



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

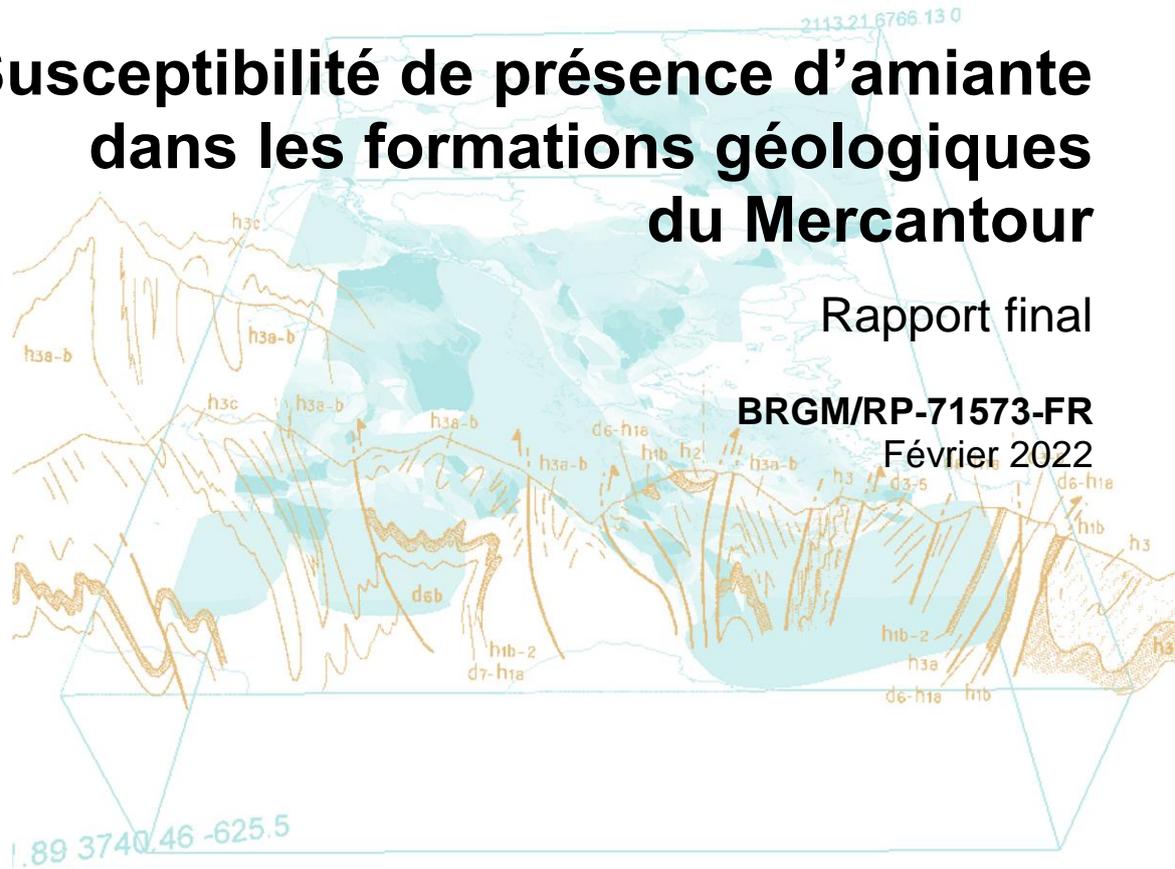
Document public

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Mercantour

Rapport final

BRGM/RP-71573-FR

Février 2022



Liberté - Égalité - Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Document public

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Mercantour

Rapport final

BRGM/RP-71573-FR
Février 2022

Étude réalisée dans le cadre de la subvention annuelle de la Direction Générale
de la Prévention des Risques (MTE/DGPR) allouée au BRGM

F. Cagnard, Plunder A., Wille G., Duée C., Alleki M.

Vérificateur :

Nom : Olivier BLEIN

Fonction : Ingénieur Géologue

Date : 21/02/2022

Signature :



Approbateur :

Nom : Didier LAHONDÈRE

Fonction: Directeur Adjoint

Date : 21/04/2022

Signature :



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



Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots-clés : France, Mercantour, Géologie, Serpentinite, Dolérite, Lamprophyre, Migmatite, Amphibolite, Gneiss amphibolique, Amiante, Cartographie, Niveau de susceptibilité, Chrysotile, Actinolite, Trémolite, Anthophyllite.

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

Cagnard F., Plunder A., Wille G., Duée C., Alleki M. (2022). Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du Mercantour. Rapport final. BRGM/ RP-71573-FR, 197 p., 99 ill., 4 ann.

Synthèse

L'étude qui fait l'objet de ce rapport final s'inscrit dans le cadre de l'appui du BRGM au Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES) dans l'exécution d'études et de travaux relatifs à la prévention des risques liés à l'exposition des populations à l'amiante. Cette étude est en adéquation avec les objectifs du PNSE 1, « *action 1 : Renforcer la prévention et la maîtrise des risques sanitaires liés à l'environnement ; 1.3, Prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers. Réduire les expositions de la population à l'amiante en maintenant la vigilance sur l'application stricte de la réglementation concernant la prévention du risque amiante en milieu de travail et en population générale* », repris par le PNSE 2 « *action 1 : Réduire les expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé ; 1.5, Réduire l'exposition aux cancérigènes d'origine naturelle présents dans l'environnement. Amiante naturel* ».

Sept zones géographiques distinctes (dont certaines seront rassemblées lors de la rédaction des rapports) ont été définies au début du présent projet (Illustration 1) et correspondent au département des Deux-Sèvres (79) (Duron, 2020), aux Vosges (Duron et Baptiste, 2020), aux Cévennes, à la partie nord de l'Arc alpin (Haute-Savoie) et à la partie sud de l'Arc alpin (Ubaye, Mercantour) ainsi que les Maures-Tanneron et la Corse hercynienne.

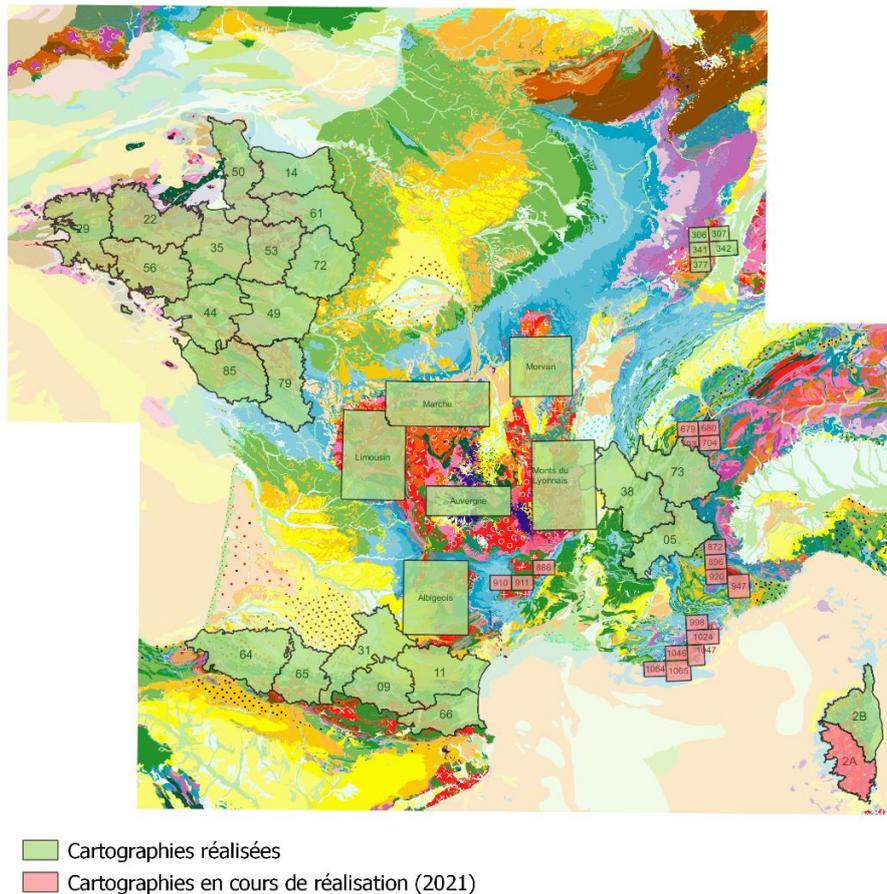


Illustration 1 : Localisation des cartographies de susceptibilité de présence d'amiante déjà réalisées (en vert) et à réaliser de 2019 à 2021 (en rose).

La poursuite de la couverture de la carte nationale de susceptibilité de présence d'amiante s'inscrit dans la continuité d'une série d'études ayant concerné : six zones dans le Massif Central (la zone « Limousin » : Duron *et al.*, 2020a ; la zone « Monts du Lyonnais » : Duron *et al.*, 2020b ; la zone Auvergne : Duron *et al.*, 2020c ; la zone « Morvan » : Duron *et al.*, 2020d ; la zone « Albigeois » : Cagnard *et al.*, 2020a ; la zone « La Marche » : Cagnard *et al.*, 2020b), les Pyrénées (Cagnard *et al.*, 2015), les départements de l'Isère (Lahondère *et al.*, 2012a), des Hautes-Alpes (Lahondère *et al.*, 2012b) et du Massif Armoricain (Béchenec *et al.*, 2013), ainsi que de la Haute-Corse (Lahondère *et al.*, 2010), de la Savoie (Blein *et al.*, 2010) et de la Loire-Atlantique (Béchenec *et al.*, 2010).

Le programme de la présente étude inclut trois phases successives.

La première phase du projet a consisté à réaliser une première évaluation du « potentiel amiantifère » des formations géologiques présentes dans la zone concernée, à partir d'une synthèse des données existantes les plus pertinentes (bibliographie, notices et cartes géologiques). Cette évaluation a été faite en prenant en compte tous les paramètres favorables à la cristallisation de minéraux asbestiformes ; en particulier la composition chimique et minéralogique des roches, l'importance des circulations de fluides, la nature des contacts géologiques et les évolutions structurales et métamorphiques subies par les roches en question. Au cours de cette synthèse, une attention particulière a été apportée à la recherche de toutes les informations relatives à la présence de minéraux fibreux, et ce pour toutes les formations géologiques préalablement identifiées sur les cartes géologiques correspondantes. Les analyses multicritères (AMC) réalisées ont permis d'attribuer, à l'issue de cette première phase et pour chaque formation identifiée sur la carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour, une susceptibilité prévisionnelle déclinée en quatre classes (1 : « nul à très faible », 2 : « faible », 3 : « moyen », 4 : « fort à très fort »). Cette carte de susceptibilité prévisionnelle de présence d'amiante environnemental est susceptible d'être modifiée après expertises puis analyses des échantillons prélevés au cours des expertises sur une sélection d'affleurements.

La deuxième phase du projet est séparée en deux modules, avec des développements plus ou moins importants et spécifiques en fonction des connaissances déjà acquises. Le premier module est destiné aux contrôles de terrain, menés prioritairement sur un ensemble de cibles identifiées à l'issue de la première phase. Ces opérations ont permis de reconnaître les principaux sites potentiellement amiantifères, d'établir une typologie de ces sites et de prélever des échantillons à des fins analytiques. Le second module correspond au volet analytique et à l'identification précise des espèces minérales fibreuses, asbestiformes ou potentiellement asbestiformes, collectées sur les principaux sites visités.

La dernière phase du projet a consisté à synthétiser l'ensemble des résultats obtenus, tant sur le terrain qu'en laboratoire, dans le but de produire les cartes de susceptibilité consolidée de présence d'amiante. Le nombre de formations concernées par chacun des niveaux de susceptibilité est présenté ci-dessous de façon synthétique, pour la zone du Mercantour concernée par cette étude.

Zone du Mercantour	Nombre de formations affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel à l'issue de l'AMC	Nombre de formations expertisées sur le terrain	Nombre de formations affectées d'un niveau de susceptibilité consolidé à l'issue de l'expertise
« Nul à très faible »	93	8	94
« Faible »	4	4	7
« Moyen »	6	4	2
« Fort à très fort »	0	1	1

Dans ce tableau, les alluvions, les colluvions indifférenciées et les colluvions d'altérites, les dépôts colluviaux et les éboulis ne sont pas pris en compte.

Plusieurs points importants ont été mis en lumière à travers cette étude.

Les principaux résultats de cette étude montrent que :

- (1) les roches ultrabasiques, de type péridotite serpentinisée/serpentinite, sont rares mais présentes sous forme d'enclaves au sein de gneiss migmatitiques et qu'elles montrent des occurrences amiantifères principalement sous forme de veines et veinules à chrysotile et de veines à actinolite-amiante et trémolite-amiante. Ces roches n'étaient pas cartographiées sur les cartes géologiques au 1/50 000 et apparaissent seulement sur la carte des NSPA (niveaux de susceptibilité de présence d'amiante) consolidés ;
- (2) les amphibolites, présentes sous forme de niveaux et/ou enclaves dans les gneiss et migmatites sont souvent constituées de hornblendes mais elles peuvent localement présenter des fibres fines d'actinolite (localement sous forme d'actinolite-amiante) ;
- (3) les lamprophyres, qui recoupent certains gneiss et migmatites sont parfois recoupés eux-mêmes par des veines riches en actinolite-amiante ;
- (4) les gneiss et les migmatites (très abondants dans le Mercantour) sont dépourvus dans leur masse d'occurrences amiantifères mais ces roches peuvent contenir des enclaves de différentes dimensions, qui elles, sont potentiellement amiantifères.

NOTA : Les documents cartographiques attachés à la présente étude ont été établis à partir des données de la carte géologique numérique harmonisée du département 06 (issue de synthèses des cartes géologiques à 1/50 000 et 1/80 000 préalablement produites dans le cadre du programme national de la Carte Géologique de la France), et/ou directement de cartes géologiques à 1/50 000. Les limites géologiques représentées sur ces cartes, adaptées à cette échelle de restitution, constituent des éléments linéaires dont la précision dépend de la qualité et de la densité des informations géologiques disponibles d'une part et des modalités d'interpolation entre les points d'observation d'autre part. Cette précision peut varier pour une même limite de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. En outre, les objets géologiques de largeur et de longueur respectivement inférieure à 50 et 100 m ne sont généralement pas représentés sur les cartes géologiques à 1/50 000. Il est donc important de noter que des passées de roches potentiellement amiantifères peu étendues peuvent ne pas avoir été représentées sur les cartes géologiques utilisées pour établir le document cartographique présent. La responsabilité du BRGM ne saurait être engagée en cas d'utilisation inadaptée ou non conforme aux règles de l'art de ces documents. Compte tenu de l'échelle de travail de cette synthèse, les cartes des niveaux de susceptibilité consolidés produites à ce stade ne dispenseront pas d'études de détail à des échelles plus fines et adaptées, en cas notamment de travaux de terrassement, d'aménagement ou d'extraction susceptibles de recouper des formations potentiellement amiantifères.

Sommaire

1. Contexte de l'étude	15
1.1. INTRODUCTION	15
1.2. DEFINITIONS DE DIFFERENTS TERMES : FIBRES MINERALES, AMIANTE, FIBRES ASBESTIFORMES, FIBRES OMS, FRAGMENTS DE CLIVAGE	17
1.2.1. Les fibres minérales.....	17
1.2.2. L'amiante.....	17
1.2.3. Les fibres asbestiformes.....	18
1.2.4. Les fibres OMS.....	19
1.2.5. Les fragments de clivage.....	19
1.3. DONNEES ANTERIEURES	19
1.4. DEROULEMENT DE L'ETUDE	21
1.4.1. Phase 1	21
1.4.2. Phase 2	21
1.4.3. Phase 3	22
2. Phase 1 : évaluation préalable du potentiel amiantifère.....	23
2.1. METHODOLOGIE.....	23
2.1.1. Documents cartographiques utilisés	23
2.1.2. La carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour.....	24
2.1.3. Niveaux de susceptibilité considérés	26
2.1.4. Analyse par mots-clés des données extraites des cartes géologiques harmonisées départementales et des coupures géologiques à 1/50 000.....	28
2.2. RESULTATS DE L'ANALYSE.....	29
2.2.1. La zone du Mercantour.....	29
2.2.2. Identification des cibles à expertiser et élaboration des fiches.....	32
3. Phase 2 : expertises de terrain et analyses en laboratoire.....	33
3.1. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL « FORT A TRES FORT ».....	35
3.1.1. Les serpentinites (Col de la Lombarde)	35
3.1.2. Analyses en laboratoire sur les serpentinites (Col de la Lombarde).....	37
3.2. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL « MOYEN ».....	45
3.2.1. Brèches et blocs ophiolitiques [106].....	46
3.2.2. Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques	46
3.2.3. Amphibolites (para ou orthodérivées) [272 ; 281].....	61
3.2.4. Granite de la Valmasque à enclaves basiques [285].....	62
3.2.4. Cipolins et gneiss à silicates calciques, dans des migmatites [225]	77

3.3. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL	
« FAIBLE »	79
3.3.4. Les diorites quartziques migmatitisées de la série d'Iglière [223]	79
3.3.5. Les éclogites et amphibolites à grenat [227]	81
3.3.6. Les gneiss de Chastillon [231]	84
3.3.7. Les lamprophyres (spessartites) [236]	92
3.4. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL	
« FAIBLE A TRES FAIBLE »	102
3.4.4. Le granite de l'Argentera [230] et le granite de la Valmasque [284]	103
3.4.5. Les gneiss et migmatites (encaissants des roches basiques amphiboliques)	103
4. Établissement de la carte de susceptibilité consolidée.....	109
4.1. DETERMINATION DES NIVEAUX DE SUSCEPTIBILITE CONSOLIDES	109
4.2. PRESENTATION DE LA CARTE DE LA ZONE DU MERCANTOUR.....	111
4.2.1. Présentation générale.....	111
4.2.2. Limites d'utilisation	113
5. Conclusion et perspectives	115
6. Bibliographie	117

Liste des illustrations

Illustration 1 :	Localisation des cartographies de susceptibilité de présence d'amiante déjà réalisées (en vert) et à réaliser de 2019 à 2021 (en rose).....	3
Illustration 2 :	Haut : localisation de la zone d'étude du Mercantour par rapport à la carte géologique harmonisée à 1/50 000 des Alpes-Maritimes (Gonzalez, 2008) ; Bas : zone du Mercantour, avec les trois coupures géologiques à 1/50 000, contenue dans le département des Alpes-Maritimes.	25
Illustration 3 :	Carte géologique harmonisée à 1/50 000 de la zone du Mercantour.	26
Illustration 4 :	Définition des classes d'aléa retenues (colonnes de droite).	27
Illustration 5 :	Définition des niveaux de susceptibilité retenus.	28
Illustration 6 :	Principaux mots-clés utilisés dans l'analyse multicritère.	29
Illustration 7 :	Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « variable » (codes 998-999 sur la carte de NSPA prévisionnel).....	30
Illustration 8 :	Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « faible ».	31
Illustration 9 :	Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « moyen ».	31
Illustration 10 :	Carte de la susceptibilité prévisionnelle de présence d'amiante pour la zone du Mercantour.	32
Illustration 11 :	Liste des échantillons prélevés dans la zone du Mercantour et analysés par microscopie optique (MOLP), microsonde électronique (MSE), microscopie électronique à balayage (MEBA) et spectrométrie Raman.	34
Illustration 12 :	Vue générale de l'affleurement MERFC033 (en haut à gauche), avec les serpentinites à patine brunâtre dans le virage. En haut, à droite : veine fibreuse se désagrégant en un amas microfibreux (photographie, en bas, à gauche) sous l'action des agents supergènes (vent, pluie, gel). En bas à droite : échantillon de serpentinites altérées (riche en talc), avec une veine fibreuse se délitant en fibres « volatiles ».	36
Illustration 13 :	Affleurement MERFC037 : Vue générale de l'affleurement (photographie, en haut, à gauche), avec un contact entre des serpentinites (à droite) et des amphibolites à grenat (à gauche de la photographie). Veine fibroradiée dans des serpentinites (en haut, à droite), veine fibreuse se désagrégant au sein de serpentinites (en bas, à gauche), amas microfibreux blanc provenant de la désagrégation d'une veine fibreuse, au sein de serpentinites (en bas, à droite).	37
Illustration 14 :	Photographies représentatives de la lame MERFC033A au MOLP. Haut : Roche ultrabasique serpentinisée riche en actinolite fibreuse. Bas : Amas d'actinolite fibreuse dans une roche ultrabasique serpentinisée – lame mince MERFC033A (gauche: LPNA ; droite : LPA).	38
Illustration 15 :	Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de la lame mince MERFC033A.	39
Illustration 16 :	Roche magmatique microgrenue à baguettes verdâtres d'amphibole (actinolite pro.parte) – lame mince MERFC033C (LPNA).	40
Illustration 17 :	Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de la lame mince MERFC033C.	41
Illustration 18 :	Amphiboles incolores (association trémolite / anthophyllite) souvent fibreuses dans une serpentinite – lame mince MERFC037A (En haut à gauche et en bas : LPNA. En haut, à droite : LPA).....	42
Illustration 19 :	Images et spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame mince MERFC037A.	43

Illustration 20 : Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de l'échantillon MERFC033B.....	44
Illustration 21 : Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de l'échantillon MERFC037B.....	45
Illustration 22 : Liste des affleurements visités correspondant aux formations géologiques de la zone du Mercantour préalablement affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « moyen ».....	45
Illustration 23 : Haut : Amphibolites plissées et foliées (S1 verticale, plan axial des plis isoclinaux) (affleurement MERFC027). Milieu : fente à quartz-albite-chlorite recoupant une amphibolite (gauche) et alternances amphibolites/gneiss classiquement observées (droite) (affleurement MERFC024). Bas : amphibolite à plans et veines à chlorite (gauche : affleurement MERFC012 ; droite : affleurement MERFC017).....	47
Illustration 24 : Amphibolites foliées (en haut à gauche) contenant des nodules verts à amphiboles associées à des phyllosilicates (talc possible) (en haut à droite et en bas). Affleurement MERFC025.....	48
Illustration 25 : Zone de cisaillement minéralisée et plan de faille recoupant un niveau d'amphibolites et de gneiss amphiboliques (haut). En bas, à gauche : détail d'un plan porteur d'amphiboles potentiellement fibreuses, prélevé dans les amphibolites. En bas, à droite : veine fibreuse d'aspect soyeux et brillant, recoupant des amphibolites (affleurement MERFC003).	49
Illustration 26 : Haut : Massif d'amphibolites au col de la Lombarde (affleurement MERFC036). Bas : Amphibolites à fentes en échelons (à gauche) et amphibolites à grosses amphiboles noires non fibreuses, recoupées par des veinules plagioclasiques (à droite) (affleurement MERFC046).	50
Illustration 27 : Amphibolite plagioclasique riche en amphiboles vertes prismatiques (Mg-hornblendes) (LPNA) – lame MERFC002.....	51
Illustration 28 : Haut : Amphibolite cataclasée riche en amphiboles vertes (Mg-hornblendes et actinolites) et chlorite (+ sphène, plagioclase, quartz). Bas, amphiboles vertes prismatiques (Mg-hornblendes) se délitant à leurs extrémités en fibres et en amas de fibrilles et de fibres incolores à verdâtres (actinolites) (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA) – lame MERC003A.	52
Illustration 29 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC003A.....	53
Illustration 30 : Haut, amphibolite cataclasée riche en amphibole verte (Mg-hornblende), parfois fibreuse (actinolite). Bas, amphiboles vertes (Mg-honblendes / actinolites) se délitant en fibres et fibrilles très fines (d'actinolite) et amas de fibrilles d'actinolite-amiante, dans une veine albitique (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA) – lame MERFC003B.....	54
Illustration 31 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC003B.....	55
Illustration 32 : Images, spectre et analyses EDS réalisées à partir de fibres d'amphiboles de l'échantillon MERFC003C.....	56
Illustration 33 : Haut : amphibolite plagioclasique (à gauche) et amphibole verte prismatique « décolorée » et actinolitée par une circulation de fluides (à droite). Bas : amphiboles vertes s'effilochant en cristaux verts clairs, aciculaires, parfois de très petite taille (ferro-actinolite) – lame MERFC023A (haut et bas : LPNA).	57
Illustration 34 : Images MEB et exemple de spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC023A.....	58
Illustration 35 : Haut : amphibolite à cristaux prismatiques d'actinolite (+/- anthophyllite ?). Bas, fibres d'actinolite et d'anthophyllite, provenant de la dégradation de cristaux prismatiques au sein d'une amphibolite – lame MERFC025 (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA).	59

Illustration 36 : Images MEB et exemple de spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC025.....	60
Illustration 37 : Amphibolites près du refuge de la Valmasque (affleurement MERFC080).....	61
Illustration 38 : Enclaves et niveaux d'amphibolites à amphibole noire prismatique au sein du « granite à enclaves » (migmatites de Fenestre). Haut : enclaves et niveaux d'amphibolites boudinées dans la foliation migmatitique (affleurements MERFC067 et MERFC070). Bas : boudin d'amphibolite observé sous le refuge de Valmasque (MERFC060).....	63
Illustration 39 : Haut, 2e et 3e lignes : Nodule à cœur verdâtre entouré d'une auréole réactionnelle fibroradiée, associé à des enclaves d'amphibolites sombres (riches en amphiboles prismatiques), au sein de migmatites (affleurement MERFC068). Bas, bloc éboulé de nodule de roche (ultra)basique sombre entouré d'un auréole réactionnelle fibroradiée verte (MERFC081).....	64
Illustration 40 : Zones de cisaillement affectant le « granite à enclaves », potentiellement porteuses de minéraux fibreux – affleurement MERFC071.	65
Illustration 41 : Haut : Amphibolite à grenat, avec grenats kelyphitiques entourés d'assemblages à chlorite-pargasite. Bas : Détails des amphiboles vertes (pargasites) non fibreuses (plages vertes, à gauche) et vermiculées dans les symplectites à plagioclase-amphibole (à droite) – lame MERFC066 (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA).	66
Illustration 42 : Amphibolite à amphiboles vertes prismatiques (actinolite) – lame MERFC068B (LPNA).	67
Illustration 43 : Amphiboles vertes, localement aciculaires (ferro-pargasite, magnésio-ferri-hornblende, actinolite) dans une ancienne granulite (?) – lame MERFC076 (LPNA)...	68
Illustration 44 : Images MEB et exemple de spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC076.....	69
Illustration 45 : Haut : nodule riche en carbonates et amphiboles incolores (actinolite-trémolite). Bas : détail des amphiboles incolores asbestiformes – lame MERFC068A (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA).	70
Illustration 46 : Images MEB et exemple de spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC068A.	71
Illustration 47 : Association d'actinolite-chlorite dans une ancienne roche ultrabasique – lame MERFC079 (gauche : LPNA ; droite : LPA).....	72
Illustration 48 : Image et exemple de spectre obtenus au MEB à partir d'amphiboles de la lame MERFC079.....	73
Illustration 49 : Haut, roche ultrabasique à talc-actinolite à bordure riche en trémolite et anthophyllite. Bas, amphiboles fibreuses (actinolite et anthophyllite) au sein de la roche ultrabasique – lame MERFC081 (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite : LPA).	74
Illustration 50 : Images et spectres obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC81. Les spectres illustrent la co-existence d'actinolite (spectre du haut) et d'anthophyllite (spectre du bas).....	75
Illustration 51 : Orthogneiss mylonitique riche en chlorite (LPNA) – lame MERFC069.	76
Illustration 52 : Haut : Images MEB des particules (gauche) et du fragment de clivage d'actinolite (droite) de l'échantillon MERFC071. Bas : Spectre et analyse EDS du fragment de clivage confirmant sa nature actinolitique.....	77
Illustration 53 : Cipolins et niveaux à silicates calciques dans des marbres plissés. En haut et en bas, à gauche : affleurement MERFC006 (haut et bas-gauche). En bas, à droite : Niveaux riches en épidote dans un marbre gris (affleurement MERFC021).	78

Illustration 54 : Gneiss à silicate calcique riche en plagioclase, épidote et chlorite, recoupé par une veine de même composition (gauche, LPNA). Droite, détail des épidotes et chlorites (LPNA). L'amphibole est absente de cette lame mince (Lame MERFC006A).....	79
Illustration 55 : Liste des affleurements visités correspondant aux formations géologiques de la zone du Mercantour préalablement affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « faible ».....	79
Illustration 56 : Diorite de la série d'Iglière riche en biotite, localement recoupée par des petits plans discrets à chlorite (haut-droite) (haut : affleurement MERFC011 ; bas : affleurement MERF032).....	80
Illustration 57 : Carte géologique extraite de Jouffray et al. (2020) montrant la localisation des principales occurrences d'éclogites dans le massif du Mercantour.	81
Illustration 58 : Amphibolites à grenat (anciennes éclogites) (haut : affleurement MERFC037), recoupées par des filons de pegmatite (bas-gauche, affleurement MERFC037). Boudin d'amphibolite à grenat dans des migmatites (bas-droite, affleurement MERFC055)....	82
Illustration 59 : Amphibolite à grenat avec un grenat kélyphitique (haut-gauche) et amphiboles vertes aciculaires (bas-gauche : actinolite) et prismatiques (hornblendes) – lame MERFC037C.....	83
Illustration 60 : Amphiboles vertes (hornblendes) +/- « décolorées » (actinolitisés ?) au sein de l'amphibolite à grenat (LPNA) – Lame MERFC037D.	84
Illustration 61 : Gneiss gris de Chastillon (gauche : affleurement MERFC034 ; droite : affleurement MERFC048).....	85
Illustration 62 : Haut : Vue générale de l'affleurement MERFC049: contact entre des gneiss gris (droite) et des gneiss leucocrates (gauche). Bas-gauche : photographie du talus de la piste de ski d'Isola 2000 (en contre-plan), sur la zone de cisaillement à actinolite. Bas-droite : plan de cisaillement sigmoïde où sont localisées les roches riches à actinolite.	86
Illustration 63 : Haut : Actinolite (ancienne roche (ultra)basique ?) à baguettes vertes d'actinolite. Bas-gauche : gneiss leucocrate et bas-droite : exemple de veine à quartz-albite-chlorite.	87
Illustration 64 : Orthogneiss à biotite chloritisée (LPNA) – lame MERFC049B.....	88
Illustration 65 : Haut, ancien gabbro (?) riche en actinolite+talc. Bas : détail des amphiboles incolores à verdâtres aciculaires (actinolites) et localement asbestiformes dans un gabbro (?) hydrothermalisé (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite : LPA) - Lame MERFC049A.....	89
Illustration 66 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC049A.	90
Illustration 67 : Haut : Actinolite (ancienne roche (ultra)basique ?) riche en actinolite fibreuse. Bas : détail des amphiboles incolores à verdâtres (actinolite) sous forme de baguettes et/ou de fibres courtes et de fibres potentiellement asbestiformes (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite : LPA) - Lame MERFC049C.	91
Illustration 68 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC049C.....	92
Illustration 69 : Carte géologique extraite de Filippi et al. (2019) montrant la localisation des principales occurrences de lamprophyres (étoiles blanches) dans le massif du Mercantour.	93
Illustration 70 : Lamprophyres du Lac Rouge, recoupant le granite de l'Argentera (haut : affleurement MERFC041 ; bas : affleurement MERFC040).....	94

Illustration 71 : Lamprophyres des lacs Bessons, recoupant les migmatites de Fenestre (haut : affleurement MERFC052 ; 2e ligne : deux filons subverticaux et sombres de lamprophyres recoupent les migmatites (affleurement MERFC054) ; 3e ligne : macro-échantillons de lamprophyres recoupés (à gauche) par une veine fibreuse ; bas : migmatite recoupée par des filons acides (clairs) et basiques (sombres) aux lacs Bessons (affleurement MERFC056).	96
Illustration 72 : Lamprophyre riche en chlorite (LPNA) – lame MERFC040A.	97
Illustration 73 : Lamprophyre, à amphiboles brunes (hastingsites) et petites actinolites associées aux chlorite (matrice) (LPNA) – lame MERFC040B.	98
Illustration 74 : Lamprophyre riche en chlorite et épidote (LPNA) – lame MERFC041B.	98
Illustration 75 : Lamprophyres recoupés par des veinules riche en actinolite (en haut : lame MERFC054B et au milieu à gauche : lame MERFC054C). Au milieu, à droite et en bas : détail des amphiboles (actinolites) fibreuses dans les veines (LPNA, sauf en haut à droite : LPA).	99
Illustration 76 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC054B.	100
Illustration 77 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC054C.	101
Illustration 78 : Lamprophyre riche en amphiboles brunes (pargasites titanifères, ferro-pargasites) localement transformées en amphiboles vertes (ferro-actinolites) (LPNA) – lame MERFC056.	102
Illustration 79 : Liste des affleurements visités correspondant aux formations géologiques de la zone du Mercantour préalablement affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « nul à très faible ».	102
Illustration 80 : Granite de l'Argentera (gauche : MERFC042) et granite de la Valmasque (droite : MERFC059).	103
Illustration 81 : Gneiss à biotite, parfois migmatitiques de la série de Varélios-Fougiéret (gauche : MERFC020 ; droite : MERFC018).	104
Illustration 82 : Orthogneiss à biotite et chlorite – MERFC018 (gauche : LPNA ; droite : LPA).	104
Illustration 83 : Gneiss migmatitiques de la série d'Anelle, foliés (foliation verticale) et plissés (gauche : MERFC22 ; centre : MERFC025, droite : MERFC027).	105
Illustration 84 : Gneiss leptynitique (à fente à chlorite-calcite-épidote-albite) (gauche : LPNA ; droite : LPA).	105
Illustration 85 : Migmatites des Adus dans la station de ski d'Isola 2000 (affleurement MERFC044).	106
Illustration 86 : Orthogneiss migmatitique à muscovite et chlorite – MERFC045 (gauche : LPNA ; droite : LPA).	106
Illustration 87 : Gneiss oeillés migmatitiques de la série de Rabuons (MERFC051).	107
Illustration 88 : Orthogneiss à biotite et muscovite, mylonitisé – MERFC051 (gauche : LPNA ; droite : LPA).	108
Illustration 89 : Migmatites de Fenestre plissées (gauche : MERFC056 ; droite : MERFC082).	108
Illustration 90 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité de présence d'amiante (NSPA) consolidé « fort à très fort ».	109
Illustration 91 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité de présence d'amiante (NSPA) consolidé « moyen ».	110
Illustration 92 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité de présence d'amiante (NSPA) consolidé « faible ».	110

Illustration 93 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel 2 (« faible ») déclassées en niveau de susceptibilité consolidé 1 (« nul à très faible »).....	111
Illustration 94 : Carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante consolidés pour la zone du Mercantour.	112
Illustration 95 : Valeurs attribuées aux alternatives « Lithologie » (cf. explication dans le texte ci-après).	125
Illustration 96 : Valeurs attribuées aux alternatives « Minéralogie ».....	126
Illustration 97 : Valeurs des alternatives « Déformation ».....	126
Illustration 98 : Valeurs des alternatives « Intensité de la déformation ».....	127
Illustration 99 : Intervalles retenues pour les niveaux de susceptibilité prévisionnels.	127

Liste des annexes

Annexe 1 : Analyse multicritère réalisée pour les formations sélectionnées à l'issue des analyses des mots-clés	123
Annexe 2 : Coordonnées GPS des points d'observation	129
Annexe 3 : Fiches de localisation des affleurements expertisés sur le terrain	133
Annexe 4 : Résultats obtenus à la microsonde électronique	161

1. Contexte de l'étude

1.1. INTRODUCTION

Les travaux qui ont démontré la réalité des risques sanitaires liés à des expositions professionnelles ou para-professionnelles à l'amiante sont nombreux. Dès le début du siècle dernier, des fibroses pulmonaires liées à l'inhalation d'amiante sont identifiées parmi les ouvriers de filatures (Auribault, 1906) et en 1935, le lien entre asbestose et risque de cancer broncho-pulmonaire est identifié. Ces risques ont été établis à partir de cohortes travaillant dans l'industrie de la production et de l'utilisation de l'amiante (McDonald *et al.*, 1980, 1986 ; Amandus et Wheeler, 1987 ; Wozniak *et al.*, 1988 ; Wozniak et Wiecek, 1991 ; Scherbakov *et al.*, 2001 ; Bandli et Gunter, 2006 ; Sullivan, 2007). D'autres études ont montré que ces risques existaient également pour des activités professionnelles ou domestiques impliquant une exposition à des matériaux amiantifères.

Des travaux essaient également de caractériser les risques associés à des niveaux d'exposition, *a priori* plus faibles, liés à la présence naturelle d'amiante dans certains environnements géologiques (amiante environnemental ou amiante naturel). Ils concernent notamment les régions turques de Diyarbakir-Cermik (Yazicioglu *et al.*, 1978, 1980), d'Anatolie (Baris *et al.*, 1978 ; Baris, 1991 ; Coplu *et al.*, 1996 ; Metintas *et al.*, 2005) et de Cappadoce (Baris *et al.*, 1978 ; Boman *et al.*, 1982 ; Baris, 1991 ; Selçuk *et al.*, 1992)¹. En Grèce, les risques sanitaires mis en évidence pour la population de plusieurs villages sont directement liés à l'utilisation d'une terre (« Luto ») riche en longues fibres de trémolite et utilisée pour blanchir les façades des maisons (Constantopoulos *et al.*, 1985, 1987 ; Bazas *et al.*, 1985 ; Langer *et al.*, 1987 ; Sichletidis *et al.*, 1992 ; Manda-Stachouli *et al.*, 2004). En Nouvelle-Calédonie, c'est l'utilisation pour blanchir les murs des cases d'habitation d'un matériau (« Pö ») contenant des fibres de trémolite et de chrysotile qui semble à l'origine du nombre élevé de mésothéliome pleural (Luce *et al.*, 1994 ; Goldberg *et al.*, 1995). D'autres études permettent de connaître la prévalence de plaques pleurales dans des environnements strictement naturels ou proches d'anciennes mines (Zolov *et al.*, 1967 ; Luo *et al.*, 2003 ; Peipins *et al.*, 2003).

En France, les pouvoirs publics sont préoccupés par les conséquences sanitaires susceptibles d'être directement liées à la présence d'amiante dans certains environnements naturels et à l'exposition des populations riveraines, mais les études épidémiologiques disponibles sont extrêmement rares. C'est en Haute-Corse, un département dans lequel les massifs de roches amiantifères couvrent des surfaces particulièrement importantes, que ces problèmes associés à une exposition à l'amiante présent naturellement dans l'environnement sont actuellement les mieux documentés. Les travaux de Boutin *et al.* (1989) puis de Rey *et al.* (1994) concernant la population du village de Murato ont ainsi révélé que plus de 40 % des sujets âgés de plus de 50 ans présentaient des plaques pleurales. L'étude de la charge pulmonaire en amiante chez les patients souffrant de mésothéliome a révélé la présence de fibres de chrysotile et de trémolite à des taux élevés : $1,4 \pm 0,9 \cdot 10^6$ f/gr.p.s.² et $17,2 \pm 17 \cdot 10^6$ f/gr.p.s. respectivement (Rey *et al.*, 1993).

¹ Des fibres d'amiante ont été retrouvées dans les prélèvements réalisés (roches, enduits de maison, poussières de routes, atmosphère). Cependant, la fibre minérale naturelle la plus fréquemment rencontrée appartient à la famille des zéolites (érianite).

² f/gr.p.s. : fibre/gramme de poumon sec.

L'étude qui fait l'objet de ce rapport s'inscrit dans le cadre de l'appui du BRGM au MTES dans l'exécution d'études et de travaux relatifs à la prévention des risques liés à l'exposition des populations à l'amiante naturellement présent dans l'environnement. Cette étude est en adéquation avec les objectifs du PNSE 1, « *action 1 : Renforcer la prévention et la maîtrise des risques sanitaires liés à l'environnement ; 1.3, Prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers. Réduire les expositions de la population à l'amiante en maintenant la vigilance sur l'application stricte de la réglementation concernant la prévention du risque amiante en milieu de travail et en population générale* », repris par le PNSE 2 « *action 1 : Réduire les expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé ; 1.5, Réduire l'exposition aux cancérigènes d'origine naturelle présents dans l'environnement. Amiante naturel* ».

Cette étude concerne la zone du Mercantour qui s'étend sur l'emprise de trois coupures à 1/50 000 que sont les cartes géologiques à 1/50 000 de Larche (896 ; *Gidon et al., 1978*), Saint-Etienne-de-Tinée (920 ; *Bordet et al., 1954*) et Saint Martin Vésubie (947 ; *Bigot et al., 1967*). Cette étude s'inscrit dans la continuité d'une précédente série d'études ayant concerné les Vosges (*Duron et Baptiste, 2020*), les Deux Sèvres (*Duron, 2020*), six zones du Massif Central (Limousin : *Duron et al., 2020a* ; Monts du Lyonnais : *Duron et al., 2020b* ; Auvergne : *Duron et al., 2020c* ; Morvan : *Duron et al., 2020d* ; Albigeois : *Cagnard et al., 2020a* ; La Marche : *Cagnard et al., 2020b*), les Pyrénées (*Cagnard et al., 2015*), les départements de l'Isère (*Lahondère et al., 2012a*), des Hautes-Alpes (*Lahondère et al., 2012b*), du Massif Armoricaïn (*Béchenec et al., 2013*), de la Haute-Corse (*Lahondère et al., 2010*), de la Savoie (*Blein et al., 2010*) et de la Loire-Atlantique (*Béchenec et al., 2010*).

Pour la zone du Mercantour, les objectifs étaient les suivants :

- effectuer un recensement le plus exhaustif possible des sources naturelles (roches, sols) susceptibles de libérer des fibres d'amiante et donc d'induire une exposition des populations ;
- préciser pour chacune des sources identifiées le (ou les) type(s) d'amiante présent(s) ;
- établir une cartographie de la susceptibilité de présence d'amiante dans l'environnement naturel, c'est-à-dire une cartographie de la probabilité de présence d'amiante à la surface et dans le proche sous-sol.

1.2. DEFINITIONS DE DIFFERENTS TERMES : FIBRES MINERALES, AMIANTE, FIBRES ASBESTIFORMES, FIBRES OMS, FRAGMENTS DE CLIVAGE

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 bords parallèles ou subparallèles. 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 fibreuse (INSERM, 1999). Observée dans une section perpendiculaire à son allongement (section basale), une fibre minérale peut présenter une forme circulaire, ovale, losangique, triangulaire ou carrée.

1.2.2. L'amiante

L'amiante est une substance minérale naturelle qui correspond à plusieurs variétés de silicates fibreux. Ces minéraux sont connus depuis l'antiquité sous le nom d'asbeste et ont longtemps été exploités pour leurs propriétés thermomécaniques. Ces six silicates appartiennent à deux groupes d'espèces minéralogiques, les serpentines³ et les amphiboles⁴, et correspondent :

- au **chrysotile** (*ou amiante blanc*) - serpentine ;
- à la **crocidolite** (*ou riébeckite-amiante ou amiante bleu*) - amphibole ;
- à l'**amosite** (*ou grunérite-amiante ou amiante brun*) - amphibole ;
- à l'**anthophyllite-amiante** – amphibole ;
- à la **trémolite-amiante** - amphibole ;
- à l'**actinolite-amiante** - amphibole.

Cette liste de six minéraux, limitée aux seules espèces minéralogiques ayant fait ou faisant encore l'objet d'une exploitation industrielle, constitue une définition commerciale de l'amiante⁵. Toutefois, 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 à des exploitations de crocidolite et d'amosite. En termes de production, l'exploitation de l'anthophyllite-amiante, de la trémolite-amiante et de l'actinolite-amiante peut donc être considérée comme négligeable. À noter que le terme « actinote » est équivalent au terme « actinolite ».

Dans l'environnement naturel, de nombreuses roches possèdent une composition chimique favorable, sous certaines conditions, à la cristallisation de serpentines et/ou d'amphiboles. Toutes ces roches sont donc susceptibles de contenir des formes dérivées fibreuses, parfois asbestiformes (terme défini dans le paragraphe ci-dessous), de ces minéraux.

³ Les serpentines sont des phyllosilicates, c'est-à-dire des silicates dont les tétraèdres $[\text{SiO}_4]^{4-}$ sont disposés en feuillets monocliniques, de formule chimique $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$.

⁴ Les amphiboles sont des inosilicates en chaîne double, hydroxylés. Le groupe des amphiboles est riche de nombreuses espèces qui se répartissent dans trois grandes familles qui sont les amphiboles calciques, sodiques et ferromagnésiennes.

⁵ Cette liste de six minéraux correspond également au terme « amiante » tel que défini dans la directive 2009/148/CE du Parlement Européen et du Conseil concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à une exposition à l'amiante pendant le travail.

Les minéraux asbestiformes présents dans certaines roches peuvent également être rencontrés dans les sols et dans les sédiments dérivés de l'altération et de l'érosion de ces mêmes roches. La cartographie des formations géologiques potentiellement amiantifères doit donc également s'intéresser et inclure ces produits dérivés dont l'extension en termes de surface peut être importante. Ainsi l'analyse de la susceptibilité de présence d'amiante dans l'environnement naturel doit prendre en considération, de manière graduée, les roches-sources, les voies de transfert (aérienne, entraînement par le ruissellement) et les dépôts naturels secondaires (dépôts de sédiments anciens ou actuels, *pro parte* issus de l'altération et de l'érosion des roches-sources).

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'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) a recommandé en 1993 une définition de la morphologie d'un minéral asbestiforme (EPA, 1993). Cette définition est la suivante :

« En microscopie optique, la morphologie asbestiforme est généralement reconnue par les caractéristiques suivantes :

- *un rapport d'allongement (longueur/diamètre) qui varie de 20 à 100 (ou supérieur pour des fibres de longueur supérieure à 5 μm). Les rapports d'allongement doivent être déterminés pour les fibres et non pour les faisceaux ;*
- *des fibrilles très fines (diamètre inférieur à 0,5 μm) ;*
- *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.

Toutes les structures constituées ou contenant des fibres asbestiformes d'actinolite, de trémolite, d'anthophyllite, de riébeckite ou de grunérite correspondent à des structures amiantifères. Les fibres de chrysotile correspondent toujours à des fibres d'amiante.

1.2.4. Les fibres OMS

Les fibres OMS correspondent à des particules solides, naturelles ou artificielles, allongées et à bords parallèles, ayant un diamètre inférieur à 3 µm, une longueur supérieure à 5 µm et un rapport d'allongement (L/D) supérieur à 3⁶. Ces fibres peuvent être inhalées et rejoindre les parties les plus profondes du système respiratoire.

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). Un fragment de clivage issu de la fracturation d'un cristal d'amphibole non asbestiforme peut avoir les dimensions d'une fibre, telles que définies ci-dessus par l'OMS. De façon générale, les fragments de clivage se différencient des fibres asbestiformes par une longueur plus courte, une largeur plus élevée et des bordures et terminaisons moins régulières, alors que la largeur des fibres d'amiante est relativement constante, quelle que soit la longueur (Siegrist et Wylie, 1980). Lorsque ces fragments de clivage possèdent les caractéristiques dimensionnelles des fibres inhalables au sens de l'OMS, et possèdent la composition chimique de l'une des six espèces réglementées au titre de l'amiante, ils peuvent être assimilés à des fibres d'amiante.

L'utilisation des différents termes dans la suite de ce rapport répondra aux critères définis dans les paragraphes ci-dessus.

1.3. DONNEES ANTERIEURES

En France métropolitaine, les principales zones amiantifères connues sont localisées dans la chaîne des Alpes occidentales dont la Haute-Corse constitue la terminaison méridionale. Cependant, d'autres domaines ne doivent pas être écartés – comme les massifs cristallins externes des Alpes, le Massif central, les Vosges, le Massif armoricain et la chaîne des Pyrénées – domaines où des affleurements de roches amiantifères sont connus et/ou ont été exploités d'une manière artisanale.

Pour la Haute-Corse, un programme a été mis en œuvre dès 1997 dans le but d'établir une cartographie des roches potentiellement amiantifères. Les documents alors produits ont constitué un premier niveau de précision en termes de repérage des zones potentiellement amiantifères (Cosquéric *et al.*, 1997). En 2005, une première amélioration de cette connaissance a été réalisée à travers l'analyse de la densité de fracturation affectant les roches potentiellement amiantifères de Haute-Corse (Caballero *et al.*, 2005). En 2006, une cartographie plus détaillée relative à la présence naturelle d'amiante dans l'environnement a été réalisée pour la moitié nord du département de la Haute-Corse avec, pour chacune des formations géologiques présentes, l'établissement d'un niveau de susceptibilité de présence d'amiante reposant sur la prise en compte de plusieurs informations (existence avérée de roches amiantifères, types lithologiques principaux, compositions géochimiques, évolution tectonique et métamorphique). Les cinq niveaux considérés étaient « Nul à très faible », « Faible », « Moyen », « Fort à très fort » et « Variable ».

⁶ Une application stricte de la norme NF X 43-050 peut conduire à assimiler ces fibres à des fibres d'amiante dès lors que leur composition chimique correspond à l'une ou l'autre des six espèces minérales réglementées au titre de l'amiante (quelle que soit leur morphologie - asbestiforme ou non asbestiforme).

Cette cartographie a notamment permis de montrer que la problématique de l'amiante présent naturellement dans l'environnement en Haute-Corse dépassait très largement le cadre des seules roches ultrabasiques et que d'autres types de roches devaient également être pris en considération (Lahondère, 2006).

Dans le cadre d'un partenariat entre la DDASS-2B, l'OEC et le BRGM, une carte géologique détaillée a été établie sur la commune de Murato dans le but de recenser les affleurements potentiellement amiantifères et susceptibles de libérer des fibres d'amiante dans l'air sous les effets de l'érosion naturelle et/ou des activités humaines. Les données recueillies sur le terrain et en laboratoire ont notamment montré que de l'amiante était présent d'une manière presque systématique dans les roches ultrabasiques (serpentinites et périclites ± serpentinisées), mais aussi dans des roches considérées jusqu'alors comme non amiantifères ainsi que dans des formations meubles issues de l'altération supergène des roches ultrabasiques et basiques (Lahondère, 2007).

Cet ensemble de travaux relatifs au département de la Haute-Corse s'est poursuivi à travers la réalisation d'une cartographie plus exhaustive des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante, couvrant l'ensemble du département (Lahondère *et al.*, 2010b). En parallèle, des études ont été menées pour caractériser cette susceptibilité au niveau des communes de Bustanico et Corte (Lahondère *et al.*, 2011a, 2011b), de l'agglomération de Bastia (Lahondère *et al.*, 2013), la région du Nebbio (Gutierrez *et al.*, 2016) et plus récemment dans le Cap Corse (Lahondère *et al.*, 2020) et dans la région de Ponte Leccia (Coutin *et al.*, 2020).

Pour ce qui concerne la France continentale, un travail à grande échelle avait été réalisé par le BRGM dès 2005 pour le compte de l'INVS (Dessandier et Spencer, 2005). À l'issue de cette étude, un premier recensement des sites naturels amiantifères et des formations géologiques potentiellement amiantifères avait été établi à l'échelle de la France métropolitaine, à partir d'une étude documentaire bibliographique et cartographique (étude des cartes géologiques, consultation de la BSS⁷, consultation des géologues, carte des gîtes minéraux, dossiers de l'inventaire minier de la France). Les informations recueillies à l'issue de cette étude documentaire, assez disparates et loin d'être exhaustives⁸, ont néanmoins été traitées de telle manière à affecter à chacun des 28 sites naturels amiantifères recensés⁹ un aléa décliné en cinq classes (de 0 : niveau d'aléa le plus faible à 4 : niveau d'aléa le plus fort). Les visites de terrain réalisées par la suite n'ont concerné que les sites localisés en France continentale (Maton et Colombano, 2007). Depuis, les études réalisées concernent les zones et départements suivants : Loire-Atlantique (Béchenec *et al.*, 2010), Savoie (Blein *et al.*, 2010), Isère (Lahondère *et al.*, 2012a), Hautes-Alpes (Lahondère *et al.*, 2012b), Massif armoricain (Béchenec *et al.*, 2013), Pyrénées (Cagnard *et al.*, 2015) ainsi que six zones du Massif Central (Limousin : Duron *et al.*, 2020a ; Monts du Lyonnais : Duron *et al.*, 2020b ; Auvergne : Duron *et al.*, 2020c ; Morvan : Duron *et al.*, 2020d ; Albigeois : Cagnard *et al.*, 2020a ; Marche : Cagnard *et al.*, 2020b), Vosges (Duron et Baptiste, 2020), Deux Sèvres (Duron, 2020) pour lesquels des cartographies de la susceptibilité de présence d'amiante dans l'environnement naturel à l'échelle 1/50 000 ont été finalisées.

⁷ Banque de données du Sous-Sol.

⁸ Il n'est pas impossible que certains gîtes ne soient pas recensés eu égard à la banalité du minéral.

⁹ 19 en France continentale et 9 en Haute-Corse.

1.4. DEROULEMENT DE L'ETUDE

Le programme de la présente étude inclut trois phases successives. Les travaux réalisés ont pris comme base de travail la carte géologique harmonisée du département 06 (Gonzalez, 2008) ainsi que les cartes géologiques à 1/50 000 de Larche (896 ; Gidon *et al.*, 1978), Saint-Étienne-de-Tinée (920 ; Bordet *et al.*, 1954) et Saint Martin Vesubie (947 ; Bigot *et al.*, 1967).

1.4.1. Phase 1

La première phase du projet a donc consisté à produire une première évaluation du « potentiel amiantifère » des roches de la zone du Mercantour, à partir d'une synthèse des données géologiques les plus pertinentes. Au cours de cette synthèse, une attention particulière a été apportée à la recherche de toutes les informations relatives à la présence de minéraux fibreux, et ce pour toutes les formations géologiques identifiées sur la carte géologique harmonisée du Mercantour, contenues dans la zone d'étude. Cette première évaluation a été faite en prenant en compte tous les paramètres favorables à la cristallisation de minéraux asbestiformes, tels que : la composition chimique et minéralogique des roches, l'importance des circulations de fluides, la nature des contacts géologiques et le type d'évolution structurale et métamorphique. Une analyse multicritère a été réalisée qui a permis d'attribuer, à l'issue de cette première phase et pour chaque formation géologique de cette carte géologique harmonisée, un niveau de susceptibilité prévisionnel décliné en quatre classes (1 : « nul à très faible », 2 : « faible », 3 : « moyen », 4 : « fort à très fort »). Ce niveau de susceptibilité prévisionnel a été attribué à tous les polygones de la carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour.

1.4.2. Phase 2

La deuxième phase est constituée de deux modules, avec des développements plus ou moins importants et spécifiques en fonction des connaissances déjà acquises.

Le premier module concerne les contrôles de terrain et la cartographie géologique. Les expertises sur le terrain ont été réalisées prioritairement sur des cibles identifiées à l'issue de la première phase de cette étude. Lors de cette étude sur le terrain, les principaux sites potentiellement amiantifères ont été expertisés afin d'établir une typologie de ces sites et de prélever des échantillons à des fins analytiques. Il a été ainsi permis d'évaluer les lithologies pouvant être amiantifères ainsi que leurs extensions cartographiques. La prise de photographies à différentes échelles (de l'affleurement à l'échantillon) doit permettre à terme de constituer une banque d'images destinée à être intégrée dans une base de données nationale sur l'amiante naturel.

Le second module concerne le volet analytique qui permet l'identification et la caractérisation précise des espèces minérales fibreuses, potentiellement asbestiformes, collectées sur les principaux sites visités. Les échantillons prélevés au cours des travaux de terrain sont représentatifs de tous les faciès potentiellement amiantifères identifiés sur le terrain, et incluent des faciès « solides » (roches sources peu à pas altérées) et meubles (issus de l'altération et de l'érosion des roches « sources »). Les échantillons ont généralement été photographiés avant d'être analysés.

Les outils analytiques utilisés sont le microscope optique à lumière polarisée (MOLP), le microscope électronique à balayage (MEB, associé à un dispositif d'analyse chimique ponctuelle EDS) et le spectromètre RAMAN. Sur les lames minces, des analyses ponctuelles ont été réalisées à la microsonde électronique dans le but de préciser les compositions chimiques des espèces minérales fibreuses étudiées.

1.4.3. Phase 3

La troisième et dernière phase du projet concerne la réalisation des produits contractuels attachés à la présente convention, soit :

- la réalisation d'une carte de susceptibilité de présence d'amiante pour les formations géologiques de la zone du Mercantour. Les niveaux de susceptibilité représentés sur cette carte et affectés à chacune des formations géologiques sont des niveaux de susceptibilité dits « consolidés » car prenant en compte les expertises de terrain ainsi que les résultats des analyses. Les données numériques initiales relatives à la géologie sont retraitées de façon à générer une nouvelle couche d'informations exclusivement dédiée à la représentation des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante consolidés (les formations détritiques meubles telles que les alluvions, les colluvions et les dépôts colluviaux de pente, les éboulis ne seront pas traités dans cette étude) ;
- la production d'un rapport de synthèse détaillant les travaux ainsi que les résultats obtenus dans le cadre de ce projet. Les fiches de localisation des sites visités sur le terrain ainsi que les points GPS de ces affleurements sont présentés en Annexe 2 et Annexe 3 du présent rapport.

2. Phase 1 : évaluation préalable du potentiel amiantifère

La première phase du projet a consisté dans l'évaluation préalable du potentiel amiantifère des différentes formations géologiques présentes dans la zone du Mercantour.

Les principaux documents cartographiques pris en compte sont la carte géologique harmonisée du département des Alpes Maritimes (Gonzalez, 2008), issue des cartes géologiques à 1/50 000 éditées dans le cadre du programme national de la carte géologique de France, ainsi que trois cartes géologiques à 1/50 000 que sont les cartes de Larche (896), de Saint-Étienne-de-Tinée (920) et de Saint-Martin-de-Vésubie (947). À partir de ces documents, une carte géologique harmonisée a été réalisée pour la zone d'étude. C'est la carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour qui a ensuite servi de document de référence pour établir la cartographie de la susceptibilité de présence d'amiante dans cette zone d'étude (Illustration 3).

L'évaluation du potentiel amiantifère de la zone du Mercantour a été réalisée à partir d'une synthèse et d'une analyse multicritère des différents paramètres favorables à la cristallisation de minéraux fibreux, et ce pour chaque formation géologique identifiée sur la carte départementale harmonisée et sur les cartes à 1/50 000, couvertes totalement ou en partie par la zone d'étude. Ces différents paramètres correspondent à la lithologie et à la géochimie des roches les plus représentées dans la formation géologique considérée, à la minéralogie de ces mêmes roches (minéralogie primaire et paragenèses métamorphiques secondaires), à la nature et à l'intensité des déformations éventuellement subies par ces roches au cours de leur évolution géologique, au caractère fragile et/ou ductile de ces déformations ainsi qu'aux caractéristiques de l'altération (importance, nature, produits d'altération). Une recherche bibliographique des indices indiquant l'existence de minéraux fibreux a été réalisée en parallèle. Cette recherche a notamment concerné les carrières et les mines existantes ou ayant existé ainsi que les affleurements remarquables décrits dans des revues minéralogiques spécialisées.

La synthèse des caractéristiques géologiques propres à chacune des formations représentées sur la carte géologique harmonisée et sur les cartes géologiques à 1/50 000, suivie d'une analyse multicritère, a ensuite permis de leur attribuer un niveau de susceptibilité décliné en quatre classes (*cf.* § 2.1.2.).

2.1. METHODOLOGIE

2.1.1. Documents cartographiques utilisés

Pour réaliser la phase 1 du projet (c'est-à-dire l'attribution à chaque formation géologique de la carte harmonisée d'un niveau de susceptibilité prévisionnel), nous nous sommes appuyés sur des documents existants, en particulier : (1) la carte géologique départementale harmonisée du département 06 (Gonzalez, 2008) et (2) les coupures géologiques à 1/50 000.

Pour rappel, une carte géologique départementale harmonisée est réalisée à partir des cartes géologiques existantes à l'échelle du 1/50 000 et en constitue donc un produit dérivé. La surface de chaque département français est recouverte par environ une vingtaine de cartes géologiques au 1/50 000. Le travail d'harmonisation à l'échelle départementale consiste à rendre cohérentes entre elles les coupures couvrant un département et donc à fournir une cartographie géologique homogène et continue sur l'ensemble d'un département.

Ce travail est fait uniquement à partir des données cartographiques existantes, sans intervention nouvelle sur le terrain. Lors de la phase d'harmonisation, les entités cartographiques (désignées par « formations ») équivalentes mais notées ou nommées différemment d'une carte à 1/50 000 à l'autre, sont corrélées entre elles à partir des légendes et des descriptions des différentes notices. Une légende générale est établie qui résulte de la synthèse des légendes des différentes cartes à 1/50 000 utilisées et des regroupements effectués. Ce travail d'harmonisation rend compte de l'état actuel de la cartographie dans le département considéré et se fait à partir de cartes à 1/50 000 de qualité et de fiabilité variables : l'harmonisation réalisée efface et adapte les hétérogénéités observées en limite de cartes mais n'oblitére pas les hétérogénéités existantes d'une carte à l'autre en dehors de ces zones de limites.

Remarque : Une carte géologique départementale harmonisée est réalisée à partir des cartes géologiques existantes à 1/50 000. Cette échelle constitue donc l'échelle de référence de cette synthèse. Si la version numérique de la carte harmonisée départementale (fichiers PDF ou SIG) permet effectivement de « zoomer » et de visualiser un secteur précis à une échelle beaucoup plus fine que celle du 1/50 000, la précision attendue demeurera celle d'une carte à 1/50 000. Sur une carte géologique à 1/50 000, la précision des limites représentées dépend des conditions d'affleurement sur le terrain. Cette précision peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres.

2.1.2. La carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour

La zone du Mercantour, qui a été délimitée dans le cadre de cette étude, se situe au sud du massif des Alpes, dans le département des Alpes Maritimes, à la frontière avec l'Italie. Cette zone d'étude, située au sein d'un même département (Alpes-Maritimes - 06), est constituée de trois coupures géologiques à 1/50 000 (Illustration 2).

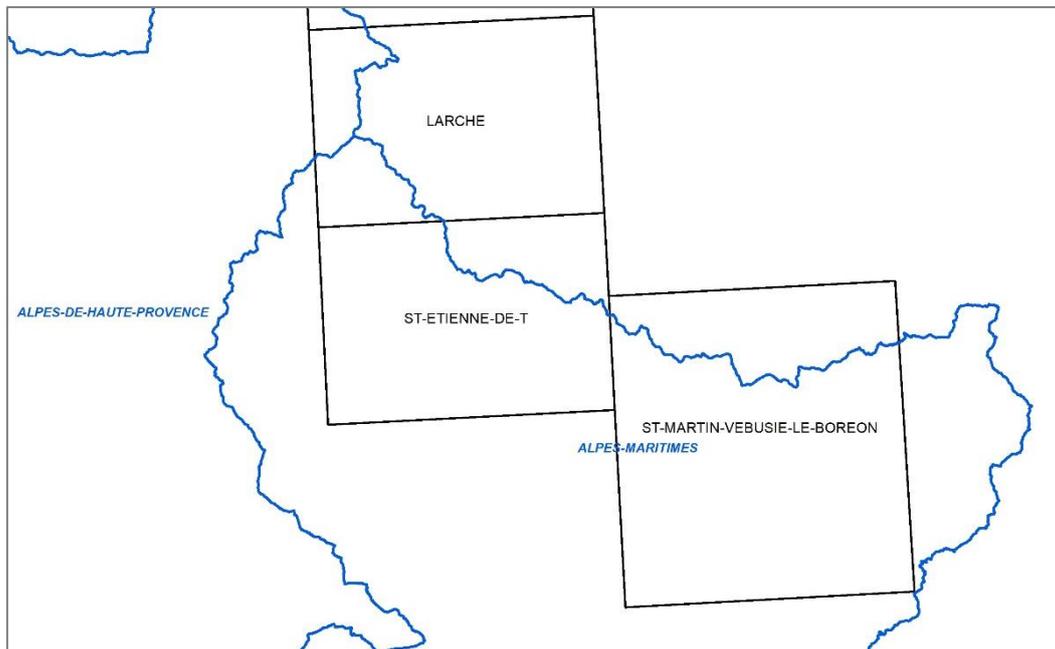
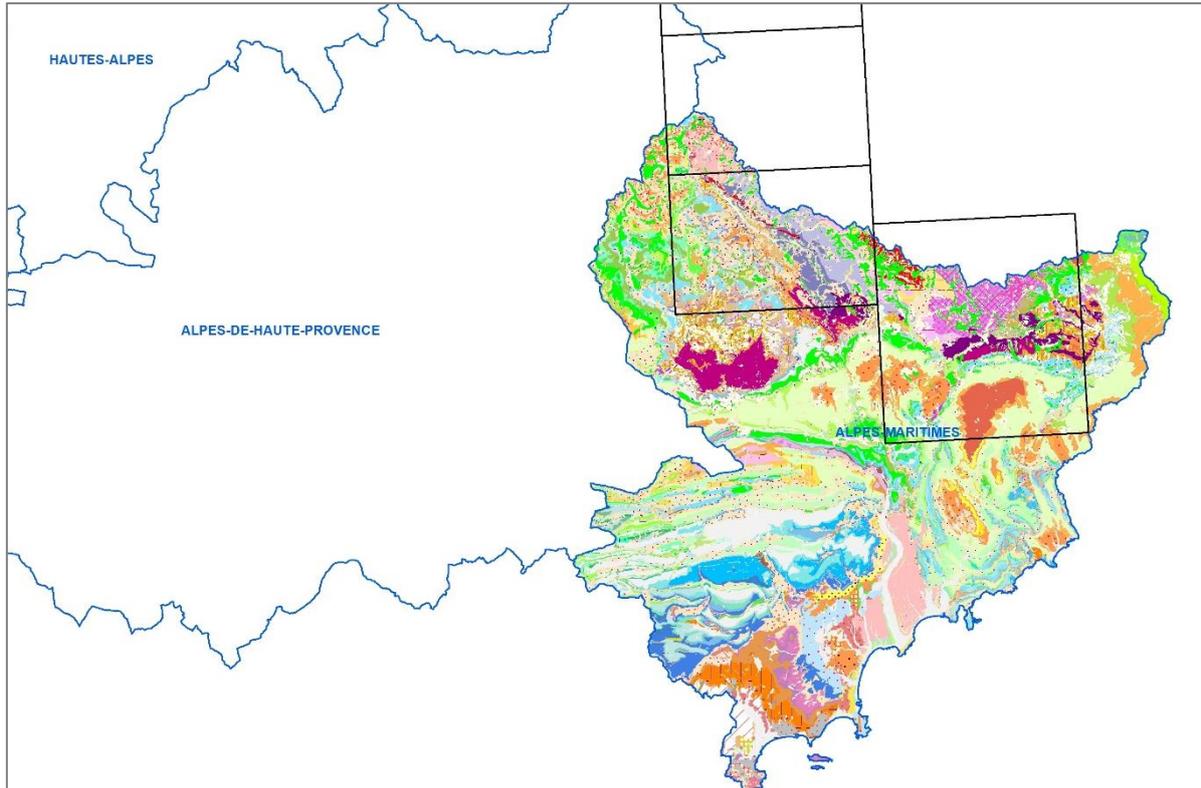


Illustration 2 : Haut : localisation de la zone d'étude du Mercantour par rapport à la carte géologique harmonisée à 1/50 000 des Alpes-Maritimes (Gonzalez, 2008) ; Bas : zone du Mercantour, avec les trois coupures géologiques à 1/50 000, contenue dans le département des Alpes-Maritimes.

La carte géologique harmonisée à 1/50 000 du département des Alpes Maritimes permet de délivrer une cartographie de la zone d'étude du Mercantour qui s'affranchit des coupures entre les trois cartes géologiques. Ainsi, la carte géologique harmonisée du département du 06 à 1/50 000 découpée selon la zone « Mercantour » (Illustration 3) sert de référence pour tout le projet. Des niveaux de susceptibilité prévisionnels de présence d'amiante puis des niveaux de susceptibilité consolidés sont attribués aux formations géologiques de cette carte.

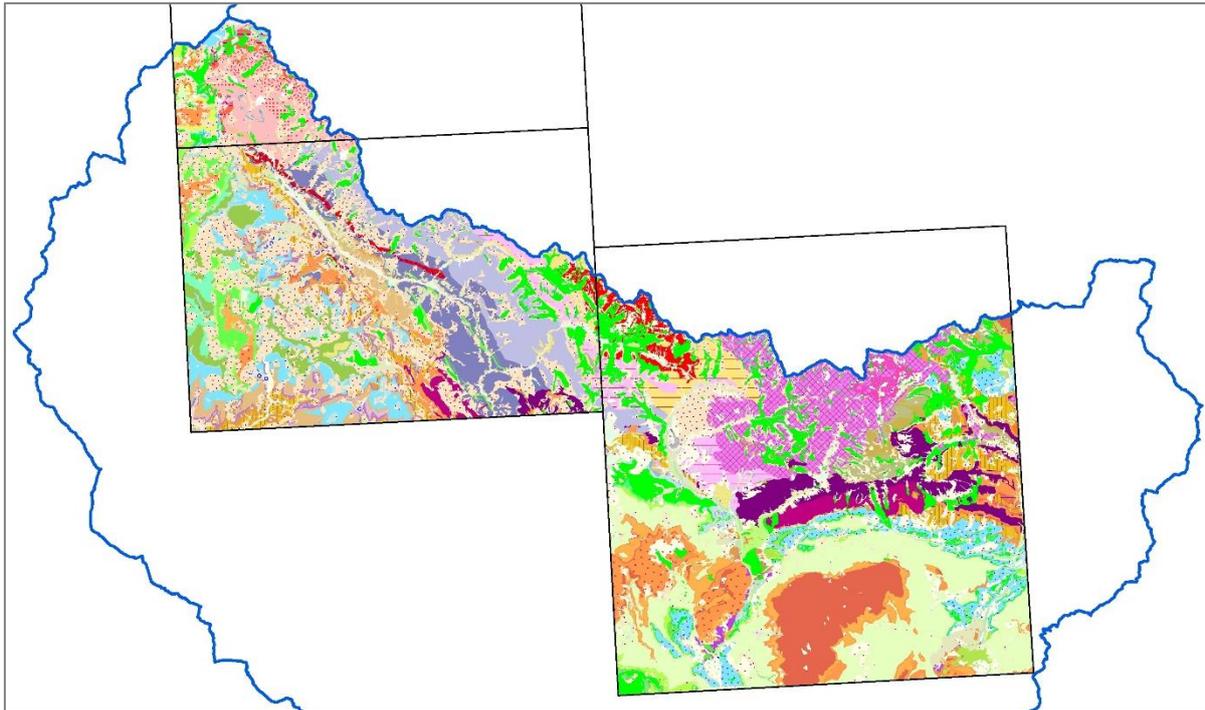


Illustration 3 : Carte géologique harmonisée à 1/50 000 de la zone du Mercantour.

D'un point de vue géologique, la zone est constituée au nord (près de la frontière) par un ensemble de roches plutoniques et métamorphiques d'âge Paléozoïque, déformées et métamorphosées lors de l'épisode orogénique varisque. Ce domaine a été au centre de la présente étude car certaines lithologies constituant ces terrains sont susceptibles de contenir de l'amiante et ont donc nécessité une expertise. Plus au sud, les terrains sont sédimentaires et d'âge Mésozoïque à Cénozoïque. Ces formations sédimentaires n'ont pas fait l'objet d'expertises spécifiques dans le cadre du présent projet, car les lithologies les composant ont une susceptibilité nulle (à très faible) de contenir de l'amiante. Un niveau de susceptibilité nul à très faible a été attribué à ces formations géologiques, seulement à dire d'expert. Toutes ces formations géologiques ont été impliquées dans l'orogénèse alpine, impliquant leur déformation et/ou des transformations minéralogiques localisées.

2.1.3. Niveaux de susceptibilité considérés

Dans leur étude relative au « *recensement et au classement des sites naturels amiantifères et des formations géologiques potentiellement amiantifères en France* », Dessandier et Spencer (2005) avaient défini cinq classes d'aléa de présence d'amiante dans les formations géologiques, numérotées de 0 (niveau d'aléa le plus faible) à 4 (niveau d'aléa le plus fort). Cette définition a été reprise dans le rapport de Daniau *et al.* (2008) relatif à « *l'exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'affleurements de roches amiantifères en France continentale* ». Dans cette classification, les formations géologiques de type « serpentinites », classiquement porteuses d'amiante, sont dotées d'un aléa 3 (« *Forte probabilité de présence de minéraux amiantifères* ») et les anciennes exploitations et affleurements avérés d'amiante dotés d'un aléa 4 (« *Présence avérée de minéraux amiantifères* »).

