sur la question de l'exposition des populations professionnelle et générale aux particules minérales allongées dès lors que des matériaux naturels ou manufacturés en contenant étaient sollicités. La question de l'exposition des travailleurs et de la population générale aux particules minérales allongées concerne en particulier les carrières de granulats et leur environnement immédiat. Cette question concerne également les lieux dans lesquels des matériaux contenant des granulats seraient affectés par des travaux (enrobés, couches de roulement, bétons, etc.). Les demandes faisant l'objet de la saisine étaient :

- de réaliser une étude sur les filières et les activités industrielles potentiellement concernées par la problématique des particules minérales allongées ;
- de faire une revue des données disponibles sur la présence de particules minérales allongées d'intérêt dans les matériaux, leurs émissions et les expositions en résultant ;
- de proposer les grandes lignes d'une étude en laboratoire sur l'émission potentielle de ces particules minérales d'intérêt dans le cadre d'intervention sur des matériaux de construction spécialement élaborés avec des granulats susceptibles de libérer ce type de particules ;
- de proposer les grandes lignes d'une campagne de mesures centrées sur ces particules minérales d'intérêt décrivant en particulier les secteurs et les activités professionnelles à investiguer.

Les réponses à ces demandes incluaient la proposition de protocoles de mesurage des particules minérales allongées d'intérêt dans l'air et dans les matériaux. Dans le rapport édité par l'ANSES en 2017 (Particules minérales allongées. Identification des sources d'émission et proposition de protocoles de caractérisation et de mesures), un protocole exploratoire destiné à identifier la présence de particules minérales d'intérêt<sup>16</sup> dans différents types de matériaux, est décrit. Les matériaux concernés sont de nature variable, les uns correspondant à des matériaux naturels, cohérents ou meubles, et les autres à des matériaux manufacturés (Figure 30).

---

<sup>16</sup> Les PMA dites d'intérêt (PMAi) correspondent à toutes les PMA ( $L > 5 \mu\text{m}$  ;  $D < 3 \mu\text{m}$  ;  $L/D > 3$ ) des espèces minérales suivantes : actinolite, anthophyllite, trémolite, grunérite, riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, érionite, chrysotile et antigorite.

Les techniques analytiques susceptibles d'être mises en œuvre dans le cadre de ce protocole exploratoire repose sur la réalisation d'une ou plusieurs lame(s) mince(s) polie(s) et sur leur étude au microscope optique à lumière polarisée (MOLP) puis sur la préparation d'un sous-échantillon en vue de son analyse au microscope électronique à transmission analytique (META). L'utilisation d'une microsonde est proposée, mais à titre uniquement facultatif (Figure 30).

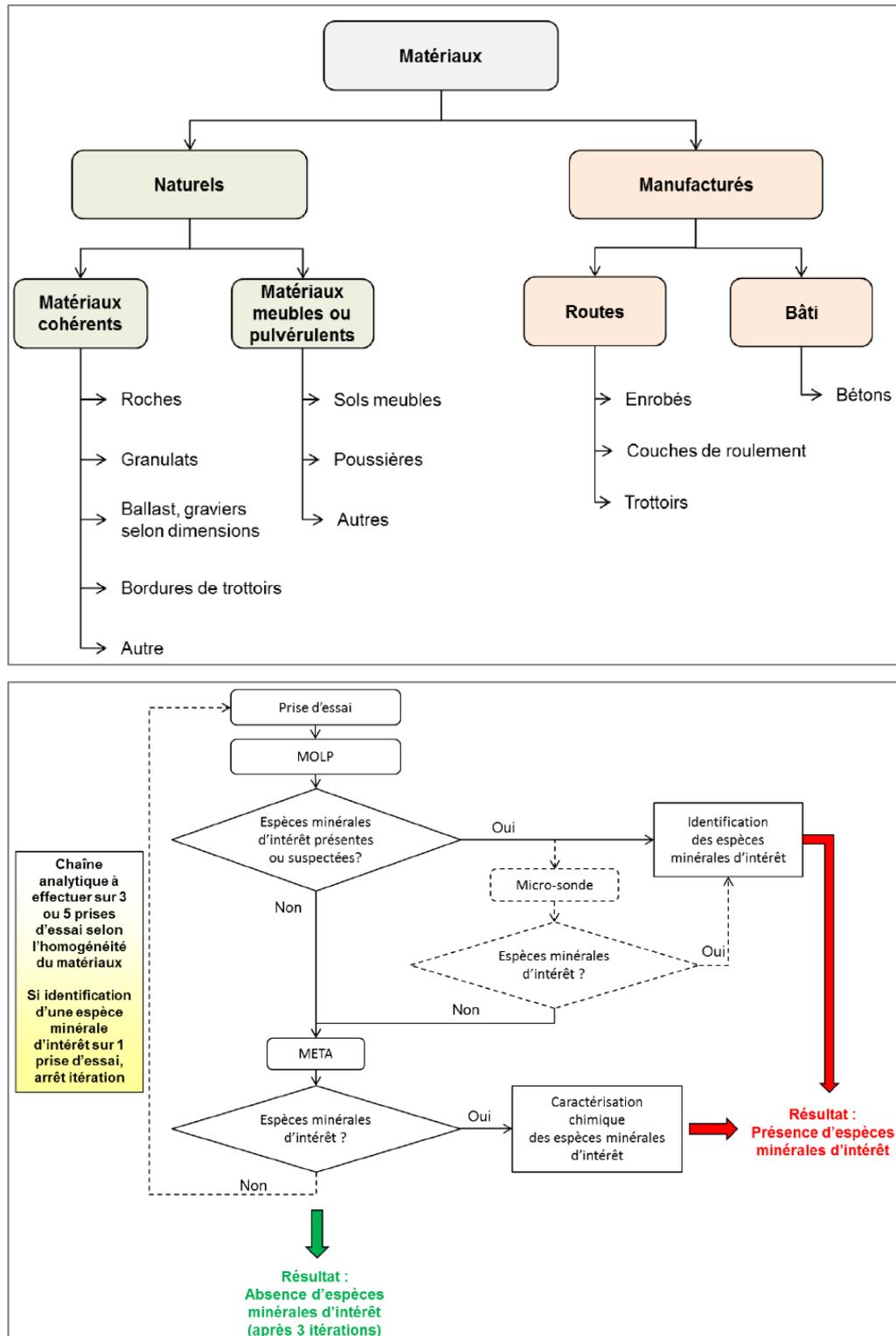


Figure 30 : Classification des matériaux concernés et logigramme analytique (source : ANSES, 2017).

Compte tenu de la quantité très faible de matériau pouvant être réellement analysée in fine (~ 20 mg), le sous-échantillon doit subir une préparation impliquant sa réduction par fragmentation, le prélèvement et le broyage (manuel) d'un sous-échantillon de 1 à 2 g, la calcination du broyat résultant dans un four à moufle à 450 °C ( $\pm$  30 °C) pendant au moins 6 heures (élimination des matières organiques) puis une attaque acide par HCl 1 N dans le but de solubiliser les constituants matriciels tels que la calcite ou le gypse. La prise d'essai finale (~ 20 mg) est ensuite mélangée dans de l'eau, agitée à l'aide d'ultrasons, filtrée sur une membrane en polycarbonate pré métallisée au carbone et recouverte d'une seconde couche de carbone avant de pouvoir être examinée.

Le protocole proposé par l'ANSES fait actuellement l'objet d'une consolidation dans le cadre d'une étude conduite par l'OPPBTB.

#### **6.2.4. L'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019**

L'arrêté du 1er octobre 2019 est relatif aux modalités de réalisation des analyses de matériaux et produits susceptibles de contenir de l'amiante, aux conditions de compétences du personnel et d'accréditation des organismes procédant à ces analyses.

Cet arrêté définit i) les conditions d'accréditation que doivent remplir les organismes pour procéder aux analyses d'amiante dans les matériaux et produits susceptibles d'en contenir et ii) les compétences des personnes chargées d'effectuer les analyses et les modalités mises en œuvre par l'organisme pour procéder à ces analyses afin de vérifier la présence d'amiante dans le matériau ou le produit et sa nature. Ces modalités incluent les méthodes d'essais, les éléments de validation et le format du rapport d'essai.

Cet arrêté différencie également les essais à mettre en œuvre selon qu'il s'agit d'amiante délibérément ajouté ou d'amiante naturellement présent dans des matériaux bruts ou produits manufacturés. Les matériaux bruts dans lesquels de l'amiante est naturellement présent du fait de leur nature pétrographique et minéralogique sont donc concernés par cet arrêté.

Pour l'application de cet arrêté sont prises en compte toutes les fibres d'amiante dont le rapport longueur sur largeur est supérieur à 3 et la longueur est supérieure à 0,5  $\mu$ m. L'article 6 de l'arrêté précise :

- que la microscopie optique à lumière polarisée (MOLP) permet de détecter des fibres d'amiante de largeur supérieure à 200 nm (0,2  $\mu$ m) selon leur morphologie et leurs propriétés optiques en lumière polarisée et en lumière diffuse ;
- que la microscopie électronique à transmission analytique (META) permet de détecter et d'identifier des fibres, dont la largeur est d'au moins 20 nm (0,02  $\mu$ m) selon leur morphologie, leur structure cristalline et leurs compositions chimiques et structurales.

Le protocole analytique inclut au préalable la description détaillée de l'échantillon et la constatation de la présence ou non de fibres visibles à l'œil nu (Figure 31). Cet examen visuel est complété par un examen à la loupe binoculaire, à des grossissements X10 à X40, de manière à repérer les différentes couches (ou parties) de l'échantillon susceptibles de contenir de l'amiante, à constater la présence ou non de fibres visibles à ces grossissements et à constituer des prises d'essai en vue de leur analyse.

La méthode de préparation couvre l'ensemble des étapes depuis la prise d'essai jusqu'à l'obtention d'un support directement observable par la technique de microscopie choisie. Celle-ci peut inclure un ou plusieurs traitement(s) simultanés ou non, le traitement étant un procédé permettant d'une part la libération et la concentration des fibres et d'autre part l'élimination de la matrice. La méthode de préparation dépend de la nature du matériau (cohérent ou meuble ou pulvérulent).

Les méthodes de préparation des échantillons sont définies de façon à garantir une libération ou un isolement des fibres d'amiante. Elles sont adaptées à la nature de l'échantillon et aux méthodes d'analyse (ex. : montage direct, broyage manuel avec pilon et mortier en agate, traitement acide, calcination, sédimentation et flottation...). La méthode de préparation doit être validée conformément aux exigences prévues à l'annexe II de l'arrêté et doit permettre de préserver les propriétés physico-chimiques des fibres présentes. Il existe plusieurs techniques d'analyse. Certaines permettent la détection et l'identification des fibres d'amiante à travers leur morphologie, leur composition chimique et leur structure cristalline.

L'analyse des échantillons est réalisée par MOLP et/ou par META et/ou par toute autre méthode validée permettant la détection et l'identification de fibres d'amiante de largeur d'au moins 20 nanomètres (nm).

La mise en œuvre des parties concernées de la méthode HSG 248 (2005) – appendice 2 ou de la norme NF ISO 22262-1 (2012) relative à « l'échantillonnage et le dosage qualitatif de l'amiante dans les matériaux solides d'origine commerciale » est réputée répondre à l'exigence réglementaire d'analyse par MOLP. La mise en œuvre des parties concernées de la norme NF X 43-050 (1996) relative à « la détermination de la concentration en fibres d'amiante par microscopie électronique à transmission » est réputée satisfaire à l'exigence réglementaire d'analyse par META.

