

# ÉCHANTILLONNAGE ET ANALYSE DE L'ENROBÉ BITUMINEUX CONTENANT DE L'AMIANTE

Une revue rapide des publications grises et scientifiques récentes

*Julien Le Beller, M.Sc., conseiller en recherche, ONA  
France C. Fleury, M.Sc., consultant en courtage de connaissances*

*Un produit de courtage de connaissances publié à la demande du  
ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD)*

Mars 2025

## **L'Observatoire national de l'amiante**

L'Observatoire national de l'amiante (ONA) est une mesure prévue au *Plan d'action 2022-2025 – Amiante et résidus miniers amiantés au Québec : vers la transformation d'un passif en un actif durable* du gouvernement du Québec, plan d'action élaboré en réponse aux recommandations du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) sur la gestion de l'amiante et des résidus miniers amiantés (RMA).

L'ONA a pour mandat de coordonner les recherches sur les impacts sanitaires et environnementaux de la présence et de la manipulation de RMA et d'autres produits contenant de l'amiante, dans une optique de développement durable des régions exploitant autrefois des mines d'amiante et, plus globalement, du Québec.

L'ONA appuie ses travaux sur les besoins et les priorités des milieux touchés par la présence d'amiante et de RMA. Il fait appel à des chercheurs.euses de diverses disciplines des sciences de la vie, des sciences humaines, des sciences de la terre, etc., de diverses provenances (centres de recherche gouvernementaux, universitaires ou collégiaux) qui mettent en commun leurs connaissances et leurs expertises pour recenser et développer des données probantes et de nouvelles connaissances. Les résultats de recherche et les connaissances acquises seront transférés aux parties prenantes, populations, communautés, autorités, intervenants.es, etc., par le biais de communications publiques ou scientifiques, afin de les outiller dans leurs choix et dans leurs prises de décisions.

**Auteurs :**

Julien Le Beller, M.Sc. – Conseiller en recherche, ONA  
France C. Fleury, M.Sc. – Consultant en courtage de connaissances

**Révisure des termes et de la cohérence des contenus :**

Claude Lamy Morissette, M.Sc., géo. – Chargée de projet, secteur minéral, Coalia

**Demandeurs.ses du MTMD :**

Toufik Cherifi – Conseiller en environnement – Sols contaminés  
Julien Gagné, ing., - Chargé de projets  
Marie-Andrée Larouche, ing. - Responsable du secteur Enrobés p.i.  
Éric Pelletier, chimiste - Chargé de projets – FRX, bois traité et peintures pour structures métalliques  
Nathalie Roy, ing., M.Sc.

**Intention et méthode générale de la revue rapide**

Le présent ouvrage cherche à répondre aux préoccupations du demandeur sur les meilleures pratiques applicables à son contexte. Il se centre sur des écrits scientifiques et gris récents. Les auteurs résumant chacune des sources retenues puis en tirent une synthèse. Le demandeur pourra soumettre les connaissances acquises à l'épreuve de la faisabilité et de l'acceptabilité dans son organisation, en fonction de ses priorités.

Pour y parvenir, les auteurs recourent aux règles de l'art en courtage des connaissances. Outil de transfert et de mobilisation des savoirs, le courtage « vise, via un intermédiaire, à favoriser les relations et les interactions entre les différents acteurs [...] (chercheurs, acteurs de terrain, décideurs) dans le but de produire et d'utiliser au mieux les connaissances basées sur les preuves. Les actions de cet intermédiaire [...] visent toutes à créer du lien et de la communication [...] et à améliorer les pratiques. » (Munerol et coll., 2013, p.595). Il s'appuie également sur le *Guide pour les revues rapides* édité par le Centre de collaboration nationale des méthodes et outils (Dobbins, 2018).

La structure du document s'inspire des travaux du Consortium interrégional de savoirs en santé et services sociaux (InterS4).

**Citation suggérée**

Le Beller, J. et Fleury, F. C. (2025). *Échantillonnage et analyse de l'enrobé bitumineux contenant de l'amiante : Une revue rapide des publications grises et scientifiques récentes*. Observatoire national de l'amiante, 74 pages.

*Vous pouvez utiliser cet ouvrage en tout ou en partie sans l'approbation des auteurs. Nous vous demandons seulement d'en citer la source.*

## TABLE DES MATIÈRES

<b>ABRÉVIATIONS UTILISÉES</b> .....	<b>4</b>
<b>MESSAGES CLÉS</b> .....	<b>5</b>
<b>MANDAT DE COURTAGE DE CONNAISSANCES</b> .....	<b>8</b>
<b>STRATÉGIE DE RECENSION ET DE RÉVISION DES CONTENUS</b> .....	<b>11</b>
<b>RÉSUMÉS DES PUBLICATIONS CONSULTÉES</b> .....	<b>12</b>
Objectifs et balises générales des principales normes .....	12
Prélèvement des échantillons .....	18
Préparation de l'échantillon.....	23
Analyse qualitative de l'échantillon .....	32
Analyse quantitative de l'échantillon .....	40
Interprétation des résultats.....	49
<b>PERSPECTIVES D'UTILISATION DES CONNAISSANCES</b> .....	<b>58</b>
Valeurs et limites du document .....	58
Recommandations pour promouvoir l'acquisition des connaissances.....	59
<b>RÉFÉRENCES CONSULTÉES</b> .....	<b>60</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>63</b>
Annexe 1 – Plan de concept .....	63
Annexe 2 – Bilan des motifs d'inclusion et d'exclusion des publications .....	64
Annexe 3 – Capacités et limites des principales techniques d'analyse .....	68
Annexe 4 – Capacités et limites des techniques complémentaires d'analyse .....	71
Annexe 5 – Algorithmes d'analyse qualitative pour les matériaux commerciaux .....	73

## ABRÉVIATIONS UTILISÉES

EDS	Spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie
FE	Effet de champ
IR	Indice de réfraction
MEB	Microscopie électronique à balayage
MET	Microscopie électronique à transmission
MLP	Microscopie à lumière polarisée
MTMD	Ministère des Transports et de la Mobilité durable
MTQ	Ministère des Transports du Québec
ONA	Observatoire national de l'amiante
PMA	Particules minérales allongées
SAED	Diffraction électronique en zone sélectionnée
XRD	Diffraction des rayons X
XRF	Spectrométrie de fluorescence X

## MESSAGES CLÉS

Des tendances significatives émergent de la trentaine de publications analysées dans cette revue rapide. Elles sont présentées ici sous forme de messages clés en guise de synthèse de l'examen des écrits avec le souci de répondre aux préoccupations du demandeur et de faciliter une prise de décision éclairée basée sur les connaissances actuelles les plus pertinentes.

### Généralités sur les savoirs repérés

1. Les publications récentes sur le sujet comptent principalement des énoncés de normes et quelques résultats de recherche, le souci d'uniformiser les pratiques étant souvent énoncé par les auteurs.
2. Les écrits scientifiques consultés, de faible niveau de preuve, apportent peu d'éclaircissement sur l'interprétation des résultats d'analyse et sur le potentiel d'utilisation des conclusions des recherches.
3. Des normes et des réglementations ont été éditées depuis la publication de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) en 2015 (Méthode analytique 244) au sujet de l'analyse de la présence d'amiante dans les matériaux en vrac.
4. Les normes les plus souvent citées dans les publications récentes sont : ISO 22262-1, ELAP 198.4 et 198.6.
5. La révision d'importance la plus récente serait celle réalisée en juin 2024 par Standards Australia au sujet des normes de préparation puis d'identification qualitative de l'amiante dans les matériaux en vrac qui reconferme la pertinence de la norme ISO 22262-1 avec des modifications mineures.
6. La séquence analytique suit des étapes comparables d'une publication à l'autre, à savoir : 1. Examen d'un échantillon représentatif à l'aide d'un stéréomicroscope binoculaire; 2. Retrait de fibres types placées ensuite dans un milieu d'immersion liquide approprié sur des lames; 3. Examen qualitatif au microscope à lumière polarisée (MLP) en appréciant : morphologie, couleur et pléochroïsme, indices de réfraction; 4. Confirmation ou réduction des ambiguïtés en utilisant la microscopie électronique à balayage (MEB) ou la microscopie électronique à transmission (MET); 5. Au besoin, examen quantitatif.

### Prélèvement des échantillons

7. Quelques précisions sont disponibles au sujet de la procédure et de la taille des échantillons d'enrobé bitumineux à récolter par carottage.
8. Plus de prélèvements sont requis en présence d'un matériau non homogène.
9. Pour les matériaux en vrac, les normes recommandent des prélèvements en poids ou en volume qui varient selon l'homogénéité du matériau à analyser avec une fourchette de valeurs qui s'appliquent aux matériaux en vrac : en poids, généralement entre 5 g et 100 g; en volume entre 1 cm<sup>3</sup> et 1000 cm<sup>3</sup>.

10. Dans les écrits repérés, seules des publications françaises balisent expressément le nombre de prélèvements nécessaires selon la linéarité d'un chantier routier en distinguant les travaux interurbains (un sondage tous les 500 m sur chaque voie pour les routes bidirectionnelles et un sondage tous les 1000 m sur chaque voie des autoroutes) des travaux urbains (un seul sondage pour une route  $\leq 200$  m ou autant de sondages pour une route  $> 200$  m avec une distance maximale de 100 m entre les prélèvements).

## Préparation des échantillons

11. La préparation des échantillons comprend : une phase de repérage des fibres à l'œil ou assistée d'un stéréomicroscope, des procédures de réduction gravimétrique de la matrice visant à retirer les matériaux étrangers, la recherche de fibres, au besoin, avec un microscope à lumière polarisée (MLP), et enfin, le montage de la lamelle ou de la grille.
12. Les consignes concernant la réduction gravimétrique de l'échantillon sont comparables d'une publication à l'autre et comprennent principalement : la calcination qui s'avère la méthode préparatoire privilégiée pour l'enrobé bitumineux, le traitement à l'acide, la sédimentation, et une combinaison de ces différents procédés.
13. La révision normative australienne de 2024 reconduit la presque totalité de la norme ISO 22262 sauf, par exemple, pour la température de calcination qui est abaissée à  $400^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$ .

## Analyse qualitative

14. Il existe une forte tendance pour une utilisation initiale de la microscopie à lumière polarisée (MLP) dans l'analyse des échantillons, considérant ses avantages aux plans des coûts et de la simplicité d'utilisation.
15. Après un examen visuel initial assisté d'un stéréomicroscope, les auteurs recommandent de débiter par la microscopie à lumière polarisée (MLP) et, si requis en cas de faible teneur en amiante ou d'ambiguïté sur la présence d'amiante ou encore pour confirmer la présence d'amiante, de poursuivre avec un examen au microscope électronique.
16. Les écrits consultés s'attardent principalement à décrire l'utilisation de trois techniques d'analyse : la microscopie à lumière polarisée (MLP), la microscopie électronique à balayage (MEB) et la microscopie électronique à transmission (MET).
17. L'analyste apprécie les caractéristiques propres à l'amiante, soit tout spécialement la morphologie, la couleur et les indices de réfraction, de même que la biréfringence, les caractéristiques d'extinction et les signes d'élongation.

## Analyse quantitative

18. Quantifier l'amiante au-delà de l'analyse qualitative ne serait pas nécessaire au regard de la limite réglementaire en vigueur pour définir qu'un matériau contient de l'amiante, mais cela semble nécessaire pour confirmer la concentration de fibres d'amiante dans le revêtement bitumineux utilisé dans la construction des routes, selon la norme ISO 22262.

19. La microscopie électronique à transmission (MET) apparaît comme la technique d'analyse la plus fiable pour confirmer la présence de fibres d'amiante et distinguer les matériaux amiantifères réglementés des non réglementés.
20. La microscopie électronique à transmission (MET), couplée à une spectrométrie de rayons X à dispersion d'énergie (EDS) et à une diffraction électronique en zone sélectionnée (SAED), serait la technique la plus polyvalente et la plus fiable pour apprécier les caractéristiques morphologiques, structurelles et élémentaires de l'amiante.
21. D'autres techniques peuvent compléter les analyses microscopiques réalisées par microscopie à lumière polarisée (MLP), microscopie électronique à balayage (MEB) ou microscopie électronique à transmission (MET), dont : la diffraction des rayons X (XRD), la spectrométrie de fluorescence X (XRF) et la spectroscopie Raman.
22. La quantification se fait à l'aide de différentes méthodes dont : le mesurage gravimétrique, l'estimation visuelle, le comptage de points et le comptage de fibres.

## Interprétation des résultats

23. Les concentrations sont généralement exprimées en pourcentage massique (% m/m).
24. Il existe des balises sur l'identification des fibres d'amiante en considérant la morphologie, la composition chimique et la structure cristalline.
25. Des auteurs.res appellent à une plus grande uniformisation de la terminologie et de la méthodologie d'analyse considérant les nombreuses sources d'incertitude sur les mesures et les variations sur l'interprétation des résultats.
26. Le seuil de dangerosité dans les matériaux solides semble suivre deux principales tendances, soit : concentration  $\geq 0,1$  %, par exemple dans les pays européens ou concentration  $\geq 1$  %, par exemple aux États-Unis.
27. Bien que ni les publications de normes, ni les articles scientifiques consultés n'expriment de recommandations sur la gestion des déchets amiantés au regard des concentrations d'amiante observées, les publications grises repérées évoquent surtout la valorisation des résidus dans la réfection routière ou leur enfouissement, accessoirement la restauration minière ou le recyclage, vu les coûts et les difficultés de réalisation.



# MANDAT DE COURTAGE DE CONNAISSANCES

## Intention de la revue rapide

La revue rapide des écrits dans une approche de transfert et de mobilisation des connaissances vise à faciliter l'utilisation des données probantes dans l'élaboration de politiques ou de programmes. La prise de décision s'appuie alors sur les meilleures données probantes disponibles au sein d'un corpus de connaissances systématiquement recueillies et analysées, considérées au regard des préoccupations du demandeur et du contexte dans lequel le changement doit s'opérer (Dobbins, 2018).

Pour y parvenir, la méthode adopte une stratégie où le temps de réalisation va « de quelques jours à plusieurs semaines » (Dobbins, 2018, p.20), où les étapes à franchir peuvent être ajustées en fonction du temps disponible et où les auteurs conservent une trace explicite du parcours emprunté. Le demandeur peut alors apprécier aisément la valeur et les limites de la synthèse des écrits en vue de la décision qu'il doit prendre.

## Mise en contexte de la demande de courtage

Un rapport de 2019 du ministère des Transports du Québec (MTQ) indique que différents types d'enrobés contenant de l'amiante ont été utilisés entre 1988 et 2011, totalisant 1 340 304 tonnes dont 17 597 tonnes d'amiante. La majorité de ces enrobés se trouve en Estrie, au Centre-du-Québec, au Bas-Saint-Laurent et en Chaudière-Appalaches, recouvrant 1 028 km des routes du MTQ, soit 3,3 % de son réseau routier.

Les auteurs expliquent que plusieurs facteurs motivent le retrait de l'amiante dans la préparation de l'enrobé bitumineux. Le volume des résidus est considérable et tend à s'accroître. En parallèle, l'utilisation de ces résidus est restreinte et exige des sommes importantes, sans compter qu'elle contrevient aux engagements du MTQ en matière de développement durable.

Le MTQ préconisait alors la mise en place d'une solution globale pour la gestion des résidus de planage contenant de l'enrobé amianté, incluant l'établissement de sites permanents de valorisation de ces résidus dans les emprises mêmes du MTQ. La valorisation prendrait la forme de buttes, de talus de remblai routiers, d'écrans brise-vents, visuels ou antibruit. Dans ce contexte, l'efficacité et la justesse de l'identification de l'amiante représente un enjeu pour orienter la gestion des résidus.

Quatre principaux motifs incitent le demandeur à soumettre l'actuel mandat de revue rapide en courtage de connaissances.

### 1. Des découvertes inattendues :

- Des amas de fibres d'amiante sont retrouvés sur les tamis lors du contrôle de production de mélanges d'enrobés contenant des granulats bitumineux recyclés (GBR).
- Ces GBR étaient réputés être sans amiante, rendant la situation problématique et inattendue.

2. Des recommandations ou des interprétations contradictoires :
  - Les découvertes inattendues ont donné lieu à une série de recommandations, parfois contradictoires, entre les parties prenantes, alimentant les incertitudes et la confusion sur la marche à suivre.
3. Un impact monétaire significatif :
  - Le traitement des enrobés contenant de l'amiante engendre des coûts très élevés pour le MTMD.
  - Les matériaux ne peuvent pas être réutilisés sans une décision claire, augmentant les coûts potentiels.
4. Un enjeu environnemental et logistique :
  - Le sort de milliers de tonnes de résidus est en jeu, nécessitant des décisions éclairées pour éviter le gaspillage et l'inefficacité.

Dans le cadre de l'amélioration des pratiques d'analyse des matériaux hétérogènes non friables, le présent mandat vise à fournir un complément à la Méthode d'analyse 244 publiée par l'IRSST (2015) afin de faire consensus sur la marche à suivre et d'obtenir des résultats à la fois plus justes, à la fois plus uniformes. L'objectif principal est d'harmoniser la caractérisation des matériaux en optimisant les protocoles existants et en intégrant les meilleures pratiques disponibles. Les résultats des analyses influenceront directement le traitement des matériaux, avec des implications économiques et environnementales majeures.

Pour répondre à ce besoin, un partenariat a été établi entre le MTMD et l'ONA. Dans cette perspective, la réalisation d'une recension des écrits scientifiques et des publications grises est apparue comme une stratégie pertinente pour favoriser le consensus entre les parties prenantes du projet.

Bien que cette initiative ne corresponde pas au processus habituel de demande de mandat de courtage tel que défini par l'ONA, elle constitue une opportunité saisie conjointement par les deux organisations pour expérimenter l'implantation du courtage de connaissances. Ainsi, ce mandat s'inscrit dans un projet pilote visant à tester et à documenter cette approche au sein de l'Observatoire.

Le mandat, validé le 17 décembre 2024, prévoyait une livraison au début de 2025. Afin de s'assurer de répondre aux préoccupations du demandeur, le courtier a capté les principales questions pour lesquelles des réponses étaient attendues. Elles ont servi de guide pour la rédaction du plan de concept et de la stratégie de recherche.

## Questions du demandeur et produit proposé

L'analyse d'un échantillon d'amiante repose sur quatre principales étapes. Les questions sont formulées au regard de chacune d'elles.

### 1. Prélèvement des échantillons :

- Quels sont les critères d'acceptabilité et les approches méthodologiques à privilégier pour garantir un échantillonnage représentatif des enrobés en place, des GBR ou des granulats, tout en tenant compte de leur hétérogénéité et de leur utilisation prévue?

### 2. Préparation des échantillons :

- Quels sont les protocoles nécessaires pour préparer les échantillons d'enrobés en place et de GBR avant analyse, afin d'assurer des résultats fiables et reproductibles?

### 3. Méthodes d'analyse :

- Quelles sont les méthodes analytiques et les protocoles de préparation les plus adaptés pour évaluer la présence d'amiante dans les matériaux granulaires, tout en garantissant les exigences de précision, de qualité et de reproductibilité des résultats?

### 4. Interprétation des résultats :

- Comment interpréter les résultats des analyses de matériaux contenant de l'amiante pour assurer une compréhension claire et applicable aux besoins opérationnels?