Dans le cadre de l'établissement de la première phase de cartographie de l'aléa amiante environnemental en Haute-Corse, Lahondère (2006) proposait la prise en compte de cinq classes d'aléa sensiblement différentes de celles proposées par Dessandier et Spencer (2005).

Les cartographies de l'aléa réalisées en 2010 en Savoie (Blein *et al.*, 2010), en Haute-Corse (Lahondère *et al.*, 2010) et en Loire-Atlantique (Béchenec *et al.*, 2010) ont permis d'adopter d'une manière définitive les niveaux d'aléas relatifs à la présence d'amiante dans les environnements naturels (Illustration 4).

La classe d'aléa de niveau 1 correspond aux formations géologiques dans lesquelles aucun indice d'amiante n'est actuellement connu et pour lesquelles la probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères est nulle à très faible.

La classe d'aléa de niveau 2 correspond aux formations géologiques dans lesquelles des occurrences d'amiante très localisées et exceptionnelles sont connues.

La classe d'aléa de niveau 3 correspond aux formations géologiques dans lesquelles les occurrences d'amiante sont plus fréquentes mais encore localisées et non systématiques.

La classe d'aléa de niveau 4 correspond aux formations géologiques dans lesquelles les occurrences d'amiante sont très nombreuses et pour lesquelles la probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères est forte.

Ces quatre classes sont celles qui ont été prises en compte dans cette étude. Le terme aléa, retenu dans les premières études, a été remplacé par la notion de susceptibilité de présence d'amiante (Illustration 5).

Cartographie de l'aléa Amiante environnemental en Haute-Corse		Recensement et classement des sites naturels et formations géologiques potentiellement amiantifères en France. Phase 2 : diagnostics de 20 sites		Cartographie de l'aléa Amiante environnemental dans les départements de la Haute-Corse, de la Loire-Atlantique et de la Savoie	
Lahondère (2006)		Maton <i>et al.</i> (2007)		Lahondère <i>et al.</i> (2010) Blein <i>et al.</i> (2010) Béchenec <i>et al.</i> (2010)	
Classe d'aléa	Définition de la classe d'aléa	Classe d'aléa	Définition de la classe d'aléa	Classe d'aléa	Définition de la classe d'aléa
1	Nul à très faible	0	Absence d'occurrence de minéraux amiantifères	1	Absence d'occurrence de minéraux amiantifères
2	Faible	1	Faible probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères	2	Faible probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères
3	Moyen	2	Probabilité moyenne d'occurrence de minéraux amiantifères	3	Probabilité moyenne d'occurrence de minéraux amiantifères
4	Fort à très fort	3	Forte probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères	4	Forte probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères
5	Variable	4	Présence avérée de minéraux amiantifères		

Illustration 4 : Définition des classes d'aléa retenues (colonnes de droite).

Cartographie de la susceptibilité de présence d'amiante dans le Massif Central	
Duron et al. (2020) Cagnard et al. (2020)	
Niveau de susceptibilité	Définition du niveau de susceptibilité
1	Absence d'occurrence de minéraux amiantifères
2	Faible probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères
3	Probabilité moyenne d'occurrence de minéraux amiantifères
4	Forte probabilité d'occurrence de minéraux amiantifères

Illustration 5 : Définition des niveaux de susceptibilité retenus.

2.1.4. Analyse par mots-clés des données extraites des cartes géologiques harmonisées départementales et des coupures géologiques à 1/50 000

De nombreuses études ont montré que les occurrences d'amiante étaient abondantes dans les roches ultrabasiques (ex : lherzolites, péridotites ± serpentinisées, serpentinites, ...) plus ou moins métamorphiques. Néanmoins, des fibres d'amiante peuvent également être présentes dans des roches basiques plus ou moins métamorphiques (gabbros, basaltes, andésites, ophites, etc.), dans des dolomies et des calcaires magnésiens métamorphiques, dans des formations métamorphiques riches en fer (« *Banded Iron Formation* ») et, d'une manière plus anecdotique, dans des intrusions alcalines ou des carbonatites (Van Gosen, 2007 ; Hendricks, 2008 ; Lahondère *et al.*, 2010).

Des fibres d'amiante peuvent également être observées dans des formations meubles associées au démantèlement et à l'altération supergène des lithologies citées précédemment.

Aussi, en première approche, une recherche par mots-clés a été réalisée à partir de la notice explicative de la carte géologique départementale harmonisée à 1/50 000 et des notices explicatives des coupures géologiques à 1/50 000, de façon à obtenir une première sélection des formations potentiellement amiantifères.

Les mots-clés utilisés pour la zone d'étude sont indiqués ci-dessous (Illustration 6).

Adjectifs	basique
	ultrabasique
	méta-carbonaté
	méta-dolomitique
	serpentinisé
	fibreux
Faciès pétrographiques	gabbro
	basalte
	lamprophyre
	roche volcanique
	tuf
	marbre
	méta-carbonate
	cipolin
	andésite
	serpentine
	talcschiste
	skarn
	péridotite
	amphibolite
	éclogite
	chloritoschiste
	épisyérite
dolérite	
ophicalcite	
Phases minérales	actinolite
	trémolite
	amphibole
	crossite
	crocidolite
	serpentine
	lizardite
	antigorite
	chrysotile
	grunérite
	amosite
	riébeckite
	anthophyllite
	talc
Termes génériques	amiante
	asbeste

Illustration 6 : Principaux mots-clés utilisés dans l'analyse multicritère.

Une analyse multicritère a été réalisée pour les formations sélectionnées à l'issue de l'analyse des mots-clés. La méthodologie appliquée est détaillée en Annexe 1 de ce rapport.

2.2. RESULTATS DE L'ANALYSE

2.2.1. La zone du Mercantour

a) Résultats de l'analyse par mots-clés

À l'issue de l'analyse par mots-clés, dix caissons (ou formations géologiques) de la carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour étudiée ont été identifiés comme contenant au moins un de ces mots-clés. Ces dix formations géologiques sont donc considérées comme susceptibles d'être les hôtes d'occurrences fibreuses asbestiformes. Ces formations, ainsi que les formations non identifiées comme contenant au moins un mot clé, ont été soumises à l'analyse multicritère.

b) Résultats de l'analyse multicritère

L'analyse multicritère a été réalisée sur la base de fichiers numériques ArcGis pour la carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour et de fichiers xlsx.

L'application de l'analyse multicritère a conduit aux résultats suivants :

- **93** formations géologiques ont été dotées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « nul à très faible » ;
- **4** formations géologiques ont été dotées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « faible » ;
- **6** formations géologiques ont été dotées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « moyen » ;
- **Aucune** formation géologique n'a été dotée d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « fort à très fort ».

Par ailleurs, 16 formations géologiques ont été affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « variable » ; il s'agit de sept formations de type « éboulis ou colluvions » (codées 998 sur la carte), et de neuf formations superficielles correspondant à des formations alluvionnaires ou des moraines (codées 999 sur la carte). Du fait de la variabilité des contenus lithologiques (blocs, galets) que peuvent contenir ces formations géologiques et de l'absence de descriptions précises dans les notices des cartes géologiques, il n'est en effet pas possible de leur attribuer un niveau de susceptibilité de présence d'amiante, à l'échelle du 1/50 000. Ces formations géologiques ne seront donc pas traitées dans cette étude (Illustration 7).

CODE	CODE_LEG	NOTATION	DESCR	NSPA_previs
5	6	MN	Moraines	999
6	7	FGI	Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées	999
7	8	CA	Couloirs et cônes d'avalanche	998
9	10	Fz	Quaternaire : alluvions fluviatiles récentes (sables, limons, graviers, galets)	999
10	11	F1a	Terrasses récentes	999
11	12	Jz	Cône torrentiel récent : sables, graviers, galets	999
13	14	Ez	Eboulis récents	998
14	15	Eb	Eboulis : Cône actifs	998
15	16	Fy	Würm : alluvions (cailloutis, graviers, sables)	999
16	17	F2a	Terrasses anciennes	999
17	18	Jy	Würm : cônes de déjection	999
18	19	Ey	Würm : éboulis	998
21	22	Éw	Quaternaire : éboulis et brèches de pentes anciens	998
22	23	Ef	Eboulis fixés, généralement anciens, localement à gros éléments	998
23	24	Eg	Eboulis : terrains glissés	998
24	25	F	Alluvions anciennes non différenciées	999

Illustration 7 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « variable » (codes 998-999 sur la carte de NSPA prévisionnel).

Les quatre formations affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « faible » correspondent à des formations géologiques variées, constituées principalement de roches magmatiques basiques métamorphisées et de lamprophyres (Illustration 8).

CODE	CODE_LEG	NOTATION	DESCR	NSPA_previs
223	220	ëÖ	Série d'Iglière : diorite - migmatite	2
227	223	äe	Eclogites	2
231	227	Öb	Gneiss de Chastillon	2
236	232	û	Lamprophyre : spessartite	2

Illustration 8 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « faible ».

Les six formations géologiques affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « moyen » correspondent principalement à des amphibolites et des gneiss amphiboliques, des enclaves basiques au sein de granites et des cipolins (Illustration 9).

CODE	CODE_LEG	NOTATION	DESCR	NSPA_previs
219	217	õ	Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques	3
225	222	c(1)	Cipolins	3
272	264	ä	Amphibolites (para ou ortho)	3
281	268	ä(1)	Amphibolites (para ou ortho)	3
285	271	ã1ã	Granite à enclaves basiques	3
106	108	c1-2_br	Cénomaniens-Turonien ? : brèches et blocs ophiolitiques	3

Illustration 9 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « moyen ».

Aucune formation n'a été affectée d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « fort à très fort » sur la zone du Mercantour.

Une fois l'analyse multicritère réalisée, il a été possible de produire une première carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante prévisionnels pour la zone du Mercantour. Les polygones caractérisés par un niveau de susceptibilité « faible à très faible », « faible », « moyen » sont respectivement représentés sur cette carte prévisionnelle en gris, jaune et orange. Les polygones auxquels un niveau de susceptibilité prévisionnel variable a été affecté sont représentés en vert pomme et bleu (Illustration 10). Cette carte est un document de travail préliminaire susceptible d'être largement modifié à l'issue des expertises des affleurements et des analyses acquises à partir des échantillons prélevés au cours des visites.

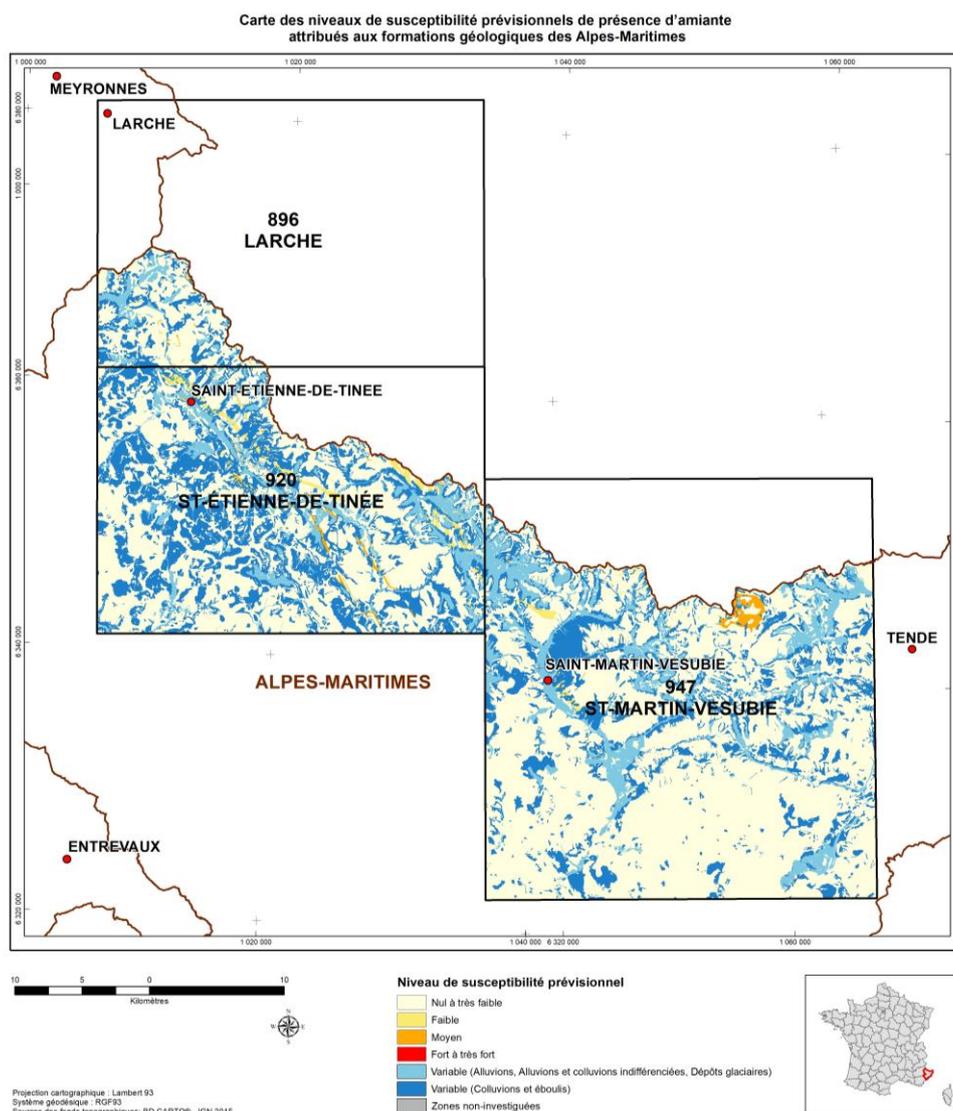


Illustration 10 : Carte de la susceptibilité prévisionnelle de présence d'amiante pour la zone du Mercantour.

2.2.2. Identification des cibles à expertiser et élaboration des fiches

La préparation des missions sur le terrain a donné lieu à l'établissement de fiches descriptives pour les cibles géologiques identifiées. Chaque fiche comporte la localisation de la cible sur une carte superposant la carte IGN et la carte géologique harmonisée du département concerné. La localisation de cette fiche sur l'emprise du département concerné est également représentée. Ces fiches de travail ont par la suite été mises à jour pour présenter dans leur version définitive la localisation des sites visités et expertisés dans le cadre de l'étude. Ces fiches sont présentées dans leur intégralité en Annexe 3 du présent rapport.

Les expertises de terrain ont donc été préparées de telle manière à permettre la reconnaissance d'une majorité des formations géologiques potentiellement amiantifères, et également de valider les différents niveaux de susceptibilité prévisionnels - « nul à très faible », « faible », « moyen », ou « fort à très fort » - préalablement affectés aux différentes formations de la carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour.

3. Phase 2 : expertises de terrain et analyses en laboratoire

Les phases de contrôle de terrain ont été réalisées par F. Cagnard entre le 7 et le 16 Juillet 2020.

La majorité des formations géologiques affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel 3 (« moyen ») et 2 (« faible ») ont été expertisées sur le terrain. Au cours de cette mission de terrain, 82 sites ont été visités et géoréférencés dans la zone du Mercantour (les coordonnées GPS des points d'affleurement visités sont indiquées dans l'annexe 2 du présent rapport).

Trente-cinq lames minces polies (LM) ont été réalisées et étudiées par microscopie optique (MOLP : Microscopie Optique à Lumière Polarisée). Vingt-trois d'entre elles ont fait l'objet d'analyses ponctuelles effectuées à la microsonde électronique (MSE). Dix-neuf échantillons ont fait l'objet d'analyses au Microscope Électronique à Balayage (MEB).

Les trente-cinq lames minces ont été fabriquées à partir d'échantillons de roches provenant de différentes formations géologiques du Mercantour.

Les formations géologiques concernées correspondent principalement à :

- des amphibolites ;
- des lamprophyres ;
- des gneiss amphiboliques ;
- des nodules ultrabasiques ;
- des séries gneissiques migmatitiques.

Les analyses par microsonde électronique ont été réalisées sur une microsonde CAMECA SXFive à canon tungstène, équipée de cinq spectromètres à sélection d'énergie (WDS). Les analyses ont été réalisées à 15 kV / 12nA. Le silicium (Si), l'aluminium (Al), le sodium (Na) et le magnésium (Mg) ont été analysés sur des cristaux TAP. Le potassium (K), le titane (Ti), le calcium (Ca) et le chrome (Cr) ont été analysés sur des cristaux PET. Le fer (Fe) et le manganèse (Mg) ont été analysés sur un cristal LiF. Tous les éléments ont été analysés en raie La, temps de comptage 10 sec / pic et 5 sec/fond continu.

Les analyses par microscopie électronique à balayage (MEB), à HV = 15 kV (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), ont été effectuées en utilisant un MEB TESCAN MIRA 3 XMU. Des images en électrons secondaires (SE) et/ou en électrons rétrodiffusés (BSE) sont réalisées pour chaque échantillon à des grossissements adaptés.

Les analyses par spectrométrie Raman ont été effectuées en utilisant un Raman Renishaw InVia Reflex couplé à un microscope Leica équipé de trois objectifs (x5, x50 et x100) – les mesures ont été réalisées avec l'objectif x50. La longueur d'onde du laser utilisé correspond à 514 nm. La majorité des analyses ont été réalisées dans les conditions suivantes : temps d'acquisition de 1 seconde, un nombre d'accumulation de 50 et des gammes spectrales de 100 – 2 000 cm^{-1} et de 2 500 – 4 000 cm^{-1} .

La liste des échantillons analysés par microscopie optique, microsonde électronique, microscopie électronique à balayage et spectrométrie Raman est consultable dans le tableau ci-après (Illustration 11).

Num- échantillon	Lithologie	MOLP	MSE	MEBA	RAMAN
MERFC002	Amphibolite	X	X		
MERFC003A	Amphibolite	X	X	X	
MERFC003B	Amphibolite	X	X	X	
MERFC003C	Amphibolite			X	
MERFC006A	Cipolin	X			
MERFC016	Gneiss	X			
MERFC018	Gneiss	X			
MERFC023A	Amphibolite	X	X	X	
MERFC023C	Gneiss	X			
MERFC025	Actinolite	X	X	X	
MERFC033A	Serpentine	X	X	X	
MERFC033B	Serpentine			X	
MERFC033C	Serpentine	X	X	X	
MERFC037A	Serpentine	X	X	X	
MERFC037B	Serpentine			X	
MERFC037C	Amphibolite	X	X		
MERFC037D	Amphibolite	X	X		
MERFC040A	Lamprophyre	X			
MERFC040B	Lamprophyre	X	X		
MERFC041B	Lamprophyre	X			
MERFC045	Gneiss	X	X		
MERFC049A	Actinolite	X	X	X	
MERFC049B	Orthogneiss	X			
MERFC049C	Roche ultrabasique	X	X	X	
MERFC051	Orthogneiss	X			
MERFC054B	Lamprophyre	X	X	X	
MERFC054C	Lamprophyre	X	X	X	
MERFC056	Lamprophyre	X	X		
MERFC057	Chlorite	X			
MERFC066	Amphibolite	X	X		
MERFC068A	Actinolite	X	X	X	
MERFC068B	Amphibolite	X	X		
MERFC069	Orthogneiss	X			
MERFC071	Gneiss			X	
MERFC076	Granulite	X	X	X	
MERFC078	Amphibolite	X			
MERFC079	Métapyroxenite	X	X	X	
MERFC081	Actinolite	X	X	X	
MERFC082	Gneiss	X			

Illustration 11 : Liste des échantillons prélevés dans la zone du Mercantour et analysés par microscopie optique (MOLP), microsonde électronique (MSE), microscopie électronique à balayage (MEBA) et spectrométrie Raman.

3.1. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL « FORT A TRES FORT »

Aucune formation présentant un niveau de susceptibilité prévisionnel « fort à très fort » n'avait été identifiée dans la zone d'étude du Mercantour.

Néanmoins des serpentinites, non cartographiées sur les cartes géologiques au 1/50 000, ni sur la carte géologique départementale harmonisée du département des Alpes-Maritimes (Gonzalez, 2008) ont été reconnues sur le terrain, dans le cadre de la présente étude.

Ces affleurements sont situés vers le col de la Lombarde (affleurements MERFC033, MERFC035, MERFC037, MERFC039), de part et d'autre de la frontière (en France et en Italie). Il s'agit de petits ensembles de serpentinites « boudinés » dans les migmatites de Malinvern. L'existence de ces boudins de serpentinites est signalée par Jouffray *et al.* (2020) et Jouffray (com. pers.).

3.1.1. Les serpentinites (Col de la Lombarde)

- **Description sur le terrain : Serpentinites (Col de la Lombarde)**

Les serpentinites du Col de la Lombarde, affleurent de part et d'autre du col, en France et en Italie (affleurements MERFC033, MERFC035, MERFC037, MERFC039). Elles se présentent sous forme de lentilles boudinées dans les migmatites de Malinvern (complexe de Malinvern-Argentiera). Sur le terrain, ces roches sont sombres, déformées, et présentent de nombreux plans à cristallisations fibro-lamellaires serpentineux.

L'affleurement MERFC033 affleure dans un des derniers virages de la montée du col de la lombarde (côté français). Les serpentinites qui le composent ont une patine brune caractéristique, et sont injectées d'un important cortège filonien acide (aplites et pegmatites). Sur cet affleurement, une zone de cisaillement intra-serpentinites est marquée par un écrasement et une déformation importante des serpentinites, qui contiennent des amas blancs microfibreux, provenant de la désagrégation de veines et de plans fibreux, sous l'effet de l'altération supergène (Illustration 12). Les fibres contenues dans ces amas sont potentiellement asbestiformes et ont été analysées au microscope électronique à balayage (échantillon MERFC033B).

L'affleurement MERFC037 montre un contact entre des serpentinites et des amphibolites à grenat, au sein d'un encaissant migmatitique (gneiss migmatitique). Cet affleurement semble avoir été exploité par le passé (ancienne carrière ? grattage ?). Les serpentinites de cet affleurement sont très cisailées, et sont recoupées par de nombreux plans et veines, à cristallisations fibro-lamellaires (antigorite ?), associées à du talc et/ou de la calcite. Des veines (*cross-veins*) recoupent également ces serpentinites (Illustration 13). Certains plans sont altérés et les fibres qu'ils contenaient s'amalgament en amas fins, blanchâtres, microfibreux, qui ont fait l'objet d'analyses au laboratoire (MEB sur l'échantillon MERFC037B et MQLP sur l'échantillon MERFC037A). L'affleurement MERFC039 est situé un peu en contrebas de l'affleurement MERFC037, sur le versant français. Il s'agit de serpentinites en surface structurale, recoupées par des plans fibreux. L'affleurement MERFC035, montre, quant à lui un faciès différent, constitué principalement d'une roche sombre, vacuolaire, beaucoup plus finement grenue, avec un aspect « varvé » et riche en serpentine. Aucune évidence d'occurrence fibreuse n'a été vue sur cet affleurement.



Illustration 12 : Vue générale de l’affleurement MERFC033 (en haut à gauche), avec les serpentinites à patine brunâtre dans le virage. En haut, à droite : veine fibreuse se désagrégeant en un amas microfibreux (photographie, en bas, à gauche) sous l’action des agents supergènes (vent, pluie, gel). En bas à droite : échantillon de serpentinites altérées (riche en talc), avec une veine fibreuse se délitant en fibres « volatiles ».





Illustration 13 : Affleurement MERFC037 : Vue générale de l'affleurement (photographie, en haut, à gauche), avec un contact entre des serpentinites (à droite) et des amphibolites à grenat (à gauche de la photographie). Veine fibroradiée dans des serpentinites (en haut, à droite), veine fibreuse se désagrégant au sein de serpentinites (en bas, à gauche), amas microfibreux blanc provenant de la désagrégation d'une veine fibreuse, au sein de serpentinites (en bas, à droite).

3.1.2. Analyses en laboratoire sur les serpentinites (Col de la Lombarde)

Trois lames minces ont été réalisées dans les serpentinites du Col de la Lombarde, il s'agit des lames MERFC033A, MERFC033C, MERFC037A. Ces trois lames minces ont fait l'objet d'analyses à la microsonde électronique, de façon à déterminer la nature chimique des minéraux observés. Les minéraux fibreux de ces trois lames ont ensuite fait l'objet d'études au MEB de façon à déterminer précisément la morphologie de ces fibres. Par ailleurs, des fibres prélevées sur les affleurements MERFC033 et MERFC037 ont fait l'objet d'analyses au MEB (échantillons MERFC033B et MERFC037B).

La lame mince MERFC033A a été réalisée dans une serpentinite. Au MOLP, elle est constituée principalement de serpentine (lizardite) +/- fibreuse et de cristaux de clinopyroxènes relictuels +/- amphibolisés, associés à de nombreuses amphiboles incolores, souvent très fibreuses (actinolite / trémolite ; annexe 4) (Illustration 14). Des orthopyroxènes relictuels sont également visibles. Les opaques sont de petite taille et disséminés, le rutile et le spinelle sont accessoires. Les serpentines observées ne semblent pas, optiquement, correspondre à du chrysotile. Les amphiboles incolores et fibreuses sont très abondantes (compositions d'actinolite, de trémolite, annexe 4), et potentiellement asbestiformes.

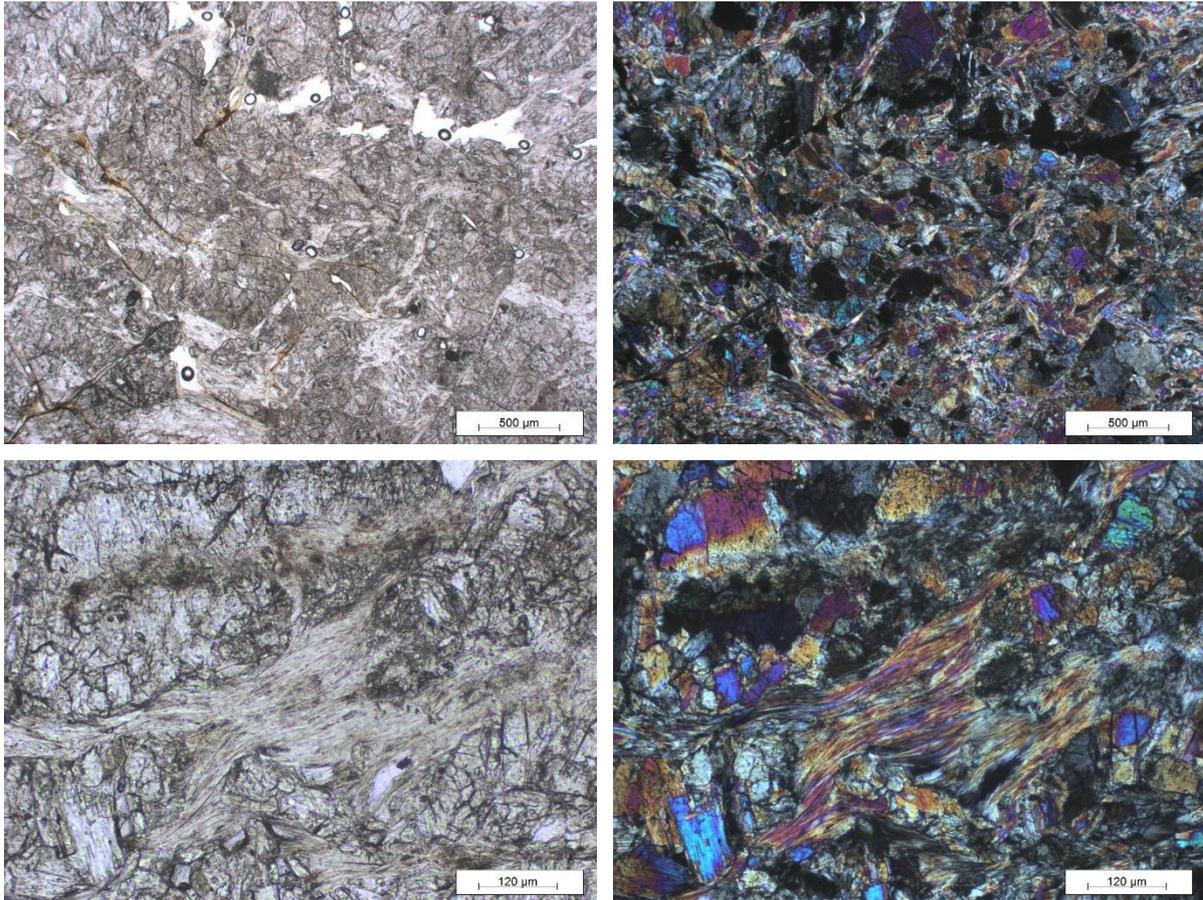


Illustration 14 : Photographies représentatives de la lame MERFC033A au MOLP. Haut : Roche ultrabasiq ue serpentinisée riche en actinolite fibreuse. Bas : Amas d'actinolite fibreuse dans une roche ultrabasiq ue serpentinisée – lame mince MERFC033A (gauche: LPNA ; droite : LPA).

Les fibres de la lame mince MERFC033A ont ensuite été analysées au MEB pour définir leur morphologie. Les images acquises au microscope électronique à balayage montrent que cet échantillon est constitué par des particules fibreuses et fibriformes hétérométriques, plus ou moins allongées et épaisses (Illustration 15). Ces particules ont très souvent des bords subparallèles et un diamètre inférieur à 3 µm. Elles semblent néanmoins provenir de la fragmentation de cristaux initialement tridimensionnels mais déjà très altérés et prédissociés. Quelques rares fibres souples proviennent de la séparation de ces cristaux initialement tridimensionnels. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphiboles calciques de type actinolite; Illustration 15). Cet échantillon contient une fraction très faible de fibres d'actinolite-amiante et apparaît de plus en capacité de libérer une quantité significative de fibres inhalables (OMS) à la moindre sollicitation mécanique.

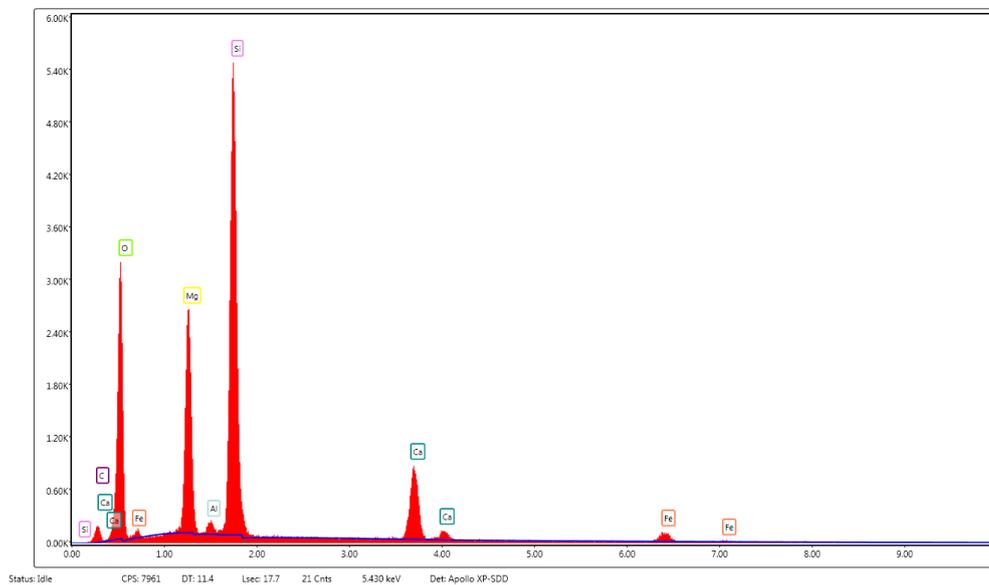
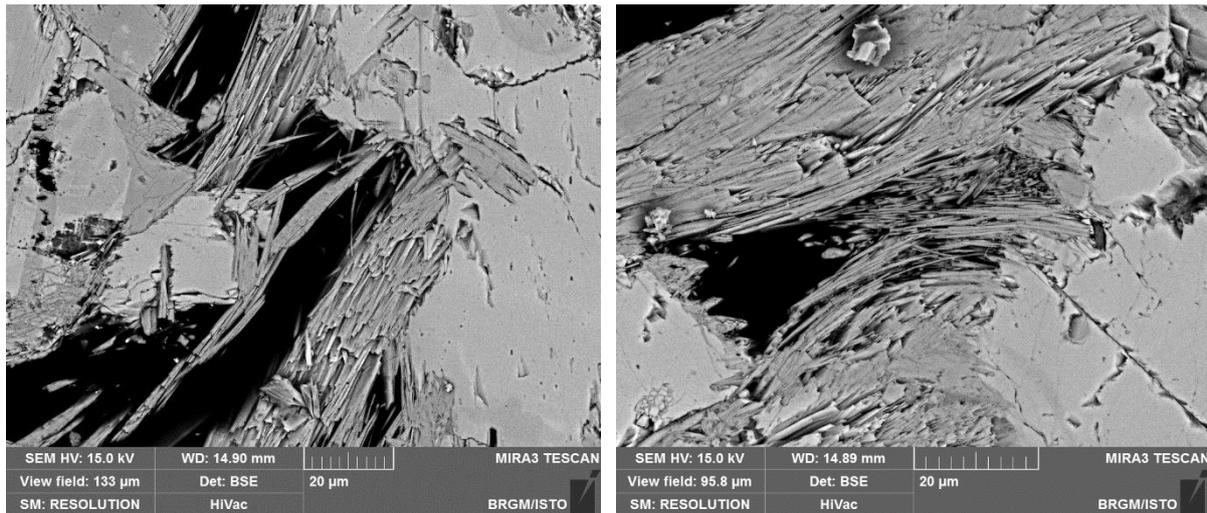


Illustration 15 : Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de la lame mince MERFC033A.

Conclusions sur la lame mince MERFC033A : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont des compositions chimiques (actinolite / trémolite) qui correspondent à deux des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante. Une faible fraction d'entre elles présente les caractéristiques dimensionnelles de fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon est donc amiantifère (présence d'actinolite-amiante).

Au MOLP, la lame mince MERFC033C correspond à une roche magmatique microgrenue, constituée principalement d'aiguilles et de baguettes aciculaires d'amphibole incolores à verdâtres (compositions : actinolite et magnésio-ferri-hornblende ; Illustration 16 ; annexe 4), associées à des plages xénomorphes de carbonate (calcite), à des feldspaths et à des cristaux d'épidote (Illustration 16). Des amas bruns, constitués d'une association entre des petits cristaux brunâtres (épidote possible ?) et des cristaux de zoïsite (pseudomorphose ?) sont associés aux amphiboles. Des cristaux globuleux de quartz sont également visibles. La chlorite (pychnochlorite) est abondante, associée aux amphiboles (Illustration 16).

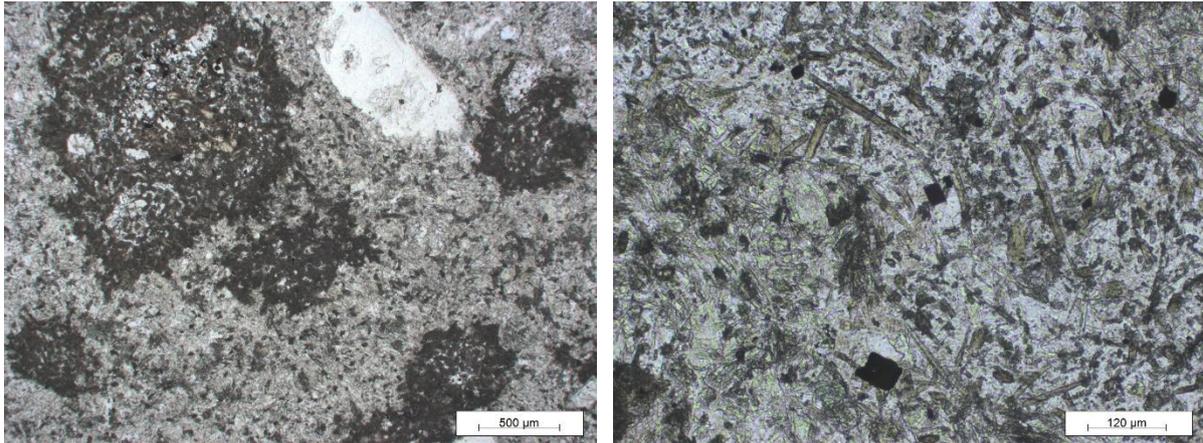
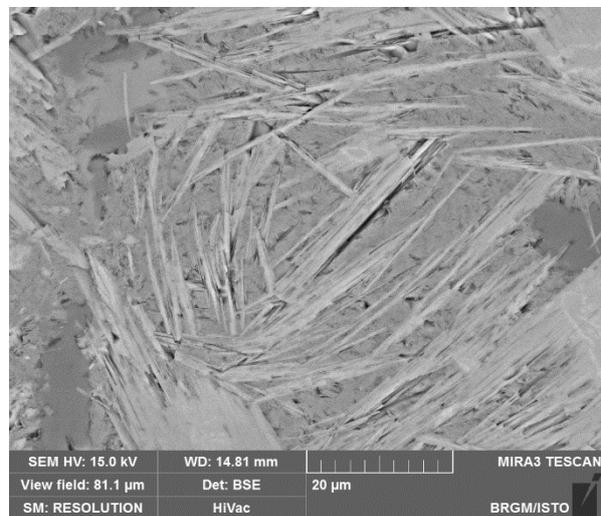
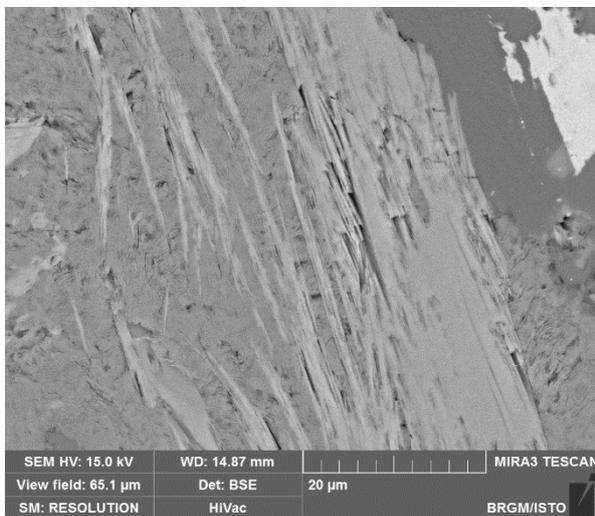


Illustration 16 : Roche magmatique microgrenue à baguettes verdâtres d'amphibole (actinolite pro.parte) – lame mince MERFC033C (LPNA).

Les fibres de la lame mince MERFC033C ont ensuite été analysées au MEB pour préciser leur morphologie. Les images acquises montrent que cet échantillon est constitué par des particules fibriformes plus ou moins allongées et épaisses, à bords le plus souvent parallèles mais présentant des terminaisons et des bordures variables et irrégulières (pointues, biseautées, en marches d'escalier). Quelques particules fibreuses de type OMS ont été identifiées mais ces particules correspondent très probablement à des fragments de clivage générés par dissociation de cristaux initialement tridimensionnels. De très rares fibrilles courbes ont une morphologie asbestiforme. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphibole calcique de type actinolite ; Illustration 17).



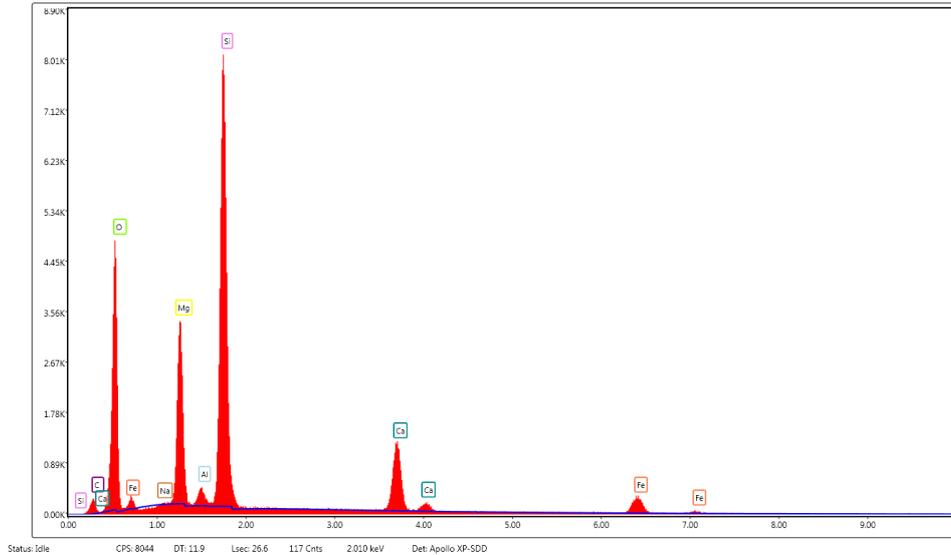


Illustration 17 : Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de la lame mince MERFC033C.

Conclusions sur la lame mince MERFC033C : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont pour certaines des compositions chimiques qui correspondent à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante (actinolite). Une faible fraction d'entre-elles présente les caractéristiques dimensionnelles de fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon est donc amiantifère (présence d'actinolite-amiante).

Au MOLP, lame mince MERFC037A correspond à une trémolite, riche en cristaux d'amphibole incolore, prismatiques à aciculaires, associés à des cristaux de chlorite. Cette roche correspond à une ancienne roche ultrabasique, dont les minéraux de la paragenèse primaire ont été transformés en une association chlorite-amphibole. Cette roche est très riche en amphiboles incolores (association entre des trémolites et des anthophyllites (+ rares magnésio-ferri-hornblendes), (Illustration 18 ; annexe 4), parfois fibreuses, potentiellement asbestiformes (trémolite-amiante et anthophyllite-amiante). De rares serpentines sont associées aux trémolites.

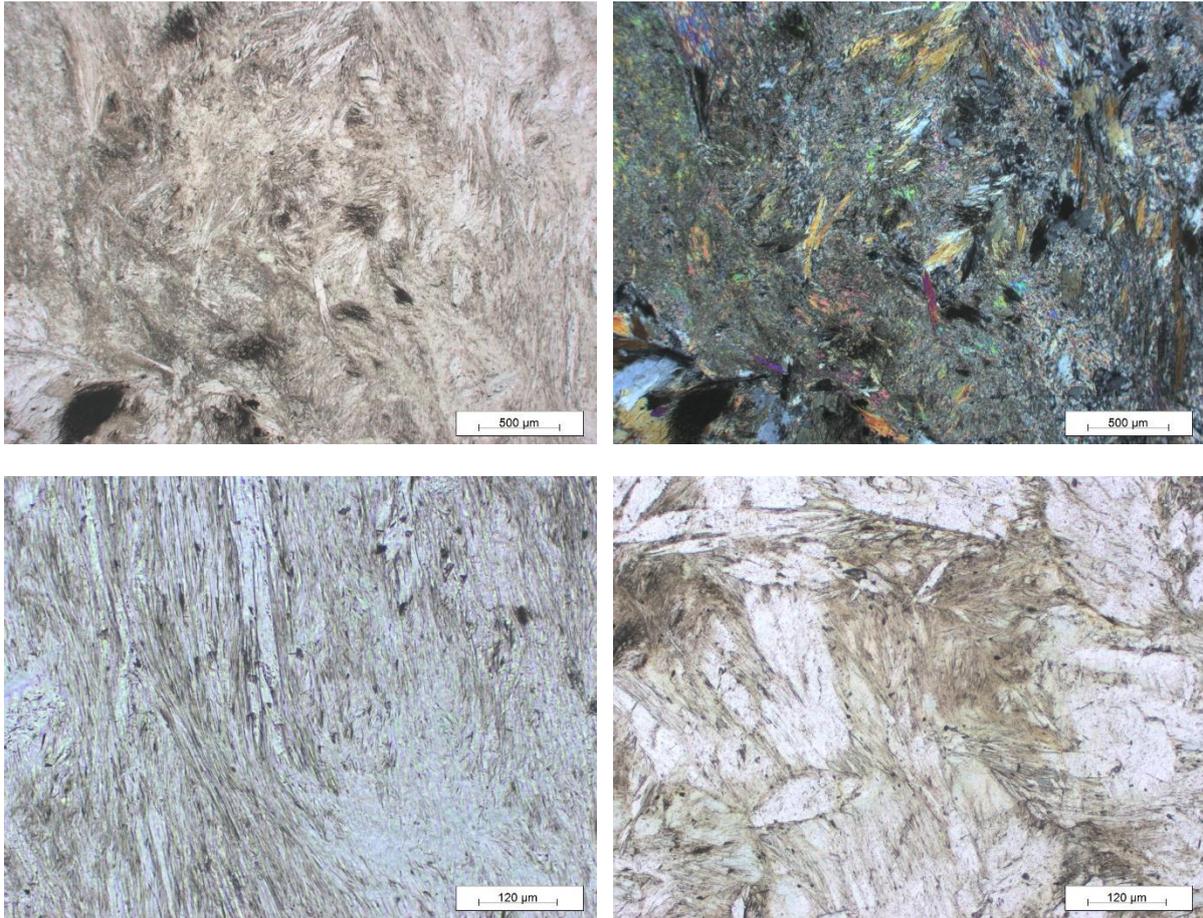
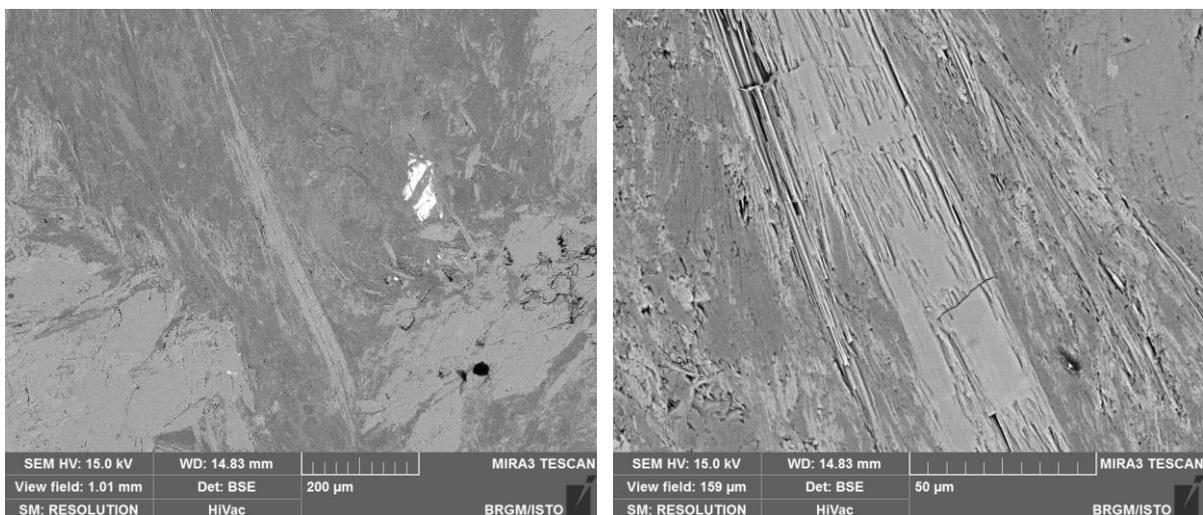


Illustration 18 : Amphiboles incolores (association trémolite / anthophyllite) souvent fibreuses dans une serpentinite – lame mince MERFC037A (En haut à gauche et en bas : LPNA. En haut, à droite : LPA).

Les résultats de l'étude réalisée au **MEB** sur les amphiboles de la lame mince **MERFC037A** confirment le caractère très fibreux de l'échantillon. Les fibres observées sont très longues, rectilignes, à bords généralement parallèles (Illustration 19). Une fraction de ces particules possède les caractéristiques dimensionnelles des fibres inhalables (au sens de l'OMS) et probablement des fibres EPA également. Une faible portion de ces fibres présente un caractère potentiellement asbestiforme. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature supposée de ces fibres (amphiboles calciques de type trémolite).



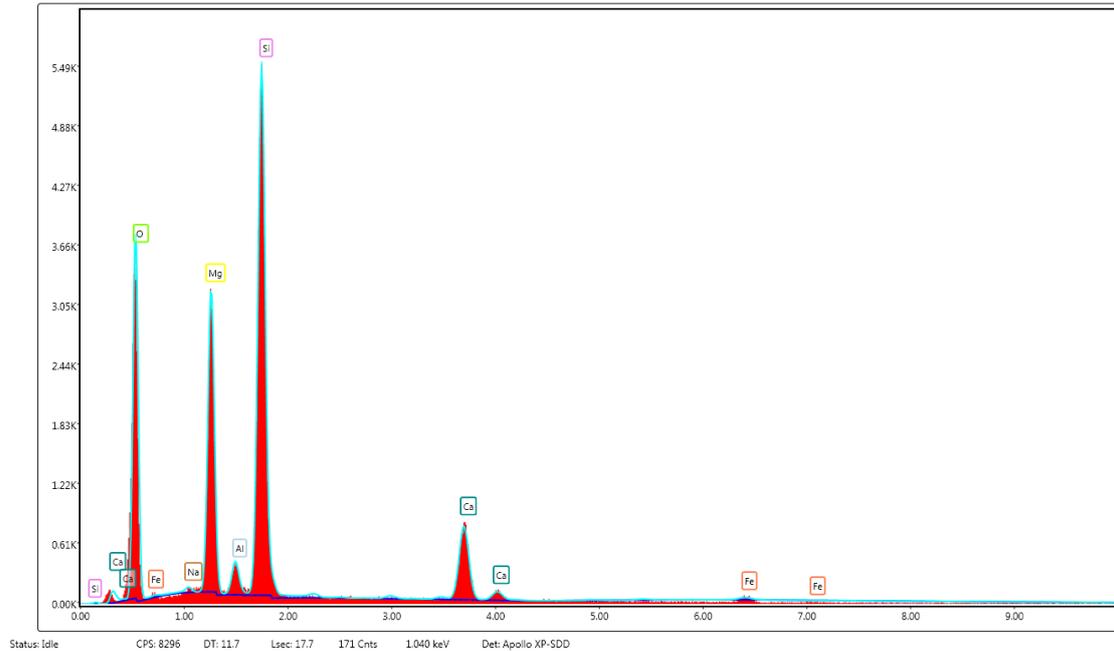


Illustration 19 : Images et spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame mince MERFC037A.

Conclusions sur la lame mince MERFC037A : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique qui correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante (trémolite) et une petite proportion d'entre elles présente des caractéristiques dimensionnelles correspondant aux fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon est de plus susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (trémolite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, du moins pour partie, à des fibres inhalables au sens de l'OMS et d'être assimilés à des fibres d'amiante.

Deux échantillons de fibres provenant : (i) d'un amas microfibreux dans les serpentinites de l'affleurement MERFC033 (échantillon MERFC033B) et (ii) d'une veine fibreuse dans les serpentinites de l'affleurement MERFC037 (échantillon MERFC037B) ont été analysés au MEB.

Les images acquises montrent que **l'échantillon MERFC033B** est constitué par des particules fibreuses rectilignes à bords parfois subparallèles, plus ou moins allongées et épaisses ainsi que par des amas de fibrilles (Illustration 20). Quelques fibres très fines ($D \ll 3 \mu\text{m}$) et courbes, asbestiformes, sont également présentes. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces particules fibreuses (amphiboles calciques de type actinolite; Illustration 20). Les images montrent également la présence de faisceaux dont les fibres peuvent avoir les dimensions des fibres OMS, ainsi que des fibres isolées et des fragments de clivages. Cet échantillon est donc amiantifère.

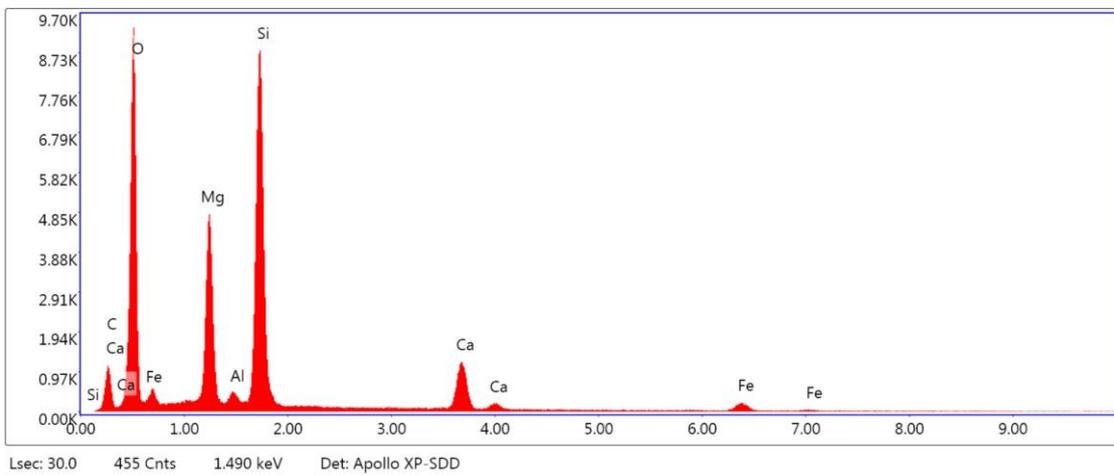
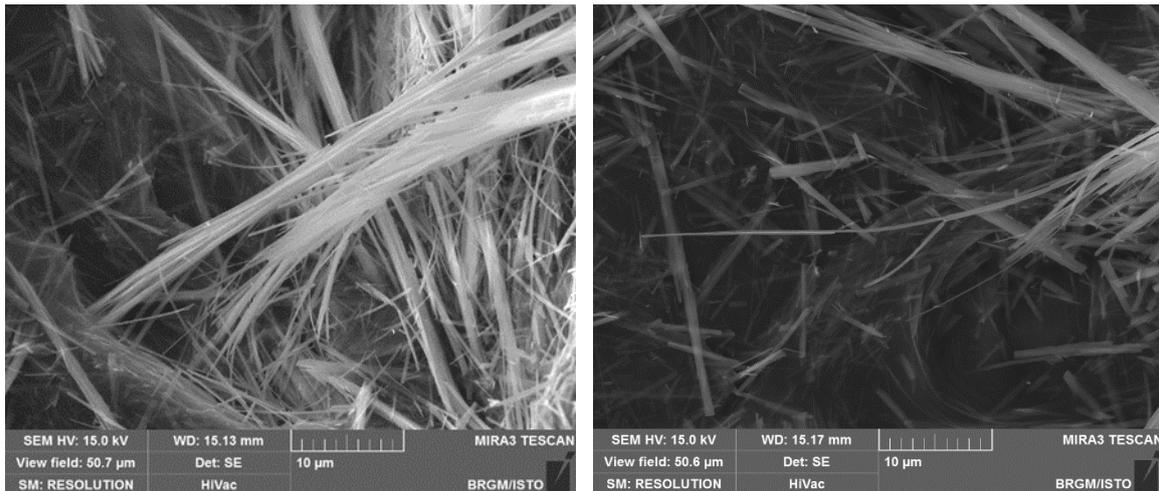
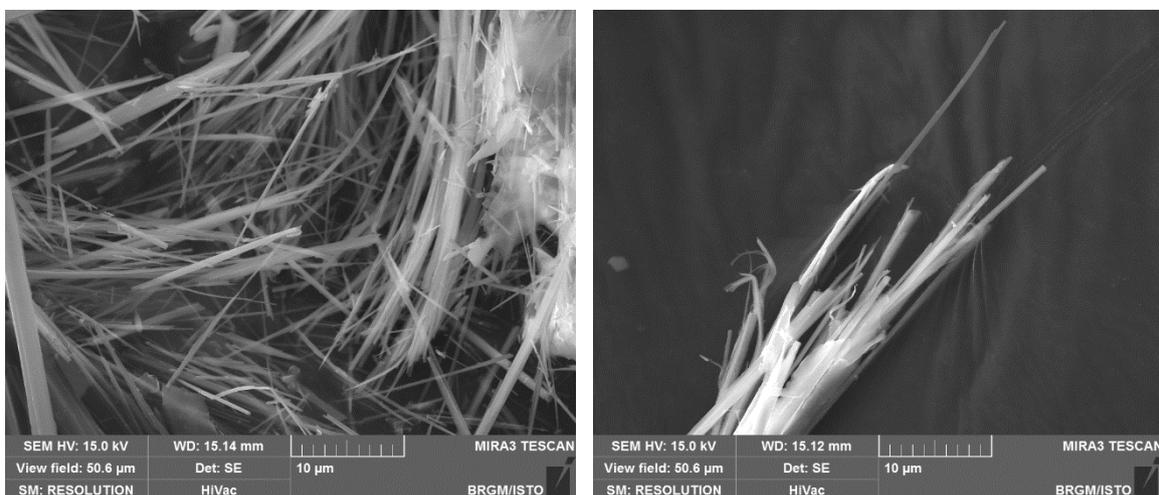


Illustration 20 : Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de l'échantillon MERFC033B.

Les images acquises au microscope électronique à balayage de l'échantillon **MERFC037B** montrent qu'il est constitué par des particules fibriformes rectilignes, à bords subparallèles, plus ou moins allongées et épaisses (Illustration 21). De rares fibres souples et très fines ($D \ll 3 \mu\text{m}$), asbestiformes, ont également été observées dans la préparation. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces particules fibreuses (amphiboles calciques de type trémolite ; Illustration 21). Cet échantillon est donc amiantifère.



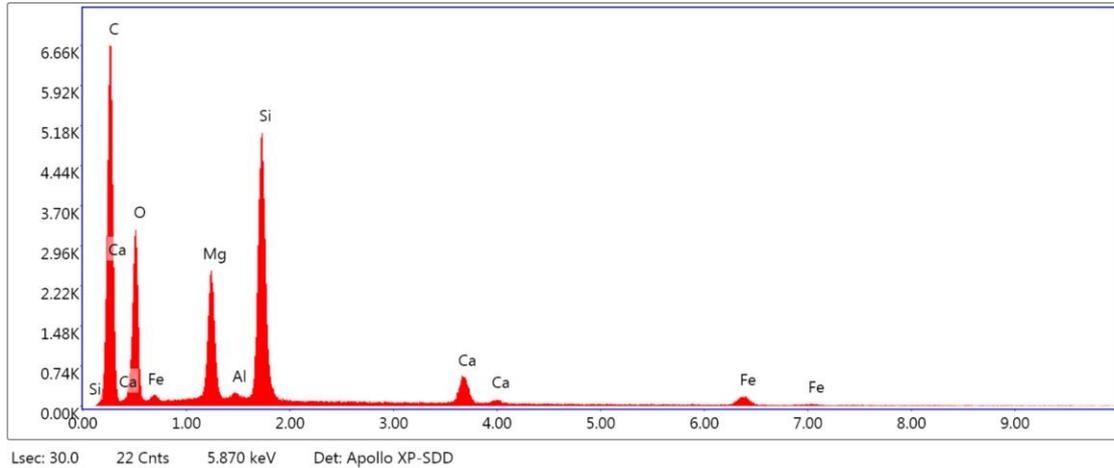


Illustration 21 : Images MEB et exemple de spectre obtenu à partir des fibres de l'échantillon MERFC037B.

3.2. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL « MOYEN »

Les six formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « moyen » correspondent principalement : (i) à des amphibolites et des gneiss amphibolitiques [219 ; 272 ; 281], (ii) à des cipolins et des gneiss à silicates calciques [225], (iii) à des enclaves basiques au sein d'un granite [285], et (iv) à des brèches et blocs ophiolitiques [106].

La liste des affleurements visités, à partir desquels ces formations géologiques ont été expertisées, est indiquée ci-après (Illustration 22).

CODE	COD_LEG	NOTATIO	DESCR	Affleurement	NSPA_previs
106	108	c1-2_br	Cénomaniens-Turonien ? : brèches et blocs ophiolitiques	/	3
219	217	ō	Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques	MERFC002, MERFC003, MERFC007, MERFC008, MERFC010, MERFC012, MERFC013, MERFC014, MERFC018, MERFC023, MERFC025, MERFC26, MERFC027, MERFC028, MERFC036, MERFC038, MERFC046, MERFC047	3
225	222	c(1)	Cipolins et gneiss à silicates calciques, dans des migmatites	MERFC005, MERFC006, MERFC021	3
272	264	ä	Amphibolites (para ou ortho)	MERFC080	3
281	268	ä(1)	Amphibolites (para ou ortho)	/	3
285	271	ã1ä	Granite de la Valmasque à enclaves basiques	MERFC060, MERFC061, MERFC062, MERFC063, MERFC064, MERFC065, MERFC066, MERFC067, MERFC068, MERFC069, MERFC070, MERFC071, MERFC072, MERFC073, MERFC074, MERFC075, MERFC076, MERFC077, MERFC078, MERFC079, MERFC081	3

Illustration 22 : Liste des affleurements visités correspondant aux formations géologiques de la zone du Mercantour préalablement affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « moyen ».

3.2.1. Brèches et blocs ophiolitiques [106]

La formation des brèches et blocs ophiolitiques (Cénomaniens-Turonien) appartient à un domaine géologique (domaine Liguro-Piémontais) très différent du domaine géologique du Mercantour (Domaine Dauphinois), et c'est la seule formation géologique qui appartient à ce domaine sur l'ensemble de la zone du Mercantour. Cette formation géologique est représentée par quatre petits polygones, en limite de zones situées près de la frontière avec le département des Alpes-de-Haute-Provence. Ce département ayant fait l'objet d'expertises dans le cadre du même projet de cartographie de la susceptibilité de présence d'amiante (cf. Plunder *et al.*, 2021), cette formation géologique « des brèches et blocs ophiolitiques » a été expertisée sur le terrain et en laboratoire dans le département 04. À l'issue de ces travaux un niveau de susceptibilité de présence d'amiante consolidé « nul à très faible » (niveau 1) a été attribué à cette formation géologique (Plunder *et al.*, 2021). De ce fait, cette même formation n'a pas fait l'objet d'expertises sur le territoire du département des Alpes-Maritimes, dans le cadre de la réalisation de la présente étude et un niveau de susceptibilité de présence d'amiante « nul à très faible » consolidé sera donc attribué à cette formation géologique (cf. paragraphe 4.1).

3.2.2. Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques

Description sur le terrain : Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques [219]

Les amphibolites et les gneiss amphibolitiques de cette formation ont été expertisés sur le terrain en différents endroits, en particulier le long de la Tinée (affleurements MERFC002, MERFC003, MERFC007, MERFC008, MERFC010, MERFC012, MERFC013, MERFC014, MERFC017, MERFC018, MERFC023, MERFC025, MERFC026, MERFC027, MERFC028) ainsi que près du col de la Lombarde (MERFC036, MERFC038, MERFC046, MERFC047).

Cette formation géologique « compréhensive » sur la carte géologique du département du 06 regroupe des niveaux d'amphibolites qui recoupent différentes formations géologiques gneissiques et migmatitiques (formations appartenant à plusieurs séries : Rabuons, Anelle...). Elles ont été observées **le long de la Tinée ainsi qu'au col de la Lombarde**. Les gneiss et migmatites encaissants ont également été observés en différents points, et leur description est traitée dans le chapitre 3.4 (« Formations de niveau de susceptibilité prévisionnel nul à très faible »).

Le long de la Tinée, il s'agit principalement d'amphibolites et de niveaux amphibolitiques d'épaisseur variable dans des gneiss et des migmatites. Ces amphibolites affleurent particulièrement bien dans une ancienne carrière (Isola ; affleurement MERFC023) ainsi que dans les talus de la route le long de la Tinée, après Isola vers le sud (affleurements MERFC025 à MERFC028). Ces amphibolites affleurent également après le col de la Bonette, dans la descente en direction de Saint-Étienne-de-Tinée (affleurements MERFC002 et MERFC003).

Attention : une erreur de codage existe sur la carte harmonisée du département 06 (Gonzalez, 2008) au niveau des affleurements visités où les amphibolites ont été injustement codées en « marno-calcaire indifférencié Néocomien ». Un recodage a été fait sur la carte géologique qui sert de support à la carte de susceptibilité de présence d'amiante consolidé, présentée à la fin de ce rapport ainsi que sous format SIG.

Ces amphibolites et gneiss amphibolitiques sont constitués de niveaux noirs riches en hornblendes et de niveaux leucocrates majoritairement feldspathiques (Illustration 23). Ces roches sont toujours bien foliées (avec une foliation souvent verticale) et plissées (plis isoclinaux à plans axiaux sub-verticaux et S1 plan axial des plis) (Illustration 23). Elles sont recoupées par des veines riches en chlorite +/- albite (parfois en peigne), parfois par des poches à épidote, ainsi que par de petits plans de faille à chlorite. De manière générale, ces amphibolites et gneiss amphibolitiques sombres ne présentent pas d'évidence de minéraux fibreux.

Néanmoins, localement, ces amphibolites contiennent des nodules fibroradiés boudinés dans la foliation (affleurement MERFC025 ; Illustration 24) et/ou être affectées par du métamorphisme en faciès schiste vert (hydrothermalisme dans des zones de cisaillement +/- minéralisées ? – affleurement MERFC003 ; Illustration 25).



Illustration 23 : Haut : Amphibolites plissées et foliées (S1 verticale, plan axial des plis isoclinaux) (affleurement MERFC027). Milieu : fente à quartz-albite-chlorite recoupant une amphibolite (gauche) et alternances amphibolites/gneiss classiquement observées (droite) (affleurement MERFC024). Bas : amphibolite à plans et veines à chlorite (gauche : affleurement MERFC012 ; droite : affleurement MERFC017).

Sur l’affleurement MERFC025, qui est constitué d’amphibolites et de gneiss amphiboliques, il existe des nodules boudinés dans la foliation, de couleur verte intense, constitués de baguettes vertes d’amphibole associées à des phyllosilicates (talc possible ?) (Illustration 24). Une fois cassés, ces nodules apparaissent constitués d’amphiboles, de chlorites et de micas. les amphiboles pouvant être fibreuses (Illustration 24). Ces nodules sont intensément schistosés, et assez friables. Un échantillon de ces nodules a été prélevé et analysé au laboratoire (MERFC025) pour confirmer la nature fibreuse des amphiboles qu’il contient.



Illustration 24 : Amphibolites foliées (en haut à gauche) contenant des nodules verts à amphiboles associées à des phyllosilicates (talc possible) (en haut à droite et en bas). Affleurement MERFC025.

L’affleurement MERFC003 correspond à des amphibolites affectées par une zone de déformation et de circulation de fluides, minéralisée. Les amphibolites sont affectées par de nombreux plans de faille, riches en chlorites +/- amphiboles (Illustration 25). Ces amphibolites sont aussi recoupées par des réseaux de veines et de fentes (épaisseur centimétrique à pluricentimétrique), dont certaines sont constituées d’amphiboles vertes soyeuses et brillantes (actinolite fibreuse probable) (Illustration 25).



Illustration 25 : Zone de cisaillement minéralisée et plan de faille recoupant un niveau d'amphibolites et de gneiss amphiboliques (haut). En bas, à gauche : détail d'un plan porteur d'amphiboles potentiellement fibreuses, prélevé dans les amphibolites. En bas, à droite : veine fibreuse d'aspect soyeux et brillant, recoupant des amphibolites (affleurement MERFC003).

Les amphibolites près du col de la Lombarde (affleurements MERFC036, MERFC038, MERFC046, MERFC047) correspondent à des boudins d'amphibolites emballés dans des gneiss migmatitiques et sont plus à rapprocher des amphibolites à grenat et des anciennes éclogites, pourtant cartographiées comme une formation à part entière sur la carte géologique harmonisée (formation [227]). Sur le terrain, ces amphibolites sont sombres, +/- grossières, constituées principalement de hornblendes (Illustration 26). Elles sont recoupées par des veinules et des fentes à albite +/- chlorite (parfois épidote) mais aucune fente ni veine à amphibole fibreuse n'a été observée sur le terrain dans ces lithologies. Aucun nodule (cf. ci-dessus) n'a également été observé, en association avec ces amphibolites.



Illustration 26 : Haut : Massif d'amphibolites au col de la Lombarde (affleurement MERFC036).
Bas : Amphibolites à fentes en échelons (à gauche) et amphibolites à grosses amphiboles noires non fibreuses, recoupées par des veinules plagioclasiques (à droite) (affleurement MERFC046).

Analyses en laboratoire sur les amphibolites massives ou rubanées et les gneiss amphibolitiques [219]

Cinq lames minces ont été réalisées à partir d'amphibolites de cette formation géologique, toutes échantillonnées dans la vallée de la Tinée (MERFC002, MERFC003A, MERFC003B, MERFC023A, et MERFC025). Les amphiboles de ces cinq lames minces ont ensuite été analysées à la microsonde électronique et pour certaines d'entre elles au MEB (MERFC003A, MERFC003B, MERFC023A, MERFC025). Des fibres isolées, prélevées dans une veine fibreuse ont également été analysées au MEB (MERFC003C).

Au MOLP, la lame mince MERFC002 correspond à une amphibolite massive, foliée, plagioclasique. Elle est constituée de très abondants cristaux prismatiques d'amphibole verte (magnésio-hornblende ; Illustration 27 et annexe 4), soulignant la foliation. Ces amphiboles ne présentent pas d'habitus fibreux. Elles sont associées à d'abondants cristaux de plagioclases +/- damouritisés, étirés également dans la foliation. Des cristaux de spinelle sont localement étirés dans la foliation, et sont particulièrement présents dans des niveaux fins. Les opaques sont rares, associés aux spinelles. L'apatite et le sphène sont accessoires. Aucune veine ne recoupe cette amphibolite foliée. Aucune serpentine n'a été observée au MOLP dans cette roche. Les amphiboles sont présentes dans cette lame mince n'ont ni la composition chimique (magnésio-hornblende) de l'une des cinq amphiboles réglementées au titre de l'amiante, ni les caractéristiques dimensionnelles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon n'est donc pas amiantifère.

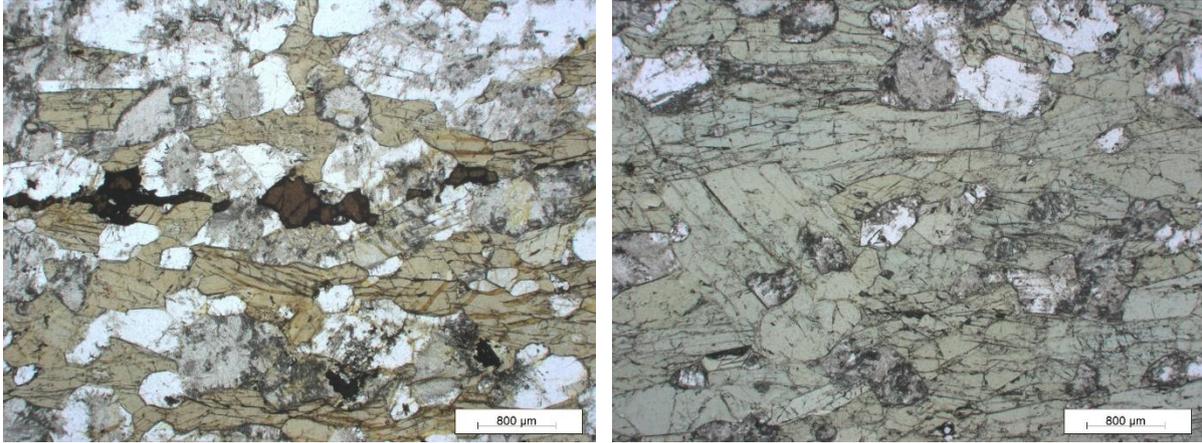
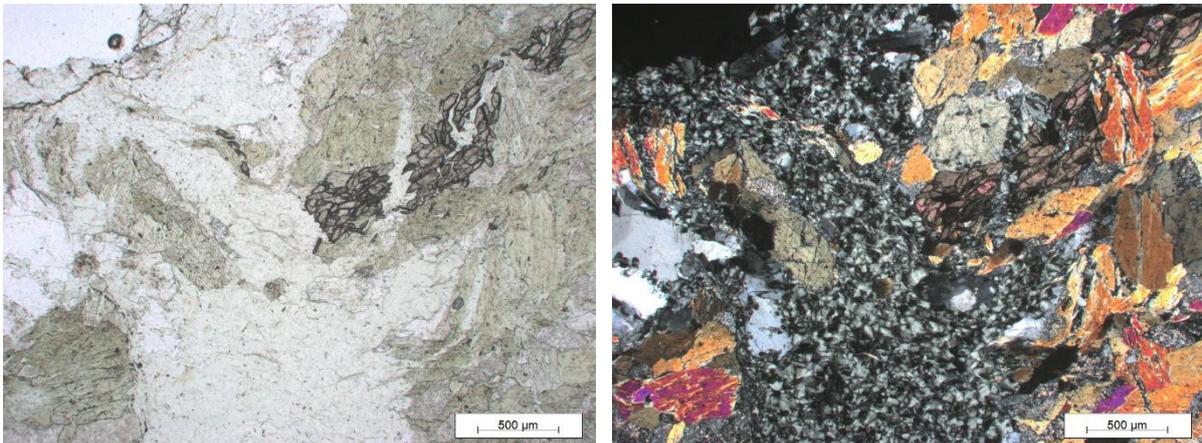


Illustration 27 : Amphibolite plagioclasique riche en amphiboles vertes prismatiques (Mg-hornblendes) (LPNA) – lame MERFC002.