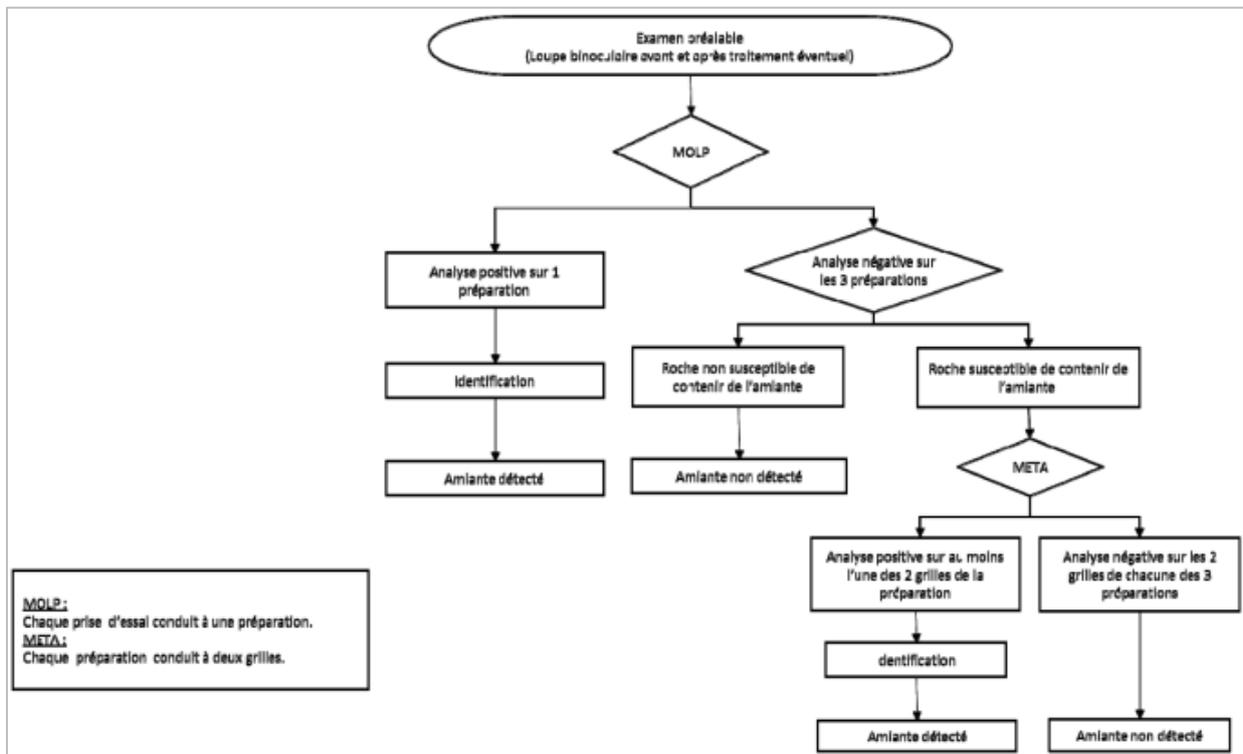


Figure 31 : Logigramme synthétisant les étapes de détection et d'identification d'amiante naturellement présent dans les matériaux bruts (source : arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019).



## 7. Évolutions réglementaires et perspectives

Les six espèces minérales qui font aujourd'hui l'objet de la réglementation amiante sont des constituants naturels de certaines roches et des sols issus de l'altération et/ou de l'érosion de ces mêmes roches.

Le chrysotile, qui constitue à lui seul une part très majoritaire de l'amiante produit, est présent d'une manière fréquente dans les péridotites serpentinisées et dans les serpentinites, un type de roches que l'on retrouve dans toutes les chaînes de montagne du territoire métropolitain, qu'elles soient anciennes (massifs hercyniens) ou récentes (massifs alpins). Le chrysotile se présente toujours sous une forme fibreuse et asbestiforme. En conséquence, toute occurrence fibreuse constituée pour partie ou entièrement de chrysotile correspond par définition à une occurrence amiantifère.

Les cinq espèces d'amphiboles dont les variétés asbestiformes sont réglementées au titre de l'amiante (actinolite, trémolite, anthophyllite, riébeckite, grunérite) sont des constituants plus ou moins abondants de plusieurs types de roche. Si la riébeckite et la grunérite, et dans une moindre mesure l'anthophyllite, sont des amphiboles relativement rares, la trémolite et surtout l'actinolite sont des amphiboles que l'on retrouve fréquemment dans de nombreuses lithologies. Ces lithologies correspondent en particulier à des roches basiques à intermédiaires, métamorphiques, et à des roches magmatiques à pyroxène et/ou amphibole hydrothermalisées. De ce fait, les roches contenant des cristaux d'actinolite et/ou de trémolite, asbestiformes et/ou non asbestiformes, affleurent dans toutes les chaînes de montagne, anciennes ou récentes.

### 7.1. ÉVOLUTIONS RÉGLEMENTAIRES

En France, les évolutions réglementaires faisant suite à la publication du décret n° 2017-899 du 9 mai 2017 relatif au repérage de l'amiante avant certaines opérations définit les conditions d'application ou d'exemption prévues par l'article L. 4412-2 du code du travail, selon le périmètre et la nature de l'opération envisagée, en s'appuyant sur des modalités techniques adaptées au domaine d'activité considéré.

L'article R. 4412-97 / II prévoit les conditions dans lesquelles la mission de repérage est conduite, s'agissant de ses modalités techniques et des méthodes d'analyse des matériaux susceptibles de contenir de l'amiante soient précisées par arrêtés du ministre chargé du travail et, chacun en ce qui le concerne, des ministres chargés de la santé, de la construction, des transports et de la mer, pour les six domaines d'activité suivants :

- 1. immeubles bâtis ;
- **2. autres immeubles tels que terrains, ouvrage de génie civil et infrastructures de transport ;**
- 3. matériels roulants ferroviaires et autres matériels roulants de transports ;
- 4. navires, bateaux, engins flottants et autres constructions flottantes ;
- 5. aéronefs ;
- 6. installations, structures ou équipements concourant à la réalisation ou la mise en œuvre d'une activité.

Dans le but de disposer de repérages fiables pour chacun de ces six domaines d'activité, la Direction Générale du Travail (DGT) a choisi de s'appuyer sur un travail de normalisation associant, sous la coordination de l'Agence française de normalisation (AFNOR), des acteurs représentatifs de ces différents domaines. L'AFNOR a confié au Bureau de normalisation pour les transports, les routes et leurs aménagements (BNTRA) la mise en place d'une commission spécifique, laquelle a scindé les travaux de normalisation en deux groupes de travail, compte tenu de l'étendue du domaine n° 2, induisant de fait la rédaction de deux normes et la prise de deux arrêtés :

- **Norme NF P 94-001 : Repérage de l'amiante environnemental – Étude géologique des sols et des roches en place – Mission et méthodologie**<sup>17</sup> ;
- Norme NF X 46-102 : Repérage des matériaux et produits contenant de l'amiante dans les ouvrages de génie civil, infrastructures de transport et réseaux divers.

### 7.1.1. La norme NF P 94-001

La norme NF P94-001 précisera les différentes étapes qu'un géologue<sup>18</sup> devra mettre en œuvre et suivre pour effectuer une recherche d'amiante avant travaux. La mission de repérage est organisée en une ou plusieurs étapes, en fonction de la difficulté de l'environnement à caractériser, de l'existence ou non de données disponibles au démarrage de l'étude et du niveau de complexité des objets géologiques<sup>19</sup>. La norme NF P94-001 prévoit de découper cette mission de repérage en trois étapes progressives, qualifiées de missions A0, A1 et A2.

#### a) *Mission A0*

La première mission (A0) consiste dans une analyse préalable de la zone à étudier, à partir des documents (cartes, rapports) et des données bibliographiques dont l'opérateur dispose ou qu'il peut obtenir (rapports antérieurs ayant été conduits sur tout ou partie ou à proximité de la zone soumise à investigation, documents techniques transmis par le commanditaire de l'étude, etc.). Les documents cartographiques qui peuvent être consultés correspondent en particulier :

- à la carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 ;
- aux cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 éditées par le BRGM ;
- aux cartes des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/50 000 ;
- aux cartes des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/5 000.

Pour rappel, la carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante à l'échelle 1/1 000 000 élaborée par le BRGM (Figure 17) doit permettre aux géologues opérateurs de repérage d'établir un diagnostic préliminaire s'agissant de la présence éventuelle de formations géologiques amiantifères ou susceptibles de l'être dans le secteur de la zone soumise à investigations. **Compte tenu de son échelle et donc de son degré de précision, cette carte ne constitue qu'un premier niveau d'information et ne pourra en aucun cas être utilisée comme source unique d'informations dans le cadre d'une recherche d'amiante avant travaux.**

---

<sup>17</sup> Le dispositif de repérage avant travaux ne sera effectif que lorsque l'arrêté d'application aura été publié (ce qui n'est pas encore le cas à la date du présent rapport) et sera entré en vigueur

<sup>18</sup> Géologue opérateur de repérage au sens de la norme NF P 94-001

<sup>19</sup> Volume de substance minérale continu ou discontinu, de taille variable (du cm<sup>3</sup> au km<sup>3</sup>), contrôlé par une même nature pétrographique ou par des paramètres lithologiques et/ou structuraux (banc, couche, veine, zone de faille, etc.)

Les documents cartographiques les plus pertinents et exhaustifs à consulter à ce stade sont les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et leur notice explicative et les cartes de susceptibilité de présence d'amiante lorsque ces dernières sont disponibles.

Au terme d'une mission A0, le géologue opérateur de repérage peut :

- conclure à l'absence d'objet géologique susceptible de contenir des occurrences amiantifères et clôturer la mission ;
- suspecter la présence d'un (ou plusieurs) objet(s) géologique(s) susceptible(s) de contenir des occurrences amiantifères et prolonger sa mission (→ A1) ;
- conclure à la présence d'un (ou plusieurs) objet(s) géologique(s) contenant de l'amiante et prolonger sa mission (→ A2).

### **b) Mission A1**

La mission de type A1 est conduite par le géologue opérateur de repérage s'il n'a pas pu conclure à l'absence d'un (ou plusieurs) objet(s) géologique(s) susceptible(s) de contenir de l'amiante dans le cadre de la mission A0. Une mission A1 fait donc suite à une mission A0 non conclusive. Elle représente une véritable pré-étude géologique qui prend en compte d'une manière plus précise les caractéristiques du projet. Les objectifs de la mission A1 sont :

- la recherche et l'identification des objets géologiques présents dans la zone faisant l'objet du repérage ;
- la détermination des structures géologiques contrôlant l'agencement et la répartition spatiale des différents objets géologiques présents dans le volume correspondant à la zone de repérage ;
- l'identification parmi les objets géologiques recensés des objets contenant effectivement de l'amiante ainsi que ceux susceptibles d'en contenir ;
- de déterminer les caractéristiques des objets contenant effectivement de l'amiante et des objets susceptibles d'en contenir (dimensions, orientations, fréquence, etc.).

Une mission A1 comprend a minima :

- une visite de la zone faisant l'objet du repérage ;
- une inspection visuelle de tous les objets géologiques accessibles à l'affleurement afin d'identifier ceux qui contiennent de l'amiante et ceux qui sont susceptibles d'en contenir, laquelle peut être accompagnée par le prélèvement d'échantillons à des fins analytiques ;
- une investigation des objets géologiques non accessibles à l'affleurement, à travers la réalisation d'investigations géophysiques, de sondages géologiques et par le prélèvement d'échantillons à des fins analytiques.

Le géologue en charge du repérage doit déterminer si des objets géologiques contenant de l'amiante ou susceptibles d'en contenir sont présents dans la zone soumise à investigations. Il doit donc en premier lieu recenser tous les types de roches présents dans cette zone. Ces types peuvent être très différents les uns des autres et appartenir à différents groupes de roches (Tableau 5). Ces différents types de roches peuvent être superposés, juxtaposés ou imbriqués de façon plus ou moins étroite les uns dans les autres. Les types de roches à rechercher en priorité sont ceux appartenant aux groupes 2E, 2G et 3E (Tableau 5).

Au terme d'une mission A1, le géologue opérateur de repérage doit :

- conclure à l'absence d'objet géologique susceptible de contenir des occurrences amiantifères et clôturer la mission ;
- confirmer la présence d'un (ou plusieurs) objet(s) géologique(s) contenant des occurrences amiantifères et clôturer sa mission ;
- déclarer qu'un doute subsiste et prolonger sa mission (→ A2).