La revue documente et compare entre elles les meilleures pratiques de caractérisation des matériaux contenant de l'amiante. Cette démarche vise à optimiser les méthodologies existantes, à améliorer la fiabilité des analyses et à faciliter l'application de recommandations adaptées aux enjeux spécifiques du domaine des infrastructures et des matériaux granulaires.

Le principal livrable prend la forme d'une revue rapide structurée comportant :

### 1. Des messages clés en guise de synthèse, i.e. :

- Une section conçue pour soutenir le transfert de connaissances.
- Adressée aux décideurs.euses, chargés.es de projets et professionnels.les impliqués.es.

### 2. Un rapport détaillé destiné aux comités de travail où chaque publication retenue est résumée.

## STRATÉGIE DE RECENSION ET DE RÉVISION DES CONTENUS

Dans le cadre de cette recension des écrits, la stratégie de recherche vise à identifier les publications scientifiques et grises récentes sur l'échantillonnage et l'analyse des enrobés bitumineux contenant de l'amiante. L'approche assure une couverture complète et méthodique du sujet, en s'appuyant sur une sélection de mots-clés importants.

Le plan de concept rapporté à l'Annexe 1 intègre les principaux termes et synonymes utiles à la formulation des requêtes dans les moteurs de recherche. Ce plan est élaboré en français et en anglais.

Les sources d'informations consultées incluent les bases de données Web of Science, Scopus, Google Scholar et Google, cette dernière réunissant la littérature grise. Les membres du groupe de travail du MTMD ont également recommandé des publications.

Des critères de sélection<sup>1</sup> ajoutent à la stratégie de recherche pour accroître la pertinence et la qualité des documents recensés, à savoir :

- Limite temporelle : priorité aux publications récentes afin de garantir une information à jour en supposant une connaissance suffisante de la part des demandeurs concernant les publications plus anciennes sur le sujet.
- Limite géographique : sélection d'études ou rédaction de normes produites dans des contextes réglementaires et normatifs similaires à ceux du Québec.
- Fiabilité des sources : pour la littérature grise, conservation des documents en format PDF issus d'organisations réputées.

La méthode « boule de neige » complète la recherche par mots-clés. Elle consiste à repérer dans les articles clés des références pertinentes susceptibles de répondre aux questions de recherche. Cette approche permet d'enrichir la recension tout en validant l'efficacité de la recherche par mots-clés.

La stratégie de recherche a permis d'identifier un ensemble d'écrits scientifiques ou de normes et de guides sur l'échantillonnage et l'analyse des enrobés bitumineux contenant de l'amiante. L'Annexe 2 décrit le bilan des motifs d'inclusion et d'exclusion des publications.

Quant à la révision des contenus, en plus des échanges et vérifications régulières entre les auteurs, une experte du domaine a relu la version préliminaire du rapport pour parvenir à sa version finale. Elle s'est attardée à vérifier si :

- Les termes spécialisés contenus dans le document correspondent aux termes employés habituellement au Québec.
- Les contenus des résumés se rapportent bel et bien à l'objet de la revue, soit l'analyse des enrobés bitumineux contenant de l'amiante.

---

<sup>1</sup> Nous avons retiré la limite habituelle des « niveaux élevés de preuve » pour les écrits scientifiques devant le constat de la présence uniquement d'études descriptives.

## RÉSUMÉS DES PUBLICATIONS CONSULTÉES

Chacune des publications conservées est résumée dans les tableaux comparatifs qui suivent. Les contenus sont divisés selon les principaux aspects du sujet couvert en distinguant les écrits scientifiques, i.e. les articles publiés dans des revues spécialisées à la suite d'une sélection par un comité de pairs, de la littérature grise, i.e. des documents réalisés par des organisations réputées. Dans la présente publication, la littérature grise rapporte des normes, des règlements et des guides d'application de ces normes.

Chaque tableau comparatif débute avec les contenus tirés de l'IRSST (2015), vu les enjeux exprimés par les demandeurs.euses. Le classement des résumés est chronologique en débutant par les contenus les plus récents. Les résumés ne couvrent pas les détails de la procédure de laboratoire, ni les règles de l'art dans ce domaine.

### Objectifs et balises générales des principales normes

Référence	Objectifs et balises	Commentaires
IRSST, Méthode analytique 244, 2015 (Québec)	<p><u>Domaine d'application de la méthode d'analyse :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Déterminer de manière <i>semi-quantitative</i><sup>2</sup> du contenu en fibres dans les échantillons en vrac :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Échantillons inclus : fibres d'amiante, autres fibres minérales naturelles et artificielles.</li> <li>- Échantillons exclus : échantillons contenant une grande quantité de fibres fines au-dessous du pouvoir de résolution du microscope optique, fibres de longueur &lt; 5 µm et de diamètre inférieur à 0,5 µm car elles ne sont pas identifiées par la dispersion colorante.</li> </ul> </li> <li>▪ Exprimer le contenu en pourcentage volume/volume (v/v) à la suite de l'analyse visuelle de l'examineur en comparaison avec des préparations de référence dont la valeur est connue pour une gamme de concentration des fibres allant de &lt; 1% à 100% (v/v).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Méthode à application plus large que l'enrobé bitumineux.</li> <li>▪ Référence à l'utilisation du MET pour quantifier l'amiante dans certains matériaux (exemple donné : les tuiles de plancher), en citant la norme ELAP 198.4.</li> <li>▪ L'IRSST s'appuie principalement sur des publications et des normes américaines des années '80.</li> <li>▪ On y précise que la méthode doit être utilisée de concert avec des normes. L'évocation de la norme ISO se limite à deux publications : « Termes et définitions... » (1992)</li> </ul>

<sup>2</sup> L'IRSST évoque en effet une méthode « semi-quantitative ». Toutes les autres publications distinguent plutôt une méthode qualitative et une méthode quantitative. Nous avons opté pour distinguer les contenus selon ces dernières.

Référence	Objectifs et balises	Commentaires
	<p><u>Principe de la méthode :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sélection des fibres, puis dépôt dans des liquides ayant un des indices de réfraction définis.</li> <li>▪ Observation au MLP.</li> <li>▪ Caractérisation des fibres selon leur morphologie et leurs propriétés optiques.</li> <li>▪ Classification des principaux types de fibres d’amiante, soit : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chrysotile;</li> <li>- Crocidolite;</li> <li>- Amosite;</li> <li>- Trémolite;</li> <li>- Anthophyllite;</li> <li>- Actinolite.</li> </ul> </li> </ul>	<p>et « Vocabulaire international de métrologie » (2012). [Note du courtier]</p>
<p>Standards Australia, Norme AS 5370:2024, 2024 (Australie)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spécifier les méthodes d’échantillonnage des matériaux en vrac et identifier, de manière <i>qualitative</i>, la présence d’amiante dans ces matériaux.</li> <li>▪ En présence d’une concentration de 0,5 % ou 1 %, il peut être nécessaire de <i>quantifier</i> l’amiante dans le but de définir le statut réglementaire du matériau.</li> <li>▪ Reprendre et modifier la norme internationale ISO 22262-1:2012 avec les changements majeurs suivants sur le fond : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajout de la section « Détermination quantitative de l’amiante par méthode de diffraction par rayons X » ;</li> <li>- Limite minimale de déclaration à 0,01 % masse/masse (m/m);</li> <li>- Prélèvement minimal entre 5 g et 100 g;</li> <li>- Température de calcination de 400°C ± 30°C;</li> <li>- Ajout de la méthode par ultrasons pour préparer l’échantillon;</li> <li>- Stéréomicroscope : puissance de 10x à 40x;</li> <li>- Si examen par MLP ambigu : utilisation du microscope électronique pour réduire l’ambiguïté et procurer une identification définitive des fibres;</li> <li>- Utilisation des spectres tirés de l’analyse par rayons X à dispersion d’énergie (EDS) pour identifier toutes les variétés d’amiante (sauf pour talc et anthophyllite).</li> </ul> </li> <li>▪ Échantillon homogène : échantillon en vrac de matériaux commerciaux qui montre une distribution plus ou moins uniforme des fibres d’amiante dans</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Origine de la norme AS 4964-2004.</li> <li>▪ Révision de la norme ISO 22262-1 avec des « variations nationales » australiennes ou néo-zélandaises mineures, réaffirmant la pertinence de la norme ISO.</li> <li>▪ Norme applicable aux matériaux commerciaux, aux sols, poussières, agrégats et minerais.</li> <li>▪ Centrons notre attention sur les matériaux commerciaux. [Note du courtier]</li> </ul>

Référence	Objectifs et balises	Commentaires
	<p>l'ensemble de l'échantillon ou dans chacune des couches distinctes de l'échantillon.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Échantillon non homogène : échantillon en vrac qui contient de petites quantités d'amiante distribuées de manière inégale dans un large morceau de matériau non asbestiforme.</li> </ul>	
New York State Department of Health (NYSDOH), Norme ELAP 198.4, 2022 (États-Unis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baliser les règles pour la certification des laboratoires en utilisant la MET afin de quantifier l'amiante dans les matériaux en vrac non friables liés organiquement<sup>3</sup>.</li> <li>▪ MET : méthode d'analyse jugée la plus fiable pour détecter et quantifier les fibres des matériaux non friables liés organiquement : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Échantillons inclus : fibres jusqu'à une longueur minimale de 0,02 µm;</li> <li>- Échantillons exclus : vermiculite (norme 198.8).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Norme apparemment applicable à l'analyse de la présence d'amiante dans l'enrobé bitumineux.</li> <li>▪ Risque de biais de sous-échantillonnage dans la méthode présentée.</li> <li>▪ « Seule méthode (...) pour signaler (...) les résultats véritablement négatifs ». (p.3)</li> </ul>
HSE, HSG248, Guide technique, 2021 (Royaume-Uni)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fournir des directives pratiques aux analystes, laboratoires et autres professionnels impliqués dans la gestion et le contrôle de l'amiante présent dans une variété de matériaux en vrac.</li> <li>▪ Reconnaissance des six types d'amiante les plus fréquents, mais pas des minéraux amphiboles non soumis à une réglementation.</li> <li>▪ Après une analyse par MLP, utilisation recommandée de la microscopie électronique avec EDS ou SAED, XRD ou spectroscopie infrarouge dans les cas suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Identification de fibres d'une largeur inférieure à 1 µm;</li> <li>- Distinction requise entre trémolite et actinolite ou entre trémolite et anthophyllite.</li> </ul> </li> <li>▪ Références au guide technique HSG264 (2012) pour le prélèvement des échantillons.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pratiques non spécifiques à l'enrobé bitumineux, le guide technique HSG264 (2012) n'évoquant pas non plus les enrobés bitumineux pour les routes.</li> <li>▪ Dans la liste des variétés de matériaux en vrac, aucune indication spécifique au sujet de la préparation d'échantillons d'asphalte (ex. : tableau p.117), et aucune référence explicite pour les termes « asphalt » ou « bitum* » lié au revêtement de route – dans ce contexte, optons pour ne pas résumer les</li> </ul>

<sup>3</sup> « Le terme *matériaux non friables liés organiquement* désigne une grande variété de matériaux de construction non friables intégrés dans des matrices organiques de flexibles à rigides, notamment l'asphalte ou le vinyle. » (norme ELAP, p.2)

Référence	Objectifs et balises	Commentaires
		précisions de cette norme. [Note du courtier]
ASTM International, Norme ASTM D6480, 2019 <sup>4</sup> (États-Unis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identifier l'amiante et distinguer les types d'amiante dans des échantillons prélevés par essuyage sur des surfaces<sup>5</sup>.</li> <li>▪ Fournir une estimation de la concentration d'amiante, exprimée en nombre de structures d'amiante par unité de surface échantillonnée, en recourant à la MET.</li> <li>▪ Au sujet de la procédure : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Technique de préparation indirecte de l'échantillon, soit un traitement préalable de l'échantillon avant l'analyse.</li> <li>- Méthode généralement applicable pour des concentrations <math>\geq 1000</math> structures d'amiante par <math>\text{cm}^2</math>.</li> <li>- Identification par MET basée sur la morphologie, la diffraction d'électrons et l'analyse par rayons X à dispersion d'énergie.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Application à l'enrobé bitumineux questionnable sans une adaptation de la procédure.</li> <li>▪ L'efficacité de la collecte varie selon les substrats et leurs propriétés (texture, adhérence, ...).</li> <li>▪ Aucune limite inférieure aux dimensions des fibres pouvant être détectées bien que la longueur la plus courte de fibre à être rapportée dans les rapports soit de <math>0,5 \mu\text{m}</math>.</li> <li>▪ Propose un glossaire détaillé.</li> </ul>
COFRAC, LAB INF 44, 2018 (France)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Préciser les normes pour l'accréditation des laboratoires concernant l'analyse de l'amiante dans les matériaux en vrac en distinguant six domaines d'accréditation selon le type de matériau et la nature des fibres : <ul style="list-style-type: none"> <li>- S'applique aux matériaux et produits manufacturés pouvant contenir de l'amiante, donc des matériaux homogènes.</li> </ul> </li> <li>▪ Décrire les principales étapes de la méthode en référant aux normes applicables pour l'analyse des matériaux bruts : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Préparation sans ou avec traitement par calcination ou attaque chimique : référence à NF ISO 22262-1 ou NF ISO 22262-2 ou méthode interne de préparation.</li> <li>- Détection et identification par MLP : référence à HSG 248 - Annexe 2 ou NF ISO 22262-1.</li> </ul> </li> </ul>	---

<sup>4</sup> Méthode citée dans les publications néo-zélandaises. Elle serait peu appropriée à l'enrobé bitumineux car de tels échantillons nécessiteraient une préparation plus approfondie (ChatGPT, questionné le 15 janvier 2025).

<sup>5</sup> Autre traduction possible à vérifier avec le contenu de la procédure : échantillons retirés de surfaces nettoyées.



Référence	Objectifs et balises	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détection et identification par MET équipée d'un analyseur en dispersion d'énergie des rayons X : référence à NF X43-050 (parties utiles de la norme) et IMA : principes pétrographiques et de classification minéralogique.</li> <li>▪ Décrire les principales étapes de la méthode en référant aux normes applicables pour l'analyse des matériaux pouvant contenir de l'amiante ajouté : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Préparation sans ou avec traitement par calcination ou attaque chimique ou mécanique : référence à NF ISO 22262-1 ou méthode interne de préparation.</li> <li>- Détection et identification par MLP : référence à HSG 248 - Annexe 2 ou NF ISO 22262-1.</li> <li>- Détection et identification par MET équipée d'un analyseur en dispersion d'énergie des rayons X : référence à NF X43-050 (parties utiles de la norme).</li> </ul> </li> </ul>	
<p>NYSDOH, Norme ELAP 198.6, 2016 (États-Unis)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baliser les règles pour la certification des laboratoires en utilisant la MLP afin d'identifier et de quantifier l'amiante dans les matériaux en vrac non friables liés organiquement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Norme apparemment applicable à l'analyse de la présence d'amiante dans l'enrobé bitumineux.</li> </ul>
<p>ISO 22262-2:2014, Norme internationale, 2014 (Suisse)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Doser <i>quantitativement</i> l'amiante en utilisant les méthodes gravimétriques et microscopiques.</li> <li>▪ Spécifier les modes opératoires de quantification des fractions massiques d'amiante &lt; 5 %, dans la vermiculite et dans d'autres matériaux contenant de l'amiante.</li> <li>▪ Déterminer avec fiabilité le statut réglementaire du matériau ou pour obtenir d'autres preuves de l'absence d'amiante, l'application de la Partie 1 de la norme considérée insuffisamment précise pour ce faire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S'applique notamment aux matériaux bitumineux (amiante incorporée dans une matrice organique).</li> <li>▪ Pour des fractions massiques d'amiante estimées à &lt; 5 %.</li> <li>▪ Évocation dans le Tableau A.1 (p.43) de l'utilisation de chrysotile en général <math>\leq 1</math> % dans le revêtement bitumineux pour la construction des routes.</li> <li>▪ « Le comptage quantitatif de points par MLP ou le comptage massique par MEB ou MET peut être nécessaire » (p.43) pour l'analyse de revêtements bitumineux.</li> </ul>

Référence	Objectifs et balises	Commentaires
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ « L'absence d'amiante peut être confirmée par l'examen MEB ou MET » (Tableau A.1, p.43).</li> </ul>
<p>ISO 22262-1:2012, Norme internationale, 2012 (Suisse)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spécifier les procédures de prélèvement et d'<i>analyse qualitative</i> des matériaux en vrac commerciaux pour identifier la présence d'amiante en utilisant comme méthode première la MLP, au besoin comme alternative ou pour confirmer la présence en utilisant la MEB ou la MET.</li> <li>▪ Établir si l'échantillon contient une concentration &gt; 0,1 % d'amiante (chrysotile, amosite, crocidolite ou anthophyllite, ou combinaison de ces types).</li> <li>▪ Pour préciser si la concentration est de 0,5 ou de 1 % avec le souci de répondre aux exigences réglementaires, se référer aux procédures d'analyse quantitatives aux Parties 2 et 3 de la norme ISO 22262.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La norme s'applique aux « matériaux en vrac d'origine commerciale ».</li> <li>▪ Évocation dans l'introduction de l'utilisation du chrysotile dans le « revêtement routier ».</li> <li>▪ Évocation dans le Tableau A.1 (p.42) de l'utilisation de chrysotile en général &lt; 1 % dans le revêtement bitumineux pour la construction des routes.</li> <li>▪ La MLP ne permet pas de détecter ou d'identifier, de manière fiable, l'amiante dans certains types de produits commerciaux parce que les fibres sont inférieures à la résolution de la microscopie ou parce que le matériau de la matrice adhère trop fortement aux fibres. Traiter alors les échantillons (calcination, acide, ...) ou utiliser la microscopie électronique.</li> </ul>

## Prélèvement des échantillons

PRÉLÈVEMENTS Normes et guides	Méthode	Commentaires
IRSST, Méthode analytique 244, 2015 (Québec)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Récolte d'échantillons en vrac.</li> <li>▪ 3 à 10 g d'échantillon.</li> </ul>	---
Standards Australia, Norme AS 5370:2024, 2024 (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pour des matériaux durs, utiliser des outils comme : marteau et burin, scie-cloche rotative.</li> <li>▪ Disposer d'un agent mouillant (ex. : vaporisateur) pendant le prélèvement pour limiter la génération de poussière d'amiante dans l'air.</li> <li>▪ Nettoyage ensuite avec un aspirateur muni d'un filtre HEPA.</li> <li>▪ Volume de prélèvement pour un matériau homogène à l'examen visuel ou dont la nature du matériau est connue : 1 cm<sup>3</sup> minimum.</li> <li>▪ Minimum d'échantillon entre 5 g et 100 g.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réaffirme la norme ISO 22262-1 avec des modifications mineures<sup>6</sup>.</li> <li>▪ Détails évoqués sur les précautions sanitaires.</li> <li>▪ Généralités sur la représentativité de l'échantillon et le nombre d'échantillons.</li> </ul>
Eurofins, Norme AS 5370:2024, 2024 (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Échantillonnage doit être représentatif.</li> <li>▪ 5 g minimalement d'échantillon.</li> <li>▪ Balises au sujet de la taille, du volume et de la préservation des prélèvements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modifie la norme internationale ISO 22262-1:2012.</li> <li>▪ Intention de la norme : identifier <i>qualitativement</i> l'amiante dans les matériaux en vrac.</li> <li>▪ Emphase mise sur l'utilisation du microscope à lumière polarisée (MLP) pour son efficacité à détecter l'amiante et introduction des techniques avancées de microscopie.</li> </ul>
Rossigny, Guide d'application de la norme NF X 46-102 <sup>7</sup> 2020, 2024	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prélèvement travaux interurbains : un sondage tous les 500 m sur chaque voie sur les routes bidirectionnelles et un sondage tous les 1000 m sur chaque voie des autoroutes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intentions du guide : repérer l'amiante (amiante ajouté et amiante naturel) dans l'enrobé bitumineux <i>avant</i> la réalisation de</li> </ul>

<sup>6</sup> Par conséquent, nous ne répéterons pas les informations, mais porterons attention aux différences entre cette publication australienne de 2024 et la norme ISO de 2012.