Au MOLP, la lame mince MERFC003A correspond à amphibolite constituée d'abondants cristaux xénomorphes d'amphiboles verdâtres, parfois prismatiques (Mg-hornblendes ; annexe 4), mais qui montrent aussi des extrémités fibreuses par endroits (actinolites ; annexe 4) (Illustration 28). Dans la foliation, d'abondants cristaux de plagioclase étirés et damouritisés sont présents. Le quartz est aussi abondant, en particulier dans des veines. Des niveaux riches en chlorite et en épidote soulignent également la foliation. Cette amphibolite est cataclasée. Le sphène est aussi très abondant. L'apatite et le zircon sont accessoires. Aucune serpentine n'a été observée dans cette roche au MOLP. Les amphiboles vertes présentes dans la lame sont localement fibreuses. Les analyses réalisées à la microsonde électronique (annexe 4) ont montré que ces amphiboles vertes avaient des compositions de magnésio-hornblende et d'actinolite, les amphiboles les plus fibreuses étant toutes de nature actinolitique (Illustration 28).



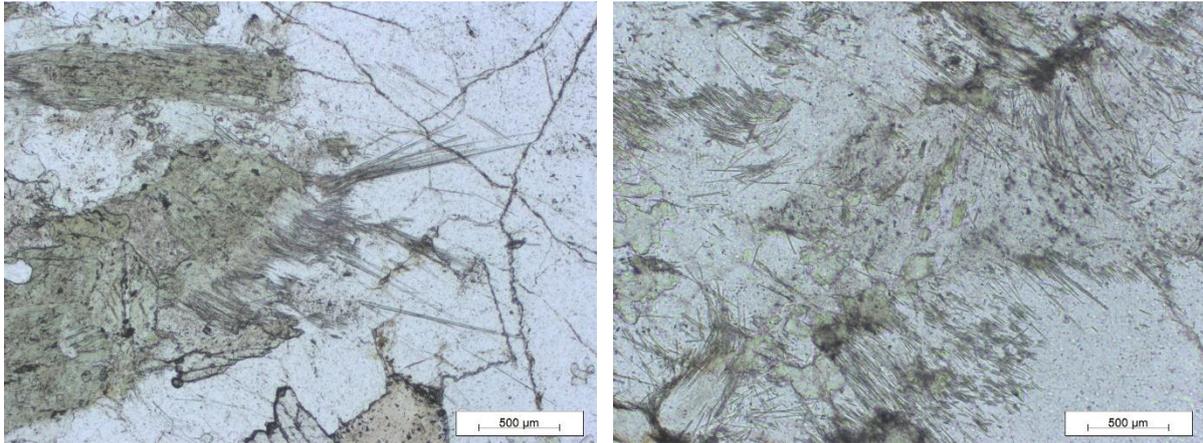
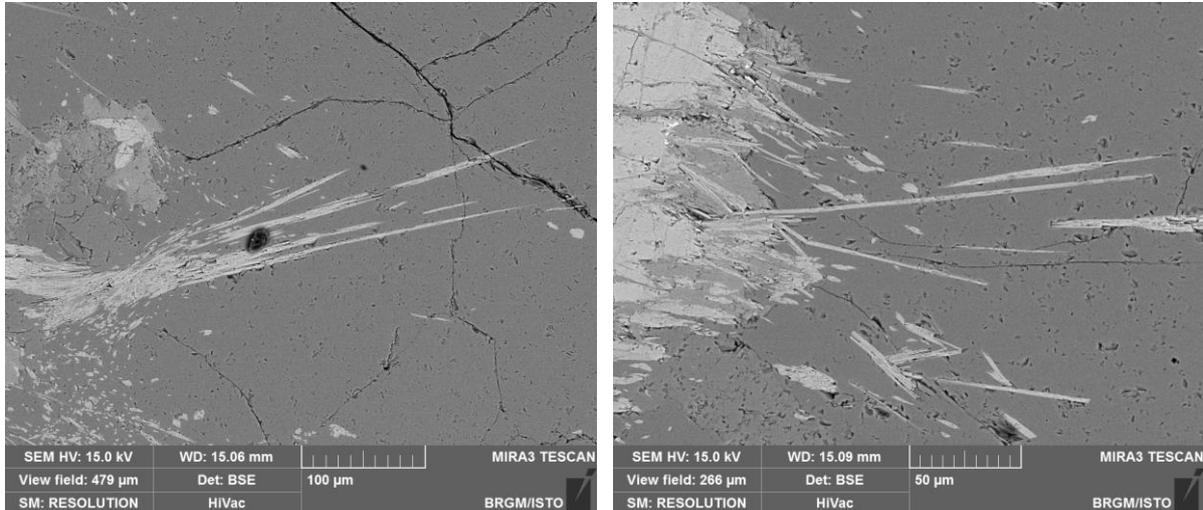


Illustration 28 : Haut : Amphibolite cataclasée riche en amphiboles vertes (Mg-hornblendes et actinolites) et chlorite (+ sphène, plagioclase, quartz). Bas, amphiboles vertes prismatiques (Mg-hornblendes) se délitant à leurs extrémités en fibres et en amas de fibrilles et de fibres incolores à verdâtres (actinolites) (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA) – lame MERC003A.

Les images acquises au microscope électronique à balayage montrent que cet échantillon est constitué par des particules fibriformes plus ou moins allongées et épaisses, à bords le plus souvent parallèles mais présentant des terminaisons et des bordures variables (pointues, biseautées, en marches d'escalier, ...) (Illustration 29). Le caractère amiantifère de ces particules n'est pas démontré (absence de fibrilles souples en particulier). Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphibole calcique de type actinolite ; Illustration 29).



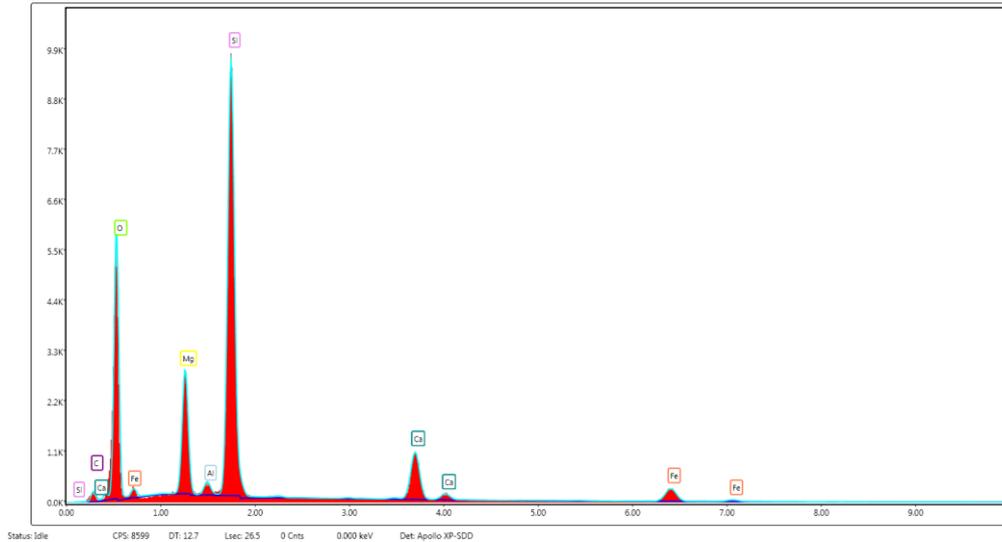


Illustration 29 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC003A.

Conclusions sur la lame mince MERFC003A : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique (actinolite) correspondant à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Néanmoins, la présence de telles fibres EPA, bien que non observées, ne peut être complètement exclue. Cet échantillon n'est pas amiantifère mais est clairement susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, pour une partie, à des fibres inhalables au sens de l'OMS et d'être assimilés à des fibres d'amiante, en particulier par application de l'arrêté du 1^{er} octobre 2019.

L'échantillon MERFC003B a été prélevé dans une amphibolite. Au MOLP, cette roche est très similaire à l'échantillon MERFC003A. Elle est constituée d'abondants cristaux xénomorphes d'amphiboles verdâtres (magnésio-hornblendes ; annexe 4), parfois prismatiques, mais qui montrent souvent des extrémités fibreuses (actinolites ; annexe 4) (Illustration 30). Associés aux amphiboles et soulignant aussi la foliation, on trouve d'abondants cristaux de plagioclases étirés et damouritisés. Des niveaux riches en chlorite et en épidote soulignent aussi la foliation. Cette amphibolite est cataclasée. Le sphène est aussi très abondant et du carbonate (calcite) présent en faible proportion. À la différence de la lame MERFC003A, cette roche est recoupée par d'abondantes veines à chlorite et/ou carbonate (calcite) et/ou actinolite très fibreuse et/ou muscovite. Des fibres potentiellement asbestiformes d'actinolite sont aussi visibles en inclusions dans des cristaux d'albite (Illustration 30). L'apatite et le zircon sont accessoires. Aucune serpentine n'a été observée dans cette lame mince. Les amphiboles vertes présentes dans la lame sont souvent prismatiques (Mg-hornblendes dans la foliation) mais aussi parfois très fibreuses (actinolites). Les analyses réalisées à la microsonde électronique (annexe 4) ont montré que ces amphiboles avaient des compositions de magnésio-hornblende et d'actinolite, les amphiboles les plus fibreuses étant de nature actinolitique.

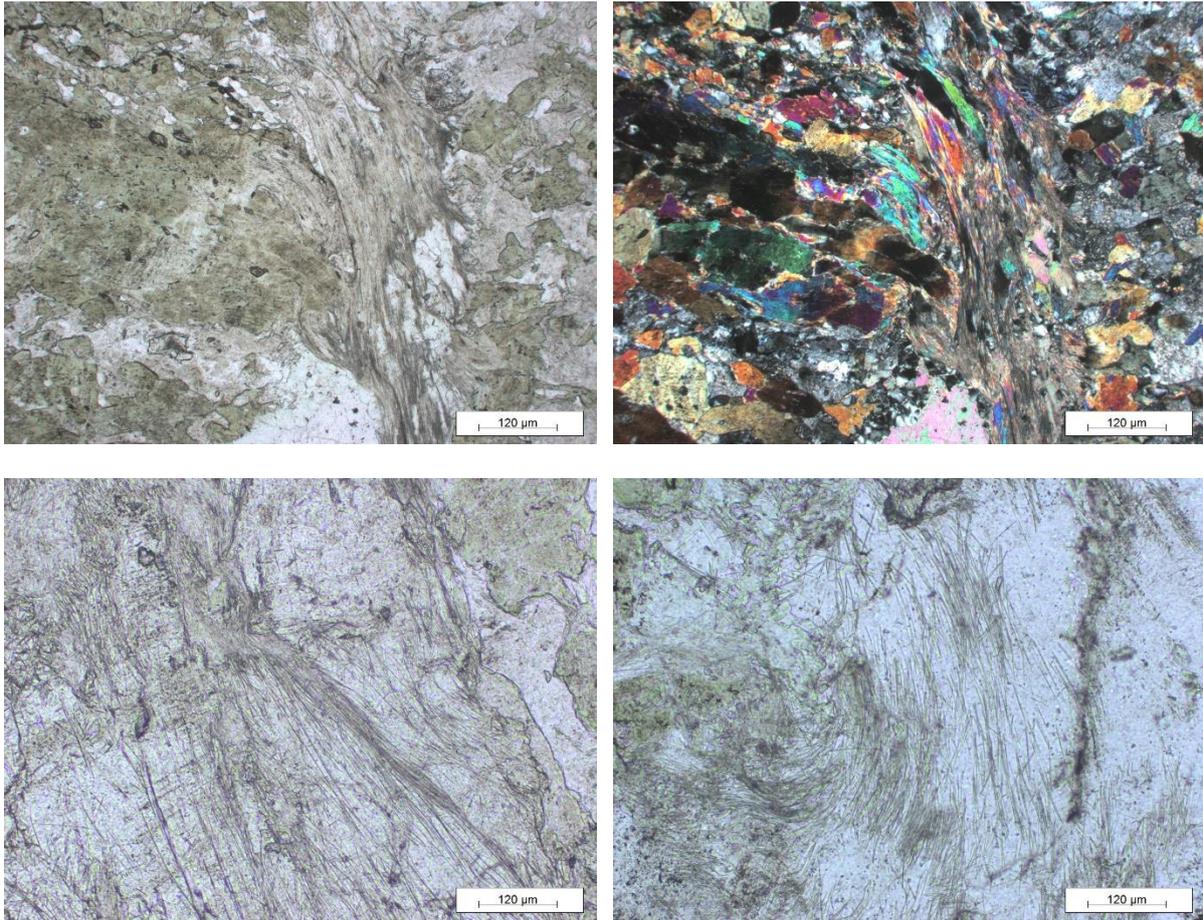


Illustration 30 : Haut, amphibolite cataclasée riche en amphibole verte (Mg-hornblende), parfois fibreuse (actinolite). Bas, amphiboles vertes (Mg-honblendes / actinolites) se délitant en fibres et fibrilles très fines (d'actinolite) et amas de fibrilles d'actinolite-amiante, dans une veine albitique (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA) – lame MERFC003B.

Les résultats obtenus au MEB confirment la nature fibreuse des amphiboles de l'échantillon MERFC003B. Les images acquises au microscope électronique à balayage montrent que cet échantillon est constitué par des fibrilles et des fibres allongées à bords parallèles, parfois très fines ($D \ll 3 \mu\text{m}$) et rectilignes et pouvant localement être courbes (Illustration 31). Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphibole fibreuse de type actinolite ; Illustration 31). Cet échantillon peut être déclaré amiantifère.

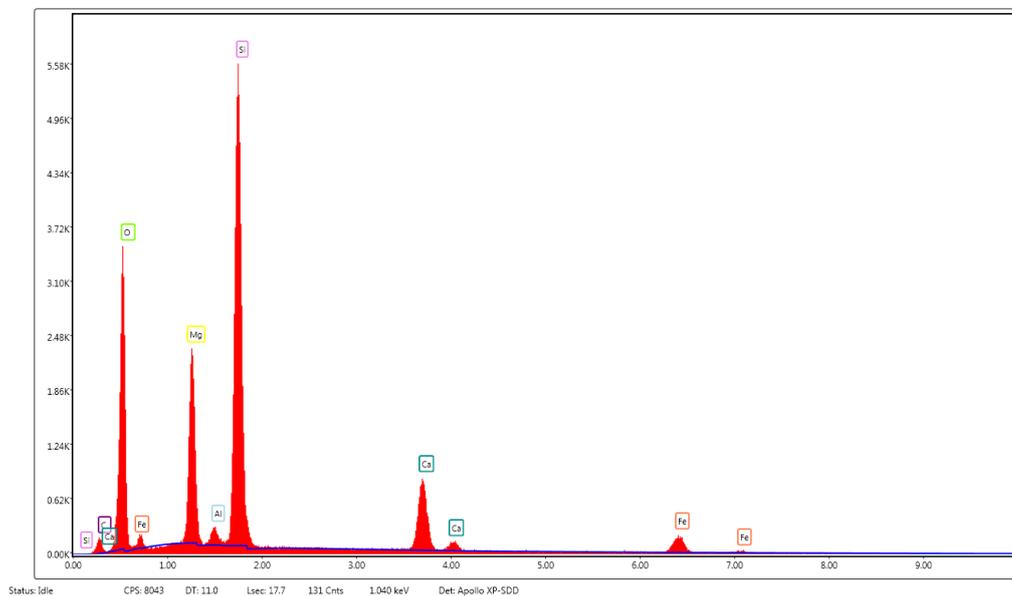
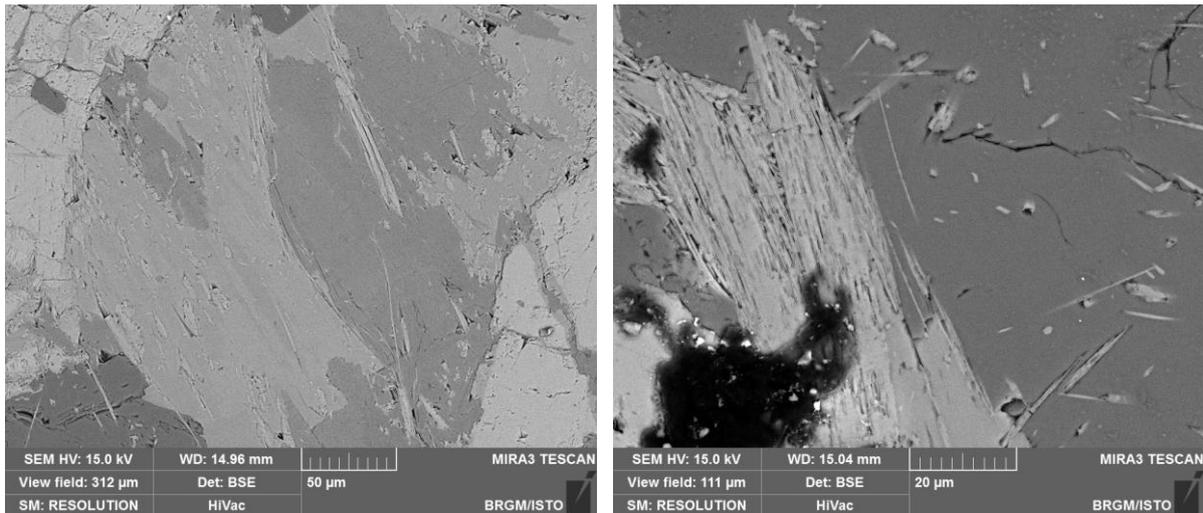
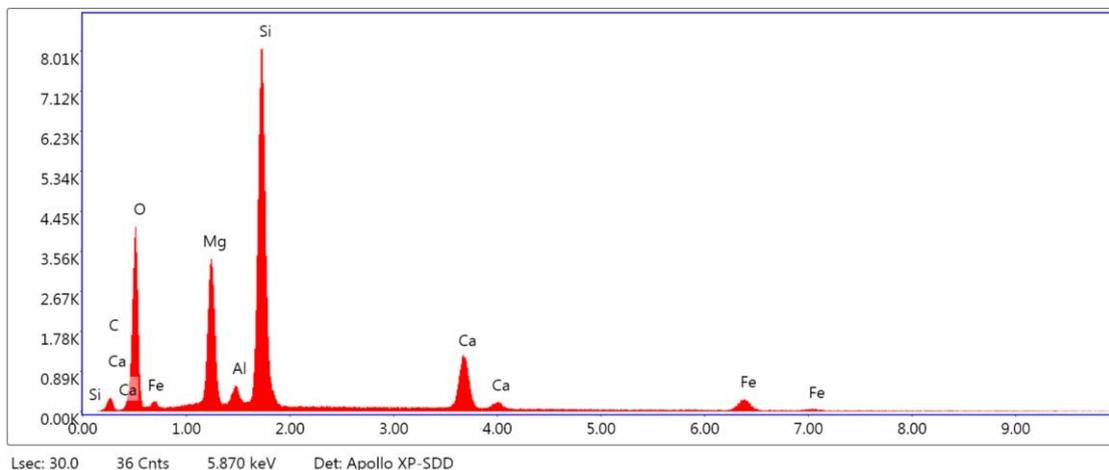
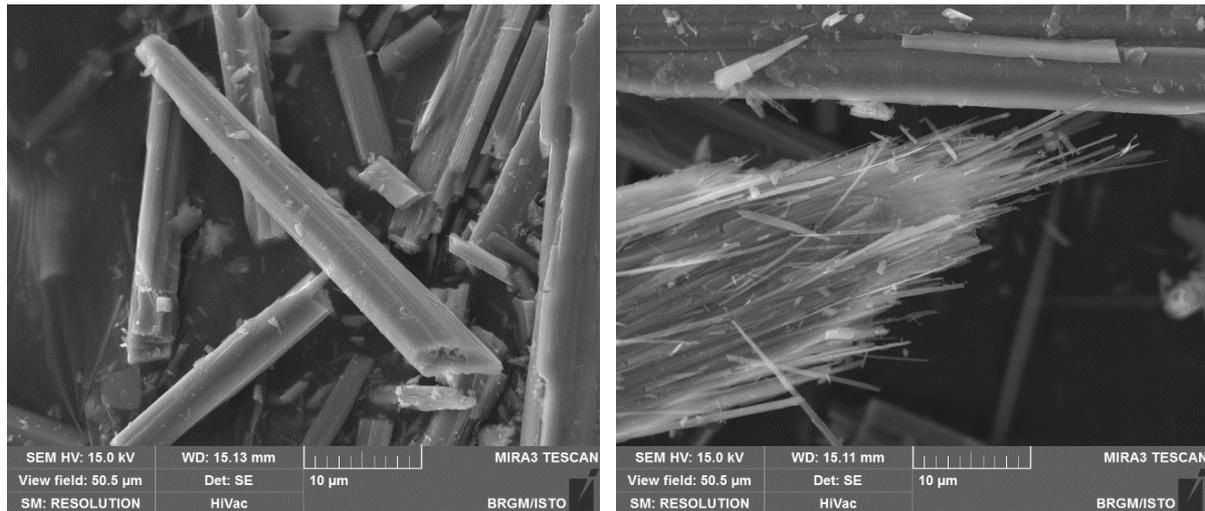


Illustration 31 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC003B.

Conclusions sur la lame mince MERFC003B : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique (actinolite) correspondant 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 (1993), du moins pour une fraction d'entre elles. Cet échantillon est amiantifère (présence de fibres d'actinolite-amiante).

L'échantillon MERFC003C correspond à des fibres prélevées dans une veine recoupant des amphibolites. Les analyses réalisées au MEB confirment la nature fibreuse de cet échantillon, la présence de fibres au sens de l'OMS et de faisceaux (Illustration 32). Les analyses EDS indiquent une composition chimique de type actinolite pour les fibres courtes ainsi que pour le faisceau de fibres longues, pour certaines asbestiformes (Illustration 32).



Weight %	1	2	3	4	5	6	Moyenne
MgO	19,40	16,00	17,19	18,06	15,80	17,22	17,28
Al ₂ O ₃	2,98	1,56	1,62	2,92	1,59	1,99	2,11
SiO ₂	55,54	53,78	55,07	55,48	53,28	54,70	54,64
K ₂ O	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
CaO	13,44	15,85	14,51	14,58	17,54	15,11	15,17
FeO	8,43	12,49	11,62	8,96	11,78	10,98	10,71
Cl	0,09	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07

Illustration 32 : Images, spectre et analyses EDS réalisées à partir de fibres d'amphiboles de l'échantillon MERFC003C.

Conclusions sur l'échantillon MERFC003C : les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique (actinolite) correspondant 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 (1993), du moins pour une fraction d'entre elles. Cet échantillon est amiantifère (présence de fibres d'actinolite-amiante).

L'échantillon MERFC023A a été prélevé dans une carrière d'amphibolites et correspond à une amphibolite litée plagioclasique. Au MOLP, la lame mince est constituée d'abondants cristaux d'amphiboles vertes, prismatiques à xénomorphes, soulignant la foliation, associés à de très abondants cristaux de plagioclases altérés (damouritisés) (Illustration 33). Ces amphiboles se dissocient localement en fines aiguilles verdâtres de composition ferro-actinolitique (annexe 4). Des chlorites et des biotites partiellement à totalement chloritisées sont associées aux amphiboles vertes. Des petits cristaux d'épidote et de sphène sont accessoires. La roche est recoupée à l'emporte-pièce par une veine carbonatée, associée à des micas blancs (petites lamelles de muscovite). De couloirs de circulation de fluides (sans ouverture ni cristallisation de nouveaux minéraux) sont marqués par la « décoloration » locale des amphiboles recoupées par ces couloirs, et localement la cristallisation d'aiguilles d'amphibole verdâtre (ferro-actinolites) (Illustration 33). Les opaques sont disséminés. Aucune serpentine n'a été observée dans cette lame mince.

Les amphiboles sont présentes en quantité importante dans cette lame mince et présentent un faible pléochroïsme dans les verts. Il s'agit principalement de cristaux de ferro-actinolites présents sous forme de baguettes et de prismes étirés dans la foliation. Parfois, ces ferro-actinolites s'effilochent en aiguilles (amphibole vert pâle) (Illustration 33 ; annexe 4). Des amas aciculaires sont également visibles. Néanmoins, ces ferro-actinolites ne semblent pas asbestiformes au MOLP.

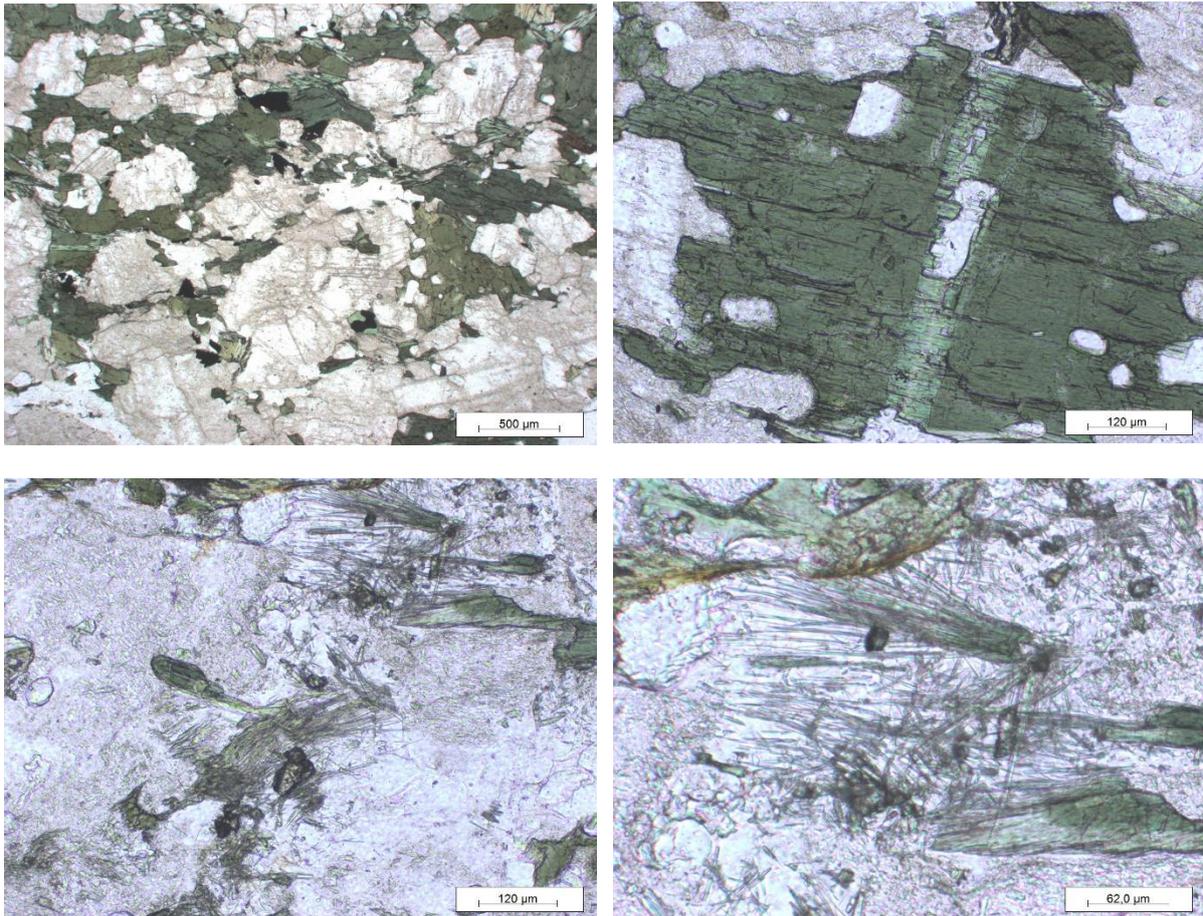


Illustration 33 : Haut : amphibolite plagioclasique (à gauche) et amphibole verte prismatique « décolorée » et actinolitisée par une circulation de fluides (à droite). Bas : amphiboles vertes s'effilochant en cristaux verts clairs, aciculaires, parfois de très petite taille (ferro-actinolite) – lame MERFC023A (haut et bas : LPNA).

Les images acquises au microscope électronique à balayage sur la lame MERFC023A montrent que l'échantillon est constitué par des particules fibreuses et fibriformes hétérométriques, plus ou moins allongées et épaisses (Illustration 34). Ces particules peuvent avoir un diamètre inférieur à 3 µm. Elles semblent néanmoins provenir de la fragmentation de cristaux initialement tridimensionnels mais déjà très altérés et prédissociés. On notera en particulier l'absence de fibres souples. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphiboles calciques de type actinolite ; Illustration 34). Sans être clairement amiantifères, cet échantillon et les matériaux qu'il représente sont probablement en capacité de libérer des fibres inhalables (OMS) s'ils sont sollicités d'un point de vue mécanique.

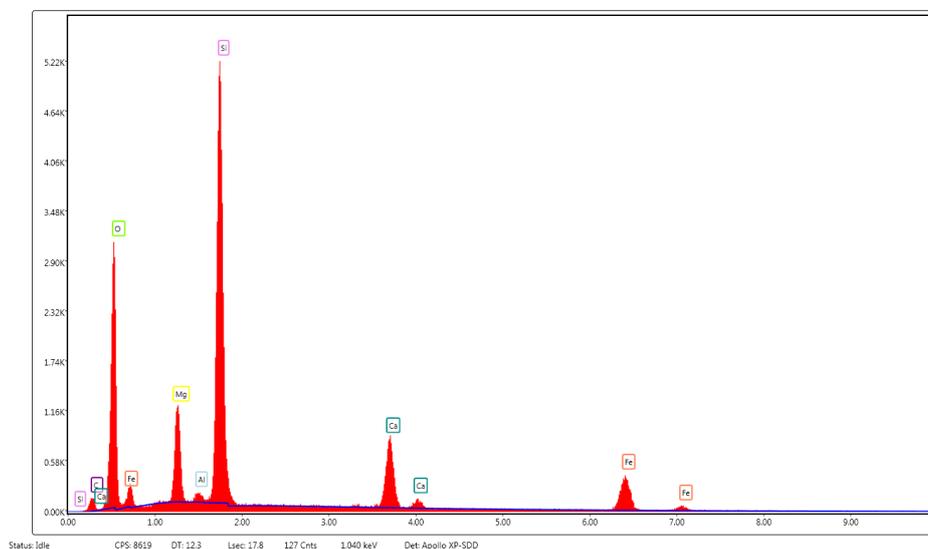
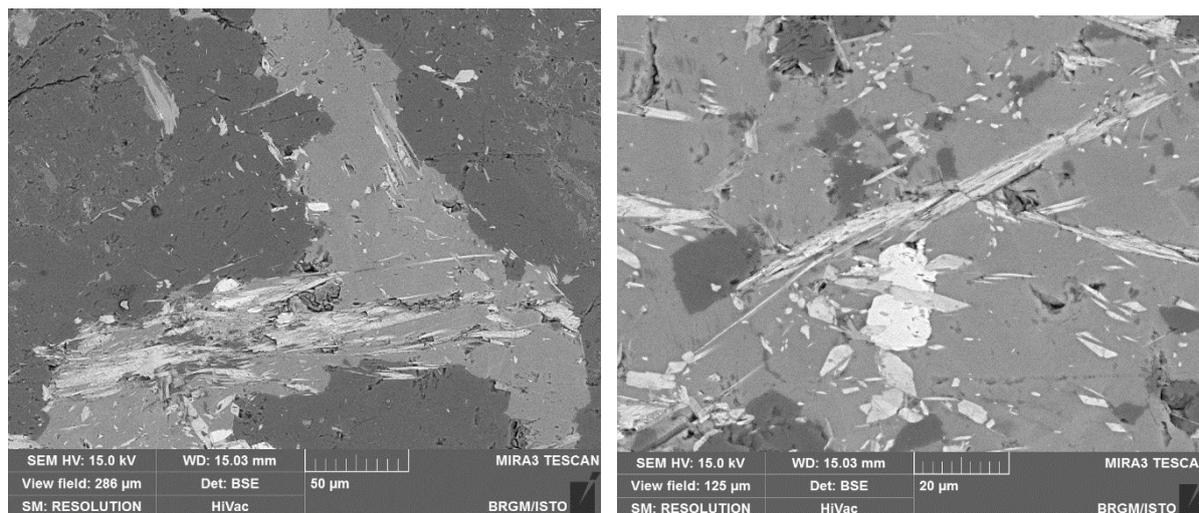


Illustration 34 : Images MEB et exemple de spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC023A.

Conclusions sur la lame mince MERFC023A : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique (ferro-actinolite) proche de l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante (actinolite) et leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon n'est pas amiantifère mais est susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, pour une fraction d'entre eux, à des fibres inhalables au sens de l'OMS.

La lame mince MERFC025 a été taillée dans un nodule sombre, entouré d'une couronne réactionnelle, prélevé dans des amphibolites. AU MOLP, il s'agit d'une amphibolite très riche en cristaux d'amphibole incolore, parfois de grande taille et automorphes, parfois plus aciculaires (actinolite et anthophyllite) (Illustration 35 ; annexe 4). Les cristaux de grande taille sont parfois des anthophyllites et parfois des actinolites (Illustration 35 ; annexe 4). Ces cristaux prismatiques ont tendance à se dissocier en fibrilles fines, localement courbes. Ces cristaux plus fibreux correspondent aussi à une association étroite entre ces deux espèces minérales. Ces amphiboles ne présentent pas particulièrement d'orientation privilégiée (absence de foliation). Ces amphiboles sont associées étroitement à d'abondantes plages de chlorite. De nombreux petits cristaux d'opaques sont disséminés. Ces minéraux montrent une altération/oxydation avec de nombreux exsudats de fer. L'apatite et le sphène sont accessoires. Aucune serpentine n'a été observée au MOLP dans cette lame mince.

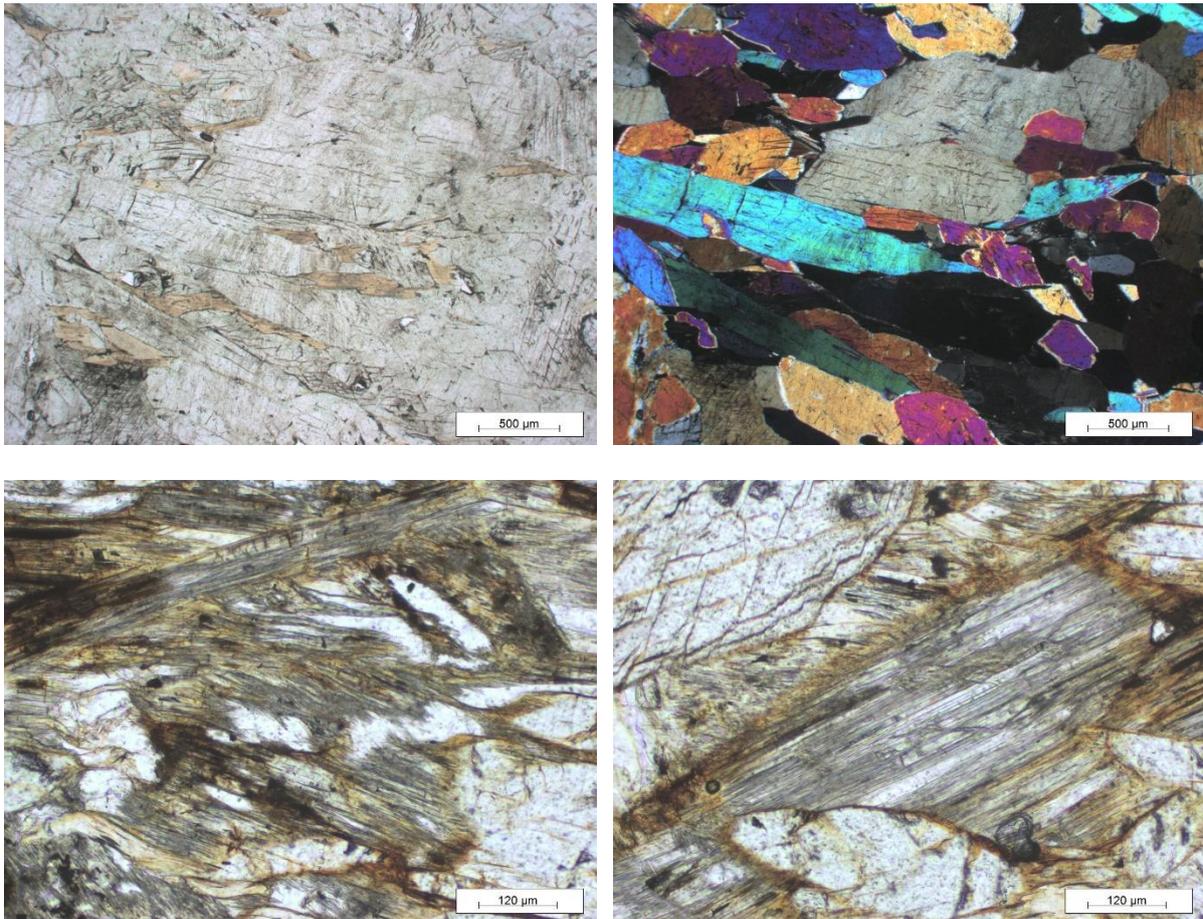


Illustration 35 : Haut : amphibolite à cristaux prismatiques d'actinolite (+/- anthophyllite ?). Bas, fibres d'actinolite et d'anthophyllite, provenant de la dégradation de cristaux prismatiques au sein d'une amphibolite – lame MERFC025 (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA).

Les images acquises au microscope électronique à balayage confirment le caractère fibreux de l'échantillon MERFC025. Les fibres observées sont de taille variée. La plupart ont des bords subparallèles et un rapport d'allongement élevé (Illustration 36). Leur diamètre est variable. Des fibrilles, subordonnées, résultent de la dissociation de ces fibres rectilignes. Ces fibrilles peuvent localement être courbes, potentiellement asbestiformes, avec un diamètre inférieur à 1 µm (Illustration 36 ; annexe 4). Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphiboles calciques de type actinolite ; Illustration 36).

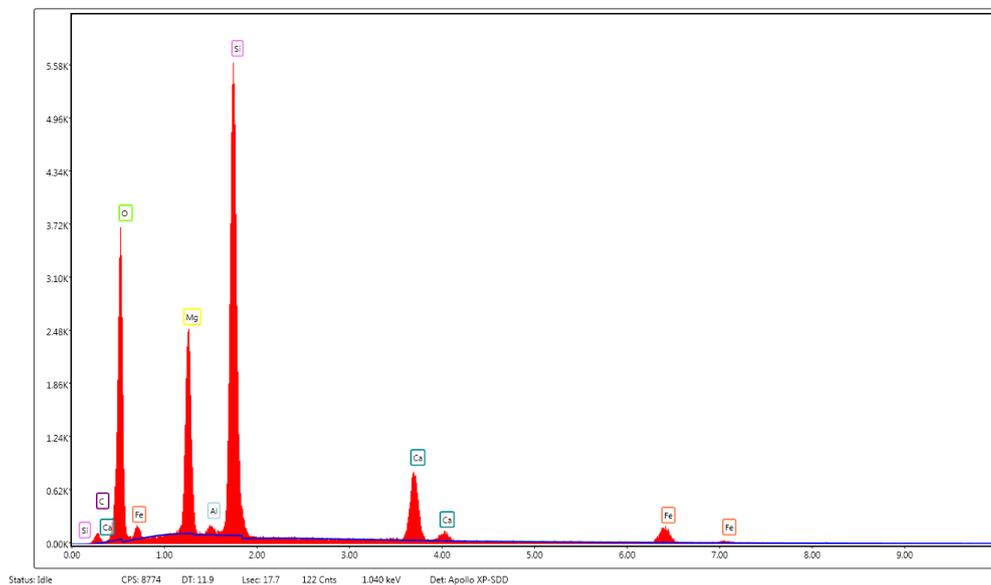
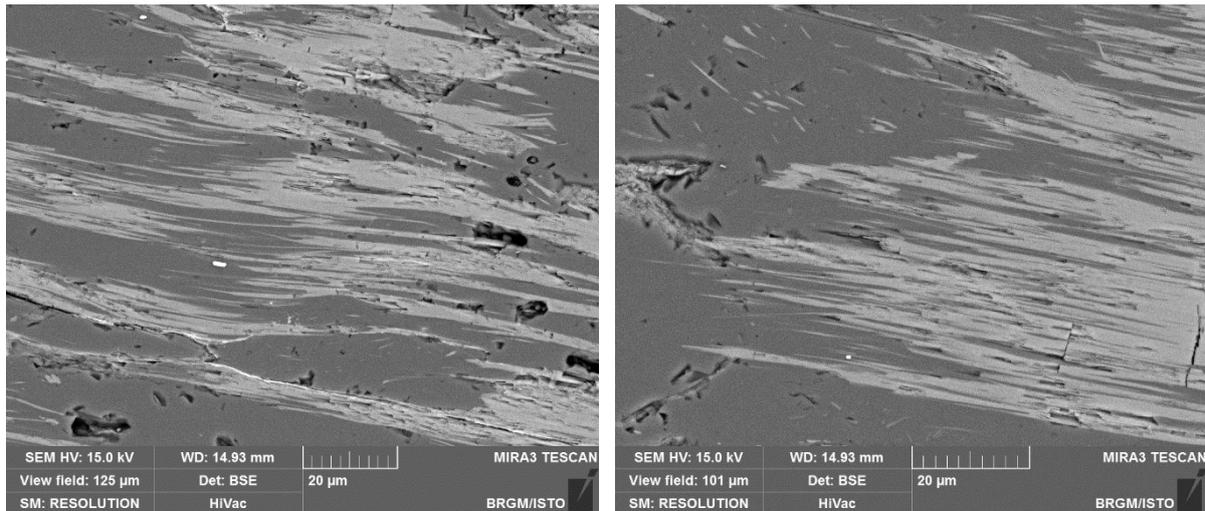


Illustration 36 : Images MEB et exemple de spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC025.

Conclusions sur la lame mince MERFC025 : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique correspondant à deux des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante (actinolite, anthophyllite) mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne semblent pas être celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Néanmoins, la présence de telles fibres EPA, bien que non observées, ne peut être complètement exclue. Cet échantillon n'est pas amiantifère mais il est clairement susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite, anthophyllite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, du moins pour une fraction d'entre eux, à des fibres inhalables au sens de l'OMS et d'être assimilés à des fibres d'amiante, en particulier par application de l'arrêté du 1^{er} octobre 2019.

3.2.3. Amphibolites (para ou orthodérivées) [272 ; 281]

a) Description sur le terrain : Amphibolites (para ou orthodérivées) [272 ; 281]

Les amphibolites (para- ou orthodérivées) des formations [272] et [281] correspondent aux mêmes roches. Il s'agit en particulier de boudins d'amphibolites dans les « migmatites de Fenestre » et dans le « granite à enclaves basiques ».

Les amphibolites de la formation [272] n'ont pas été observées dans le cadre de la présente étude. Elles affleurent en particulier vers les monts Neiglier et Clapier, et ont été décrites dans l'article de Jouffray *et al.* (2020). Elles correspondent à des niveaux amphiboliques boudinés dans les migmatites de Fenestre. Ces niveaux sont en tous points similaires aux « enclaves basiques » du « granite à enclaves basiques » (cf. description ci-dessous).

Les amphibolites de la formation [281] affleurent vers le refuge de la Valmasque, au contact avec « le granite à enclaves basiques » (cf. ci-dessous). Elles ont été observées sur l'affleurement MERFC080. Sur cet affleurement, les amphibolites se présentent sous forme d'un niveau épais amphibolique (donc cartographiable au 1/50 000 et cartographié par un seul polygone sur la carte départementale harmonisée du département 06) au contact du (dans le ?) « granite à enclaves basiques ». Les roches qui sont observées correspondent à des amphibolites plagioclasiques, +/- litées/foliées, recoupées par des veinules feldspathiques (à chlorite +/- quartz +/- épidote) et passant latéralement à des niveaux plus leucocrates et gneissiques (« granite à enclaves basiques ») (Illustration 37). Ces amphibolites ne semblent pas renfermer d'occurrences fibreuses.



Illustration 37 : Amphibolites près du refuge de la Valmasque (affleurement MERFC080).

b) Analyses en laboratoire sur les Amphibolites (para ou orthodérivées) [272 ; 281]

Aucune analyse n'a été réalisée à partir de l'échantillon MERFC080 correspondant à ces amphibolites.

3.2.4. Granite de la Valmasque à enclaves basiques [285]

a) Description sur le terrain : Granite de la Valmasque à enclaves basiques [285]

Vingt-et-un affleurements ont été expertisés sur le terrain, dans la formation du « granite à enclaves basiques » (MERFC060, MERFC061, MERFC062, MERFC063, MERFC064, MERFC065, MERFC066, MERFC067, MERFC068, MERFC069, MERFC070, MERFC071, MERFC072, MERFC073, MERFC074, MERFC075, MERFC076, MERFC077, MERFC078, MERFC079, MERFC081). Ce granite est considéré dans la notice de la carte géologique de Saint-Martin-de-Vésubie - Le Boréon, comme un granite d'anatexie, avec un passage progressif vers les anatexites de Fenestre. Ce granite contient localement de nombreuses enclaves de compositions variées. Ce sont ces enclaves qui ont fait l'objet de prélèvements et d'analyses dans le cadre de cette étude.

Les observations de terrain ont tout d'abord permis de montrer que le « granite à enclaves » n'est pas un granite à proprement parler mais correspond plutôt à des migmatites dont les termes les plus aboutis correspondent à des termes granitiques (granite d'anatexie). Néanmoins, l'ensemble du caisson correspond bien plus à des « migmatites à enclaves » qu'à un « granite à enclaves ».

Les amphibolites sont effectivement très abondantes au sein des migmatites de Fenestre et du « granite de Valmasque à enclaves ». Elles correspondent principalement à des enclaves et des niveaux discontinus dans les migmatites (affleurements MERFC060, MERFC062, MERFC064, MERFC065, MERFC066, MERFC067, MERFC069, MERFC070, MERFC071, MERFC072, MERFC073, MERFC074, MERFC077, MERFC078) ainsi qu'à des nodules d'actinolite (affleurements MERFC068, MERFC079, MERFC081) boudinés au sein des migmatites (Illustration 38). Les amphibolites (et les rares granulites associées) se présentent sous forme de niveaux foliés et d'enclaves sombres (noires) boudinées dans la foliation migmatitique. Ces enclaves sont parfois riches en grenat (affleurement MERFC076) mais sont le plus souvent constituées d'amphiboles prismatiques noires +/- plagioclase. Elles ne présentent pas, à l'affleurement, d'évidence d'occurrences fibreuses.





Illustration 38 : Enclaves et niveaux d'amphibolites à amphibole noire prismatique au sein du « granite à enclaves » (migmatites de Fenestre). Haut : enclaves et niveaux d'amphibolites boudinées dans la foliation migmatitique (affleurements MERFC067 et MERFC070). Bas : boudin d'amphibolite observé sous le refuge de Valmasque (MERFC060).

Localement, il est possible de trouver des nodules fibroradiés verts à verdâtres, constituant des « boules » avec un cœur sombre (roche plus saine) à verdâtre (roche altérée) riche en amphiboles fibreuses, et d'une bordure verte (auréole réactionnelle) à cristallisations fibroradiées (nodules de roches ultrabasiques avec des auréoles réactionnelles au contact des migmatites ?) (Illustration 39). Ces nodules fibroradiés sont peu abondants mais disséminés dans les migmatites (affleurements MERFC068, MERFC079, MERFC081).



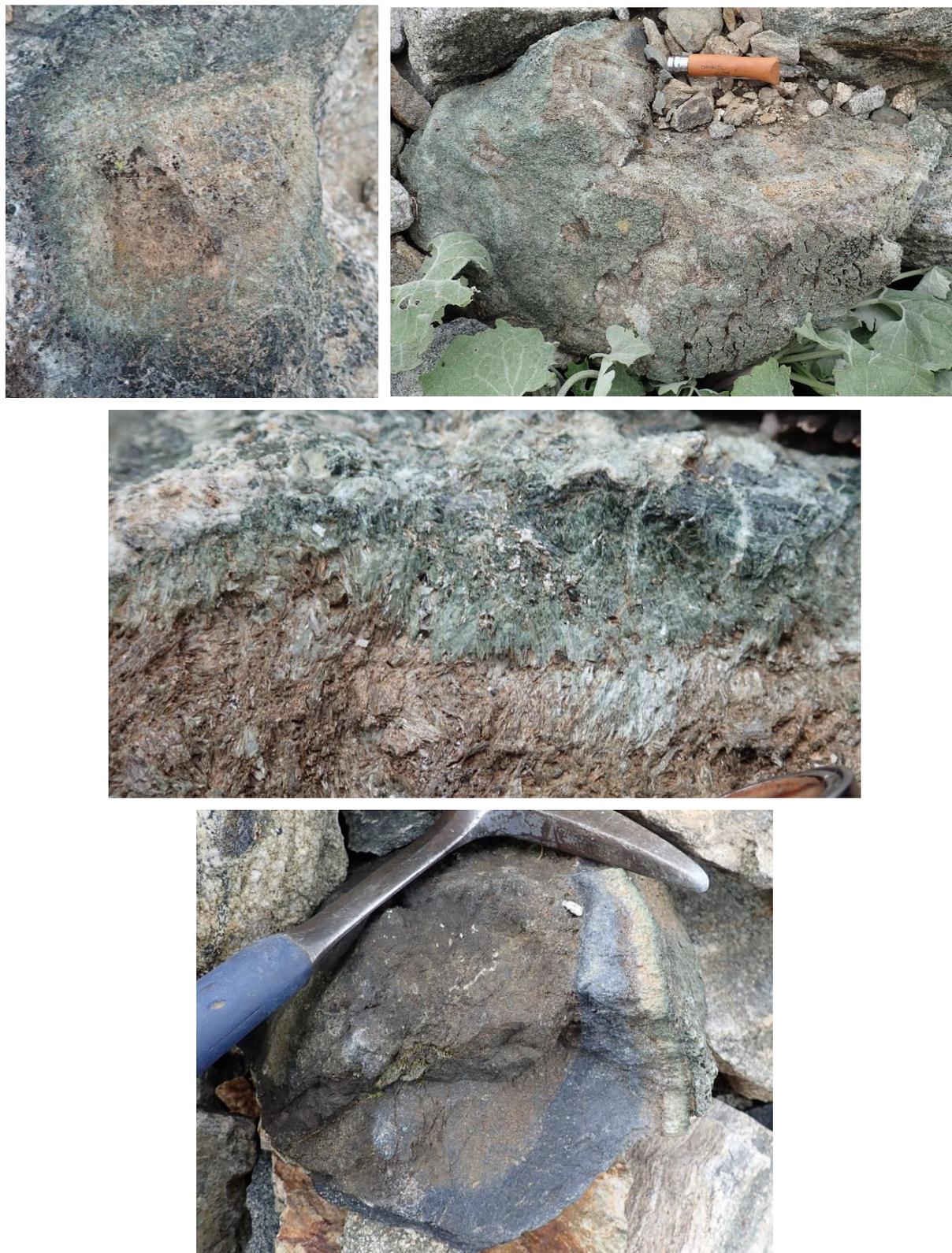


Illustration 39 : Haut, 2^e et 3^e lignes : Nodule à cœur verdâtre entouré d'une auréole réactionnelle fibroradiée, associé à des enclaves d'amphibolites sombres (riches en amphiboles prismatiques), au sein de migmatites (affleurement MERFC068). Bas, bloc éboulé de nodule de roche (ultra)basique sombre entouré d'un auréole réactionnelle fibroradiée verte (MERFC081).

Par ailleurs, des enclaves calcaires (Col de la Fous) à assemblages « soyeux » à talc-chlorite-trémolite ainsi que des serpentinites sont décrites dans la notice de la carte de Saint-Martin-de-Vésubie (p. 7), mais n'ont pas été retrouvées sur le terrain, en dépit d'une cartographie détaillée pendant plusieurs jours, dans le cadre du présent projet.

Les zones très déformées (zones de cisaillement) affectant le « granite à enclaves » sont des zones où des fluides peuvent avoir circuler pendant la déformation et sont, de fait, des zones privilégiées pour la cristallisation d'amphiboles fibreuses. Une attention particulière a été portée à l'observation de ces zones de cisaillement sur le terrain. Celles-ci sont souvent riches en chlorite, mais n'ont pas présenté d'évidences, à l'œil nu, de présence d'amphiboles fibreuses (Illustration 40). Deux échantillons ont été prélevés dans ces zones de cisaillement et ont été analysés pour confirmer les observations de terrain (MERFC069 et MERFC071).



Illustration 40 : Zones de cisaillement affectant le « granite à enclaves », potentiellement porteuses de minéraux fibreux – affleurement MERFC071.

b) Analyses en laboratoire : Granite de la Valmasque à enclaves basiques [285]

Huit lames minces ont été réalisées dans des enclaves prélevées dans cette formation, en particulier des enclaves d'amphibolites ou de granulites (MERFC066, MERFC068B, MERFC076) ainsi que des nodules fibroradiés (MERFC068A, MERFC079, MERFC81). Une lame mince a été réalisée dans une zone de cisaillement verdâtre affectant le « granite à enclaves » (MERFC069). Six de ces lames minces ont été analysées à la microsonde électronique (MERFC066, MERFC068A, MERFC068B, MERFC076, MERFC079, MERFC81). Trois d'entre elles ont aussi fait l'objet d'analyses au MEB (MERFC068A, MERFC076, MERFC079). Une analyse sur fibres a été réalisée au MEB à partir d'un plan potentiellement fibreux affectant le « granite à enclaves » (MERFC071).

- **Les enclaves d'amphibolite et de granulite**

La lame mince MERFC066 correspond à une amphibolite à grenat (ancienne éclogite), riche en symplectites. Elle est constituée : (i) d'abondants grenats grisâtres, craquelés et localement chloritisés, associés à (ii) d'abondantes symplectites à amphibole (pargasite)-plagioclase, (iii) des lamelles de biotite entourées de plages xénomorphes brunâtres/verdâtres d'amphiboles (pargasites ; annexe 4) +/- chlorites (?), (iv) rares cristaux de rutile disséminés, (v) abondants minéraux opaques (Illustration 41). Cette roche pourrait correspondre à une ancienne éclogite totalement rétrotransformée en amphibolite. Les amphiboles contenues dans cet échantillon (pargasites ; annexe 4) n'ont ni la composition chimique de l'une des cinq amphiboles réglementées au titre de l'amiante, ni les caractéristiques dimensionnelles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993) Aucune serpentine n'est présente dans cette lame mince. Cet échantillon n'est pas amiantifère.

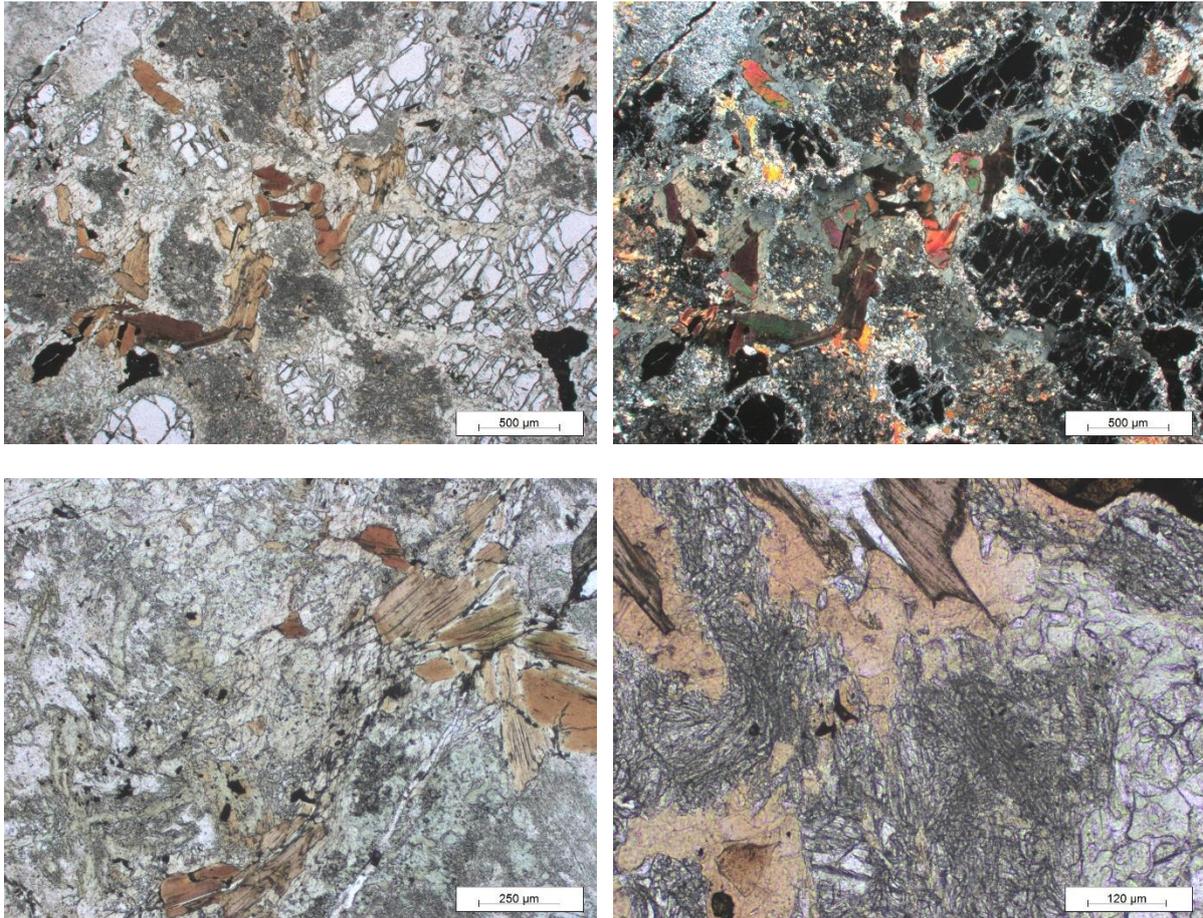


Illustration 41 : Haut : Amphibolite à grenat, avec grenats kelyphitiques entourés d'assemblages à chlorite-pargasite. Bas : Détails des amphiboles vertes (pargasites) non fibreuses (plages vertes, à gauche) et vermiculées dans les symplectites à plagioclase-amphibole (à droite) – lame MERFC066 (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA).

La lame mince MERFC068B correspond à une amphibolite à gros grains constituée principalement d'abondants cristaux de plagioclase de grande taille (parfois centimétriques), altérés (saussuritisés) et associés à des grands cristaux prismatiques subautomorphes d'amphibole verte (actinolite ; annexe 4) (Illustration 42). Des lamelles de biotite partiellement à totalement chloritisées sont associées aux cristaux de plagioclases et d'amphibole verte. Ces biotites contiennent des zircons en inclusion. Des minéraux opaques sont fréquemment associés à ces biotites chloritisées. L'apatite est accessoire. Cette roche présente une foliation fruste. Les amphiboles vertes (actinolites) ne présentent pas d'habitus fibreux, elles sont toujours prismatiques. Leur composition chimique (actinolite ; annexe 4) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Aucune serpentine n'est présente dans cette lame mince. Cet échantillon n'est pas amiantifère mais il est susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, du moins pour une fraction d'entre eux, à des fibres inhalables au sens de l'OMS et d'être assimilés à des fibres d'amiante.

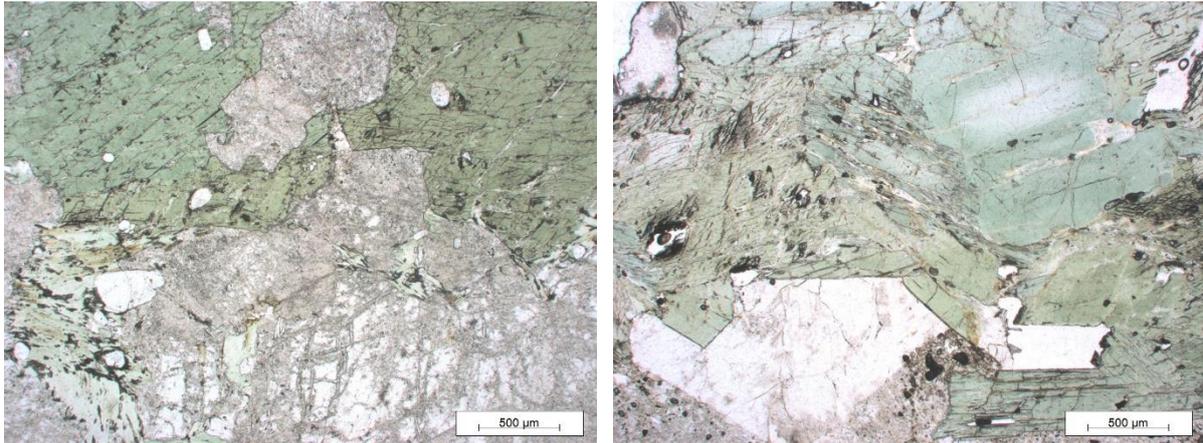
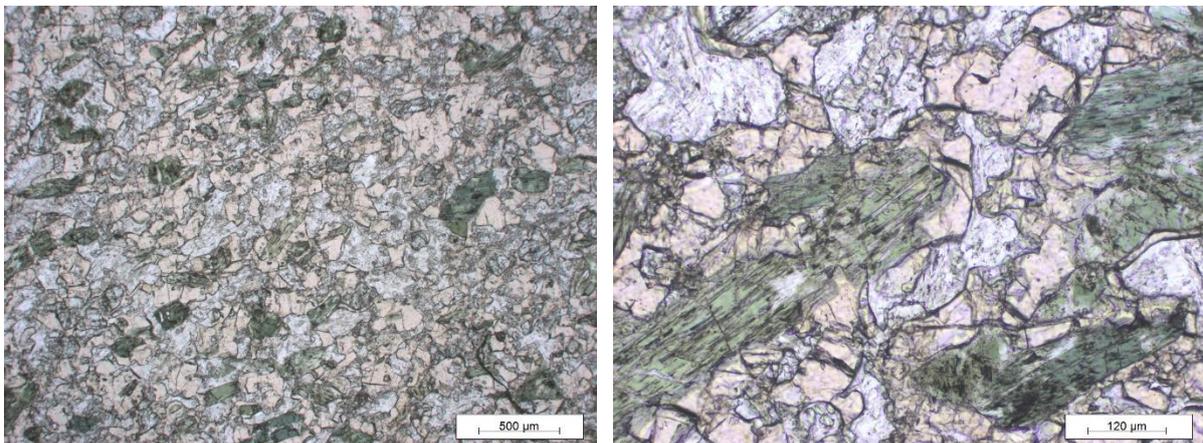


Illustration 42 : Amphibolite à amphiboles vertes prismatiques (actinolite) – lame MERFC068B (LPNA).

La lame mince MERFC076 correspond à une roche métamorphique (ancienne granulite ?) riche en grenat, à texture granoblastique, peu foliée. Elle est constituée (i) de très abondants petits grenats rosâtres à orangés, xénomorphes à subautomorphes (parfois chloritisés) associés à (ii) d'abondants petits cristaux globuleux de clinopyroxènes +/- résorbés et amphibolitisés, (iii) d'amphiboles verdâtres à bleuâtres (ferro-pargasite, magnésio-ferri-hornblende, actinolite) prismatiques et subautomorphes, présentes dans quelques niveaux particuliers (litage compositionnel), (iv) de plagioclases totalement séricitisés (xénomorphes et interstitiels avec les grenats), et (v) de zoisites (Illustration 43 ; annexe 4). Les opaques sont disséminés. Aucune serpentine n'est observée dans cette lame mince. Les amphiboles de cette lame mince sont verdâtres à incolores / bleuâtres. Leurs compositions (ferro-pargasite, magnésio-ferri-hornblende, actinolite ; annexe 4) sont variées et varient à l'intérieur d'un même cristal prismatique. Elles ne sont pas fibreuses. À de rares endroits, ces cristaux prismatiques se dissocient en fibres courtes, à bords parallèles.



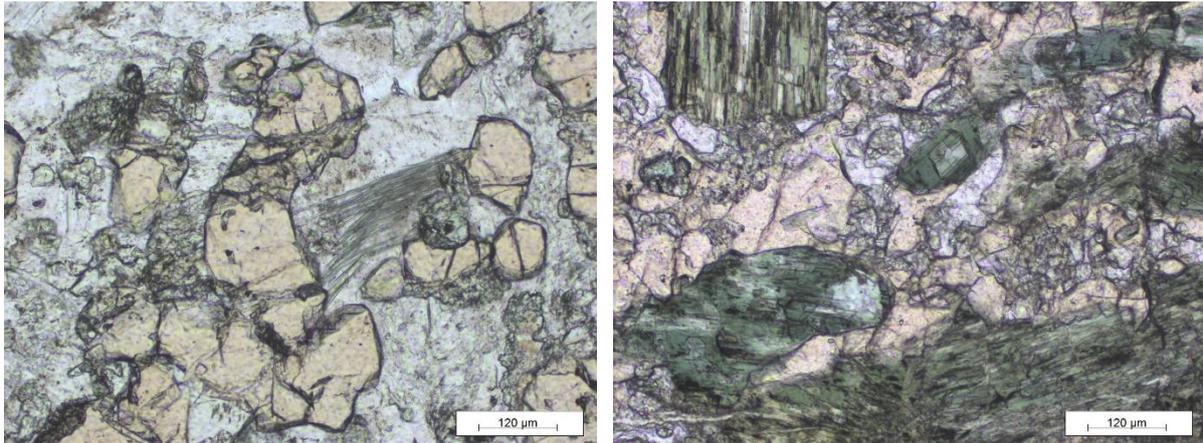
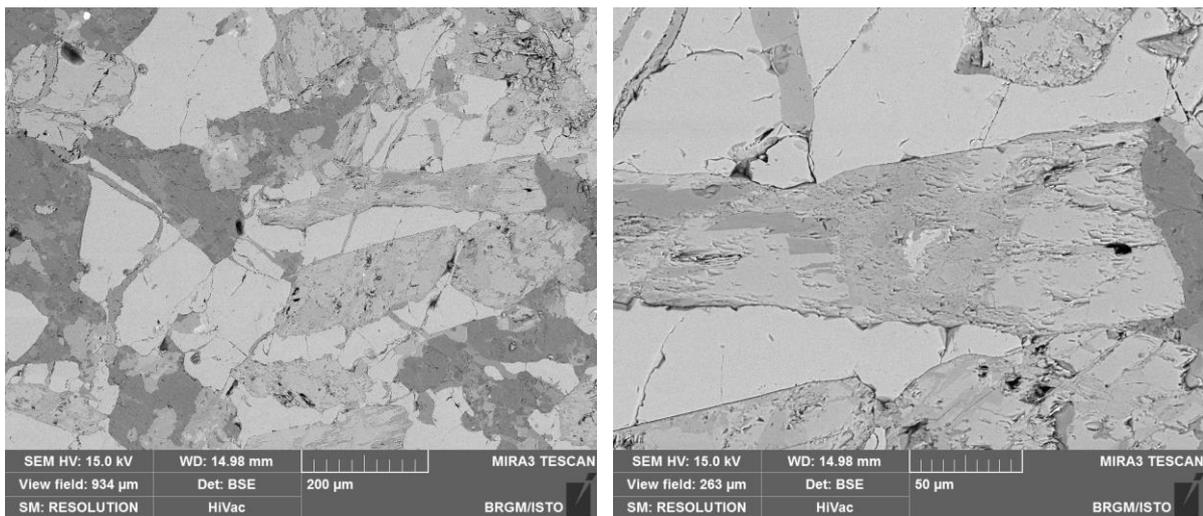


Illustration 43 : Amphiboles vertes, localement aciculaires (ferro-pargasite, magnésio-ferri-hornblende, actinolite) dans une ancienne granulite (?) – lame MERFC076 (LPNA).

Les images acquises au microscope électronique à balayage confirment le caractère non à peu fibreux de cet échantillon. Les amphiboles observées sont prismatiques et de tailles variées. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces amphiboles non fibreuses (amphiboles calciques de type actinolite et amphiboles calciques de type pargasite ; Illustration 44). Cet échantillon n'est pas amiantifère.



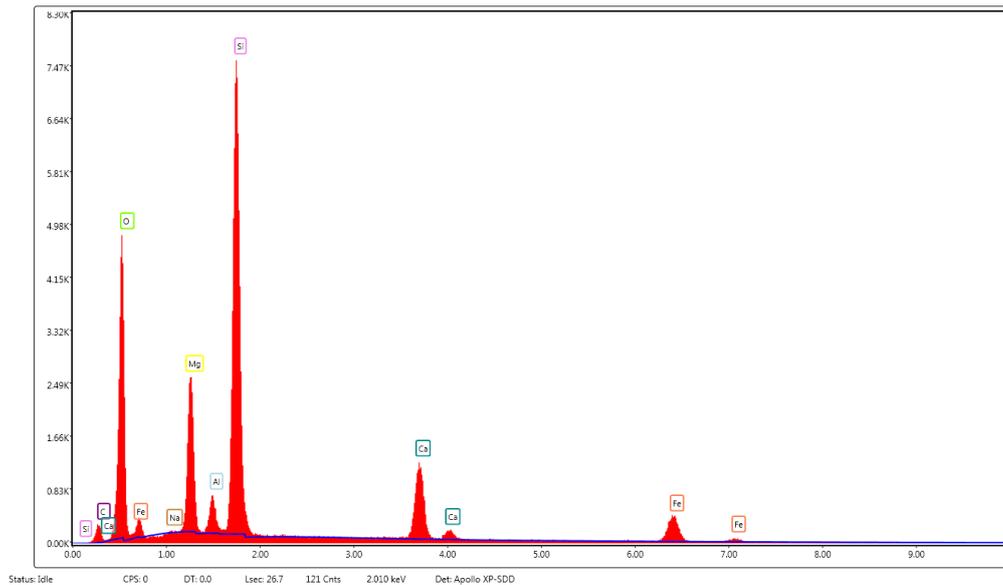


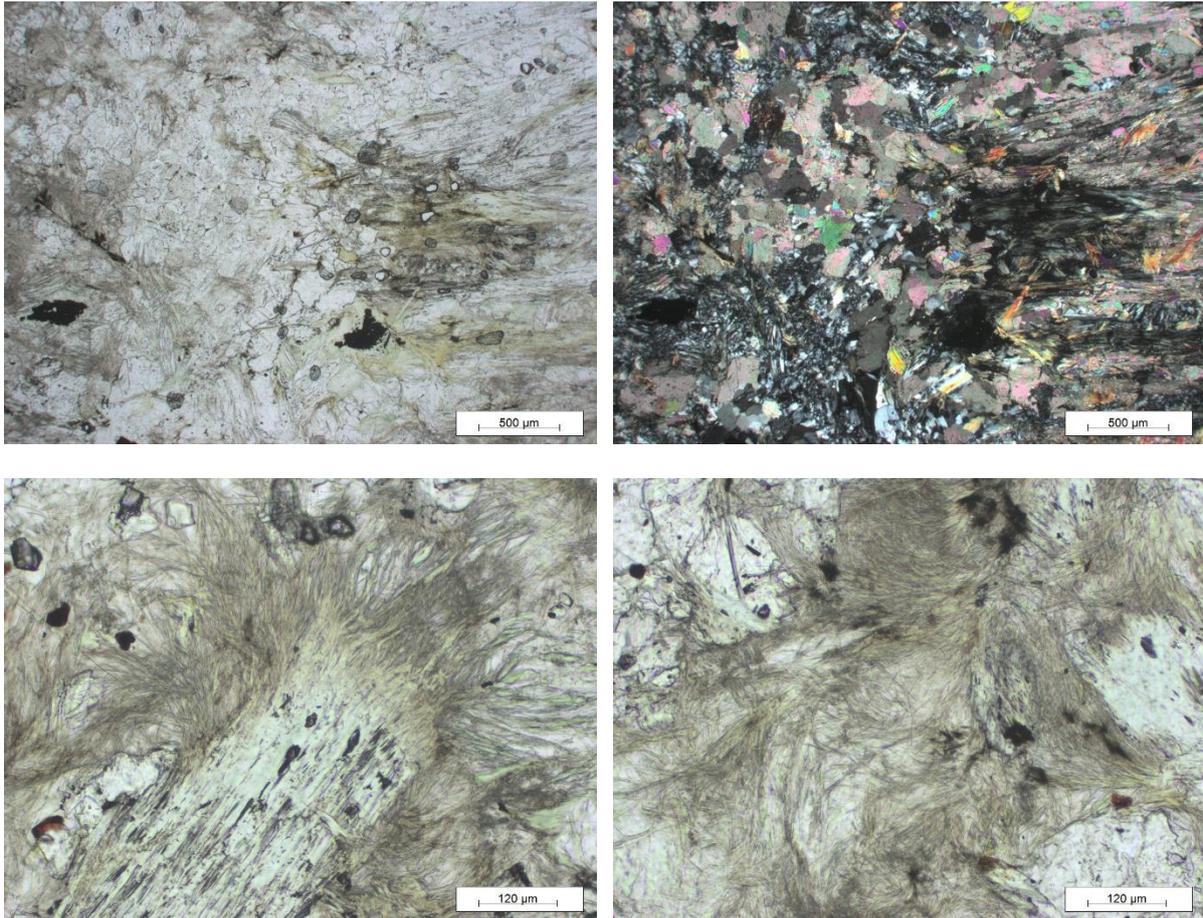
Illustration 44 : Images MEB et exemple de spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC076.