### **c) Mission A2**

Dans la norme NF P94-001, la mission de type A2 fait suite à une mission A1 en cas de doute subsistant ou si des occurrences amiantifères ont été identifiées. Lorsque le géologue-opérateur de repérage n'a pas clairement identifié d'occurrences amiantifères dans le cadre des études préalables (A0, A1) mais que des doutes subsistent encore du fait par exemple d'un contexte géologique particulièrement favorable ou de la présence de minéraux précurseurs, une mission A2 est engagée.

Une mission A2 est également engagée lorsque des objets géologiques amiantifères ont été identifiés dans le cadre des études préalables (A0, A1) et qu'il convient de les circonscrire au mieux afin d'éviter que l'ensemble du projet soit impacté.

Les objectifs de la mission A2 sont :

- de déterminer précisément les caractéristiques géologiques, pétrographiques et minéralogiques des objets géologiques susceptibles de contenir des fibres d'amiante (objets pour lesquels il existe un doute subsistant) ;
- de conclure sur la présence ou l'absence d'objets géologiques contenant des fibres d'amiante ;
- de préciser la géométrie et l'extension des objets géologiques contenant des fibres d'amiante.

Une mission A2 comprend a minima :

- une visite détaillée de la zone faisant l'objet du repérage ;
- le repérage des faciès et des zones à risques ;
- la caractérisation des accidents tectoniques et des discontinuités géologiques (type, dimensions, azimuth, pendage, etc.) ;
- la définition d'un plan d'échantillonnage et sa mise en œuvre, après validation par le donneur d'ordre ;
- la réalisation d'analyses par un laboratoire accrédité ;
- la présentation des travaux réalisés et des données acquises dans un rapport conclusif sur la présence ou l'absence d'objets géologiques contenant de l'amiante.

Les procédures de repérage avant travaux impactant des terrains constitués par des roches à susceptibilité amiantifère « faible » (Tableau 5) devraient être, pour une large partie d'entre-elles, clôturées à l'issue des missions A0.

Les procédures de repérage avant travaux intéressant des roches affectées d'une susceptibilité « moyenne » (Tableau 5) seront probablement les plus longues et les plus difficiles à réaliser, du fait en particulier de la nécessité d'obtenir des données analytiques fiables et représentatives des objets géologiques étudiés. Ces procédures pourront être clôturées pour une large part à l'issue de la mission A1 mais certaines d'entre elles nécessiteront des études complémentaires en cas de doute subsistant<sup>20</sup>.

Enfin, les procédures de repérage impactant des roches à forte susceptibilité de présence d'amiante ne devraient pas poser de problèmes particuliers, l'amiante constituant dans ces roches des occurrences faciles à identifier sur le terrain, à prélever et à analyser en laboratoire si nécessaire.

La norme NF P94-001 introduit également le terme de « doute résiduel », qui correspond au « ... doute ultime à la fin de toutes les phases de la mission de repérage ». Ce doute résiduel doit « ... conduire à la rédaction d'un rapport avec préconisations d'investigations complémentaires » et « ... rester exceptionnel ».

---

<sup>20</sup> Au sens de la norme, le doute subsistant « s'entend dans le cas où aucune fibre d'amiante environnemental n'a été constatée mais pour lequel des éléments potentiellement précurseurs ont été identifiés (indices de transformation, paragenèses, hydrothermalisme important, métamorphisme, rétro-morphose... ».

## 7.2. PERSPECTIVES : VERS UNE APPROCHE IN SITU ?

Dans le cadre d'un repérage d'amiante avant travaux, le géologue opérateur de repérage sera souvent amené à prélever des échantillons représentatifs du (ou des) objet(s) géologique(s) dans lequel (lesquels) il soupçonne que des occurrences d'amiante soient présentes. Les résultats qui seront obtenus à partir de ces échantillons auront donc une importance capitale s'agissant du diagnostic sur l'absence ou la présence de sols et/ou de roches amiantifères dans la zone soumise à investigations. Or, pour différentes raisons, un diagnostic fiable peut parfois être très difficile à établir.

L'étude des matériaux naturels cohérents est généralement difficile du fait de leur complexité minéralogique et texturale et de leur très grande variabilité. Cette complexité est accentuée par le fait que des particules minérales allongées ayant la même composition chimique que les fibres d'amiante mais possédant des morphologies non asbestiformes, de type prismatique à aciculaire, sont présentes dans de nombreuses variétés de roches.

Les protocoles classiquement utilisés imposent le broyage d'un sous-échantillon prélevé à partir de l'échantillon reçu par le laboratoire. Ce broyage constitue une étape critique car susceptible de conduire à une fragmentation excessive des cristaux présents, en particulier les amphiboles, et à la fabrication de particules fibriformes inhalables au sens de l'OMS. Ces particules fibriformes d'amphiboles (fragments de clivage) peuvent ensuite être assimilées à des fibres d'amiante, en particulier si seuls les critères morphologiques et dimensionnels de la norme NF X 43-050 sont pris en compte.

Pour expliquer et comprendre la présence d'amiante dans les roches, les granulats et les ballasts, l'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019 précise que des observations et des analyses complémentaires peuvent être effectuées en MOLP, en microscopie électronique à balayage analytique (MEBA) ou à la microsonde électronique à partir de lames minces (sections polies).

Cette possibilité de recourir à de tels équipements, en complément des méthodes spécifiées dans l'arrêté du 1<sup>er</sup> octobre 2019, mérite d'être explorée plus avant, et ce dans la perspective de développer des approches permettant, si besoin, d'étayer les diagnostics sur la présence ou non de structures amiantifères dans les échantillons naturels soumis à investigation. La pertinence d'un recours à ces techniques complémentaires est actuellement évaluée par la BRGM à travers la mise en œuvre d'une approche analytique spécifique aux matériaux naturels cohérents (roches) et n'impliquant pas leur broyage préalable. Cette approche a été construite de telle manière à préserver l'intégrité des minéraux fibreux éventuellement présents et d'étudier les relations texturales entre ces minéraux et les autres constituants minéralogiques de la roche. Elle permet une caractérisation *in situ* de la composition chimique et des caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des particules minérales allongées incluses dans les matériaux naturels, qu'elles soient asbestiformes ou non. Pour un échantillon donné, toutes les observations et les analyses sont réalisées à partir d'un seul et même type de support correspondant à une ou plusieurs sections polies de 12 à 24 cm<sup>2</sup> de surface et de 30 µm d'épaisseur. Cette approche nécessite la mise en œuvre successive de plusieurs techniques analytiques éprouvées (MOLP, MSE, MEB) et ouvre également la possibilité d'utiliser des méthodes plus innovantes permettant une représentation des fibres en trois dimensions (RAMAN-in-SEM, MEB-FIB).

## 8. Conclusions

De nombreux travaux de recherche s'intéressent à la thématique de l'amiante dans l'environnement naturel, qu'il s'agisse d'études géologiques, minéralogiques, toxicologiques ou encore épidémiologiques, tant en France qu'à l'international. Ceci se traduit par une amélioration constante des connaissances relatives aux différents aspects de cette thématique et permet de proposer des réponses toujours plus précises et adaptées aux problèmes posés.

L'appropriation de cette problématique par un large public constitue un enjeu d'importance. Les informations contenues dans ce document ont vocation à sensibiliser tous les acteurs, publics ou privés, susceptibles d'être un jour confrontés à des problèmes liés à la présence d'amiante dans leurs zones d'intérêt et à apporter des éléments de connaissance pratiques sur les aspects géologiques et minéralogiques associés à cette thématique.

Les six espèces minérales actuellement réglementées au titre de l'amiante (chrysotile, actinolite-amiante, trémolite-amiante, anthophyllite-amiante, grunérite-amiante (amosite) et riébeckite-amiante (crocidolite)) sont naturellement présentes dans certaines roches et sols issus de la transformation de ces roches. Des fibres de chrysotile et de trémolite-amiante sont ainsi régulièrement rencontrées dans les roches ultrabasiques serpentinisées. Dans les roches magmatiques basiques à intermédiaires ayant subi des recristallisations métamorphiques dans les conditions du faciès schiste vert et/ou affectées par des recristallisations tardi-magmatiques, ce sont surtout des fibres d'actinolite, parfois asbestiformes (actinolite-amiante), qui sont régulièrement présentes.

Pour une roche donnée, la nature minéralogique et les caractéristiques morphologiques des particules fibreuses éventuellement présentes vont dépendre de nombreux paramètres, en particulier la nature pétrographique et la composition minéralogique de la roche mais aussi les déformations et les recristallisations, métamorphiques et/ou hydrothermales, auxquelles cette roche a été soumise au cours de son histoire. D'une manière très générale, ces différents paramètres se conjuguent pour induire des variations importantes de la susceptibilité de présence d'amiante, et ce à toutes les échelles de l'analyse (de l'échantillon au massif rocheux). **Là se situe l'essentiel des difficultés rencontrées dès lors qu'il s'agit de caractériser le potentiel amiantifère d'un objet ou d'un environnement géologique, quelle que soit la taille de ces derniers.**

Les roches contenant ou susceptibles de contenir des occurrences amiantifères affleurent dans des environnements géologiques très étendus mais souvent de façon localisée et dans des proportions extrêmement variables d'un secteur donné à un autre. Ces environnements correspondent à tous les massifs montagneux de France métropolitaine (Massif central, Massif armoricain, Pyrénées, Alpes occidentales, Vosges, Maures-Esterel, Corse, ...). En revanche, les grands bassins sédimentaires situés entre ces massifs montagneux (Bassin de Paris, Bassin aquitain, Bassin du Sud-Est) correspondent à des territoires non concernés par la problématique amiante (ou seulement de façon anecdotique).

**Les formations alluvionnaires, fluvioglaciales et glaciaires constituent des objets géologiques particuliers dont le potentiel amiantifère sera plus difficile à caractériser du fait de leur caractère souvent polygénique. Pour cette raison, l'étude de ces formations sédimentaires détritiques nécessitera presque toujours une approche spécifique.**

Dans les terrains géologiques potentiellement concernés par la présence de roches et/ou de sols amiantifères, des expertises géologiques sont nécessaires pour évaluer la réalité de ce potentiel et, le cas échéant, localiser avec une précision suffisante les zones impactées par la présence d'amiante. De telles expertises préalables s'imposent notamment dès lors que des travaux sont programmés dans ces terrains, dans le but de définir les dispositions à mettre en place pour mener à bien les travaux tout en garantissant la protection des travailleurs et des riverains. Une norme encadrera prochainement la réalisation de ces repérages d'amiante avant travaux, laquelle précisera les actions successives que les géologues opérateurs de repérage devront conduire pour assurer leur expertise.

L'identification de roches et/ou de sols amiantifères constitue une opération difficile à conduire, sauf lorsque les matériaux soumis à investigation sont connus comme n'étant jamais amiantifères ou, au contraire, comme étant toujours porteurs d'amiante. En dehors de ces cas extrêmes et faciles à traiter, une telle identification nécessitera souvent la mobilisation de compétences pointues, qu'il s'agisse des géologues en charge, notamment, des expertises de terrain ou des analystes en charge des études en laboratoire. On soulignera ici l'importance des diagnostics établis en laboratoire, lesquels doivent s'attacher à différencier les fibres d'amiante des particules minérales fibriformes plus ou moins longues et épaisses, de même composition chimique, générées lors de la préparation des échantillons, sachant qu'une telle distinction peut dans certains cas être très difficile à faire et conduire à l'établissement de faux positifs.

Dans ce rapport sont présentés plusieurs documents cartographiques établis par le BRGM pour qualifier les niveaux de susceptibilité de présence d'amiante en France métropolitaine. Ces documents comprennent une carte globale de la France métropolitaine, établie à partir de la dernière édition de la carte géologique de la France à l'échelle 1/1 000 000, ainsi que des cartes départementales ou régionales établies à partir des cartes géologiques issues du programme de la carte géologique de France à l'échelle 1/50 000. Ces données sont accessibles via le site InfoTerre du BRGM (<https://infoterre.brgm.fr/>). De tels documents ont vocation à être utilisés dans le cadre d'études de repérage d'amiante mais compte tenu de leur échelle de validité, ils devront être complétés par des données acquises à des échelles plus précises et adaptées à la taille des chantiers.