<sup>7</sup> Nous n'avons pas pu accéder au texte original de la norme NF X 46-102. Par conséquent, les publications résumées dans ces tableaux rapportent des interprétations de la norme.

PRÉLÈVEMENTS Normes et guides	Méthode	Commentaires
<i>(France)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prélèvements travaux urbains : un sondage tous les 200 m sur chaque voie et un sondage tous les 500 m<sup>2</sup> sur une place.</li> <li>▪ Sondage d'abord par examen visuel : matériau, épaisseur des couches, nature, examen pétrographique, ...</li> <li>▪ À la suite de l'examen pétrographique, possible de conclure à l'absence d'amiante, sinon envoi des échantillons au laboratoire pour analyse.</li> </ul>	<p>travaux, mais pas les PMA, ni les fragments de clivage en consultant d'abord une base de données et, ensuite et au besoin, en commandant un diagnostic à partir de prélèvements.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bien que la norme ait été publiée en 2020, un arrêté est en cours d'élaboration pour en rendre l'application obligatoire.</li> </ul>
<p>RECORD, Recension et recommandations, 2018 <i>(France)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prélèvements de sols, roches ou granulats : absence de normes spécifiques en France : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucune norme précise sur la stratégie ou le nombre d'échantillons à prélever.</li> <li>- Adaptation de la stratégie selon le contexte (carrières, routes, tunnels).</li> <li>- S'appuyer sur la démarche générale des études de sols.</li> </ul> </li> <li>▪ Différentes stratégies d'échantillonnage possibles : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Expertise : Basée sur les données disponibles et le jugement d'expert.e <ul style="list-style-type: none"> <li>· Avantage : Simple et rapide à mettre en œuvre.</li> <li>· Inconvénients : Pas d'analyse statistique, potentiel biais et faible transparence.</li> </ul> </li> <li>- Aléatoire simple : Points répartis aléatoirement selon un tirage au sort. <ul style="list-style-type: none"> <li>· Avantages : Méthode objective, faible erreur systématique.</li> <li>· Inconvénient : Nécessite un grand nombre d'échantillons (coûteuse).</li> </ul> </li> <li>- Systématique : Points uniformément répartis selon un maillage prédéterminé. <ul style="list-style-type: none"> <li>· Avantages : Permet d'identifier les « points chauds » et de calculer les moyennes.</li> <li>· Inconvénient : Risque d'erreur systématique si le maillage coïncide avec des zones polluées.</li> </ul> </li> <li>- Stratifié : Subdivision en sous-zones homogènes avec répartition proportionnelle des points. <ul style="list-style-type: none"> <li>· Avantages : Précision accrue, moins d'échantillons nécessaires.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intentions de la recension : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Élaborer une synthèse des méthodes d'échantillonnage et des techniques d'analyse des fibres d'amiante sur des matrices solides.</li> <li>- Identifier et analyser les nouvelles techniques analytiques développées ou en cours de développement pour l'analyse des fibres d'amiante dans les matrices solides.</li> <li>- Proposer des recommandations pratiques visant à renforcer la fiabilité des différentes étapes du processus : échantillonnage, prélèvements, préparation des échantillons, analyse des fibres et interprétation des résultats.</li> </ul> </li> <li>▪ Évocation des règles de sécurité à respecter.</li> </ul>

PRÉLÈVEMENTS Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Inconvénients : Sensible aux erreurs dans la stratification et nécessite une bonne connaissance préalable de la zone.</li> <li>▪ Quantités à prélever : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selon l'hétérogénéité et la granulométrie des matériaux (cf. tableau, Figure 11, p.35) – voir le guide du California Department of Conservation qui propose des recommandations.</li> </ul> </li> <li>▪ Recommandations pour les prélèvements d'enrobés bitumineux : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zones homogènes : Deux prélèvements par zone homogène (couche de surface et couches sous-jacentes).</li> <li>- Zones hétérogènes : Investigations supplémentaires pour définir des lots homogènes. Prélèvement minimum par section de 200 m.</li> </ul> </li> <li>▪ Modalités pour les prélèvements en vue d'analyses par MET : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diamètre des carottes : entre 40 et 50 mm.</li> </ul> </li> <li>▪ Profondeur de carottage : Correspond à la profondeur de démolition ou de rabotage, augmentée d'une couche inférieure.</li> </ul>	
<p>ANSES, Rapport d'expertise et recommandations, 2017 (France)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Échantillonnage des matériaux manufacturés dimensionné en fonction des travaux prévus à l'aide des balises suivantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Norme Pr NF 46-020 (matériaux contenant de l'amiante dans les immeubles bâtis).</li> <li>- Norme ISO 22262-2 (dosage quantitatif de l'amiante par des méthodes gravimétriques et microscopiques).</li> <li>- Guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux publié par l'USIRF, DGT, CNAMTS, FNTP, INRS, OPPBTP, GNMSTBTP en 2013 (modalités d'échantillonnage des enrobés bitumineux).</li> </ul> </li> <li>▪ Identifier les zones homogènes et dimensionner l'échantillonnage en fonction de leur taille et de la profondeur de la couche d'intérêt.</li> <li>▪ Spécifiquement pour les chantiers routiers.</li> <li>▪ Un prélèvement tous les 200 mètres linéaires (guide USIRF) peut ne pas convenir aux chantiers urbains où plusieurs zones homogènes coexistent dans une même rue.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Étude des filières des granulats en France.</li> <li>▪ Synthèse des nouvelles informations sur la présence des PMA dans les matériaux.</li> <li>▪ Conditionnement et transport des échantillons détaillés.</li> </ul>

PRÉLÈVEMENTS Normes et guides	Méthode	Commentaires
Bordeaux Métropole, Guide, 2017 <sup>8</sup> (Bordeaux, France)	<p><u>Repérage sur une chaussée par carottage :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prélèvements pour des chantiers avec linéaire <math>\leq 200</math> m : 1 prélèvement au milieu de la future zone de travaux (zone homogène).</li> <li>▪ Prélèvements pour des chantiers avec linéaire <math>&gt; 200</math> m : autant de points de diagnostic que nécessaire sachant que la distance maximale entre deux points sera de 100 m.</li> <li>▪ Épaisseur de l'échantillon si rabotage de chaussée <math>&lt; 6</math> cm : 10 cm.</li> <li>▪ Épaisseur de l'échantillon si rabotage de chaussée <math>&gt; 6</math> cm : carottage sur toute l'épaisseur du corps de chaussée.</li> <li>▪ Épaisseur pour d'autres travaux : carottage sur toute l'épaisseur du corps de chaussée.</li> </ul> <p><u>Repérage dans un stock de gravats d'enrobé déjà constitué :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Division des stocks en tas d'environ <math>50 \text{ m}^3</math>, un volume de <math>80 \text{ m}^3</math> étant possible exceptionnellement.</li> <li>▪ Repérage à réaliser dans chacun des tas : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si <math>&lt; 30 \text{ m}^3</math> : 2 prélèvements.</li> <li>- Entre 30 et <math>80 \text{ m}^3</math> : 3 prélèvements.</li> </ul> </li> <li>▪ Si <math>&gt; 80 \text{ m}^3</math> : 4 prélèvements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intentions du guide : repérer l'amiante dans l'enrobé bitumineux <i>avant</i> la réalisation de travaux en consultant d'abord une base de données sur la présence connue d'amiante, ensuite et au besoin, en commandant un diagnostic à partir de prélèvements.</li> <li>▪ Résumé de la procédure en fonction de la longueur linéaire du chantier et des résultats du repérage d'amiante (p.12).</li> </ul>
ISO 22262-2:2014, Norme internationale, 2014 (Suisse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mode opératoire basé sur l'importance de la représentativité de l'échantillon : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tenir compte de l'homogénéité du matériau.</li> <li>- Garantir une taille suffisante d'échantillon.</li> <li>- Matériau finement divisé et homogène à l'œil nu ou au binoculaire ou reconnu comme tel d'après des connaissances antérieures : échantillon minimal d'environ <math>5 \text{ cm}^3</math>.</li> </ul> </li> <li>▪ Prélever un échantillon plus gros pour un matériau mélangé sur un chantier vu le risque accru d'inhomogénéité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intention de la norme : spécifier les procédures d'<i>analyse quantitative</i> des matériaux en vrac commerciaux à suivre après l'application des procédures d'analyse qualitative.</li> </ul>

<sup>8</sup> Les informations contenues dans cette publication sont comparables à celles publiées dans l'Étude RECORD (2018) bien que se trouvent dans cette dernière certains détails comme le diamètre des carottes à prélever (entre 40 et 50 mm).

PRÉLÈVEMENTS Normes et guides	Méthode	Commentaires
ISO 22262-1:2012, Norme internationale, 2012 (Suisse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Appareil d'échantillonnage pour un matériau dur : marteau, brin, scie-cloche rotative (scie emporte-pièce).</li> <li>▪ Aspirateur HEPA pour nettoyer la région autour de l'emplacement du site d'échantillonnage.</li> <li>▪ Agent mouillant peut être utilisé pour limiter la dispersion de poussière avant et pendant le prélèvement.</li> <li>▪ Mode opératoire basé sur l'importance de la représentativité de l'échantillon : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tenir compte de l'homogénéité du matériau.</li> <li>- Garantir une taille suffisante d'échantillon.</li> <li>- Prélever un échantillon minimal d'environ 1 cm<sup>3</sup>. 10 cm<sup>3</sup> « pour des matériaux comme des produits ignifuges pulvérisés » (p.12), « 1000 cm<sup>3</sup> pour des matériaux tels que la vermiculite en vrac » (p.12).</li> <li>- Prélever un échantillon plus gros pour un matériau mélangé sur un chantier vu le risque accru d'inhomogénéité.</li> <li>- Prélever plusieurs échantillons si le matériau est connu pour être non homogène.</li> <li>- Humidifier avec de l'eau l'emplacement du site d'échantillonnage si la libération de fibres aéroportées peut se produire.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intention de la norme : spécifier les procédures de prélèvement et d'analyse qualitative des matériaux en vrac commerciaux.</li> <li>▪ Rappel de l'importance de prendre les précautions de sécurité qui s'imposent.</li> <li>▪ Informations sur l'étiquetage, le rapport d'échantillonnage, la chaîne de contrôle, ...</li> </ul>

PRÉLÈVEMENTS Études	Objectif de l'étude	Méthode de prélèvement	Résultats	Commentaires
Marrocchino E., Telloli C., Faccia F., Rizzo A., Volpe L., Étude descriptive, 2020 (Italie)	Présenter une méthode de caractérisation de l'asphalte pour analyser les matériaux utilisés dans le pavage routier.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prélèvement par carotteuse humide de sections cylindriques de 5 cm.</li> <li>▪ Stockage individuel en double enveloppe pour éviter toute contamination.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Présence d'amiante observé par fraction granulométrique (XRD, MEB-EDS) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fibres d'amiante concentrées dans la fraction de 1 mm à 0,063 mm.</li> <li>- Absence de fibres dans la fraction fine (&lt; 0,063 mm), probablement en raison de leur taille trop petite pour être détectée par les instruments.</li> </ul> </li> <li>▪ MEB permet une caractérisation détaillée des ratios d'aspect et des relations texturales, mais sa capacité à différencier les phases amiantifères reste limitée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La microscopie optique permet une identification préliminaire des phases minéralogiques et des relations texturales, mais ne distingue pas toujours les polymorphes de la serpentine.</li> </ul>

PRÉLÈVEMENTS Études	Objectif de l'étude	Méthode de prélèvement	Résultats	Commentaires
			<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MET offre une discrimination haute résolution pour les particules allongées, permettant de distinguer les minéraux amiantifères réglementés et non réglementés.</li> <li>▪ La microtomographie aux rayons X synchrotron (<math>\mu</math>CT-XRS) fournit une visualisation 3D des phases minéralogiques sans perte de morphologie, bien qu'elle ne fournisse que des informations qualitatives et volumétriques.</li> </ul>	

## Préparation de l'échantillon

PRÉPARATION Normes et guides	Méthode préparatoire <sup>9</sup>	Commentaires
IRSST, Méthode analytique 244, 2015 (Québec)	<p><u>Observation macroscopique</u><sup>10</sup> :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Faire un examen visuel de l'échantillon dans son contenant et noter : homogénéité, apparence physique, morphologie et couleur.</li> <li>2. Prélever une quantité représentative de l'échantillon et le déposer dans une boîte de Petri.</li> <li>3. Briser des portions d'échantillon et examiner les fibres émergentes des fragments.</li> <li>4. Observer avec le stéréomicroscope la structure de l'échantillon en notant : morphologie, taille des fibres, présence de matériel non fibreux.</li> <li>5. Estimer le pourcentage de matériel fibreux présent par comparaison avec des mélanges de concentration connue.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les propriétés optiques des fibres peuvent être modifiées à la suite de l'utilisation d'acide ou de chaleur.</li> </ul>

<sup>9</sup> Rappelons que le résumé ne couvre pas les détails de la procédure de laboratoire.

<sup>10</sup> Rappelons que, vu l'importance de la norme de l'IRSST (2015) pour le demandeur, nous conservons en début de résumé le nom de la section où sont repérés les contenus.



PRÉPARATION Normes et guides	Méthode préparatoire <sup>9</sup>	Commentaires
	<p>6. En utilisant le stéréomicroscope, prélever des portions représentatives de fibres et préparer l'échantillon au regard de son homogénéité, de la présence de couches, de la présence de particules dures et larges, de l'adhésion de particules ou de la présence de liant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si l'échantillon semble non homogène : le mélanger à l'aide des pinces ou de la spatule avant son prélèvement ; s'il n'est pas encore homogène, prendre de petites portions représentatives de chaque type de matériau et les placer sur une lame propre.</li> <li>- Si l'échantillon est constitué de couches distinctes évidentes : les prélever et les analyser séparément.</li> <li>- Si l'échantillon contient des particules dures et larges : le broyer à l'aide d'un mortier et d'un pilon, sans broyer excessivement.</li> <li>- Si des particules comme la calcite et le gypse adhèrent fortement aux fibres : laver à l'acide chlorhydrique.</li> <li>- En présence de liant (goudron ou autres matériaux interférents) : traiter une portion de l'échantillon, sous une hotte, avec un solvant approprié pour dissoudre le liant.</li> </ul> <p><u>Préparation de l'échantillon :</u></p> <p>7. Déposer les fibres dans une goutte de liquide d'indice de réfraction sur une lame ou utiliser la capillarité entre lame et lamelle pour que les fibres baignent dans le liquide, puis enlever les bulles d'air.</p> <p>8. Identifier l'échantillon et prendre les précautions nécessaires pour minimiser la contamination par des matériaux très friables.</p>	
<p>Standards Australia, Norme AS 5370:2024, 2024 (Australie)</p>	<p><u>Préparation de l'échantillon :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Élimination des matériaux organiques par calcination : 400°C ± 30°C (plutôt que 485°C dans la version précédente).</li> <li>▪ Élimination des constituants solubles par traitement à l'acide.</li> <li>▪ Sédimentation et flottation.</li> <li>▪ Combinaison de méthodes de réduction gravimétrique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Réaffirme la norme ISO 22262-1 avec des modifications mineures<sup>11</sup>.</li> </ul>

<sup>11</sup> Par conséquent, nous ne répéterons pas les informations, mais porterons attention aux différences entre cette publication australienne de 2024 et la norme ISO de 2012.

PRÉPARATION Normes et guides	Méthode préparatoire <sup>9</sup>	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ultrasons : dispersion des matériaux dans un liquide (nouveau p/r à la version précédente).</li> </ul> <p><u>Procédure d'examen de l'échantillon :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Examen visuel de l'échantillon à l'œil, à la loupe ou au stéréomicroscope.</li> <li>2. Apprécier l'homogénéité, puis examiner chaque sous-échantillon et couches constituantes au stéréomicroscope (10x à 40x).</li> <li>3. Si les fibres sont caractéristiques, utiliser la MLP, la MEB ou la MET pour confirmer la présence de fibres.</li> <li>4. Si les fibres ne sont pas caractéristiques, effectuer une analyse des résidus.</li> </ol>	
<p>NYSDOH, ELAP 198.4, 2022 et 198.6, 2016 (États-Unis)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Règles générales (198.4) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliser la méthode de réduction gravimétrique de la matrice.</li> <li>- Retirer et suivre gravimétriquement le plus de matière possible pour réduire les interférences, accroître la précision et la fiabilité des résultats.</li> </ul> </li> <li>▪ Examen préliminaire de l'échantillon par microscopie stéréobinoculaire<sup>12</sup> (10x à 45x) pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguer les différents matériaux ou couches pour que chaque matériau distinct soit préparé et analysé séparément.</li> <li>- Déterminer l'homogénéité globale du matériau – pour un matériau homogène, le sous-échantillonnage pour la préparation et l'analyse peut être aléatoire.</li> <li>- Recherche et retrait des fibres saillantes pour une analyse par MLP, les fibres devant alors être exemptes de matrice.</li> <li>- Retrait de tous les matériaux étrangers organiques par exposition à la chaleur.</li> <li>- Retrait de tous les matériaux étrangers par digestion acide.</li> <li>- Préparation de la grille (198.4).</li> <li>- Préparation de lamelle.</li> <li>- Sauf pour les échantillons qui contiennent plus de 1% d'amiante à la suite d'une analyse par MET ou pour les échantillons préalablement analysés par MLP (198.4).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Choix des méthodes de préparation selon l'échantillon après la préparation préliminaire qui consiste à retirer tous les matériaux étrangers.</li> </ul>

<sup>12</sup> Les termes « microscopie stéréobinoculaire » et « stéréomicroscope » (par exemple évoqués dans la publication de l'IRSST) sont synonymes. Nous conserverons cependant l'expression utilisée dans chaque publication, traduite en français, au cas où des nuances seraient pertinentes pour les experts.es.