Conclusions sur la lame mince MERFC076 : La composition chimique de certaines des amphiboles contenues dans cet échantillon (actinolite) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon n'est donc pas amiantifère mais il est susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, du moins pour une fraction d'entre eux, à des fibres inhalables au sens de l'OMS et d'être assimilés à des fibres d'amiante.

- **Les nodules fibroradiés**

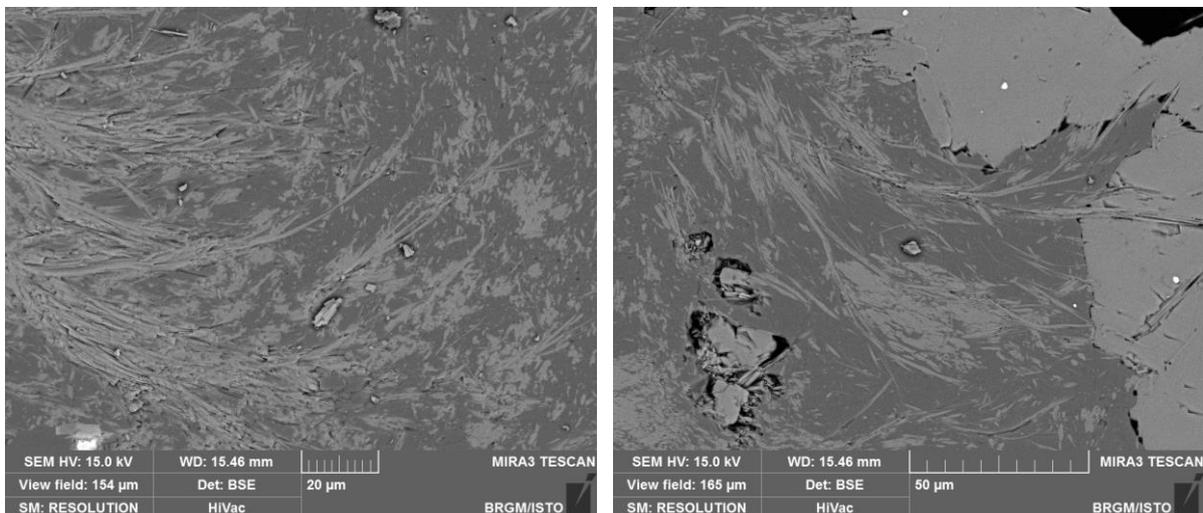
La lame mince MERFC068A correspond à un nodule (ancienne roche ultrabasique ?) entouré d'une bordure réactionnelle, prélevé au sein des migmatites à enclaves basiques. Au MOLP, cette roche est principalement constituée de cristaux de carbonates, très abondants et jointifs, associés à des amas de petits cristaux très fins de plagioclases, des plages de chlorite, des lamelles de muscovite et des amas de fibrilles très fines d'amphiboles incolores à verdâtres (actinolite, trémolite ; Illustration 45 ; annexe 4). Des lamelles de talc sont localement associées localement aux chlorites et amphiboles. Des minéraux opaques sont présents, sous forme de cristaux xénomorphes isolés. Aucune serpentine n'a été observée au MOLP. Les amphiboles contenues au cœur de ce nodule sont des actinolites et se présentent sous forme de cristaux xénomorphes et de très nombreux amas de fibres fines, parfois flexueuses. Certains cristaux prismatiques se dissocient en leurs extrémités en plumeaux de fibrilles flexueuses, asbestiformes.

Cette roche est entourée par un niveau concentrique, constitué de cristaux de même minéralogie (carbonates / amphiboles / chlorites / muscovites), étirés et allongés, dont la cristallisation s'est faite perpendiculairement aux épontes de ce niveau (bordure réactionnelle ?), (Illustration 45). Les amphiboles (actinolite, trémolite) contenues dans ce niveau concentrique sont sous forme de baguettes et d'amas de fibres fines. Sur un côté de la lame, cette bordure se prolonge par un niveau à carbonates et amphibole subautomorphes (actinolites), de grande taille (plurimillimétriques) et prismatiques.



*Illustration 45 : Haut : nodule riche en carbonates et amphiboles incolores (actinolite-trémolite).
Bas : détail des amphiboles incolores asbestiformes – lame MERFC068A
(haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite: LPA).*

Les images acquises au microscope électronique à balayage confirment le caractère fibreux de cet échantillon. Elles montrent que cet échantillon est constitué par des particules fibreuses rectilignes à bords le plus souvent subparallèles, plus ou moins allongées et épaisses (Illustration 46). Quelques fibres très fines ($D \ll 3 \mu\text{m}$) et courbes, asbestiformes, sont également présentes. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces particules fibreuses (amphiboles calciques de type actinolite ; Illustration 46).



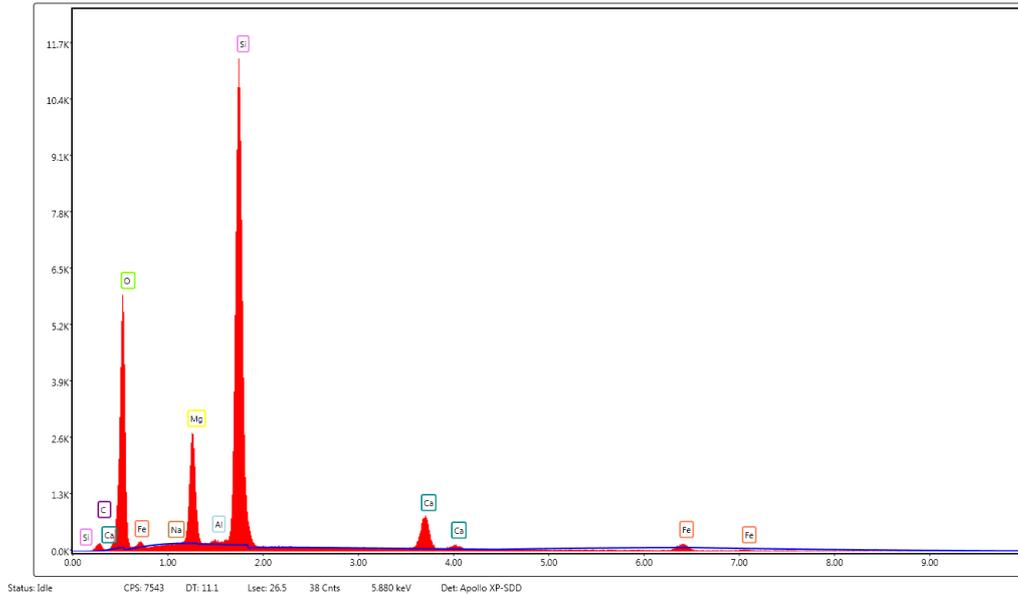
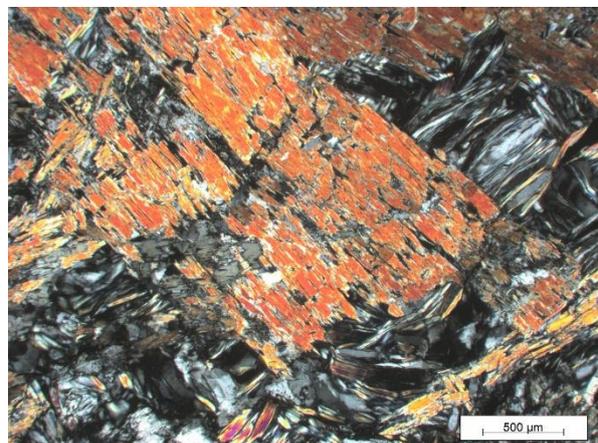


Illustration 46 : Images MEB et exemple de spectre obtenu au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC068A.

Conclusions sur la lame mince MERFC068A : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique (actinolite, trémolite) correspond 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 (1993), du moins pour une fraction importante d'entre-elles. Cet échantillon est donc amiantifère (présence d'actinolite-amiante et de trémolite-amiante).

La lame mince MERFC079 correspond à une ancienne roche ultrabasique (pyroxénite ?) totalement amphibolisée, constituée (i) d'abondants cristaux d'amphiboles incolores à verdâtres (actinolites, magnésio-ferri-hornblendes ; annexe 4) prismatiques parfois de très grande taille (centimétriques) associés à (ii) des lamelles de micas blancs et de talc, (iii) des chlorites, (v) des plagioclases, (vi) des quartz, (vii) des opaques (Illustration 47). Des serpentines sont probablement présentes mais n'ont pas été analysées à la microsonde électronique. Les amphiboles de cette lame mince sont verdâtres à incolores (actinolites, magnésio-ferri-hornblendes ; Illustration 47 et annexe 4) et sont principalement de très grande taille et prismatiques. Elles présentent parfois des morphologies en baguettes +/- aciculaires mais ne se présentent pas sous forme d'amas de fibrilles.



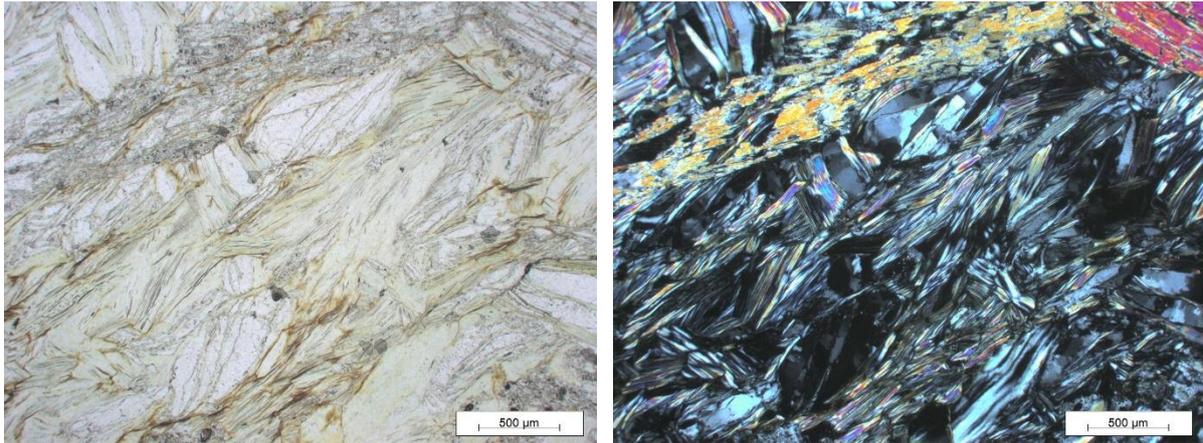
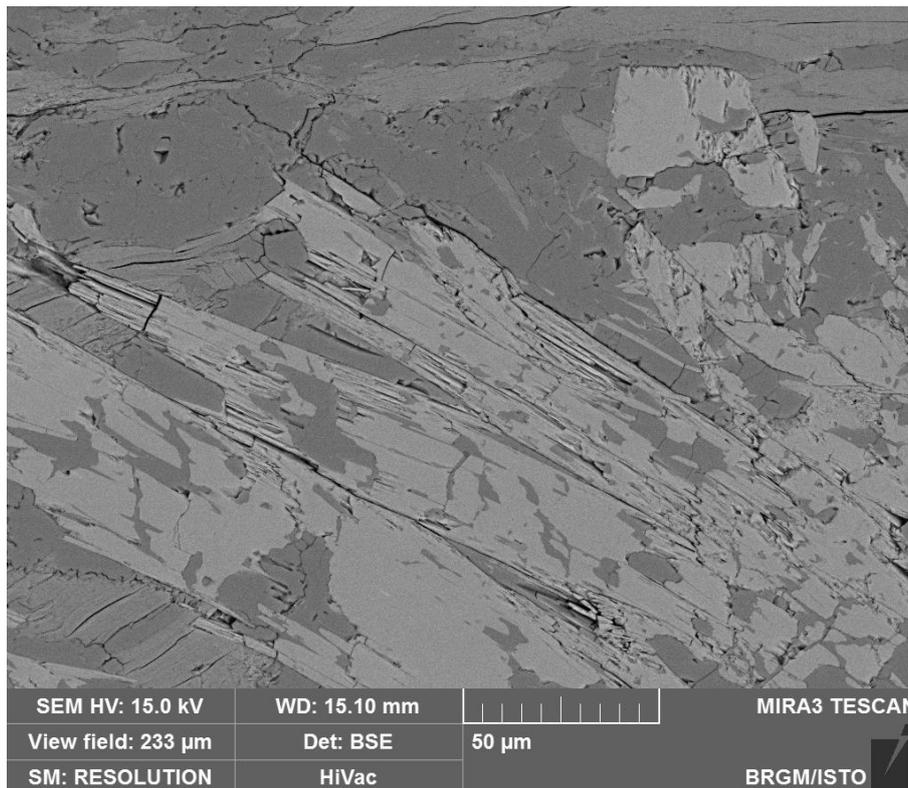


Illustration 47 : Association d'actinolite-chlorite dans une ancienne roche ultrabasique – lame MERFC079 (gauche : LPNA ; droite : LPA).

Les images acquises au microscope électronique à balayage montrent que les amphiboles sont principalement prismatiques et de tailles variées. Quelques particules fibriformes sont présentes mais semblent provenir de la fragmentation de cristaux d'amphibole beaucoup plus grands (Illustration 48). Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature supposée des quelques particules fibriformes (amphibole de type actinolite). Les serpentines ne sont, quant à elles, pas fibreuses.



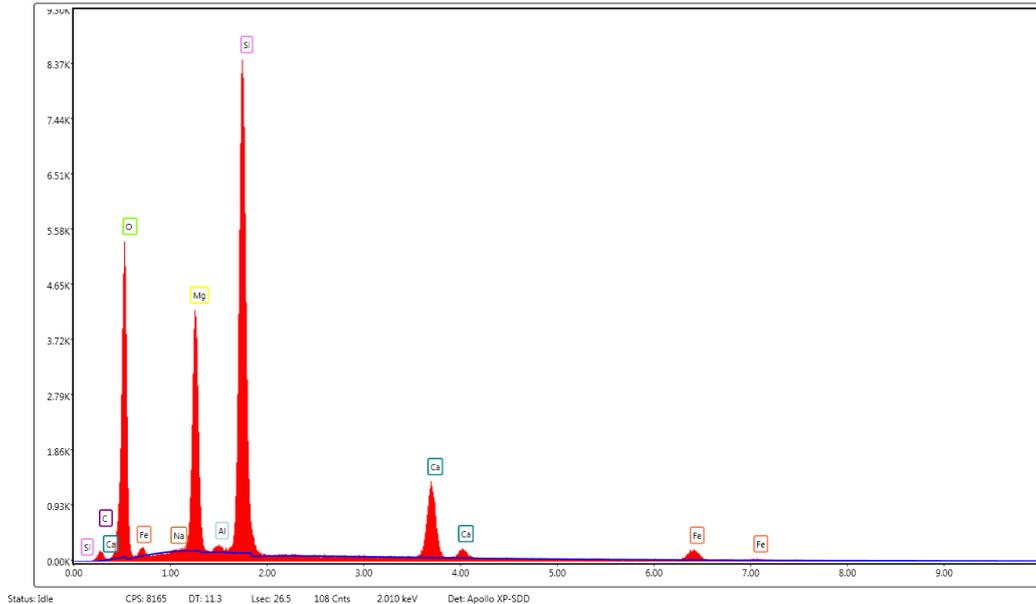


Illustration 48 : Image et exemple de spectre obtenus au MEB à partir d'amphiboles de la lame MERFC079.

Conclusions sur la lame mince MERFC079 : Des amphiboles sont présentes dans cette lame mince et leur composition chimique (actinolite) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon n'est pas amiantifère mais il est susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, du moins pour une fraction d'entre eux, à des fibres inhalables au sens de l'OMS et d'être assimilés à des fibres d'amiante.

La lame mince MERFC081 correspond à une ancienne roche ultrabasique (pyroxénite ?) totalement amphibolitisée, constituée (i) d'abondants cristaux d'amphiboles incolores à verdâtres (magnésio-ferri-hornblende, actinolite ; Illustration 49 ; annexe 4) prismatiques parfois de très grande taille (centimétriques) associés à (ii) des lamelles de talc, (iii) des chlorites, (iv) des plagioclases, (v) des opaques (magnétite + hématite). La lame est entourée d'une bordure réactionnelle constituée de gros cristaux d'amphiboles incolores (anthophyllite, trémolite ; Illustration 49 ; annexe 4), qui croissent perpendiculairement aux épontes de cette bordure. Cette bordure est aussi constituée d'une association talc/chlorite. Les amphiboles de cette lame mince sont verdâtres à incolores et sont principalement de très grande taille et prismatiques. Dans la bordure, ces amphiboles ont parfois des morphologies en baguettes +/- aciculaires mais ne se présentent pas sous forme d'amas de fibrilles.

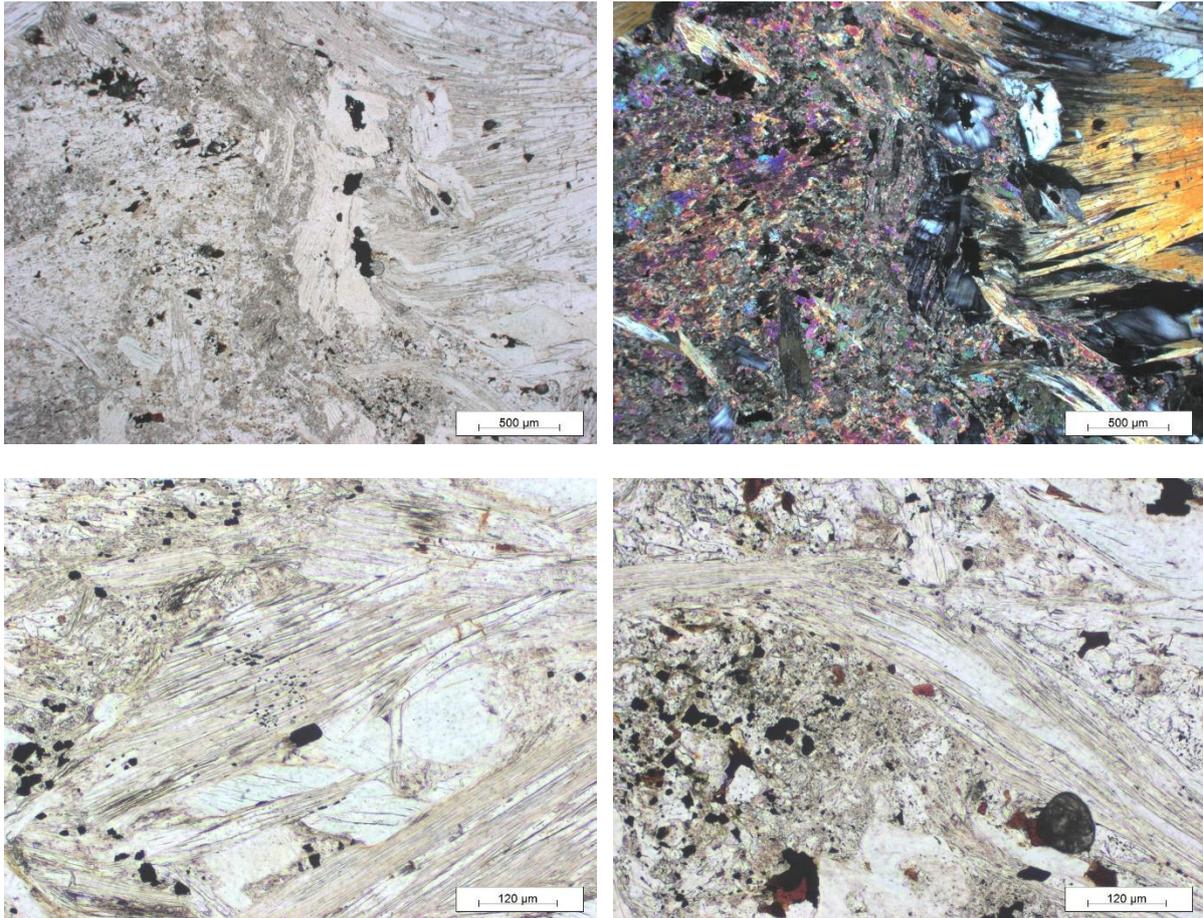
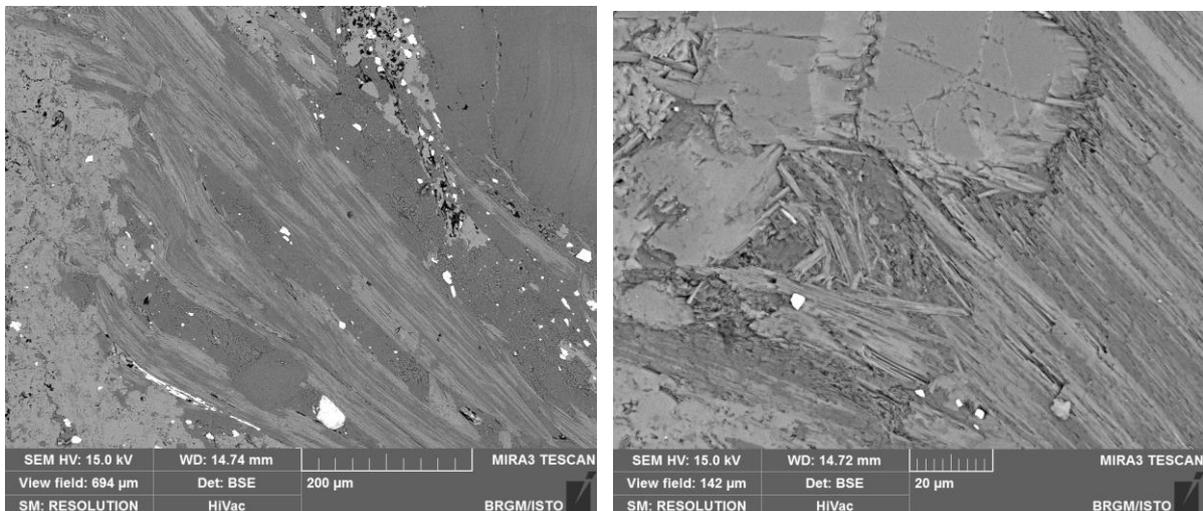


Illustration 49 : Haut, roche ultrabasique à talc-actinolite à bordure riche en trémolite et anthophyllite. Bas, amphiboles fibreuses (actinolite et anthophyllite) au sein de la roche ultrabasique – lame MERFC081 (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite : LPA).

Les images acquises au microscope électronique à balayage confirment le caractère fibreux de cet échantillon. Elles montrent que cet échantillon est constitué par des particules fibriformes rectilignes, plus ou moins allongées et épaisses (Illustration 50). Parmi ces particules, certaines correspondent à des fibres inhalables au sens de l'OMS. La présence de fibres au sens de l'EPA n'est pas à exclure. Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature supposée de ces particules (amphiboles de type actinolite ; anthophyllite).



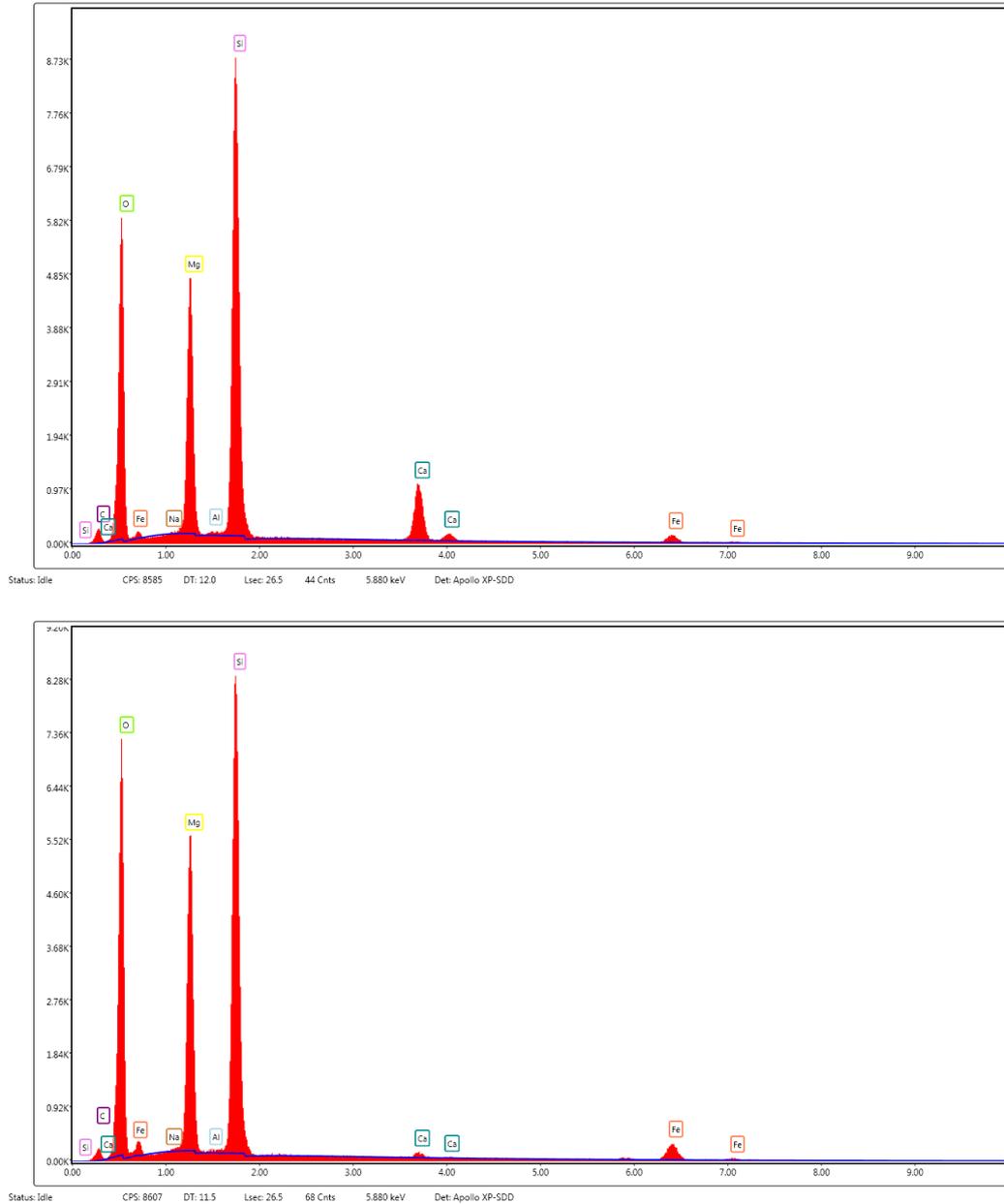


Illustration 50 : Images et spectres obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC81. Les spectres obtenus illustrent la co-existence d'actinolite (spectre du haut) et d'anthophyllite (spectre du bas).

Conclusions sur la lame mince MERFC81 : Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique correspondant à deux des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante (actinolite, anthophyllite) mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Néanmoins, la présence de telles fibres EPA, bien que non observées, ne peut être complètement exclue. Cet échantillon et les matériaux qu'ils représentent ne sont pas amiantifères mais sont clairement susceptibles de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite, anthophyllite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre, du moins pour une fraction d'entre eux, à des fibres inhalables au sens de l'OMS et d'être assimilés à des fibres d'amiante, en particulier par application de l'arrêté du 1^{er} octobre 2019.

- **Les plans et zones de cisaillement affectant le « granite à enclaves »**

La lame mince MERFC069 a été réalisée dans un échantillon prélevé dans une zone de cisaillement affectant le « granite à enclaves ». Au MOLP, il s'agit d'un orthogneiss mylonitique (texture mylonitique très bien exprimée), constitué de cristaux de quartz, plagioclases séricitisés et feldspaths alcalins altérés et très déformés, soulignant une foliation mylonitique (présence de critères de cisaillement de type « S clasts » et de bandes de cisaillement), (Illustration 51). Des niveaux riches en petits micas blancs et en chlorite moulent les porphyroblastes qui restent encore résistants. La taille des grains est très petite (mylonitisation intense). De très petits opaques sont disséminés et étirés dans la foliation. La biotite, le sphène et l'apatite sont accessoires. Aucune serpentine et amphibole n'a été observée au MOLP dans cette lame mince. Cette roche n'est pas amiantifère.

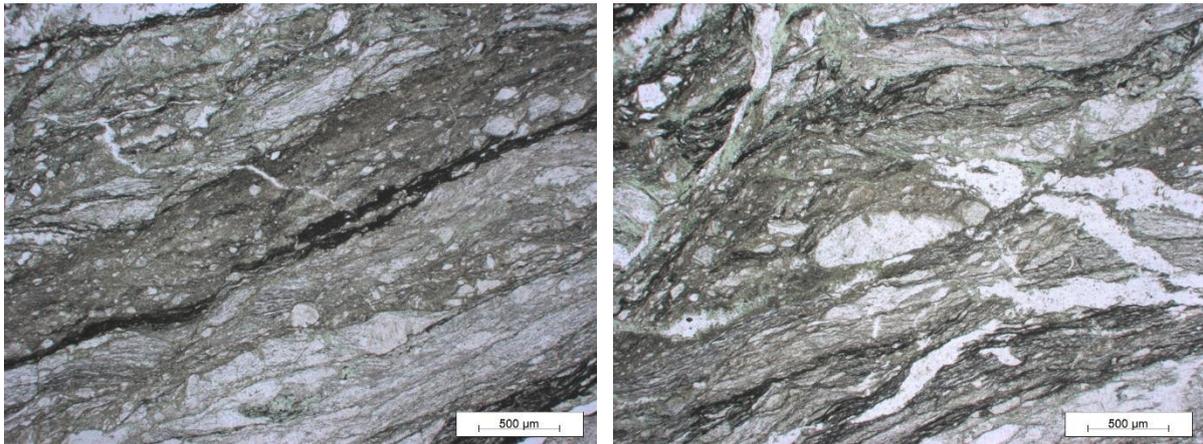
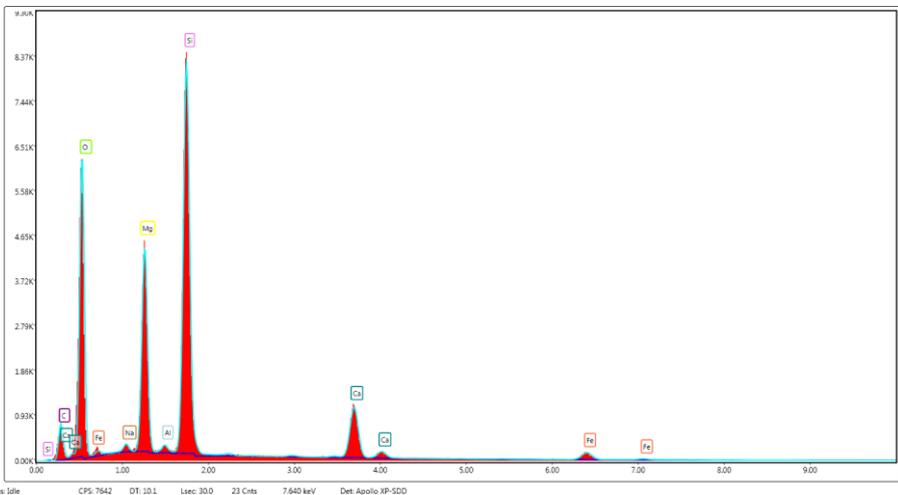
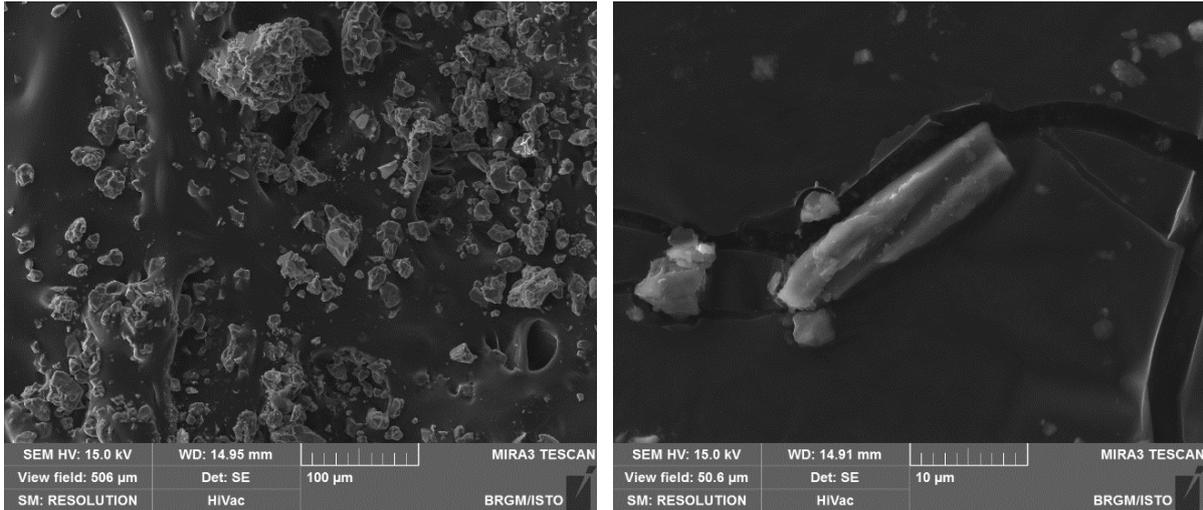


Illustration 51 : Orthogneiss mylonitique riche en chlorite (LPNA) – lame MERFC069.

L'échantillon MERFC071 correspond à un échantillon de particules prélevées dans une zone de cisaillement affectant « le granite à enclaves » (Illustration 40). Cet échantillon a été analysé au MEB. Les analyses réalisées au MEB ont confirmé la nature non fibreuse de cet échantillon, qui est plutôt caractérisé par la présence de plaquettes (en abondance) et de rares particules allongées (Illustration 52). Une seule particule possède une morphologie proche d'un fragment de clivage. L'analyse EDS sur ces particules indique que les plaquettes ont une composition d'aluminosilicates de fer et de magnésium, les particules allongées sont des aluminosilicates de sodium, et le « fragment de clivage » a une composition type actinolite (Illustration 52).

Cet échantillon présente donc de très rares amphiboles dont la composition chimique (actinolite) correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante mais dont les caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon n'est pas amiantifère mais il est susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite) en cas d'agression mécanique. Certains de ces fragments de clivage pourront correspondre à des fibres inhalables au sens de l'OMS et être assimilés, à tort, à des fibres d'amiante.



Poids %	1
Na ₂ O	1,38
MgO	22,78
Al ₂ O ₃	1,21
SiO ₂	56,97
CaO	12,48
FeO	5,19

Illustration 52 : Haut : Images MEB des particules (gauche) et du fragment de clivage d'actinolite (droite) de l'échantillon MERFC071. Bas : Spectre et analyse EDS du fragment de clivage confirmant sa nature actinolitique.

3.2.4. Cipolins et gneiss à silicates calciques, dans des migmatites [225]

a) Description sur le terrain : Cipolins et gneiss à silicates calciques [225]

Les cipolins et les gneiss à silicates calciques correspondent principalement à des marbres gris clair avec des niveaux centimétriques +/- continus riches en épidote (Illustration 53). Ils forment des niveaux d'épaisseur variable dans les gneiss migmatitiques dont seuls les plus épais sont représentés sur les cartes géologiques au 1/50 000. Ces cipolins ont été observés en place sur les affleurements MERFC005, MERFC006 et sous forme de blocs volants sur l'affleurement MERFC021. Ces différentes lithologies ne semblent pas contenir d'amphiboles fibreuses ni de serpentine. Des échantillons ont néanmoins été prélevés sur le terrain, à des fins de contrôle et d'analyse.



Illustration 53 : Cipolins et niveaux à silicates calciques dans des marbres plissés. En haut et en bas, à gauche : affleurement MERFC006 (haut et bas-gauche). En bas, à droite : Niveaux riches en épidote dans un marbre gris (affleurement MERFC021).

b) Analyses en laboratoire : Cipolins et gneiss à silicates calciques [225]

Une seule lame mince (MEFC006A) a été réalisée dans un gneiss à silicates calciques de cette formation pour être étudiée au MOLP.

L'échantillon MERFC006A a été prélevé dans un ensemble de gneiss à silicates calciques et de cipolins. Au MOLP, il s'agit d'un gneiss à silicates calciques, constitué principalement de cristaux de plagioclases altérés (damouritisés), de cristaux de quartz, de lamelles de biotite chloritisées, associés à des cristaux de carbonates, des petits cristaux globuleux et/ou des cristaux de taille moyenne, prismatiques et disséminés d'épidote, et de petits opaques (Illustration 54). Tous ces minéraux soulignent une foliation. Cette roche est recoupée par des veines, à fort angle de la foliation, riches en cristaux de carbonate, de plagioclase, de chlorite et d'épidote (croissance des minéraux dans les veines, perpendiculaire aux épontes des veines). Aucune amphibole verdâtre n'a été observée au MOLP, dans cette roche, ni au sein des veines. Le sphène et l'apatite sont accessoires. Aucune amphibole ni aucune serpentine n'ont été observées dans cette lame mince et cet échantillon n'est donc pas amiantifère.

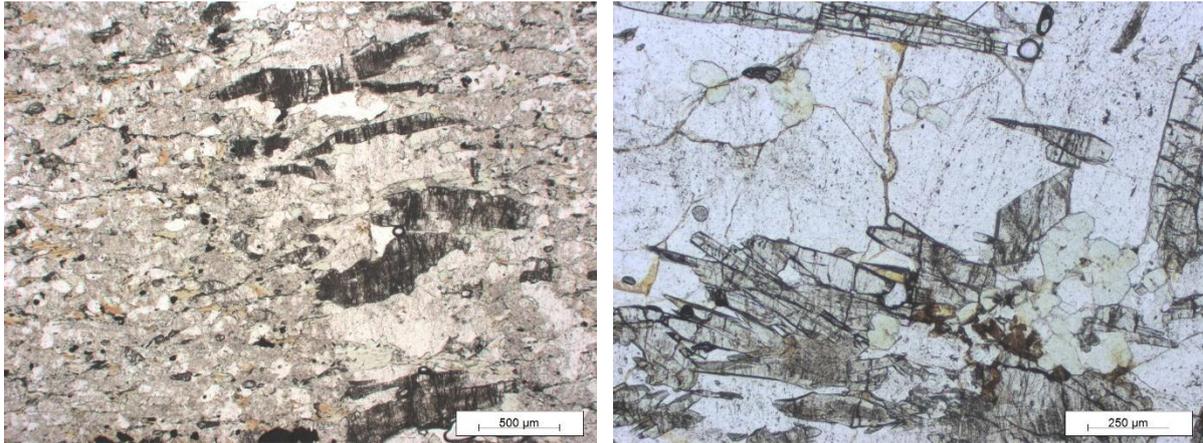


Illustration 54 : Gneiss à silicate calcique riche en plagioclase, épidote et chlorite, recoupé par une veine de même composition (gauche, LPNA). Droite, détail des épidotes et chlorites (LPNA). L'amphibole est absente de cette lame mince (Lame MERFC006A).

3.3. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL « FAIBLE »

Les quatre formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « faible » correspondent principalement à (i) des gneiss de composition intermédiaire à basique (métatonalites, gneiss à amphiboles), telles que les « diorites et migmatites de la série d'Iglière » [223], et les gneiss de Chastillon [231], (ii) des filons de lamprophyres (principalement des spessartites) [236], (iii) des écoligites et des amphibolites à grenat [227] (Illustration 55).

CODE	COD_LEG	NOTATION	DESCR	Affleurement	NSPA_previs
223	220	ëÖ	Série d'Iglière : diorite - migmatite	MERFC011, MERFC032	2
227	223	äe	Écoligites (et amphibolites à grenat)	MERFC037, MERFC055	2
231	227	Öb	Gneiss de Chastillon	MERFC034, MERFC048, MERFC049	2
236	232	û	Lamprophyre : spessartite	MERFC040, MERFC041, MERFC043, MERFC052, MERFC053, MERFC054, MERFC056	2

Illustration 55 : Liste des affleurements visités correspondant aux formations géologiques de la zone du Mercantour préalablement affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « faible ».

3.3.4. Les diorites quartziques migmatitisées de la série d'Iglière [223]

a) Description sur le terrain : Diorites quartziques migmatitisées de la série d'Iglière [223]

La série d'Iglière est constituée de diorites quartziques migmatitisées (constituées de quartz, plagioclase et biotite) et foliées (Illustration 56). Localement, des para- ou des ortho-amphibolites sont associées à des diorites quartziques, mais elles ne sont pas nécessairement représentées à l'échelle du 1/50 000. Ces diorites quartziques, riches en biotite, ont été observées sur le terrain sur les affleurements MERFC011 (sur la route M61, entre le Bourguet et la Roya) et MERFC032 (sur la M97, au début de la montée vers Isola 2000). Cette série est très biotitique et ne présente pas d'évidences d'occurrences fibreuses.

Néanmoins, les diorites quartziques sont localement associées à des niveaux amphiboliques, dont les plus gros sont cartographiés à l'échelle du 1/50 000 (comme par exemple, sur l'affleurement MERFC012). Lorsque les niveaux amphiboliques sont centimétriques à métriques, ils ne sont pas cartographiés. Ces petits niveaux amphiboliques définissent le plus souvent la foliation. Ils sont sombres et riches en amphiboles noires prismatiques (hornblende et pargasite possible). Ces niveaux sont très souvent plissés et déformés mais ils ne semblent pas contenir de minéraux fibreux. Ils semblent de plus peu affectés par un métamorphisme en faciès schiste vert.



Illustration 56 : Diorite de la série d'Iglière riche en biotite, localement recoupée par des petits plans discrets à chlorite (haut-droite) (haut : affleurement MERFC011 ; bas : affleurement MERF032).

b) Analyses en laboratoire : Diorites quartziques migmatitisées de la série d'Iglière [223]

Étant donné l'absence d'évidences sur le terrain de minéraux fibreux dans cette diorite, aucune analyse n'a été réalisée à partir de l'échantillon prélevé.

3.3.5. Les écoligites et amphibolites à grenat [227]

a) Description sur le terrain : Écoligites et amphibolites à grenat [227]

Les écoligites sont souvent rétrotransformées en amphibolites à grenat et sont présentes sous forme de boudins dans différentes unités migmatitiques (Illustration 57). Elles ont été observées au niveau des affleurements MERFC037 (Col de la Lombarde) et MERFC055. Selon Jouffray *et al.* (2020), ces écoligites correspondraient à une zone de suture démembrée. La rétrotransformose depuis le faciès écoligite vers le faciès amphibolite se ferait autour de 339 +/- 12 Ma.

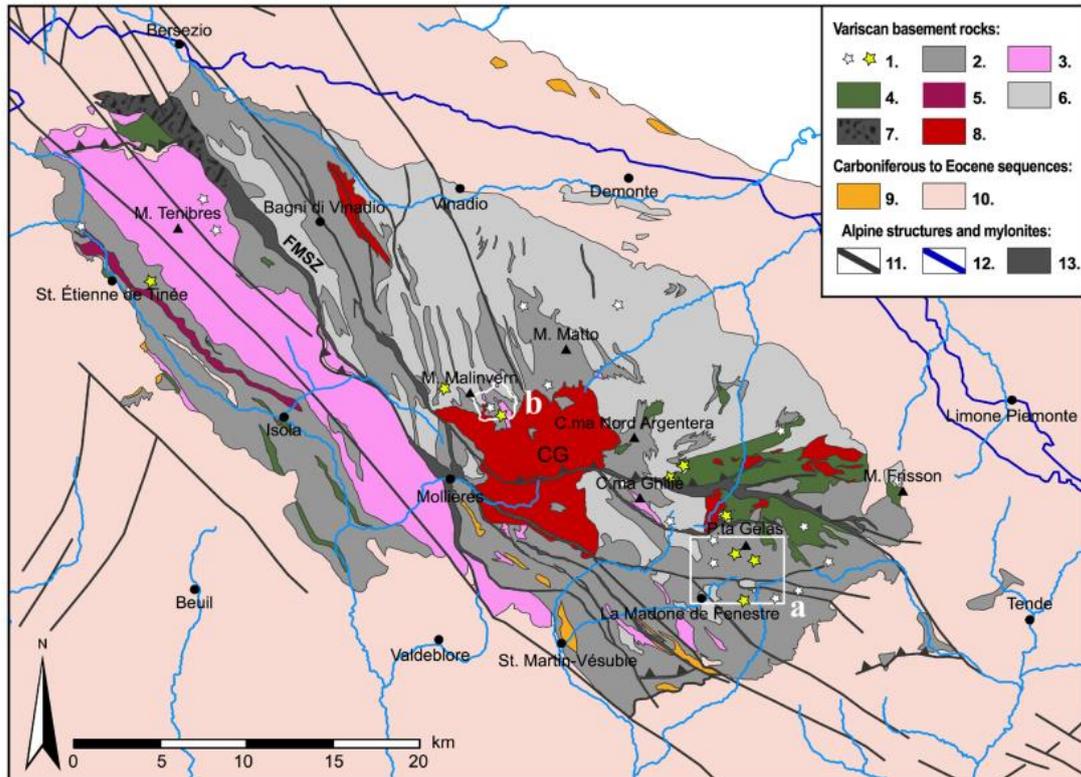


Fig. 2 Geological map of the Argentera-Mercantour Massif (after Faure-Muret 1955; Malaroda *et al.* 1970; Corsini *et al.* 2004; Carosi *et al.* 2016; Gosso *et al.* 2019). FMSZ Ferrere-Mollières Shear Zone, CG Central Granite. 1—Eclogite occurrences and sampling localities with yellow stars; 2—Migmatitic paragneisses; 3—Migmatitic orthogneisses and metavolcanics; 4—Amphibolites; 5—Syn-tectonic diorites; 6—leucocratic cordierite-bearing anatexites; 7—Amphibo-

lite to greenschist facies mylonites; 8—Granitoids; 9—Carbonaceous schists, conglomerates and siliciclastic sandstones (late Carboniferous); 10—Permian to Eocene sequences; 11—late- to post-Alpine faults; 12—Penninic Front; 13—Greenschist facies mylonites. White contours labelled **a** and **b** locate the maps of Figs. 5 and 6, respectively

*Illustration 57 : Carte géologique extraite de Jouffray *et al.* (2020) montrant la localisation des principales occurrences d'écoligites dans le massif du Mercantour.*

Les écoligites n'ont pas été observées dans le cadre de la présente étude, et comme le mentionnent Jouffray *et al.* (2020), la « préservation des assemblages du faciès écoligite sont exceptionnelles ». Les amphibolites à grenat, qui correspondent à des anciennes écoligites rétrotransformées, sont constituées de grenat (parfois chloritisé), de plagioclase, d'amphibole, de quartz, de biotite (parfois chloritisée), de feldspath potassique, de rutile (entourés d'ilménite), (Illustration 58). Les amphiboles sont les constituants les plus abondants de ces amphibolites à grenat et se présentent sur le terrain sous forme de minéraux trapus noirs, localement transformés en minéraux verts (actinolite possible). Dans ces amphibolites à grenat, aucune évidence d'amphibole fibreuse n'a été observée.

Néanmoins, deux échantillons prélevés dans ces lithologies ont fait l'objet de la réalisation de lames minces qui ont été étudiées au MOLP et à la microsonde électronique.



Illustration 58 : Amphibolites à grenat (anciennes éclogites) (haut : affleurement MERFC037), recoupées par des filons de pegmatite (bas-gauche, affleurement MERFC037). Boudin d'amphibolite à grenat dans des migmatites (bas-droite, affleurement MERFC055).

b) Analyses en laboratoire : Éclogites et amphibolites à grenat [227]

Deux lames minces ont été réalisées à partir d'amphibolites à grenat (anciennes éclogites) (MERFC037C et MERFC037D) et ont fait l'objet d'analyses au MOLP et à la microsonde électronique.

Au MOLP, la lame mince MERFC037C correspond à une amphibolite à grenat, constituée principalement de (i) cristaux d'amphiboles prismatiques brunâtres à verdâtres (ferro-hornblendes, magnésio-hornblendes ; annexe 4) parfois décolorées (actinolitisées), associées à des cristaux de plagioclases partiellement altérés, (iii) des grenats rosâtres ovoïdes, parcourus de craquelures et parfois chloritisés, (iv) des sphènes abondants, (v) des opaques sous forme d'amas de petits grains, ces amas étant disséminés (Illustration 59). La chlorite, l'apatite, l'épidote, le quartz et le rutile sont accessoires.

La roche est recoupée par de petites veinules riches en feldspaths +/- épidote. Les grenats sont kélyphitiques, parfois totalement résorbés et seules les kélyphites sont visibles. Ces kélyphites sont constituées d'un assemblage plagioclase-amphibole incolore. Les amphiboles qui constituent l'amphibolite (hornblendes +/- actinolitisées) ainsi que les clin amphiboles des kélyphites ne présentent pas d'habitus fibreux. Localement, des amphiboles incolores peuvent présenter des terminaisons avec des bords parallèles (cassures le long de clivages), mais non fibreuses et non asbestiformes. Les amphiboles présentes dans cette lame mince ont une composition chimique (actinolite) qui correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon est non amiantifère mais il est susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite) en cas d'agression mécanique. Certains de ces fragments de clivage pourront correspondre à des fibres inhalables au sens de l'OMS et être assimilés à des fibres d'amiante.

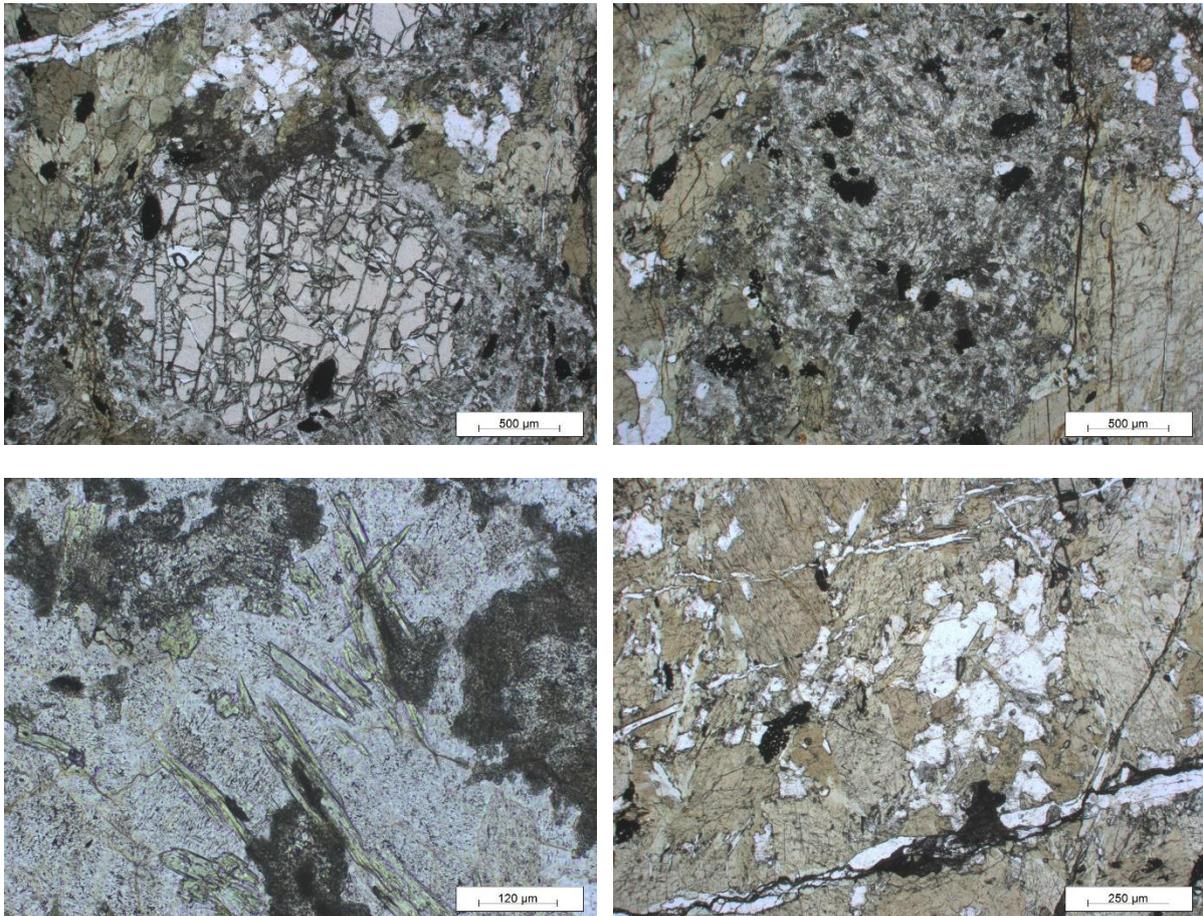


Illustration 59 : Amphibolite à grenat avec un grenat kélyphitique (haut-gauche) et amphiboles vertes aciculaires (bas-gauche : actinolite) et prismatiques (hornblendes) – lame MERFC037C.

Au MOLP, la lame mince MERFC037D ressemble beaucoup à la lame MERFC037C, mais la foliation y est plus développée. Elle correspond à une amphibolite à grenat, constituée principalement de (i) cristaux d'amphiboles prismatiques brunâtres à verdâtres (ferro-hornblendes, magnésio-hornblendes ; annexe 4), associés à des cristaux de plagioclases partiellement altérés, (iii) des grenats rosâtres ovoïdes, parcourus de craquelures et parfois chloritisés, (iv) des sphènes abondants, (v) des opaques sous forme d'amas de petits grains, ces amas étant disséminés, (vi) des cristaux de quartz, relativement abondants (Illustration 60). La chlorite, l'apatite, l'épidote et le rutile sont accessoires. La roche est recoupée par de petites veinules riches en feldspaths +/- épidote. Les grenats sont kélyphitiques, parfois totalement résorbés et seules les kélyphites sont visibles.

Elles sont constituées d'un assemblage plagioclase-amphibole incolore. Dans ces symplectites, deux analyses ont donné des compositions particulières pour les amphiboles (ferro-sadanagaite et ferro-taramite). Néanmoins, ces amphiboles ne semblent pas fibreuses.

Les amphiboles qui constituent l'amphibolite (hornblendes) ainsi que les clin amphiboles des kélyphites ne présentent pas d'habitats fibreux. Localement, des amphiboles incolores à verdâtres (actinolites probables, mais non analysées) peuvent présenter des terminaisons avec des bords parallèles (cassures le long de clivages), mais elles ne sont pas asbestiformes. Les amphiboles présentes dans cette lame mince (ferro-hornblendes, magnésio-hornblendes, ferro-sadanagaïtes et ferro-taramites) n'ont ni la composition chimique de l'une des cinq amphiboles réglementées au titre de l'amiante, ni les caractéristiques dimensionnelles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon est non amiantifère.

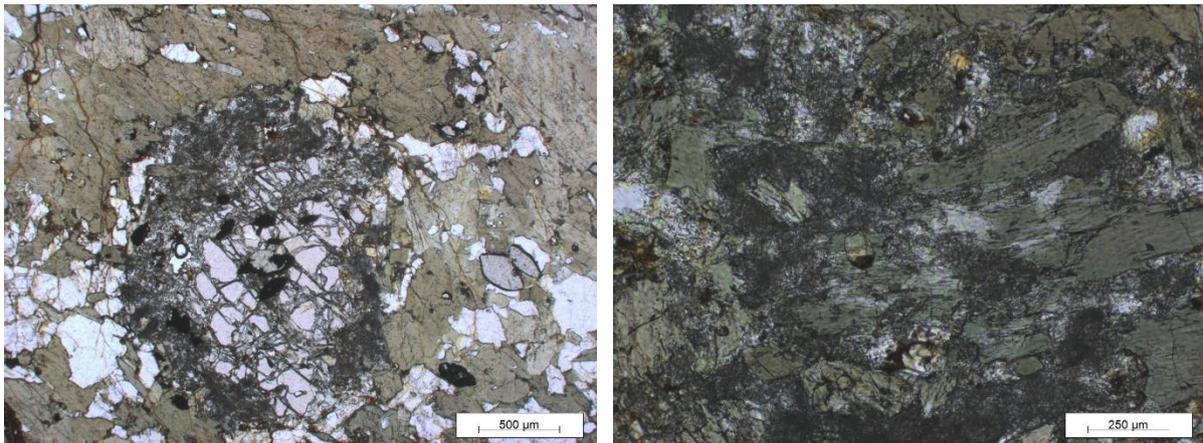


Illustration 60 : Amphiboles vertes (hornblendes) +/- « décolorées » (actinolitisés ?) au sein de l'amphibolite à grenat (LPNA) – Lame MERFC037D.

3.3.6. Les gneiss de Chastillon [231]

a) Description sur le terrain : Gneiss de Chastillon [231]

Les gneiss de Chastillon constituent une série assez monotone, constituée d'alternances de (i) gneiss à grain fin à biotite +/- chloritisée, parfois à sillimanite et +/- riche en quartz, et (ii) de gneiss à amphibole. Dans ces gneiss de Chastillon, sont intercalées de rares lentilles de cipolins à graphite ou à pyroxène et des amphibolites feldspathiques. Ces niveaux particuliers ne sont représentés sur les cartes géologiques, que lorsque ceux-ci sont de taille suffisante pour être cartographiables au 1/50 000.

Ces gneiss de Chastillon ont été observés en détail sur trois affleurements localisés soit près du col de la Lombarde (affleurement MERFC034) soit dans la station de ski Isola 2000 (affleurements MERFC048 et MERFC049), le long des pistes de ski. Sur ces affleurements, il s'agit bien de gneiss gris, +/- migmatitiques, à grains fins et à biotite (Illustration 61). Ces gneiss sont souvent déformés, parfois affectés par des zones de cisaillement à chlorite. Ils passent insensiblement aux migmatites des Adus [232] et la limite entre les deux formations géologiques n'est pas franche. Ces migmatites (embréchites) semblent correspondre à un faciès plus fondu des gneiss de Chastillon.



Illustration 61 : Gneiss gris de Chastillon (gauche : affleurement MERFC034 ; droite : affleurement MERFC048).

Néanmoins, les repérages sur le terrain ont permis d'identifier des variations latérales de faciès et des alternances lithologiques qui ne sont pas cartographiées sur la carte géologique au 1/50 000. En effet, la carte géologique de Saint-Étienne-de-Tinée, sur laquelle s'étend la station de ski d'Isola 2000 a été publiée en 1954, et les levés géologiques de l'époque ont été réalisés avant la construction de la station de ski.

Or, sur le terrain, **l'affleurement MERFC049** consiste en une alternance de lithologies (alors que la carte géologique ne le précise pas). Le talus de la piste de ski est taillé dans une alternance de (i) gneiss gris à biotite passant ensuite à un niveau très cisailé marqué par l'occurrence de roches riches en actinolite (+/- talc ?) soulignant le contact avec (iii) des gneiss plus clairs (Illustration 62). Ce contact (probablement tectonique) entre les deux gneiss est donc marqué par la présence d'une zone de cisaillement mylonitique soulignée par ce niveau riche en actinolite (ancienne roche (ultra)basique ?), dans lequel on peut voir des baguettes vertes d'actinolite, potentiellement fibreuses (Illustration 63). Plusieurs échantillons ont été prélevés dans ce niveau particulier et ont fait l'objet d'analyses au laboratoire. Les gneiss clairs, à proximité de la zone de cisaillement, sont intensément fracturés et recoupés par des fentes et veines à albite-quartz-chlorite. Les quelques fentes observées ne semblent pas contenir d'amphibole fibreuse.



Illustration 62 : Haut : Vue générale de l'affleurement MERFC049: contact entre des gneiss gris (droite) et des gneiss leucocrates (gauche). Bas-gauche : photographie du talus de la piste de ski d'Isola 2000 (en contre-plan), sur la zone de cisaillement à actinolite. Bas-droite : plan de cisaillement sigmoïde où sont localisées les roches riches à actinolite.



Illustration 63 : Haut : Actinolite (ancienne roche (ultra)basique ?) à baguettes vertes d'actinolite.
Bas-gauche : gneiss leucocrate et bas-droite : exemple de veine à quartz-albite-chlorite.

REMARQUE : Les pistes de la station de ski d'Isola 2000 n'ont pas toutes fait l'objet d'une cartographie détaillée lors de la présente étude (la restitution des cartes de susceptibilité de présence d'amiante devant être restituées au 1/50 000) mais il apparaît très clairement que la connaissance géologique de cette station est encore lacunaire et qu'un travail complémentaire de cartographie géologique, en vue de l'établissement de cartes de susceptibilité de présence d'amiante à des résolutions supérieures (par ex : 1/5 000), doit être réalisé.

b) Analyses en laboratoire : Gneiss de Chastillon [231]

Trois échantillons ont été prélevés sur l'affleurement MERFC049 et ont fait l'objet d'analyses en laboratoire. Il s'agit d'un gneiss à biotite (probable « gneiss de Chastillon ») (MERFC049B) et de deux échantillons prélevés dans la zone cisailée (MERFC049A et MERFC049C) qui ont été étudiés au MOLP, puis pour deux d'entre eux (MERFC049A et MERFC049B) à la microsonde électronique et au MEB.

Au MOLP, l'échantillon MERFC049B correspond à un orthogneiss à foliation nette, constitué principalement de (i) cristaux de quartz étirés dans la foliation, associés à (ii) d'abondants cristaux de feldspaths (plagioclases (plg) et feldspaths potassiques (Kf), avec plg >> Kf) très altérés (entièrement damouritisés), dans la foliation également, (iii) des niveaux à chlorite (jaunâtres/verdâtres), biotite chloritisée +/- muscovite, (iv) quelques lamelles de muscovite isolées et étirées dans la foliation, (v) des opaques, assez abondants dans la foliation, également (Illustration 64).

L'apatite et le sphène sont accessoires. Des hydroxydes de fer (hématite) sont présents. Cette roche est recoupée par une fente à quartz en peigne, caractérisé par des cristaux de quartz dont la croissance s'est faite perpendiculairement aux épontes de cette fente. Aucune amphibole n'a été observée au sein de la fente à quartz (confirmation à la microsonde). Aucune serpentine n'a été observée dans cette lame mince. Cette roche n'est pas amiantifère.

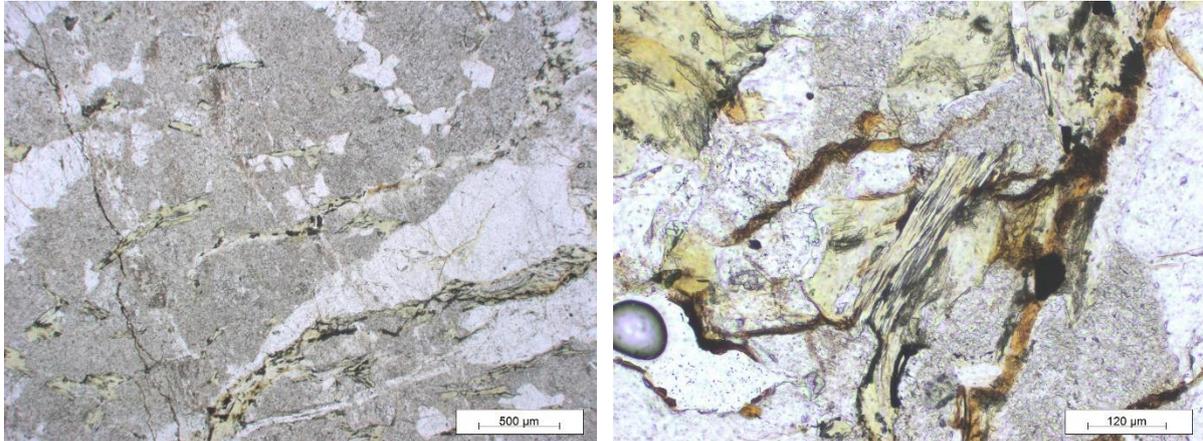


Illustration 64 : Orthogneiss à biotite chloritisée (LPNA) – lame MERFC049B.

Au MOLP, l'échantillon MERFC049A correspond à une roche grenue, altérée et métamorphosée (ancien gabbro ?). La paragenèse primaire y est relictuelle, les pyroxènes primaires étant partiellement à totalement amphibolitisés. La paragenèse observée est à (i) cristaux de plagioclases interstitiels, (ii) très abondants cristaux d'amphibole incolore à verdâtre (actinolite ; annexe 4), prismatique à fibreuse, (iii) nombreux clinopyroxènes, trapus et relictuels (partiellement à fortement amphibolitisés), (iv) quelques cristaux d'orthopyroxènes relictuels, moins abondants que les clinopyroxènes, (v) des cristaux globuleux isolés de sphène, (vi) des pseudomorphoses de talc (pseudomorphoses d'anciens mx), (vii) d'abondants petits cristaux globuleux, à fort relief (olivine ? / épidote ?) (Illustration 65). L'apatite, les carbonates sont accessoires. Le carbonate est présent, sous forme de cristaux disséminés. Les opaques sont disséminés, xénomorphes et de relativement grande taille. Aucune serpentine n'a été observée dans cette lame mince.

Les amphiboles qui constituent l'essentiel de cette roche sont incolores à verdâtres (actinolites ; annexe 4), de taille et de morphologie variées, mais principalement sous forme de baguettes automorphes de grande taille, ainsi que sous forme de fibres fines, parfois courtes mais aussi pour certaines longues et potentiellement asbestiformes (Illustration 65). Ces amphiboles fibreuses sont sous forme d'amas mais pseudomorphosent aussi les cristaux de clinopyroxènes (en association avec le talc). Ces amphiboles fibreuses sont très abondantes dans cette lame.

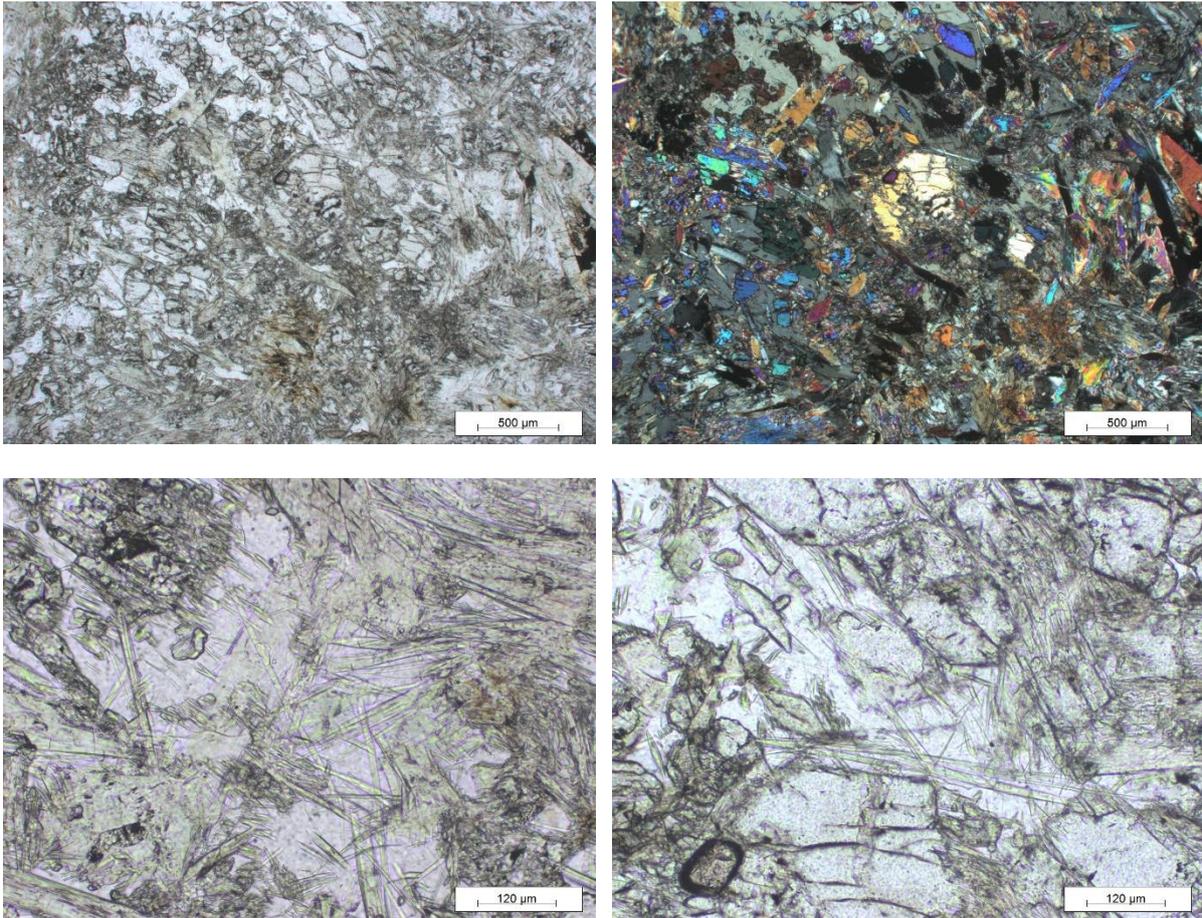
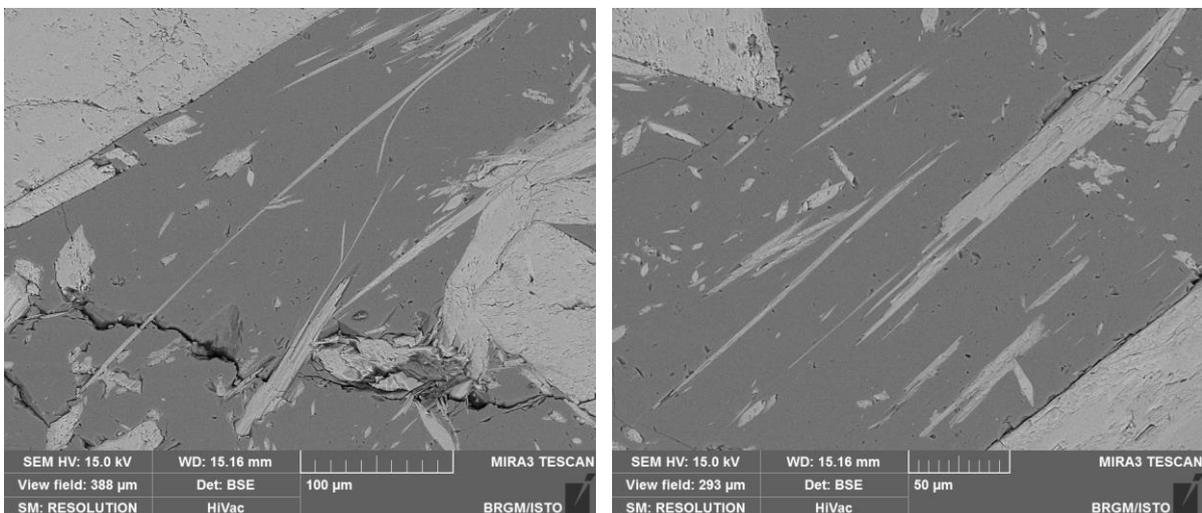


Illustration 65 : Haut, ancien gabbro (?) riche en actinolite+talc. Bas : détail des amphiboles incolores à verdâtres aciculaires (actinolites) et localement asbestiformes dans un gabbro (?) hydrothermalisé (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite : LPA) - Lame MERFC049A.

Les images obtenues au MEB confirment le caractère fibreux de l'échantillon. Les fibres observées ont des bords subparallèles et un rapport d'allongement parfois très élevé. Leur diamètre est variable et certaines fibres, subordonnées, ont un diamètre très inférieur à 3 µm. Quelques fibres parmi les plus fines sont courbes et asbestiformes (Illustration 66). Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphiboles calciques de type actinolite). Cet échantillon peut être déclaré amiantifère.