## 9. Références et documents consultés

**AFNOR** (2012) – Norme NF ISO 22262-1 Partie 1 : Échantillonnage et dosage qualitatif de l'amiante dans les matériaux solides d'origine commerciale.

**ANSES** (2010) - Affleurements naturels d'amiante. Rapport d'expertise collective, 248 p.

**ANSES** (2012) - Évaluation des risques relatifs au talc seul et au talc contaminé par des fibres asbestiformes et non asbestiformes.

**ANSES** (2015) - Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière. Maisons-Alfort, France.

**ANSES** (2017) – Particules minérales allongées. Identification des sources d'émission et proposition de protocoles de caractérisation et de mesures. Rapport d'expertise collective, 164 p.

**ANSES/BRGM/INRS/LAFP** (2018) - Analyse des émissions en particules minérales allongées (PMA) et en silice cristalline générées lors de tests d'usure soumis à des matériaux naturels en laboratoire.

**Auzende A.** (2003) - Évolution des microstructures des serpentinites en contexte convergent: effet du degré de métamorphisme et de la déformation. PhD thesis. Université Joseph Fourier. Grenoble: 264 p.

**Auzende A., Daniel I., Reynard B. et al.** (2004) - High-pressure behavior of serpentine minerals: a Raman spectroscopic study. *Physics and Chemistry of Minerals*, 31(5), pp. 269-277.

**Bailey, R.M., Kalika, S.** (2020) – Foreword to the Environmental and Engineering Geoscience. Special edition to naturally occurring asbestos. *Environmental and Engineering Geoscience*, vol. XXVI, n°1, pp. 1-2.

**Béchenec F., Aertgeerts G., Lahondère D. et al.** (2010) - Cartographie de l'aléa « amiante environnemental » dans le département de la Loire-Atlantique. Rapport final BRGM/RP-59108-FR, 116 pages + annexes.

**Béchenec F., Aertgeerts G., Lahondère D.** (2013) - Cartographie de l'aléa amiante environnemental dans les départements du Massif armoricain. Rapport final BRGM/RP- 62079 - FR, 182 pages + annexes.

**Belluso, E., Baronnet, A., Capella S.,** (2020) – Naturally occurring asbestiform minerals in Italian western Alps and in other Italian sites. *Environmental and Engineering Geoscience*, vol. XXVI, n°1, pp. 39-46.

**Blein O., Cagnard F., Lahondère D. et al.** (2010) - Cartographie de l'aléa « amiante environnemental » dans le département de la Savoie. Rapport final BRGM/RP-59101-FR, 89 p.

**Cagnard F., Le Bayon B., Lahondère D. et al.** (2015) – Cartographie de l'aléa amiante environnemental dans les Pyrénées. Rapport final. BRGM/RP-65249-FR, 344 p.

**Cagnard F., Lahondère D., Duron J. et al.** (2020a) – Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Massif central. La zone « Albigeois ». Rapport final. BRGM/RP-67735-FR, 188 p.

**Cagnard F., Lahondère D., Duron J. et al.** (2020b) - Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Massif central. La zone « La Marche ». Rapport final. BRGM/RP-68939-FR, 152 p.

**Duron J., Cagnard F., Lahondère D. et al.** (2020a) - Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Massif central. La zone « Limousin ». Rapport final. BRGM/RP-67798-FR, 196 p.

**Duron J., Cagnard F., Lahondère D. et al.** (2020b) – Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Massif central. La zone « Monts du Lyonnais ». Rapport final. BRGM/RP-67799-FR, 284 p.

**Duron J., Cagnard F., Lahondère D. et al.** (2020c) - Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Massif central. La zone « Auvergne ». Rapport final. BRGM/RP-68602-FR, 200 p.

**Duron J., Lahondère D., Cagnard F. et al.** (2020d) - Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Massif central. La zone « Morvan ». Rapport final. BRGM/RP-68592-FR, 172 p.

**Cluzel D., Boulvais P., Iseppi M. et al.** (2019) - Slab-derived origin of tremolite-antigorite veins in a supra-subduction ophiolite: the Peridotite Nappe (New Caledonia) as a case study. *International Journal of Earth Sciences*.

Dictionnaire des roches d'origine magmatique et des météorites. Variations étymologiques, minéralogiques, texturales et génétiques (2001) : Éditions BRGM.

**Grosso C., Rinaudo C., Cairo S, et al.** (2006) - Micro-Raman spectroscopy for a quick and reliable identification of serpentine minerals from ultramafics, *European Journal of Mineralogy*, 18, pp. 319-329.

**Gutierrez T., Lahondère D., Cagnard F.,** (2016) – Reconnaissance des zones naturelles amiantifères sur neuf communes de la région du Nebbio (Haute-Corse). Rapport final. BRGM/RP-66345-FR, 194 p.

**Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., et al.** (2012) - Nomenclature of the amphibole supergroup. *Am. Mineral.* 97, 2031–2048. <https://doi.org/10.2138/am.2012.4276>.

**IARC** (1987) - Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk to humans. Overall evaluations of carcinogenicity: an updating of IARC Monographs, Vol 1-42, Suppl 7. WHO-IARC, France, pp. 106–116.

**IARC** (2012) - Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk to humans. Arsenic, metals, fibres, and dusts. IARC Monographs, Vol 100. World Health Organization, pp. 11–465.

**INRS** (2013) – Travaux en terrain amiantifère. Opérations de génie civil, de bâtiment et de travaux publics. Guide de prévention, ED 6142, 121 p.

**INSERM** (1999) - Effets sur la santé des fibres de substitution à l'amiante' (expertise collective). Rapport établi à la demande de la Direction Générale de la Santé et de la Direction des Relations du Travail (Ministère de l'Emploi et de la solidarité). 429 p.

**INVS/BRGM/LEPI (2008)** - Exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'affleurements de roches amiantifères en France continentale.

**Kazan-Allen L. (2005)** - Asbestos and mesothelioma: worldwide trends. *Lung Cancer* 49(S1): S3–S8.

**Lahondère D. (2006)** - Cartographie de l'aléa Amiante environnemental en Haute-Corse. Rapport BRGM/RP-55119-FR, 57 p.

**Lahondère D. (2007)** - Cartographie et minéralogie de l'amiante environnemental sur la commune de Murato (Haute-Corse). Rapport BRGM/RP-55142-FR, 63 p.

**Lahondère D., Cagnard F., Zammit C., et al. (2010)** - Cartographie de l'aléa « amiante environnemental » sur le département de la Haute-Corse. Rapport final BRGM/RP-58847-FR, 162 pages.

**Lahondère D., Cagnard F., Maton D. (2011a)** - Cartographie et minéralogie de l'amiante environnemental sur la commune de Bustanico (Haute-Corse). Rapport BRGM/RP-60356-FR, 136 pages, 116 ill.

**Lahondère D., Cagnard F., Maton D. (2011b)** - Cartographie et minéralogie de l'amiante environnemental sur la commune de Corte (Haute-Corse). Rapport BRGM/RP-59981-FR, 134 pages, 117 ill.

**Lahondère D., Blein O., Cagnard F. (2012a)** - Cartographie de l'aléa « amiante environnemental » dans le département de l'Isère. Rapport BRGM/RP-61438-FR, 198 pages, 101 ill.

**Lahondère D., Cagnard F., Blein O. (2012b)** - Cartographie de l'aléa « amiante environnemental » dans le département des Hautes-Alpes. Rapport BRGM/RP-61294-FR, 196 pages, 117 ill.

**Lahondère D., Cagnard F., Maton D. (2013)** - Reconnaissance des zones naturelles amiantifères sur huit communes de la région de Bastia. Rapport BRGM/RP-62198-FR, 202 pages, 195 ill.

**Lahondère D., Cagnard F., Wille G., et al. (2018)** - TEM and FESEM characterization of asbestiform and non-asbestiform actinolite fibers in hydrothermally altered dolerites (France). *Environ. Earth Sci.* 77, 385.

**Lahondère D., Cagnard F., Wille G., et al. (2019)** - Naturally occurring asbestos in an alpine ophiolitic complex (northern Corsica, France). *Environ. Earth Sci.* 78.

**Locock A.J. (2014)** - An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. *Comput. Geosci.* 62, pp. 1–11.

**Manuel & méthodes BRGM (1999)** - Amiante. Aspects techniques et réglementaires.

**MSHA (2005)** - Asbestos exposure limit; proposed rule. *Fed Reg.* July 29:43950–43989 Date accessed: June 30, 2008.

**Nebout P. (1985)** – La minéralisation stratiforme à sidérose de la Valmy et son contexte géologique (Cévennes méridionales). Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Clermont-Ferrand, 160 p.

**NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)** (2011) - Asbestos fibers and other elongate mineral particles: State of roadmap for research. Current Intelligence Bulletin 62.

**OMS (World Health Organization)** (1986) - Asbestos and other natural mineral fibres, Environmental Health Criteria, No. 53, Geneva.

**Petriglieri J.R., Salvioli-Mariani E., Mantovani L. et al.** (2015) - Micro-Raman mapping of the polymorphs of serpentine. Journal of Raman Spectroscopy.

**Rinaudo C., Gastaldi D., Belluso E.** (2003) - Characterization of chrysotile, antigorite and lizardite by FT-Raman spectroscopy. Canadian Mineralogist, 41, pp. 883-890.

**Strohmeier B.R., Huntington J.C., Bunker K.L. et al.** (2010) - What is asbestos and why is it important? Challenges of defining and characterizing asbestos, International Geology Review, 52:7-8, 801-872, DOI: 10.1080/00206811003679836.

**US-EPA (Environmental Protection Agency)** (1993) - Test method: Method for determination of asbestos in bulk building materials. EPA/600/R-93/116, 61 p.

**Wille G., Lahondère D., Schmidt U. et al.** (2019). Coupling SEM-EDS and confocal Raman-in-SEM imaging a new method for the mineral identification and the 3D morphology of asbestos-like fibers in a mineral matrix. Journal of Hazardous Materials, 374, pp. 447-458.

## **Annexe 1**

### **Exemples d'occurrences « types »**





**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR



**FICHE n°1 : LES ANDESITES HYDROTHERMALISEES (3E)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 65IB005

**Auteurs de l'observation :**  
I. Bouroullec - D. Lahondère

**Localisation (WGS84) :**

**X = 0.0454 Y = 42.8889 - Commune :** Sers  
**Type d'affleurement :** Affleurement en place

**Informations géologiques :**

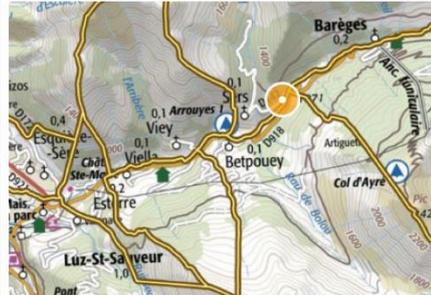
**Lithologie(s) :** Andésites hydrothermalisées

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Campan (1071)

**Aléa amiante environnemental :** 3



**Description de l'affleurement**

Cet affleurement, situé sur la route de Sers (le long de la D147), correspond à un talus routier creusé dans des marbres clairs, à patine grise, intercalés avec des niveaux sombres constitués d'andésites hydrothermalisées. Ces andésites correspondent probablement à d'anciens filons intrusifs dans une série carbonatée. Sur cet affleurement, les andésites sont recoupées par de nombreux petits plans et veines, constitués de fibres rigides très fines, qui se désagrègent parfois en amas de fibrilles fines d'apparence souple (photographies A et B). Ces plans et veines fibreux sont constitués d'actinolite. Cette amphibole correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante. Les analyses réalisées à partir de fibres souples prélevées dans un amas montrent qu'il s'agit pour partie d'actinolite-amiante.