PRÉPARATION Normes et guides	Méthode préparatoire <sup>9</sup>	Commentaires
<p>Étude RECORD, Recension et recommandations, 2018 (France)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Règle générale : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les publications recensées recommandent le séchage et la réduction granulométrique des échantillons.</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Homogénéisation et broyage :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le broyage permet l'homogénéisation des échantillons et la séparation des fibres d'autres constituants.</li> <li>▪ D'autant plus important si les teneurs en amiante sont faibles ou très faibles.</li> <li>▪ « Le broyage mécanique d'un matériau amiantifère peut altérer le réseau cristallin des fibres d'amiante » (p.37) et créer des artefacts<sup>13</sup> notamment pour la méthode d'analyse par diffraction des rayons X.</li> <li>▪ Protocole de préparation (de Perkins et Harvey, 1993) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction du matériau à environ 10 µm, un broyeur à billes pouvant être utilisé à la température de l'azote liquide durant 10 minutes maximum.</li> <li>- Mise en solution d'une quantité de 50 à 100 mg d'échantillon, sous agitation, dans 1 l d'isopropanol.</li> <li>- Prélèvement d'une partie de la suspension à la pipette et filtrée sous vide pour analyse par diffraction des rayons X (XRD).</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Pour les enrobés bitumineux particulièrement... :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comme les fibres se trouvent exclusivement dans la partie bitumineuse, « l'analyse peut être faite après séparation d'un sous-échantillon du composant bitumineux » (p.38).</li> <li>▪ « Si la présence de fibres d'amiante est soupçonnée dans les granulats de l'enrobé bitumineux, le sous-échantillonnage doit être réalisé sans séparation bitume/granulats » (p.38).</li> </ul> <p><u>Concentration en fibres de l'échantillon :</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les fibres d'amiante se trouvent généralement dans la partie bitumineuse des enrobés.</li> </ul>

<sup>13</sup> Artefact : élément ou caractéristique observé dans les résultats d'analyse ou d'imagerie qui ne correspond pas à une propriété réelle du minerai ou de l'échantillon analysé (GDT, accédé le 30 janvier 2025).

PRÉPARATION Normes et guides	Méthode préparatoire <sup>9</sup>	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les techniques de MLP ou électroniques (MEB et MET) présentant des limites dans l'identification ou la quantification des fibres dans une matrice solide, les méthodes de préparation par réduction gravimétrique permettent de surmonter ces limites dans les cas: d'interférences entre les fibres d'amiante et les autres constituants, de distribution non homogène, de teneur trop faible par rapport aux limites de détection.</li> <li>▪ Réduction gravimétrique de la matrice selon trois méthodes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcination entre 300 et 500°C pour éliminer les constituants organiques.</li> <li>- Traitement à l'acide chlorhydrique pour éliminer, par exemple, la calcite, le gypse ou la portlandite.</li> <li>- Sédimentation pour éliminer de gros grains de sable ou de gros granulats résiduels après le traitement à l'acide.</li> <li>- Processus combiné : les trois précédentes méthodes peuvent être appliquées successivement pour isoler et récupérer efficacement les résidus non éliminés en vue de l'analyse.</li> </ul> </li> </ul>	
ANSES, Rapport d'expertise et recommandations, 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Préparation de l'échantillon en vue de son analyse.</li> <li>▪ En présence de carottes multicouches, analyse distincte de chacune des couches.</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Observation macroscopique préliminaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observation initiale sous loupe binoculaire ou stéréomicroscope (10x à 40x) pour cibler la prise d'essai à traiter.</li> </ul> </li> <li>2. Réalisation de lames pour une observation par MLP (modalités décrites dans la norme ISO 22262-1) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les modalités de préparation sont décrites dans la norme ISO 22262-1.</li> </ul> </li> <li>3. Préparation pour une analyse par MET : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantité minimale : 100 g.</li> <li>- Isolement du granulat sans le détériorer.</li> <li>- Fragmentation manuelle jusqu'à une taille permettant un broyage au mortier.</li> <li>- Trois sous-échantillons de 1 à 2 g chacun homogénéisés par broyage manuel avec brumisation d'eau pour réduire les poussières.</li> <li>- Calcination et attaque acide : <ul style="list-style-type: none"> <li>· Calcination dans un four à moufle (450°C ± 30°C, au moins 6 h) pour éliminer les matières organiques.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ol>	---

PRÉPARATION Normes et guides	Méthode préparatoire <sup>9</sup>	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Attaque acide avec HCl 1N pour solubiliser les constituants matriciels (NF ISO 22262-2).</li> <li>· Adaptations spécifiques pour les enrobés (élimination du liant bitumineux) ou les bétons (broyage préalable). <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manipulation sécuritaire.</li> </ul> </li> </ul> <p>4. Préparation de la prise d'essai :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Environ 20 mg d'échantillon broyé ou de résidus de calcination par prise d'essai.</li> <li>- Minimum de 3 prises pour les matériaux homogènes et 5 pour les matériaux hétérogènes.</li> </ul> <p>5. Traitement d'une prise d'essai :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajout d'acide et d'eau, agitation ultrasonique (5 min), filtration sur membrane polycarbonate prémétallisée, dépôt d'une seconde couche de carbone.</li> <li>- Préparation d'au moins 2 grilles MET par filtration directe ou méthode Laveur-Jaffe (NF X 43-050).</li> </ul>	
<p>ISO 22262-2:2014, Norme internationale, 2014 (Suisse)</p>	<p><u>Méthode de réduction gravimétrique de la matrice :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Élimination des matériaux organiques par calcination.</li> <li>▪ Élimination des constituants solubles par traitement à l'acide.</li> <li>▪ Sédimentation.</li> <li>▪ Combinaison : calcination, acide et sédimentation.</li> </ul> <p><u>Pour les matériaux bitumineux avec granulat :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taille du granulat <math>\leq 1</math> cm : poids minimal du sous-échantillon de 10 g environ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le « mode opératoire d'analyse optimal » pour le revêtement bitumineux dans la construction des routes serait la <i>calcination</i> (Tableau A.1, p.43), en sachant que la chrysotile, lorsque présente dans les revêtements bitumineux pour la construction de routes, correspond généralement à une concentration <math>\leq 1</math> %.</li> </ul>
<p>ISO 22262-1:2012, Norme internationale, 2012 (Suisse)</p>	<p><u>Type d'échantillon :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produits commerciaux dont les fibres d'amiante peuvent être séparées manuellement du matériau matriciel :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Avec des procédures appropriées de réduction de la matrice adaptées à la</li> </ul>

PRÉPARATION Normes et guides	Méthode préparatoire <sup>9</sup>	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soit en prélevant des fibres en surface ou des fibres fraîchement cassées.</li> <li>- Soit après traitement chimique, extraction acide ou calcination.</li> </ul> <p><u>Préparation de l'échantillon :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Élimination des matériaux organiques par calcination : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Chrysotile difficile à détecter lorsque dispersé dans des matrices organiques comme l'asphalte.</li> </ul> </li> <li>▪ Élimination des constituants solubles par traitement à l'acide : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Traitement à l'acide réduit légèrement les indices de réfraction du chrysotile.</li> </ul> </li> <li>▪ Sédimentation et flottation.</li> <li>▪ Combinaison : calcination, acide et sédimentation/flottation.</li> </ul> <p><u>Analyse par MLP :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Observation initiale de l'échantillon par stéréomicroscopie binoculaire (10x à 40x).</li> <li>2. Identification des fibres par MLP.</li> <li>3. Utilisation de liquides à indice de réfraction.</li> <li>4. Comparaison avec les étalons de référence de l'amiante.</li> </ol>	<p>nature de l'échantillon, la limite de détection peut être &lt; 0,01 %.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le type d'amiante présent dans le revêtement bitumineux pour la construction des routes est le chrysotile dans une concentration généralement &lt; 1 % (Tableau A.1, p.42).</li> </ul>

PRÉPARATION Études	Objectif de l'étude	Méthode préparatoire	Résultats	Commentaires
<p>Marrocchino E., Telloli C., Faccia F., Rizzo A., Volpe L., Étude descriptive, 2020 (Italie)</p>	<p>Présenter une méthode de caractérisation de l'asphalte pour analyser les matériaux utilisés dans le pavage routier.</p>	<p><u>Études pétrographiques et préparation :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse réalisée avec un spectromètre portable de fluorescence X (XRF) sur des surfaces intactes, sans préparation, ni lames minces pour éviter l'exposition aux fibres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Présence d'amiante repéré par fraction granulométrique (XRD, MEB-EDS) dans la fraction de 0,063 mm à 1 mm.</li> <li>▪ Absence totale de fibres dans la fraction fine (&lt; 0,063 mm), probablement en raison de leur taille trop petite pour être détectée par les instruments.</li> <li>▪ MET offre une discrimination haute résolution pour les particules allongées, permettant de distinguer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas de recommandations des auteurs sur les perspectives d'utilisation de la méthode. [Note du courtier]</li> </ul>

PRÉPARATION Études	Objectif de l'étude	Méthode préparatoire	Résultats	Commentaires
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fragments d'enrobés dégradés écrasés dans l'eau, tamisés, puis filtrés.</li> </ul> <p><u>Fractionnement des particules :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Deux fractions de taille obtenues par tamisage :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Granulats pulvérisés : diamètre entre 1 mm et 0,063 mm.</li> <li>- Granulats broyés : diamètre inférieur à 0,063 mm.</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Analyses réalisées :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Échantillons filtrés et séchés pour :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse par XRD sur poudre.</li> <li>- Observation par MEB-EDS.</li> </ul> </li> <li>▪ Échantillons pour l'analyse MEB-EDS non métallisés (échantillons préparés pour préserver leurs caractéristiques d'origine).</li> </ul>	<p>les minéraux amiantifères réglementés et non réglementés.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La microtomographie aux rayons X synchrotron (<math>\mu</math>CT-XRS) fournit une visualisation 3D des phases minéralogiques sans perte de morphologie, bien qu'elle ne fournisse que des informations qualitatives et volumétriques.</li> </ul>	
<p>Leocat, E., Rielland, C., &amp; Letessier, P., Étude descriptive, 2018 (France)</p>	<p>Développer une méthode interne pour analyser les gravillons et identifier les différents types de PMA.</p> <p>Faire reposer cette méthode</p>	<p><u>Masse d'échantillon recommandée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Masse nécessaire validée par des tests et fixée entre 50 et 70 g pour des granulats dont le diamètre est inférieur à 14 mm.</li> </ul> <p><u>Préparation des échantillons :</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cette procédure permet l'identification des fibres d'amiante asbestiformes avec une limite de détection &lt; 0,1 %.</li> <li>▪ Les échantillons standards LACS (Low Asbestos Content Scheme) des Health and Safety Laboratories (Angleterre) sont adaptés pour valider cette limite de détection.</li> <li>▪ La méthode analytique développée prend en compte l'hétérogénéité des</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'harmonisation de la terminologie serait une étape clé pour normaliser l'identification des PMA non asbestiformes, par exemple avec la classification de l'Association</li> </ul>

PRÉPARATION Études	Objectif de l'étude	Méthode préparatoire	Résultats	Commentaires
	<p>analytique sur une préparation rigoureuse des échantillons et sur l'utilisation de trois techniques à différentes résolutions.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Broyage en une poudre fine et homogène à l'aide de procédés manuels ou mécaniques avec un mortier à piston ou un broyeur à disque ou un broyeur à boulets.</li> </ul> <p><u>Objectifs du broyage :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Garantir une application uniforme de la force sur tous les échantillons analysés, libérer les fibres d'amiante potentielles du noyau des graviers et séparer les faisceaux d'amiante.</li> </ul> <p><u>Préparation pour l'analyse :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quelques mg de cette poudre utilisés pour préparer une grille MET de 3 mm de diamètre.</li> <li>▪ Poudre placée dans un mortier d'agate avec de l'acide chlorhydrique.</li> <li>▪ Après un bain à ultrasons de 5 minutes, filtrage des particules en suspension, puis recouvrement par une pellicule de carbone.</li> </ul>	<p>matériaux naturels et distingue les PMA à morphologie asbestiforme ou non.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les trois techniques analytiques complémentaires, associées à une expertise géologique, garantissent des résultats fiables et cohérents, soit : <ul style="list-style-type: none"> <li>- MET;</li> <li>- MEB;</li> <li>- Microsonde électronique (EPMA).</li> </ul> </li> <li>▪ L'application des critères dimensionnels publiés par l'Environmental Protection Agency (EPA) permet de distinguer les PMA asbestiformes de leurs homologues non asbestiformes.</li> </ul>	<p>minéralogique internationale.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas de recommandations des auteurs sur les perspectives d'utilisation de la méthode. [Note du courtier]</li> </ul>



## Analyse qualitative de l'échantillon<sup>14</sup>

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
IRSST, Méthode analytique 244, 2015 (Québec)	<p><u>Observation microscopique : analyse qualitative :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Observation de l'échantillon par MLP à des facteurs de grossissements variant de 100x à 400x pour identifier les fibres selon différentes propriétés optiques :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie;</li> <li>- Indice de réfraction;</li> <li>- Couleur;</li> <li>- Pléochroïsme;</li> <li>- Biréfringence;</li> <li>- Extinction;</li> <li>- Signe d'allongement;</li> <li>- Couleurs de dispersion.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les fibres d'amiante sont définies comme ayant un rapport longueur:diamètre supérieur à 3:1, tous diamètres confondus.</li> <li>▪ À la méthode générale s'ajoutent des précisions pour l'identification : du chrysotile, de la crocidolite, de l'amosite et de l'anthophyllite, de la trémolite et de l'actinolite qui partagent une même méthode spécifique.</li> </ul>
Standards Australia, Norme AS 5370:2024, 2024 (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Techniques les plus appropriées selon les trois principales caractéristiques de l'amiante :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie asbestiforme : MLP, MEB et MET;</li> <li>- Structure cristalline : MLP, MET-SAED et XRD;</li> <li>- Composition élémentaire : MEB-EDS, MET-EDS et XRF;</li> <li>- Morphologie, structure et composition : MET-EDS-SAED.</li> </ul> </li> </ul> <p><u>Procédure d'examen de l'échantillon :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Examen visuel de l'échantillon à l'œil, à la loupe ou au stéréomicroscope.</li> <li>2. Apprécier l'homogénéité, puis examiner chaque sous-échantillon et couches constituantes au stéréomicroscope.</li> <li>3. Si les fibres sont caractéristiques, utiliser la MLP, la MEB ou la MET pour confirmer la présence de fibres.</li> <li>4. Si les fibres ne sont pas caractéristiques, effectuer une analyse des résidus :</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Référence sur les techniques les plus appropriées tirée de Lawler, W. et Strautins, C., 2020 dans Materials Australian Magazine, December Issue.</li> <li>▪ Les résultats des fractions massiques sont des estimations. S'il est nécessaire de prendre des décisions critiques dans la fourchette de résultats allant de « non détecté » à 5 %, utiliser une méthode quantitative d'analyse.</li> <li>▪ Voir l'algorithme décisionnel versé à l'Annexe 5.</li> </ul>

<sup>14</sup> Le lecteur trouvera aux Annexes 3 et 4 un tableau comparatif des différentes techniques d'analyse.

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prendre deux échantillons distincts représentatifs pesés et les réduire au besoin au broyeur, au mortier, ...</li> <li>- Pour MLP : appliquer un liquide à indice de réfraction en accord avec les fibres suspectées entre des lames de microscopes.</li> <li>- Pour microscope électronique : placer l'échantillon sur le porte-échantillon ou sur la grille.</li> <li>- Lorsque deux sous-échantillons contiennent des fibres d'amiante, et que le poids de celles-ci est supérieur à 0,01 % m/m par sous-échantillon, la présence d'amiante est confirmée.</li> <li>- Inversement, lorsque les fibres observées ne sont pas de l'amiante, ou que leur poids total par sous-échantillon est inférieur à 0,01% m/m, l'amiante n'est pas détecté.</li> </ul>	
Eurofins, Norme AS 5370:2024, 2024 (Australie)	<p><u>Procédure d'identification qualitative en 3 étapes :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Examen visuel initial : évaluer la matrice de l'échantillon et identifier un potentiel contenu d'amiante.</li> <li>2. Examen par MLP en appréciant les caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologiques;</li> <li>- Indices de réfraction;</li> <li>- Biréfringence;</li> <li>- Angles d'extinction.</li> </ul> </li> <li>3. Confirmation additionnelle si requis, pour plus de précision, à l'aide de : MEB, MET ou EDS.</li> </ol>	---
NYSDOH, ELAP 198.4, 2022 (États-Unis)	<p><u>Identification :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identification d'au moins 4 fibres d'amiante dans l'échantillon pour apprécier chacun des critères : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie;</li> <li>- Diffraction d'électrons;</li> <li>- Composition élémentaire par EDS.</li> </ul> </li> </ul>	---
HSE, HSG248, Guide technique, 2021 (Royaume-Uni)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Retrait de l'échantillon de son emballage.</li> <li>2. Examen visuel préliminaire de l'ensemble de l'échantillon en vrac pour évaluer l'échantillon et le type de matériau :</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dans la liste des variétés de matériaux en vrac, aucune indication spécifique au sujet de</li> </ul>

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Homogène ou non homogène (i.e. en couches).</li> <li>- Si échantillons non homogènes et composés de couches de matériaux différents ou échantillons de débris constitués de plusieurs matériaux différents : examen de chacune des couches ou de chacun des matériaux.</li> <li>3. Prélèvement d'un sous-échantillon représentatif.</li> <li>4. Recherche détaillée et approfondie au stéréomicroscope (8x-40x) effectuée pour classer les types de fibres présents.</li> <li>5. Traitement d'échantillon mécanique ou chimique entrepris pour libérer ou isoler les fibres.</li> <li>6. Montage des fibres représentatives de chaque type d'amiante suspecté dans des liquides RI appropriés sur des lames de microscope.</li> <li>7. Identification des différents composants fibreux sélectionnés à l'aide de MLP : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie;</li> <li>- Couleur, pléochroïsme;</li> <li>- Biréfringence;</li> <li>- Caractéristiques d'extinction;</li> <li>- Signes d'élongation;</li> <li>- Indices de réfraction.</li> </ul> </li> <li>8. Si non identification d'amiante : recherches supplémentaires à partir de petites fibres d'amiante sur des sous-échantillons aléatoires à l'aide de MLP.</li> <li>9. Utilisation recommandée de la microscopie électronique avec EDS ou SAED, de XRD ou de spectroscopie infrarouge pour identifier des fibres d'une largeur inférieure à 1 µm ou distinguer entre trémolite et actinolite ou entre trémolite et anthophyllite.</li> </ul>	<p>la préparation d'échantillons d'asphalte, par exemple au tableau de la p.117, et aucune référence explicite pour les termes « asphalt » ou « bitum* » lié au revêtement de route.</p> <p>Optons pour ne pas résumer les précisions sur les motifs de recourir au traitement acide, au broyage, ... [Note du courtier]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informations détaillées sur les précautions à prendre pour la santé des analystes et la justesse des résultats.</li> <li>▪ Informations détaillées sur les procédures de laboratoire et les repères pour l'analyse des différents types d'amiante.</li> <li>▪ Utilisation recommandée de caméras liées à l'ordinateur.</li> </ul>
<p>Étude RECORD, Recension et recommandations, 2018 (France)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identification des fibres par MLP en appréciant les propriétés optiques des minéraux : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie des particules;</li> <li>- Couleur, pléochroïsme;</li> <li>- Biréfringence;</li> <li>- Caractéristiques d'extinction;</li> <li>- Signes d'élongation;</li> <li>- Indices de réfraction.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Référence à la norme ISO 22262-1 décrite par Perkins et Harvey en 1993.</li> <li>▪ Référence au rapport ANSES 2015 : actuellement, il n'existe pas de méthode de routine pour différencier de manière formelle les fragments de clivage des fibres asbestiformes.</li> </ul>