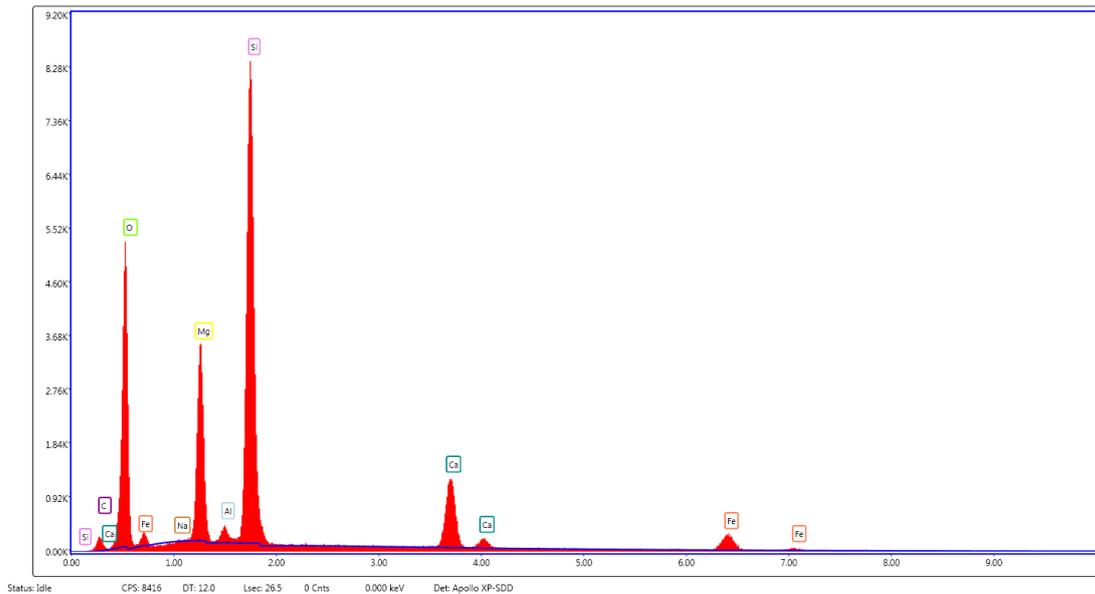
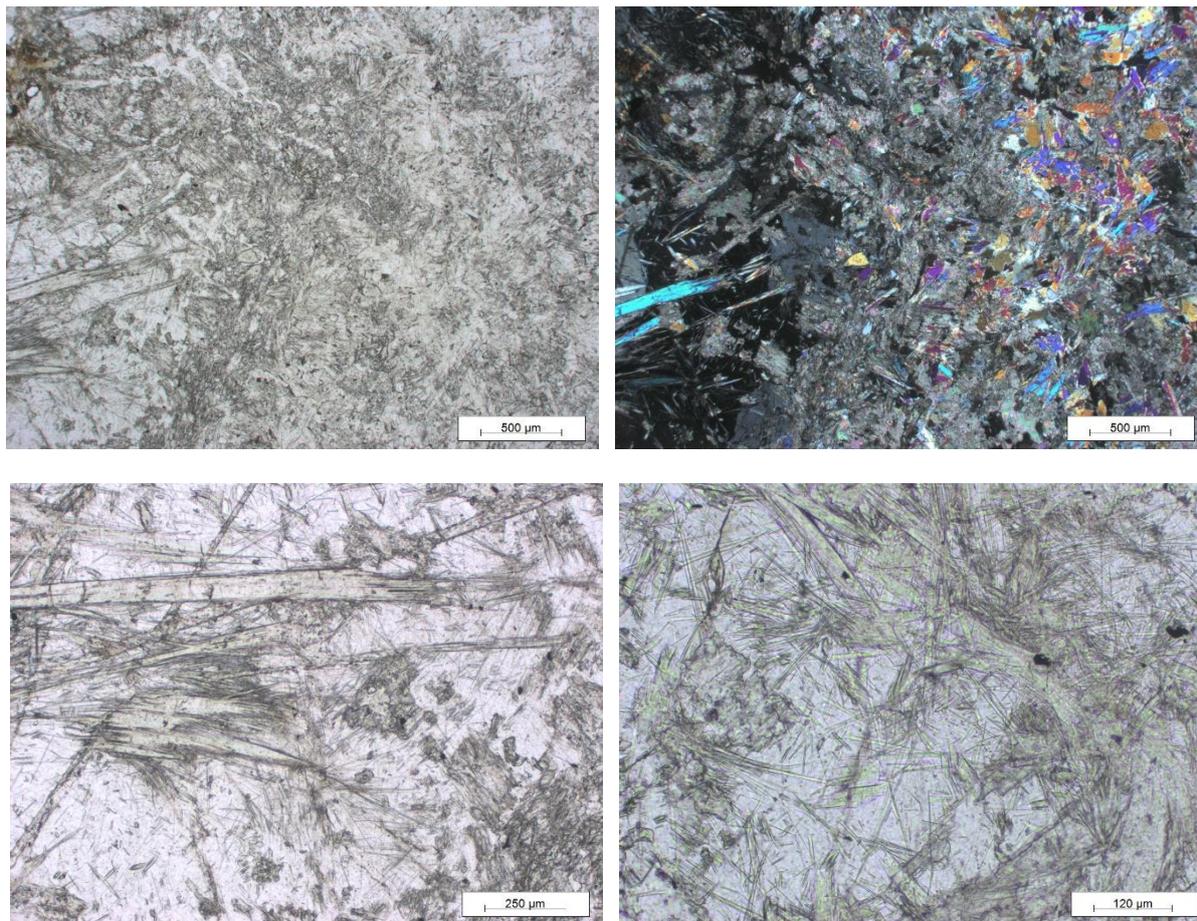


Illustration 66 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de la lame MERFC049A.

Conclusions pour l'échantillon MERFC049A : Des amphiboles sont présentes dans cette lame mince. Leur composition chimique (actinolite) 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 (1993), du moins pour une fraction d'entre elles. Cet échantillon est amiantifère (présence d'actinolite-amiante).

Au MOLP, l'échantillon MERFC049C ressemble à l'échantillon MERFC049A, de par l'abondance de cristaux d'amphiboles et la paragenèse observée. Néanmoins, cette lame comprend beaucoup de carbonates (en comparaison avec la lame MERFC049A). Il s'agit d'une roche (ancien gabbro grenu ?) très altérée et métamorphisée. La paragenèse primaire y est relictuelle, les pyroxènes étant partiellement amphibolitisés. La paragenèse observée est à (i) cristaux de plagioclases interstitiels, (ii) cristaux très abondants d'une amphibole incolore à verdâtre (actinolite, trémolite, rare édénite ; annexe 4), prismatique à fibreuse, (iii) des cristaux très abondants de carbonates, parfois plurimillimétriques, (iv) des cristaux d'orthopyroxènes et de clinopyroxènes très relictuels (dilacérés), partiellement à totalement amphibolitisés, (v) de la chlorite (pychnochlorite) sous forme d'amas, (vi) des lamelles de talc, (vii) des opaques disséminés, (viii) d'abondants petits cristaux globuleux à fort relief (olivine ?, épidote ?) (Illustration 67). Aucune serpentine n'a été observée dans cette lame mince.

Les amphiboles qui constituent l'essentiel de cette roche sont incolores à verdâtres (actinolite, trémolite), de taille et de morphologie variées, mais principalement sous forme de baguettes automorphes de grande taille, ainsi que sous forme d'amas de fibres très fines, dont une partie importante est potentiellement asbestiforme (Illustration 67). Ces amphiboles fibreuses sont souvent blindées dans les cristaux de carbonate et sont très abondantes.



*Illustration 67 : Haut : Actinolite (ancienne roche (ultra)basique ?) riche en actinolite fibreuse.
Bas : détail des amphiboles incolores à verdâtres (actinolite) sous forme de baguettes et/ou de fibres courtes et de fibres potentiellement asbestiformes (haut-gauche et bas : LPNA ; haut-droite : LPA) -
Lame MERFC049C.*

Les images obtenues au MEB confirment le caractère fibreux de l'échantillon. Les images acquises montrent que cet échantillon est constitué par des particules fibreuses allongées, à bords le plus souvent parallèles, plus ou moins épaisses (Illustration 68). Une fraction subordonnée de ces fibres possède des morphologies très clairement asbestiformes, avec des diamètres fins et des rapports d'allongement très élevés (> 50). Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphiboles calciques de type trémolite-amiante et actinolite-amiante ; Illustration 68).

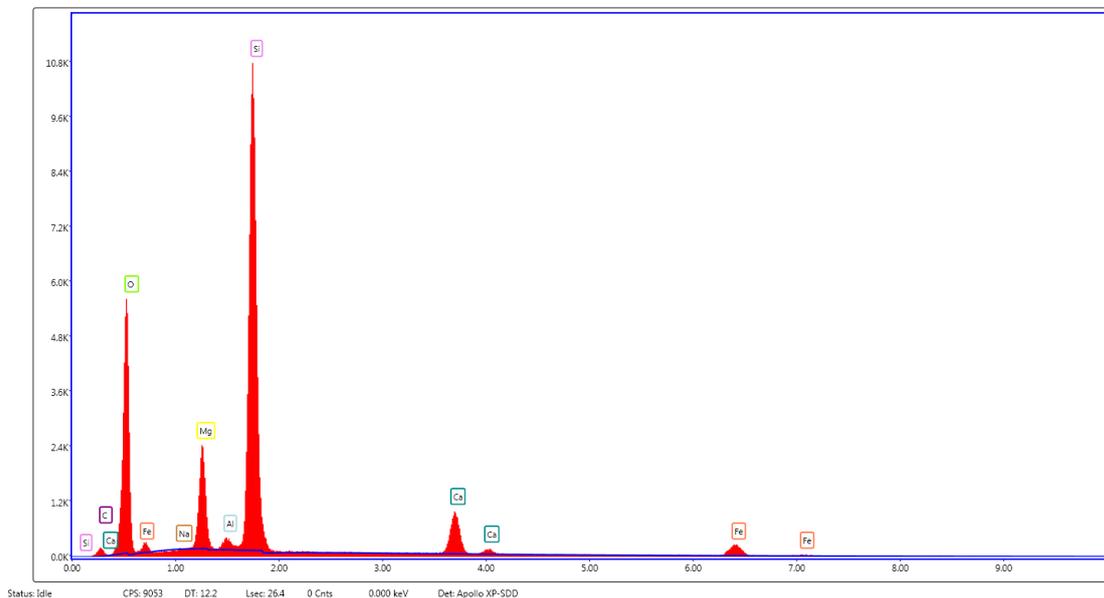
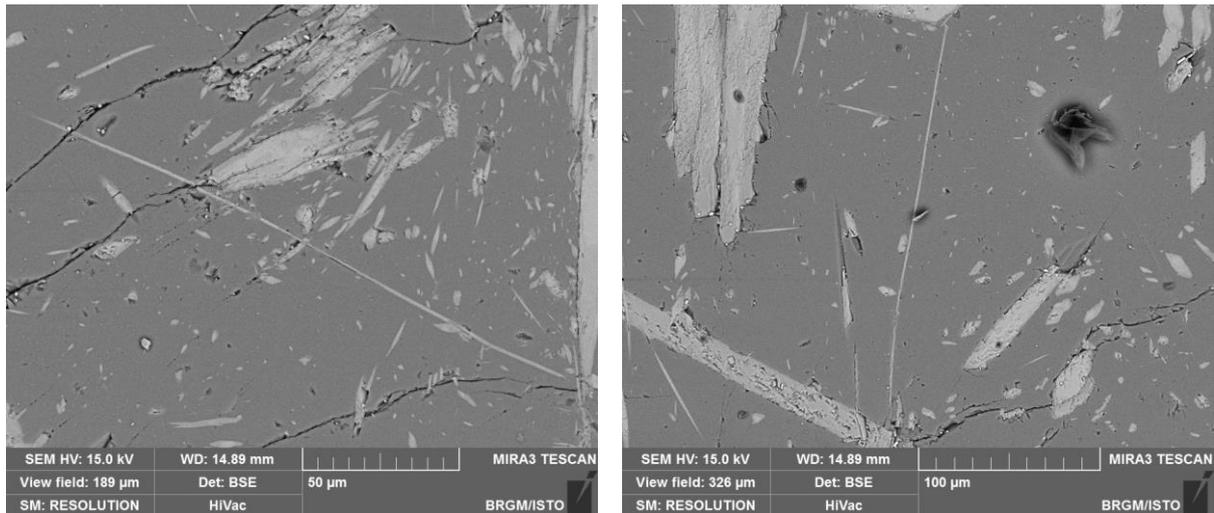


Illustration 68 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC049C.

Conclusions pour l'échantillon MERFC049C : Des amphiboles sont présentes dans cette lame mince. Leur composition chimique (actinolite, trémolite) correspond 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 (1993), du moins pour une fraction d'entre elles. Cet échantillon est amiantifère (présence d'actinolite et de trémolite-amiante).

3.3.7. Les lamprophyres (spessartites) [236]

a) Description sur le terrain : lamprophyres (spessartites) [236]

Les lamprophyres (ici principalement des spessartites) correspondent à des roches filoniennes (magnésiennes, calco-alcalines et moyennement alumineuses). Ces roches sont principalement constituées de plagioclase (albite), d'amphibole (hornblende brune), d'augite et de biotite. Dans le Mercantour, ces lamprophyres peuvent recouper différentes lithologies (granites, migmatites) (Illustration 69). Ces roches sont fréquemment affectées par des processus hydrothermaux tardi-magmatiques, qui s'expriment par la recristallisation statique des phases magmatiques en associations à épidote et actinolite.

Dans le Mercantour, ces lamprophyres se sont mis en place à un niveau structural très superficiel et peuvent recouper trois générations de structures varisques superposées dans le complexe migmatitique (D1, D2, D3 ; Filippi *et al.*, 2019). Par contre, les zones mylonitiques alpines (D4) qui sont localisées recouper et décalent ces filons de lamprophyres (Filippi *et al.*, 2019). L'emplacement de ces filons est lié à l'amincissement lithosphérique d'âge Permo-Trias (Filippi *et al.*, 2019).

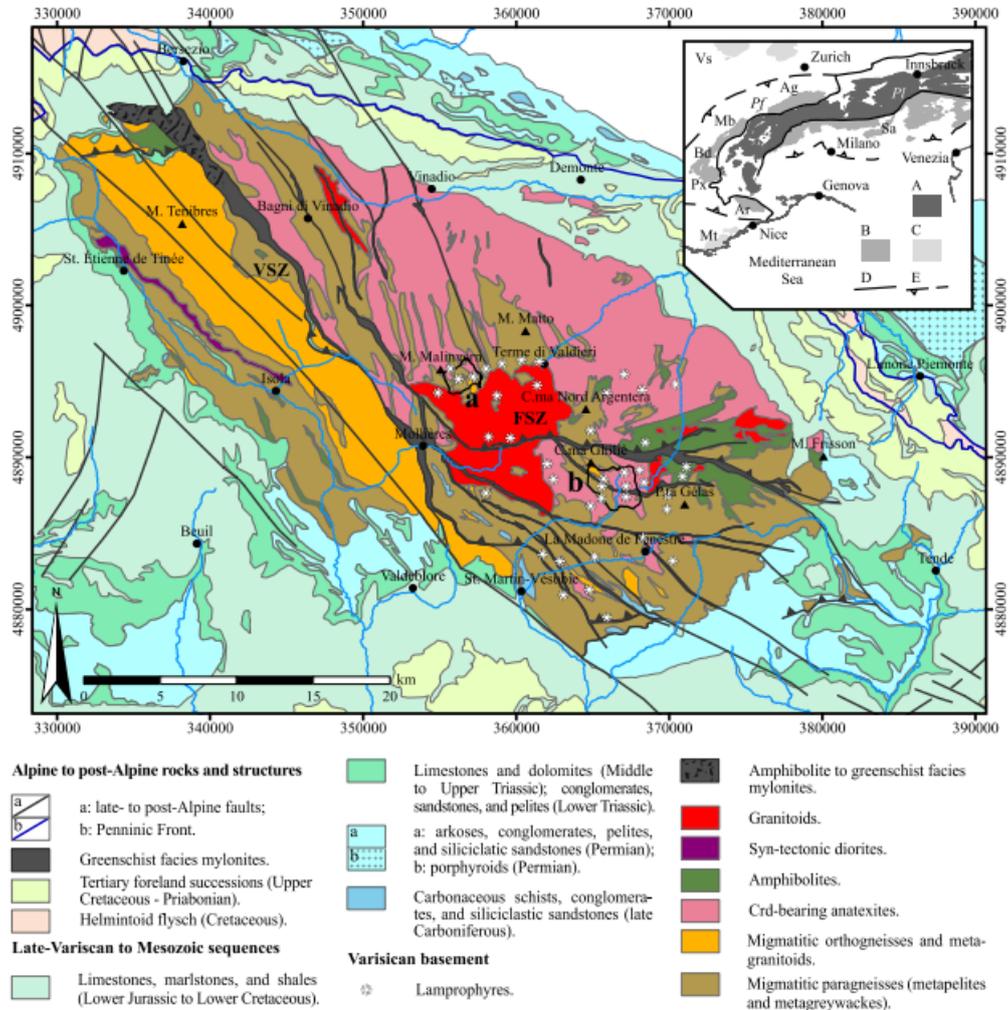


Fig. 1. Simplified geologic map of the Argentera-Mercantour Massif (after Malaroda *et al.*, 1970; Carosi *et al.*, 2016; Gosso *et al.*, 2019; and refs. therein). Black profiles highlight Valscura (a) and Val du Haut Boréon (b). Abbreviations: FSZ: Fremamorta Shear Zone; VSZ: Vailletta Shear Zone (also known as Ferrere-Mollières Shear Zone). Projected coordinate system: WGS 84-UTM32N. Insert: tectonic sketch of the Alps: A: Variscan basement rocks into the axial zone of the Alps; B: Variscan basement rocks at the external margins of the Alps (Ag: Aar-Gothard Massif; Ar: Argentera-Mercantour Massif; Bd: Belledonne Massif; Mb: Mont Blanc Massif; Px: Pelvoux Massif; Sa: Southern Alps); C: Variscan basement rocks external to the Alpine fronts (Mt: Maures-Tanneron Massif, Vs: Vosges); D: lithospheric-scale structures delimiting the axial zone of the Alps (Pf: Penninic Front, Pl: Periadriatic Lineament); E: Alpine fronts.

Illustration 69 : Carte géologique extraite de Filippi et al. (2019) montrant la localisation des principales occurrences de lamprophyres (étoiles blanches) dans le massif du Mercantour.

Dans le cadre de cette étude, les filons de lamprophyre ont été observés sur deux zones distinctes : (i) près du Lac Rouge, dans la région d'Isola (affleurements MERFC040, MERFC041 et MERFC043) et (ii) près des lacs Bessons (affleurements MERFC052, MERFC053, MERFC054, MERFC056).

Près du lac Rouge (affleurements MERFC040, MERFC041 et MERFC043), les filons de lamprophyres recouper à l'emporte-pièce le granite de l'Argentera. Il s'agit de roches sombres (vertes), recoupées parfois par des veinules à albite-chlorite, et présentant une légère fabrique (épontes des filons souvent schistosées) (Illustration 70). Ces filons massifs ne présentent pas d'évidence d'occurrences fibreuses.



Illustration 70 : Lamprophyres du Lac Rouge, recoupant le granite de l'Argentera (haut : affleurement MERFC041 ; bas : affleurement MERFC040).

Dans la montée vers – et à proximité – des lacs Bessons, les lamprophyres sont parfois nombreux et ils recoupent des gneiss migmatitiques (Fm des migmatites de Fenestre). Ces lamprophyres peuvent être associés à des filons acides leucocrates (affleurement MERFC056). Sur les affleurements MERFC053 et MERFC054, ces filons semblent porteurs de minéraux fibreux, avec la croissance de fibres vertes perpendiculaires à leurs épontes (Illustration 71). Leur puissance est limitée et la plupart du temps inférieure au mètre. Des échantillons ont été prélevés sur les deux sites (Lac Rouge et Lacs Bessons). Les analyses réalisées sur les fibres des échantillons prélevés sur les affleurements MERFC053 et MERFC054 ont permis de confirmer la présence d'actinolite.





Illustration 71 : Lamprophyres des lacs Bessons, recoupant les migmatites de Fenestre (haut : affleurement MERFC052 ; 2^e ligne : deux filons subverticaux et sombres de lamprophyres recoupent les migmatites (affleurement MERFC054) ; 3^e ligne : macro-échantillons de lamprophyres recoupés (à gauche) par une veine fibreuse ; bas : migmatite recoupée par des filons acides (clairs) et basiques (sombres) aux lacs Bessons (affleurement MERFC056).

b) Analyses en laboratoire : lamprophyres (spessartites) [236]

Six échantillons, prélevés sur le terrain dans ces lamprophyres, ont fait l'objet de lames minces et d'une étude au MOLP (MERFC040A, MERFC040B, MERFC041B, MERFC054B, MERFC054C, MERFC056) et pour quatre d'entre elles, l'objet d'une étude complémentaire à la microsonde électronique (MERFC040B, MERFC054B, MERFC054C, MERFC056).

Au MOLP, la lame mince MERFC040A correspond à un lamprophyre constitué principalement d'une matrice fine, foliée, constituée de lamelles fines de chlorite, de muscovite, d'amphibole incolore à verdâtre (actinolite possible ?) et de plagioclases, au sein de laquelle on peut observer des cristaux de plus grande taille, parfois millimétriques de biotite (à inclusions de zircon) parfois chloritisées (Illustration 72). L'apatite, le sphène, l'épidote et le zircon sont accessoires. La roche est parcourue de veines, à fort angle de la foliation, constituées de quartz et plagioclases qui cristallisent perpendiculairement aux épontes des veines. Aucune serpentine n'est présente dans cette lame mince. Les amphiboles présentes dans cette lame sont peu abondantes et de petite taille (Illustration 72). Leurs caractéristiques optiques suggèrent qu'elles puissent correspondre à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante (actinolite) mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon n'est pas amiantifère.

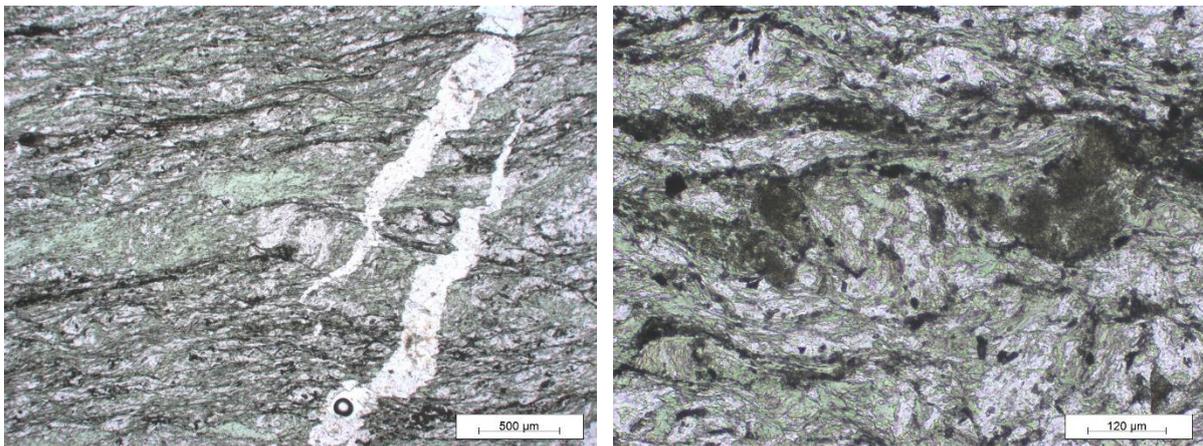


Illustration 72 : Lamprophyre riche en chlorite (LPNA) – lame MERFC040A.

Au MOLP, la lame mince MERFC040B correspond à un lamprophyre constitué principalement d'une matrice très fine, foliée, constituée de lamelles fines de chlorite, de muscovite, d'amphibole incolore à verdâtre (actinolite ; annexe 4) et de plagioclases, au sein de laquelle on peut observer des cristaux de plus grande taille, parfois millimétriques de biotite et d'amphibole brune (magnésio-hastingsite, parfois enrichie en Ti ; annexe 4) (Illustration 73). Des niveaux sont riches en quartz et chlorite. Le carbonate (calcite) est abondant, associé aux quartz, aux plagioclases et aux chlorites. Quelques cristaux d'hydroxyde de fer sont présents (hématite). Des gros minéraux opaques (magnétite) sont aussi disséminés. L'apatite, le sphène et l'épidote sont accessoires. Aucune serpentine n'est présente dans cette lame mince. Les amphiboles présentes dans cette lame mince (en particulier les très petites amphiboles de la matrice) peuvent avoir une composition chimique (actinolite) qui correspond à l'une des cinq espèces d'amphiboles réglementées au titre de l'amiante mais leurs caractéristiques dimensionnelles ne sont pas celles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Ces actinolites sont de très petite taille et peu abondantes. Cet échantillon n'est donc pas amiantifère mais il est susceptible de libérer des fragments de clivage d'amphibole (actinolite) en cas d'agression mécanique. Ces fragments de clivage sont susceptibles de correspondre à des fibres inhalables au sens de l'OMS et être assimilés à des fibres d'amiante. Par ailleurs, les amphiboles brunes sont aussi susceptibles de libérer des fragments de clivage.

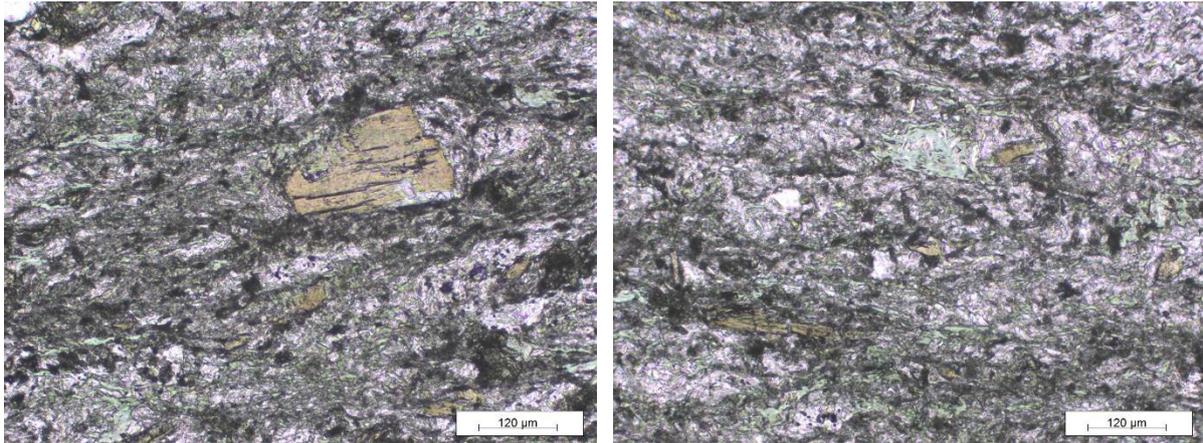


Illustration 73 : Lamprophyre, à amphiboles brunes (hastingsites) et petites actinolites associées aux chlorite (matrice) (LPNA) – lame MERFC040B.

Au MOLP, la lame mince MERFC041B correspond à un lamprophyre constitué principalement d'une matrice fine, foliée, constituée (i) d'abondants cristaux de plagioclases enchevêtrés et partiellement altérés (damouritisés), (ii) d'abondantes lamelles fines de chlorite (et/ou biotite chloritisée) définissant la foliation, associées à des lamelles incolores de muscovite, (iii) de cristaux d'épidote subautomorphes à xénomorphes et brunâtres (pistachite), (iv) de petits minéraux opaques disséminés (Illustration 74). L'apatite, le sphène, et le quartz sont accessoires. De petites veinules (et des poches) carbonatées recoupent localement ce lamprophyre, et sont souvent associées à du quartz. Aucune amphibole fibreuse n'est visible dans ces veines. Aucune serpentine n'est présente dans cette lame mince. Cet échantillon n'est pas amiantifère.

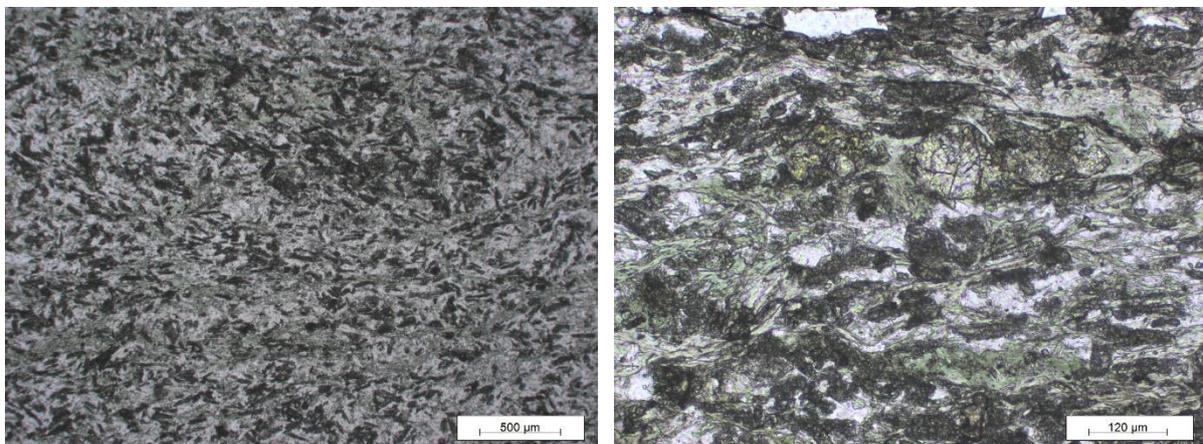


Illustration 74 : Lamprophyre riche en chlorite et épidote (LPNA) – lame MERFC041B.

Au MOLP, les lames minces MERFC054B et MERFC054C correspondent à des lamprophyres riches en amphibole brune, recoupés par des veinules. Les lamprophyres sont constitués principalement de (i) cristaux de plagioclases associés à (ii) d'abondantes baguettes automorphes d'amphibole brune (pargasite titanifère ; annexe 4), (iii) des cristaux d'épidote (zoïsite), (iv) des plages de chlorite souvent associées à quelques amphiboles verdâtres (actinolites ; annexe 4), (v) des petits opaques disséminés (Illustration 75). Aucune serpentine n'est visible dans les lamprophyres « sains ». Ces roches grenues sont recoupées par un réseau d'abondantes veinules, parallèles les unes aux autres. Ces veinules sont constituées de plagioclases, associés à des épidotes (zoïsite), de la chlorite et des amphiboles vertes (actinolites très abondantes). Tous ces minéraux ont une croissance perpendiculaire aux épontes des veinules.

Les amphiboles vertes contenues dans ces veines sont localement prismatiques mais le plus souvent fibreuses, et parfois sous forme d'amas de fibres de petite taille (actinolites) (Illustration 75). Il semble que la circulation de fluides le long de « couloirs » (veinules) a permis de cristalliser des amphiboles vertes, aux dépens des amphiboles brunes des lamprophyres, ces amphiboles vertes ayant localement des morphologies aciculaires, fibreuses, avec des tailles relativement fines. Ces circulations de fluides se sont accompagnées de la cristallisation d'autres phases calciques telle que la zoisite, par exemple. Ces amphiboles vertes sont par ailleurs absentes dans les lamprophyres, loin de ces veinules.

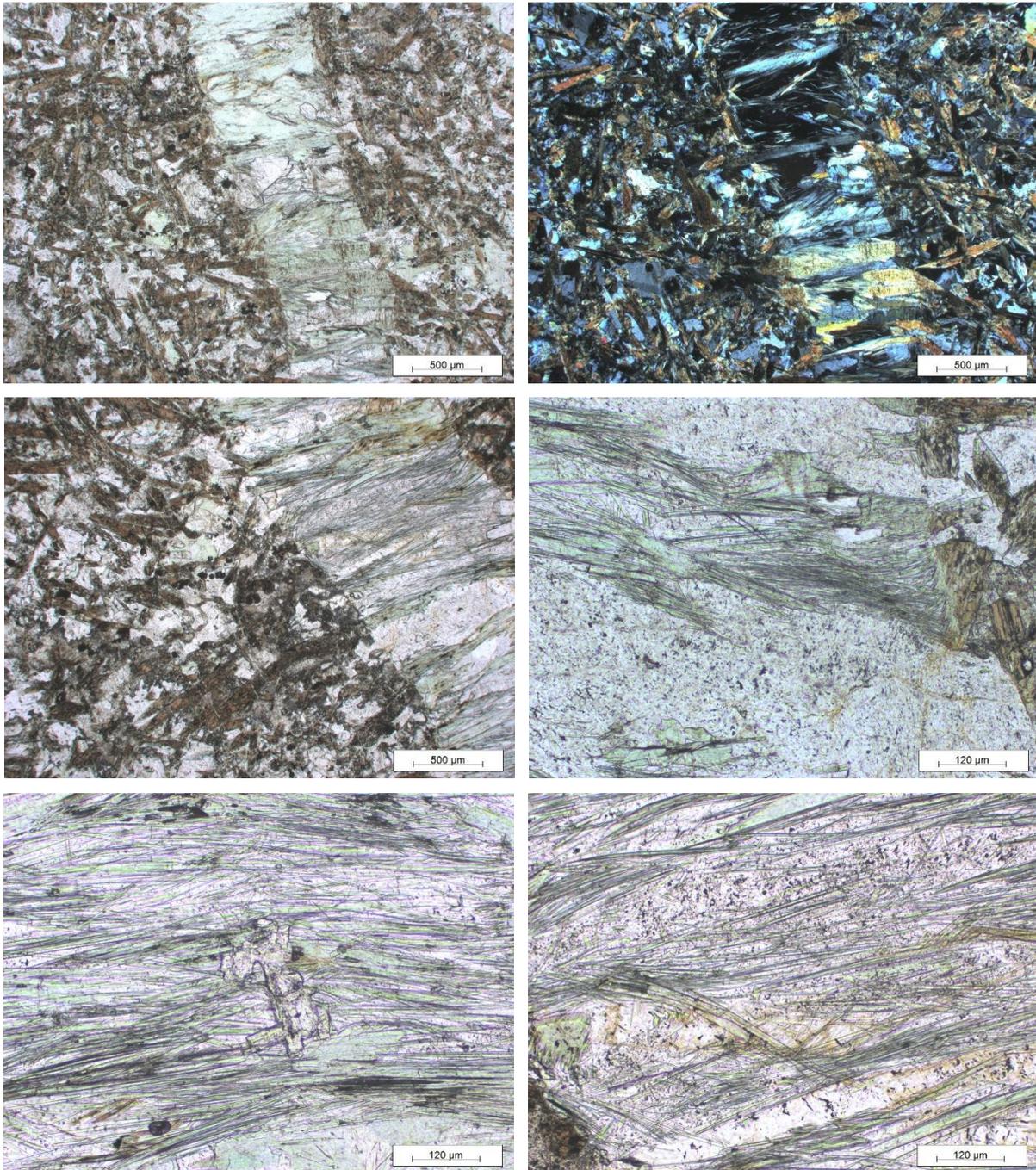


Illustration 75 : Lamprophyres recoupés par des veinules riche en actinolite (en haut : lame MERFC054B et au milieu à gauche : lame MERFC054C). Au milieu, à droite et en bas : détail des amphiboles (actinolites) fibreuses dans les veines (LPNA, sauf en haut à droite : LPA).

Les analyses réalisées au MEB confirment la richesse en fibres des échantillons MERFC054B et MERFC054C. Les images acquises au microscope électronique à balayage montrent que ces échantillons sont constitués par des fibres à bords généralement parallèles, plus ou moins allongées et épaisses (Illustration 76, Illustration 77). Une fraction subordonnée de fibres très fines, clairement asbestiformes, est également observée (en particulier dans l'échantillon MERFC054C, Illustration 77). Les spectres EDS enregistrés sont cohérents avec la nature probable de ces fibres (amphiboles calciques de type actinolite ; Illustration 76, Illustration 77).

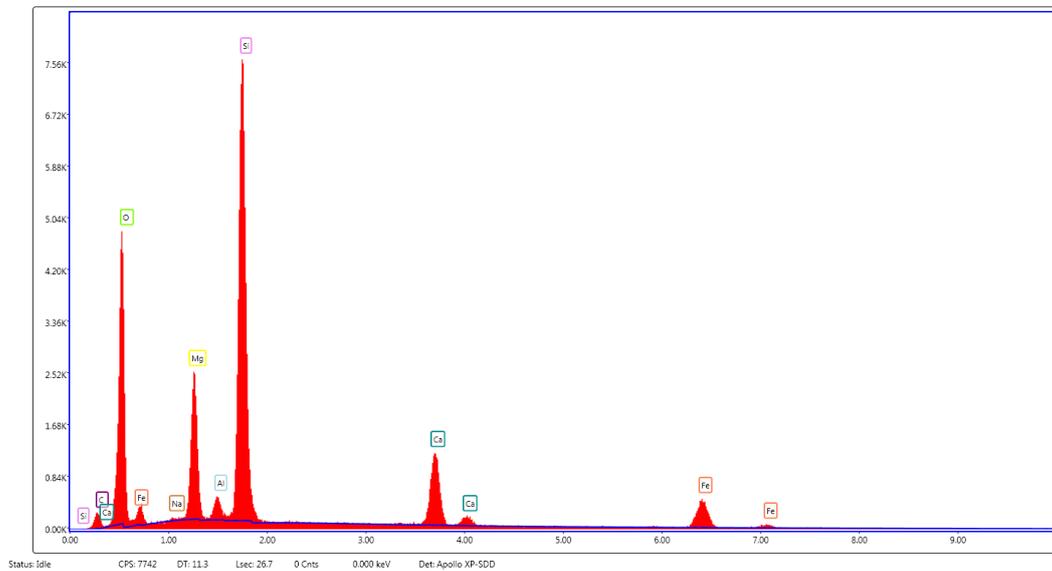
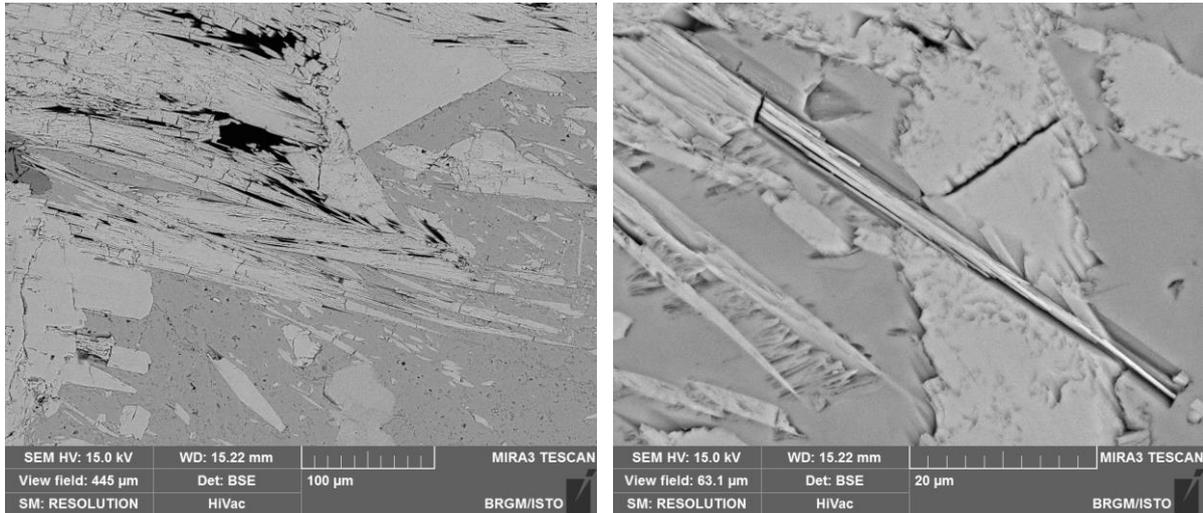


Illustration 76 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC054B.

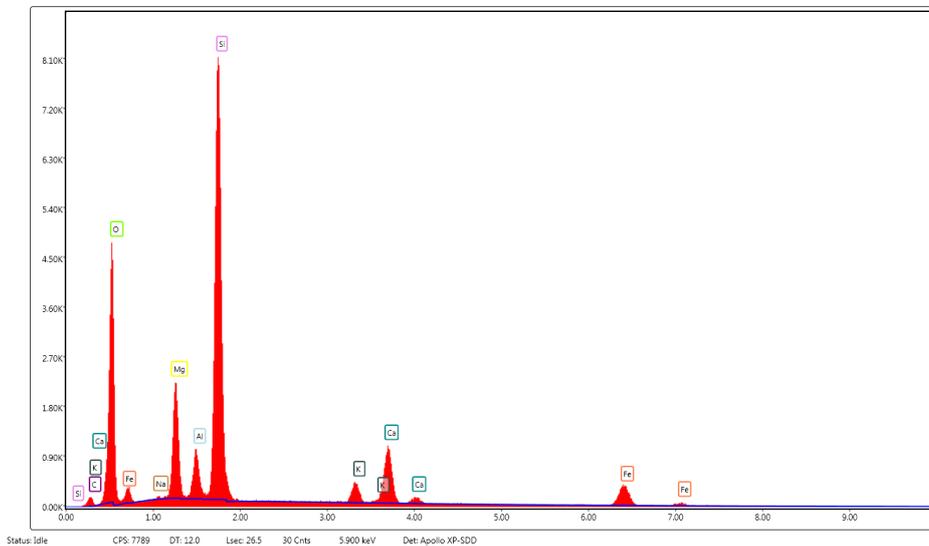
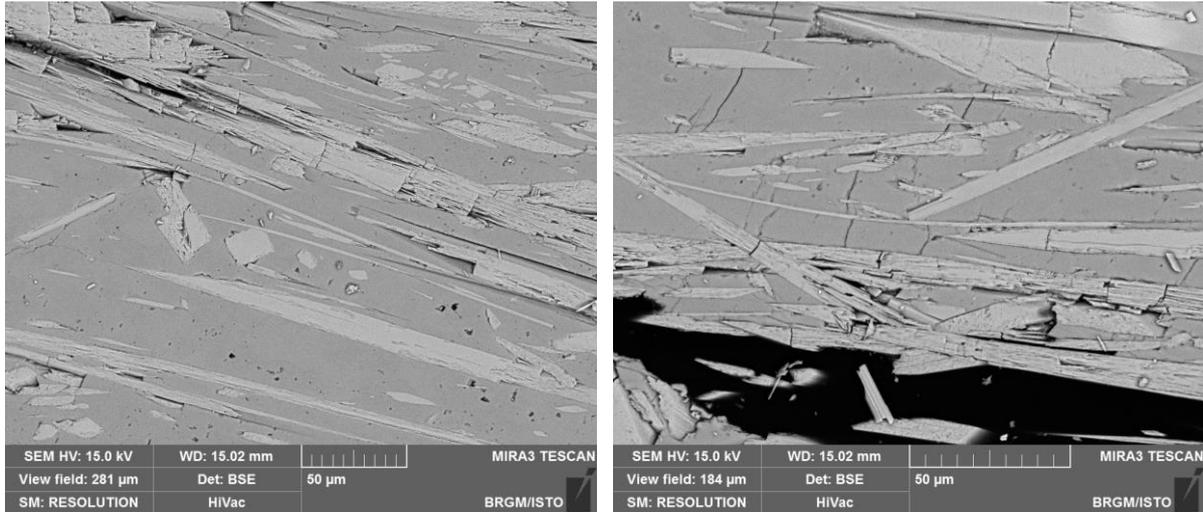


Illustration 77 : Images et spectre obtenus au MEB sur des amphiboles de l'échantillon MERFC054C.

Conclusions pour les lames MERFC054B et MERFC054C : Des amphiboles sont présentes dans ces lames minces. Leur composition chimique (actinolite) 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 (1993), du moins pour une petite fraction d'entre-elles. Ces échantillons doivent donc être considérés comme amiantifères (présence d'actinolite-amiante).

Au MOLP la lame mince MERFC056 correspond à un lamprophyre, non déformé, riche en amphibole brune, et qui n'est pas recoupé par des veinules. Ce lamprophyre est constitué principalement de (i) cristaux de plagioclases subautomorphes automorphes peu altérés, associés à (ii) d'abondantes baguettes automorphes d'amphibole brune (ferro-pargasite, pargasite titanifère ; annexe 4) parfois chloritisées / pseudomorphosées en amphibole verte (ferro-actinolite ; annexe 4) en leurs bordures, (iii) des cristaux d'épidote (zoïsite, pistachite), (iv) des plages de chlorite et (v) des petits opaques globuleux disséminés (Illustration 78). Cette roche n'est pas recoupée par des veinules. Certains niveaux sont particulièrement riches en plagioclases (niveaux leucocrates). L'apatite est abondante, sous forme de baguettes incolores disséminées. Présence de quelques lamelles de biotite chloritisées. Aucune serpentine n'est visible dans ce lamprophyre. Les amphiboles brunes (localement transformées en amphibole verte) sont toujours prismatiques à xénomorphes et ne sont jamais fibreuses.

Les amphiboles présentes dans cette lame mince n'ont ni la composition chimique de l'une des cinq amphiboles réglementées au titre de l'amiante, ni les caractéristiques dimensionnelles des fibres asbestiformes au sens de l'EPA (1993). Cet échantillon n'est pas amiantifère.

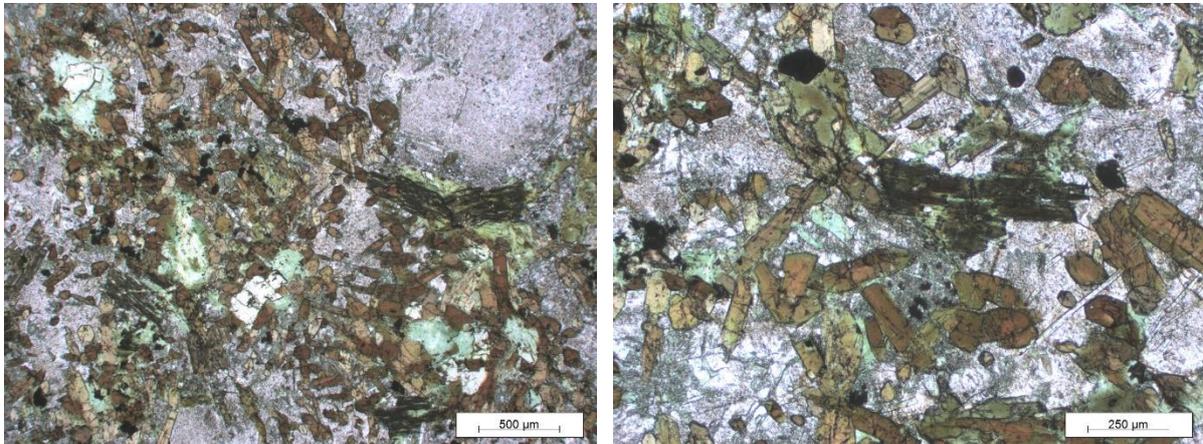


Illustration 78 : Lamprophyre riche en amphiboles brunes (pargasites titanifères, ferro-pargasites) localement transformées en amphiboles vertes (ferro-actinolites) (LPNA) – lame MERFC056.

3.4. LES FORMATIONS DE NIVEAU DE SUSCEPTIBILITE PREVISIONNEL « FAIBLE A TRES FAIBLE »

Dans le Mercantour, la majorité des roches potentiellement porteuses de minéraux amiantifères concerne des niveaux particuliers, des enclaves, des nodules, des boudins, des zones de cisaillement au sein de complexes gneissiques et migmatitiques. Ces « encaissants » ont donc fait l'objet d'expertises lorsqu'ils ont été rencontrés sur le terrain. Il s'agit en particulier de granites (granite de l'Argentera [230], granite de la Valmasque [284]), de gneiss et de migmatites (gneiss de la série de Varélios-Fougiéret [220], des migmatites plagioclasiques de la série d'Anelle [221], des migmatites des Adus [232], des migmatites alcalines de la série de Rabuons [224], des migmatites schisteuses à biotite, muscovite, disthène, sillimanite [259] et des migmatites de Fenestre [278]) (Illustration 79).

CODE	COD_LEG	NOTATION	DESCR	Affleurement	NSPA_previs
230	226	ã2	Granite de l'Argentera	MERFC042	1
284	270	ã1	Granite de la Valmasque	MERFC059	1
220	218	Ômf	Série de Varélios-Fougiéret : gneiss	MERFC017, MERFC018, MERFC019, MERFC020	1
221	219	Zë	Migmatites plagioclasiques. Série d'Anelle	MERFC022, MERFC023, MERFC024, MERFC025, MERFC027	1
232	228	M1ã1	Embréchites : migmatites des Adus	MERFC044, MERFC045, MERFC050	1
224	221	ÖOEã	Série de Rabuons : migmatites alcalines (Embréchites oeillées)	MERFC001, MERFC051	1
259	255	Mæ	Migmatites schistoïdes à biotite, muscovite, disthène, sillimanite	MERFC004	1
278	266	M2ã1	Anatexites (Migmatites de Fenestre)	MERFC056, MERFC057, MERFC058, MERFC082	1

Illustration 79 : Liste des affleurements visités correspondant aux formations géologiques de la zone du Mercantour préalablement affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel « nul à très faible ».

3.4.4. Le granite de l'Argentera [230] et le granite de la Valmasque [284]

a) *Description sur le terrain : les granites de l'Argentera [230] et de la Valmasque [284]*

Le granite de l'Argentera a été observé sur le terrain, en particulier près du lac des terres rouges (affleurement MERFC042). Il s'agit d'un granite clair, riche en microcline, plagioclase (albite), avec des micas peu abondants (biotite, muscovite) et souvent à gros grains (Illustration 80). Ce granite est recoupé par des lamprophyres expertisés par ailleurs (lamprophyres [232]). Néanmoins dans le granite, aucune évidence d'occurrence fibreuse n'a été observée sur le terrain.

Le granite de la Valmasque a été observé sur le terrain, en particulier lors de la montée vers le refuge de la Valmasque (affleurement MERFC059 ; Illustration 80). Il s'agit d'un granite d'anatexie, clair, associé aux migmatites de Fenestre. Si les enclaves qu'il contient sont parfois riches en minéraux fibreux (cf. Formation du granite à enclaves [285]), aucune évidence d'occurrence fibreuse n'a été observée dans le granite lui-même.



Illustration 80 : Granite de l'Argentera (gauche : MERFC042) et granite de la Valmasque (droite : MERFC059).

b) *Analyses en laboratoire : les granites de l'Argentera [230] et de la Valmasque [284]*

Du fait de leur faible susceptibilité à contenir des minéraux fibreux, confirmée par les observations de terrain, aucune analyse en laboratoire n'a été réalisée à partir d'échantillons de ces granites.

3.4.5. Les gneiss et migmatites (encaissants des roches basiques amphiboliques)

a) *Gneiss de la série de Varélios-Fougiéret [220]*

Ces gneiss affleurent au bord de la Tinée et correspondent à des gneiss à biotite riches en plagioclases, associés à des quartzites à biotite et grenat et à des amphibolites (traitées par ailleurs dans la formation des « amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques » [219] (Illustration 81). Sur le terrain, ces gneiss ont été observés sur les affleurements MERFC017, MERFC018, MERFC019 et MERFC020 et aucune évidence d'occurrence fibreuse n'a été observée dans ceux-ci.



Illustration 81 : Gneiss à biotite, parfois migmatitiques de la série de Varélios-Fougiéret (gauche : MERFC020 ; droite : MERFC018).

Une analyse en laboratoire a été réalisée dans un échantillon prélevé dans les gneiss (migmatitiques) de la série de Varélios-Fougiéret (échantillon MERFC018). Une lame mince a été réalisée dans cet échantillon, laquelle a ensuite été étudiée au MOP. Au MOP, la lame mince MERFC018 correspond à un orthogneiss à biotite et chlorite, constitué principalement d'abondants cristaux de quartz, de feldspath alcalin, de plagioclase, de lamelles de biotite (parfois chloritisées) et de niveaux riches en lamelles de chlorite (Illustration 82). Tous ces minéraux soulignent une foliation bien exprimée. Des niveaux très riches en micas blancs de petite taille (muscovite) soulignent aussi la foliation. Le sphène, l'apatite, le zircon, l'épidote, le rutile sont accessoires. Aucune amphibole et aucune serpentine n'ont été observées dans cette lame mince. La roche ne possède donc aucun potentiel amiantifère.

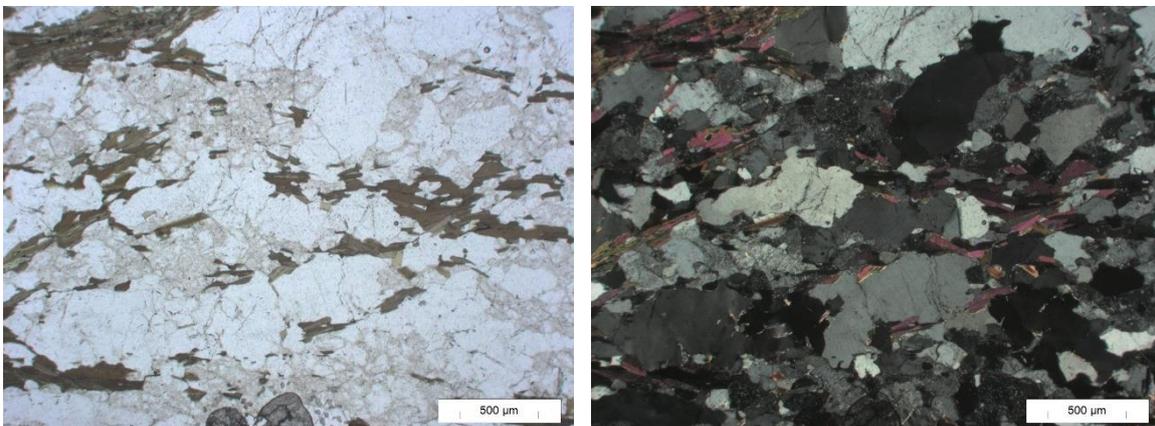


Illustration 82 : Orthogneiss à biotite et chlorite – MERFC018 (gauche : LPNA ; droite : LPA).

b) Migmatites plagioclasiques de la série d'Anelle [221]

Les migmatites plagioclasiques de la série d'Anelle ont été observées sur les affleurements MERFC022, MERFC023, MERFC024, MERFC025 et MERFC027. Sur le terrain, il s'agit de migmatites plagioclasiques foliées (foliation généralement subverticale) et plissées, riches en leucosomes correspondant à un faciès d'« embréchites litées ou amygdalaires » (p. 9, notice de la carte géologique n° 920) (Illustration 83). Ces migmatites sont riches en biotite (+/- muscovite +/- sillimanite +/- amphibole +/- épidote). Des amphibolites sont associées à ces migmatites (traitées dans la formation des « amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques » [219]). Aucune évidence d'occurrence fibreuse n'a été observée dans ces migmatites.



Illustration 83 : Gneiss migmatitiques de la série d'Anelle, foliés (foliation verticale) et plissés (gauche : MERFC22 ; centre : MERFC025, droite : MERFC027).

Une analyse en laboratoire a été réalisée dans un échantillon prélevé dans les gneiss (migmatitiques) de la série d'Anelle (échantillon MERFC023C). Une lame mince a été réalisée dans cet échantillon, laquelle a ensuite été étudiée au MOLP. **Au MOLP, la lame mince MERFC023C** correspond à un gneiss leucocrate leptynitique constitué essentiellement de cristaux de feldspaths plagioclases damouritisés (très abondants) et de feldspaths potassiques altérés, associés à des cristaux de quartz, des lamelles xénomorphes de biotite partiellement à totalement chloritisées (Illustration 84). Tous ces minéraux soulignent la foliation. Les opaques sont abondants, de petite taille et disséminés, mais ils soulignent également la foliation. Le sphène, l'épidote et l'apatite sont accessoires. Aucune amphibole et aucune serpentine n'ont été observées dans ce gneiss. Cette roche est recoupée par une veine principale (et quelques petites veinules). La veine la plus grosse est constituée de cristaux plurimillimétriques à centimétriques d'épidote, de carbonate, de chlorite et de plagioclase. Aucune amphibole n'a été observée dans cette veine. Les cristaux constitutifs de cette veine sont perpendiculaires aux épontes de celle-ci.

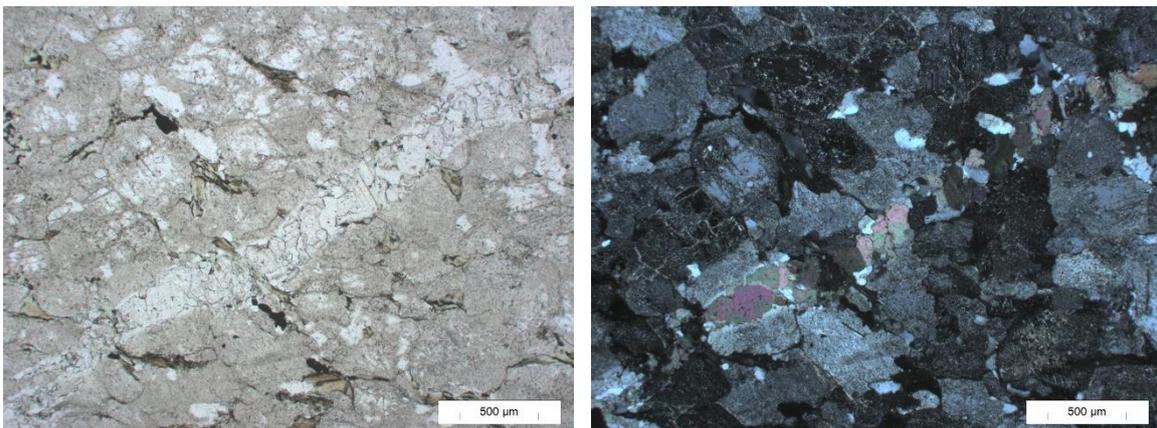


Illustration 84 : Gneiss leptynitique (à fente à chlorite-calcite-épidote-albite) (gauche : LPNA ; droite : LPA).

c) *Migmatites des Adus [232]*

Les migmatites des Adus ont été observées sur les affleurements MERFC044, MERFC045 et MERFC050. Elles se présentent sous forme de gneiss migmatitiques à biotite et muscovite +/- riches en leucosomes, bien foliés (foliation souvent sub-verticale), (Illustration 85). Ces gneiss bien foliés sont souvent chloritisés et affectés par des zones de cisaillement riches en chlorite (+/- amphibole). Ils sont bien visibles à Isola 2000 où ils sont intimement associés aux gneiss de Chastillon (correspondant à des termes migmatitiques évolués de ces mêmes gneiss ?). Aucune évidence fibreuse n'a été observée dans ces gneiss, mais une cartographie fine des niveaux cisailés chloriteux (+/- amphiboliques ?) serait nécessaire (en particulier près et dans la station de ski d'Isola 2000).



Illustration 85 : Migmatites des Adus dans la station de ski d'Isola 2000 (affleurement MERFC044).

Une analyse en laboratoire a été réalisée dans un échantillon prélevé dans les migmatites des Adus (échantillon MERFC045). Une lame mince a été réalisée dans cet échantillon, qui a été étudiée au MOLP et à la microsonde électronique. Au MOLP, la lame mince MERFC045 correspond à un orthogneiss bien folié, constitué principalement de (i) cristaux de quartz étirés dans la foliation, associés à (ii) d'abondants cristaux de feldspaths (plagioclases et Kf, avec plg >> Kf) très altérés, dans la foliation également, (iii) de nombreuses lamelles de muscovite, et (iv) de chlorite, (v) des opaques, assez abondants et étirés dans la foliation. L'apatite, le zircon et le sphène sont accessoires (Illustration 86). Des hydroxydes de fer (hématite) sont présents. Des niveaux incolores, constitués de muscovite +/- chlorite intra-foliaux sont présents. Aucune amphibole et aucune serpentine n'ont été observées dans cette lame mince, ce qui a ensuite été confirmé par les analyses obtenues à la microsonde électronique.

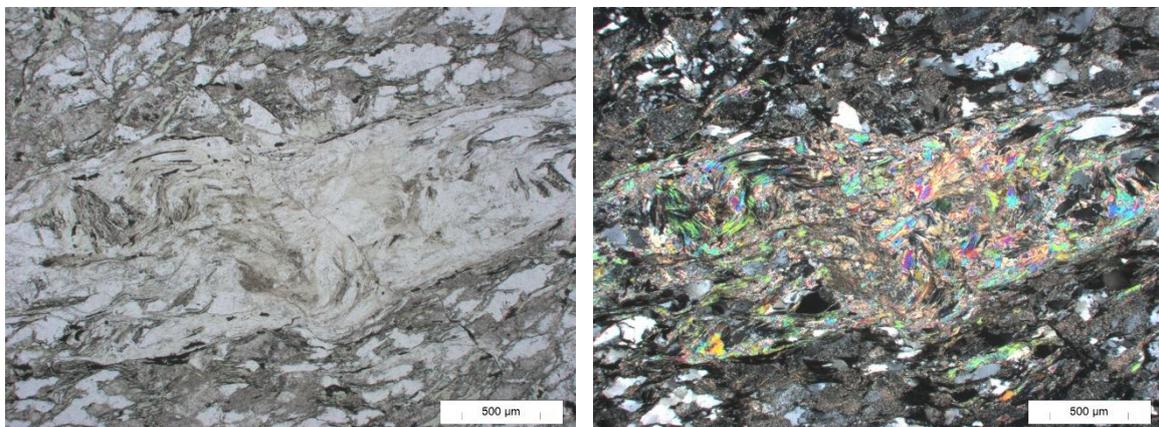


Illustration 86 : Orthogneiss migmatitique à muscovite et chlorite – MERFC045 (gauche : LPNA ; droite : LPA).

d) Migmatites alcalines de la série de Rabuons [224]

Les migmatites de la série de Rabuons ont été observées sur les affleurements MERFC001 et MERFC051. Il s'agit de gneiss oeilés migmatitiques, à deux micas et parfois sillimanite, intensément plissés et foliés (Illustration 87). Ces gneiss migmatitiques peuvent contenir des niveaux amphiboliques (expertisés dans la formation des « amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques » [219]). Ces migmatites sont fréquemment recoupées par des zones de cisaillement à chlorite (alpines ?). Aucune évidence d'occurrence fibreuse n'a été observée sur le terrain dans ces migmatites de Rabuons.



Illustration 87 : Gneiss oeilés migmatitiques de la série de Rabuons (MERFC051).

Une analyse en laboratoire a été réalisée dans un échantillon prélevé dans les migmatites des Adus (échantillon MERFC051). Une lame mince a été réalisée dans cet échantillon, qui a été étudiée au MOLP et à la microsonde électronique. Au MOLP, la lame mince MERFC051 correspond à un orthogneiss à biotite (chloritisée), mylonitique. Il est caractérisé par une foliation bien exprimée à quartz, plagioclases, feldspaths alcalins mylonitique, marquée par une importante réduction de taille de grains (Illustration 88). Les feldspaths sont altérés en un mélange d'argiles et de séricite et sont déformés dans la foliation mylonitique. La foliation est également soulignée par des niveaux fins et riches en lamelles de biotite (à inclusions de zircon) étirées et partiellement à totalement chloritisées. Des grosses lamelles de muscovite sont présentes, affectées également par cette foliation mylonitique (lamelles plissées / fracturées). Quelques opaques, xénomorphes sont disséminés. L'apatite, le sphène, le rutile et l'épidote sont accessoires. Aucune serpentine et aucune amphibole n'ont été observées au MOLP.

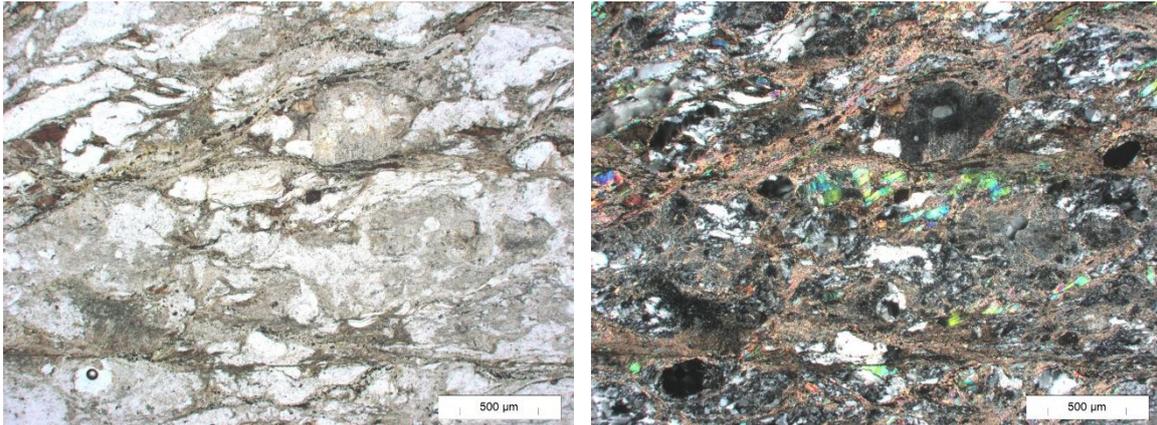


Illustration 88 : Orthogneiss à biotite et muscovite, mylonitisé – MERFC051 (gauche : LPNA ; droite : LPA).

e) Migmatites schisteuses à biotite, muscovite, disthène, sillimanite [259]

Les migmatites schisteuses à biotite, muscovite, disthène, sillimanite, ont été observées sur l’affleurement MERFC004. Il s’agit de migmatites à biotite et muscovite, foliées et plissées, amygdalaires (à sillimanite +/- disthène, non vus). Aucune évidence de minéraux fibreux n’a été observée dans ces migmatites schisteuses. Aucune analyse n’a été faite à partir de l’échantillon prélevé.

f) Migmatites de Fenestre [278]

Les migmatites de Fenestre ont été observées sur les affleurements MERFC056, MERFC057, MERFC058 et MERFC082. Il s’agit de gneiss migmatitiques, plagioclasiques riches en biotite et muscovite, parfois à sillimanite, riches en enclaves micacées et en enclaves à amphiboles. La migmatitisation est plus ou moins avancée d’un affleurement à un autre. Ces roches sont déformées, plissées et bien foliées (Illustration 89). Elles peuvent être affectées par des zones de cisaillement à chlorite. Aucune évidence d’occurrence fibreuse n’a été observée dans ces migmatites.



Illustration 89 : Migmatites de Fenestre plissées (gauche : MERFC056 ; droite : MERFC082).

4. Établissement de la carte de susceptibilité consolidée

La phase 3 a vu la réalisation des produits contractuels attachés à la convention, soit :

- une carte de la susceptibilité de présence d'amiante pour les formations géologiques de la zone du Mercantour ;
- un rapport de synthèse correspondant aux travaux réalisés, intégrant les principaux résultats obtenus pour la zone étudiée (ce rapport).

4.1. DETERMINATION DES NIVEAUX DE SUSCEPTIBILITE CONSOLIDES

Les niveaux de susceptibilité représentés sur la carte finale, affectés à chacune des formations géologiques, sont des niveaux de susceptibilité dits « consolidés » qui prennent en compte les données de terrain et les résultats des analyses faites en laboratoire. Les données géologiques numériques utilisées correspondant à la carte géologique harmonisée de la zone du Mercantour (à l'échelle 1/50 000) ont été retraitées de façon à générer une nouvelle couche d'information dédiée à la représentation de cette susceptibilité de présence d'amiante consolidée.

Dans la zone du Mercantour, une seule formation géologique est affectée d'une susceptibilité consolidée de niveau 4 (« fort à très fort »), (Illustration 90). Il s'agit de roches ultrabasiques en enclaves dans des migmatites. Cette formation géologique n'était pas représentée sur la carte géologique du Mercantour. Ces serpentinites contiennent de l'actinolite-amiante (cf. § 3.1).

CODE	CODE_LEG	NOTATION	DESCR	Affleurement	NSPA prévisionnel	NSPA consolidé
XXX	XXX	σ	Serpentinites dans les migmatites	MERFC033, MERFC035, MERFC037, MERFC039	n'existait pas	4

Illustration 90 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité de présence d'amiante (NSPA) consolidé « fort à très fort ».

Deux formations géologiques sont affectées d'une susceptibilité consolidée de niveau 3 (« moyen »), (Illustration 91). Il s'agit de lamprophyres [236] ainsi que d'un granite « à enclaves » (correspondant en réalité à des migmatites riches en enclaves basiques à ultrabasiques) [285]. Les roches de ces deux formations géologiques sont susceptibles de contenir des occurrences d'actinolite amiante, en particulier au sein de veines (recoupant par exemple les lamprophyres ou les amphibolites). Le granite à enclaves contient également des enclaves de roches ultrabasiques riches en actinolite-amiante ainsi que des enclaves riches en trémolite fibreuse (cf. notice de la carte géologique de Saint-Martin-Vésubie). Pour ces raisons, il a été choisi d'attribuer une susceptibilité de présence d'amiante consolidée de niveau 3 (« moyen ») aux lamprophyres (initialement dotés d'un NSPA prévisionnel de niveau 2 « moyen ») et de maintenir la susceptibilité de niveau 3 (« moyenne ») initialement affectée au granite à enclaves.

CODE	CODE_LEG	NOTATION	DESCR	Affleurement	NSPA prévisionnel	NSPA consolidé
236	232	û	Lamprophyre	MERFC040, MERFC041, MERFC043, MERFC052, MERFC053, MERFC054, MERFC056	2	3
285	271	ã1ã	Granite à enclaves basiques	MERFC060, MERFC061, MERFC062, MERFC063, MERFC064, MERFC065, MERFC066, MERFC067, MERFC068, MERFC069, MERFC070, MERFC071, MERFC072, MERFC073, MERFC074, MERFC075, MERFC076, MERFC077, MERFC078, MERFC079, MERFC081	3	3

Illustration 91 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité de présence d'amiante (NSPA) consolidé « moyen ».

En ce qui concerne les formations géologiques correspondant (i) aux brèches et blocs ophiolitiques [106], (ii) aux amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques [219], (iii) aux cipolins [225] et (iv) aux amphibolites (para ou ortho) [272 ; 281], elles n'ont pas conservé leur niveau de susceptibilité prévisionnel 3 « moyen » et ont été déclassées en niveau de susceptibilité consolidé 2 « faible ». En effet, aucune occurrence asbestiforme n'a été observée sur le terrain et celles-ci ont été très rares en laboratoire, ce qui justifie davantage leur attribution à un niveau de susceptibilité de présence d'amiante « faible » (niveau 2) (cf. détails ci-dessous).

Six formations géologiques sont affectées d'un niveau de susceptibilité consolidé 2 (« faible »), (Illustration 92). Il s'agit : (i) des amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques [219], (ii) des cipolins [225] et (iii) des amphibolites (para ou ortho) [272 ; 281], qui ont été déclassées depuis un niveau de susceptibilité prévisionnel 3 vers un niveau de susceptibilité consolidé 2 ainsi que (i) des éclogites [227], et (ii) des gneiss de Chastillon [231] qui ont conservé un niveau de susceptibilité consolidé 2.

CODE	COD_LEG	NOTATION	DESCR	Affleurement	NSPA_previs	NSPA_consolide
219	217	õ	Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques	MERFC002, MERFC003, MERFC007, MERFC008, MERFC010, MERFC012, MERFC013, MERFC014, MERFC018, MERFC023, MERFC025, MERFC26, MERFC027, MERFC028, MERFC036, MERFC038, MERFC046, MERFC047	3	2
225	222	c(1)	Cipolins et gneiss à silicates calciques, dans des migmatites	MERFC005, MERFC006, MERFC021	3	2
227	223	ãe	Eclogites (et amphibolites à grenat)	MERFC037, MERFC055	2	2
231	227	Ob	Gneiss de Chastillon	MERFC034, MERFC048, MERFC049	2	2
272	264	ã	Amphibolites (para ou ortho)	MERFC080	3	2
281	268	ã(1)	Amphibolites (para ou ortho)	/	3	2

Illustration 92 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité de présence d'amiante (NSPA) consolidé « faible ».

La consolidation du niveau de susceptibilité « faible » de ces différentes lithologies est justifiée soit : (i) par les investigations de terrain et les analyses réalisées en laboratoire au sein de formations géologiques ayant indiqué une absence ou une rareté de minéraux asbestiformes mais une présence abondante d'amphiboles dont la composition chimique peut être proche de celle de l'actinolite voire correspondant à de l'actinolite (exemple des formations [219 ; 225 ; 227 ; 231 ; 272]), et (ii) à « dire d'expert » en raison d'informations bibliographiques complémentaires indiquant la présence d'actinolite dans les lithologies [106 ; 281].

En cas d'agression mécanique, ces formations sont susceptibles de libérer des fragments de clivage de composition actinolitique répondant aux critères dimensionnels des fibres OMS et à ce titre susceptibles d'être assimilés à des fibres d'amiante.