(A) Veine à fibres d'actinolite rigides recoupant une andésite hydrothermalisée



(B) Amas microfibreux résultant de l'altération supergène d'une veine à actinolite recoupant l'andésite



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.



 <p>MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDARITÉ</p>	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b> Fiche extraite du rapport BRGM/RP-61294-FR</p>	 <p>BRGM</p>
--	---	---

**FICHE n°2 : SERPENTINITES – OPICALCITES (2G)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 05FC078

**Auteurs de l'observation :**

F. Cagnard - D. Lahondère

**Localisation (WGS84) :**

**X = 6.80807 Y = 44.8096 - Commune :**

Château Ville Vieille

**Type d'affleurement :** Ancienne carrière

**Informations géologiques :**

**Lithologie(s) :** Serpentinites - opicalcites

**Type(s) d'amiante :** Trémolite-amiante

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Guillestre (847)

**Aléa amiante environnemental :** 4



**Description de l'affleurement**

Il s'agit là d'un grand affleurement correspondant à l'ancienne carrière de Val de Péas. Les roches sont des serpentinites et des opicalcites, très déformées car elles sont localisées dans une zone de contact majeure des Alpes, entre deux grands ensembles lithologiques. Ces roches sont intensément cisailées et fracturées. Elles sont recoupées par de très nombreux plans et veines constitués principalement de calcite et de fibres fines blanches et soyeuses de trémolite-amiante. Ces fibres sont regroupées en amas et faisceaux qui se désagrègent sous l'effet de l'altération supergène. Il en résulte des amas blanchâtres, constitués de microfibrilles blanches, très fines et souples. La composition chimique des amphiboles (trémolite) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante et leurs caractéristiques dimensionnelles sont celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1992), du moins pour une fraction d'entre-elles (trémolite-amiante).



(A) Veine à trémolite-amiante recoupant des serpentinites



(B) Amas microfibreux résultant de l'altération supergène d'une veine à trémolite

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b> Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
---	--	---



**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
Fiche extraite du rapport BRGM/RP-66345-FR



**FICHE n°3 : SERPENTINITES (2G)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 2BDL711

**Auteurs de l'observation :**  
F. Cagnard - D. Lahondère

**Localisation (WGS84) :**

**X = 9,3650 Y = 42,6028 - Commune :** Olmeta di Tuda

**Type d'affleurement :** Ancienne carrière

**Informations géologiques :**

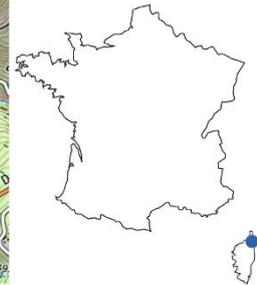
**Lithologie(s) :** Serpentinites

**Type(s) d'amiante :** Chrysotile

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Vescovato (1107)

**Aléa amiante environnemental :** 4



**Description de l'affleurement**

Cet affleurement, situé en haut du défilé du Lancone (le long de la D62), correspond à une ancienne carrière (au bord de la route) creusée dans un ensemble constitué de serpentinites massives et cataclasées (fracturées), très riches en fibres d'amiante. Sur cet affleurement, les serpentinites sombres sont recoupées par de très nombreux plans tapissés de fibres blanchâtres très fines et souples de chrysotile (photographies A et B). Ces fibres de chrysotile sont très abondantes, friables et volatiles. Des plans de cisaillement recoupent également les serpentinites et sont constitués de minéraux rigides, fibro-lamellaires, verdâtres d'antigorite (variété non amiantifère de serpentine).



(A) Serpentinites à plans tapissés de fibres d'amiante (chrysotile)



(B) Plan à chrysotile sein de serpentinites de délitant sous l'action des éléments supergènes (eau-vent)



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.



 <p>MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE</p>	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b>  <i>Fiche extraite du rapport BRGM/RP-59101-FR</i></p>	
---	---	---

**FICHE n°4 : SERPENTINITES (2G)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 73FC005

**Auteurs de l'observation :**

F. Cagnard ; D. Lahondère ; O. Blein

**Localisation (WGS84) :**

**X = 6.87548 Y = 45.284 - Commune :** Val Cenis

**Type d'affleurement :** Talus le long du torrent

**Informations géologiques :**

**Lithologie(s) :** Serpentinites

**Type(s) d'amiante :** Trémolite-amiante

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Lanslebourg- Mont d'Ambin (776)

**Aléa amiante environnemental :** 4



**Description de l'affleurement**

L'affleurement est situé dans les Alpes, en rive gauche de l'Arc, dans le village de Lanslebourg-Mont-Cenis. Les roches entaillées par le torrent correspondent à des serpentinites sombres et déformées. Ces roches sont recoupées par de nombreuses veines et plans constitués principalement de serpentine verdâtre fibrolamellaire (antigorite) et de trémolite. De nombreux plans et veines sont tapissés de trémolite fibreuse, parfois présente sous forme d'amas de fibres blanchâtres et soyeuses (trémolite-amiante). Ces veines et plans s'altèrent sous l'effet de l'altération supergène et se désagrègent en amas constitués de microfibrilles enchevêtrées blanchâtres. La composition chimique de ces amphiboles (trémolite) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante et leurs caractéristiques dimensionnelles sont celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1992), du moins pour une fraction d'entre-elles.



*Berge de l'Arc entaillée dans des serpentinites amiantifères*



(A) Veine à trémolite recoupant une serpentinite



(B) Veine de trémolite altérée et dissociée en amas de fibres très fines pour partie asbestiformes

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b>          Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
---	---	---

	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b>  <i>Fiche extraite du rapport BRGM/RP-59101-FR</i></p>	
---	---	---

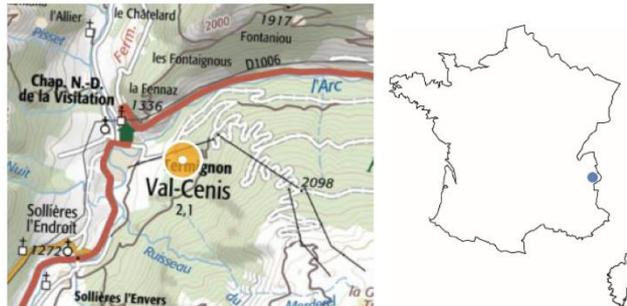
**FICHE n°5 : SERPENTINITES-OPHICALCITES (2G)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 73FC003  
**Auteurs de l'observation :**  
 F. Cagnard ; D. Lahondère ; O. Blein

**Localisation (WGS84) :**  
**X = 6.82695 Y = 45.2748 - Commune :** Val Cenis  
**Type d'affleurement :** Ancienne carrière

**Informations géologiques :**  
**Lithologie(s) :** Serpentinites  
**Type(s) d'amiante :** Actinolite-amiante ; chrysotile  
**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans  
**Carte géologique :** Modane (775)  
**Aléa amiante environnemental :** 4



**Description de l'affleurement**

L'affleurement, situé dans les Alpes, correspond à une ancienne carrière (carrière de la Girarde), située à proximité du village de Termignon. Les roches, qui y ont été exploitées pour l'extraction de l'amiante (chrysotile) correspondent à des serpentinites sombres, très déformées et cataclasées. Ces roches sont recoupées par de nombreuses veines et plans, constitués principalement de serpentine fibrolamellaire à fibreuse verdâtre (chrysotile) et d'actinolite (à trémolite) fibreuse. De nombreux plans et veines sont tapissés de fibres blanches flexueuses d'actinolite-amiante (et/ou trémolite-amiante) qui s'altèrent sous l'effet de l'altération supergène et se désagrègent en amas de microfibrilles enchevêtrées et blanchâtres. Des veines constituées de chrysotile sont également présentes. Les compositions chimiques des amphiboles (actinolite, trémolite) correspondent à deux des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante et leurs caractéristiques dimensionnelles sont celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1992), du moins pour une fraction d'entre-elles.



Ancien front de taille ouvert dans des serpentinites cisailées (carrière de la Girarde)



(A) Amas de fibres de trémolite-amiante issu d'une veine recoupant les serpentinites



(B) Veine fibreuse de chrysotile recoupant les serpentinites

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b>                  Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
---	---	---



**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
 Fiche extraite du rapport BRGM/RP-59101-FR



**FICHE n°6 : LEPTYNITES et AMPHIBOLITES (2B ?)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 73FC024  
**Auteurs :** F. Cagnard

**Localisation (WGS84) :**

**X = 6.3789 Y = 45.4542 - Commune :** La Léchère  
**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

**Lithologie(s) :** Leptynites ; amphibolites  
**Type(s) d'amiante :** Actinolite-amiante  
**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans  
**Carte géologique :** La Rochette (750)  
**Aléa amiante environnemental :** 2



**Description de l'affleurement**

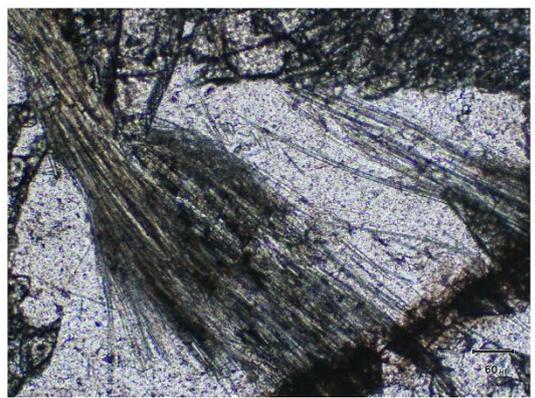
L'affleurement correspond à un grand affleurement naturel, situé près du Grand pic de la Lauzière, dans des alternances de niveaux de leptynites et d'amphibolites. La roche claire est principalement de nature leptynitique. Elle est recoupée par de nombreuses fentes et veines remplies de minéraux automorphes (« fentes alpines ») tels que des cristaux de quartz (parfois en peigne), de la calcite, de l'actinolite et de l'épidote (± chlorite). L'actinolite contenue dans ces fentes est présente sous forme de fibres soyeuses, verdâtres, dont la cristallisation se fait perpendiculairement aux épontes des veines. Ces actinolites fibreuses sont également connues sous le nom (obsolète) de « byssolite ». Ces actinolites peuvent se désagréger, sous l'action de l'altération supergène, en amas de fibres fines, dont les observations en laboratoire ont révélé qu'elles étaient caractérisées pour partie par des morphologies asbestiformes (actinolite-amiante).



*Éboulis de leptynites et d'amphibolites (Grand pic de la Lauzière)*



(A) Fibres d'actinolite verdâtres associées à du quartz dans une « fente alpine »



(B) Fibres d'actinolite observées au microscope optique, associées à du quartz dans une « fente alpine »

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b>                  Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
--	---	--

	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b>  <i>Fiche extraite du rapport BRGM/RP-61294-FR</i></p>	
---	---	---

**FICHE n°7 : METABASALTES (3E)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 05FC045  
**Auteur de l'observation :** F. Cagnard  
**Localisation (WGS84) :**  
**X = 7.06385 Y = 44.6942 - Commune :** Abriès - Ristolas  
**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

**Lithologie(s) :** Métabasaltés  
**Type(s) d'amiante :** Actinolite-amiante  
**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et fentes  
**Carte géologique :** Aiguilles - Col Saint Martin (848)  
**Aléa amiante environnemental :** 3



**Description de l'affleurement**

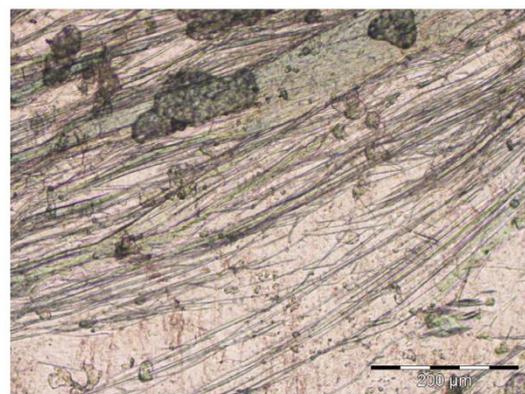
L'affleurement, situé dans les Alpes, correspond à un grand affleurement naturel à proximité du lac de Porcieroles. Il est constitué de metabasaltés foliés sombres qui sont régulièrement recoupés par des fentes et des veines remplies principalement par de l'albite et de l'actinolite (et parfois de la chlorite et de l'épidote). Dans ces « fentes alpines », l'actinolite se présente sous forme de fibres soyeuses, verdâtres à bleuâtres, dont la cristallisation se fait perpendiculairement aux épontes des veines. Ces fibres sont rarement « libres » et apparaissent le plus souvent englobées dans les feldspaths. Ces fibres sont parfois courbes et flexueuses. Les observations réalisées en laboratoire ont montré que ces fibres étaient, pour certaines d'entre elles, caractérisées par des morphologies asbestiformes (actinolite-amiante).