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilisation d'une EDS lors d'une analyse par MEB ou MET pour identifier le type de fibre.</li> <li>▪ Les fragments de clivage des amphiboles ont des caractéristiques morphologiques similaires à celles des fibres asbestiformes.</li> <li>▪ La distinction entre ces deux types de fibres est généralement difficile, voire impossible, par MET sans techniques complexes, comme la MEB à effet de champ (FE).</li> </ul>	
ANSES, Rapport d'expertise et recommandations, 2017	<p><u>Stratégie analytique – naturels meubles ou pulvérulents ou manufacturés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 1<sup>re</sup> étape : recherche/identification en MLP pour décrire les phases minérales en appliquant les préconisations des parties pertinentes de la norme ISO 22262-1.</li> <li>▪ 2<sup>e</sup> étape : analyse par MET si <u>absence</u> de minéraux ciblés déterminée par MLP. Étape facultative si <u>présence</u> de minéraux ciblés déterminée par MLP : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recherche de la présence de PMA dans l'échantillon préparé (c'est-à-dire de particules minérales présentant un ratio L/D &gt; 3) puis à caractériser ces PMA selon leurs critères chimiques et cristallographiques, afin d'identifier d'éventuelles PMA d'intérêt<sup>15</sup>.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dès qu'une espèce minérale d'intérêt est identifiée sur une prise d'essai, quelle que soit l'étape (MLP, microsonde électronique ou MET), il est inutile de poursuivre la chaîne analytique ou les essais sur les prises restantes.</li> <li>▪ Les analyses par microsonde électronique ne sont pas adaptées pour des matériaux hétérogènes.</li> </ul>

<sup>15</sup> Les particules minérales allongées d'intérêt sont : actinolite, anthophyllite, trémolite, amosite/grunérite, crocidolite/riébeckite, fluoro-édénite, winchite, richtérite, ériónite, chrysotile et antigorite. (p.2)

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<p>Chaîne analytique à effectuer sur 3 ou 5 prises d'essai selon l'homogénéité du matériaux Si identification d'une espèce minérale d'intérêt sur 1 prise d'essai, arrêt itération</p> <p>Résultat : Présence d'espèces minérales d'intérêt</p> <p>Résultat : Absence d'espèces minérales d'intérêt (après 3 itérations)</p>	
ANSES, Rapport d'expertise et recommandations, 2017	<p><u>Feuille de calcul basée sur la classification proposée par Hawthorne pour les amphiboles, utile pour l'identification des amphiboles :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Développement par Locock (2014)</li> <li>▪ Objectif : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programme Excel conçu pour classer les analyses chimiques des amphiboles orthorhombiques et monoclinique.</li> <li>- Basé sur la nomenclature 2012 de l'International Mineralogical Association.</li> </ul> </li> <li>▪ Données requises : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse chimique sous forme de teneurs en oxydes et halogènes (en % massique)</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exemple d'enregistrement des données selon une classification reconnue. [Note du courtier]</li> </ul>

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fonctionnalités principales : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estimation des rapports <math>Fe^{3+}/\Sigma Fe</math> et <math>Mn^{3+}/\Sigma Mn</math>.</li> <li>- Estimation de la teneur en OH.</li> <li>- Sélection automatique ou manuelle des schémas de normalisation des cations.</li> <li>- Génération de la formule chimique basée sur 24 anions.</li> <li>- Classification en groupe, sous-groupe et nom d'espèce avec préfixes chimiques obligatoires.</li> <li>- Possibilité d'exportation des résultats dans un format compatible avec le programme AMPH2012.</li> </ul> </li> <li>▪ Limitations : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les préfixes liés aux groupes d'espace (proto-) et les suffixes structuraux (-P21/m) ne sont pas attribués.</li> </ul> </li> <li>▪ Capacité de traitement : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compatible avec de grands ensembles de données (jusqu'à 200 analyses simultanées).</li> <li>- Inclut des résultats calculés pour plus de 650 analyses d'amphiboles issues de la littérature.</li> </ul> </li> </ul>	
<p>NYSDOH, ELAP 198.6, 2016 (États-Unis)</p>	<p><u>Identification</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identification d'au moins 4 fibres d'amiante dans l'échantillon pour apprécier chacun des critères : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie;</li> <li>- Indice de réfraction de la longueur et de la largeur de la fibre;</li> <li>- Signe d'allongement;</li> <li>- Pléochroïsme et couleur;</li> <li>- Angle d'extinction le long de la longueur de la fibre;</li> <li>- Biréfringence.</li> </ul> </li> </ul>	---
<p>ISO 22262-1:2012, Norme internationale, 2012 (Suisse)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Examen d'un échantillon représentatif à l'aide d'un stéréomicroscope binoculaire.</li> <li>2. Retrait de fibres types placées ensuite dans un milieu d'immersion liquide approprié sur des lames.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Description détaillée des caractéristiques de l'amiante.</li> <li>▪ Interférents rapportés : amiante chauffé, chrysotile lixivié, fibres</li> </ul>

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<p>3. Examen par MLP en appréciant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie;</li> <li>- Couleur et pléochroïsme;</li> <li>- Indices de réfraction.</li> </ul> <p>4. Confirmation ou réduction des ambiguïtés en utilisant la MEB ou la MET :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Possible d'employer la diffraction électronique qui peut être qualitative ou quantitative, se pratiquant généralement avec un MET.</li> <li>- Lorsque qualitative : examen visuel des caractéristiques générales du diagramme de diffraction électronique.</li> </ul> <p><u>Séquence d'analyse</u><sup>16</sup> :</p> <p>1. Examen visuel préliminaire de l'ensemble de l'échantillon pour évaluer : type d'échantillon et traitement d'échantillon, si requis :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Décrire le type de matériau.</li> <li>- Établir si des fibres sont présentes.</li> <li>- Examiner l'échantillon au microscope stéréoscopique.</li> <li>- Déterminer, si possible, le nombre de types de fibres présents.</li> <li>- Noter : aspect, couleur, texture.</li> <li>- En présence d'échantillons non homogènes ou stratifiés, décrire chaque couche ou partie de l'échantillon.</li> </ul> <p>2. Traitement de l'échantillon requis pour libérer ou isoler les fibres :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fragmenter les échantillons non friables, puis examiner les nouvelles arêtes avec l'aide du microscope stéréoscopique.</li> <li>- En présence de « gros morceaux de matériaux durs » : possible de broyer l'échantillon ou de l'abraser.</li> <li>- Traiter à l'acide, au besoin.</li> <li>- Traiter de manière prolongée dans un solvant pour les substances organiques comme l'asphalte afin d'éliminer la matrice.</li> </ul> <p>3. Recherche au microscope stéréoscopique pour classer les types de fibres suspectés :</p>	<p>aux propriétés similaires à celles de l'amiante.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spectres EDS décrits.</li> </ul>

<sup>16</sup> On comprend que la « Séquence d'analyse » détaille la séquence générale exposée dans le précédent chapitre.

ANALYSE QUALITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possible de détecter les fibres d'amiante pour de nombreux matériaux dans la gamme du microscope.</li> <li>- Détecter les petits faisceaux de fibres ou les fibres individuelles.</li> <li>- Assigner provisoirement les types de fibre en fonction de leur aspect.</li> <li>4. Fibres représentatives placées dans des liquides d'indices de réfraction (IR) appropriés sur les lames de microscope : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sélectionner le liquide de montage IR le plus approprié.</li> <li>- Placer la fibre sur une lame et ajouter une goutte de liquide IR.</li> <li>- Préparer au moins 2 lames pour l'examen par MLP.</li> </ul> </li> <li>5. Identification des composants fibreux par MLP : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Observation des propriétés : <ul style="list-style-type: none"> <li>· Morphologie;</li> <li>· Couleur et pléochroïsme;</li> <li>· Biréfringence</li> <li>· Caractéristiques d'extinction;</li> <li>· Signe d'allongement;</li> <li>· Indices de réfraction.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>6. Si aucune trace n'est détectée : préparation d'autres lames avec des prises d'essai aléatoires et recherche de la présence d'amiante par MLP.</li> <li>7. Au besoin, confirmation ou réduction des ambiguïtés en utilisant la MEB : <ul style="list-style-type: none"> <li>- MEB équipé d'un EDS.</li> <li>- Sélectionner des fibres représentatives à partir du résidu restant après traitement et les placer sur un porte-échantillon.</li> <li>- Analyser l'échantillon à l'aide des spectres EDS.</li> </ul> </li> <li>8. Au besoin, confirmation ou réduction des ambiguïtés en utilisant la MET : <ul style="list-style-type: none"> <li>- MET équipée d'un EDS.</li> <li>- Sélectionner des fibres représentatives à partir du résidu restant après traitement et les placer sur une grille MET.</li> <li>- Analyser l'échantillon à l'aide des spectres EDS.</li> </ul> </li> </ul>	



## Analyse quantitative de l'échantillon<sup>17</sup>

ANALYSE QUANTITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
IRSST, Méthode analytique 244, 2015 (Québec)	<p><u>Principe de la méthode :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estimation du pourcentage volume/volume (v/v) de fibres à partir de l'examen visuel fait au stéréomicroscope et par MLP.</li> <li>▪ En cas de doute sur l'identité ou la classification de l'échantillon, confirmation de la présence des minéraux serpentines ou amphiboles par XRD.</li> <li>▪ Si le matériau contient des fibres fines d'amiante, analyse de l'échantillon à l'aide d'un MET selon la méthode ELAP 198.4.</li> </ul> <p><u>Analyse quantitative :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estimation du pourcentage de matériel fibreux de l'échantillon à partir des observations macroscopiques.</li> <li>▪ Préparation d'au moins six montages à partir de prélèvements aléatoires dans différentes parties de l'échantillon pour observation microscopique.</li> <li>▪ Préparation d'au moins neuf montages pour de faibles teneurs en amiante.</li> <li>▪ Balayages de ces préparations au microscope pour estimer les pourcentages de chaque composante.</li> <li>▪ Formulation d'une estimation quantitative de la teneur en amiante en se basant sur les observations macroscopiques et microscopiques.</li> <li>▪ Comparaison avec des préparations de référence</li> <li>▪ Schéma décisionnel pour les faibles pourcentages (p.11).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ « Si les estimations concordent assez bien entre elles, l'évaluation moyenne est normalisée à 100 %. » (p.10).</li> <li>▪ Rappelons que l'IRSST propose une analyse « semi-quantitative ».</li> </ul>

<sup>17</sup> Le lecteur trouvera aux Annexes 3 et 4 un tableau comparatif des différentes techniques d'analyse.

ANALYSE QUANTITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<p style="text-align: center;"><b>Échantillon macroscopique</b></p> <pre> graph TD     A[Échantillon macroscopique] --&gt; B[Homogène]     A --&gt; C[Non homogène**]     B --&gt; D[Stéréomicroscope Recherche fibres et fibrilles totales dans matrice (% total) (prélèvement de fibres individuelles pour identification MLP)]     D --&gt; E[Très peu de fibres observées (après plusieurs recherches)]     D --&gt; F[Quantité de fibres facilement observables]     E --&gt; G[Neuf montages aléatoires* (pour % entre trace et &lt; 1 %)]     G --&gt; H[MLP]     H --&gt; I[Pas de fibre Non détecté (ND)]     H --&gt; J[Quatre fibres ou moins TRACE]     F --&gt; K[Au moins six montages aléatoires Concentrations (1-100 %)]     K --&gt; L[Fibres dans chaque (ou plusieurs) montage(s) &lt; 1 % et +] </pre>	
Standards Australia, Norme AS 5370:2024, 2024 (Australie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les résultats des fractions massiques à la suite de l'analyse qualitative sont des estimations. S'il est nécessaire de prendre des décisions critiques dans la fourchette de résultats allant de « non détecté » à 5 %, utiliser une méthode quantitative d'analyse.</li> </ul>	---
Bobeau et coll., NF X46-102, Guide d'application, 2024 (Rhône-Alpes, France)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pour les matériaux, l'analyse se fait à l'aide de MLP.</li> <li>Si le résultat est négatif : poursuivre avec le MET.</li> </ul>	---
NYSDOH, ELAP 198.4, 2022 et 198.6, 2016 (États-Unis)	<p><u>Quantification</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suivi des pertes de matériau gravimétriquement à chaque étape de préparation.</li> <li>Calcul du pourcentage d'amiante par rapport au pourcentage de matériau de matrice inorganique insoluble restant pour les deux préparations de grille de MET, sauf lorsque les concentrations finales d'amiante dépassent 10 %.</li> <li>Pour les matériaux contenant de l'amiante à forte concentration : possible de baser les estimations sur une seule grille, l'analyste gardant à l'esprit l'épaisseur relative des différents matériaux sur la grille.</li> </ul>	---

ANALYSE QUANTITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ % amiante = (masse résiduelle après réduction/masse de l'échantillon original) x % moyen de l'amiante dans les deux grilles analysées.</li> <li>▪ Application de règles d'arrondissement à deux chiffres significatifs.</li> <li>▪ Si l'analyse MET donne des concentrations d'amiante de 1 % ou moins et que l'analyse MLP n'a pas été effectuée, réalisation de deux préparations de lamelles examinées par MLP pour détecter des traces d'amiante ; si de l'amiante est détecté : préparation de deux lamelles supplémentaires qui seront quantifiées selon la règle précédente.</li> </ul>	
<p>Étude RECORD, Recension et recommandations, 2018 (France)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Techniques d'analyse les plus utilisées : <ul style="list-style-type: none"> <li>- MLP;</li> <li>- MEB;</li> <li>- MET;</li> <li>- Microscopie optique à contraste de phase (MOCP) pour la caractérisation des fibres dans l'air.</li> </ul> </li> <li>▪ D'autres techniques plus marginales peuvent compléter ces analyses microscopiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>- XRD;</li> <li>- Spectrométrie infrarouge;</li> <li>- Spectrométrie Raman.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ « La toxicité de l'amiante étant liée à la longueur et à la largeur des fibres, les méthodes d'analyses sont utilisées pour fournir des données sur ces paramètres » (p.39).</li> </ul>
<p>Étude RECORD, Recension et recommandations, 2018 (France)</p>	<p><u>Détermination de la teneur en fibres :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estimation visuelle de la teneur en fibres en utilisant la MLP, la MEB ou la MET par comparaison avec un échantillon standard : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthode d'analyse utilisée pour démontrer la conformité à un seuil réglementaire, mais pas pour démontrer qu'une limite réglementaire est dépassée.</li> </ul> </li> <li>▪ Détermination du nombre de fibres par comptage de points à la surface de la platine des différents microscopes : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Règles de comptage selon Perkins et Harvey (1993), citées dans le guide.</li> </ul> </li> <li>▪ Détermination de la fraction massique de fibres par comptage de fibres.</li> </ul> <p><u>Analyse quantitative des fibres par MEB :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estimation visuelle et comparaison avec des échantillons standards.</li> <li>▪ Comptage de points ou comptage de fibres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ « La norme ISO 22262-1 indique que l'estimation visuelle de la teneur en fibres produit systématiquement une surestimation des résultats. » (p.44).</li> </ul>

ANALYSE QUANTITATIVE Normes et guides	Méthode	Commentaires
<p>ISO 22262-2:2014, Norme internationale, 2014 (Suisse)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Après réduction gravimétrique, quantification de l'amiante dans le résidu final à l'aide d'une des méthodes suivantes, sélectionnées selon la nature du résidu final et les limites de contrôle en vigueur, des modes opératoires « conçus de façon à obtenir une valeur suffisamment fiable (...) à moindre effort et moindre coût » (p.19) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesurages gravimétriques seuls : si le résidu final est pratiquement entièrement constitué d'amiante.</li> <li>- Estimation visuelle par observation MLP, MEB ou MET.</li> <li>- Comptage de points par MLP ou MEB.</li> <li>- Détermination de la fraction massique en poids d'amiante à partir de mesurages de fibres effectués par MLP, MEB ou MET.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Quantifier l'amiante au-delà de l'analyse de la Partie 1 de la norme « n'est pas forcément nécessaire. Cela dépend de la limite réglementaire en vigueur relative à la définition d'un matériau contenant de l'amiante » (p.6).</li> <li>▪ Selon les Tableaux 1 et A.1, pour des revêtements bitumineux, l'analyse quantitative serait nécessaire.</li> <li>▪ Méthode d'analyse quantitative différente pour la vermiculite.</li> </ul>

ANALYSE QUANTITATIVE Études	Objectif de l'étude	Méthode d'analyse	Résultats	Commentaires
<p>Durczak, K., et al., Revue de littérature, 2024 (Pologne)</p>	<p>Éclairer les pratiques de gestion des déchets d'amiante, en offrant une compréhension approfondie des principales initiatives liées à l'élimination de l'amiante.</p> <p>Proposer une revue complète des meilleures pratiques, des technologies innovantes et des stratégies sûres pour la gestion de l'amiante.</p>	<p><u>Méthodes d'analyses les plus couramment utilisées :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Microscopie optique : observation des fibres à fort grossissement, facilitant leur identification en fonction de caractéristiques morphologiques spécifiques.</li> <li>▪ Microscopie électronique, MEB ou MET : résolution supérieure permettant une analyse détaillée de la structure des fibres d'amiante et de leurs interactions avec d'autres matériaux.</li> </ul> <p><u>Techniques d'analyse complémentaires :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XRF utilisée pour analyser la composition chimique des fibres ; MEB particulièrement adaptée à l'analyse des surfaces d'échantillons ; MET permet d'examiner l'intérieur des fibres à l'échelle atomique.</li> <li>▪ XRD pour déterminer la structure cristalline de l'amiante, assurant ainsi son identification sans ambiguïté, et sa différenciation d'autres minéraux fibreux.</li> </ul> <p><u>Détection et quantification de l'amiante :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ XRD : déterminer quantitativement la teneur en amiante dans un échantillon, un aspect crucial pour l'évaluation des risques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Certaines technologies ont désormais atteint un niveau de maturité suffisant pour s'attaquer au problème des matériaux contenant de l'amiante, tels que : <ul style="list-style-type: none"> <li>- La dégradation thermique de l'amiante.</li> <li>- Le processus de fusion de l'amiante-ciment avec l'ajout de chaux et de quartz, tant en laboratoire qu'en conditions industrielles.</li> </ul> </li> <li>▪ Toutes les techniques énumérées actuellement très coûteuses par rapport à l'enfouissement en décharge.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Étude au sujet de la gestion des déchets.</li> <li>▪ XRF et XRD permettent des analyses sur place, notamment dans les zones de stockage de matières premières, offrant des évaluations rapides et précises.</li> </ul>