Une seule formation géologique affectée d'une susceptibilité prévisionnelle de niveau 2 a été déclassée vers un niveau de susceptibilité de présence d'amiante consolidé 1 (« nul à très faible »), (Illustration 93). Il s'agit des diorites et migmatites de la série d'Iglière [223]. Ce déclassement est justifié par les investigations de terrain ainsi que par des études bibliographiques complémentaires menées au sein de cette formation géologique, ayant confirmé l'absence de minéraux asbestiformes au sein de ces lithologies. Par ailleurs, la formation des brèches et blocs ophiolitiques (Cénomaniens-Turonien) [106] a été expertisée sur le terrain et en laboratoire dans le département 04 et à l'issue de ces travaux (Plunder *et al.*, 2021), un niveau de susceptibilité de présence d'amiante consolidé « nul à très faible » (niveau 1) a été attribué à cette formation géologique.

CODE	CODE_LEG	NOTATION	DESCR	Affleurement	NSPA prévisionnel	NSPA consolidé
223	220	ëÖ	Série d'Iglière : diorite - migmatite	MERFC011, MERFC032	2	1

Illustration 93 : Formations géologiques de la zone du Mercantour affectées d'un niveau de susceptibilité prévisionnel 2 (« faible ») déclassées en niveau de susceptibilité consolidé 1 (« nul à très faible »).

4.2. PRESENTATION DE LA CARTE DE LA ZONE DU MERCANTOUR

4.2.1. Présentation générale

La cartographie de la susceptibilité de présence d'amiante correspondant à la zone du Mercantour, établie dans le cadre de la présente étude, est présentée ici (Illustration 94).

Cette carte présente les limites des différentes plages géologiques de niveaux de susceptibilité consolidé 1, 2, 3 et 4 sur un fond topographique de l'IGN (IGN 2008 - SCAN 25®).

Les informations structurales issues du fichier numérique de la carte harmonisée du Mercantour ont également été reportées sur ces cartes.

Carte des niveaux de susceptibilité consolidés de présence d'amiante attribués aux formations géologiques de la zone du Mercantour

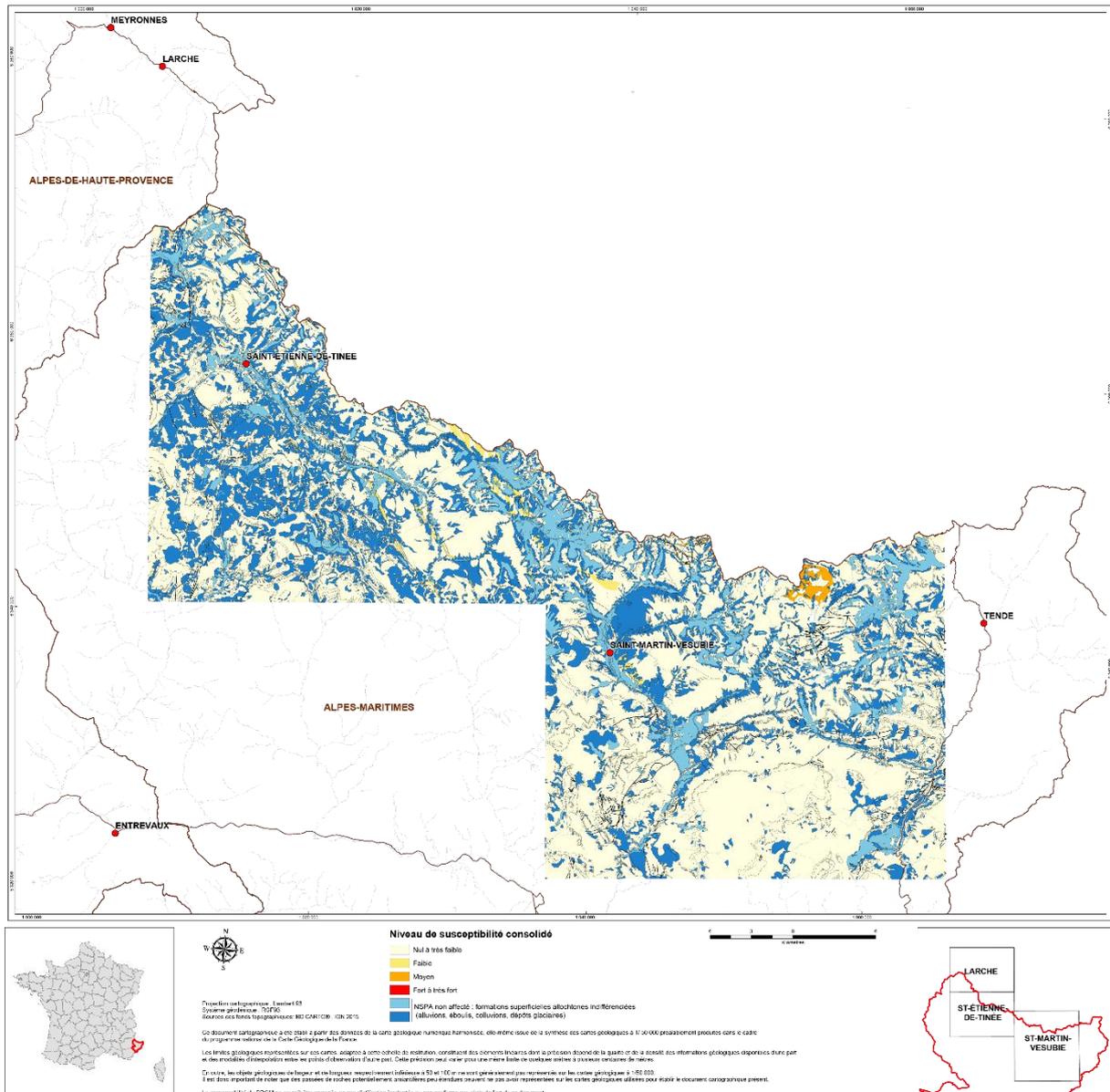


Illustration 94 : Carte des niveaux de susceptibilité de présence d'amiante consolidés pour la zone du Mercantour.

4.2.2. Limites d'utilisation

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. Cette carte géologique à 1/50 000 constitue aujourd'hui le document le plus précis et le plus pertinent en termes d'évaluation et de caractérisation du risque amiantifère. À ce titre, elle doit être consultée d'une manière systématique dès lors que des travaux sont envisagés au niveau d'une formation potentiellement amiantifère du substrat rocheux.

Le BRGM attire spécialement l'attention sur l'utilisation qui sera faite des extraits agrandis des cartes géologiques à 1/50 000, notamment en 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 varie pour une même limite de quelques mètres (secteurs avec affleurements nombreux) à plusieurs dizaines de mètres (zones avec affleurements peu nombreux et substratum masqué par des dépôts superficiels). 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 l'échelle 1/50 000) peut être considérée comme une limite « précise ». Dans la plupart des cas cependant, cette bande sera 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 à 1/5 000 et de 20 cm dans le cas d'un agrandissement à 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 inférieure 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 très petite, 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 sa nature lithologique et/ou 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 d'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.

5. Conclusion et perspectives

L'étude qui fait l'objet de ce rapport s'inscrit dans le cadre de l'appui du BRGM au MTES dans l'exécution d'études et de travaux relatifs à la prévention des risques liés à l'exposition des populations à l'amiante naturellement présent dans l'environnement. Cette étude est en adéquation avec les objectifs du PNSE 1, « *action 1 : Renforcer la prévention et la maîtrise des risques sanitaires liés à l'environnement ; 1.3, Prévenir les pathologies d'origine environnementale et notamment les cancers. Réduire les expositions de la population à l'amiante en maintenant la vigilance sur l'application stricte de la réglementation concernant la prévention du risque amiante en milieu de travail et en population générale* », repris par le PNSE 2 « *action 1 : Réduire les expositions responsables de pathologies à fort impact sur la santé ; 1.5, Réduire l'exposition aux cancérigènes d'origine naturelle présents dans l'environnement. Amiante naturel* ».

Cette étude sur la zone du Mercantour s'inscrit dans le cadre d'un ensemble de projets ayant concerné la cartographie des roches susceptibles de contenir de l'amiante, dans différentes zones du Massif Central (la zone « Limousin » : Duron *et al.*, 2020a ; la zone « Monts du Lyonnais » : Duron *et al.*, 2020b ; la zone Auvergne : Duron *et al.*, 2020c ; la zone « Morvan » : Duron *et al.*, 2020d ; la zone « Albigeois » : Cagnard *et al.*, 2020a ; la zone « La Marche » : Cagnard *et al.*, 2020b), dans les Pyrénées, la Haute-Corse, la Savoie, l'Isère, les Hautes-Alpes, la Loire-Atlantique et le Massif Armoricaïn (e.g. Blein *et al.*, 2010 ; Lahondère *et al.*, 2010-2012a-2012b, Béchenec *et al.*, 2010-2012a ; Cagnard *et al.*, 2015) et plus récemment dans les Vosges (Duron et Baptiste, 2020) et dans les Deux Sèvres (Duron *et al.*, 2020). Cette étude a été menée dans le cadre d'une convention entre le MTES/DGPR et le BRGM. Le programme de la présente étude inclut trois phases successives.

La première phase du projet a permis l'évaluation du « potentiel amiantifère » des formations géologiques présentes dans la zone concernée, à partir d'une synthèse de données bibliographiques et cartographiques pertinentes. Cette évaluation a été faite en prenant en compte tous les paramètres favorables à la cristallisation de minéraux asbestiformes, tels que la composition chimique et minéralogique des roches, l'importance des circulations de fluides, la nature des contacts géologiques et les évolutions structurale et métamorphique subies par les roches en question. Des analyses multicritères (AMC) ont été réalisées qui ont permis d'attribuer, à l'issue de cette première phase et pour chaque formation identifiée sur la carte géologique harmonisée départementale, un niveau de susceptibilité prévisionnel décliné en quatre classes (1 : « nul à très faible », 2 : « faible », 3 : « moyen », 4 : « fort à très fort »).

La seconde phase du projet comporte deux modules. Le premier module est destiné aux contrôles de terrain, menés prioritairement sur un ensemble de cibles identifiées à l'issue de la première phase. Ces opérations ont permis de reconnaître les principaux sites amiantifères, d'établir une typologie de ces sites et de prélever des échantillons à des fins analytiques.

Le second module correspond à un volet analytique au laboratoire et à l'identification précise des espèces minérales fibreuses, asbestiformes ou potentiellement asbestiformes, collectées sur les principaux sites visités.

La dernière phase du projet a permis de synthétiser l'ensemble des résultats obtenus sur le terrain et en laboratoire pour réaliser la carte de susceptibilité consolidée de présence d'amiante, qui est restituée sur CD-ROM.

Les principaux résultats de cette étude montrent que :

- (1) les roches ultrabasiques, de type péridotite serpentinisée/serpentinite, sont rares mais présentes sous forme d'enclaves au sein de gneiss migmatitiques et qu'elles montrent des occurrences amiantifères correspondant à du chrysotile et de l'actinolite-amiante et/ou trémolite-amiante. Ces roches n'étaient pas cartographiées sur les cartes géologiques au 1/50 000 et apparaissent seulement sur la carte des NSPA consolidés ;
- (2) les amphibolites, présentes sous forme de niveaux et/ou enclaves boudinées dans les gneiss (+/- amphiboliques) et les migmatites sont souvent constituées de hornblendes mais elles peuvent localement présenter des fibres fines d'actinolite (localement sous forme d'actinolite-amiante) ;
- (3) les lamprophyres, qui recoupent certains gneiss et migmatites sont parfois recoupés eux-mêmes par des veines riches en actinolite-amiante ;
- (4) les gneiss et les migmatites (très abondants dans le Mercantour) sont dépourvus dans leur masse d'occurrences amiantifères mais ces roches peuvent contenir des enclaves de différentes dimensions potentiellement amiantifères.

Cette étude montre que le Mercantour est une zone globalement peu impactée par la problématique amiante, à l'exclusion de quelques localités où des roches potentiellement amiantifères peuvent affleurer. La difficulté pour identifier les zones potentiellement problématiques réside dans le fait que (1) les cartes géologiques de la région ont été levées avant la construction de certaines infrastructures (comme la station de ski d'Isola 2000, par exemple) et qu'elles ne sont pas forcément précises dans ces zones-là, (2) la taille des objets recherchés est relativement petite, et ces objets ne sont, de fait, pas forcément représentables sur une carte à l'échelle du 1/50 000. Cette étude souligne donc la nécessité et l'importance d'acquérir désormais de nouvelles données cartographiques géologiques à des échelles de résolution plus précises (1/5 000, par exemple), en particulier dans les zones à enjeux.

6. Bibliographie

Amandus, H.E., Wheeler, R., (1987). Morbidity and mortality of vermiculite miners and millers exposed to tremolite-actinolite: *American Journal of Industrial Medicine*, v. 11, pp. 15–26.

Auribault, M., (1906). Note sur l'hygiène et la sécurité des ouvriers dans les filatures et tissages d'amiante. *Bulletin de l'inspection du travail*, pp. 120-132.

Bandli, B.R., Gunter, M.E., (2006). A review of scientific literature examining the mining history, geology, mineralogy, and amphibole asbestos health effects of the rainy creek igneous complex, Libby, Montana, USA: *Inhalation Toxicology*, v. 18, pp. 1–14.

Baris, Y.I., Sahin, A.A., Ozesmi et al. (1978). An outbreak of pleural mesothelioma and chronic fibrosing pleurisy in the village of Krain.Urgüp in Anatolia. *Thorax*, 33, pp. 181-192.

Baris, Y.I., (1991). Fibrous zéolite (erionite)-related diseases in Turkey. *Am. J. Ind. Med.*, 19, pp. 374-378.

Bazas, T., Oakes, D., Gilson, J.C. et al. (1985). Pleural calcification in northwest Greece. *Environ. Res.*, 38(2), pp. 239-247.

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

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 pages + annexes.

Bordet, P., Faure-Muret A., Fallot, P., (1954). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Saint Etienne de Tinée (920). Orléans: BRGM, 12 p.

Boman, G., Schubert, V., Svane, B. et al. (1982). Malignant mesothelioma in Turkish immigrants in Sweden. *Scand. J. Work Environ. Health*. 8, pp. 108-112.

Boutin, G., Viallat, J.R., Steinbauer, J. et al. (1989). Bilateral pleural plaques in Corsica : a marker of non-occupational asbestos exposure. In: *Non occupational exposure to mineral fibers*, Bignon, J., Peto, J., Saracci, R., (Eds), Lyon, IARC, pp. 406-410.

Caballero, Y., Bodéré, G., Nay, K.M., (2005). Cartographie de la densité de fracturation des roches potentiellement amiantifères en Haute-Corse. Répartition communale. Rapport final. BRGM/RP-54341-FR, 19p., 5 ill., 1 ann.

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., 191 ill., 7 ann., 1 ann.

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., 70 ill., 3 ann.

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., 81 ill., 3 ann.

Constantopoulos, S.H., Goudevenos, J.A., Saratzis, N. et al. (1985). Metsovo lung : pleural calcification and restrictive lung function in Northwestern Greece. Environmental exposure to mineral fiber as etiology. Environ. Res., 38, pp. 319-331.

Constantopoulos, S.H., Saratzis, N., Kontogiannis, D et al. (1987). Tremolite whitewashing and pleural calcifications in the Ophiolite belts of Greece. Chest., 99, 1158-1161.

Coplu, L., Dumortier, P., Demir, A.U., et coll., (1996). An epidemiological study in an Anatolian village in Turkey environmentally exposed to tremolite asbestos. J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol., 15(2-4), pp. 177-182

Cosquéric, M., Juncy, G., Hervé, J.Y. et al. (1997). Nature et distribution des roches potentiellement amiantifères en Corse. Rapport BRGM R39354.

Coutin, C., Cagnard, F., Lahondère, D., (2020). Reconnaissance de zones naturelles amiantifères sur quatorze communes de Ponte-Leccia (Haute Corse) : Castineta, Morosaglia, Valle-di-Rostino, Castello-di-Rostino, Canavaggia, Bisinchi, Campile, Lento, Bigorno, Campitello, Volpajola, Scolca, Vignale, Murato. Rapport final. BRGM/RP-69546-FR, 403 p., 252 fig., 15 tabl. 3 ann.

Daniau, C., Cosson, J., Dor, F., (2008). Exposition environnementale à l'amiante chez les personnes riveraines d'affleurements de roches amiantifères en France continentale. Rapport final. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire, 73 p.

Dessandier, D., Spencer, C., (2005). Recensement et classement des sites naturels amiantifères et des formations géologiques potentiellement amiantifères en France. Rapport BRGM/RP-53599-FR, 59 p., 12 fig., 3 tab., 3 ann.

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., 76 ill., 3 ann.

Duron, J., avec la collaboration de **Cagnard, F., Lahondère et al.** (2020). Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Deux-Sèvres. Rapport final. BRGM/RP-69837-FR, 153p., 73 ill., 4 ann.

Duron, J., Baptiste, J., avec la collaboration de **Lahondère, D. et al.** (2020). Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques des Vosges. Rapport final. BRGM/RP-69935-FR, 183p., 98 ill., 3 ann.

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., 125 ill., 3 ann.

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., 104 ill., 3 ann.

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., 68 ill., 3 ann.

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

Bigot, M., Damiani, L., Bellery, B. et al. (1967). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Saint Martin Vésubie – Le Boréon (947). Orléans: BRGM, 29 p.

Gidon, M., Durozoy, G., Ferraud, J. et al. (1978). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Larche (896). Orléans : BRGM, 28 p.

Goldberg, P., Luce, D., Billon-Galland, M.A. et al. (1995). Rôle potentiel de l'exposition environnementale et domestique à la trémolite dans le cancer de la plèvre en Nouvelle-Calédonie. Rev. Epidemiol. Santé Publique, 43, pp. 444-450.

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, 185 pages, 125 figures, 1CD.

Hendricks, M., (2008). Naturally occurring asbestos in eastern Australia: a review of geological occurrence, disturbance and mesothelioma risk. Environ Geol (2009) 5, pp. 909–926

Inserm (Institut National de la Santé et de la recherche médicale) (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 pp. Paris, France.

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

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

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., Coutin C. (2020). Reconnaissance de zones naturelles potentiellement amiantifères sur douze communes du Cap Corse (Haute-Corse) – Pino, Luri, Barrettali, Cagnano, Canari, Pietracorbara, Ogliaastro, Sisco, Olcani, Nonza, Olmeta di Capocorso, Farinole. Rapport final. BRGM/RP-70672-FR, 307 p., 170 fig., 20 tab., 3 ann.

Langer, A.M., Nolann, R.P., Costantopoulos, S.H. et al. (1987). Association of Metsovo lung and pleural mesothelioma with exposure to tremolite containing white wash. *Lancet.*, 1, pp. 965-967.

Luce, D., Brochard, P., Quenel, P. et al. (1994). Malignant pleural mesothelioma associated with exposure to tremolite. *Lancet.*, 344, 1777.

Luo, S., Liu, X., Mu, S. et al. (2003). Asbestos related diseases from environmental exposure to crocidolite in Dao-yao, China. *Int. Review of exposure and epidemiological data. Occup. Environ. Med.*, 60, pp. 35-42.

Manda-Stachouli, C., Dalavanga, Y., Daskalopoulos, G. et al. (2004). *Chest.*, 126(2), pp. 617-621.

Maton, D., Colombano, S., (2007). Propositions de réduction du risque lié à la présence de zones d'affleurement de roches amiantifères et de dépôts de déblais sur la commune de Murato (Haute-Corse). BRGM/RP-55425-FR, 68 p., 1 fig., 1 tabl., 5 ann.

McDonald, J.C., Liddell, F.D.K., Gibbs, G.W., et coll., (1980). Dust exposure and mortality in chrysotile mining, 1910-1975. *British journal of industrial medicine*, 37, pp. 11-24.

McDonald, J.C., McDonald, A.D., Armstrong, B. et al. (1986). Cohort study of mortality of vermiculite miners exposed to tremolite: *British Journal of Industrial Medicine*, v. 43, pp. 436–444.

Metintas, M., Metintas, S., Hillerdal, G. et al. (2005). Nonmalignant pleural lesions due to environmental exposure to asbestos: a field-based, cross-sectional study, *Eur. Respir. J.*, 26 (5), pp. 875-880.

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

Plunder, A., avec la collaboration de Cagnard, F., Lahfid, A. et al. (2021) Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques de la vallée de la Haute Ubaye (Alpes-de-Haute-Provence, 04). Rapport final. BRGM/RP-71411-FR, 97p., 65 ill., 5 ann.

Rey, F., Viallat, J.R., Boutin, C. et al. (1993). Les mésothéliomes environnementaux en Corse du Nord-Est. *Rev., Mal. Resp.*, 10, pp. 339-345.

Rey, F., Boutin, C., Viallat, J.R. et al. (1994). Environmental asbestotic pleural plaques in Northeast Corsica: correlations with airborne and pleural mineralogic analysis. *Environ. Health Persp.*, 102, pp.

Scherbakov, S.V., Kashansky, S., Domnin, S.G. et al. (2001). The health effects of mining and milling chrysotile: the Russian experience. In: *The Health Effects of Chrysotile Asbestos: Contribution of Science to Risk-Management Decisions. Can. Mineral., Spec. Publ.* 5, pp. 187–198.

Selçuk, Z.T., Coplu, L., Emri, S. et al. (1992). Malignant pleural mesothelioma due to environmental mineral fiber exposure in turkey. *Analysis of 135 cases. Chest.*, 102, pp. 790-796.

Sichletidis, L., Daskalopoulou, E., Tsarou, V. et al. (1992). Five cases of pleural mesothelioma with endemic pleural calcifications in a rural area in Greece. *Med. Lav.*, 83, pp. 326-329.

Sullivan, P., (2007). Vermiculite, respiratory disease and asbestos exposure in Libby, Montana: Update of a cohort mortality study. *Environ Health Perspect* online 3 Jan 2007.

Van Gosen, B.S., (2007). The geology of asbestos in the United States and its practical applications. *Environmental & Engineering Geoscience*, XIII, 1, 55–68.

Wozniak, H., Wiecek, E., Stetkiewicz, J., (1988). Fibrogenic and carcinogenic effects of antigorite. *Polish Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 1: pp. 192-202.

Wozniak, H., Wiecek, E., (1991). Evaluation of occupational exposure of workers engaged in mining of rock raw materials in the Sleza massif. *Med Pr.* 42(6), pp. 411-417.

Yazicioglu, S., Oktem, K., Ilçyato, R. et al. (1978). Association between malignant tumors of the lungs and pleura and asbestosis. A retrospective study. *Chest.*, 73, pp. 52-56.

Yazicioglu, S., Ilçyato, R., Balci, K et al., (1980). Pleural calcification, pleural mesotheliomas and bronchial cancers caused by tremolite dust. *Thorax.*, 35, pp. 564-569.

Zolov, C., Bourilkov, T., Babadjov, L., (1967). Pleural asbestosis in agricultural workers. *Environ. Res.* 1, 3, 287-292.

Annexe 1

Analyse multicritère réalisée pour les formations sélectionnées à l'issue des analyses des mots-clés

Définition de l'analyse multicritère (AMC) :

Une analyse multicritère (AMC) combine simultanément l'analyse de différents critères et paramètres, et permet d'établir une note globale et un classement relatif en fonction du poids et de l'importance des différents critères. L'AMC donne la possibilité d'intégrer sous différentes formes (pondération, valeur, note, *etc.*) l'importance inégale des différents critères qui sont utilisés lors de cette analyse.

Lors d'une analyse multicritère, les premiers paramètres fixés sont définis comme des « *critères* » et correspondent aux paramètres d'évaluation. Une AMC peut intégrer de 1 à n critères. Chaque critère va être constitué d'une ou plusieurs « *alternatives* » qui correspondent aux différents choix disponibles au sein d'un critère.

L'importance relative d'un critère et/ou d'une alternative par rapport aux autres dans l'analyse multicritère est quantifiée par l'attribution de « *poids* » (pour classer l'importance relative des critères entre eux) et de « *valeurs* » (pour classer l'importance relative des alternatives entre elles). Les valeurs et les poids sont généralement définis par un nombre réel ou un intervalle de nombres réels (positifs ou négatifs).

Objectifs de l'analyse multicritère (AMC) :

Dans la présente étude, l'objectif de l'analyse multicritère est d'établir, à partir des données disponibles extraites des cartes géologiques départementales harmonisées et des coupures géologiques à 1/50 000, une estimation des niveaux de susceptibilité prévisionnels de l'amiante dans l'environnement naturel pour la sélection de caissons résultant de l'analyse des mots-clés. L'estimation de ces niveaux de susceptibilité prévisionnels par AMC revient à estimer la susceptibilité des formations géologiques à renfermer des occurrences de minéraux amiantifères. Plusieurs paramètres géologiques, *a priori* favorables à la cristallisation de minéraux asbestiformes, ont été pris en compte dans cette AMC. Ces paramètres concernent :

- la composition chimique et minéralogique des roches ;
- les caractéristiques et l'intensité des déformations affectant ces roches ;
- l'existence signalée ou avérée de minéraux asbestiformes ;
- l'importance des circulations fluides ;
- la nature des contacts géologiques.

Chacun de ces paramètres a été pondéré selon différents critères pour permettre la mise en œuvre de l'AMC. Ces critères sont issus, en partie, des données attributaires des bases de données associées aux cartes géologiques harmonisées utilisées.

Définition des critères et des alternatives de l'AMC et attribution des poids et des valeurs associés :

Les quatre critères choisis pour l'AMC sont les suivants :

- (1) La lithologie ;
- (2) La minéralogie de la roche ;
- (3) Le type de déformation affectant les roches de la formation géologique ;
- (4) L'intensité de la déformation affectant les roches de la formation géologique.

Le poids relatif de chacun de ces quatre critères les uns par rapport aux autres a ensuite été estimé. Cela revient à hiérarchiser, d'après nos connaissances d'experts et les données de la littérature, l'importance relative de ces critères dans les processus de cristallisation de fibres asbestiformes. La composition chimique des roches étant primordiale, un poids de 3 a été attribué aux critères « lithologie » et « minéralogie ». Les critères concernant la déformation des roches ont été considérés comme moins primordiaux, bien qu'importants, pour favoriser la cristallisation de fibres asbestiformes. De ce fait, un poids de 2 a été attribué au critère « type de déformation » et un poids de 1 a été attribué au critère « intensité de la déformation ».

À chacun des quatre critères précédemment définis ont été attribuées plusieurs alternatives. Ces alternatives ont ensuite été hiérarchisées les unes par rapport aux autres, en fonction de leur importance relative dans les processus de formation de fibres asbestiformes.

Pour établir cette hiérarchie, des valeurs différentes ont été attribuées à chaque alternative.

Critère 1 : Lithologie de la roche

Les alternatives choisies sont présentées ci-dessous (Illustration 95).

<i>lithologies (MC)</i>	<i>alternatives</i>
blaviérite	2
cinérite	2
dacite	2
diabase	2
diorite	2
diorite quartzifère	2
gabbro	2
kératophyre	2
lamprophyre	2
leptynite	2
marbre	2
métacarbonate	2
métadolomie	2
microdiorite	2
monzodiorite	2
rhyodacite	2
rhyolite	2
spilite	2
syénite	2
tuf	2
tuf rhyolitique	2
amphibolite	5
cipolin	5
éclogite	5
méta-basite	5
talcschiste	5
méta-andésite	7
méta-dolérite	7
skarn	7
péridotite	10
ultrabasite	10
serpentinite	10

*Illustration 95 : Valeurs attribuées aux alternatives « Lithologie »
(cf. explication dans le texte ci-après).*

Les valeurs attribuées à chacune des alternatives sont égales à 2, 5, 7 ou 10. La valeur maximale « 10 » a été attribuée aux lithologies ultrabasiques telles que les péridotites, les ultrabasites et les serpentinites, roches pour lesquelles la probabilité de trouver de l'amiante est la plus forte.

Pour le Mercantour, les lithologies telles que les métagabbros, les gabbros amphibolisés et les métadolérites ont été dotées d'une valeur 7. En effet, des amphiboles de la série actinolite-trémolite sont fréquemment décrites dans ces roches, dès lors qu'elles sont affectées par un métamorphisme de type HT-BP et/ou par un métamorphisme dans le faciès des schistes verts (métamorphisme régional ou hydrothermalisme). Les alternatives concernant certaines roches métamorphiques telles que les pyroxénites et les éclogites amphibolisées par exemple ont été dotées d'une valeur 5.

Enfin, les lithologies *a priori* les moins favorables à l'existence de minéraux amiantifères mais pouvant exceptionnellement en contenir ont été dotées d'une valeur 2 (métacarbonate, diabase, diorite, gabbro, kératophyre, lamprophyre, leptynite, rhyodacite, rhyolite, spilite, syénite, granodiorite, tonalite, etc.).

Critère 2 : Minéralogie de la roche

Pour la minéralogie de la roche, quatre alternatives ont été choisies. Les valeurs attribuées à ces alternatives sont respectivement de 0 (minéralogie incompatible avec la présence d'amiante), 3 (minéralogie faiblement compatible avec la présence d'amiante), 7 (minéralogie moyennement compatible avec la présence d'amiante) et 10 (minéralogie fortement compatible avec la présence d'amiante) (Illustration 96).

descriptions (minéralogie)	alternatives
Minéralogie incompatible avec la présence d'amiante et/ou minéralogie connue, fiable, confirmant l'absence de fibres potentiellement amiantifères	0
Minéralogie faiblement compatible avec la présence d'amiante et/ou minéralogie connue ± fiable, n'indiquant pas la présence de fibres potentiellement amiantifères	3
Minéralogie moyennement compatible avec la présence d'amiante et/ou minéralogie connue ± fiable, indiquant la présence de fibres potentiellement amiantifères	7
Minéralogie fortement compatible avec la présence d'amiante et/ou minéralogie connue ± fiable, confirmant la présence de fibres potentiellement amiantifères	10

Illustration 96 : Valeurs attribuées aux alternatives « Minéralogie ».

Critère 3 : Types de déformation

Les connaissances préalablement acquises dans le cadre de plusieurs études intéressant notamment la chaîne des Alpes (Haute-Corse, Isère, Hautes-Alpes, Savoie) et la Nouvelle-Calédonie ont montré que les roches affectées par une déformation ductile constituaient souvent des sites favorables à la cristallisation de fibres asbestiformes (notamment localisées dans les plans de foliation, les veines syncinématiques et les zones de cisaillement). Les roches affectées par des déformations à la transition fragile-ductile peuvent également contenir des structures favorables à la cristallisation de fibres asbestiformes, sous la forme notamment de veines tardives (Lahondère et *al.*, 2010 ; Lahondère et *al.*, 2011a,b ; Lahondère et *al.*, 2012a, 2012b). Les roches uniquement affectées par des déformations fragiles peuvent également être recoupées par des veines amiantifères, mais de façon plus occasionnelle.

Pour les formations géologiques de la zone d'étude, quatre alternatives ont été choisies (Illustration 97). Les valeurs attribuées à chacune de ces alternatives correspondent à 0 (absence de déformation), 3 (déformation fragile), 7 (déformation fragile/ductile) et 10 (déformation ductile).

descriptions (déformation)	alternatives
Absence de déformation	0
Déformation fragile	3
Déformation fragile-ductile	7
Déformation ductile	10

Illustration 97 : Valeurs des alternatives « Déformation ».

Critère 4 : Intensité de la déformation

Quatre alternatives ont également été choisies pour ce critère (Illustration 98). Les valeurs attribuées à chacune de ces alternatives sont : 0 (intensité nulle), 3 (intensité faible), 7 (intensité moyenne) et 10 (intensité forte). Ces valeurs intègrent la corrélation positive qui existe entre l'intensité des déformations subies et l'importance des cristallisations asbestiformes.

descriptions (intensité de la déformation)	alternatives
Intensité nulle et/ou absence de déformation	0
Intensité faible	3
Intensité moyenne	7
Intensité forte	10

Illustration 98 : Valeurs des alternatives « Intensité de la déformation ».

Calcul de la note finale et classification des résultats

Dans cette analyse multicritère, la méthode des sommes pondérées (« *Weight Sum Method* » ou WSM) a été utilisée pour attribuer une note de susceptibilité aux formations sélectionnées. La formule mathématique est la suivante :

$$Notefinale = \sum_{j=1}^n a_{ij} * w_j \quad (1)$$

Dans cette équation, a_{ij} correspond à la valeur de l'alternative i pour le critère j et w_j correspond au poids de ce même critère.

À l'issue de cette analyse multicritère, des intervalles de notes finales ont été définis pour chacun des niveaux de susceptibilité prévisionnels (*nul à très faible, faible, moyen et fort à très fort*). Ces classes de susceptibilité prévisionnel correspondent à la probabilité pour que des minéraux asbestiformes soient présents dans la formation géologique.

Le calcul dans le cadre de l'AMC a été effectué pour toutes les formations géologiques de la carte géologique harmonisée réalisée sur la zone « Mercantour », y compris pour le groupe des formations géologiques de niveau de susceptibilité prévisionnel *a priori* « nul à très faible » dans lequel ont été intégrées toutes les formations géologiques non sélectionnées comme « prioritaires » à l'issue de l'analyse thématique par mots-clés.

Les bornes des intervalles correspondant aux quatre catégories du niveau de susceptibilité prévisionnel ont été obtenues par le calcul de l'AMC et sont indiquées ci-dessous (Illustration 99).

Aléa prévisionnel	
Nul à très faible (1)	<34
Faible (2)	(35-51)
Moyen (3)	(52-71)
Fort (4)	>72

Illustration 99 : Intervalles retenues pour les niveaux de susceptibilité prévisionnels.

Annexe 2

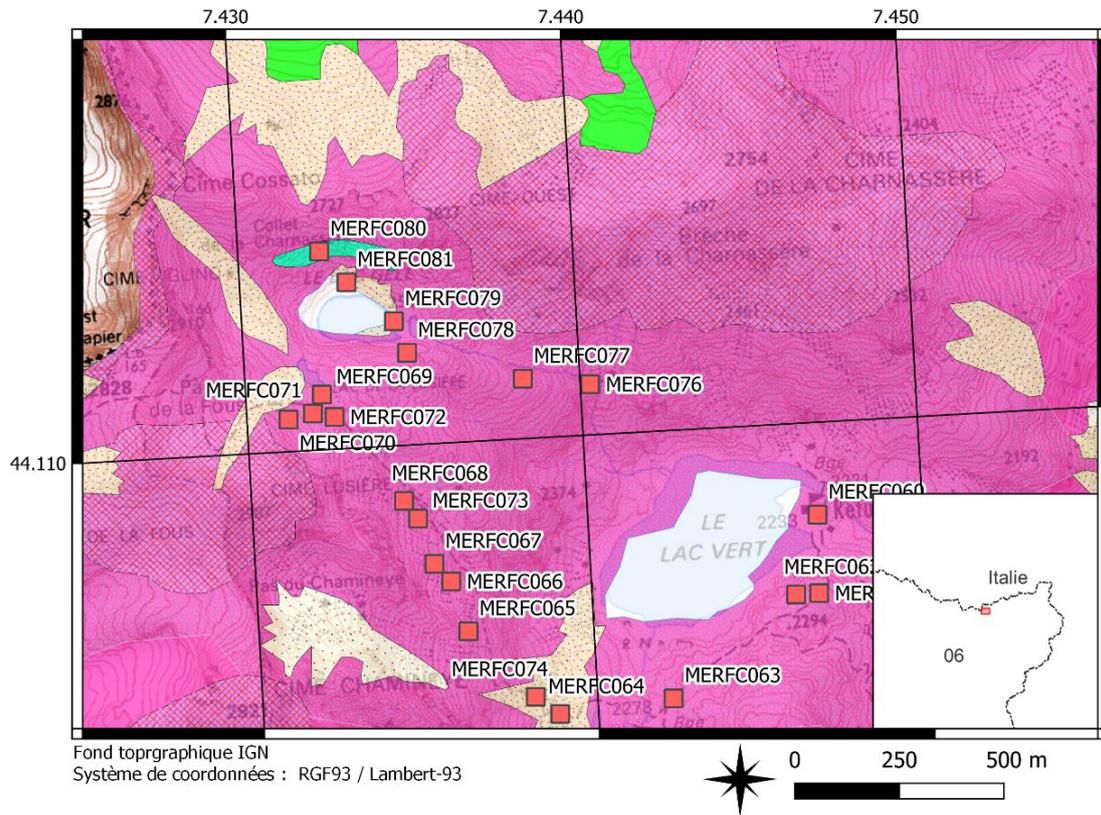
Coordonnées GPS des points d'observation

ID_BASE	LongWGS84	LatWGS84	ID_BASE	LongWGS84	LatWGS84	ID_BASE	LongWGS84	LatWGS84
MERFC001	6.885670	44.323	MERFC031	6.400750	43.9549	MERFC061	7.446780	44.1063
MERFC002	6.893280	44.3202	MERFC032	7.060530	44.1936	MERFC062	7.446090	44.1063
MERFC003	6.894480	44.3196	MERFC033	7.150790	44.2022	MERFC063	7.442260	44.1042
MERFC004	6.900500	44.3156	MERFC034	7.151810	44.202	MERFC064	7.438850	44.104
MERFC005	6.901870	44.2992	MERFC035	7.152890	44.2031	MERFC065	7.436250	44.1059
MERFC006	6.901500	44.2968	MERFC036	7.151150	44.2029	MERFC066	7.435820	44.107
MERFC007	6.900050	44.2866	MERFC037	7.153600	44.204	MERFC067	7.435350	44.1074
MERFC008	6.921050	44.2572	MERFC038	7.154330	44.2033	MERFC068	7.434550	44.1088
MERFC009	6.918760	44.2575	MERFC039	7.154200	44.2017	MERFC069	7.432280	44.1112
MERFC010	6.916930	44.2596	MERFC040	7.183790	44.1865	MERFC070	7.431240	44.1107
MERFC011	6.967170	44.2067	MERFC041	7.187300	44.1878	MERFC071	7.431980	44.1108
MERFC012	6.966830	44.2064	MERFC042	7.181160	44.1837	MERFC072	7.432620	44.1107
MERFC013	6.966650	44.2056	MERFC043	7.175330	44.1848	MERFC073	7.434940	44.1084
MERFC014	6.963270	44.2037	MERFC044	7.147110	44.177	MERFC074	7.438150	44.1044
MERFC015	6.963570	44.204	MERFC045	7.148190	44.1758	MERFC075	7.443530	44.1022
MERFC016	6.959820	44.2295	MERFC046	7.157490	44.2002	MERFC076	7.440300	44.1111
MERFC017	6.965030	44.2273	MERFC047	7.158030	44.1999	MERFC077	7.438300	44.1113
MERFC018	6.964910	44.2275	MERFC048	7.152910	44.1816	MERFC078	7.434890	44.112
MERFC019	6.964810	44.2226	MERFC049	7.153110	44.1819	MERFC079	7.434550	44.1127
MERFC020	6.969100	44.218	MERFC050	7.155090	44.1745	MERFC080	7.432440	44.1143
MERFC021	7.019290	44.1866	MERFC051	7.112250	44.2072	MERFC081	7.433200	44.1136
MERFC022	7.042240	44.1886	MERFC052	7.322910	44.1245	MERFC082	7.521700	44.0708
MERFC023	7.050790	44.184	MERFC053	7.320750	44.1266			
MERFC024	7.051610	44.1839	MERFC054	7.319840	44.1272			
MERFC025	7.090950	44.1598	MERFC055	7.321820	44.1337			
MERFC026	7.091480	44.158	MERFC056	7.321890	44.1369			
MERFC027	7.096400	44.1475	MERFC057	7.321190	44.1353			
MERFC028	7.097690	44.1437	MERFC058	7.478560	44.1118			
MERFC029	6.385530	44.027	MERFC059	7.464320	44.1115			
MERFC030	6.375430	44.0336	MERFC060	7.446860	44.108			

Annexe 3

Fiches de localisation des affleurements expertisés sur le terrain

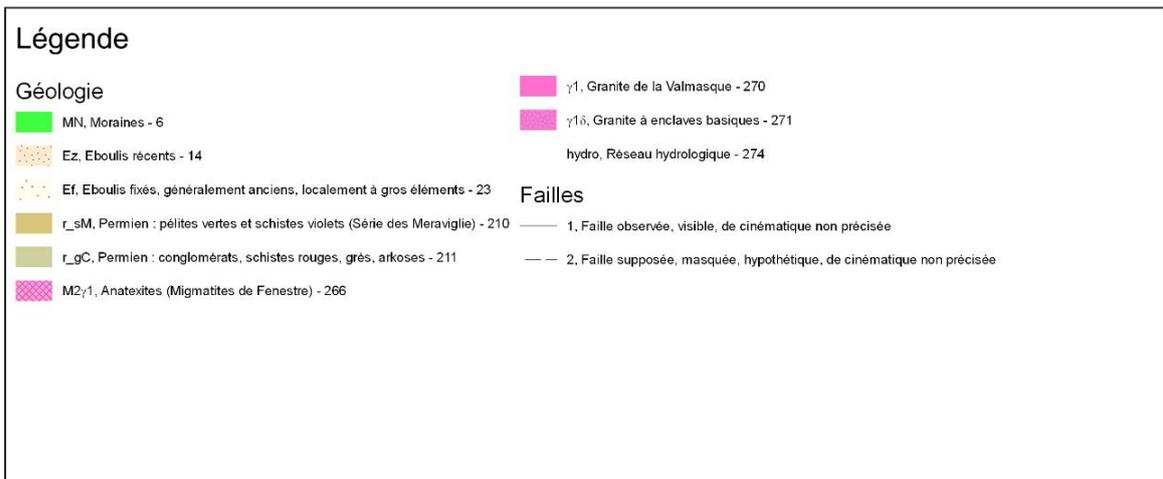
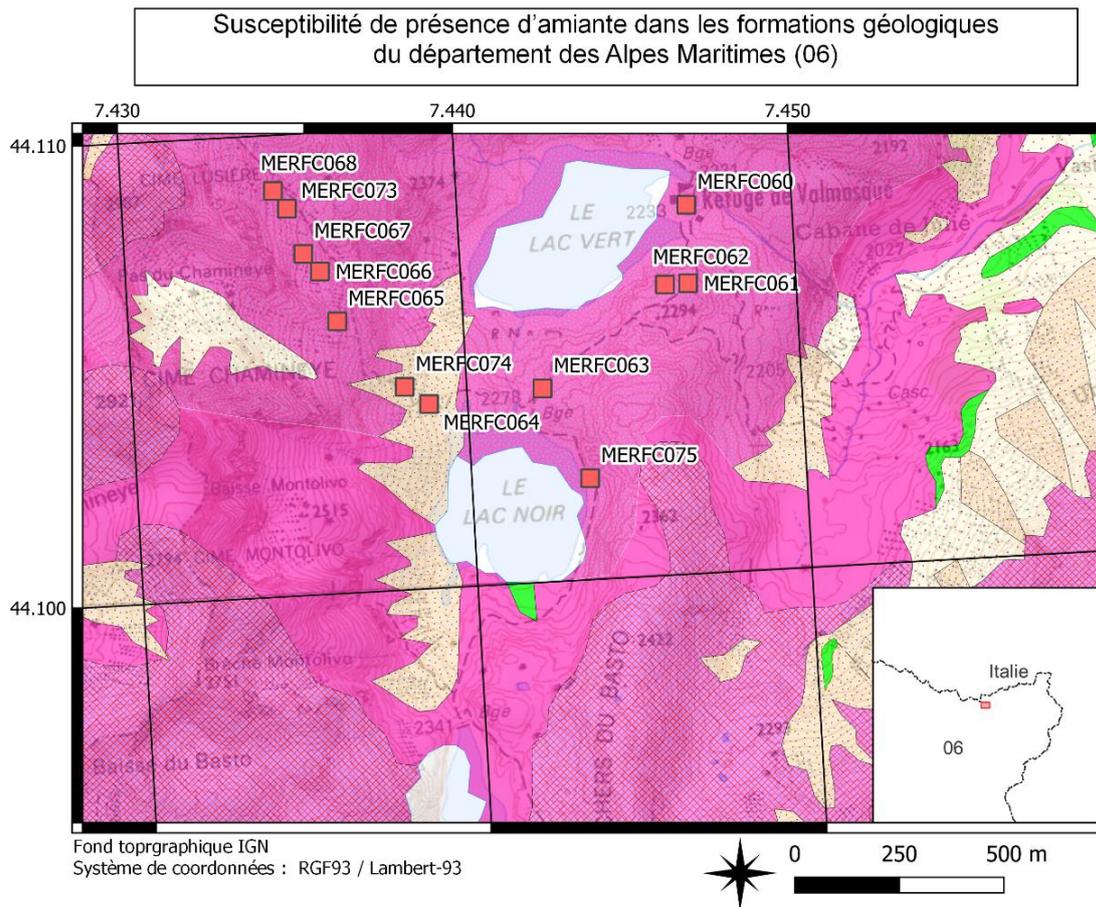
Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)



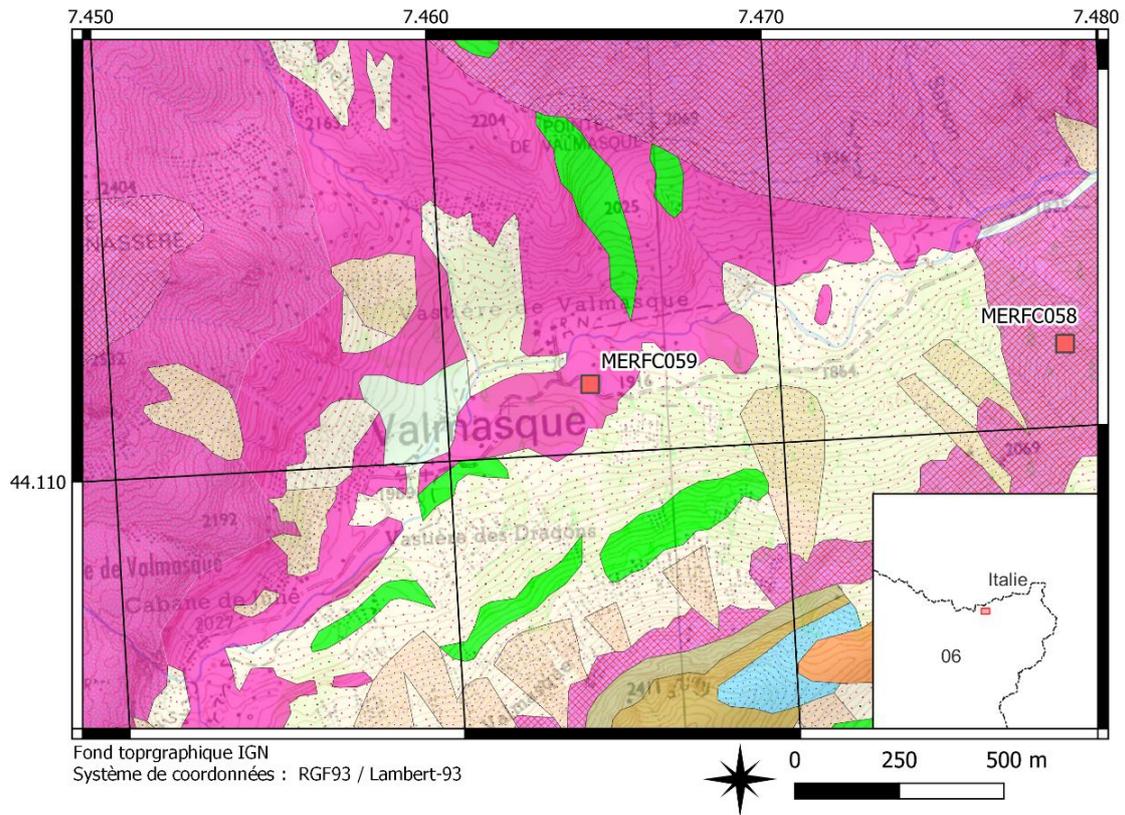
Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| MN, Moraines - 6 | M2γ1, Anatexites (Migmatites de Fenestre) - 266 |
| Ez, Eboulis récents - 14 | γ1, Granite de la Valmasque - 270 |
| Ef, Eboulis fixés, généralement anciens, localement à gros éléments - 23 | γ1δ, Granite à enclaves basiques - 271 |
| γ, Lamprophyre : spessartite - 232 | hydro, Réseau hydrologique - 274 |



Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

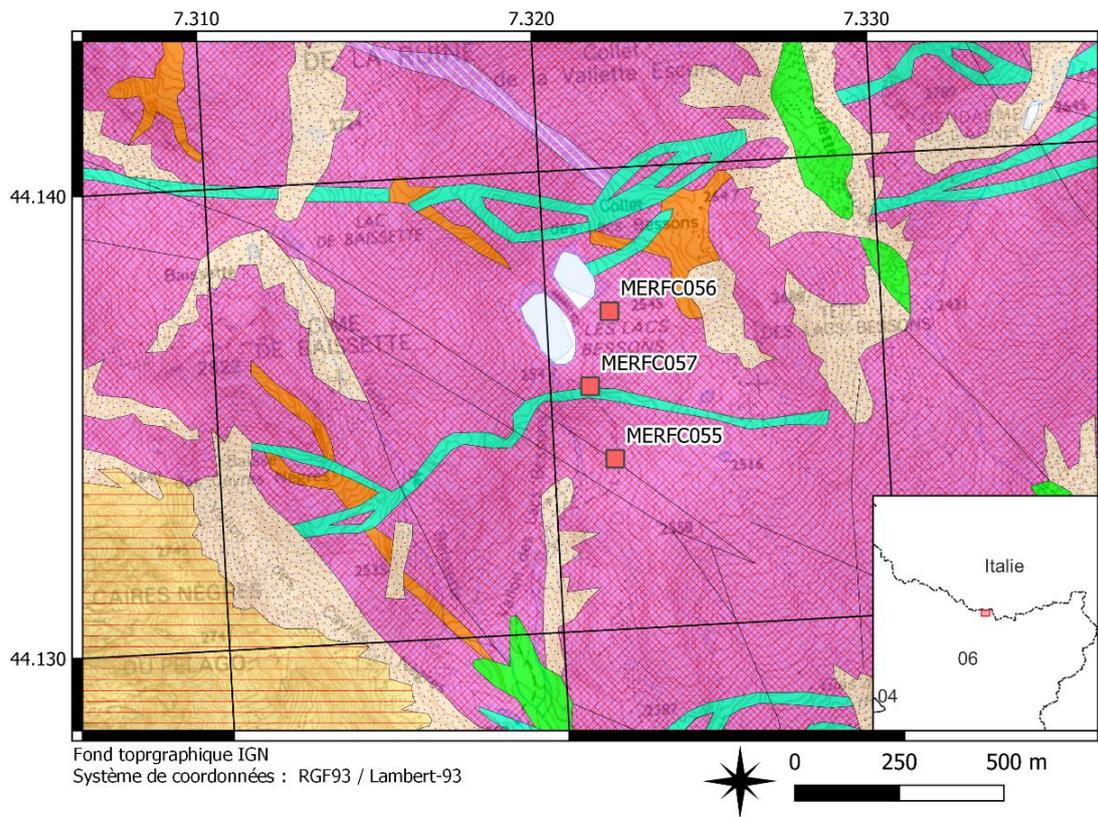


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| MN, Moraines - 6 | t1-2_sD, Werfénien : pérites, dolomies - 204 |
| Ez, Eboulis récents - 14 | t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 |
| Jy, Wym : cones de déjection - 18 | r_sM, Permien : pérites vertes et schistes violets (Série des Meraviglie) - 210 |
| Ef, Eboulis fixés, généralement anciens, localement à gros éléments - 23 | r_gC, Permien : conglomérats, schistes rouges, grès, arkoses - 211 |
| j, Jurassique indifférencié : calcaires et dolomies - 144 | M2γ1, Anatexites (Migmatites de Fenestre) - 266 |
| t6-7, Keuper : argiles rouges, gypse, dolomies, cargneules - 194 | γ1, Granite de la Valmasque - 270 |
| t3-5_CD, Muschelkalk : calcaires et dolomies - 199 | γ1a, Granite à enclaves basiques - 271 |
| t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200 | hydro, Réseau hydrologique - 274 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

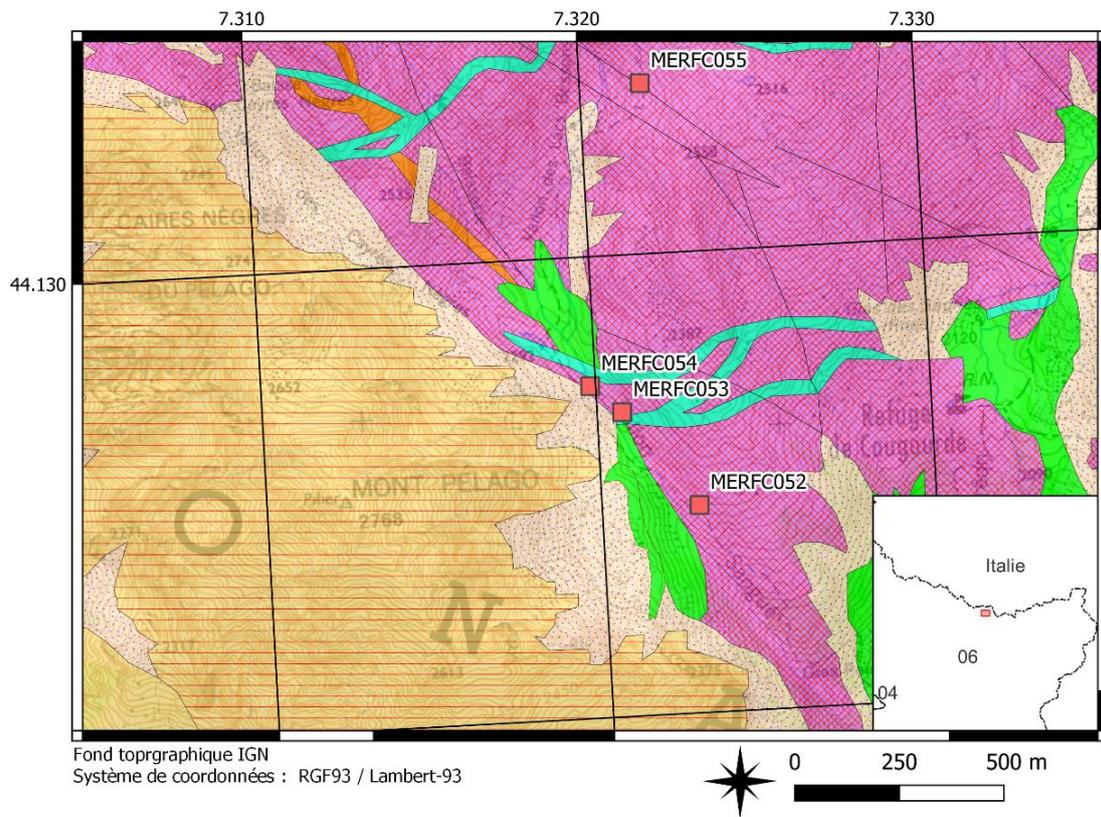


Légende

Géologie

- | | |
|---|---|
|  MN, Moraines - 6 |  M2 γ 1, Anatexites (Migmatites de Fenestre) - 266 |
|  Ez, Eboulis récents - 14 |  Z'b, Gneiss dans la zone des Anatexites de Fenestre - 269 |
|  M2 γ 2, Anatexites hololeucocrates - 225 |  hydro, Réseau hydrologique - 274 |
|  π 1, Aplite - 229 | Failles |
|  γ , Lamprophyre : spessartite - 232 |  1, Faille observée, visible, de cinématique non précisée |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

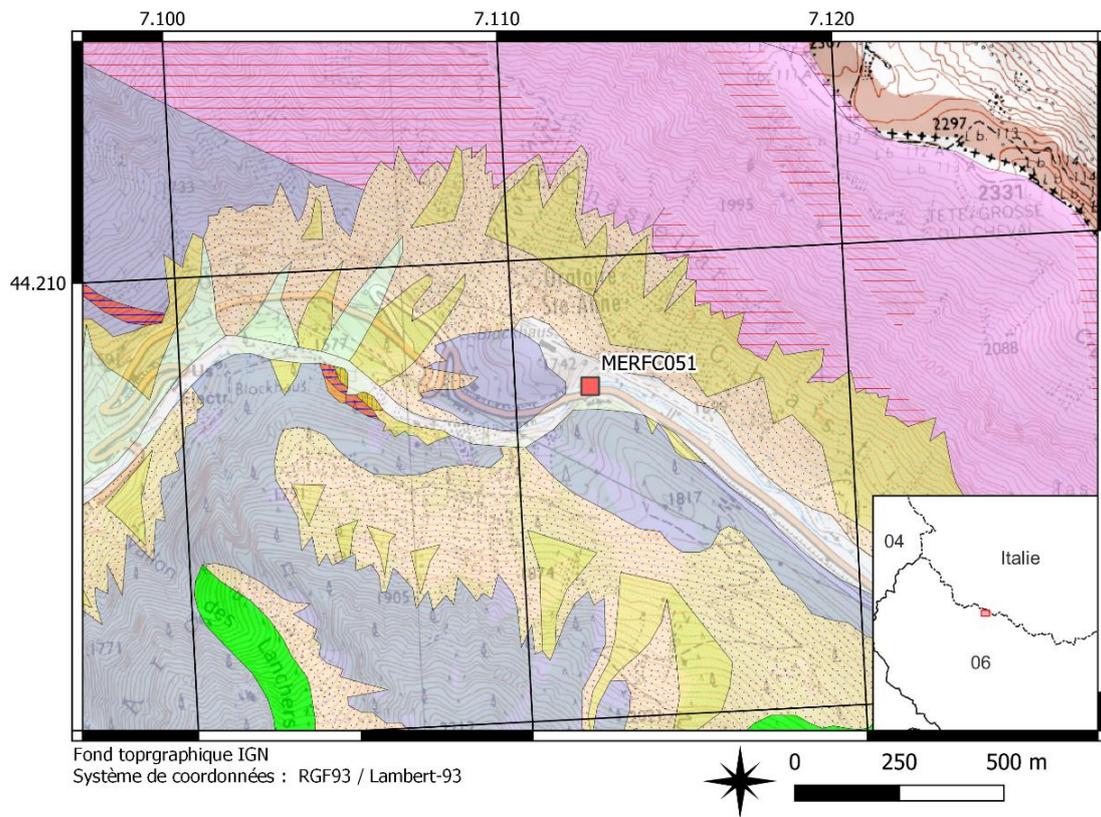


Légende

Géologie

- | | |
|---|---|
| ■ MN, Moraines - 6 | ■ π1, Aplite - 229 |
| ■ Ez, Eboulis récents - 14 | ■ γ, Lamprophyre : spessartite - 232 |
| ■ Jy, Wγm : cones de déjection - 18 | ■ M2γ1, Anatexites (Migmatites de Fenestre) - 266 |
| ■ M2bγ2, Anatexites à biotite (Migmatites du Malinvern) - 224 | Failles |
| ■ M2γ2, Anatexites hololeucocrates - 225 | — 1, Faille observée, visible, de cinématique non précisée |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

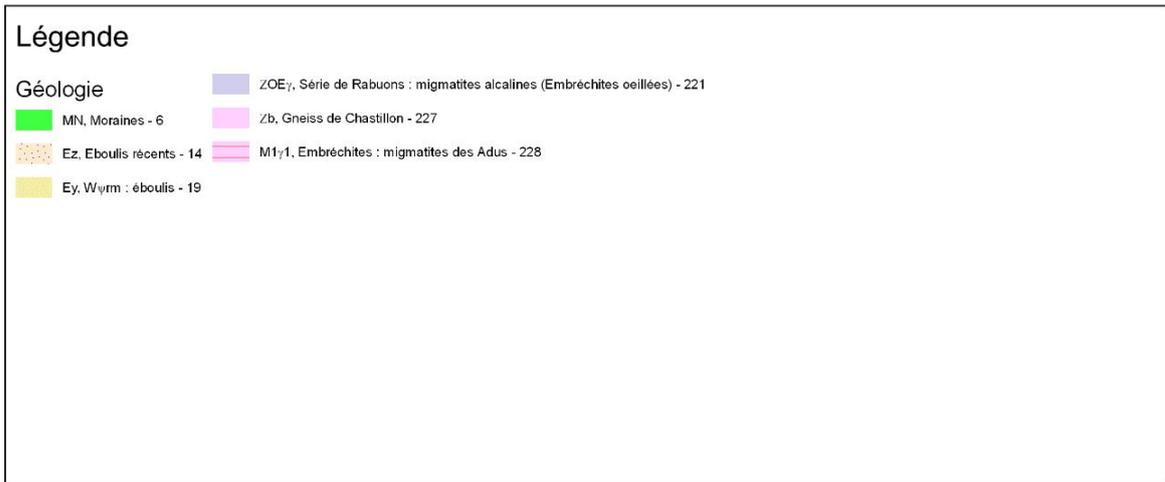
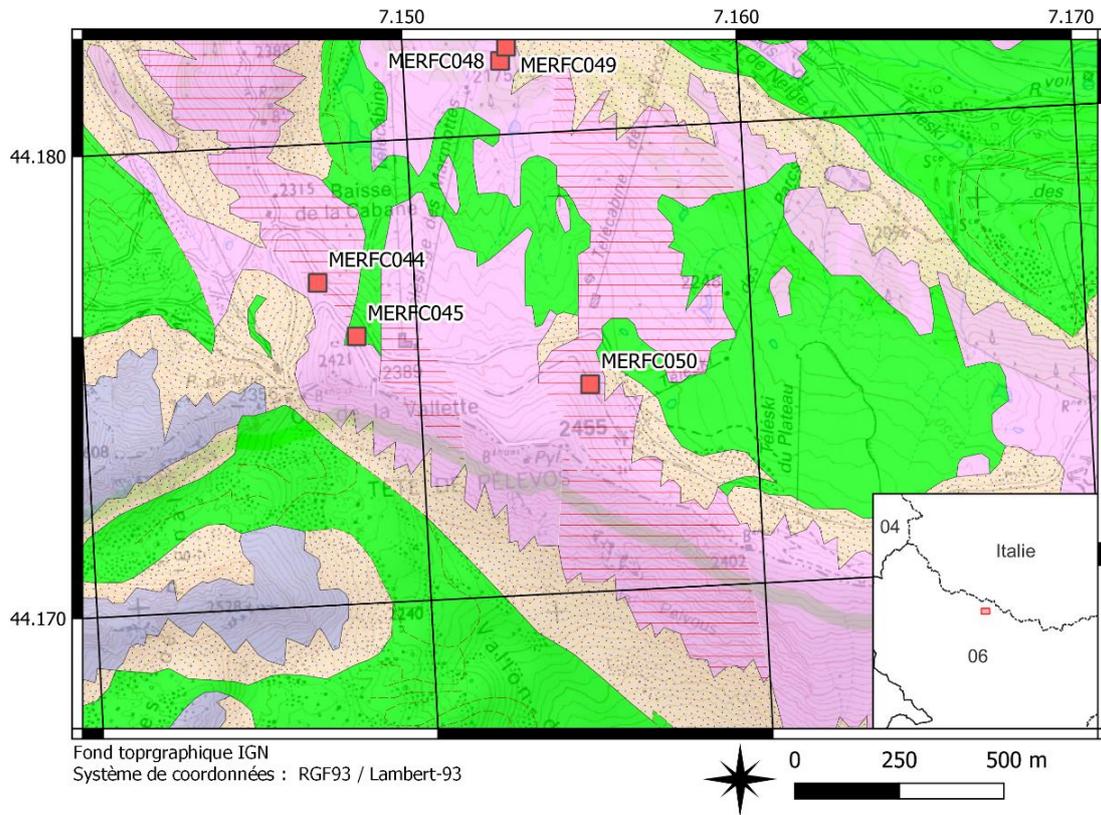


Légende

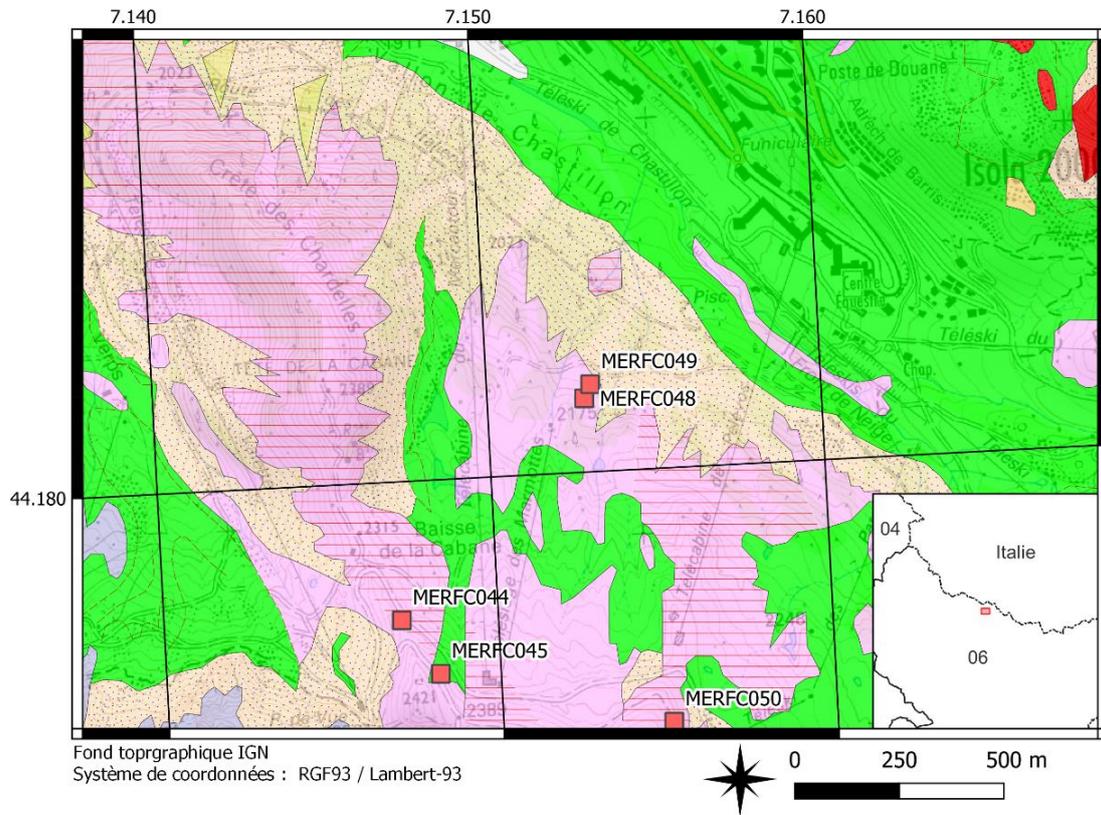
Géologie

- | | |
|---|--|
| ■ MN, Moraines - 6 | t3-5_CD, Muschelkalk : calcaires et dolomies - 199 |
| Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 | t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200 |
| Ez, Eboulis récents - 14 | t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 |
| Jy, Wym : cônes de déjection - 18 | zOEγ, Série de Rabuons : migmatites alcalines (Embréchites ocellées) - 221 |
| Ey, Wym : éboulis - 19 | Zb, Gneiss de Chastillon - 227 |
| | M1γ1, Embréchites : migmatites des Adus - 228 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)



Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

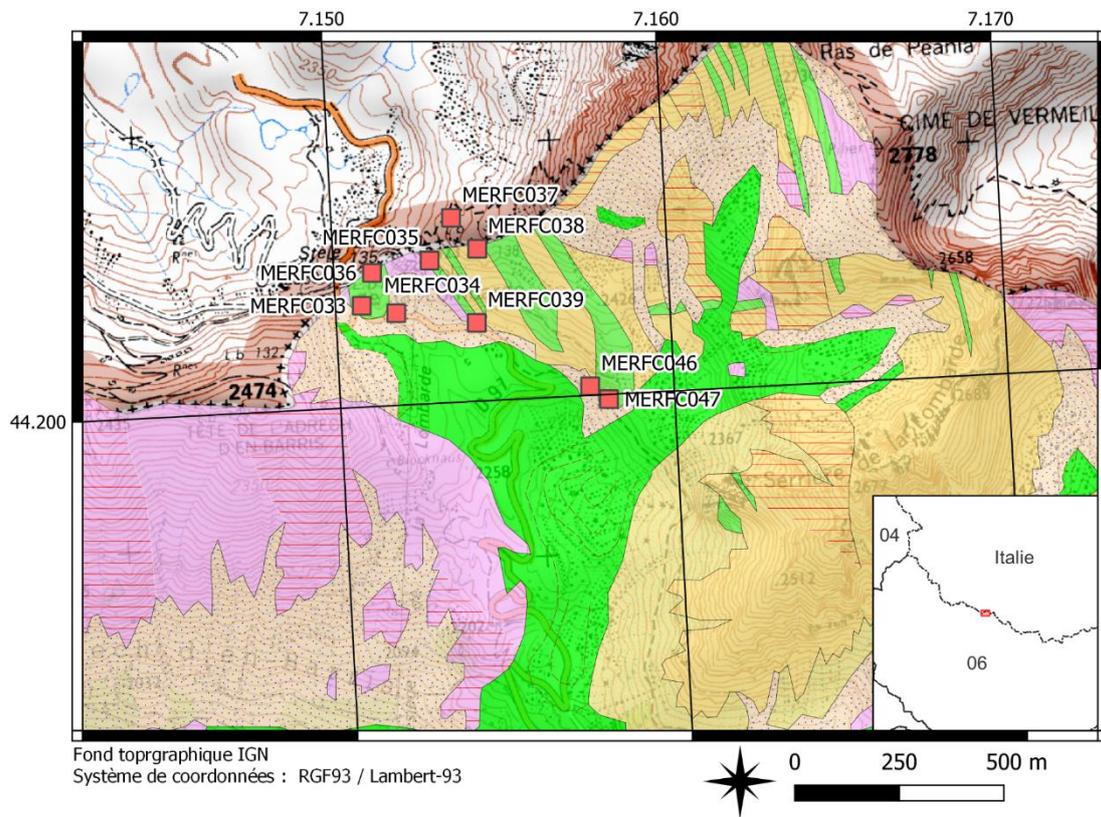


Légende

Géologie

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> MN, Moraines - 6 Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 Ez, Eboulis récents - 14 Ey, W_{ym} : éboulis - 19 | <ul style="list-style-type: none"> ZOE_γ, Série de Rabuons : migmatites alcalines (Embréchites ocellées) - 221 M2b_γ2, Anatexites à biotite (Migmatites du Malinvern) - 224 γ2, Granite de l'Argentera - 226 γb, Gneiss de Chastillon - 227 M1γ1, Embréchites : migmatites des Adu - 228 |
|--|--|

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

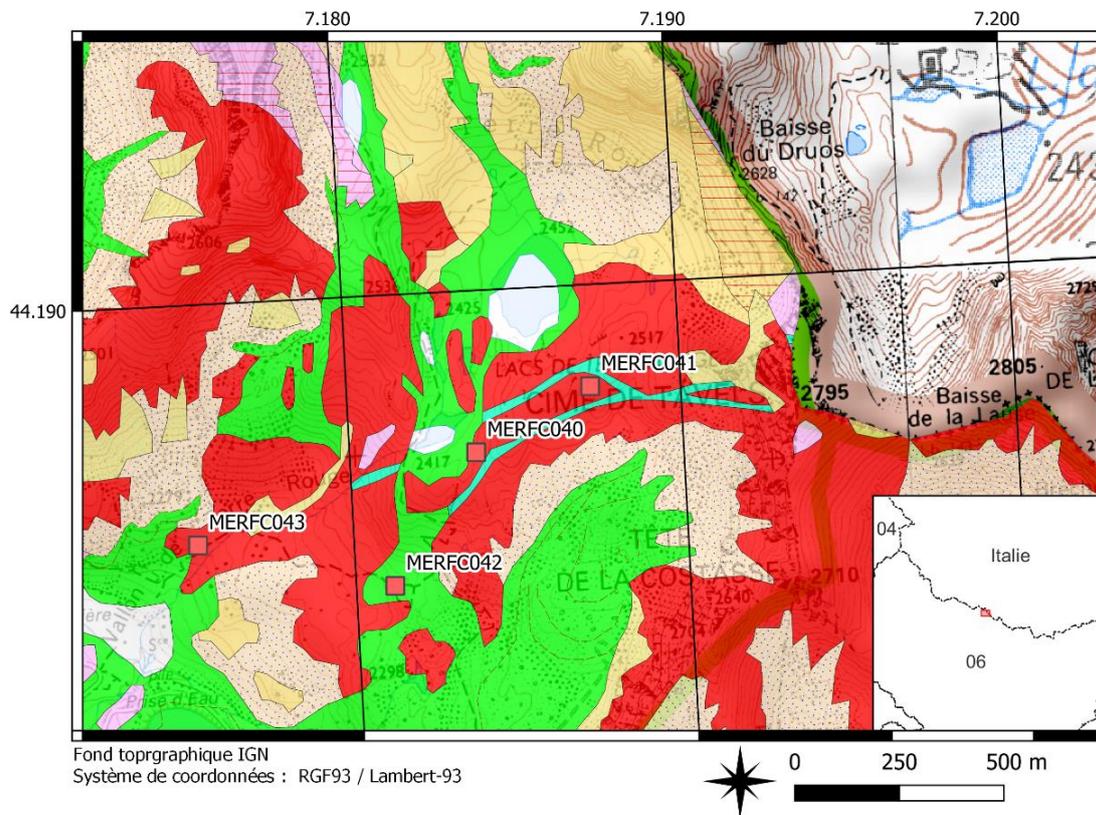


Légende

Géologie

- | | |
|---|---|
| MN, Moraines - 6 | M2 _b 2, Anatexites à biotite (Migmatites du Malinvern) - 224 |
| Ez, Eboulis récents - 14 | M2 ₂ , Anatexites hololeucocrates - 225 |
| Ey, W _{ym} : éboulis - 19 | Zb, Gneiss de Chastillon - 227 |
| ζ , Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 | M1 γ 1, Embréchites : migmatites des Adus - 228 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