*Affleurement constitué de metabasaltés à fentes à albite et actinolite (lac de Porcieroles)*



*(A) Actinolite fibreuse associée à de l'albite dans une « fente alpine » recoupant un metabasalte*



*(A) Photographie au microscope optique d'un assemblage à albite et fibres d'actinolite, observé dans une « fente alpine »*

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b>          Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
---	---	---

	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b>  <i>Fiche extraite du rapport BRGM/RP-61294-FR</i></p>	
---	---	---

**FICHE n°8 : METAGABBROS (fentes alpines) (2E)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 05FC076

**Auteur de l'observation :** F. Cagnard

**Localisation (WGS84) :**

**X = 6.9952 Y = 44.7382 - Commune :** Abrès - Ristolas

**Type d'affleurement :** Bloc

**Informations géologiques :**

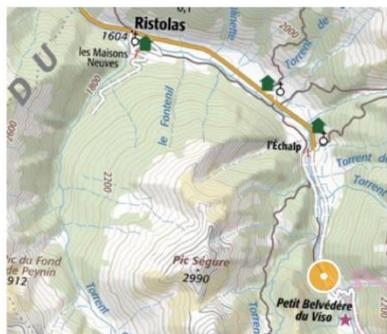
**Lithologie(s) :** Métagabbros

**Type(s) d'amiante :** Actinolite-amiante

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et fentes

**Carte géologique :** Aiguilles - Col Saint Martin (848)

**Aléa amiante environnemental :** 3



**Description de l'affleurement**

L'affleurement, situé dans les Alpes, correspond à un gros bloc plurimétrique de métagabbro présent dans le Guil (site de la « Roche écroulée »), non loin de Ristolas. Ce bloc est constitué de métagabbros, foliés, clairs (magnésiens) qui sont recoupés par des fentes, des plans et des veines claires. Ces veines sont remplies principalement par de l'albite, de l'épidote, de l'actinolite (et parfois de la chlorite). L'actinolite se présente sous forme de fibres soyeuses, verdâtres à blanchâtres, dont la cristallisation se fait perpendiculairement aux épontes des veines. Dans les fentes « ouvertes », des amas de fibres blanches d'actinolite, d'apparence souple, sont parfois observés. Ces fibres peuvent facilement se détacher les unes des autres.  
 Les observations réalisées en laboratoire ont montré que les fibres constituant les amas fins correspondaient en partie à des fibres asbestiformes (actinolite-amiante).



*Bloc de métagabbro magnésien à fentes à albite et actinolite (± épidote, chlorite) (site de la « Roche écroulée »)*



*(A) Actinolite fibreuse associée à de l'albite et de l'épidote dans une fente recoupant le métagabbro*



*(B) Amas souples de fibrilles d'actinolite (+ albite et épidote) observés dans une fente ouverte recoupant le métagabbro*

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b>                  Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
---	---	---



**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en  
France métropolitaine**  
Fiche extraite du rapport BRGM/RP-61294-FR



**FICHE n°9 : AUREOLES REACTIONNELLES (anthophyllite)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 05OB013

**Auteur de l'observation:** O. Blein

**Localisation (WGS84) :**

**X = 6.31597 Y = 44.83148 - Commune :** La  
Chapelle en Valgaudemar

**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

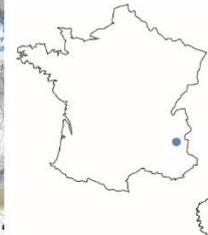
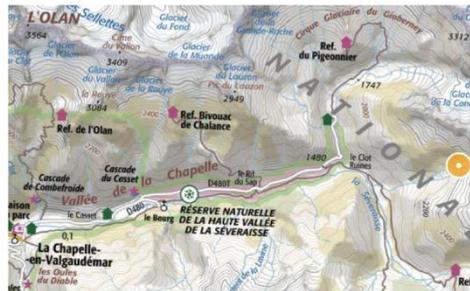
**Lithologie(s) :** Roches ultrabasiques

**Type(s) d'amiante :** Anthophyllite-amiante

**Typologie(s) d'occurrence :** Auréoles  
réactionnelles

**Carte géologique :** St Christophe en Oisans  
(822)

**Aléa amiante environnemental :** 2



**Description de l'affleurement**

L'affleurement, situé en Oisans, correspond à un affleurement naturel de gneiss migmatitiques leucocrates, au sein desquels on observe des « boules » de roches ultrabasiques sombres. Au contact entre les deux types de roches, se développe une couronne réactionnelle, constituée de fibres verdâtres et soyeuses, parfois flexueuses, d'anthophyllite. La croissance de ces fibres s'est faite perpendiculairement à la surface de contact entre les deux lithologies. Elles peuvent localement se détacher de la paroi de la veine, en particulier sous l'effet de l'altération supergène et forment alors des amas microfibreux. Les analyses et les observations réalisées au laboratoire ont confirmé qu'il s'agissait d'anthophyllite et que quelques-unes des fibres contenues dans ces auréoles réactionnelles présentaient les caractéristiques morphologiques des fibres asbestiformes (anthophyllite-amiante).

X



(A) Roche ultrabasique (sombre) entourée d'une couronne d'anthophyllite, au contact avec un gneiss migmatitique



(B) Détail d'une auréole réactionnelle marquée par des fibres d'anthophyllite, au contact entre une roche ultrabasique et un gneiss



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.





**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
 Fiche extraite du rapport BRGM/RP-XXX-FR



**FICHE n°10 : SERPENTINITES à anthophyllite (2G)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** MARDL022

**Auteurs de l'observation :** D. Lahondère, F. Cagnard

**Localisation (WGS84) :**

**X = 1.61562 Y = 46.46008 - Commune :** Cuzion

**Type d'affleurement :** Volantes

**Informations géologiques :**

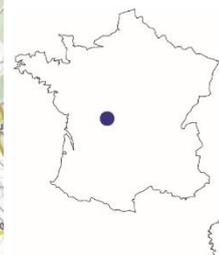
**Lithologie(s) :** Serpentinites

**Type(s) d'amiante :** Anthophyllite-amiante

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Argenton sur Creuse (558)

**Aléa amiante environnemental :** 4



**Description de l'affleurement**

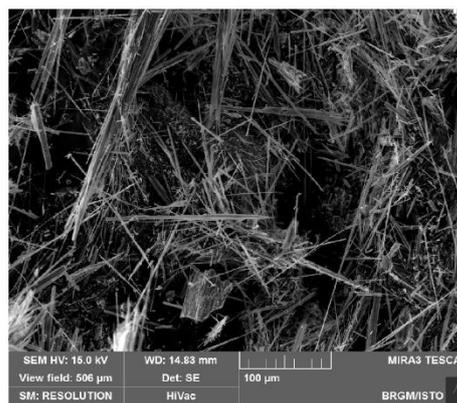
Cette occurrence d'amiante, très peu spectaculaire, correspond à des blocs de roches ultrabasiques totalement transformées en serpentinites, retrouvés en bordure d'un champ. Ces roches contiennent des plans et des veines remarquables par la longueur des fibres qui les composent ainsi que par leur nature minéralogique (anthophyllite). Ces amphiboles se présentent sous forme de fibres très longues (pluricentimétriques), parfois dissociables en fibrilles blanchâtres à jaunâtres. Sous l'action de l'altération supergène, ces veines fibreuses ont tendance à se dissocier et à libérer des fibres fines d'apparence souple (photographie A). Les analyses et les observations réalisées au microscope électronique à balayage montrent que ces fibres d'anthophyllite sont abondantes, très allongées, et que certaines d'entre elles possèdent les caractéristiques morphologiques de fibres asbestiformes (anthophyllite-amiante) (photographie B).



*Blocs de serpentinites en bordure de champ*



*(A) Fibres centimétriques d'anthophyllite observées dans un bloc de serpentinite*



*(B) Fibres d'anthophyllite, certaines asbestiformes, observées au microscope électronique à balayage*



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
 Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.





**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR



**Fiche 11 : Les marbres à minéraux (groupe 1C)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 66FC019

**Auteur de l'observation :** F. Cagnard

**Localisation (WGS84) :**

X = 2.5852 Y = 42.7232 - **Commune :** Belesta

**Type d'affleurement :** Affleurement en place

**Informations géologiques :**

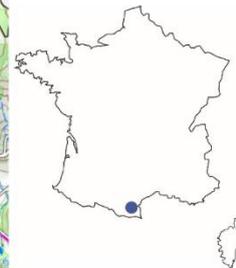
**Lithologie(s) :** Marbre

**Type(s) d'amiante :** Trémolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Rivesaltes (1090)

**Aléa amiante environnemental :** 2



**Description de l'affleurement**

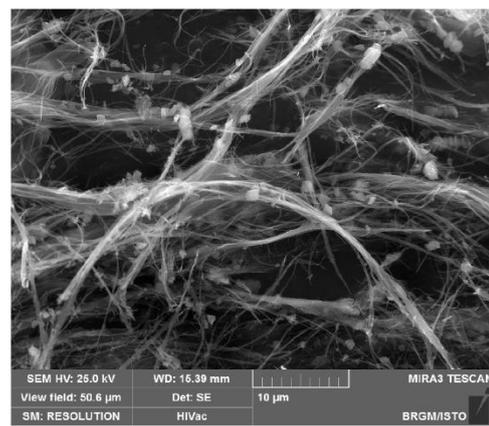
Cet affleurement est situé dans les Pyrénées, le long de la D17. Il correspond à un gros affleurement ouvert dans des marbres clairs et cristallins. Ces marbres dérivent d'une série carbonatée mésozoïque ayant subi un épisode de métamorphisme, les calcaires initiaux étant transformés en marbres.

Ces marbres sont recoupés par de nombreux plans, tapissés de fibres rigides et de lamelles beiges à blanchâtres de trémolite, qui se désagrègent sous l'effet de l'altération. Ces processus supergènes conduisent à la production d'amas de fibres blanches souples.

Les analyses et les observations faites en laboratoire montrent qu'il s'agit de fibres asbestiformes de trémolite (trémolite-amiante).



(A) Veine à trémolite fibreuse recoupant les marbres et se désagrégeant sous l'action des agents supergènes (eau, vent)



(B) Fibres souples de trémolite-amiante observées au microscope électronique à balayage



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.