ANALYSE QUANTITATIVE Études	Objectif de l'étude	Méthode d'analyse	Résultats	Commentaires
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combinaison microscopie optique + XRD, associée avec EDS : approche complète pour l'identification et l'analyse des fibres d'amiante, garantissant une grande précision et fiabilité des résultats.</li> </ul> <p><u>Spectroscopie Raman :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technique analytique avancée pour identifier des minéraux amiantifères en se basant sur leurs spectres caractéristiques.</li> <li>▪ Méthode non invasive qui permet l'analyse des échantillons sans les détruire.</li> </ul>		
<p>Marrocchino E, Telloli C, Faccia F, Rizzo A, Volpe L., Étude descriptive, 2020 (Italie)</p>	<p>Présenter une méthode de caractérisation de l'asphalte pour analyser les matériaux utilisés dans le pavage routier.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caractérisation chimique et minéralogique réalisée par XRF.</li> <li>▪ Analyse minéralogique réalisée par XRD sur poudre.</li> <li>▪ Caractérisation morphologique et chimique réalisé par MEB.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Présence d'amiante observé par fraction granulométrique (XRD, MEB-EDS) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fibres d'amiante concentrées dans la fraction de 1 mm à 0,063 mm.</li> <li>- Absence de fibres dans la fraction fine (&lt; 0,063 mm), probablement en raison de leur taille trop petite pour être détectée par les instruments.</li> </ul> </li> <li>▪ MEB permet une caractérisation détaillée des ratios d'aspect et des relations texturales, mais sa capacité à différencier les</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les auteurs n'émettent pas de recommandation sur la pertinence ou l'utilisation de leurs résultats. [Note du courtier]</li> </ul>

ANALYSE QUANTITATIVE Études	Objectif de l'étude	Méthode d'analyse	Résultats	Commentaires
			<p>phases amiantifères reste limitée.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MET offre une discrimination haute résolution pour les particules allongées, permettant de distinguer les minéraux amiantifères réglementés et non réglementés.</li> <li>▪ La microtomographie aux rayons X synchrotron (<math>\mu</math>CT-XRS) fournit une visualisation 3D des phases minéralogiques sans perte de morphologie, bien qu'elle ne fournisse que des informations qualitatives et volumétriques.</li> </ul>	
<p>Leocat, E., Rielland, C., &amp; Letessier, P., Étude descriptive, 2018 (France)</p>	<p>Développer une méthode interne pour analyser les gravillons et identifier les différents types de PMA.</p> <p>Faire reposer cette méthode analytique sur une préparation rigoureuse des échantillons et sur l'utilisation de trois techniques à</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Préparation précise des échantillons.</li> <li>▪ Trois techniques d'analyse à différentes résolutions : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse pétrologique à l'aide d'un stéréomicroscope.</li> <li>- Analyse minéralogique avec un MLP en observant six critères : <ul style="list-style-type: none"> <li>· Morphologie;</li> <li>· Pléochroïsme;</li> <li>· Biréfringence;</li> <li>· Angle d'extinction;</li> <li>· Signe d'élongation;</li> <li>· Couleurs de dispersion avec des liquides à indices de réfraction.</li> </ul> </li> <li>- Analyse structurale réalisée avec MET.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La méthode analytique développée prend en compte l'hétérogénéité des matériaux naturels et distingue les PMA à morphologie asbestiforme ou non.</li> <li>▪ Les trois techniques analytiques complémentaires, associées à une expertise géologique, garantissent des résultats fiables et cohérents, soit : <ul style="list-style-type: none"> <li>- MET;</li> <li>- MEB;</li> <li>- Microsonde électronique (EPMA).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La normalisation de ce processus à l'échelle nationale est essentielle pour homogénéiser les résultats des laboratoires.</li> <li>▪ Recommandations pour homogénéiser les résultats des analyses :</li> </ul>

ANALYSE QUANTITATIVE Études	Objectif de l'étude	Méthode d'analyse	Résultats	Commentaires
	différentes résolutions.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Procédure renforcée par l'expertise de géologues (compétence non nécessaire pour les produits manufacturés).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'application des critères dimensionnels publiés par l'Environmental Protection Agency (EPA) permet de distinguer les PMA asbestiformes de leurs homologues non asbestiformes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La création d'échantillons standards.</li> <li>- Une analyse avec des techniques performantes telles le MET, le MEB et EPMA.</li> <li>- Une standardisation terminologique pour homogénéiser l'identification des PMA non asbestiformes.</li> </ul>
Chyc-Cies, J., & Wineberger, B. G., Rapport d'évaluation sanitaire 2009 (Alberta, Canada)	Déterminer le potentiel d'exposition des travailleurs.euses à l'amiante lors des différentes activités reliées aux infrastructures routières, en lien avec les enrobés bitumineux contenant de l'amiante et l'utilisation de granulats bitumineux recyclés (RAP).	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Matériaux faisant l'objet de l'étude : échantillon en vrac et en carotte d'enrobé bitumineux.</li> <li>▪ Échantillons analysés pour identifier le type et le pourcentage d'amiante en poids à l'aide de la méthode de MLP.</li> <li>▪ Utilisation des techniques de coloration par dispersion de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) (Méthode EPA/600/R-93/116).</li> <li>▪ Teneur en amiante confirmée par réduction gravimétrique en utilisant les échantillons de « problème qualitatif » définis dans la méthode EPA 600/R-93/116.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Confirmation de la présence d'amiante dans l'asphalte.</li> <li>▪ Résultats concernant l'exposition professionnelle au regard de la qualité de l'air : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveaux d'exposition enregistrés largement inférieurs à la limite d'exposition réglementaire.</li> <li>- Aucun risque significatif d'exposition professionnelle à l'amiante identifié.</li> <li>- Risque encore plus faible d'exposition à l'amiante pour les personnes situées en dehors de la zone de travail.</li> </ul> </li> </ul>	---





## Interprétation des résultats

INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires
IRSST, Méthode analytique 244, 2015 (Québec)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Non décelé :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pas d'évidence de la présence de fibres dans au moins neuf montages.</li> </ul> </li> <li>▪ Trace :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence de quatre fibres et moins sur l'ensemble des neuf montages : contamination possible de l'échantillon.</li> </ul> </li> <li>▪ &lt; 1 % :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence de cinq fibres et plus sur l'ensemble des neuf montages – <i>confirme la présence d'amiante</i>.</li> </ul> </li> <li>▪ Présence significative<sup>18</sup> :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence de fibres plus importante à une trace et dont la teneur en % par volume s'exprime par des gammes de concentration telles que : X % - <i>confirme la présence d'amiante</i>.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'analyse demeure subjective.</li> <li>▪ La manière de rapporter les résultats est présentée comme un exemple.</li> </ul>
BC Government, 2024 (Colombie-Britannique)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Déchets contenant des fibres d'amiante friables ou de la poussière d'amiante dans une concentration &gt; 1 % en poids (soit au moment de la fabrication, soit telle que déterminée à l'aide d'une méthode d'analyse : NIOSH Method 9002 (1994) ou Method 600-R-93-116 EPA (1993)).</li> <li>▪ Déposer les déchets uniquement dans un site d'enfouissement sécurisé.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aucune indication spécifique à une concentration d'amiante inférieure à 1 %.</li> </ul>
NYSDOH, ELAP 198.4, 2022 (États-Unis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ≤ 1 % d'amiante :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Trace (préciser le type) d'amiante détecté à 1% ou moins ».</li> </ul> </li> <li>▪ &gt; 1 % d'amiante :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- « (préciser le type) d'amiante détectée à x % ».</li> </ul> </li> <li>▪ Fibres d'amiante présentes lors de l'analyse préliminaire, mais qui n'ont pas subi de réduction gravimétrique complète :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Non concluant – Amiante détecté à un pourcentage non quantifié ».</li> </ul> </li> </ul>	---

<sup>18</sup> Il est à noter que, lorsque l'amiante était ajouté à certains mélanges d'asphalte utilisés dans le pavage des routes au Canada dans les années 60 à 80, la concentration d'amiante chrysotile allait de 1 à 2 % en poids [ex. : dans 100 g de matériau, il y aurait entre 1 et 2 grammes d'amiante chrysotile]. (Workers' Safety and Compensation Commission (WSCC), 2018. Asbestos Abatement, Northwest Territories and Nunavut). Cette concentration d'amiante serait comparable dans divers pays pour une couverture temporelle allant jusqu'en 1995 (RECORD, 2018).

INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pas d'amiante à la suite de la réduction gravimétrique et à l'analyse par MET, sans fibre saillante identifiée comme de l'amiante lors de l'examen préliminaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aucun amiante détecté ».</li> </ul> </li> <li>▪ ≤ 1 % d'amiante tel que déterminé par réduction gravimétrique et analyse MET, mais avec fibres saillantes identifiées comme de l'amiante lors de l'examen préliminaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Non concluant – Résultats contradictoires - échantillonnage et analyse supplémentaires nécessaires ».</li> </ul> </li> </ul>	
Ministère de l'environnement ... (MELCC), 2022 (Québec)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ « La restauration minière est l'option à privilégier, de préférence à la réfection routière, dans le cadre d'un projet de valorisation de matières contenant de l'amiante. » (p.28).</li> <li>▪ Valorisation permise du fraisât amianté stabilisé en réfection routière (réglementation fédérale) si : fibres d'amiante intégrées aux infrastructures routières avant le 30 décembre 2018 réutilisées dans des infrastructures routières : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour le remblai routier (remblai sous la ligne d'infrastructure d'une chaussée, à l'intérieur des limites de l'emprise), la modification des talus d'un remblai routier (amélioration de la sécurité routière ou de la stabilité du remblai) ou pour l'aménagement de buttes (butte servant d'écran brise-vent, d'écran visuel, antibruit, de repère visuel, ...).</li> <li>- Dans l'infrastructure routière : balises au sujet du volume minimal de fraisât amianté stabilisé à valoriser pour le projet global, sa localisation, sa compacité, ...</li> </ul> </li> <li>▪ Valorisation interdite des enrobés amiantés non stabilisés en réfection routière, mais utilisation possible de ces enrobés dans d'anciens sites miniers d'amiante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lignes directrices applicables aux résidus d'enrobé bitumineux provenant de l'enlèvement par planage ou de l'excavation du revêtement de routes.</li> <li>▪ Stabilisation nécessaire des résidus de planage par l'ajout d'un liant ajouté lors de l'enlèvement du revêtement pour encapsuler les fibres, et ainsi prévenir une exposition aux fibres d'amiante dans l'air (fraisât amianté stabilisé).</li> <li>▪ Directives particulières pour la valorisation d'enrobé bitumineux contenant de l'amiante provenant de la MRC des Appalaches – restauration minière.</li> </ul>

INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires
HSE, HSG248, Guide technique, 2021 (Royaume-Uni)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aucune fibre ou faisceau de fibres d'amiante identifié après : un examen attentif de l'échantillon au stéréomicroscope pendant environ 10 minutes ; et un examen ultérieur d'au moins deux préparations extraites montées dans un liquide d'indice de réfraction (IR) approprié à fort grossissement par MLP pendant 5 minutes supplémentaires :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Amiante non détecté ».</li> </ul> </li> <li>▪ Si, lors de l'analyse de deux échantillons par MLP, seules 1 ou 2 fibres ou faisceaux de fibres sont observés et identifiés comme étant de l'amiante :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Traces d'amiante identifiées ».</li> </ul> </li> </ul>	---
Department of Water and Environmental Regulation, 2021 <sup>19</sup> (Western Australia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Amiante en petite quantité n'ayant pas été orienté vers un site d'enfouissement malgré les règles établies.</li> <li>▪ Éviter d'envoyer des déchets contenant de l'amiante dans les centres de recyclage.</li> <li>▪ Séparer, emballer dans du plastique, clairement étiqueter et éliminer l'amiante ou les matériaux contenant de l'amiante dans des décharges ou des dépôts de déchets autorisés à accepter l'amiante.</li> <li>▪ Pour l'amiante, monitorer et tester les concentrations limites d'amiante dans les produits recyclés qui ne doivent pas dépasser 0,001 % d'amiante en poids par rapport au poids total :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inspection visuelle pour les matériaux contenant de l'amiante et l'amiante fibreux d'une taille &gt; 7 mm.</li> <li>- Analyse en laboratoire pour les courtes fibres &lt; 7 mm.</li> </ul> </li> <li>▪ Analyse distincte des échantillons selon la taille (&lt; ou &gt; 7 mm).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informations sur l'analyse de la présence d'amiante dans les matériaux recyclés dans le tas de stockage ou sur le convoyeur</li> </ul>
Léocat, E., Revue technique et réglementaire, 2020 (France)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En l'absence de normes spécifiques pour les matériaux en vrac, la norme NF X43-050 (1996) est utilisée pour identifier les fibres.</li> <li>▪ L'analyse qualitative des fibres courtes et longues doit être réalisée pour détecter l'amiante et conclure par un résultat « oui » ou « non ».</li> <li>▪ Les fibres détectées doivent avoir un diamètre inférieur à 3 µm, une longueur supérieure à 0,5 µm et un rapport longueur/largeur de ≥3:1.</li> </ul>	---

<sup>19</sup> Constatation d'un écart dans les concentrations acceptables d'amiante dans les matériaux recyclés utilisés pour le réseau routier entre les régions de l'Australie : concentration recommandée en New South Wales de 0% (Jen Lim et coll., 2020) ; 0,001% en Western Australia (Australian Council of recycling, 2023)

INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Un guide (COFRAC, Lab GTA 44, 2018) a été publié pour valider la limite de détection de 0,1 % d'amiante dans les matériaux en vrac. Ce guide précise que l'analyse MET permet d'identifier l'amiante selon trois critères : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Morphologie (distinction des fibres des particules);</li> <li>- Composition chimique (analyse de la composition des fibres);</li> <li>- Diffraction (structure cristalline).</li> </ul> </li> </ul>	
State of Vermont, 2020 (États-Unis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variétés fibreuses principalement amphiboles et serpentines, incluant : chrysotile, crocidolite, cummingtonite, amosite, anthophyllite, actinolite et trémolite.</li> <li>▪ Déchets d'amiante : amiante dans une concentration &gt; 1 % en poids, seul ou mélangé à d'autres matériaux fibreux ou non fibreux : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Jeter les déchets d'amiante dans une installation certifiée pour recevoir de tels déchets et dans une aire déterminée de cette installation.</li> </ul> </li> </ul>	
RECORD, Recension et recommandations, 2018 (France)	<p><u>Synthèse des seuils réglementaires internationaux pour les matériaux amiantifères (p.19-21) :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ France : aucun seuil défini dans le décret n° 96-11337 ; la présence d'amiante est interdite, indépendamment de sa concentration.</li> <li>▪ Allemagne : seuil toléré &lt; 0,1 % de fraction massique pour certains matériaux naturels et manufacturés, sous conditions spécifiques; classification européenne des déchets dangereux inclut les matériaux ≥ 0,1 % d'amiante.</li> <li>▪ Italie : matériaux considérés comme dangereux si l'indice de libération de fibres (proportion de fibres libérées) est ≥ 0,1 %.</li> <li>▪ Japon : interdiction des matériaux contenant &gt; 0,1 % d'amiante depuis 2012; seuil abaissé progressivement (5 % en 1975, 1 % en 1995 et 0,1 % en 2012).</li> <li>▪ États-Unis : seuil fixé à 1 % depuis 1973, utilisé comme référence pour la protection des travailleurs.euses ; élargissement de la définition de « matériaux amiantifères » pour inclure ceux contenant ≥ 1 % d'amiante, friables ou non.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ « Dans le cas de l'analyse de l'amiante dans une matrice solide, les sources d'incertitudes sur les mesures sont assez nombreuses (...). Les multiples sources rendent les incertitudes difficilement quantifiables. De ce fait, les experts.es et les laboratoires ne sont pas en mesure de trouver un consensus et il n'existe pas de seuil ou d'exigence sur les incertitudes de mesure, contrairement au cas de l'analyse de l'amiante dans l'air. » (p.14).</li> </ul>

INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires
Bordeaux Métropole, Guide, 2017 (Bordeaux, France)	<p><u>À la suite du repérage de la présence d’amiante avant de débiter des travaux sur la chaussée :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Présence d’amiante sous forme de chrysotile (amiante industrielle) : confier le chantier à une entreprise spécialisée.</li> <li>▪ Présence d’amiante sous forme actinolite (amiante naturel) : prévoir un chantier « amiante » (procédure et mesures de protection décrites).</li> <li>▪ Dans le cas de repérage dans un stock de gravats d’enrobé déjà constitué, les échantillons étant prélevés par tas de 50 m<sup>3</sup>, dès qu’un seul prélèvement est jugé positif dans un tas, il est considéré pollué et doit être évacué.</li> </ul>	---
Levasseur, M.-E., & De Guire, L., Revue des législations environnementales, 2017 (Canada, États-Unis et Union européenne)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revue des législations environnementales de différentes juridictions pour déterminer si l’amiante y est qualifié de matière dangereuse et en quoi ces législations se comparent à celles du Québec.</li> <li>▪ Trois provinces où l’amiante n’est pas jugé dangereux : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Au Québec : <ul style="list-style-type: none"> <li>· Les déchets d’amiante ne sont pas considérés comme des déchets dangereux.</li> <li>· Ils peuvent donc être éliminés avec les autres matières résiduelles dans des lieux d’enfouissement techniques en vertu du Règlement sur l’enfouissement et l’incinération des matières résiduelles (chapitre Q-2, r. 19).</li> <li>· L’amiante doit cependant être recouvert immédiatement d’autres matières. [Note du réviseur]</li> </ul> </li> <li>- L’Ontario exclut les déchets d’amiante de sa définition des déchets solides industriels dangereux (art. 1.1, RRO 1990 Reg 347). Les déchets commerciaux et industriels incluent les déchets d’amiante.</li> <li>- L’Alberta place l’amiante dans sa liste des déchets qui ne sont pas dangereux tant qu’ils sont gérés en respectant le Guidelines for the Disposal of Asbestos Waste : <ul style="list-style-type: none"> <li>· Les matériaux contenant moins de 1 % d’amiante en poids ne sont pas considérés comme des matériaux contenant de l’amiante nécessitant des procédures de manipulation, de retrait ou d’élimination spécialisées.</li> <li>· Les déchets d’amiante sont définis comme contenant plus de 1 % d’amiante en poids.</li> <li>· Il n’existe aucune réglementation ou directive spécifique concernant l’utilisation et la manipulation de l’asphalte contenant de l’amiante. Dans de nombreuses juridictions, cet asphalte n’est pas considéré comme dangereux.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La législation québécoise est la seule qui exclut nommément l’amiante des matières dangereuses. Cette exclusion pourrait s’expliquer par les considérations économiques et de gestion des résidus miniers accumulés en grande quantité autour des mines d’amiante.</li> <li>▪ Encore aujourd’hui, l’amiante n’est pas considéré comme une matière dangereuse. [Note de la réviseure]</li> <li>▪ Les résultats de cette étude concernent plus particulièrement la gestion des déchets. [Note du courtier]</li> </ul>

INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires												
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Provinces ou territoires canadiens où l’amiante est jugé dangereux ou comme des déchets spéciaux :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dangereux : Saskatchewan, Colombie-Britannique, Territoires du Nord-Ouest.</li> <li>- Spéciaux : Île-du-Prince-Édouard, Nouvelle-Écosse, Terre-Neuve-et-Labrador.</li> </ul> </li> <li>▪ Au fédéral :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les produits contenant de l’amiante sont réglementés par la Loi sur les produits dangereux, qui exige que l’amiante non chrysotile soit encapsulé dans un liant ou que les matériaux ne soient pas friables après séchage.</li> <li>- Santé Canada reconnaît que : <i>Lorsque les fibres d’amiante sont enfermées ou solidement liées dans un produit (comme les revêtements ou les carreaux de sol en amiante), les risques pour la santé sont jugés insignifiants.</i></li> </ul> </li> <li>▪ Aux États-Unis :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les lois fédérales ainsi que celles des quatre états américains (la Californie, le Maine, le Montana et le Vermont) étudiés reconnaissent l’amiante comme une matière dangereuse, à l’instar de l’Union européenne.</li> </ul> </li> </ul>													
ANSES, Rapport d’expertise et recommandations, 2017	<p><u>Critères de rendu des résultats de l’analyse MET :</u></p> <table border="1" data-bbox="569 862 1446 1425"> <caption>Tableau 18 : Critères de rendu des résultats de l’analyse META</caption> <thead> <tr> <th>Rendu du résultat</th> <th>Critère</th> <th>Éléments complémentaires</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Présence d’espèce(s) minérale(s) d’intérêt</b></td> <td>Au moins 3 PMAi doivent avoir été observées sur une même prise d’essai.</td> <td>Préciser la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d’intérêt identifiée(s)  <i>Exemple : 1 winchite, 1 actinolite et une anthophyllite observées =&gt; « présence d’espèces minérales d’intérêt » et détailler lesquelles.</i></td> </tr> <tr> <td><b>Traces d’espèce(s) minérale(s) d’intérêt</b></td> <td>Moins de 3 PMAi doivent avoir été identifiées par prise d’essai pour chaque prise d’essai  <i>Exemple : Prise d’essai 1 : 2 PMAi Prise d’essai 2 : 2 PMAi Prise d’essai 3 : 0 PMAi.</i></td> <td>Préciser pour chaque PMAi observée la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d’intérêt identifiée(s)</td> </tr> <tr> <td><b>Absence d’espèce minérale d’intérêt</b></td> <td>Aucune PMAi ne doit avoir été identifiée sur chacune des prises d’essai.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Rendu du résultat	Critère	Éléments complémentaires	<b>Présence d’espèce(s) minérale(s) d’intérêt</b>	Au moins 3 PMAi doivent avoir été observées sur une même prise d’essai.	Préciser la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d’intérêt identifiée(s)  <i>Exemple : 1 winchite, 1 actinolite et une anthophyllite observées =&gt; « présence d’espèces minérales d’intérêt » et détailler lesquelles.</i>	<b>Traces d’espèce(s) minérale(s) d’intérêt</b>	Moins de 3 PMAi doivent avoir été identifiées par prise d’essai pour chaque prise d’essai  <i>Exemple : Prise d’essai 1 : 2 PMAi Prise d’essai 2 : 2 PMAi Prise d’essai 3 : 0 PMAi.</i>	Préciser pour chaque PMAi observée la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d’intérêt identifiée(s)	<b>Absence d’espèce minérale d’intérêt</b>	Aucune PMAi ne doit avoir été identifiée sur chacune des prises d’essai.		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dès qu’une espèce minérale d’intérêt est identifiée sur une prise d’essai, quelle que soit l’étape (MLP, microsonde électronique ou MET), il est inutile de poursuivre la chaîne analytique ou les essais sur les prises restantes.</li> </ul>
Rendu du résultat	Critère	Éléments complémentaires												
<b>Présence d’espèce(s) minérale(s) d’intérêt</b>	Au moins 3 PMAi doivent avoir été observées sur une même prise d’essai.	Préciser la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d’intérêt identifiée(s)  <i>Exemple : 1 winchite, 1 actinolite et une anthophyllite observées =&gt; « présence d’espèces minérales d’intérêt » et détailler lesquelles.</i>												
<b>Traces d’espèce(s) minérale(s) d’intérêt</b>	Moins de 3 PMAi doivent avoir été identifiées par prise d’essai pour chaque prise d’essai  <i>Exemple : Prise d’essai 1 : 2 PMAi Prise d’essai 2 : 2 PMAi Prise d’essai 3 : 0 PMAi.</i>	Préciser pour chaque PMAi observée la nature de la ou des espèce(s) minérale(s) d’intérêt identifiée(s)												
<b>Absence d’espèce minérale d’intérêt</b>	Aucune PMAi ne doit avoir été identifiée sur chacune des prises d’essai.													

INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires
ANSES, Rapport d'expertise et recommandations, 2015 (France)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dans les matériaux, aucun document ne fixe les critères dimensionnels à prendre en compte pour qualifier la présence de fibres d'amiante.</li> <li>▪ La norme NF X 43-050 spécifie, pour les analyses réalisées par MET, qu'une fibre correspond à un objet ayant un rapport d'allongement supérieur à 3.</li> <li>▪ Le terme « particule minérale allongée » (PMA) s'applique à toute particule minérale ayant un rapport d'allongement supérieur à 3 (<math>L/D &gt; 3</math>), sans tenir compte de son origine asbestiforme ou non asbestiforme. Dans le cadre de cette expertise, les PMA d'intérêt sont celles susceptibles d'être inhalées (<math>D &lt; 3 \mu\text{m}</math>).</li> </ul>	---
ISO 22262-2:2014, Norme internationale, 2014 (Suisse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conformité à une limite réglementaire jugée acceptable si la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de la fraction massique est inférieure à la limite de contrôle réglementaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Importante variabilité dans le mesurage de la fraction massique d'amiante dans les matériaux solides, souvent due au manque d'homogénéité dans l'échantillon.</li> <li>▪ Précisions apportées à l'interprétation des résultats en fonction de la méthode choisie de comptage (gravimétrie seule, gravimétrie et comptage de points, ...).</li> </ul>
ISO 22262-1:2012, Norme internationale, 2012 (Suisse)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Si nécessité « de prendre des décisions capitales » (p.38) dans la gamme allant de « non détecté » à 5 % (fraction massique) : procéder à une analyse quantitative des échantillons</li> <li>▪ « Non détecté » ou « détecté » : une ou deux fibres détectées lors de l'analyse.</li> <li>▪ % de la fraction massique détecté : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0,1 à 5 %;</li> <li>- 5 à 50 %;</li> <li>- 50 à 100 %.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La révision de la norme par les Australiens et Néo-zélandais en 2024 reprend la même présentation des résultats.</li> </ul>
NYSDOH, ELAP 198.6, 1996 (États-Unis)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aucune : <ul style="list-style-type: none"> <li>- « Non concluant – Aucun amiante détecté ».</li> </ul> </li> <li>▪ <math>\leq 1</math> % d'amiante :</li> </ul>	---



INTERPRÉTATION Normes et guides	Concentration et interprétation	Commentaires
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- « Non concluant – Trace de (préciser le type) ».</li> <li>▪ &gt; 1 % d’amiante :</li> <li>- « (préciser le type) d’amiante détecté à x % ».</li> <li>▪ Fibres d’amiante présentes lors de l’analyse préliminaire, mais qui n’ont pas subi de réduction gravimétrique complète.</li> <li>▪ « Non concluant – Amiante détecté à un pourcentage non quantifié ».</li> </ul>	

INTERPRÉTATION Études	Objectif de l’étude	Interprétation	Résultats	Commentaires
<p>Leocat, E., Rielland, C., &amp; Letessier, P., Étude descriptive, 2018 (France)</p>	<p>Développer une méthode interne pour analyser les gravillons et identifier les différents types de PMA.</p> <p>Faire reposer cette méthode analytique sur une préparation rigoureuse des échantillons et sur l’utilisation de trois techniques à différentes résolutions.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Recours à la classification de l’International Mineralogical Association pour nommer les fibres minérales analysées.</li> <li>▪ Utilisation des critères dimensionnels, publiés dans le rapport de l’EPA pour différencier les PMA asbestiformes de leurs homologues non asbestiformes.</li> <li>▪ Expression détaillée des critères morphologiques, dimensionnels et complémentaires pour identifier les PMA</li> <li>▪ Par exemple, pour les critères dimensionnels pour les fibres asbestiformes (ISO22262-1, 2012) : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ratio longueur/largeur &gt; 20:1 pour les fibres de plus de 5 µm.</li> <li>- Capacité à se fissurer longitudinalement en fibrilles très fines (&lt; 0,5 µm de largeur).</li> <li>- Fibres &gt; 5 µm présentent un ratio longueur/largeur &gt; 5:1 (critère applicable sur au moins 4 fibres).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse qualitative : suffisante pour identifier les fibres dans des matériaux commerciaux.</li> <li>▪ Analyse quantitative : nécessaire pour distinguer les différentes espèces minérales dans des matériaux naturels.</li> <li>▪ Les fibres des échantillons montrent des morphologies variées, des motifs de diffraction caractéristiques d’une structure cristalline, les paramètres cristallographiques confirmant qu’il s’agit d’amphiboles monoclinique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La méthode analytique développée prend en compte l’hétérogénéité des matériaux naturels et distingue les PMA à morphologie asbestiforme ou non.</li> <li>▪ Les trois techniques analytiques complémentaires, associées à une expertise géologique, garantissent des résultats fiables et cohérents (MET, MEB et microsonde électronique).</li> <li>▪ L’harmonisation de la terminologie serait une étape clé pour normaliser l’identification des</li> </ul>

INTERPRÉTATION Études	Objectif de l'étude	Interprétation	Résultats	Commentaires
				PMA non asbestiformes : utiliser la classification de l'Association minéralogique internationale.

## PERSPECTIVES D'UTILISATION DES CONNAISSANCES

### Valeurs et limites du document

La captation des écrits s'appuie sur un besoin spécifique exprimé par le demandeur. Elle est réalisée dans les limites du temps imparti motivées par les enjeux de la décision à prendre. Par conséquent, tout en préservant un processus rigoureux, les résultats reflètent des choix qui focalisent sur les contenus les plus pertinents. Les savoirs mis en lumière dans les « Messages clés » présentent donc de la valeur, mais aussi des limites. Le tableau suivant résume ces valeurs et ces limites en fonction de caractéristiques significatives.

Le décideur doit garder en mémoire ces considérations pour soutenir sa prise de décision puis procéder aux changements.

	VALEURS	LIMITES
Niveaux de preuve des écrits scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Littérature constituée principalement de normes, soit le résultat de consensus nationaux ou internationaux.</li> <li>▪ Normes souvent citées dans les écrits consultés qui reflètent leur reconnaissance.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faible niveau de preuve des écrits scientifiques.</li> <li>▪ Peu de recommandations émises par les chercheurs.euses sur l'utilisation de leurs résultats.</li> <li>▪ Conclusions de la présente revue rapide appuyées presque exclusivement sur de la littérature grise.</li> </ul>
Années de publication	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Plusieurs publications récentes produites depuis 2015, incluant la révision de la norme ISO 22262-1 en 2024.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Majorité des sources utilisées dans la rédaction de la méthode 244 publiées dans les années '90 et '80.</li> </ul>
Accès aux écrits	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Accès aux contenus directs publiés par les organismes de normalisation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Écrits repérés uniquement en anglais et en français.</li> <li>▪ Pas d'accès direct au texte de la norme française NF X 46-102, seulement à des interprétations.</li> </ul>
Contenus	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fortes tendances observées dans les étapes à suivre.</li> <li>▪ Fortes tendances observées dans les techniques d'analyse à préconiser.</li> <li>▪ Affirmation par plusieurs auteurs.euses du besoin d'uniformisation (terminologie, caractérisation, méthode analytique).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Peu de publications couvrent directement et explicitement la présence d'amiante dans l'enrobé bitumineux.</li> <li>▪ Risque de conservation de contenus dans les résumés qui soient peu applicables à l'analyse de l'enrobé bitumineux.</li> <li>▪ Écart d'interprétation des résultats au sujet de la dangerosité entre les pays.</li> <li>▪ Plusieurs détails associés à la méthode analytique potentiellement confondantes pour bien saisir les informations essentielles.</li> </ul>

## Recommandations pour promouvoir l'acquisition des connaissances

Nous tenons à soumettre six recommandations au demandeur en guise de conclusion. Elles correspondent aux prochains pas qui pourraient être franchis dans son processus d'amélioration. Énoncées dans l'ordre croissant d'investissement requis, nous l'invitons à réfléchir sur l'adoption de ces recommandations pour accroître l'appropriation des savoirs identifiés utiles à soutenir sa prise de décision et à inciter des actions concrètes.

### 1. S'approprier les savoirs recensés en groupe de travail.

Il y a beaucoup de contenus dans la revue rapide. Si les messages clés s'approprient aisément, les informations versées dans les tableaux des résumés sont plus denses. Sur la base de l'intérêt envers certains messages clés, des membres du groupe pourraient retourner dans les écrits pour mieux en intégrer les contenus et les rapporter au groupe.

### 2. Utiliser les savoirs identifiés pour soutenir un exercice consensuel au sein du groupe de travail afin d'adapter les connaissances au contexte local.

Les membres pourraient exprimer leur avis dans le cadre d'un exercice consensuel structuré sur la base des contenus de la revue rapide, à l'aide, par exemple, de sondages. Les énoncés consensuels deviennent rapidement des paramètres de pratique et les énoncés moyennement consensuels deviennent matière à discussion pour venir compléter ou non les énoncés initialement consensuels.

### 3. Confirmer, au besoin, certaines positions ou préférences auprès d'un ou de plusieurs experts.es du domaine.

Dans le cas où le groupe de travail ne parvenait pas à une conclusion sur la base des contenus de la revue rapide, un.e expert.e externe pourrait être invité.e pour trancher la question ou apporter des nuances.

### 4. Forer au besoin, dans les écrits, certains aspects spécifiques au sujet de contenus présents dans la recension.

Il est également possible de procéder à un nouveau tour de revue rapide pour répondre à des préoccupations spécifiques moins bien couvertes dans la présente revue.

### 5. Tester certaines positions ou préférences à l'aide d'une évaluation formelle des effets dans le contexte particulier du demandeur.

Il est fort probable que plusieurs des pratiques exposées dans la revue soit déjà en place dans certains milieux ou certaines organisations, bien que leur application reste peu répandue. La mise en place d'une évaluation formelle pourrait confirmer la pertinence de la pratique dans la réalité québécoise.

### 6. Mettre en place un ou des projets de recherche pour combler les lacunes dans le corpus de savoirs existants rapportés dans la présente recension.

D'une part, les publications scientifiques apportent peu de recommandations, mais décrivent des méthodes qui pourraient être prometteuses. D'autre part, devant les différences entre les écrits, il serait avantageux de connaître la manière de faire la plus avantageuse. La mise sur pied de projets de recherche pourrait combler ces vides.

## RÉFÉRENCES CONSULTÉES

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, ANSES (2017). Emission sources of elongated mineral particles of interest (EMPi) : Protocols for identification and measurement. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, 184 p.

Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, ANSES (2015). Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière (Saisine n° 2014-SA-0196). Maisons-Alfort : ANSES.

ASTM International (2019), D6480-19 Standard Test Method for Wipe Sampling of Surfaces, Indirect Preparation, and Analysis for Asbestos Structure Number Surface Loading by Transmission Electron Microscopy, version abrégée, USA, 6 p.

Bordeaux Métropole, Mars 2017, Enrobés amiantés - Guide méthodologique métropolitain, 40 p.

British Columbia Government, March 2024, Hazardous Waste Management – Environmental Management Act. B.C. Reg. 63/88. Consolidated regulations of BC, 127 p.

Brouwers MC, Kho ME, Browman GP, Burgers JS, Cluzeau F, Feder G, Fervers B, Graham ID, Grimshaw J, Hanna SE, Littlejohns P, Makarski J, Zitzelsberger L, for the AGREE Next Steps Consortium (2010) AGREE II : Advancing guideline development, reporting and evaluation in healthcare. CMAJ, 182 : E839-842.

Chyc-Cies, J., & Wineberger, B. G. (2009). To recycle or not to recycle asbestos-containing RAP: That is the question. Présenté à la session « Sustainability of Asphalt Mixes » de la conférence annuelle de l'Association des transports du Canada, Vancouver, Colombie-Britannique. Basé sur le rapport Asbestos in Asphalt, Calgary, Alberta, produit par Golder Associates Ltd.

COFRAC. (2018). LAB INF 44 - Guide pour l'accréditation des laboratoires : Identification de l'amiante dans les matériaux en vrac. Comité Français d'Accréditation.

Department of Water and Environmental Regulation, Avril 2021. Managing asbestos at construction and demolition waste recycling facilities – Guideline. Government of Western Australia, 28 p.

Dobbins, M. (2018). Guide pour les revues rapides – Étapes pour effectuer une revue rapide. Centre de collaboration nationale des méthodes et outils, Université McMaster, 26 p.

Durczak, K., Pyzalski, M., Brylewski, T., Juszczak, M., Leśniak, A., Libura, M., Ustinovičius, L., & Vaišnoras, M. (2024). Modern Methods of Asbestos Waste Management as Innovative Solutions for Recycling and Sustainable Cement Production. Sustainability, 16(20), 8798.

Eurofins – Environment Testing (October 2024) A New Australian Standard for the Analysis of Asbestos in Bulk Materials: An Overview of AS 5370:2024, 2 p.

Groves, S. (May 2023) Standards to facilitate the use of recycled material in road construction. Australian Council of Recycling, 31 p.

Health and Safety Executive, HSE (2021) Asbestos : The Analysts' Guide – HSG248 (second edition). The Stationery Office, UK, 238 p.

IRSST (2015) Caractérisation des fibres dans les poussières déposées ou dans les matériaux en vrac - Méthode analytique 244. Institut de recherche Robert-Sauvé en SST, 23 p.

ISO 22262-1:2012 (2012) Qualité de l'air - Matériaux solides – Partie 1 : Échantillonnage et dosage qualitatif de l'amiante dans les matériaux solides d'origine commerciale. Organisation Internationale de Normalisation, 71 p.

ISO 22262-2:2014 (2014) Qualité de l'air - Matériaux solides – Partie 2 : Dosage quantitatif de l'amiante en utilisant les méthodes gravimétrique et microscopique. Organisation Internationale de Normalisation, 47 p.

Jen Lim, A. et coll. (August 2020) Recycled materials in roads and pavements – a technical review. Waste transformation research hub, school of chemical and biomolecular engineering. Local Government NSW, Australia, 105 p.

Leocat, E. (2020) Naturally Occurring Asbestos in France : A Technical and Regulatory Review. Environmental & Engineering Geoscience. 26 (1) : 61–65.

Leocat, E., Rielland, C., & Letessier, P. (2018). Analysis and identification of elongated mineral particles in road coated aggregates. Toxicology and Applied Pharmacology, 361, 149–154.

Levasseur, M.-E., & De Guire, L. (2017). Survol de la législation concernant l'exposition environnementale à l'amiante au Québec et ailleurs. Institut national de santé publique du Québec.

Locock. (2014) An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations : Computer Geosciences, Vol. 62, pp. 1–11.

Marrocchino E, Telloli C, Faccia F, Rizzo A, Volpe L. (2020). Morphological and chemical analysis of tremolite related to natural asbestos in the road paving. Episodes 2020; 43:869-879.

Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (2022) Lignes directrices relatives à la valorisation de résidus de béton, de brique, d'enrobé bitumineux, du secteur de la pierre de taille et de la pierre concassée résiduelle. Gouvernement du Québec, 54 p.

Ministère des transports du Québec (Novembre 2019) Enrobés additionnés de fibres d'amiante - Rapport sectoriel du ministère des Transports du Québec dans le cadre du mandat du bureau d'audiences publiques sur l'environnement sur l'état des lieux et la gestion de l'amiante et des résidus miniers amiantés. Direction générale du laboratoire des chaussées et Direction générale de la gestion des projets routiers et de l'encadrement en exploitation, 18 p.