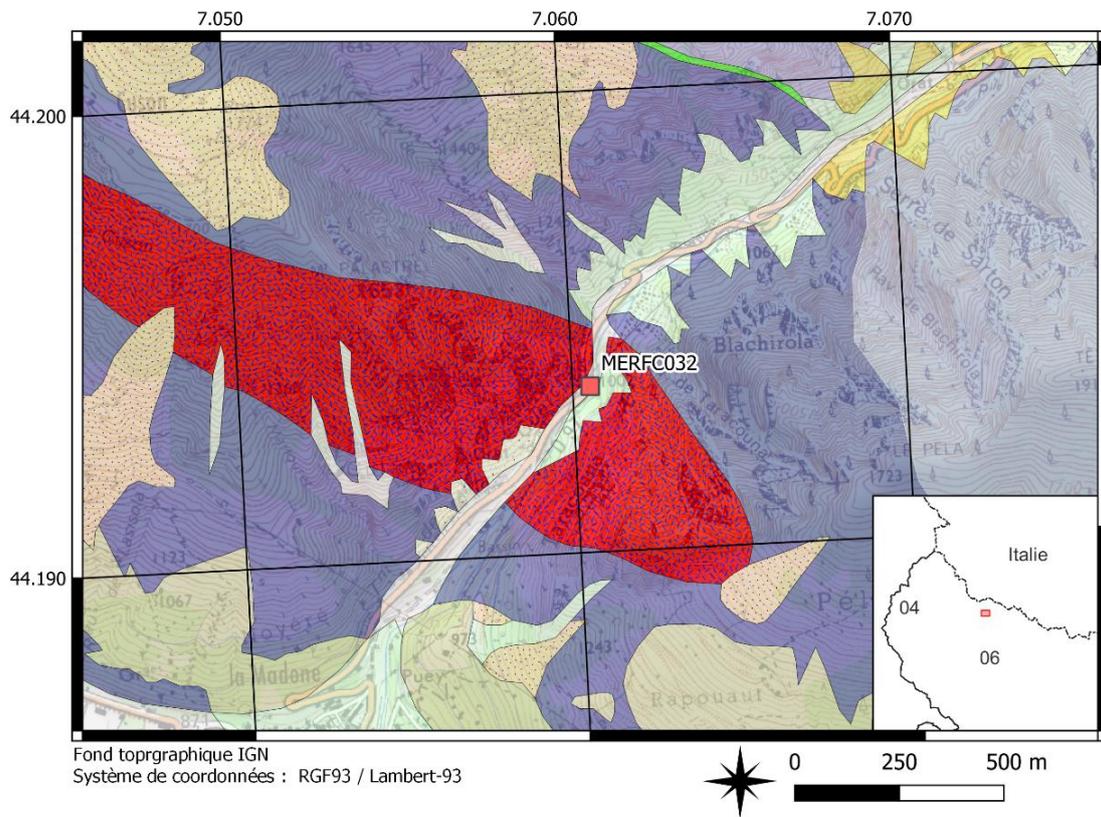


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| MN, Moraines - 6 | M2 γ 2, Anatexites hololeucocrates - 225 |
| Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 | γ 2, Granite de l'Argentera - 226 |
| Ez, Eboulis récents - 14 | Zb, Gneiss de Chastillon - 227 |
| Ey, W γ rm : éboulis - 19 | M1 γ 1, Embréchites : migmatites des Aduis - 228 |
| M2b γ 2, Anatexites à biotite (Migmatites du Malinvern) - 224 | χ , Lamprophyre : spessartite - 232 |
| | hydro, Réseau hydrologique - 274 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

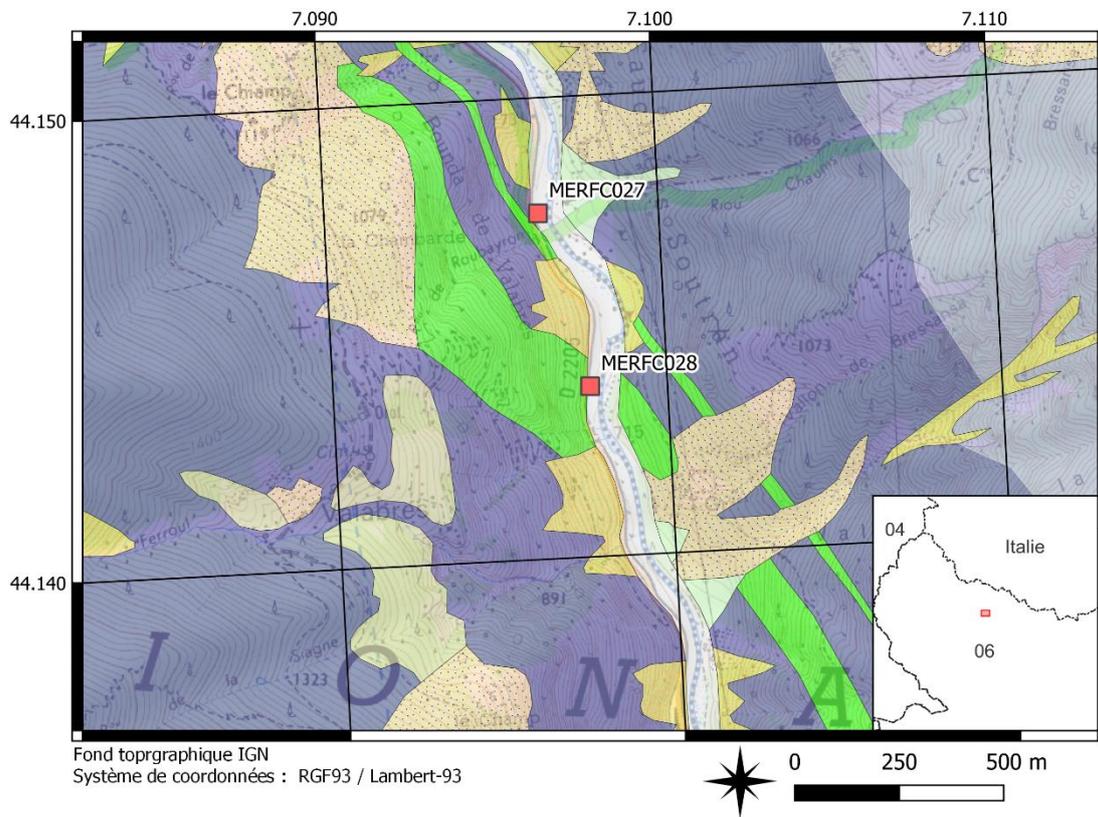


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> FgI, Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées - 7 Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 Ez, Eboulis récents - 14 Eb, Eboulis : Cône actifs - 15 Jy, Wym : cônes de déjection - 18 | <ul style="list-style-type: none"> Ey, Wym : éboulis - 19 c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 Z₁, Migmatites plagioclasiqes. Série d'Anelle - 219 ηZ, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 ZOEγ, Série de Rabuons : migmatites alcalines (Embréchites oeilées) - 221 |
|--|---|

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

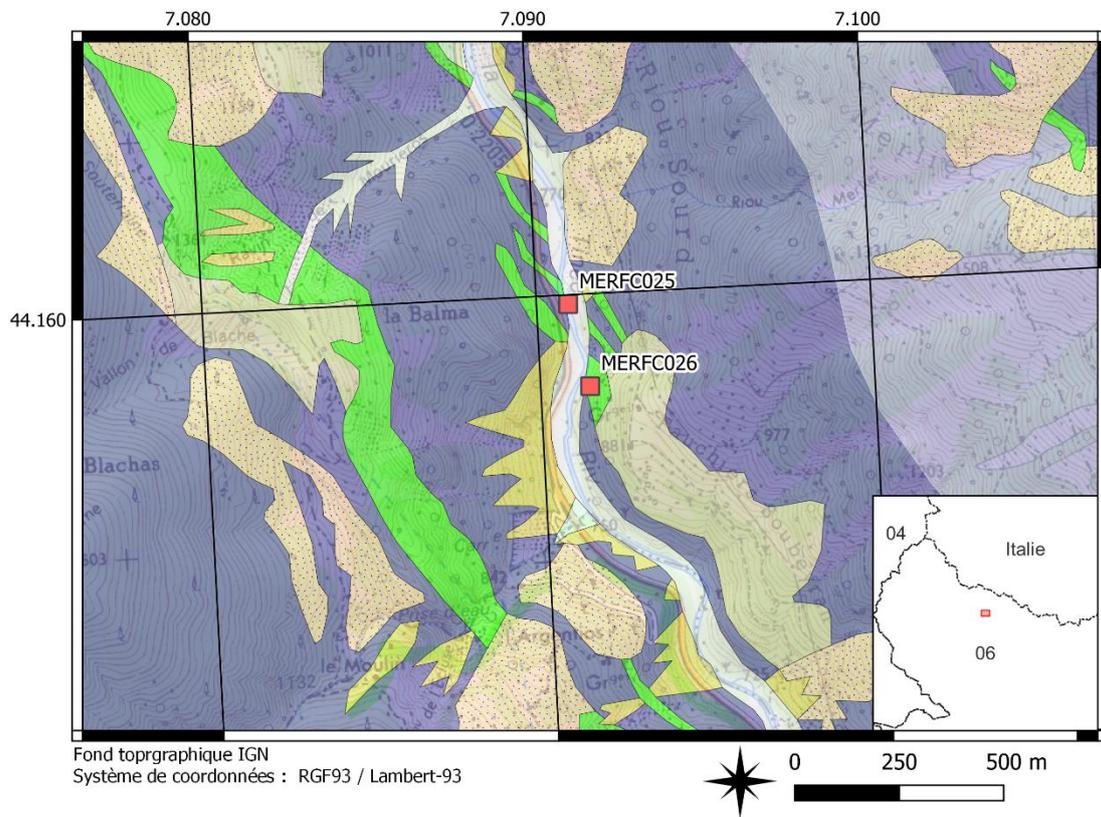


Légende

Géologie

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> FGI, Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées - 7 Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 Ez, Eboulis récents - 14 Jy, Wym : cones de déjection - 18 | <ul style="list-style-type: none"> Ey, Wym : éboulis - 19 c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 Z1, Migmatites plagioclasiqes. Série d'Anelle - 219 ZOEy, Série de Rabuons : migmatites alcalines (Embréchites ocellées) - 221 |
|---|---|

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

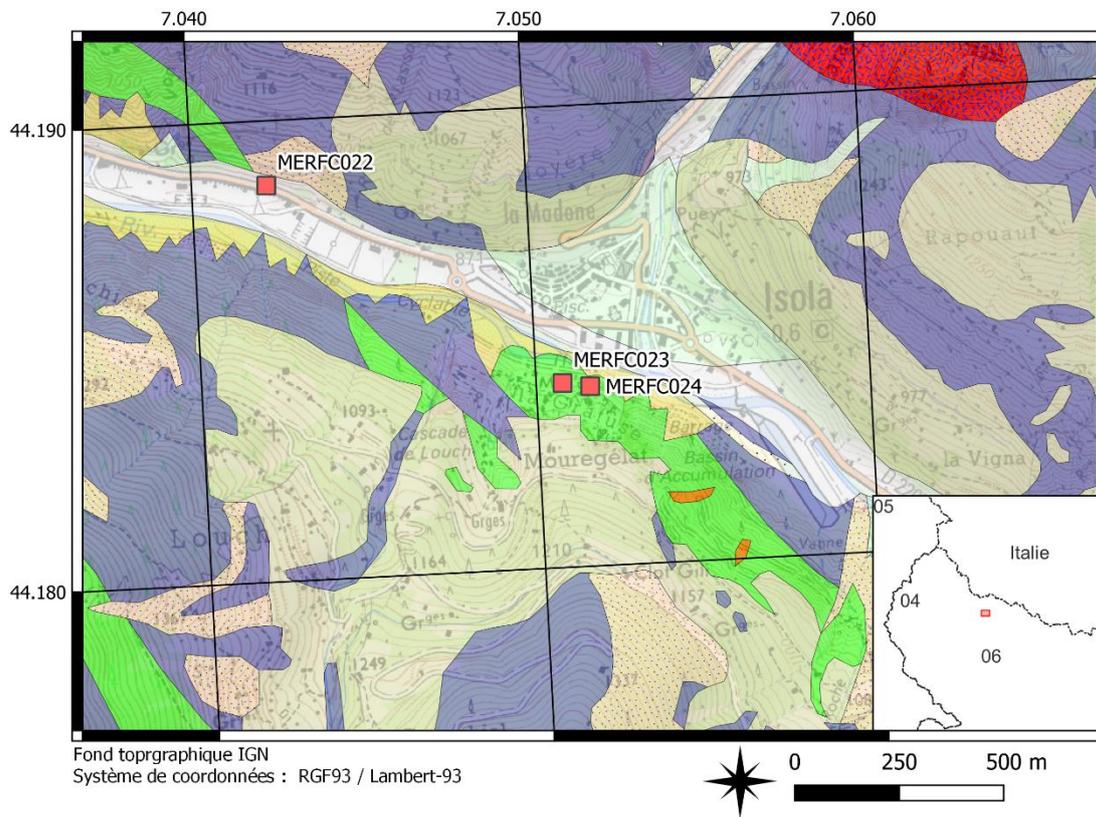


Légende

Géologie

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> FGI, Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées - 7 Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 Ez, Eboulis récents - 14 Jy, Wvrm : cones de déjection - 18 | <ul style="list-style-type: none"> Ey, Wvrm : eboulis - 19 c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 Z1, Migmatites plagioclasiqes. Série d'Anelle - 219 ZOEy, Série de Rabuons : migmatites alcalines (Embréchites ocellées) - 221 |
|--|--|

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

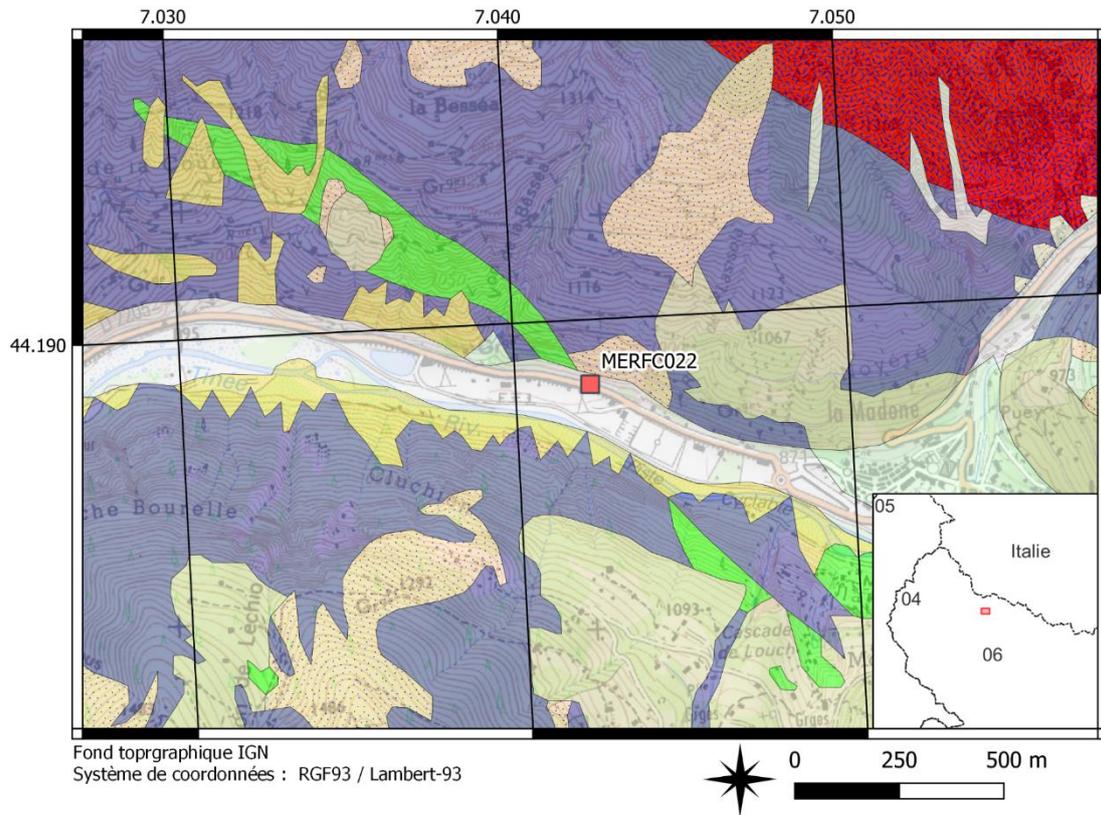


Légende

Géologie

- | | |
|--|--|
| FGI, Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées - 7 | Jy, W _{ym} : cônes de déjection - 18 |
| Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 | Ey, W _{ym} : éboulis - 19 |
| F1a, Terrasses récentes - 11 | c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 |
| Ez, Éboulis récents - 14 | Z ₁ , Migmatites plagioclasiqes. Série d'Anelle - 219 |
| Eb, Éboulis : Cône actifs - 15 | ηZ, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 |
| | π1, Aplite - 229 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

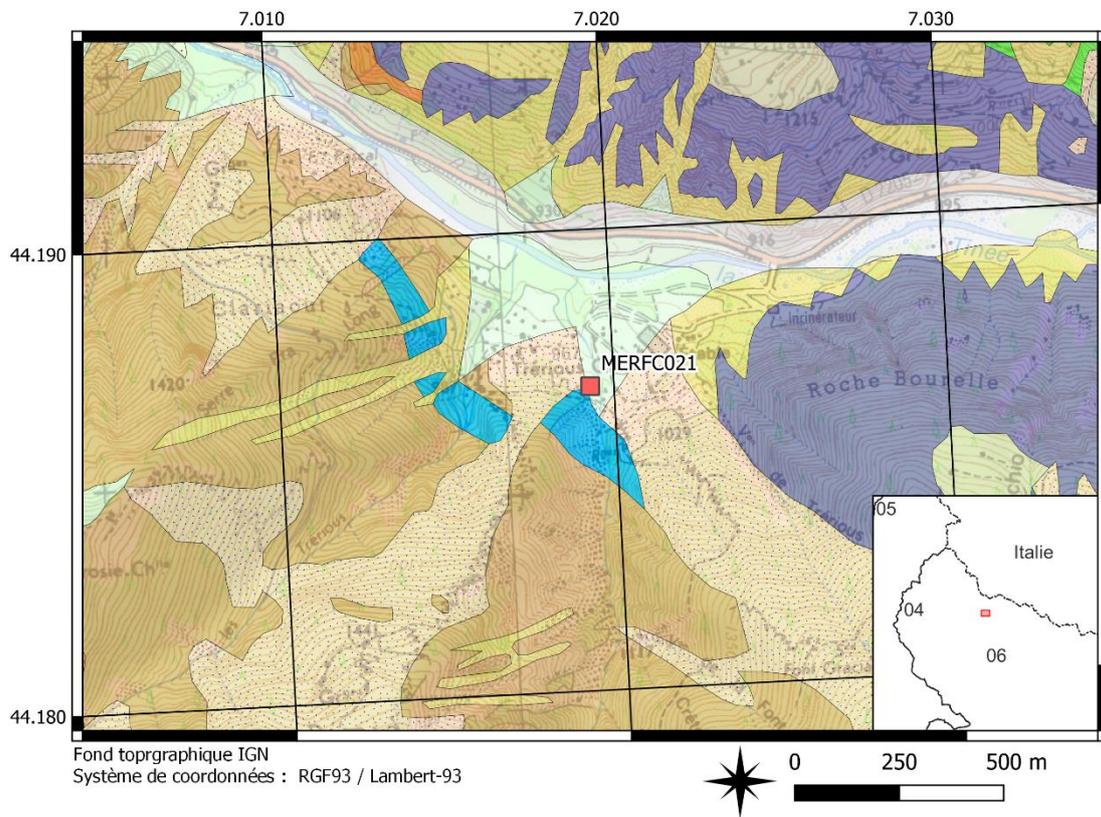


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| FGI, Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées - 7 | Jy, W _{ym} : cônes de déjection - 18 |
| Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 | Ey, W _{ym} : éboulis - 19 |
| F1a, Terrasses récentes - 11 | c, Amphiboloites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 |
| Ez, Éboulis récents - 14 | Z ₁ , Migmatites plagioclasiq. Série d'Anelle - 219 |
| Eb, Éboulis : Cône actifs - 15 | ηZ, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 |
| | π1, Aplite - 229 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

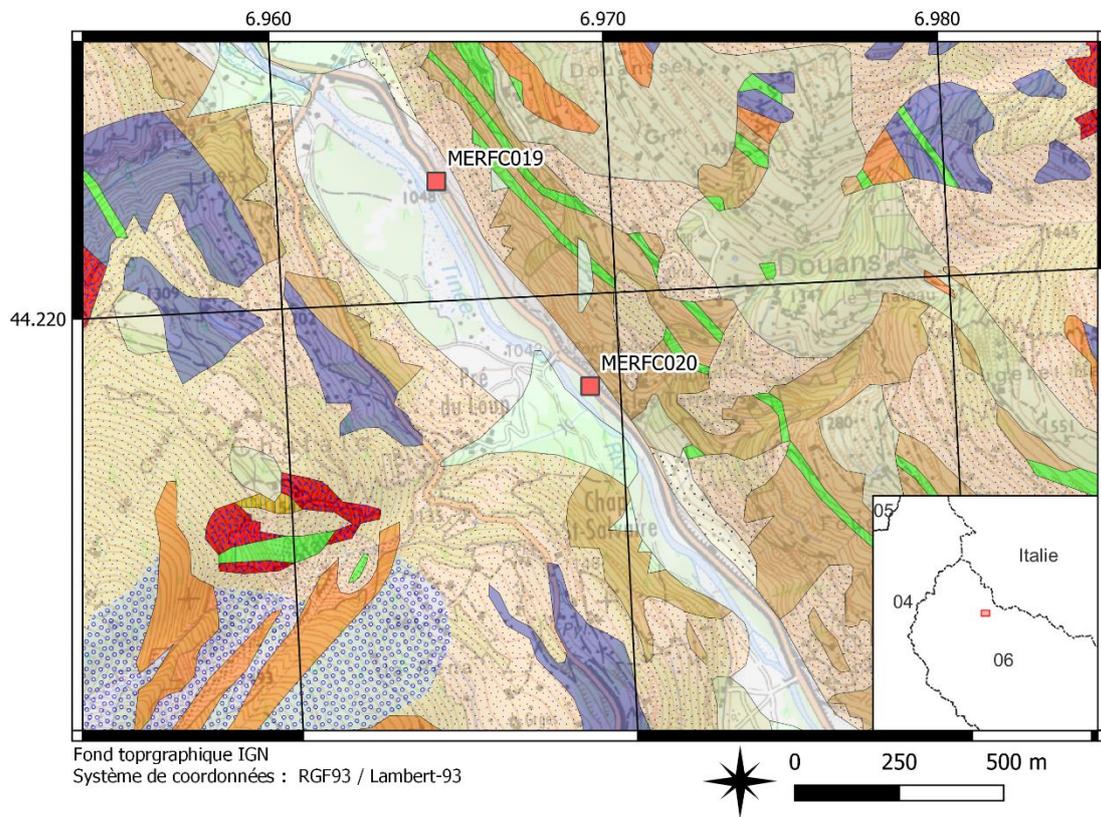


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> FGI, Alluvions fluvioglaciales et assimilées - 7 Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 F1a, Terrasses récentes - 11 Ez, Eboulis récents - 14 Jy, Wvrm : cones de déjection - 18 | <ul style="list-style-type: none"> Ey, Wvrm : eboulis - 19 t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 Zv, Série de Varelios-Fougieret : gneiss - 218 Z1, Migmatites plagioclasiqes. Série d'Anelle - 219 c(1), Cipolins - 222 |
|--|---|

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

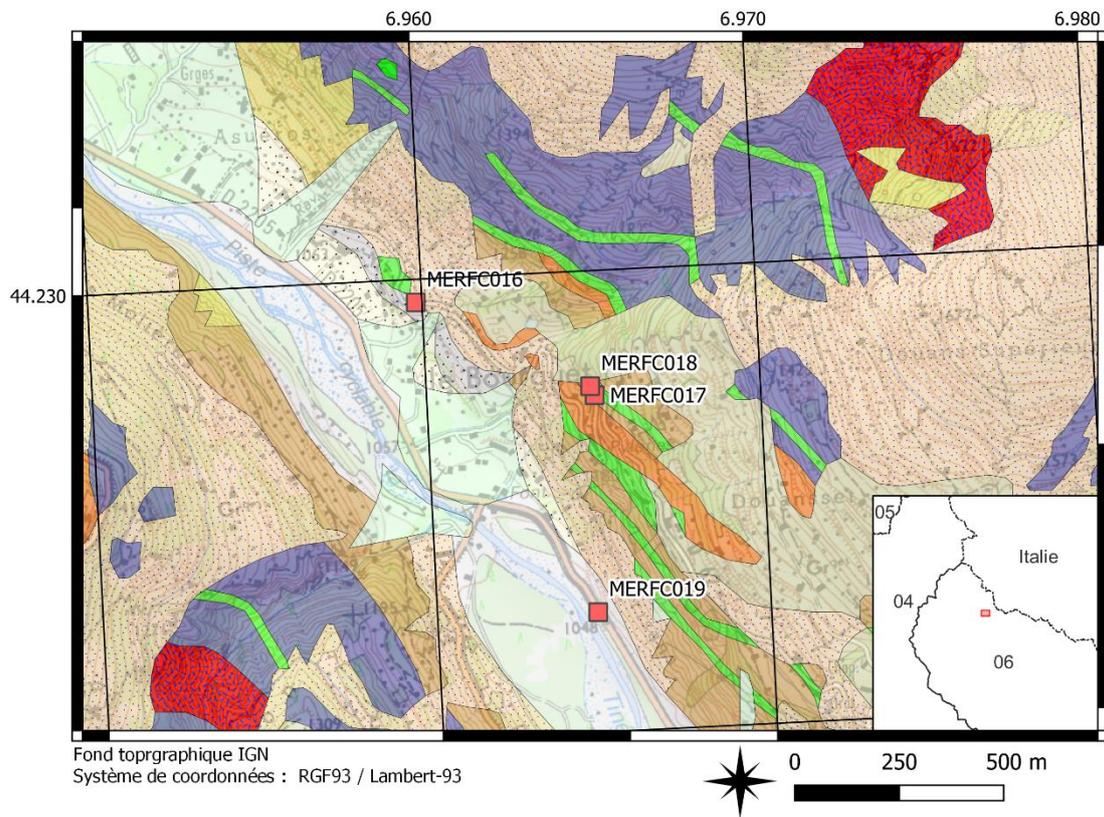


Légende

Géologie

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> FGI, Alluvions fluvioglaciales et assimilées - 7 Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 F1a, Terrasses récentes - 11 Ez, Eboulis récents - 14 Jy, Wvrm : cones de déjection - 18 Eg, Eboulis : terrains glissés - 24 | <ul style="list-style-type: none"> t3-5_CD, Muschelkalk : calcaires et dolomies - 199 t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 Zvf, Série de Varelios-Fougieret : gneiss - 218 Z11, Migmatites plagioclasiqes. Série d'Anelle - 219 11Z, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 |
|---|--|

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

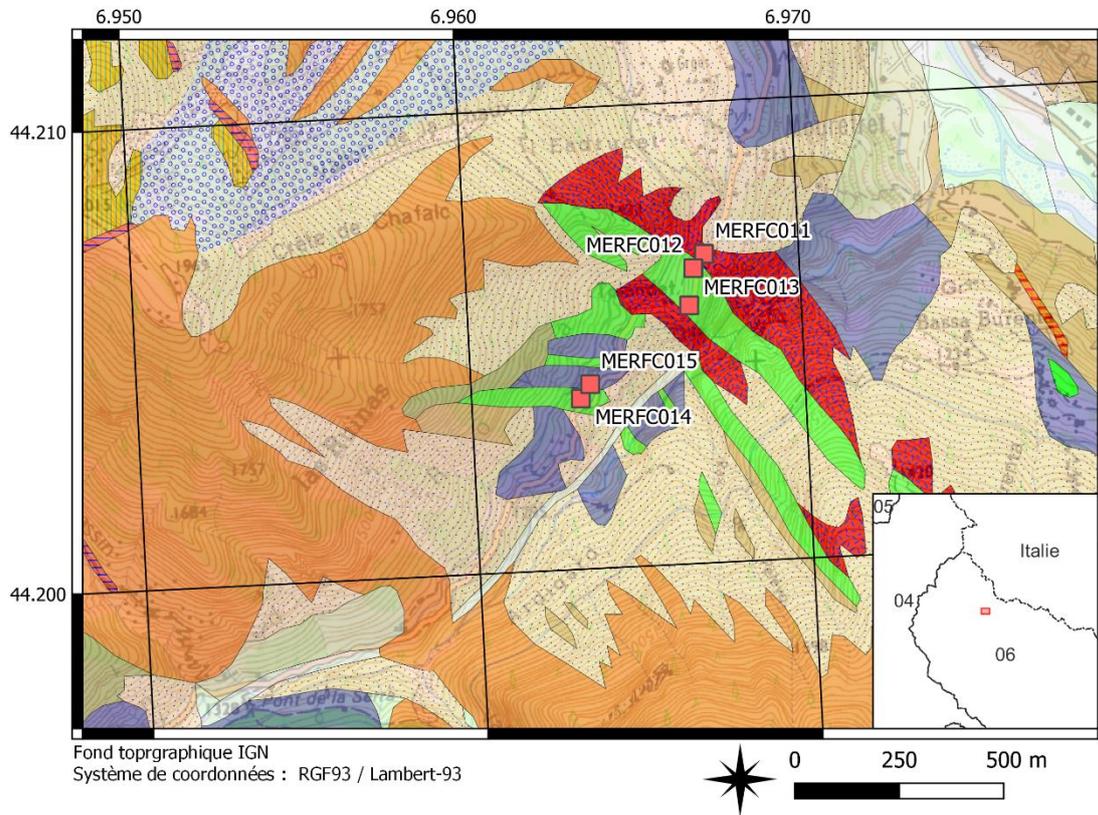


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| FGI, Alluvions fluvioglaciales et assimilées - 7 | Ey, Wurm : éboulis - 19 |
| Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 | t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 |
| F1a, Terrasses récentes - 11 | c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 |
| Ez, Éboulis récents - 14 | Zf, Série de Varelios-Fougieret : gneiss - 218 |
| F2a, Terrasses anciennes - 17 | Z1, Migmatites plagioclasiques. Série d'Anelle - 219 |
| Jy, Wurm : cônes de déjection - 18 | 1Z, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 |
| | 1e, Eclogites - 223 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

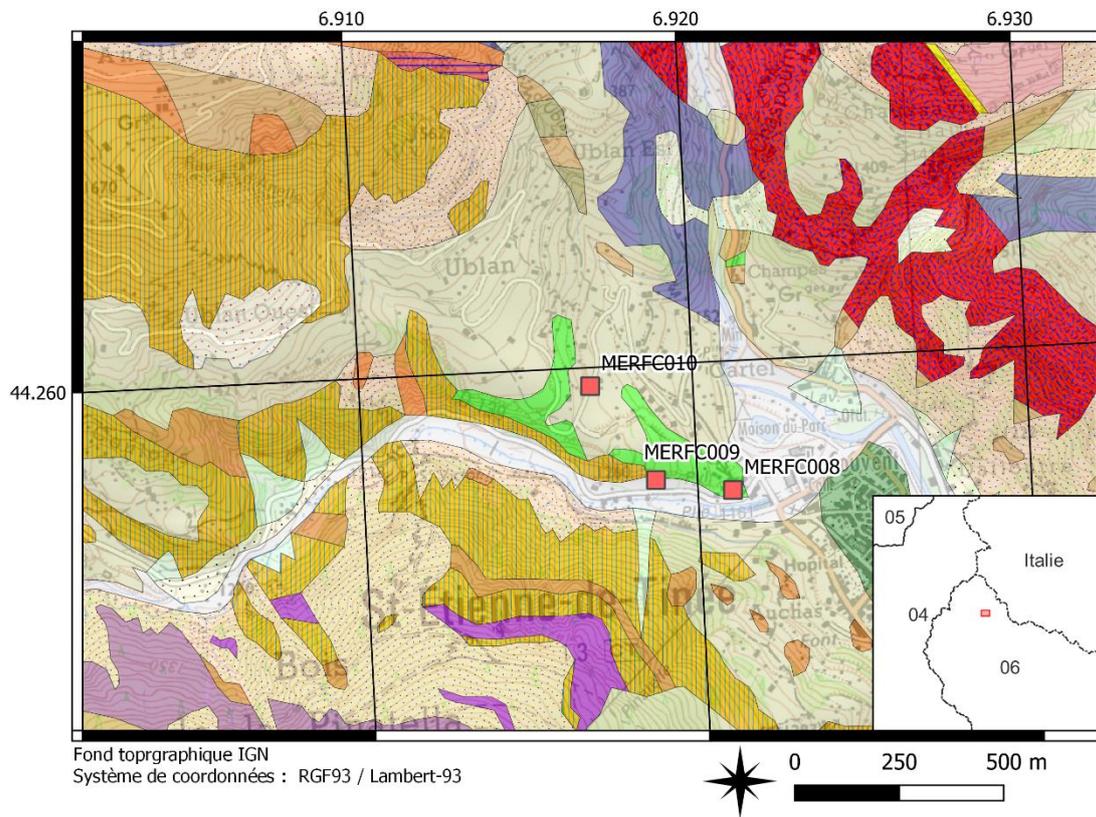


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| MN, Moraines - 6 | t1-2_sD, Werfénien : pélites, dolomies - 204 |
| FGI, Alluvions fluvioglaciales et assimilées - 7 | t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 |
| Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 | r_gC, Permien : conglomérats, schistes rouges, grès, arkoses - 211 |
| Ez, Eboulis récents - 14 | ç, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 |
| Jy, Wvrm : cônes de déjection - 18 | Zv, Série de Varelios-Fouglières : gneiss - 218 |
| Eg, Eboulis : terrains glissés - 24 | Z1, Migmatites plagioclasiq. Série d'Anelle - 219 |
| t3-5_CD, Muschelkalk : calcaires et dolomies - 199 | ηZ, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 |
| t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200 | π2, Pegmatite - 230 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)

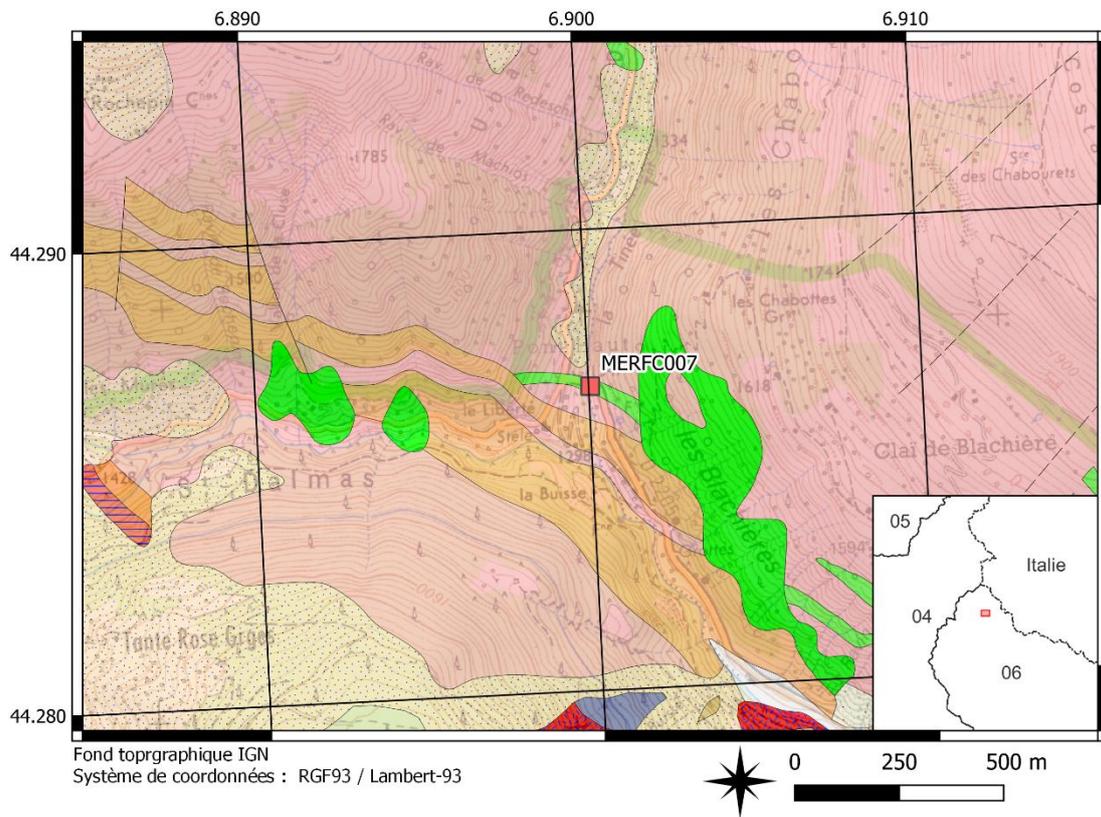


Légende

Géologie

- | | |
|--|---|
| FGI, Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées - 7 | t6-7, Keuper : argiles rouges, gypse, dolomies, cargneules - 194 |
| Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 | tG, Trias : gypses - 195 |
| F1a, Terrasses récentes - 11 | t3-5_CD, Muschelkalk : calcaires et dolomies - 199 |
| Ez, Eboulis récents - 14 | t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200 |
| Eb, Eboulis : Cône actifs - 15 | t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 |
| Jy, Wym : cônes de déjection - 18 | r_gC, Permien : conglomérats, schistes rouges, grès, arkoses - 211 |
| Ef, Eboulis fixés, généralement anciens, localement à gros éléments - 23 | c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 |
| U, Tufs anciens - 28 | Zv, Série de Varelios-Fougères : gneiss - 218 |
| j2_4a, Bajocien-Bathonien : marno-calcaires à Cancellophycus - 177 | Zn, Migmatites plagioclasiques. Série d'Anelle - 219 |
| I2, Sinémurien : calcaires à Gryphées - 187 | uZ, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 |
| | Qf, Quartz, Barytine, Fluorine, avec Blende, Galène, Pyrite en filons dans le socle - 233 |
| | M, migmatites schistoïdes à biotite, muscovite, disthène, sillimanite - 255 |

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)



Légende

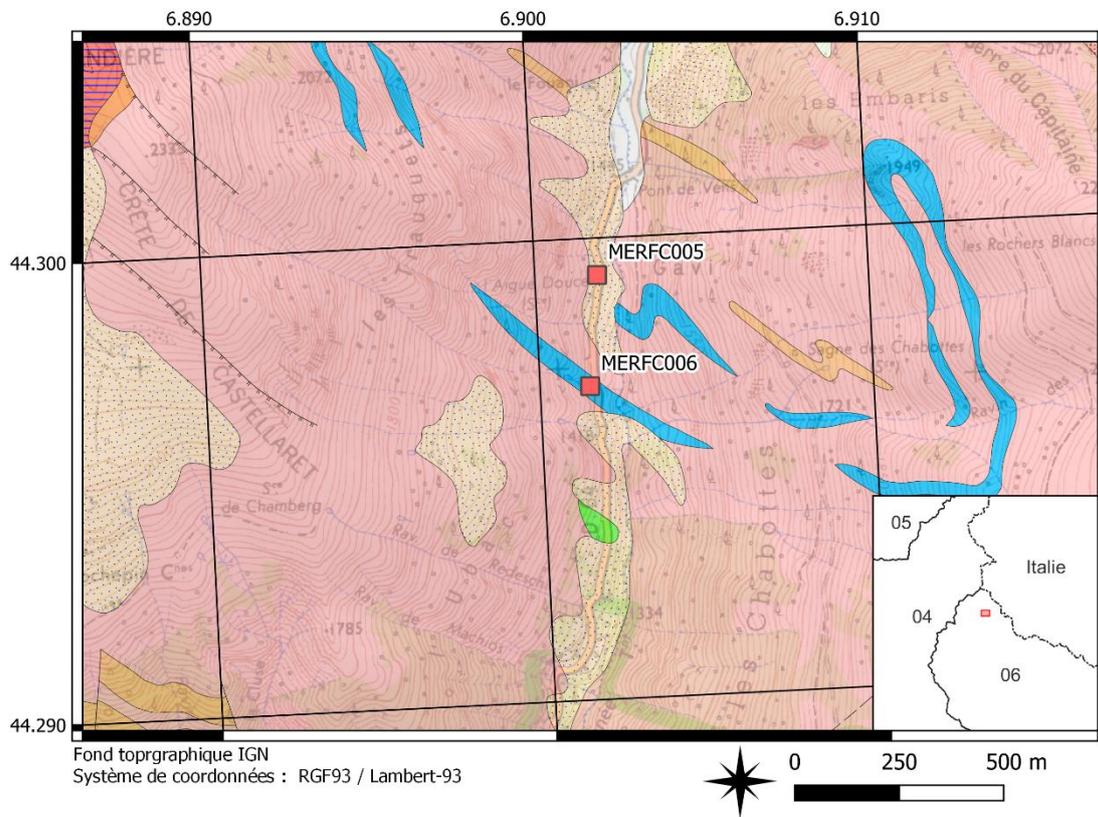
Géologie

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> MN, Moraines - 6 FGI, Alluvions fluvio-glaciaires et assimilées - 7 Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10 Ez, Eboulis récents - 14 Eb, Eboulis : Cones actifs - 15 t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200 t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205 g, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217 | <ul style="list-style-type: none"> Zvf, Série de Varelios-Fougiéret : gneiss - 218 Zi, Migmatites plagioclasiqes, Série d'Anelle - 219 iZ, Série d'Iglière : diorite - migmatite - 220 M_c, migmatites schistoides à biotite, muscovite, disthène, sillimanite - 255 Gb, Gneiss leucocrates massifs à biotite - 256 |
|---|---|

Failles

- 1, Faille observée, visible, de cinématique non précisée
- 2, Faille supposée, masquée, hypothétique, de cinématique non précisée

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)



Légende

Géologie

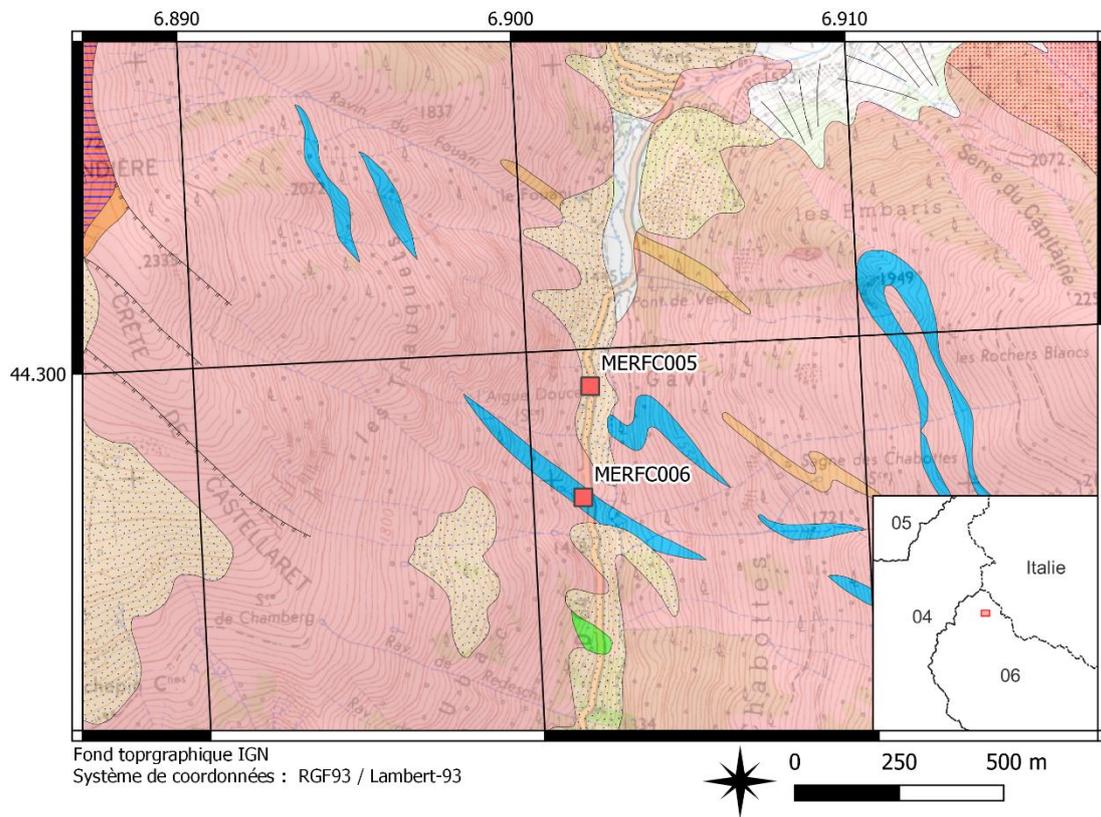
- CA, Couloirs et cones d'avalanche - 8
- Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10
- Ez, Eboulis récents - 14
- t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200
- t1-2_Q, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205
- c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217

- c(1), Cipolins - 222
- M, migmattes schistives à biotite, muscovite, disthène, sillimanite - 255
- cb, Gneiss leucocrates massifs à biotite - 256
- csi, Gneiss pélitiques oeilés ou non, à muscovite, biotite, sillimanite - 257

Failles

- 1, Faille observée, visible, de cinématique non précisée
- 2, Faille supposée, masquée, hypothétique, de cinématique non précisée

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)



Légende

Géologie

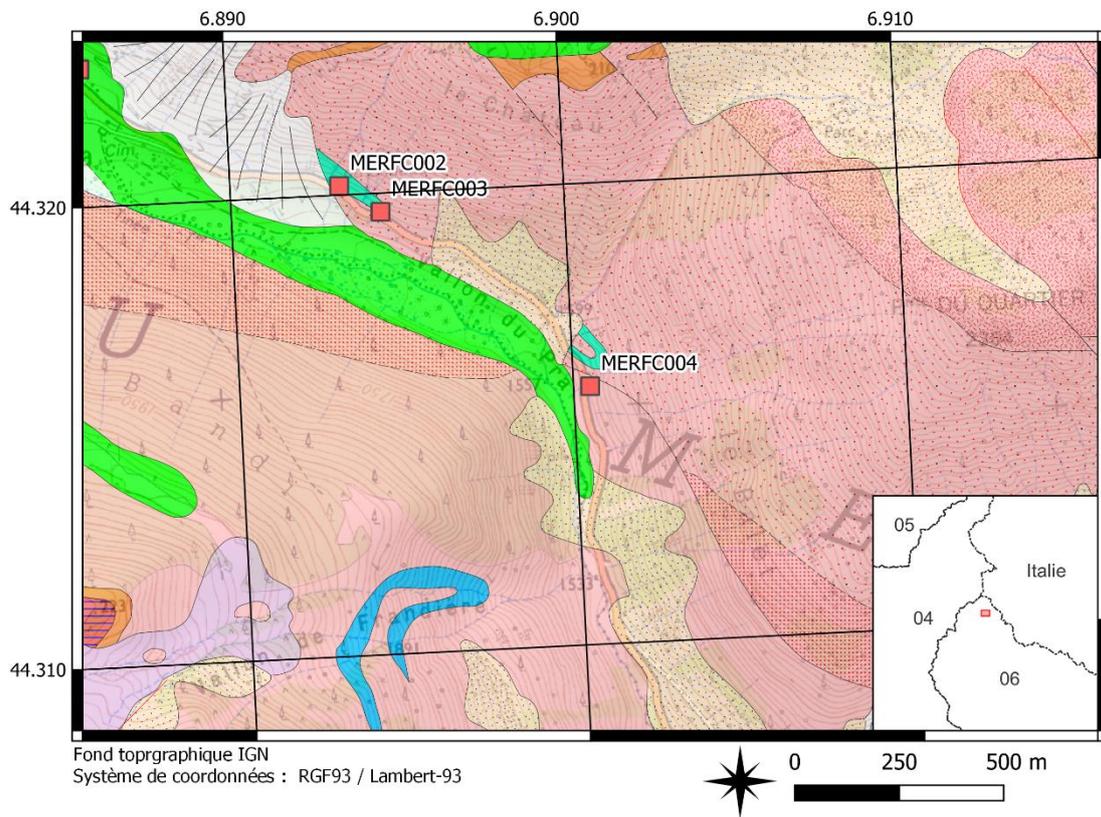
- CA, Couloirs et cones d'avalanche - 8
- Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10
- Ez, Eboulis récents - 14
- t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200
- t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205
- c, Amphibolites massives ou rubanées et gneiss amphibolitiques - 217

- c(1), Cipolins - 222
- M, migmattes schistoides à biotite, muscovite, disthène, sillimanite - 255
- lb, Gneiss leucocrates massifs à biotite - 256
- cs, Gneiss pelitiques oeilés ou non, à muscovite, biotite, sillimanite - 257

Failles

- 2, Faille supposée, masquée, hypothétique, de cinématique non précisée

Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)



Légende

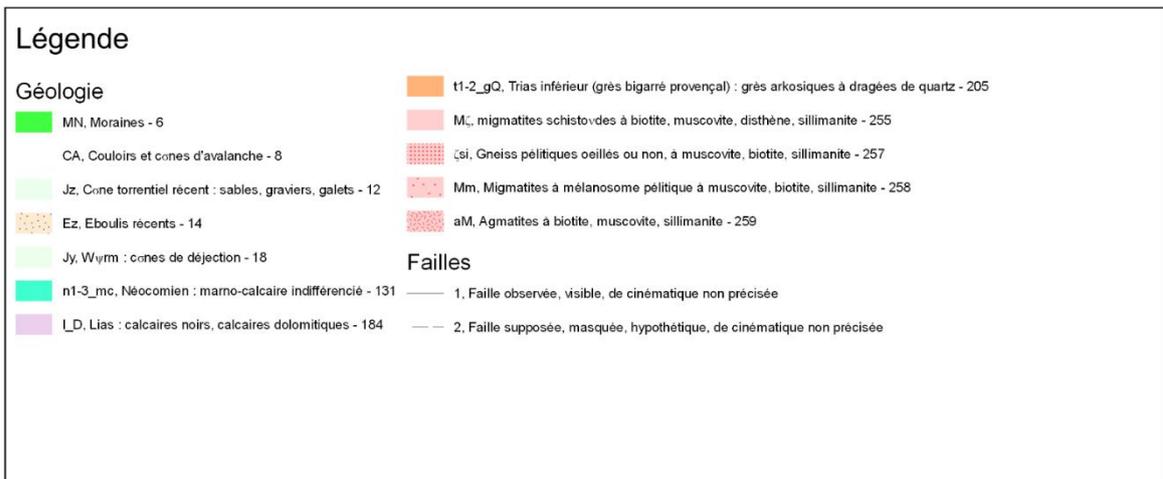
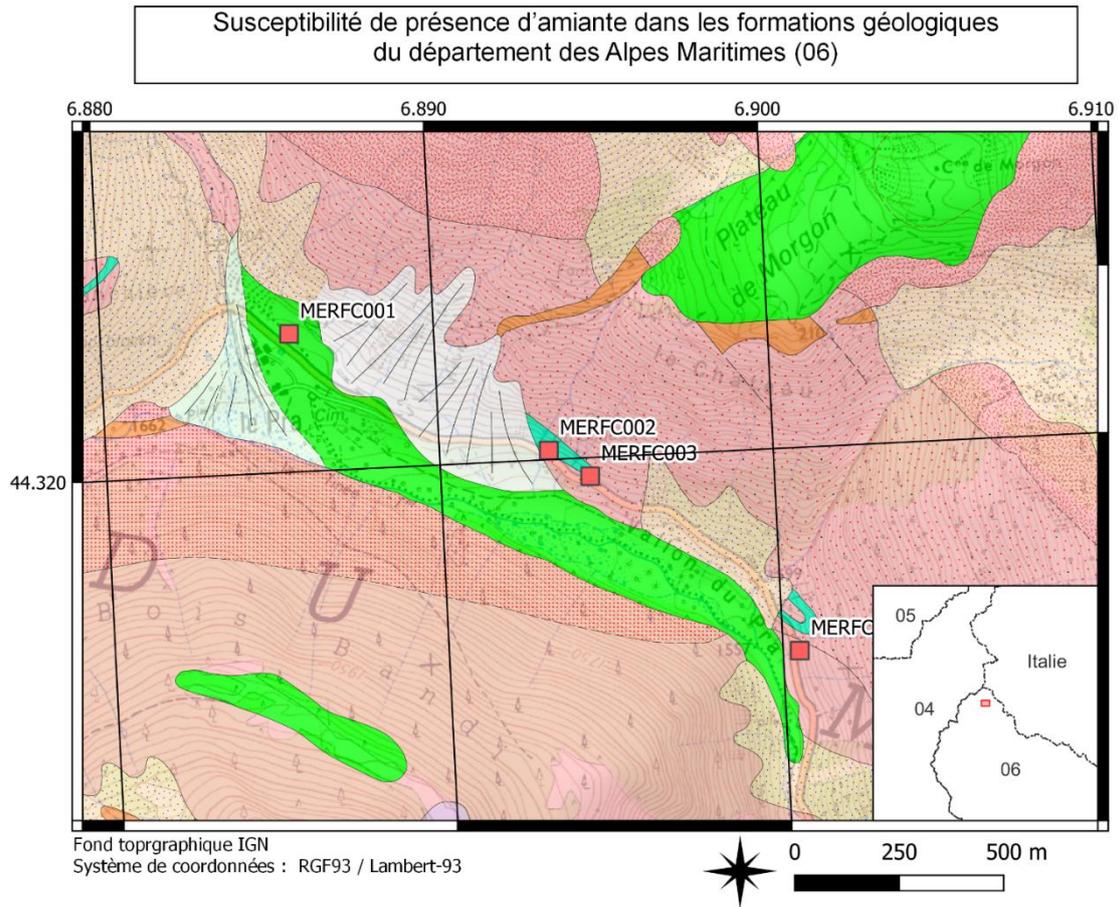
Géologie

- MN, Moraines - 6
- CA, Couloirs et crêtes d'avalanche - 8
- Jz, Crène torrentiel récent : sables, graviers, galets - 12
- Ez, Eboulis récents - 14
- n1-3_mc, Néocomien : marno-calcaire indifférencié - 131
- l_D, Lias : calcaires noirs, calcaires dolomitiques - 184
- t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200
- t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205

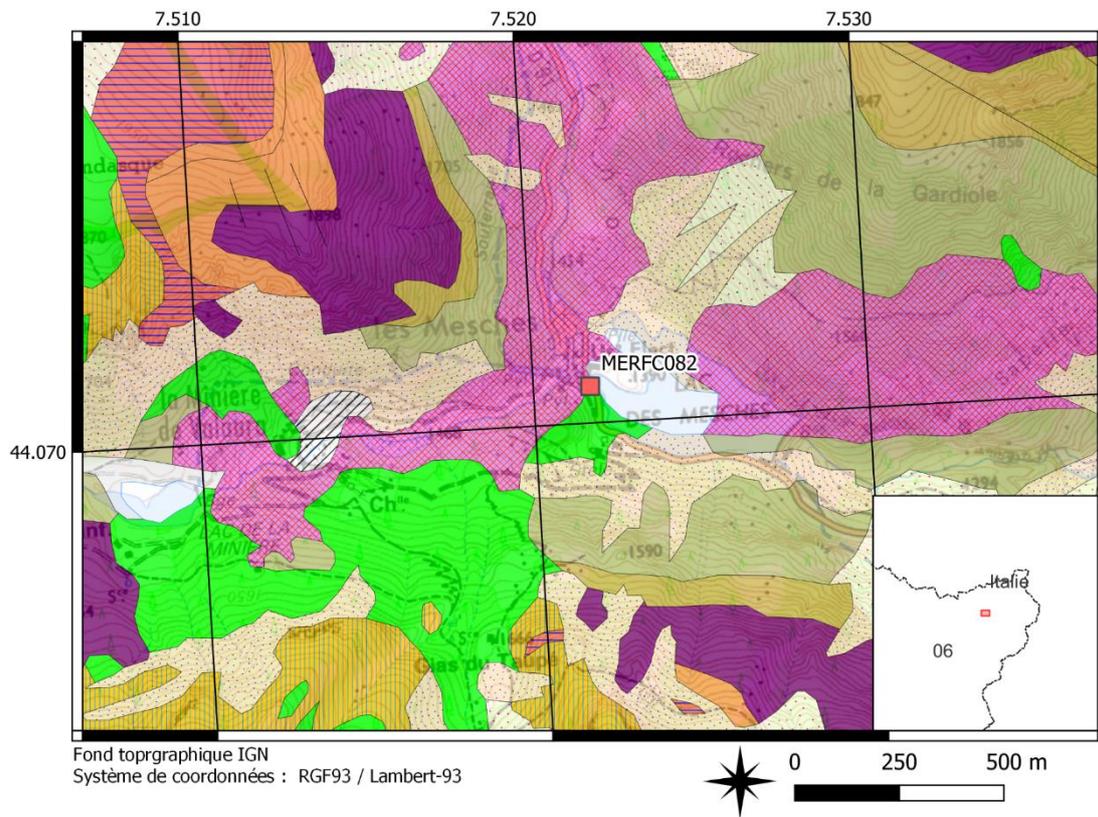
- c(1), Cipolins - 222
- M_c, migmatites schistovides à biotite, muscovite, disthène, sillimanite - 255
- G_{si}, Gneiss pélitiques oeilés ou non, à muscovite, biotite, sillimanite - 257
- M_m, Migmatites à mélanosome pélitique à muscovite, biotite, sillimanite - 258
- aM, Agmatites à biotite, muscovite, sillimanite - 259

Failles

- 1, Faille observée, visible, de cinématique non précisée
- 2, Faille supposée, masquée, hypothétique, de cinématique non précisée



Susceptibilité de présence d'amiante dans les formations géologiques du département des Alpes Maritimes (06)



Légende

Géologie

- X, Débris anthropiques - 1
- MN, Moraines - 6
- Fz, Quaternaire : alluvions fluviales récentes (sables, limons, graviers, galets) - 10
- Ez, Eboulis récents - 14
- Ef, Eboulis fixés, généralement anciens, localement à gros éléments - 23
- t3-5_CD, Muschelkalk : calcaires et dolomies - 199
- t3-5_GK, Muschelkalk : gypses et cargneules - 200
- t1-2_sD, Werfénien : pélites, dolomies - 204

- t1-2_gQ, Trias inférieur (grès bigarré provençal) : grès arkosiques à dragées de quartz - 205
- r_gB, Permien : grès de la série du Bego et arkoses, grès fins et schistes pélitiques - 207
- r_sM, Permien : pélites vertes et schistes violets (Série des Meraviglie) - 210
- r_gC, Permien : conglomérats, schistes rouges, grès, arkoses - 211
- M2γ1, Anatexites (Migmatites de Fenestre) - 266
- hydro, Réseau hydrologique - 274

Failles

- 1, Faille observée, visible, de cinématique non précisée

Annexe 4

Résultats obtenus à la microsonde électronique

	Amphiboles - MERFC002			
	1	2	3	4
<i>Espèces</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>magnésio-hornblende</i>
Analysis (wt%)				
SiO2	47.4979	46.1460	46.6504	47.7472
TiO2	0.9498	0.7442	0.8383	0.7283
Al2O3	10.4859	11.9291	11.2392	10.4956
Cr2O3	0.0183	0.0000	0.0127	0.0000
MnO	0.0826	0.2087	0.2867	0.1974
FeO	11.0298	11.8524	11.4024	11.5525
MgO	14.0606	12.7996	13.3867	13.4901
CaO	12.1137	11.5254	11.6687	11.3978
Na2O	1.3416	1.4350	1.3932	1.3655
K2O	0.2500	0.2236	0.2562	0.2424
Initial Total	97.83	96.86	97.13	97.22
Formula Assignments				
T (ideally 8 apfu)				
Si	6.819	6.715	6.750	6.884
P				
Be				
Al	1.181	1.285	1.250	1.116
Ti				
Fe3+				
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)				
Ti	0.103	0.081	0.091	0.079
Zr				
Al	0.594	0.761	0.667	0.667
Sc				
V				
Cr	0.002		0.001	
Mn3+				
Fe3+	0.149	0.311	0.218	0.219
Co				
Ni				
Zn				
Mn2+				
Fe2+	1.143	1.071	1.135	1.136
Mg	3.009	2.777	2.888	2.899
Li				
C subtotal	5.000	5.001	5.000	5.000
B (ideally 2 apfu)				
Mn2+	0.010	0.026	0.035	0.024
Fe2+	0.032	0.061	0.027	0.038
Mg				
Li				
Ca	1.863	1.797	1.809	1.761
Sr				
Na	0.094	0.116	0.129	0.177
B subtotal	1.999	2.000	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)				
Ca				
Li				
Na	0.279	0.289	0.262	0.205
Pb				
K	0.046	0.042	0.047	0.045
A subtotal	0.325	0.331	0.309	0.250
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)				
OH	2.000	1.837	2.000	2.000
F				
Cl				
O		0.163		
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.324	15.332	15.309	15.250

Amphiboles - MERFC003A															
	5	7	8	10	11	12	13	16	18	19	20	21	22	23	25
Espèces	actinolite	actinolite	actinolite	magnésio-hornblende	magnésio-hornblende	actinolite	magnésio-hornblende	actinolite	actinolite	actinolite	actinolite	actinolite	magnésio-hornblende	actinolite	magnésio-hornblende
Analysis (wt%)															
SiO2	55.5601	57.3105	55.7215	49.3829	50.7160	54.3022	51.1038	57.5358	53.6161	52.8231	55.0366	55.5029	47.8209	55.3862	48.7931
TiO2	0.0208	0.0000	0.0000	0.5464	0.3856	0.1475	0.3209	0.0000	0.0030	0.0081	0.0039	0.0000	0.5703	0.0044	0.5686
Al2O3	1.3166	1.1755	1.1674	8.0928	6.7590	2.7151	6.4430	1.4038	1.0125	3.2435	1.4186	1.0670	8.6289	1.9137	8.3943
Cr2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0380	0.0450	0.0000	0.0804	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0241	0.0000	0.0269
MnO	0.4453	0.1924	0.4200	0.2183	0.2900	0.2435	0.3380	0.3085	0.3625	0.3160	0.2864	0.3556	0.2847	0.2790	0.2008
FeO	12.1568	8.4240	11.8823	12.6891	13.3953	11.4096	12.3129	10.0916	11.4212	10.1858	10.5432	11.1584	13.2718	10.7387	13.0471
MgO	15.1456	17.9430	16.0899	13.7647	13.5610	15.7918	14.4475	16.0984	14.8885	17.3290	16.2790	16.6302	13.0003	16.2811	13.4265
CaO	13.1156	13.1455	13.1524	12.3135	12.6644	12.5565	12.3480	12.7427	13.1008	11.9492	13.0481	12.6051	12.0667	13.0969	12.2342
Na2O	0.0794	0.1269	0.1081	0.8933	0.7879	0.2318	0.7872	0.1143	0.0859	0.0547	0.0886	0.0833	1.0413	0.1638	1.0177
K2O	0.0124	0.0163	0.0228	0.1588	0.2042	0.0432	0.2096	0.0270	0.0284	0.0333	0.0123	0.0106	0.1693	0.0567	0.1672
Initial Total	97.85	98.33	98.56	98.10	98.81	97.44	98.39	98.32	94.52	95.94	96.72	97.41	96.88	97.92	97.88
Formula Assignments															
T (ideally 8 apfu)															
Si	7.950	7.995	7.910	7.102	7.278	7.774	7.309	8.067	7.945	7.609	7.912	7.933	6.999	7.869	7.053
P															
Be															
Al	0.050	0.005	0.090	0.898	0.722	0.226	0.691		0.055	0.391	0.088	0.067	1.001	0.131	0.947
Ti															
Fe3+															
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.067	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)															
Ti	0.002			0.059	0.042	0.016	0.035				0.001			0.063	0.062
Zr															
Al	0.172	0.188	0.106	0.474	0.421	0.232	0.395	0.232	0.122	0.160	0.152	0.113	0.488	0.190	0.483
Sc															
V															
Cr				0.004	0.005		0.009							0.003	0.003
Mn3+															
Fe3+			0.004	0.145	0.040	0.012	0.113				0.223			0.174	0.148
Co															
Ni															
Zn															
Mn2+	0.054	0.023	0.051		0.024	0.016	0.009	0.037	0.045		0.035	0.009		0.034	
Fe2+	1.455	0.983	1.407	1.366	1.568	1.354	1.359	1.183	1.415	0.895	1.268	1.334	1.436	1.276	1.411
Mg	3.231	3.731	3.405	2.951	2.901	3.370	3.080	3.365	3.289	3.721	3.489	3.544	2.837	3.449	2.893
Li															
C subtotal	4.914	4.925	4.973	4.999	5.001	5.000	5.000	4.817	4.871	5.000	4.944	5.000	5.001	4.949	5.000
B (ideally 2 apfu)															
Mn2+				0.027	0.011	0.013	0.032				0.039		0.034	0.035	0.025
Fe2+				0.015							0.109		0.014		0.018
Mg															
Li															
Ca	2.000	1.965	2.000	1.897	1.947	1.926	1.892	1.914	2.000	1.844	2.000	1.930	1.892	1.994	1.895
Sr															
Na		0.034		0.061	0.042	0.061	0.076	0.031		0.008		0.023	0.058	0.006	0.063
B subtotal	2.000	1.999	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.945	2.000	2.000	2.000	1.987	1.999	2.000	2.001
A (from 0 to 1 apfu)															
Ca	0.011		0.001						0.080		0.010				
Li															
Na	0.022		0.030	0.188	0.178	0.004	0.143		0.025	0.008	0.025		0.237	0.039	0.222
Pb															
K	0.002	0.003	0.004	0.029	0.037	0.008	0.038	0.005	0.005	0.006	0.002	0.002	0.032	0.010	0.031
A subtotal	0.035	0.003	0.035	0.217	0.215	0.012	0.181	0.005	0.110	0.014	0.037	0.002	0.269	0.049	0.253
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)															
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F															
Cl															
O															
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	14.949	14.927	15.008	15.216	15.216	15.012	15.181	14.834	14.981	15.014	14.981	14.989	15.269	14.998	15.254

	Amphiboles - MERFC003B									
	40	45	47	48	56	57	59	61	62	64
<i>Espèces</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>
Analysis (wt%)										
SiO2	47.9308	54.6572	54.4365	56.1911	48.4547	53.2579	55.9681	55.4627	54.7667	57.2369
TiO2	0.5648	0.0000	0.0327	0.0000	0.5653	0.3210	0.0000	0.0651	0.0000	0.0092
Al2O3	8.6404	2.3931	1.4836	1.6480	8.3879	7.0981	2.8481	1.3863	1.3716	1.2337
Cr2O3	0.0376	0.0885	0.0000	0.0651	0.0346	0.0000	0.0885	0.0000	0.0000	0.0000
MnO	0.2332	0.2426	0.2533	0.3819	0.1903	0.2654	0.2889	0.3062	0.2584	0.1843
FeO	12.5635	8.3170	9.3634	10.2684	13.6580	11.5568	9.8408	11.0831	9.3621	8.3773
MgO	13.0547	17.3877	16.8190	16.0001	12.9799	13.2376	15.7467	16.0032	16.6727	17.3605
CaO	12.3073	13.1293	12.9096	12.9478	12.1153	12.0452	12.1603	12.8843	13.0545	13.1612
Na2O	1.0168	0.1689	0.1723	0.1376	0.9265	0.6751	0.6195	0.1172	0.1373	0.0696
K2O	0.1803	0.0663	0.0857	0.0289	0.1879	0.1861	0.0475	0.0370	0.0482	0.0066
Initial Total	96.53	96.45	95.56	97.67	97.50	98.64	97.61	97.34	95.67	97.64
Formula Assignments										
T (ideally 8 apfu)										
Si	7.033	7.807	7.888	7.970	7.047	7.522	7.913	7.933	7.922	8.033
P										
Be										
Al	0.967	0.193	0.112	0.030	0.953	0.478	0.087	0.067	0.078	
Ti										
Fe3+										
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.033
C (ideally 5 apfu)										
Ti	0.062		0.004		0.062	0.034		0.007		0.001
Zr										
Al	0.528	0.210	0.142	0.245	0.484	0.703	0.387	0.167	0.155	0.204
Sc										
V										
Cr	0.004	0.010		0.007	0.004		0.010			
Mn3+										
Fe3+	0.074	0.003			0.172					
Co										
Ni										
Zn										
Mn2+	0.008	0.029	0.031	0.046		0.032	0.035	0.037	0.032	0.022
Fe2+	1.467	0.990	1.135	1.218	1.464	1.365	1.164	1.326	1.132	0.983
Mg	2.856	3.703	3.633	3.383	2.814	2.787	3.319	3.412	3.595	3.632
Li										
C subtotal	4.999	4.945	4.945	4.899	5.000	4.921	4.915	4.949	4.914	4.842
B (ideally 2 apfu)										
Mn2+	0.021				0.023					
Fe2+					0.025					
Mg										
Li										
Ca	1.935	2.000	2.000	1.968	1.888	1.823	1.842	1.975	2.000	1.979
Sr										
Na	0.044			0.032	0.063	0.177	0.158	0.025		0.019
B subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	1.999	2.000	2.000	2.000	2.000	1.998
A (from 0 to 1 apfu)										
Ca		0.009	0.004						0.023	
Li										
Na	0.245	0.047	0.048	0.006	0.198	0.008	0.012	0.007	0.039	
Pb										
K	0.034	0.012	0.016	0.005	0.035	0.034	0.009	0.007	0.009	0.001
A subtotal	0.279	0.068	0.068	0.011	0.233	0.042	0.021	0.014	0.071	0.001
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)										
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F										
Cl										
O										
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.278	15.013	15.013	14.910	15.232	14.963	14.936	14.963	14.985	14.874

	Amphiboles - MERFC023A					
	26	27	30	31	33	36
<i>Espèces</i>	<i>hastingsite</i>	<i>ferro-actinolite</i>	<i>ferro-actinolite</i>	<i>ferro-actinolite</i>	<i>ferro-actinolite</i>	<i>ferro-actinolite</i>
Analysis (wt%)						
SiO2	41.1584	50.7839	52.5193	53.1006	54.4875	52.9120
TiO2	1.0365	0.0005	0.0459	0.1353	0.1052	0.0232
Al2O3	11.1281	1.5182	1.6468	0.7606	0.6717	1.6064
Cr2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0137
MnO	0.4344	0.4154	0.3124	0.1863	0.2544	0.3328
FeO	19.5336	23.9706	20.9904	20.7469	20.1574	21.6052
MgO	8.3024	8.4347	9.8132	10.2585	10.8018	8.9736
CaO	12.7089	11.9922	11.6435	12.0699	12.3372	11.7569
Na2O	1.2912	0.2519	0.3004	0.2231	0.1529	0.1877
K2O	0.8715	0.1342	0.6141	0.1735	0.0566	0.6139
Initial Total	96.47	97.50	97.89	97.65	99.02	98.03
Formula Assignments						
T (ideally 8 apfu)						
Si	6.316	7.730	7.863	7.940	7.987	7.922
P						
Be						
Al	1.684	0.270	0.137	0.060	0.013	0.078
Ti						
Fe3+						
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)						
Ti	0.120		0.005	0.015	0.012	0.003
Zr						
Al	0.328	0.002	0.153	0.074	0.103	0.206
Sc						
V						
Cr						0.002
Mn3+						
Fe3+	0.562	0.215				
Co						
Ni						
Zn						
Mn2+	0.056	0.033	0.023	0.024	0.032	0.042
Fe2+	1.945	2.836	2.628	2.595	2.471	2.705
Mg	1.899	1.914	2.190	2.287	2.361	2.003
Li						
C subtotal	4.910	5.000	4.999	4.995	4.979	4.961
B (ideally 2 apfu)						
Mn2+		0.021	0.017			
Fe2+						
Mg						
Li						
Ca	2.000	1.956	1.868	1.934	1.938	1.886
Sr						
Na		0.024	0.087	0.065	0.043	0.054
B subtotal	2.000	2.001	1.972	1.999	1.981	1.940
A (from 0 to 1 apfu)						
Ca	0.090					
Li						
Na	0.384	0.051				
Pb						
K	0.171	0.026	0.117	0.033	0.011	0.117
A subtotal	0.645	0.077	0.117	0.033	0.011	0.117
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)						
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F						
Cl						
O						
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.555	15.078	15.088	15.027	14.971	15.018