**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
 Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR



**Fiche 12 : Les marbres à minéraux (skarns) (groupe 1C)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 09BLB056

**Auteur de l'observation :** B. Le Bayon

**Localisation (WGS84) :**

**X = 2.1652 Y = 42.7880 - Commune :** Clat

**Type d'affleurement :** Affleurement en place

**Informations géologiques :**

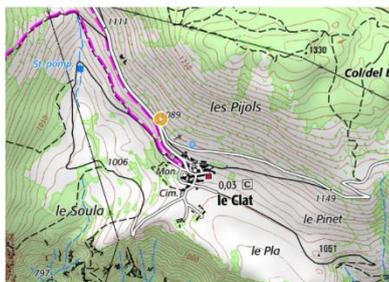
**Lithologie(s) :** Marbre, skarn

**Type(s) d'amiante :** Trémolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Saint Paul de Fenouillet (1089)

**Aléa amiante environnemental :** 2

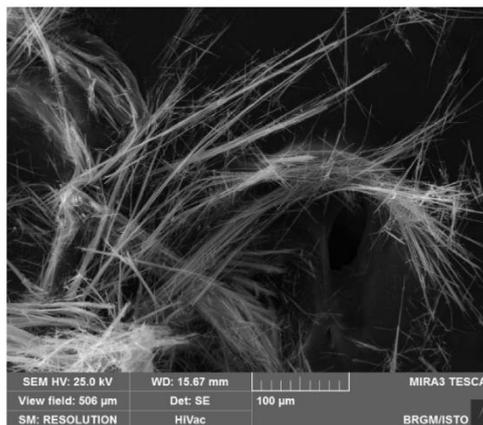


**Description de l'affleurement**

Cet affleurement est situé dans les Pyrénées, le long de la route qui mène au village du Clat. Il correspond à un talus routier ouvert dans des marbres impurs constitués par une alternance de niveaux carbonatés beiges, de niveaux riches en petits grenats rosés et de niveaux plus sombres. Ces marbres correspondent à une série carbonatée (calcaires ± dolomitiques) ayant subi un épisode de métamorphisme de contact lié à l'intrusion d'un granite (granite de Querigut). Ces marbres (appelés aussi « skarns ») sont recoupés par des plans et des veines, constitués de fibres rigides et de fibres parfois plus flexueuses, blanchâtres, de trémolite (photographie A). Des fibres souples de trémolite-amiante peuvent se détacher de ces plans et veines, sous l'effet de l'altération supergène.



(A) Veine à fibres de trémolite-amiante observée dans un marbre (skarn)



(B) Fibres fines de trémolite et de trémolite-amiante observées au microscope électronique à balayage



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
 Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.



	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b>  <i>Fiche extraite du rapport BRGM/RP-61294-FR</i></p>	
--	---	--

**FICHE n°13 : SERPENTINITES – OPHICALCITES (2G)**

**Fiche d'identité :**  
**Identifiant :** 05FC066  
**Auteur de l'observation :** F. Cagnard  
**Localisation (WGS84) :**  
**X = 6.91383 Y = 44.6783 - Commune :** St Véran  
**Type d'affleurement :** Ancienne mine  
**Informations géologiques :**  
**Lithologie(s) :** Serpentinites - ophicalcites  
**Type(s) d'amiante :** Trémolite-amiante  
**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans  
**Carte géologique :** Aiguilles (848)  
**Aléa amiante environnemental :** 4



**Description de l'affleurement**

Cet affleurement naturel est constitué de serpentinites et d'ophicalcites, situées sur le site de l'ancienne mine de cuivre de Saint Véran. Ces roches sombres sont très déformées et fracturées. Elles sont parfois bréchiques et recoupées par d'abondantes veines et plans riches en calcite et en trémolite. Ces plans et veines sont tapissés de fibres blanches à verdâtres, souples et soyeuses de trémolite-amiante, qui désagrègent sous l'effet de l'altération supergène, en amas blanchâtres constitués de microfibrilles enchevêtrées. La composition chimique de ces amphiboles (trémolite) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante et leurs caractéristiques dimensionnelles sont celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1992), du moins pour une fraction d'entre-elles.



*Blocs d'ophicalcites riches en veines à calcite et trémolite-amiante.*



(A) Veine à fibres de trémolite-amiante recoupant des ophicalcites



(B) Veine de trémolite-amiante altérée et désagrégée en amas de microfibrilles pour partie asbestiformes

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b>          Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
--	---	--



**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
 Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR



**FICHE n°14 : QUARZITES MICACÉS à VEINES FIBREUSES**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 65BLB004

**Auteur de l'observation :** B. Le Bayon

**Localisation (WGS84) :**

**X = -0.2590 Y = 42.9066 - Commune :** Arrens Marsous

**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

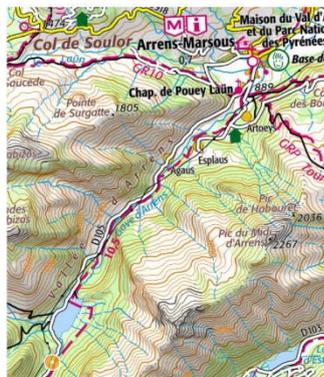
**Lithologie(s) :** Métasédiments (quartzites micacés)

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Argelès Gazost

**Aléa amiante environnemental :** 2

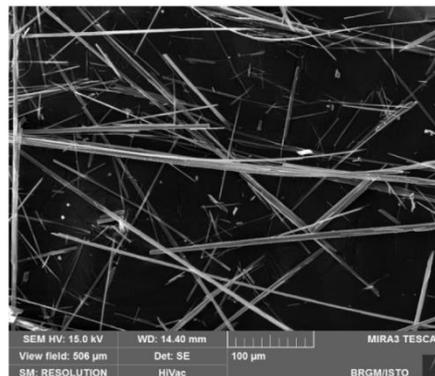


**Description de l'affleurement**

Cet affleurement est situé dans les Pyrénées, non loin de Arrens-Marsous, dans la vallée d'Arrens, le long de la D105. Il s'agit d'un talus ouvert dans des quartzites micacés. Ces anciens sédiments ont subi un épisode de métamorphisme, en particulier lié à l'intrusion du granite de Cauteret, qui a provoqué des transformations de leur minéralogie ainsi que leur fracturation. Ces métasédiments sont recoupés par des petites veines et filonnets, remplis d'albite, de calcite, de chlorite, d'actinolite et d'épidote. Ces veines sont particulièrement présentes dans les quartzites micacés, lorsque l'on est proche du contact avec le granite. Ces amphiboles (actinolites) sont sous forme de fibres vertes, à blanchâtres, soyeuses, en association étroite avec la calcite et l'albite (photographie A). Au microscope électronique à balayage, ces fibres sont très abondantes et sont très allongées. Quelques fibres présentent les caractéristiques morphologiques des fibres asbestiformes (actinolite-amiante) (photographie B).



(A) Fibres d'actinolite observées dans une veine recoupant des quartzites



(B) Fibres d'actinolite observées au microscope électronique à balayage, issues d'une veine recoupant des quartzites



**Avvertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
 Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.





**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en  
France métropolitaine**  
Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR



**FICHE n°15 : DOLERITES HYDROTHERMALISEES**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 65BLB020

**Auteur de l'observation :** B. Le Bayon

**Localisation (WGS84) :**

**X = 0.1105 Y = 43.0272 - Commune :** Bagnères de Bigorre

**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

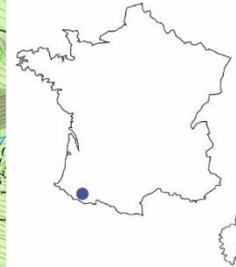
**Lithologie(s) :** Dolérites hydrothermalisées

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Bagnères de Bigorre (1053)

**Aléa amiante environnemental :** 3

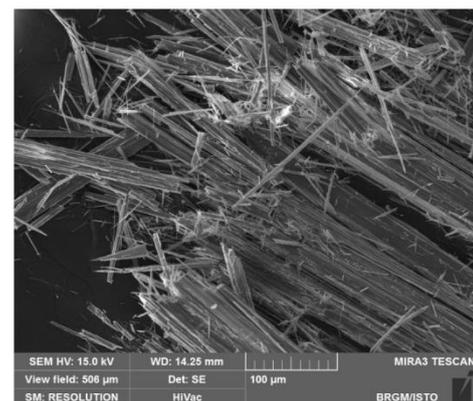


**Description de l'affleurement**

Cet affleurement est situé dans les Pyrénées, près du col du Couret. Il s'agit d'un petit affleurement naturel de dolérites (ophites). Ces roches sont sombres, à texture grenue, et sont recoupées par des veines à quartz, épidote, chlorite, albite et actinolite. Les pyroxènes de la roche magmatique ont souvent été transformés en amphiboles calciques (actinolites). Sur cet affleurement, les veines sont constituées de fibres rigides vertes. Ces fibres ont tendance à se dissocier, sous l'effet de l'altération supergène, et à libérer des particules fibriformes. Les analyses et les observations réalisées au microscope électronique à balayage montrent que ces fibres d'actinolite sont nombreuses, très allongées, avec des bords parallèles. Certaines fibres possèdent les caractéristiques morphologiques et dimensionnelles des fibres asbestiformes (actinolite-amiante).



(A) Fibres d'actinolite observées dans une veine recoupant des ophites (dolérites)



(B) Fibres d'actinolite observées au microscope électronique à balayage, issues d'une veine recoupant des dolérites



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.



	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b>  <i>Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR</i></p>	
---	---	---

**FICHE n°17 : GRANODIORITE A VEINES (groupe 2B)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 65IB009

**Auteurs de l'observation :**

I. Bouroullec, D. Lahondère

**Localisation (WGS84) :**

**X = 0.1158 Y = 42.8843 - Commune :** Barèges

**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

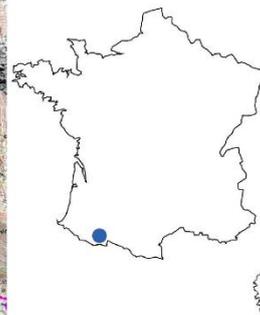
**Lithologie(s) :** Granodiorite

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Campan (1071)

**Aléa amiante environnemental :** 3



**Description de l'affleurement**

Cet affleurement est situé dans les Pyrénées, au pied du pic d'Izès. Il s'agit d'un affleurement naturel correspondant à un vaste éboulis constitué par des blocs de granodiorite. Certains blocs, très subordonnés, sont recoupés par des veines claires d'épaisseur centimétrique. Ces veines, plus ou moins épaisses sont constituées principalement de cristaux d'albite et d'actinolite. Les actinolites qui composent ces veines sont vertes, d'aspect rigide et fibreuses. Dans certaines veines, en particulier celles qui sont « ouvertes », les fibres d'actinolite montrent une morphologie souple, potentiellement asbestiformes.

Les analyses et les observations réalisées au microscope optique et au microscope électronique à transmission ont confirmé qu'une fraction de ces fibres d'actinolite correspondait à des fibres d'actinolite-amiante.



*Granodiorite de Néouvielle (blocs éboulés)*



*(A) Détail d'une veine à actinolite fibreuse recoupant une granodiorite*



*(B) Fibres à actinolite observées au microscope optique, au sein d'une veine recoupant la granodiorite (fibres vert sombre au centre)*

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b>          Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
---	---	---



**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR



**FICHE n°18 : METAGABBROS des GLORIETTES (groupe 2E)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 65IB003

**Auteurs de l'observation :**  
I. Bouroullec, D. Lahondère

**Localisation (WGS84) :**

**X = 0.0482 Y = 42.7525 - Commune :** Gavarnie-Gèdres  
**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

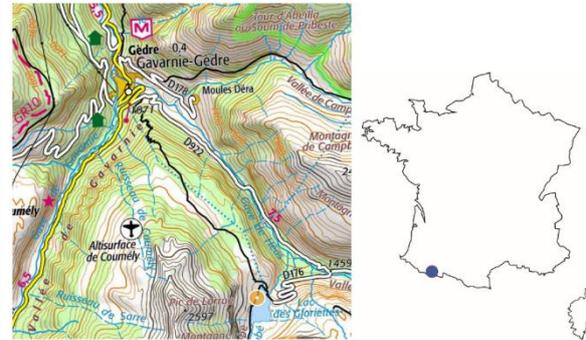
**Lithologie(s) :** Métagabbros

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Vieille Aure (1083)

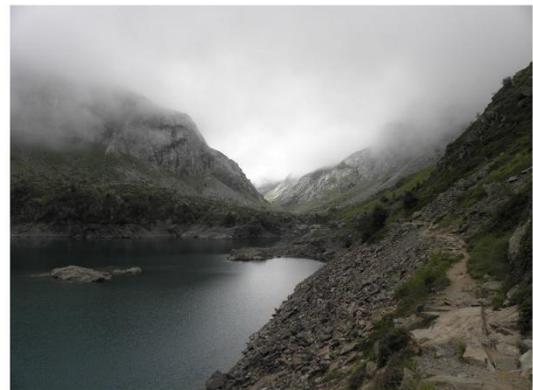
**Aléa amiante environnemental :** 2



**Description de l'affleurement**

Cet affleurement est situé dans les Pyrénées, autour du lac des Gloriettes. Il s'agit d'un affleurement naturel constituée de métagabbros clairs recoupés par des veines centimétriques, très abondantes, à albite et actinolite. Les cristaux d'actinolite qui composent ces veines sont parfois très fibreux. Les fibres d'actinolite altérées se présentent sous forme de fibres brillantes, blanchâtres à verdâtres (photographie A), parfois amalgamées en amas fins et soyeux au toucher. Seules les fibres « libres » ont la capacité de se détacher facilement de la roche et la majorité des fibres est englobée dans d'autres minéraux et donc à priori plus difficilement libérable (comme dans l'albite, par exemple – photographie B).