Munerol, L., Cambon, L. et Alla, F. (2013). « Le courtage en connaissances, définition et mise en œuvre : une revue de la littérature. » Santé publique 25(5): 587-597.

New York State Department of Health (NYSDOH), 2016, ELAP (Environmental Laboratory Approval Program) 198.6, 2016: Polarized-Light Microscope (PLM) method for identifying and quantitating asbestos in non-friable organically bound bulk samples, 27 p.

New York State Department of Health (NYSDOH), 2022, ELAP (Environmental Laboratory Approval Program) 198.4, 2022 : Transmission Electron Microscope (TEM) method for identifying and quantitating asbestos in non-friable organically bound bulk samples, 24 p.

Perrault, G., & Dion, C. (2005). Revue de littérature sur l'utilisation de fibres d'amiante dans les enrobés bitumineux (Rapport R-413). Montréal, QC : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST).

RECORD (2018) Caractérisation de l'amiante dans une matrice solide : État de l'art et Guide de recommandations des bonnes pratiques, n°16-0163/1A, 103 p.

Rossigny, P. (Mars 2022) Le repérage de l'amiante avant travaux de voirie – La nouvelle norme : NF X 46-102. Application aux travaux de voirie. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), République française, France, 26 diapositives.

Safework NSW (December 2022) How to safely remove asbestos – Code of practice, NSW Government, Australia, 96 p.

Standards Australia, June 2024, Sampling and qualitative identification of asbestos in bulk materials (ISO 22262-1:2012, MOD). ISO et Standards Australia Limited, 116 p.

State of Vermont (2020) Solid waste management rules, Agency of Natural Resources, Department of Environmental Conservation, Waste Management and Prevention Division, 191 p.

## ANNEXES

### Annexe 1 – Plan de concept

#### En français

(Amiante OR Actinolite OR Chrysotile)

AND (Enrobé bitumineux OR Bitume OR Bitumineux OR Granulat OR Asphalte OR Matrice solide)

AND (Route OR Chemin OR Chaussée OR Infrastructure routière OR Tronçon OR Voie)

AND (Analyse OR Échantillon OR Interprétation OR Caractérisation OR Quantification)

#### En anglais

(Asbestos OR Actinolite OR Chrysotile)

AND (Bituminous mix OR Bitumen OR Bituminous OR Aggregate OR Asphalt OR Solid matrix)

AND (Road OR Path OR Pavement OR Road infrastructure OR Section OR Lane)

AND (Analysis OR Sample OR Interpretation OR Characterization OR Quantification)



## Annexe 2 – Bilan des motifs d’inclusion et d’exclusion des publications

L’Annexe décrit les motifs sur lesquels les auteurs se sont appuyés pour conserver ou non<sup>20</sup> les publications identifiées dans les bases de données à l’aide du plan de concept de l’Annexe 1. Le ou la lecteur.trice peut alors constater l’appréciation qui l’a incité.e à intégrer les contenus dans le tableau des « Résumés des publications consultées ».

Dans le cadre de la présente revue, seuls les critères de sélection ont été considérés, soit le reflet des balises et des limites de la recension exposées dans la « Stratégie de recension ».

### Normes, règlements et guides<sup>21</sup>

RÉFÉRENCE	CRITÈRES DE SÉLECTION				DÉCISION
	A. MOTS-CLÉS	B. ANNÉE RÉCENTE	C. PAYS COMPARABLE	D. ORG. RÉPUTÉE	
AFNOR, NF X 46-020, 2017 (immeubles bâtis)	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
ANSES, 2015	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
ANSES, 2017	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
ASTM, 2019	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
BC Gov., 2024	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
Bordeaux M., 2017	Prés	5-10 ans	Oui	NSP	Inclus
COFRAC, 2018	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
Department of Water ..., 2021	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
DGT, 2024 (prévention)	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
EPA 600, 1993	Prés	> 15 ans	Oui	Oui	Exclu
EPA, 2020 (risques environnementaux)	Abs	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
EPA, 2024 (gestion des déchets)	Abs	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
EPA, 2024 (produits manufacturés)	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
Eurofins, 2024	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
Gouvernement du QC, 2023 (gestion des sites)	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu

<sup>20</sup> Les références détaillées des publications exclues sont disponibles auprès de l’ONA.

<sup>21</sup> Pour les publications grises, les critères s’inspirent largement de « La grille d’analyse de la littérature grise » du Consortium interrégional de savoirs en santé et services sociaux (InterS4).

RÉFÉRENCE	CRITÈRES DE SÉLECTION				DÉCISION
	A. MOTS-CLÉS	B. ANNÉE RÉCENTE	C. PAYS COMPARABLE	D. ORG. RÉPUTÉE	
Gov. Western Australia, 2019 (classification des déchets)	Abs	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
Government of Manitoba, 2021 (gestion des déchets)	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
Groves, 2023	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
HSE, 2012	Abs	10-15 ans	Oui	Oui	Exclu
HSE, 2021	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
INRS, 2019 (prévention)	Abs	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
IRSST, 2015	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
ISO 22262-1, 2012	Prés	10-15 ans	Oui	Oui	Inclus
ISO 22262-2, 2014	Prés	10-15 ans	Oui	Oui	Inclus
Jen Lim, 2020	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
Leocat, 2020	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
Levasseur, 2017	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
Min. Environnement ..., 2022	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
Min. Transports ..., 2019	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
NIOSH 9002, 1994	Prés	> 15 ans	Oui	Oui	Exclu
NSW Gov., 2022	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
NYSDOH, 2016	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
NYSDOH, 2022	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
NZ Gov., 2016	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
NZ Gov., 2023	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
ONU, 2019 (gestion des déchets)	Abs	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
ONU, 2023 (gestion des déchets)	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
OSHA, 2014 (prévention)	Abs	10-15 ans	Oui	Oui	Exclu
RECORD, 2018	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
Rossigny, P., 2022	Prés	< 5 ans	Oui	NSP	Inclus
SPREP, UE, 2022 (gestion des déchets)	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
Standards Australia, 2024	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
State of Vermont, 2020	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus

RÉFÉRENCE	CRITÈRES DE SÉLECTION				DÉCISION
	A. MOTS-CLÉS	B. ANNÉE RÉCENTE	C. PAYS COMPARABLE	D. ORG. RÉPUTÉE	
Transport NSW, 2023	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
WasteMINZ, 2023 (gestion des déchets)	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu

#### Légende des options de réponse

- A. MOTS-CLÉS : **Présence** des principaux mots-clés ; **Absence** des principaux mots-clés  
 B. ANNÉE : **< 5 ans ; 5-10 ans ; 10-15 ans ; > 15 ans**  
 C. PAYS COMPARABLE : **Oui**, si comparable au Canada ; **Non**, si peu comparable au Canada  
 D. ORGANISATION RÉPUTÉE : **Oui** (université, gouvernement, ministère, association, ...) ; **NSP** Ne sais pas

#### Études

RÉFÉRENCE	CRITÈRES DE SÉLECTION				DÉCISION
	A. MOTS-CLÉS	B. ANNÉE	C. PAYS COMPARABLE	D. REVUE SPÉC.	
Adib, G., & Perrault, G., 2009	Prés	> 15 ans	Oui	Non	Exclu
Bloise, A., & Miriello, D., 2018 (formation géologique naturelle)	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
Carlucci et coll. 2024	Prés	< 5 ans	Oui	Non	Exclu
Chyc-Cies et coll., 2009	Prés	> 15 ans	Oui	Non	Inclus
Durczak et coll. 2024	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
GENIVAR, 2008	Prés	> 15 ans	Oui	Non	Exclu
GENIVAR, 2010	Prés	10-15 ans	Oui	Non	Exclu
Koehoorn, U. of BC, 2023 (santé)	Abs	< 5 ans	Oui	Non	Exclu
Leocat et coll., 2018	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Inclus
Levasseur, M.-E., & De Guire, L., 2017	Prés	5-10 ans	Oui	Non	Inclus
Locock, 2014	Prés	10-15 ans	s/o	Oui	Inclus
Marrocchino et coll., 2020	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus
Mowat et coll., 2007	Prés	> 15 ans	Oui	Oui	Exclu
Paustenbach, 2021	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
Paolini et coll., 2019 (gestion des déchets)	Prés	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
Pierdzig, 2012	Prés	10-15 ans	Oui	Non	Exclu

RÉFÉRENCE	CRITÈRES DE SÉLECTION				DÉCISION
	A. MOTS-CLÉS	B. ANNÉE	C. PAYS COMPARABLE	D. REVUE SPÉC.	
Perkins et coll., 2008	Prés	> 15 ans	Oui	Oui	Exclu
Perrault, 2005	Prés	> 15 ans	Oui	Oui	Exclu
PRST 4, 2024	Abs	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
Rude, 1993	Prés	> 15 ans	Oui	Oui	Exclu
Schlünssen et coll., 2023 (qualité de l'air)	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Exclu
Tam, 2018	Abs	5-10 ans	Oui	Oui	Exclu
TEKNIKA Inc. 2005	Prés	> 15 ans	Oui	Non	Exclu
Zoraja et coll., 2021	Prés	< 5 ans	Oui	Oui	Inclus

Légende des options de réponse

- A. MOTS-CLÉS : **Présence** des principaux mots-clés ; **Absence** des principaux mots clés
- B. ANNÉE : **< 5 ans ; 5-10 ans ; 10-15 ans ; > 15 ans**
- C. PAYS COMPARABLE : **Oui**, si comparable au Canada ; **Non**, si peu comparable au Canada
- D. REVUE SPÉCIALISÉE : **Oui**, revue spécialisée dans le domaine d'intérêt ; **NSP** Ne sais pas

## Annexe 3 – Capacités et limites des principales techniques d'analyse

INSTRUMENT	MICROSCOPIE OPTIQUE EN LUMIÈRE POLARISÉE (MLP)	MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE PAR TRANSMISSION (MET)	MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE (MEB)
<b>MATÉRIAUX</b>	Tous les matériaux contenant de l'amiante. <sup>i</sup>	Prélèvements d'air et de matériaux. <sup>i</sup>	Prélèvements d'air et de matériaux. <sup>ii</sup>
<b>CAPACITÉ</b>	<p>Distinguer les fibres d'amiante et les fragments de minéraux de forme allongée. <sup>i</sup></p> <p>Exclure les autres fibres ayant un diamètre &gt; 1 µm. <sup>iii</sup></p> <p>Analyser les propriétés optiques des minéraux avec un grossissement allant jusqu'à 400x. <sup>iv</sup></p>	<p>Contraster les images en offrant une résolution supérieure en microscopie électronique. <sup>i</sup></p> <p>Identifier des variétés de fibres par comparaison avec des spectres de référence <sup>i</sup></p> <p>Inclut toutes les fibres et les fibres de largeur &gt; 0,2 µm. <sup>iii</sup></p> <p>Technique la plus fiable pour l'analyse de l'amiante. <sup>i et v</sup></p> <p>« Seule méthode (...) pour signaler (...) les résultats véritablement négatifs ». <sup>ii</sup></p> <p>Écarts types relatifs de 45% pour des échantillons contenant entre 15-30 % de chrysotile<sup>22</sup>. <sup>ii</sup></p> <p>Résultats par MET plus cohérents et fiables lorsque les résidus de chrysotile sont à un niveau élevé (85 %) avec une variabilité de 10 %<sup>23</sup>. <sup>ii</sup></p>	<p>Identifier les fibres contenues dans une matrice solide. <sup>i</sup></p> <p>Distinguer les fibres amiantifères des particules fibreuses telles que les fragments de clivage. <sup>i</sup></p>
<b>AVANTAGES</b>	<p>Technique moins coûteuse, plus simple et plus rapide à mettre en œuvre que les techniques de microscopie électronique. <sup>i</sup></p> <p>Différenciation des fibres d'amiante et des fibres non asbestiformes. <sup>i</sup></p>	<p>Résolution (jusqu'à 0,01 µm) qui permet de caractériser des fibres trop fines pour être identifiées par les autres techniques. <sup>i</sup></p> <p>Capacité de détermination de la nature et des dimensions des fibres dans l'air ou les matériaux. <sup>i</sup></p>	<p>Meilleure résolution que MLP offrant une plus grande capacité de détection et de quantification. <sup>i</sup></p> <p>Possibilité de distinction entre les fibres amiantifères et les fragments de clivage. <sup>i</sup></p>

<sup>22</sup> Précision observée entre des laboratoires américains. Forte variabilité (*note du courtier*).

<sup>23</sup> Faible variabilité (*note du courtier*).

INSTRUMENT	MICROSCOPIE OPTIQUE EN LUMIÈRE POLARISÉE (MLP)	MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE PAR TRANSMISSION (MET)	MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE (MEB)
	Fibres non amiantifères dont les dimensions correspondent aux règles de comptage non prises en compte. <sup>i</sup>		Microscopie électronique à balayage à effet de champ à haute résolution (MEB-FEG) <sup>i</sup> offre une meilleure résolution et un plus fort grossissement que les techniques MEB et MET classiques, utile pour visualiser la forme prismatique typique des fragments de clivage non amiantifères.
<b>LIMITES</b>	<p>Détection et identification de l'amiante limitées aux fibres dont le diamètre <math>\geq 0,2 \mu\text{m}</math>. <sup>vi</sup></p> <p>Méthode de quantification par estimation visuelle très dépendante de l'opérateur. <sup>trice</sup> et dépend également de l'hétérogénéité de l'échantillon analysé. <sup>i</sup></p> <p>Norme ISO 22262-2 indique : un traitement à l'acide chlorhydrique de l'échantillon peut entraîner une diminution de l'indice de réfraction du chrysotile. <sup>i</sup></p> <p>Parfois difficile de faire la distinction entre trémolite et actinolite, ou trémolite et anthophyllite : peut être nécessaire de poursuivre les analyses et de recourir à la microscopie électronique, à l'analyse par EDS et/ou SAED, à la XRD ou encore à la spectrométrie infrarouge. <sup>i</sup></p> <p>Capacité de détection et d'identification de l'amiante limitée par la résolution du microscope optique qui est de l'ordre de <math>1 \mu\text{m}</math>, d'où l'impossibilité de détecter les fibres fines, et parfois par le masquage par d'autres matériaux constituant l'échantillon. <sup>i et iv</sup></p>	<p>Biais possible de sous-échantillonnage. <sup>ii</sup></p> <p>Ne parvient pas toujours à différencier leur faciès, asbestiforme ou non asbestiforme, pour un même minéral amphibole. <sup>i et v</sup></p> <p>Alternative : Le STEM (Scanning Transmission Electron Microscopy) offre une haute résolution combinant balayage et transmission. <sup>i</sup></p> <p>Projection limitée : Les micrographies MET fournissent des projections bidimensionnelles de particules, limitées par l'angle de rotation du porte-échantillon (« double-tilt »), restreint à quelques degrés. <sup>i et v</sup></p> <p>L'analyse de la morphologie réelle des particules nécessite souvent une microscopie électronique à balayage haute résolution (MEB FEG ou MEB-FEG). <sup>i</sup></p> <p>Méthodologie complémentaire : Van Orden et al., 2008 proposent des critères spécifiques pour distinguer les fibres d'amphibole amiantifères des fragments de clivage d'amphibole non asbestiforme, basés sur leurs caractéristiques physiques. <sup>i</sup></p>	<p>« Coût d'utilisation très supérieur au coût d'utilisation du MLP ». <sup>i, p.47</sup></p> <p>Technique complexe et plus difficile à mettre en œuvre pour des analyses de routine. <sup>i, p.47</sup></p>

Légende des sources

<sup>i</sup> Étude RECORD (2018)

<sup>ii</sup> NYSDOH, ELAP 198.4 (2022)

<sup>iii</sup> HSE, HSG248 (2021)

<sup>iv</sup> Leocat, E., Rielland, C., & Letessier, P. (2018)

<sup>v</sup> ANSES (2015)

<sup>vi</sup> Standards Australian (2024)

## Annexe 4 – Capacités et limites des techniques complémentaires d'analyse

Selon l'ANSES (2015), les méthodes d'analyse combinées peuvent affiner les résultats, mais elles nécessitent :

- Des compétences spécifiques;
- Des équipements particuliers;
- Un temps d'analyse conséquent, limitant leur utilisation en routine.

INSTRUMENT	DIFFRACTION DES RAYONS X (XRD)	SPECTROSCOPIE RAMAN	SPECTROMÉTRIE INFRAROUGE
<b>UTILISATION</b>	Confirme la caractérisation et la quantification des minéraux asbestiformes. <sup>i</sup>	Identification fiable des six types de minéraux amiantifères sans préparation d'échantillon. <sup>i</sup>	Quantification du chrysotile dans une matrice solide (Balducci et Valerio, 1986, Gualtieri et al., 2014, etc.). <sup>i</sup>
<b>LIMITES</b>	<p>Impossible de distinguer les formes fibreuses des formes non fibreuses.<sup>i</sup></p> <p>Interférences possibles avec d'autres minéraux : chlorite, vermiculite, sépiolite, halloysite, kaolinite, gypse, cellulose, talc, carbonates de calcium.<sup>i</sup></p> <p>La taille des particules (1-10 µm) doit être identique entre l'échantillon analysé et l'échantillon de référence.<sup>i</sup></p> <p>La présence de fer diminue l'intensité des pics avec des électrodes en cuivre.<sup>i</sup></p>	Ne distingue pas les formes fibreuses des formes non fibreuses d'un même minéral. <sup>i</sup>	<p>Adaptée pour des teneurs faibles en chrysotile (0,01 à 1 %).<sup>i</sup></p> <p>Interférences possibles avec le chlorite ou l'antigorite.<sup>i</sup></p> <p>Ne permet pas l'analyse morphologique des particules.<sup>i</sup></p>



INSTRUMENT	SPECTROSCOPIE DE RAYONS X À DISPERSION D'ÉNERGIE (EDS)	MICROSONDE ÉLECTRONIQUE	STÉRÉOMICROSCOPE
<b>UTILISATION</b>	<p>Identifier la composition élémentaire d'un échantillon (ex. : présence de silicium, fer, carbone...).</p> <p>Couplée à la microscopie électronique (MEB ou MET) pour caractériser des échantillons solides.</p> <p>Rapide, permet de quantifier les éléments chimiques présents.</p>	<p>Permet d'obtenir des données quantitatives et qualitatives sur la composition chimique des fibres d'amiante.<sup>i</sup></p>	<p>Déterminer si les graviers appartiennent à des familles de roches susceptibles de contenir de l'amiante.</p> <p>Grossissements allant de 10x à 40x.</p>
<b>LIMITES</b>	<p>Aucune information sur la structure moléculaire ou les liaisons chimiques.</p>	<p>L'analyse morphologique est très limitée du fait du mode de préparation des échantillons avant analyse (section polie).<sup>i</sup></p>	<p>Les fibres d'amiante ne sont généralement pas identifiables à cette échelle.</p>

#### Légende des sources

<sup>i</sup> Étude RECORD (2018)

<sup>ii</sup> NYSDOH, ELAP 198.4 (2022)

<sup>iii</sup> HSE, HSG248 (2021)

<sup>iv</sup> Leocat, E., Rielland, C., & Letessier, P. (2018)

<sup>v</sup> ANSES (2015)

# Annexe 5 – Algorithmes d’analyse qualitative pour les matériaux commerciaux

Traduction libre des algorithmes présentés par Standards Australia, 2024 (p. 95 et 98)