	Amphiboles - MERFC025								
	57	58	59	62	63	66	68	71	73
<i>Espèces</i>	<i>cummingtonite</i>	<i>cummingtonite</i>	<i>actinolite</i>	<i>cummingtonite</i>	<i>actinolite</i>	<i>cummingtonite</i>	<i>actinolite</i>	<i>cummingtonite</i>	<i>actinolite</i>
Analysis (wt%)									
SiO ₂	57.6320	57.7726	58.8596	59.0135	57.7785	57.9504	58.0135	56.8577	56.0553
TiO ₂	0.0000	0.0091	0.0000	0.0275	0.0000	0.0000	0.0061	0.0000	0.0049
Al ₂ O ₃	0.3564	0.3760	1.0901	0.6218	0.4707	0.4386	0.3229	0.3674	0.9777
Cr ₂ O ₃	0.0488	0.0503	0.1029	0.0722	0.0120	0.0680	0.0667	0.1127	0.0523
MnO	0.8894	0.7765	0.1522	0.6581	0.1896	0.6428	0.1696	0.7169	0.2473
FeO	16.0427	15.5410	9.8947	14.9376	10.3122	15.1923	7.3673	16.3968	10.4405
MgO	22.7530	22.8879	16.6557	21.4269	17.3236	23.0782	20.3459	21.9220	17.7810
CaO	1.0710	1.3313	12.2626	1.6708	12.6658	0.6448	11.9939	0.9595	12.6375
Na ₂ O	0.0307	0.0364	0.0783	0.0889	0.0250	0.0112	0.0401	0.0392	0.1044
K ₂ O	0.0108	0.0000	0.0012	0.0278	0.0106	0.0093	0.0483	0.0000	0.0132
Initial Total	98.83	98.78	99.10	98.54	98.79	98.04	98.37	97.37	98.31
Formula Assignments									
T (ideally 8 apfu)									
Si	8.023	8.028	8.145	8.170	8.073	8.072	8.026	8.044	7.904
P									
Be									
Al									0.096
Ti									
Fe ³⁺									
T subtotal	8.023	8.028	8.145	8.170	8.073	8.072	8.026	8.044	8.000
C (ideally 5 apfu)									
Ti		0.001		0.003			0.001		0.001
Zr									
Al	0.058	0.062	0.178	0.101	0.078	0.072	0.053	0.061	0.067
Sc									
V									
Cr	0.005	0.006	0.011	0.008	0.001	0.007	0.007	0.013	0.006
Mn ³⁺									
Fe ³⁺									0.029
Co									
Ni									
Zn									
Mn ²⁺			0.018		0.022				
Fe ²⁺	0.214	0.191	1.145	0.466	1.205	0.128	0.743	0.302	1.160
Mg	4.722	4.741	3.436	4.422	3.608	4.792	4.196	4.624	3.738
Li									
C subtotal	4.999	5.001	4.788	5.000	4.914	4.999	5.000	5.000	5.001
B (ideally 2 apfu)									
Mn ²⁺	0.105	0.091		0.077		0.076	0.020	0.086	0.030
Fe ²⁺	1.653	1.615		1.264		1.642	0.109	1.638	0.042
Mg									
Li									
Ca	0.160	0.198	1.818	0.248	1.896	0.096	1.778	0.145	1.909
Sr									
Na	0.008	0.010	0.021	0.024	0.007	0.003	0.011	0.011	0.019
B subtotal	1.926	1.914	1.839	1.613	1.903	1.817	1.918	1.880	2.000
A (from 0 to 1 apfu)									
Ca									
Li									
Na									0.010
Pb									
K	0.002			0.005	0.002	0.002	0.009		0.002
A subtotal	0.002	0.000	0.000	0.005	0.002	0.002	0.009	0.000	0.012
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)									
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F									
Cl									
O									
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	14.950	14.943	14.772	14.788	14.892	14.890	14.953	14.924	15.013

	Amphiboles - MERFC033A							
	80	82	83	85	86	87	88	89
<i>Espèces</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>tremolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>
Analysis (wt%)								
SiO ₂	56.2430	56.4741	55.9332	56.0938	57.7342	59.5516	57.3540	55.5461
TiO ₂	0.0207	0.0067	0.0080	0.0000	0.0506	0.0041	0.0302	0.0000
Al ₂ O ₃	1.2683	1.0347	0.7630	1.1782	0.4563	0.0722	0.7928	0.9027
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0166	0.0227	0.0000	0.0000
MnO	0.1105	0.2398	0.1388	0.2101	0.2071	0.1184	0.1454	0.2616
FeO	5.9953	6.3025	6.0300	5.5115	4.6873	3.8311	5.7175	6.5672
MgO	20.2969	19.6329	19.0525	20.8520	20.9012	21.6499	20.0404	18.9995
CaO	13.2652	13.2017	13.1136	13.1742	13.5236	13.4631	13.4759	13.8797
Na ₂ O	0.1868	0.1549	0.1050	0.1573	0.1203	0.0200	0.1146	0.0968
K ₂ O	0.0725	0.0693	0.0537	0.0533	0.0331	0.0490	0.0855	0.0532
Initial Total	97.46	97.12	95.20	97.23	97.73	98.78	97.76	96.31
Formula Assignments								
T (ideally 8 apfu)								
Si	7.856	7.926	7.992	7.820	7.987	8.089	7.969	7.900
P								
Be								
Al	0.144	0.074	0.008	0.180	0.013		0.031	0.100
Ti								
Fe ³⁺								
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.089	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)								
Ti	0.002	0.001	0.001		0.005		0.003	
Zr								
Al	0.065	0.097	0.120	0.014	0.062	0.012	0.099	0.051
Sc								
V								
Cr					0.002	0.002		
Mn ³⁺								
Fe ³⁺	0.027	0.002		0.148				
Co								
Ni								
Zn								
Mn ²⁺	0.006	0.029	0.017	0.010	0.024	0.014	0.017	0.032
Fe ²⁺	0.673	0.738	0.721	0.494	0.542	0.435	0.664	0.781
Mg	4.226	4.108	4.058	4.334	4.311	4.384	4.151	4.028
Li								
C subtotal	4.999	4.975	4.917	5.000	4.946	4.847	4.934	4.892
B (ideally 2 apfu)								
Mn ²⁺	0.007			0.015				
Fe ²⁺								
Mg								
Li								
Ca	1.985	1.985	2.000	1.968	2.000	1.959	2.000	2.000
Sr								
Na	0.008	0.015		0.017		0.005		
B subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.964	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)								
Ca			0.008		0.005		0.006	0.115
Li								
Na	0.043	0.027	0.029	0.025	0.032		0.031	0.027
Pb								
K	0.013	0.012	0.010	0.009	0.006	0.008	0.015	0.010
A subtotal	0.056	0.039	0.047	0.034	0.043	0.008	0.052	0.152
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)								
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F								
Cl								
O								
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.055	15.014	14.964	15.034	14.989	14.908	14.986	15.044

	MERFC033C
	136
<i>Espèces</i>	<i>actinolite</i>
Analysis (wt%)	
SiO ₂	54.8519
TiO ₂	0.0000
Al ₂ O ₃	1.6739
Cr ₂ O ₃	0.0473
MnO	0.2905
FeO	11.1453
MgO	16.9249
CaO	12.9125
Na ₂ O	0.1743
K ₂ O	0.0406
Initial Total	95.30135
Formula Assignments	
T (ideally 8 apfu)	
Si	7.789
P	
Be	
Al	0.211
Ti	
Fe ³⁺	
T subtotal	8.000
C (ideally 5 apfu)	
Ti	
Zr	
Al	0.070
Sc	
V	
Cr	0.005
Mn ³⁺	
Fe ³⁺	0.118
Co	
Ni	
Zn	
Mn ²⁺	0.019
Fe ²⁺	1.205
Mg	3.583
Li	
C subtotal	5.000
B (ideally 2 apfu)	
Mn ²⁺	0.016
Fe ²⁺	
Mg	
Li	
Ca	1.965
Sr	
Na	0.019
B subtotal	2.000
A (from 0 to 1 apfu)	
Ca	
Li	
Na	0.029
Pb	
K	0.007
A subtotal	0.036
O (non-W)	22.000
W (ideally 2 apfu)	
OH	2.000
F	
Cl	
O	
W subtotal	2.000
Sum T,C,B,A	15.036

	Amphiboles - MERFC037A									
	41	42	44	45	46	48	50	52	55	56
Espèces	trémolite	trémolite	magnésio-ferri-hornblende	trémolite	cummingtonite	trémolite	trémolite	cummingtonite	trémolite	trémolite
Analysis (wt%)										
SiO ₂	57.4220	57.9497	48.2123	59.1503	59.3118	58.5201	56.3845	57.7803	57.5559	59.1953
TiO ₂	0.0620	0.0295	0.2780	0.0078	0.0431	0.0154	0.0809	0.0002	0.0038	0.0458
Al ₂ O ₃	2.4593	1.8805	8.8195	0.6033	0.2431	1.5411	3.2987	0.1102	1.8258	0.2570
Cr ₂ O ₃	0.0911	0.1223	0.1338	0.0000	0.0000	0.0396	0.1624	0.0000	0.1070	0.0000
MnO	0.0540	0.0624	0.1271	0.2172	0.3288	0.0519	0.0703	0.4131	0.1067	0.1834
FeO	3.6835	3.6599	5.2447	4.3870	11.2297	3.4644	3.7168	11.8484	3.8244	3.8140
MgO	21.6904	22.0947	20.0971	24.7102	26.4156	21.7187	21.5438	24.6392	22.3952	22.2741
CaO	12.3886	12.4538	11.2324	8.1324	0.8614	12.8157	12.3483	1.4037	12.3187	12.3726
Na ₂ O	0.3802	0.2674	1.0158	0.0554	0.0533	0.2099	0.5289	0.0000	0.2773	0.0194
K ₂ O	0.0457	0.0653	0.3160	0.0219	0.0331	0.0215	0.1005	0.0000	0.0676	0.0019
Initial Total	98.28	98.59	95.48	97.29	98.52	98.40	98.24	96.20	98.48	98.16
Formula Assignments										
T (ideally 8 apfu)										
Si	7.837	7.882	6.836	8.057	8.064	7.959	7.704	8.091	7.841	8.069
P										
Be										
Al	0.163	0.118	1.164			0.041	0.296		0.159	
Ti										
Fe ³⁺										
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.057	8.064	8.000	8.000	8.091	8.000	8.069
C (ideally 5 apfu)										
Ti	0.006	0.003	0.030	0.001	0.004	0.002	0.008			0.005
Zr										
Al	0.232	0.183	0.309	0.097	0.039	0.207	0.235	0.018	0.135	0.041
Sc										
V										
Cr	0.010	0.013	0.015			0.004	0.018		0.012	
Mn ³⁺										
Fe ³⁺	0.001		0.553				0.090		0.044	
Co										
Ni										
Zn										
Mn ²⁺										
Fe ²⁺	0.338	0.321				0.384	0.261		0.261	0.428
Mg	4.413	4.480	4.093	4.902	4.957	4.404	4.388	4.982	4.548	4.526
Li										
C subtotal	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.001	5.000	5.000	5.000	5.000
B (ideally 2 apfu)										
Mn ²⁺	0.006	0.007	0.015	0.025	0.038	0.006	0.008	0.049	0.012	0.021
Fe ²⁺	0.082	0.095	0.069	0.500	1.277	0.010	0.074	1.388	0.131	0.007
Mg			0.155	0.115	0.398			0.162		
Li										
Ca	1.812	1.815	1.706	1.187	0.125	1.868	1.808	0.211	1.798	1.807
Sr										
Na	0.100	0.071	0.055	0.015	0.014	0.055	0.111		0.059	0.005
B subtotal	2.000	1.988	2.000	1.842	1.852	1.939	2.001	1.810	2.000	1.840
A (from 0 to 1 apfu)										
Ca										
Li										
Na			0.225				0.030		0.014	
Pb										
K	0.008	0.011	0.057	0.004	0.006	0.004	0.018		0.012	
A subtotal	0.008	0.011	0.282	0.004	0.006	0.004	0.048	0.000	0.026	0.000
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)										
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F										
Cl										
O										
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.008	14.999	15.282	14.903	14.922	14.944	15.049	14.901	15.026	14.909

	Amphiboles - MERFC037C					
	16	20	21	22	23	24
<i>Espèces</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>ferro-hornblende</i>	<i>ferro-hornblende</i>	<i>ferro-hornblende</i>
Analysis (wt%)						
SiO ₂	54.1294	53.2212	49.4930	45.3651	44.0247	45.3127
TiO ₂	0.1134	0.1936	0.8339	0.6679	0.5590	0.4907
Al ₂ O ₃	1.4440	2.7196	7.3456	11.9745	12.4853	10.4092
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0028	0.0000	0.0348	0.0440	0.2266
MnO	0.3574	0.2543	0.2682	0.4661	0.2973	0.6118
FeO	18.2826	18.2584	18.3464	19.6229	19.7456	20.8739
MgO	12.2248	11.6197	10.7616	8.5663	8.0500	7.8323
CaO	11.3927	12.7224	11.4859	10.5607	10.9160	10.7114
Na ₂ O	0.2227	0.2377	0.8548	1.3900	1.3054	1.3216
K ₂ O	0.0414	0.0714	0.2421	0.4927	0.4881	0.4879
Initial Total	98.21	99.30	99.63	99.14	97.92	98.28
Formula Assignments						
T (ideally 8 apfu)						
Si	7.917	7.735	7.158	6.647	6.561	6.767
P						
Be						
Al	0.083	0.265	0.842	1.353	1.439	1.233
Ti						
Fe ³⁺						
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)						
Ti	0.012	0.021	0.091	0.074	0.063	0.055
Zr						
Al	0.166	0.201	0.411	0.714	0.754	0.599
Sc						
V						
Cr				0.004	0.005	0.027
Mn ³⁺						
Fe ³⁺			0.258	0.435	0.380	0.377
Co						
Ni						
Zn						
Mn ²⁺		0.031				
Fe ²⁺	2.156	2.219	1.920	1.902	2.010	2.198
Mg	2.666	2.517	2.320	1.871	1.788	1.744
Li						
C subtotal	5.000	4.989	5.000	5.000	5.000	5.000
B (ideally 2 apfu)						
Mn ²⁺	0.044		0.033	0.058	0.038	0.077
Fe ²⁺	0.081		0.041	0.067	0.072	0.031
Mg						
Li						
Ca	1.785	1.981	1.780	1.658	1.743	1.714
Sr						
Na	0.063	0.019	0.146	0.217	0.148	0.178
B subtotal	1.973	2.000	2.000	2.000	2.001	2.000
A (from 0 to 1 apfu)						
Ca						
Li						
Na		0.048	0.093	0.178	0.229	0.205
Pb						
K	0.008	0.013	0.045	0.092	0.093	0.093
A subtotal	0.008	0.061	0.138	0.270	0.322	0.298
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)						
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F						
Cl						
O						
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	14.981	15.050	15.138	15.270	15.323	15.298

	Amphiboles - MERFC037D								
	1	2	4	5	7	9	10	11	12
Espèces	<i>ferro-hornblende</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>ferro-hornblende</i>	<i>ferro-hornblende</i>	<i>ferro-hornblende</i>	<i>ferro-sadanagaite</i>	<i>ferro-hornblende</i>	<i>ferro-taramite</i>	<i>ferro-hornblende</i>
Analysis (wt%)									
SiO ₂	43.8071	52.0019	47.6473	42.4214	43.3636	54.7352	44.0508	59.1111	44.3161
TiO ₂	1.3761	0.2198	0.5253	0.8608	0.9652	0.0446	0.9798	0.0022	1.1508
Al ₂ O ₃	11.7791	4.9451	7.7321	15.1069	12.9428	24.3092	12.6155	22.1040	12.4325
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0000	0.0210	0.0000	0.1083	0.0000	0.0863	0.0000	0.2578
MnO	0.1767	0.5661	0.3953	0.3060	0.4677	0.0642	0.4326	0.0237	0.4082
FeO	18.8506	19.6185	20.0586	20.3862	19.1837	1.4649	19.4577	2.0485	19.3078
MgO	8.7168	10.4557	9.0239	6.2672	8.2449	0.0251	7.8775	0.0000	7.7999
CaO	11.3050	11.4360	11.2404	11.5482	10.6932	11.8238	11.0117	8.0216	11.4875
Na ₂ O	1.3629	0.5060	1.0947	1.4198	1.5114	6.1708	1.5093	8.1849	1.2790
K ₂ O	0.6052	0.0761	0.1995	0.4084	0.4432	0.0170	0.5218	0.0341	0.5579
Initial Total	97.98	99.83	97.94	98.72	97.92	98.65	98.54	99.53	99.00
Formula Assignments									
T (ideally 8 apfu)									
Si	6.537	7.538	7.098	6.328	6.454	7.298	6.540	7.743	6.562
P									
Be									
Al	1.463	0.462	0.902	1.672	1.546	0.702	1.460	0.257	1.438
Ti									
Fe ³⁺									
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)									
Ti	0.154	0.024	0.059	0.097	0.108	0.004	0.109		0.128
Zr									
Al	0.608	0.382	0.456	0.985	0.724	3.119	0.748	3.155	0.732
Sc									
V									
Cr			0.002		0.013		0.010		0.030
Mn ³⁺									
Fe ³⁺	0.268	0.097	0.244	0.200	0.420		0.284		0.192
Co									
Ni									
Zn									
Mn ²⁺						0.007		0.003	
Fe ²⁺	2.030	2.238	2.235	2.325	1.905	0.163	2.105	0.224	2.196
Mg	1.939	2.259	2.004	1.394	1.829	0.005	1.744		1.722
Li									
C subtotal	4.999	5.000	5.000	5.001	4.999	3.298	5.000	3.382	5.000
B (ideally 2 apfu)									
Mn ²⁺	0.022	0.070	0.050	0.039	0.059		0.054		0.051
Fe ²⁺	0.054	0.044	0.020	0.018	0.062		0.027		0.003
Mg									
Li									
Ca	1.807	1.776	1.794	1.846	1.705	1.689	1.752	1.126	1.823
Sr									
Na	0.116	0.111	0.136	0.097	0.174	0.311	0.167	0.874	0.123
B subtotal	1.999	2.001	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)									
Ca									
Li									
Na	0.278	0.032	0.180	0.313	0.262	1.285	0.267	1.205	0.244
Pb									
K	0.115	0.014	0.038	0.078	0.084	0.003	0.099	0.006	0.105
A subtotal	0.393	0.046	0.218	0.391	0.346	1.288	0.366	1.211	0.349
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)									
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F									
Cl									
O									
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.391	15.047	15.218	15.392	15.345	14.586	15.366	14.593	15.349

	<i>Amphiboles - MERFC040B</i>			
	<i>90</i>	<i>94</i>	<i>96</i>	<i>97</i>
<i>Espèces</i>	<i>magnésio-hastingsite</i>	<i>actinolite</i>	<i>magnésio-hastingsite</i>	<i>Ti-rich magnésio-hastingsite</i>
Analysis (wt%)				
SiO ₂	42.1160	56.6006	42.3244	43.1646
TiO ₂	2.0828	0.0452	2.3717	2.9317
Al ₂ O ₃	12.7026	1.2676	12.5869	11.3977
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0000	0.0111	0.0029
MnO	0.1875	0.3248	0.0970	0.1560
FeO	11.0458	7.9183	10.5936	11.2822
MgO	14.3165	18.3200	14.6323	14.8844
CaO	11.1047	13.0529	11.5990	11.1908
Na ₂ O	1.9913	0.1735	2.1151	2.0819
K ₂ O	0.6949	0.1498	0.7208	0.6564
Initial Total	96.24	97.85	97.05	97.75
Formula Assignments				
T (ideally 8 apfu)				
Si	6.181	7.939	6.175	6.255
P				
Be				
Al	1.819	0.061	1.825	1.745
Ti				
Fe ³⁺				
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)				
Ti	0.230	0.005	0.260	0.320
Zr				
Al	0.378	0.149	0.339	0.201
Sc				
V				
Cr			0.001	
Mn ³⁺				
Fe ³⁺	0.554		0.431	0.477
Co				
Ni				
Zn				
Mn ²⁺		0.039		
Fe ²⁺	0.706	0.929	0.786	0.787
Mg	3.132	3.831	3.182	3.215
Li				
C subtotal	5.000	4.953	4.999	5.000
B (ideally 2 apfu)				
Mn ²⁺	0.023		0.012	0.019
Fe ²⁺	0.096		0.075	0.104
Mg				
Li				
Ca	1.746	1.962	1.813	1.737
Sr				
Na	0.135	0.038	0.100	0.139
B subtotal	2.000	2.000	2.000	1.999
A (from 0 to 1 apfu)				
Ca				
Li				
Na	0.432	0.009	0.499	0.446
Pb				
K	0.130	0.027	0.134	0.121
A subtotal	0.562	0.036	0.633	0.567
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)				
OH	2.000	2.000	2.000	2.000
F				
Cl				
O				
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.562	14.989	15.632	15.566

	Amphiboles - MERFC049A							
	26	32	33	34	35	36	37	38
<i>Espèces</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>
Analysis (wt%)								
SiO ₂	56.9770	58.7335	55.9072	56.8883	53.7691	55.7692	55.2334	55.6668
TiO ₂	0.0925	0.0000	0.1282	0.0222	0.0000	0.1948	0.1134	0.0060
Al ₂ O ₃	1.3745	0.6154	3.2512	1.3508	1.5754	2.3972	2.3396	2.1148
Cr ₂ O ₃	0.0138	0.0000	0.0101	0.0000	0.0186	0.0555	0.0000	0.0152
MnO	0.3841	0.1254	0.1768	0.2796	0.1740	0.2687	0.2576	0.2471
FeO	11.7501	5.7588	10.9503	10.4408	10.7870	9.0523	11.2294	11.0268
MgO	15.8150	19.8048	15.5370	16.8202	16.6279	17.0853	16.1102	16.1325
CaO	12.8569	13.5485	13.0287	13.0779	13.1872	12.4925	13.1426	13.0305
Na ₂ O	0.1090	0.0670	0.2957	0.0467	0.0713	0.1887	0.1945	0.1470
K ₂ O	0.0352	0.0237	0.1665	0.0573	0.0586	0.0537	0.1709	0.0947
Initial Total	99.41	98.68	99.45	98.98	96.27	97.56	98.79	98.48
Formula Assignments								
T (ideally 8 apfu)								
Si	7.982	8.060	7.813	7.962	7.788	7.869	7.804	7.867
P								
Be								
Al	0.018		0.187	0.038	0.212	0.131	0.196	0.133
Ti								
Fe ³⁺								
T subtotal	8.000	8.060	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)								
Ti	0.010		0.013	0.002		0.021	0.012	0.001
Zr								
Al	0.209	0.100	0.348	0.185	0.057	0.268	0.194	0.219
Sc								
V								
Cr	0.002		0.001		0.002	0.006		0.002
Mn ³⁺								
Fe ³⁺					0.074			
Co								
Ni								
Zn								
Mn ²⁺	0.046	0.015	0.021	0.033	0.021	0.032	0.031	0.030
Fe ²⁺	1.377	0.661	1.280	1.222	1.233	1.068	1.327	1.303
Mg	3.303	4.052	3.237	3.509	3.590	3.594	3.393	3.399
Li								
C subtotal	4.947	4.828	4.900	4.951	4.977	4.989	4.957	4.954
B (ideally 2 apfu)								
Mn ²⁺								
Fe ²⁺								
Mg								
Li								
Ca	1.930	1.992	1.951	1.961	2.000	1.889	1.990	1.973
Sr								
Na	0.030	0.008	0.049	0.013		0.052	0.010	0.027
B subtotal	1.960	2.000	2.000	1.974	2.000	1.941	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)								
Ca					0.047			
Li								
Na		0.010	0.031		0.020		0.043	0.013
Pb								
K	0.006	0.004	0.030	0.010	0.011	0.010	0.031	0.017
A subtotal	0.006	0.014	0.061	0.010	0.078	0.010	0.074	0.030
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)								
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F								
Cl								
O								
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	14.913	14.902	14.961	14.935	15.055	14.940	15.031	14.984

Susceptibilité de présence d'amiante – Le Mercantour

	161	162	164	165	166	167	169	170	171	172	175	176	178
<i>Espèces</i>	<i>actinolite</i>	<i>trémolite</i>	<i>édenite</i>	<i>trémolite</i>									
Analysis (wt%)													
SiO ₂	55.1591	55.6162	55.4495	55.0222	54.9779	54.7405	55.7294	59.7162	57.8388	55.7729	58.0374	55.1194	58.3421
TiO ₂	0.0000	0.0414	0.0000	0.0441	0.0402	0.0000	0.0251	0.0391	0.0000	0.1457	0.0110	0.0302	0.0534
Al ₂ O ₃	1.1215	1.4963	1.1585	1.0934	0.8704	1.4771	0.9832	1.5557	0.8431	1.5659	1.3239	0.5501	0.6990
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0160	0.0039	0.0164	0.0051	0.0192	0.0000	0.0000	0.0000	0.0239	0.0000	0.0021	0.0000
MnO	0.4879	0.3891	0.4450	0.4199	0.4312	0.3745	0.4264	0.2403	0.1141	0.2337	0.0412	0.1563	0.1159
FeO	13.0646	13.0573	14.0256	14.1100	14.1046	14.6577	12.9349	7.8257	6.1174	7.6716	3.7719	6.3102	3.4604
MgO	15.0091	14.6565	14.4411	14.3424	14.6926	14.1026	14.5869	17.2553	19.5968	18.9977	21.8186	18.8566	22.0891
CaO	13.0994	12.9726	12.8253	12.8123	12.9460	13.0439	12.4114	12.3759	13.4479	12.7670	13.4503	15.0714	13.3785
Na ₂ O	0.0806	0.0879	0.0880	0.0083	0.0300	0.0627	2.0233	0.1758	0.0937	0.1735	0.3187	0.1278	0.1502
K ₂ O	0.0369	0.0867	0.0798	0.0525	0.0882	0.0919	0.0804	0.0416	0.0108	0.0566	0.1845	0.0246	0.1215
Initial Total	98.06	98.42	98.52	97.92	98.19	98.57	99.20	99.23	98.06	97.41	98.96	96.25	98.41
Formula Assignments													
T (ideally 8 apfu)													
Si	7.922	7.940	7.948	7.941	7.924	7.878	7.938	8.167	8.009	7.846	7.899	7.871	7.965
P													
Be													
Al	0.078	0.060	0.052	0.059	0.076	0.122	0.062			0.154	0.101	0.093	0.035
Ti												0.003	
Fe ³⁺													
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.167	8.009	8.000	8.000	7.967	8.000
C (ideally 5 apfu)													
Ti		0.004		0.005	0.004		0.003	0.004		0.015	0.001		0.005
Zr													
Al	0.111	0.192	0.143	0.127	0.072	0.129	0.103	0.251	0.138	0.106	0.112		0.077
Sc													
V													
Cr		0.002		0.002	0.001	0.002				0.003			
Mn ³⁺													
Fe ³⁺									0.031				
Co													
Ni													
Zn													
Mn ²⁺	0.059	0.047	0.054	0.051	0.053	0.046	0.051	0.028	0.013		0.005	0.019	0.013
Fe ²⁺	1.569	1.559	1.681	1.703	1.700	1.764	1.541	0.895	0.708	0.861	0.429	0.754	0.395
Mg	3.213	3.119	3.086	3.086	3.157	3.026	3.097	3.518	4.045	3.984	4.427	4.014	4.495
Li													
C subtotal	4.952	4.923	4.964	4.974	4.987	4.967	4.795	4.696	4.904	5.000	4.974	4.787	4.985
B (ideally 2 apfu)													
Mn ²⁺										0.028			
Fe ²⁺										0.011			
Mg													
Li													
Ca	2.000	1.984	1.970	1.981	1.999	2.000	1.894	1.814	1.995	1.924	1.961	2.000	1.957
Sr													
Na		0.016	0.024	0.002	0.001		0.106	0.047	0.005	0.037	0.039		0.040
B subtotal	2.000	2.000	1.994	1.983	2.000	2.000	2.000	1.861	2.000	2.000	2.000	2.000	1.997
A (from 0 to 1 apfu)													
Ca	0.016					0.011						0.306	
Li													
Na	0.022	0.009			0.008	0.018	0.453		0.020	0.010	0.046	0.035	
Pb													
K	0.007	0.016	0.015	0.010	0.016	0.017	0.015	0.007	0.002	0.010	0.032	0.004	0.021
A subtotal	0.045	0.025	0.015	0.010	0.024	0.046	0.468	0.007	0.022	0.020	0.078	0.345	0.021
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)													
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F													
Cl													
O													
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	14.997	14.948	14.973	14.967	15.011	15.013	15.263	14.731	14.935	15.020	15.052	15.099	15.003

Amphiboles - MERFC054B													
	110	111	115	118	119	120	121	123	124	125	131	132	133
Espèces	actinolite	Ti-rich pargasite	actinolite	actinolite	actinolite	Ti-rich pargasite	actinolite						
Analysis (wt%)													
SiO ₂	52.7675	52.5194	53.3899	53.9464	54.3712	51.8967	53.4692	43.3193	53.1359	53.2957	52.9131	40.7370	53.1573
TiO ₂	0.0043	0.0242	0.0943	0.0000	0.0000	0.0918	0.0301	2.9519	0.0037	0.0055	0.0514	4.3278	0.0339
Al ₂ O ₃	3.3075	2.7737	1.9957	2.1682	1.9115	2.6551	2.8371	10.5043	2.6502	3.1776	3.2648	13.0883	1.3091
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	0.0000	0.0000	0.0211	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040
MnO	0.4467	0.4550	0.4519	0.5820	0.2898	0.4871	0.4648	0.1589	0.4860	0.4895	0.3423	0.0785	0.5555
FeO	16.7642	16.7408	16.2384	17.5852	14.8944	17.1058	16.6272	14.2007	16.1613	17.3469	16.0548	11.6344	18.2331
MgO	12.2285	12.4481	13.0945	11.7654	12.7641	12.1766	11.9990	12.0365	12.3826	11.6886	12.5868	12.8898	11.5346
CaO	12.4439	12.5317	12.5160	12.6344	12.4813	12.4450	12.5136	12.1925	12.7548	12.5452	12.8044	12.4208	12.4458
Na ₂ O	0.3300	0.3021	0.1863	0.2263	0.1410	0.2761	0.2815	2.2813	0.3000	0.2324	0.3503	2.5459	0.0917
K ₂ O	0.2304	0.1213	0.1084	0.1455	0.1158	0.1486	0.3419	0.4594	0.1458	0.3700	0.2086	0.5226	0.0636
Initial Total	98.52	97.92	98.08	99.06	96.97	97.28	98.59	98.10	98.02	99.15	98.58	98.25	97.43
Formula Assignments													
T (ideally 8 apfu)													
Si	7.686	7.700	7.778	7.837	7.943	7.677	7.778	6.417	7.764	7.735	7.686	5.994	7.884
P													
Be													
Al	0.314	0.300	0.222	0.163	0.057	0.323	0.222	1.583	0.236	0.265	0.314	2.006	0.116
Ti													
Fe ³⁺													
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)													
Ti		0.003	0.010			0.010	0.003	0.329		0.001	0.006	0.479	0.004
Zr													
Al	0.254	0.180	0.121	0.208	0.272	0.140	0.264	0.251	0.221	0.279	0.245	0.264	0.113
Sc													
V													
Cr							0.002						
Mn ³⁺													
Fe ³⁺	0.025	0.044	0.081			0.085		0.029				0.020	0.004
Co													
Ni													
Zn													
Mn ²⁺	0.048	0.044	0.046	0.072	0.036	0.048	0.057	0.003	0.060	0.060	0.042		0.070
Fe ²⁺	2.017	2.009	1.897	2.137	1.820	2.032	2.023	1.730	1.975	2.106	1.950	1.410	2.257
Mg	2.655	2.721	2.844	2.548	2.780	2.685	2.602	2.658	2.697	2.529	2.725	2.827	2.550
Li													
C subtotal	4.999	5.001	4.999	4.965	4.908	5.000	4.951	5.000	4.953	4.975	4.968	5.000	4.998
B (ideally 2 apfu)													
Mn ²⁺	0.007	0.012	0.009			0.013		0.017				0.010	
Fe ²⁺												0.002	
Mg													
Li													
Ca	1.942	1.969	1.954	1.967	1.954	1.973	1.950	1.935	1.997	1.951	1.993	1.958	1.978
Sr													
Na	0.051	0.019	0.037	0.033	0.040	0.015	0.050	0.048	0.003	0.049	0.007	0.030	0.022
B subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	1.994	2.001	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)													
Ca													
Li													
Na	0.042	0.067	0.016	0.030		0.064	0.030	0.607	0.082	0.016	0.091	0.696	0.004
Pb													
K	0.043	0.023	0.020	0.027	0.022	0.028	0.063	0.087	0.027	0.069	0.039	0.098	0.012
A subtotal	0.085	0.090	0.036	0.057	0.022	0.092	0.093	0.694	0.109	0.085	0.130	0.794	0.016
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)													
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F													
Cl													
O													
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.084	15.091	15.035	15.022	14.924	15.093	15.044	15.694	15.062	15.060	15.098	15.794	15.014

Amphiboles - MERFC054B						
	119	120	121	123	124	127
<i>Espèces</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>Ti-rich magnésio-hastingsite</i>
Analysis (wt%)						
SiO2	51.5974	52.8316	52.1380	52.2376	54.0858	39.5488
TiO2	0.0000	0.0111	0.0000	0.0146	0.0049	4.3778
Al2O3	3.3467	2.6656	2.7927	3.9988	4.8465	13.3569
Cr2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0.0124	0.0301
MnO	0.4714	0.4355	0.5225	0.3096	0.3101	0.1782
FeO	16.3967	15.3704	16.6795	16.3344	14.8647	11.9954
MgO	12.3386	12.9335	12.3718	12.4133	11.0448	12.8940
CaO	12.3901	12.5860	12.4774	12.4121	10.9236	12.2926
Na2O	0.3428	0.2679	0.3044	0.3908	0.3381	2.6480
K2O	0.1435	0.1732	0.1114	0.3933	2.0125	0.4836
Initial Total	94.82107	96.37283	96.08462	95.49715	95.19673	93.58206
Fe3+/ΣFe used	0.037	0.000	0.031	0.017	0.000	0.129
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values						
MnO	0.47	0.44	0.52	0.31	0.31	0.18
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	15.79	15.37	16.16	16.06	14.87	10.45
Fe2O3	0.67	0.00	0.58	0.31	0.00	1.72
H2O+	2.05	2.06	2.04	2.05	2.07	2.03
Total	99.14	99.33	99.49	100.59	100.51	100.01
Formula Assignments						
T (ideally 8 apfu)						
Si	7.628	7.752	7.687	7.602	7.812	5.852
P						
Be						
Al	0.372	0.248	0.313	0.398	0.188	2.148
Ti						
Fe3+						
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)						
Ti		0.001		0.002	0.001	0.487
Zr						
Al	0.212	0.213	0.172	0.288	0.637	0.182
Sc						
V						
Cr					0.001	0.004
Mn3+						
Fe3+	0.075		0.064	0.033		0.191
Co						
Ni						
Zn						
Mn2+	0.042	0.054	0.052	0.029	0.038	
Fe2+	1.953	1.886	1.993	1.955	1.796	1.292
Mg	2.719	2.829	2.719	2.693	2.378	2.844
Li						
C subtotal	5.001	4.983	5.000	5.000	4.851	5.000
B (ideally 2 apfu)						
Mn2+	0.017		0.013	0.009		0.022
Fe2+						0.001
Mg						
Li						
Ca	1.963	1.979	1.971	1.935	1.691	1.949
Sr						
Na	0.020	0.021	0.015	0.055	0.095	0.027
B subtotal	2.000	2.000	1.999	1.999	1.786	1.999
A (from 0 to 1 apfu)						
Ca						
Li						
Na	0.078	0.055	0.072	0.055		0.732
Pb						
K	0.027	0.032	0.021	0.073	0.371	0.091
A subtotal	0.105	0.087	0.093	0.128	0.371	0.823
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)						
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F						
Cl						
O						
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.106	15.070	15.092	15.127	15.008	15.822

	Amphiboles - MERFC054C							
	9	11	12	14	15	17	18	19
<i>Espèces</i>	<i>Ti-rich pargasite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>Ti-rich pargasite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>
Analysis (wt%)								
SiO2	44.2746	52.6173	53.4084	53.3800	52.0143	43.6343	53.0088	53.3155
TiO2	3.3263	0.0000	0.1199	0.0000	0.0486	2.8988	0.3366	0.1107
Al2O3	12.1223	2.9765	2.4273	2.5726	3.6251	10.1557	3.4614	3.2066
Cr2O3	0.0000	0.0038	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015
MnO	0.0845	0.3866	0.5603	0.4546	0.4363	0.2080	0.4300	0.3535
FeO	11.7297	16.6812	17.3030	14.7125	15.8090	13.5875	16.4759	14.9727
MgO	12.4465	12.1139	12.4892	13.5410	12.6610	12.5578	12.0562	12.0693
CaO	12.2852	12.6001	12.5370	12.6208	12.6624	12.3149	12.6897	12.4907
Na2O	2.0152	0.3174	0.2746	0.2579	0.4117	1.6688	0.3380	0.2525
K2O	0.5247	0.1344	0.1007	0.1225	0.2470	0.4411	0.2181	0.1109
Initial Total	95.35226	95.51584	96.94578	95.50941	97.03329	97.46517	96.93018	96.65595
Fe3+/ΣFe used	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000	0.099	0.000	0.000
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values								
MnO	0.09	0.39	0.56	0.46	0.44	0.21	0.43	0.35
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	11.73	16.68	16.73	14.71	15.81	12.24	16.48	14.97
Fe2O3	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
H2O+	2.05	2.05	2.04	2.07	2.05	2.03	2.05	2.07
Total	100.86	99.88	101.33	99.73	99.96	99.65	101.06	98.95
Formula Assignments								
T (ideally 8 apfu)								
Si	6.410	7.721	7.733	7.769	7.615	6.454	7.677	7.812
P								
Be								
Al	1.590	0.279	0.267	0.231	0.385	1.546	0.323	0.188
Ti								
Fe3+								
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)								
Ti	0.362		0.013		0.005	0.323	0.037	0.012
Zr								
Al	0.478	0.236	0.147	0.210	0.241	0.224	0.267	0.365
Sc								
V								
Cr								
Mn3+								
Fe3+			0.069			0.167		
Co								
Ni								
Zn								
Mn2+	0.010	0.048	0.049	0.056	0.054	0.004	0.053	0.044
Fe2+	1.420	2.047	2.026	1.791	1.936	1.514	1.995	1.835
Mg	2.686	2.650	2.696	2.938	2.763	2.769	2.603	2.636
Li								
C subtotal	4.956	4.981	5.000	4.995	4.999	5.001	4.955	4.892
B (ideally 2 apfu)								
Mn2+			0.020			0.023		
Fe2+								
Mg								
Li								
Ca	1.906	1.981	1.945	1.968	1.986	1.952	1.969	1.961
Sr								
Na	0.094	0.019	0.035	0.032	0.014	0.026	0.031	0.039
B subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.001	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)								
Ca								
Li								
Na	0.471	0.071	0.042	0.041	0.103	0.453	0.064	0.033
Pb								
K	0.097	0.025	0.019	0.023	0.046	0.083	0.040	0.021
A subtotal	0.568	0.096	0.061	0.064	0.149	0.536	0.104	0.054
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)								
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F								
Cl								
O								
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.524	15.077	15.061	15.059	15.148	15.538	15.059	14.946

Amphiboles - MERFC054C						
	1	2	4	5	6	8
<i>Espèces</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>magnésio-hornblende</i>	<i>Ti-rich pargasite</i>
Analysis (wt%)						
SiO2	52.6512	50.6351	51.3821	52.4048	52.8703	40.0798
TiO2	0.0445	0.0295	0.0972	0.0041	0.1148	4.0385
Al2O3	2.2073	4.1000	3.2159	3.1488	4.9895	12.9425
Cr2O3	0.0122	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
MnO	0.3541	0.4006	0.4355	0.3338	0.2909	0.1266
FeO	15.4492	16.1624	17.2334	16.6713	15.8679	11.9770
MgO	12.3889	12.6141	12.2801	12.2724	10.6690	13.0497
CaO	12.5288	12.3998	12.5198	12.4804	12.5319	12.0594
Na2O	0.2211	0.4220	0.3249	0.3290	0.5034	2.6386
K2O	0.1151	0.2685	0.2311	0.1923	0.4400	0.4450
Initial Total	96.64395	97.1163	96.62341	96.66479	96.89499	96.64131
Fe3+/ΣFe used	0.000	0.101	0.081	0.008	0.000	0.135
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values						
MnO	0.35	0.40	0.44	0.33	0.29	0.13
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	15.45	14.53	15.84	16.54	15.87	10.36
Fe2O3	0.00	1.81	1.55	0.15	0.00	1.80
H2O+	2.06	2.04	2.04	2.05	2.06	2.03
Total	98.03	99.25	99.91	99.90	100.34	99.57
Formula Assignments						
T (ideally 8 apfu)						
Si	7.829	7.478	7.568	7.688	7.679	5.942
P						
Be						
Al	0.171	0.522	0.432	0.312	0.321	2.058
Ti						
Fe3+						
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)						
Ti	0.005	0.003	0.011		0.013	0.450
Zr						
Al	0.215	0.191	0.127	0.233	0.533	0.204
Sc						
V						
Cr	0.001					
Mn3+						
Fe3+		0.201	0.173	0.016		0.201
Co						
Ni						
Zn						
Mn2+	0.045	0.033	0.043	0.037	0.036	
Fe2+	1.921	1.795	1.950	2.030	1.927	1.261
Mg	2.746	2.777	2.697	2.684	2.310	2.884
Li						
C subtotal	4.933	5.000	5.001	5.000	4.819	5.000
B (ideally 2 apfu)						
Mn2+		0.018	0.011	0.004		0.016
Fe2+						0.023
Mg						
Li						
Ca	1.996	1.962	1.976	1.962	1.950	1.916
Sr						
Na	0.004	0.020	0.013	0.034	0.050	0.045
B subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)						
Ca						
Li						
Na	0.060	0.100	0.080	0.060	0.092	0.713
Pb						
K	0.022	0.051	0.043	0.036	0.082	0.084
A subtotal	0.082	0.151	0.123	0.096	0.174	0.797
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)						
OH	2.000	1.993	2.000	2.000	2.000	2.000
F						
Cl						
O		0.007				
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.015	15.151	15.124	15.096	14.993	15.797

Amphiboles - MERFC056						
	141	142	143	144	147	157
<i>Espèces</i>	<i>ferro-pargasite</i>	<i>Ti-rich pargasite</i>	<i>ferro-actinolite</i>	<i>Ti-rich ferro-pargasite</i>	<i>Ti-rich pargasite</i>	<i>Ti-rich pargasite</i>
Analysis (wt%)						
SiO ₂	42.8247	39.8875	50.0357	41.3986	41.2759	40.2974
TiO ₂	2.3798	3.3883	0.2588	3.3907	3.5267	4.2244
Al ₂ O ₃	9.8316	12.6932	3.8750	11.0757	10.9883	12.2235
Cr ₂ O ₃	0.0000	0.0049	0.0000	0.0033	0.0000	0.0000
MnO	0.4281	0.2187	0.9589	0.2230	0.3264	0.2227
FeO	18.6517	16.7749	23.3599	17.3450	17.3238	14.9553
MgO	9.5373	9.4626	7.9069	9.5877	9.6742	10.3357
CaO	10.5553	11.2127	11.8258	11.2494	11.0852	11.5280
Na ₂ O	3.1669	3.0327	0.5629	3.1564	2.9248	2.9362
K ₂ O	0.7140	0.6294	0.2498	0.7677	0.7269	0.7351
Initial Total	98.09	97.31	99.03	98.20	97.85	97.46
Formula Assignments						
T (ideally 8 apfu)						
Si	6.479	6.067	7.506	6.260	6.252	6.084
P						
Be						
Al	1.521	1.933	0.494	1.740	1.748	1.916
Ti						
Fe ³⁺						
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)						
Ti	0.271	0.388	0.029	0.386	0.402	0.480
Zr						
Al	0.232	0.342	0.192	0.234	0.213	0.260
Sc						
V						
Cr		0.001				
Mn ³⁺						
Fe ³⁺	0.121	0.067	0.147	0.007	0.063	
Co						
Ni						
Zn						
Mn ²⁺			0.080	0.025	0.006	0.028
Fe ²⁺	2.225	2.057	2.784	2.187	2.132	1.888
Mg	2.151	2.146	1.768	2.161	2.184	2.326
Li						
C subtotal	5.000	5.001	5.000	5.000	5.000	4.982
B (ideally 2 apfu)						
Mn ²⁺	0.055	0.028	0.042	0.004	0.036	
Fe ²⁺	0.014	0.010				
Mg						
Li						
Ca	1.711	1.827	1.901	1.823	1.799	1.865
Sr						
Na	0.220	0.134	0.057	0.173	0.165	0.135
B subtotal	2.000	1.999	2.000	2.000	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)						
Ca						
Li						
Na	0.709	0.760	0.106	0.752	0.694	0.724
Pb						
K	0.138	0.122	0.048	0.148	0.140	0.142
A subtotal	0.847	0.882	0.154	0.900	0.834	0.866
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)						
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F						
Cl						
O						
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.847	15.882	15.154	15.900	15.834	15.848

Amphiboles - MERFC066										
	32	34	35	36	37	38	39	44	46	47
Espèces	pargasite									
Analysis (wt%)										
SiO2	41.0507	43.6297	42.3574	40.8521	42.6093	41.8338	43.4198	43.0603	43.4105	42.4173
TiO2	1.8159	0.8577	0.4779	0.7062	0.4069	0.4864	0.5723	0.8271	0.9660	0.8168
Al2O3	16.3417	14.4286	15.7605	17.1250	15.7135	15.8461	15.3280	14.3467	14.1766	14.4664
Cr2O3	0.0789	0.0246	0.0133	0.0000	0.0052	0.0059	0.0000	0.0322	0.0770	0.0208
MnO	0.2121	0.1586	0.1511	0.0113	0.0489	0.0438	0.1126	0.0763	0.0664	0.0850
FeO	9.4906	9.0941	9.6897	9.3478	8.9638	9.5027	9.7775	9.8147	9.8744	10.3599
MgO	13.1618	14.3379	13.6361	12.7233	13.4518	13.6956	12.9490	13.6531	13.9658	13.8347
CaO	11.7831	11.9322	11.9032	11.7202	11.7790	11.6171	11.5258	12.0142	11.8542	11.0816
Na2O	2.3964	2.3167	2.4455	2.4980	2.4399	2.5306	2.2743	2.3149	2.4516	2.1680
K2O	0.9097	0.8145	0.7236	0.9270	0.8252	0.7059	0.7594	0.7268	0.8480	0.8022
Initial Total	97.16936	96.84439	96.68889	96.12621	96.16444	96.86051	96.40244	96.36654	96.6587	97.8008
Fe3+/ΣFe used	0.102	0.106	0.125	0.079	0.070	0.149	0.075	0.074	0.090	0.210
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values										
MnO	0.21	0.16	0.15	0.01	0.05	0.04	0.11	0.08	0.07	0.09
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	8.52	8.13	8.48	8.61	8.34	8.09	9.04	9.09	8.99	8.18
Fe2O3	1.08	1.07	1.35	0.82	0.70	1.57	0.82	0.81	0.99	2.42
H2O+	2.07	2.08	2.07	2.07	2.08	2.08	2.08	2.07	2.07	2.07
Total	99.42	99.78	99.36	98.06	98.39	98.51	98.88	99.02	99.86	98.36
Formula Assignments										
T (ideally 8 apfu)										
Si	5.995	6.305	6.167	6.034	6.243	6.138	6.332	6.297	6.297	6.237
P										
Be										
Al	2.005	1.695	1.833	1.966	1.757	1.862	1.668	1.703	1.703	1.763
Ti										
Fe3+										
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)										
Ti	0.200	0.093	0.052	0.078	0.045	0.054	0.063	0.091	0.105	0.090
Zr										
Al	0.808	0.763	0.872	1.015	0.956	0.878	0.966	0.770	0.721	0.744
Sc										
V										
Cr	0.009	0.003	0.002		0.001	0.001		0.004	0.009	0.002
Mn3+										
Fe3+	0.118	0.116	0.147	0.091	0.077	0.173	0.089	0.089	0.108	0.268
Co										
Ni										
Zn										
Mn2+										
Fe2+	1.000	0.936	0.967	1.014	0.983	0.899	1.067	1.070	1.037	0.863
Mg	2.866	3.089	2.960	2.802	2.938	2.996	2.815	2.976	3.020	3.033
Li										
C subtotal	5.001	5.000	5.000	5.000	5.000	5.001	5.000	5.000	5.000	5.000
B (ideally 2 apfu)										
Mn2+	0.026	0.019	0.019	0.001	0.006	0.005	0.014	0.009	0.008	0.011
Fe2+	0.041	0.047	0.066	0.050	0.038	0.094	0.037	0.041	0.053	0.143
Mg										
Li										
Ca	1.844	1.848	1.857	1.855	1.849	1.826	1.801	1.882	1.842	1.746
Sr										
Na	0.089	0.086	0.059	0.094	0.107	0.075	0.149	0.067	0.096	0.100
B subtotal	2.000	2.000	2.001	2.000	2.000	2.000	2.001	1.999	1.999	2.000
A (from 0 to 1 apfu)										
Ca										
Li										
Na	0.590	0.563	0.632	0.622	0.586	0.645	0.495	0.590	0.593	0.518
Pb										
K	0.169	0.150	0.134	0.175	0.154	0.132	0.141	0.136	0.157	0.150
A subtotal	0.759	0.713	0.766	0.797	0.740	0.777	0.636	0.726	0.750	0.668
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)										
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F										
Cl										
O										
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.760	15.713	15.767	15.797	15.740	15.778	15.637	15.725	15.749	15.668

Amphiboles - MERFC068A							
	62	71	76	77	78	82	85
Espèces	actinolite	actinolite	actinolite	actinolite	actinolite	actinolite	trémolite
Analysis (wt%)							
SiO2	56.2855	56.9624	58.2404	55.1556	55.3186	56.8519	58.6864
TiO2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0469	0.0000	0.0000
Al2O3	0.7841	0.4632	0.6301	1.8065	0.5797	0.4302	0.3939
Cr2O3	0.1444	0.1397	0.0000	0.3738	0.0048	0.0009	0.0808
MnO	0.5196	0.1806	0.3500	0.2502	0.4064	0.2963	0.4029
FeO	7.0776	8.0084	7.3231	8.2049	6.6088	7.5039	3.0974
MgO	19.6481	18.7287	18.9589	18.6503	19.6522	19.4700	22.9937
CaO	13.2919	12.6447	13.0214	11.8191	13.3298	13.4237	12.4650
Na2O	0.2388	0.1241	0.1054	0.1613	0.1361	0.0718	0.1553
K2O	0.0653	0.0557	0.0794	0.1469	0.0548	0.0361	0.0000
Initial Total	96.22701	96.70985	96.29321	96.09679	96.13214	94.9203	96.66396
Fe3+/ΣFe used	0.051	0.000	0.000	0.000	0.074	0.004	0.000
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values							
MnO	0.52	0.18	0.35	0.25	0.41	0.30	0.40
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	6.72	8.01	7.32	8.21	6.12	7.47	3.10
Fe2O3	0.40	0.00	0.00	0.00	0.54	0.03	0.00
H2O+	2.14	2.14	2.15	2.14	2.14	2.14	2.19
Total	100.24	99.45	100.86	98.71	98.33	100.23	100.47
Formula Assignments							
T (ideally 8 apfu)							
Si	7.872	8.019	8.051	7.843	7.875	7.949	7.993
P							
Be							
Al	0.128			0.157	0.097	0.051	0.007
Ti					0.005		
Fe3+					0.023		
T subtotal	8.000	8.019	8.051	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)							
Ti							
Zr							
Al	0.002	0.077	0.103	0.146		0.020	0.056
Sc							
V							
Cr	0.016	0.016		0.042	0.001		0.009
Mn3+							
Fe3+	0.042				0.036	0.004	
Ca							
Ni							
Zn							
Mn2+	0.058	0.022	0.041		0.049	0.035	
Fe2+	0.786	0.943	0.847	0.858	0.728	0.874	0.267
Mg	4.097	3.930	3.907	3.954	4.171	4.058	4.668
Li							
C subtotal	5.001	4.988	4.898	5.000	4.985	4.991	5.000
B (ideally 2 apfu)							
Mn2+	0.004			0.030			0.046
Fe2+				0.118			0.086
Mg							
Li							
Ca	1.992	1.907	1.929	1.801	2.000	2.000	1.819
Sr							
Na	0.004	0.034	0.028	0.044			0.041
B subtotal	2.000	1.941	1.957	1.993	2.000	2.000	1.992
A (from 0 to 1 apfu)							
Ca					0.033	0.011	
Li							
Na	0.060				0.038	0.019	
Pb							
K	0.012	0.010	0.014	0.027	0.010	0.006	
A subtotal	0.072	0.010	0.014	0.027	0.081	0.036	0.000
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)							
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F							
Cl							
O							
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.073	14.958	14.920	15.020	15.066	15.027	14.992

Amphiboles - MERFC068B								
	50	51	52	53	54	56	59	60
Espèces	actinolite							
Analysis (wt%)								
SiO2	51.8776	53.0180	51.2729	52.1166	51.2262	54.7385	51.2221	52.5085
TiO2	0.2825	0.1766	0.3151	0.1781	0.3858	0.0637	0.2846	0.2088
Al2O3	4.0521	3.2651	4.7496	4.0883	4.8826	2.1923	5.4303	3.4975
Cr2O3	0.0244	0.0000	0.0216	0.0133	0.0147	0.0000	0.0283	0.0174
MnO	0.3354	0.2936	0.2989	0.2515	0.4540	0.2390	0.3090	0.3167
FeO	11.4656	10.6127	11.8891	11.8211	11.8535	9.1725	11.3900	11.3975
MgO	15.8045	16.7407	15.5320	16.0967	15.4303	18.1992	15.3498	16.4216
CaO	12.1868	12.4705	12.2222	12.4601	12.0788	12.2312	12.1437	12.1430
Na2O	0.7325	0.5408	0.8393	0.6767	0.8054	0.4885	0.8096	0.6372
K2O	0.3786	0.2736	0.4711	0.2166	0.3814	0.0459	0.5464	0.2204
Initial Total	96.11628	96.14632	96.89825	96.13335	97.71727	97.98558	96.69744	96.7803
Fe3+/ Σ Fe used	0.102	0.104	0.107	0.163	0.132	0.146	0.089	0.166
Mn3+/ Σ Mn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values								
MnO	0.34	0.29	0.30	0.25	0.45	0.24	0.31	0.32
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	10.30	9.51	10.62	9.89	10.29	7.83	10.38	9.51
Fe2O3	1.30	1.23	1.41	2.14	1.74	1.49	1.13	2.10
H2O+	2.09	2.10	2.08	2.09	2.09	2.13	2.09	2.10
Total	99.36	99.62	99.83	100.22	99.78	99.65	99.72	99.68
Formula Assignments								
T (ideally 8 apfu)								
Si	7.490	7.589	7.392	7.455	7.382	7.742	7.375	7.531
P								
Be								
Al	0.510	0.411	0.608	0.545	0.618	0.258	0.625	0.469
Ti								
Fe3+								
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)								
Ti	0.031	0.019	0.034	0.019	0.042	0.007	0.031	0.023
Zr								
Al	0.180	0.140	0.199	0.144	0.211	0.107	0.297	0.122
Sc								
V								
Cr	0.003		0.002	0.002	0.002		0.003	0.002
Mn3+								
Fe3+	0.141	0.132	0.154	0.230	0.189	0.159	0.121	0.226
Co								
Ni								
Zn								
Mn2+	0.001				0.002		0.003	
Fe2+	1.243	1.136	1.273	1.172	1.240	0.890	1.250	1.117
Mg	3.402	3.572	3.338	3.433	3.315	3.837	3.295	3.511
Li								
C subtotal	5.001	4.999	5.000	5.000	5.001	5.000	5.000	5.001
B (ideally 2 apfu)								
Mn2+	0.040	0.036	0.037	0.030	0.054	0.029	0.034	0.038
Fe2+		0.002	0.007	0.012		0.036		0.024
Mg								
Li								
Ca	1.885	1.913	1.888	1.910	1.865	1.853	1.873	1.866
Sr								
Na	0.075	0.050	0.068	0.048	0.081	0.082	0.092	0.072
B subtotal	2.000	2.001	2.000	2.000	2.000	2.000	1.999	2.000
A (from 0 to 1 apfu)								
Ca								
Li								
Na	0.130	0.100	0.166	0.139	0.144	0.052	0.134	0.106
Pb								
K	0.070	0.050	0.087	0.040	0.070	0.008	0.100	0.040
A subtotal	0.200	0.150	0.253	0.179	0.214	0.060	0.234	0.146
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)								
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F								
Cl								
O								
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.201	15.150	15.253	15.179	15.215	15.060	15.233	15.147

Amphiboles - MERFC076								
	88	91	92	99	100	101	102	103
Espèces	magnésio-ferri-hornblende	ferro-pargasite	ferro-pargasite	ferro-pargasite	pargasite	actinolite	ferro-pargasite	actinolite
Analysis (wt%)								
SiO2	48.5295	39.0155	38.6889	40.7265	38.8120	52.4349	39.0737	54.2527
TiO2	0.1882	0.4705	0.4847	0.5466	0.4838	0.0000	0.4638	0.0721
Al2O3	5.9800	15.6106	15.2627	16.4123	15.8727	3.0334	15.4990	1.8801
Cr2O3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000
MnO	0.2337	0.1449	0.1449	0.0482	0.1592	0.2897	0.0753	0.3191
FeO	16.3645	18.2919	18.3438	17.8262	17.8788	15.7262	18.1411	14.4477
MgO	12.9498	8.1195	8.3450	7.8748	8.3507	12.9284	8.2521	14.6819
CaO	12.7627	12.3592	12.1727	12.5629	12.3165	12.8858	12.4066	12.9604
Na2O	0.6834	1.7805	1.9167	1.6937	1.8817	0.2608	1.7902	0.1580
K2O	0.4741	1.6229	1.4632	1.4460	1.4297	0.2678	1.5543	0.0748
Initial Total	95.63802	96.61441	96.82529	97.65399	96.34465	96.84393	95.05064	95.30128
Fe3+/ΣFe used	0.227	0.148	0.188	0.035	0.172	0.001	0.148	0.042
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values								
MnO	0.23	0.15	0.15	0.05	0.16	0.29	0.08	0.32
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	12.65	15.59	14.90	17.20	14.80	15.71	15.46	13.84
Fe2O3	4.13	3.01	3.83	0.69	3.42	0.02	2.98	0.67
H2O+	2.04	1.97	1.98	1.99	1.98	2.05	1.98	2.07
Total	100.62	99.69	99.19	101.20	99.51	99.88	99.53	100.98
Formula Assignments								
T (ideally 8 apfu)								
Si	7.096	5.943	5.922	6.072	5.905	7.675	5.955	7.773
P								
Be								
Al	0.904	2.057	2.078	1.928	2.095	0.325	2.045	0.227
Ti								
Fe3+								
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)								
Ti	0.021	0.054	0.056	0.061	0.055		0.053	0.008
Zr								
Al	0.127	0.745	0.675	0.956	0.751	0.198	0.738	0.091
Sc								
V								
Cr				0.001				
Mn3+								
Fe3+	0.454	0.344	0.441	0.077	0.392	0.002	0.342	0.073
Co								
Ni								
Zn								
Mn2+	0.029	0.019	0.017	0.006	0.021	0.036	0.010	0.034
Fe2+	1.547	1.986	1.907	2.146	1.883	1.923	1.970	1.658
Mg	2.823	1.844	1.904	1.750	1.894	2.821	1.875	3.136
Li								
C subtotal	5.001	4.992	5.000	4.997	4.996	4.980	4.988	5.000
B (ideally 2 apfu)								
Mn2+			0.002					0.005
Fe2+								
Mg								
Li								
Ca	2.000	2.000	1.996	2.000	2.000	2.000	2.000	1.990
Sr								
Na			0.002					0.006
B subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.001
A (from 0 to 1 apfu)								
Ca		0.017		0.007	0.008	0.021	0.026	
Li								
Na	0.193	0.526	0.567	0.490	0.555	0.074	0.529	0.038
Pb								
K	0.088	0.315	0.286	0.275	0.278	0.050	0.302	0.014
A subtotal	0.281	0.858	0.853	0.772	0.841	0.145	0.857	0.052
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)								
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F								
Cl								
O								
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.282	15.850	15.853	15.769	15.837	15.125	15.845	15.053

	Amphiboles - MERFC079				
	107	109	110	112	113
<i>Espèces</i>	<i>magnésio-ferrî-hornblende</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>	<i>actinolite</i>
Analysis (wt%)					
SiO2	51.3728	57.4693	57.7201	55.5688	57.1350
TiO2	0.0000	0.0099	0.0000	0.0316	0.0000
Al2O3	4.0327	0.4927	0.5703	2.2014	0.5954
Cr2O3	0.4276	0.4436	0.0842	0.1125	0.0607
MnO	0.2657	0.2551	0.4998	0.3996	0.5888
FeO	7.9615	7.0059	5.6005	7.0537	6.1317
MgO	20.1193	19.2325	21.5160	18.0381	20.8227
CaO	9.5869	13.3396	12.0289	10.8678	11.8607
Na2O	0.1026	0.1757	0.1808	0.1694	0.2014
K2O	0.0128	0.0046	0.0806	0.0277	0.0600
Initial Total	94.64277	96.52567	96.97351	95.58958	95.52122
Fe3+/ Σ Fe used	0.416	0.000	0.022	0.000	0.012
Mn3+/ Σ Mn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values					
MnO	0.27	0.26	0.50	0.40	0.59
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	4.65	7.01	5.48	7.05	6.06
Fe2O3	3.68	0.00	0.14	0.00	0.08
H2O+	2.15	2.15	2.17	2.16	2.16
Total	96.40	100.58	100.46	96.63	99.62
Formula Assignments					
T (ideally 8 apfu)					
Si	7.430	7.984	7.954	7.980	7.963
P					
Be					
Al	0.570	0.016	0.046	0.020	0.037
Ti					
Fe3+					
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)					
Ti		0.001		0.003	
Zr					
Al	0.118	0.064	0.047	0.352	0.060
Sc					
V					
Cr	0.049	0.049	0.009	0.013	0.007
Mn3+					
Fe3+	0.401		0.014		0.009
Co					
Ni					
Zn					
Mn2+		0.030			
Fe2+	0.095	0.814	0.509	0.770	0.598
Mg	4.338	3.983	4.420	3.862	4.326
Li					
C subtotal	5.001	4.941	4.999	5.000	5.000
B (ideally 2 apfu)					
Mn2+	0.033		0.058	0.049	0.070
Fe2+	0.467		0.122	0.077	0.108
Mg					
Li					
Ca	1.486	1.986	1.776	1.672	1.771
Sr					
Na	0.014	0.014	0.044	0.047	0.052
B subtotal	2.000	2.000	2.000	1.845	2.001
A (from 0 to 1 apfu)					
Ca					
Li					
Na	0.014	0.033	0.005		0.003
Pb					
K	0.002	0.001	0.014	0.005	0.011
A subtotal	0.016	0.034	0.019	0.005	0.014
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)					
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F					
Cl					
O					
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.017	14.975	15.018	14.850	15.015

Amphiboles - MERFC081								
	142	144	145	146	147	148	149	155
Espèces	anthophyllite	trémolite	trémolite	anthophyllite	trémolite	trémolite	anthophyllite	anthophyllite
Analysis (wt%)								
SiO2	58.8623	57.7417	58.1083	58.5684	58.5461	58.5723	59.2602	58.6256
TiO2	0.0301	0.0560	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0237	0.0820
Al2O3	0.1839	0.5971	0.2881	0.0959	0.1374	0.3908	0.0745	0.1572
Cr2O3	0.0038	0.0907	0.0576	0.0337	0.0205	0.0720	0.0207	0.0362
MnO	0.4814	0.0965	0.2450	0.8827	0.1539	0.3785	0.6480	0.5180
FeO	6.1126	3.1445	3.4773	8.8450	2.1218	3.6116	7.8849	6.5116
MgO	25.8244	23.1338	23.3223	26.6634	25.2002	23.7816	27.9164	26.4841
CaO	5.4984	12.5016	12.4502	1.8076	12.5981	11.1302	3.3094	5.4963
Na2O	0.0561	0.2146	0.1074	0.0454	0.0674	0.1319	0.0581	0.0559
K2O	0.0000	0.1116	0.0704	0.0026	0.0000	0.0573	0.0167	0.0000
Initial Total	95.76546	95.41543	96.73981	95.04341	94.95535	95.61983	94.59908	96.1991
Fe3+/ΣFe used	0.000	0.153	0.155	0.000	1.000	0.000	0.078	0.012
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.579	0.000	0.000	0.000
Final wt% values								
MnO	0.48	0.10	0.25	0.88	0.07	0.38	0.65	0.52
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
FeO	6.11	2.66	2.94	8.85	0.00	3.61	7.27	6.43
Fe2O3	0.00	0.54	0.60	0.00	2.36	0.00	0.68	0.09
H2O+	2.21	2.19	2.19	2.20	2.20	2.19	2.20	2.20
Total	99.26	99.93	100.38	99.14	101.29	100.32	101.48	100.18
Formula Assignments								
T (ideally 8 apfu)								
Si	8.056	7.914	7.937	8.056	7.860	7.981	7.955	7.977
P								
Be								
Al		0.086	0.046		0.022	0.019	0.012	0.023
Ti							0.002	
Fe3+			0.017		0.118		0.031	
T subtotal	8.056	8.000	8.000	8.056	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)								
Ti	0.003	0.006						0.008
Zr								
Al	0.030	0.011		0.016		0.043		0.002
Sc								
V								
Cr		0.010	0.006	0.004	0.002	0.008	0.002	0.004
Mn3+					0.010			
Fe3+		0.055	0.045		0.120		0.038	0.009
Co								
Ni								
Zn								
Mn2+								
Fe2+		0.192	0.200			0.118		
Mg	4.967	4.727	4.749	4.981	4.868	4.831	4.960	4.976
Li								
C subtotal	5.000	5.001	5.000	5.001	5.000	5.000	5.000	4.999
B (ideally 2 apfu)								
Mn2+	0.056	0.011	0.028	0.103	0.007	0.044	0.074	0.060
Fe2+	0.700	0.114	0.135	1.017		0.293	0.816	0.732
Mg	0.302			0.486	0.176		0.626	0.396
Li								
Ca	0.806	1.836	1.822	0.266	1.812	1.625	0.476	0.801
Sr								
Na	0.015	0.039	0.014	0.012	0.005	0.035	0.008	0.012
B subtotal	1.879	2.000	1.999	1.884	2.000	1.997	2.000	2.001
A (from 0 to 1 apfu)								
Ca								
Li								
Na		0.018	0.014		0.013		0.008	0.003
Pb								
K		0.020	0.012			0.010	0.003	
A subtotal	0.000	0.038	0.026	0.000	0.013	0.010	0.011	0.003
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)								
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F								
Cl								
O								
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	14.935	15.039	15.025	14.941	15.013	15.007	15.011	15.003

Amphiboles - MERFC081								
	161	162	164	165	166	169	170	172
Espèces	actinolite	magnésio-hornblende	magnésio-ferri-hornblende	magnésio-ferri-hornblende	magnésio-ferri-hornblende	magnésio-ferri-hornblende	actinolite	magnésio-ferri-hornblende
Analysis (wt%)								
SiO2	50.5292	50.3328	51.3058	50.0991	46.1850	48.9454	51.2790	47.6269
TiO2	0.2717	0.3740	0.0792	0.2775	0.5578	0.3181	0.2842	0.2055
Al2O3	5.2255	7.7126	4.9815	5.9332	8.5325	6.2880	4.1750	6.3695
Cr2O3	0.0699	0.1134	0.0209	0.1721	0.0106	0.0393	0.0366	0.0569
MnO	0.4299	0.4422	0.5112	0.2920	0.5369	0.4170	0.4524	0.4620
FeO	11.3671	11.1697	11.4884	11.9946	13.7662	13.6634	11.6176	13.1181
MgO	15.5867	15.1239	16.2445	15.5027	13.2806	14.2484	15.4815	15.2343
CaO	11.9865	9.6603	11.9432	12.0195	11.8523	12.1250	12.0239	11.7810
Na2O	0.9400	0.7728	0.8625	0.8643	1.3336	0.9789	0.6994	1.1483
K2O	0.4201	1.4295	0.4560	0.4849	0.9542	0.5437	0.4156	0.5618
Initial Total	95.42361	94.78434	95.51273	96.70185	98.39265	96.83687	96.47112	97.08234
Fe3+/ΣFe used	0.148	0.005	0.244	0.224	0.190	0.201	0.117	0.410
Mn3+/ΣMn used	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Final wt% values								
MnO	0.43	0.44	0.51	0.29	0.54	0.42	0.45	0.46
Mn2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	9.69	11.11	8.69	9.31	11.15	10.92	10.26	7.74
Fe2O3	1.87	0.06	3.12	2.99	2.91	3.05	1.51	5.98
H2O+	2.09	2.09	2.09	2.08	2.04	2.06	2.09	2.07
Total	99.10	99.23	100.29	100.02	99.34	99.93	98.71	99.23
Formula Assignments								
T (ideally 8 apfu)								
Si	7.327	7.267	7.333	7.209	6.820	7.125	7.465	6.964
P								
Be								
Al	0.673	0.733	0.667	0.791	1.180	0.875	0.535	1.036
Ti								
Fe3+								
T subtotal	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
C (ideally 5 apfu)								
Ti	0.030	0.041	0.009	0.030	0.062	0.035	0.031	0.023
Zr								
Al	0.220	0.580	0.172	0.215	0.305	0.204	0.182	0.061
Sc								
V								
Cr	0.008	0.013	0.002	0.020	0.001	0.005	0.004	0.007
Mn3+								
Fe3+	0.203	0.007	0.335	0.324	0.322	0.335	0.166	0.658
Co								
Ni								
Zn								
Mn2+					0.009	0.001	0.009	
Fe2+	1.170	1.104	1.021	1.087	1.378	1.328	1.248	0.931
Mg	3.369	3.255	3.461	3.325	2.923	3.092	3.360	3.321
Li								
C subtotal	5.000	5.000	5.000	5.001	5.000	5.000	5.000	5.001
B (ideally 2 apfu)								
Mn2+	0.053	0.054	0.062	0.036	0.058	0.051	0.047	0.057
Fe2+	0.005	0.237	0.018	0.033				0.015
Mg								
Li								
Ca	1.862	1.494	1.829	1.853	1.875	1.891	1.876	1.846
Sr								
Na	0.080	0.214	0.091	0.078	0.067	0.058	0.077	0.082
B subtotal	2.000	1.999	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
A (from 0 to 1 apfu)								
Ca								
Li								
Na	0.185	0.002	0.148	0.163	0.315	0.218	0.120	0.243
Pb								
K	0.078	0.263	0.083	0.089	0.180	0.101	0.077	0.105
A subtotal	0.263	0.265	0.231	0.252	0.495	0.319	0.197	0.348
O (non-W)	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
W (ideally 2 apfu)								
OH	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
F								
Cl								
O								
W subtotal	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Sum T,C,B,A	15.263	15.264	15.231	15.253	15.495	15.319	15.197	15.349



**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



Géosciences pour une Terre durable

brgm