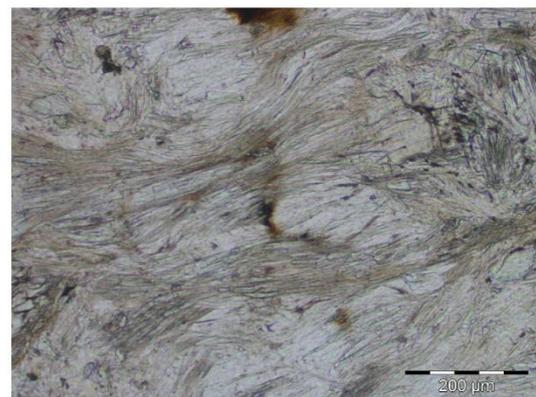
Les analyses et les observations réalisées au microscope optique et au microscope électronique à transmission ont montré que certaines de ces fibres présentaient des caractéristiques morphologiques et dimensionnelles qui sont celles des fibres asbestiformes (actinolite-amiante).



*Vue générale des affleurements correspondant aux métagabbros des Gloriettes*



*(A) Détail d'une veine à actinolite fibreuse recoupant les métagabbros*



*(B) Fibres d'actinolite observées au microscope optique, au sein d'une veine à actinolite-amiante recoupant les métagabbros*



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.





**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**

Fiche extraite du rapport BRGM/RP-58847-FR



**FICHE n°19 : LES METAGABBROS DU CAP CORSE (groupe 2E)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 2BDL010

**Auteurs de l'observation :**

D. Lahondère, F. Cagnard

**Localisation (WGS84) :**

**X = 9,3153 Y = 42,8344 - Commune :** Canari

**Type d'affleurement :** Talus routier

**Informations géologiques :**

**Lithologie(s) :** Métagabbros

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Saint Florent (1103)

**Aléa amiante environnemental :** 3

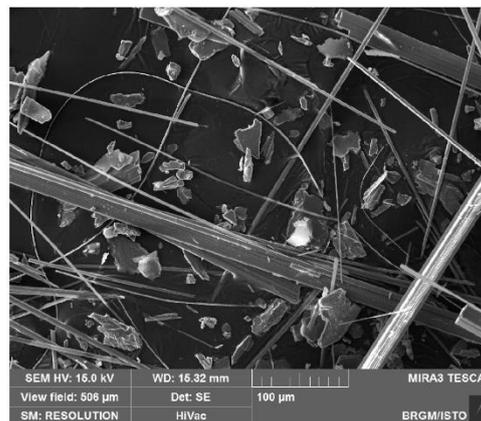


**Description de l'affleurement**

Cet affleurement est situé le long de la D80, sur la route du Cap Corse, près de l'ancienne mine d'amiante de Canari. Il s'agit d'un talus routier affectant des métagabbros aluminomagnésiens foliés. Ces métagabbros sont recoupés par de nombreux plans et veines, à fort angle de la foliation, à albite ± actinolite/trémolite ± épidote. Sur cet affleurement, une veine principale sub-verticale recoupe les métagabbros (photographie ci-contre). Les parois de cette veine sont tapissées de fibres fines blanches et souples, très longues d'actinolite-trémolite-amiante (photographie A). Les fibres sont ici très spectaculaires, car elles sont très abondantes et également très volatiles. Les analyses réalisées au microscope électronique à balayage confirment le caractère asbestiforme de certaines des fibres prélevées (fibres d'actinolite/trémolite-amiante) (photographie B).



(A) Fibres d'actinolite magnésienne et de trémolite observées dans une veine recoupant des métagabbros magnésiens



(B) Fibres d'actinolite et de trémolite observées au microscope électronique à balayage, extraites d'une veine recoupant les métagabbros



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**

Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.





**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
Fiche extraite du rapport BRGM/RP-58847-FR



**FICHE n°20 : LES TALCSCHISTES (2G)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 2BDL107

**Auteurs de l'observation :**  
D. Lahondère, F. Cagnard

**Localisation (WGS84) :**

**X = 9.3407 Y = 42.8006 - Commune :** Nonza  
**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

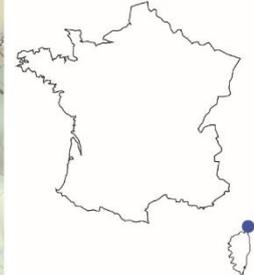
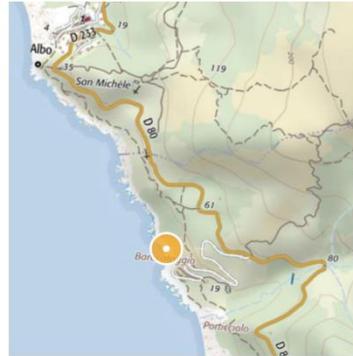
**Lithologie(s) :** Talcschistes

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Saint Florent (1103)

**Aléa amiante environnemental :** 4



**Description de l'affleurement**

Cet affleurement est situé en bordure de plage, au sud de l'ancienne mine d'amiante de Canari. Il s'agit d'un talus constitué de serpentinites très déformées et cisaillées et de talcschistes à trémolite/actinolite-amiante (photographie ci-contre). Les talcschistes sont des roches très peu résistantes et friables. Ces talcschistes sont en capacité de libérer très facilement les occurrences fibreuses d'actinolite et de trémolite-amiante qu'ils contiennent. Ces occurrences forment des amas microfibreux blancs dans les parties colluvionnées. Dans ces amas, les fibres sont très fines, flexueuses, enchevêtrées et très volatiles (photographie A). Les analyses et les observations réalisées ont permis de confirmer la présence de fibres d'actinolite-amiante et de trémolite-amiante dans ces talcschistes et dans ces serpentinites mylonitiques.



(A) Fibres d'actinolite/trémolite dans talcschiste (affleurement 2BDL107)



(B) Fibres d'actinolite/trémolite dans talcschiste (affleurement 2BDL107)



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.



 <p>MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE</p>	<p><b>FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine</b> Fiche extraite du rapport BRGM/RP-65249-FR</p>	
---	---	---

**FICHE n°21 : SYENITE NEPHELINIQUE (groupe 2C)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** 11JD001

**Auteurs de l'observation :**

J. Duron

**Localisation (WGS84) :**

**X = 2.9698 Y = 42.8913 - Commune :** Fitou

**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

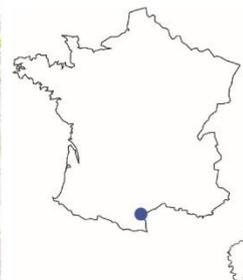
**Lithologie(s) :** Syénite néphélinique

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines et plans

**Carte géologique :** Leucate (1079)

**Aléa amiante environnemental :** 2



**Description de l'affleurement**

Il s'agit d'un affleurement naturel situé près de Fitou, dans les Pyrénées. Il est constitué d'une roche magmatique claire, non déformée, à cristaux de feldspathoïdes (néphéline) et de baguettes trapues d'amphibole sombres. Cette roche est recoupée par des veinules de calcite (photographie ci-contre). Sous l'effet de l'altération supergène (effets de l'eau et du vent), la roche se désagrège (elle est transformée en « arène ») et elle perd sa cohérence. Au sein des veinules riches en calcite, les amphiboles présentent une morphologie fibreuse. Les analyses réalisées au microscope optique et à la microsonde électronique ont montré que ces amphiboles fibreuses correspondaient à des actinolites. Bien que fibreuses, il n'a pas été démontré que ces fibres étaient asbestiformes.



(A) détail d'une veine à amphibole recoupant une syénite néphélinique



(B) Photographie au microscope optique d'une veine à fibres d'actinolite recoupant une syénite néphélinique

	<p><b>Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.</b> Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.</p>	
---	--	---



**FICHE d'occurrences « types » naturelles amiantifères en France métropolitaine**  
Données non publiées à ce stade



**FICHE n°22 : LAMPROPHYRES (2D)**

**Fiche d'identité :**

**Identifiant :** MERFC054

**Auteurs de l'observation :** F. Cagnard

**Localisation (WGS84) :**

**X = 7.3198 Y = 44.1272 - Commune :** Saint Martin Vésubie

**Type d'affleurement :** Affleurement naturel

**Informations géologiques :**

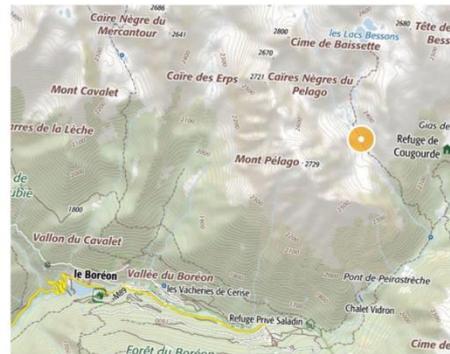
**Lithologie(s) :** Lamprophyre

**Type(s) d'amiante :** Actinolite

**Typologie(s) d'occurrence :** Veines

**Carte géologique :**

**Aléa amiante environnemental :** 2 ou 3



**Description de l'affleurement**

Il s'agit là d'un grand affleurement naturel permettant d'observer des lamprophyres, le long d'un chemin montant vers les lacs Bessons. Ces lamprophyres sont de couleur vert sombre à gris et se présentent sous forme de filons sub-verticaux, intrusifs dans des gneiss migmatitiques (rosâtres/orangés). Ces lamprophyres sont des roches massives mais elles sont recoupées, localement, par un réseau de veines vertes plus claires, d'épaisseur plurimillimétrique à centimétrique. Les observations au microscope optique montrent que ces veines sont principalement constituées de fibres fines d'amphibole (actinolite).

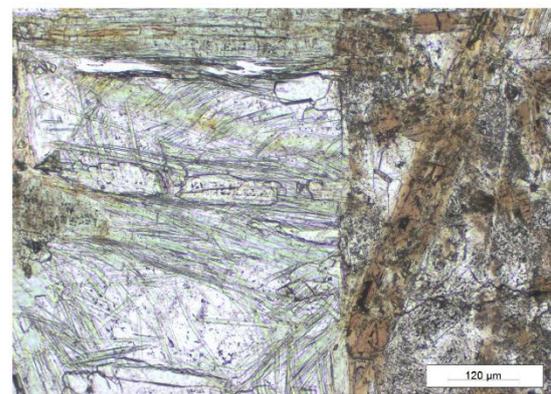
La composition chimique de ces amphiboles (actinolite) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante et leurs caractéristiques morphologiques et dimensionnelles s'apparentent à celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1992), du moins pour une fraction d'entre-elles (actinolite-amiante).



Filons de lamprophyres (gris), verticaux, recoupant des gneiss migmatitiques (rosé)



(A) Veine à fibres d'actinolite observée au sein d'un lamprophyre



(B) Veine à actinolite recoupant un lamprophyre, observée au microscope optique



**Avertissement L'amiante est une substance dangereuse, reconnue cancérigène par le CIRC.**  
Les utilisateurs de cette fiche sont préalablement invités à prendre toutes les précautions utiles dans le but d'assurer leur protection lors de la visite du site. Le BRGM ne saurait être tenu pour responsable des problèmes susceptibles de se produire à l'occasion de la visite du site, ni de leurs conséquences.





**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Centre scientifique et technique  
Direction des Géoressources**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 34 34  
[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)