

# LES MINÉRAUX DANS NOTRE QUOTIDIEN



© Freepik



Connaître et comprendre  
**LES POUSSIÈRES**



Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

**Les roches ornementales** sont toutes les roches naturelles utilisées en structures, architecture et décoration, pour la construction et l'aménagement des bâtiments et des ouvrages d'art, pour la voirie, le funéraire, les aménagements intérieurs et paysagers, pour la restauration des monuments historiques et la sculpture. Les roches ornementales extraites en France sont principalement des pierres calcaires (270 400 m<sup>3</sup> extraits en 2018, soit 68 %) et des granites (115 300 m<sup>3</sup> soit 29 %). À elles seules, ces roches représentent environ 97 % de la production totale nationale, soit environ 900 000 tonnes. L'extraction de grès, laves et schistes correspond aux 3 % restant.

**Les minéraux industriels**

Les minéraux industriels sont des matières premières naturelles non métalliques et non énergétiques, formées dans des environnements géologiques particuliers et extraites de l'écorce terrestre pour leurs propriétés physiques et chimiques.

On distingue ainsi :

- **Les matières premières pour les métiers de la construction** : argiles pour tuiles et briques, argile et calcaire pour le ciment ou la chaux, gypse ou anhydrite pour le plâtre...
- **Les matières premières de l'industrie chimique** : carbonates de sodium, sels, borates, fluorine, phosphates, silice pour le silicium métal...
- **Les matières premières pour les autres industries** : papeterie, verrerie, plastiques, réfractaires, peintures, pharmacie et cosmétiques, céramique, alimentation animale, engrais, agriculture (amendement) et agro-alimentaire, industrie pétrolière, caoutchouc, électronique, traitement de l'eau... Pour ces industries de très nombreux minéraux sont utilisés, on peut citer les argiles, le kaolin, le feldspath, la silice (sables ou grès), le talc, la calcite, la dolomie, l'andalousite, les micas, la diatomite, le zircon, la perlite, les argiles « spéciales » (vermiculite, sépiolite, bentonite...)

Ces minéraux pour l'industrie représentent un tonnage d'environ 50 Mt (2019)

Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?  
 Quels sont les moyens de mesure des poussières ?  
 Quels sont les résultats ?  
 Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire

Retrouvez directement chaque question :

- > Que sont les poussières ?
- > Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?
- > Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?
- > Quels sont les procédés de production ?

Cliquez sur le picto pour se rendre au sommaire

Cliquez sur la question souhaitée pour s'y rendre directement

Cliquez sur > Aller au glossaire pour le consulter

Cliquez sur les flèches pour revenir à la page précédente

Cliquez sur les flèches pour aller à la page suivante

Cliquez sur les flèches pour revenir au début de la question en cours



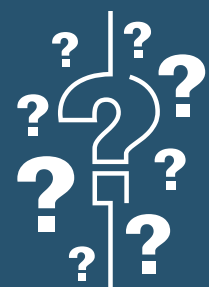


Société de l'industrie minérale  
Groupe poussières minérales

Ce document est mis à votre disposition par le Groupe de réflexion « Poussières minérales » de la Société de l'industrie minérale (Sim). La Sim, société savante depuis plus de 170 ans, est une association de loi 1901, reconnue d'utilité publique. Elle a pour mission de concourir aux progrès de l'industrie minérale et, plus particulièrement, de promouvoir et de diffuser les connaissances scientifiques et techniques qui relèvent des matières premières minérales, de leur exploration à leur transformation, en passant par leur extraction et jusqu'à leur traitement après usage et leur recyclage.

Rendre accessible à tous un domaine que seuls les professionnels semblent maîtriser est indispensable pour dialoguer, comprendre et vivre ensemble. L'exercice n'est pas toujours aisé, compte tenu du vocabulaire technique. C'est le pari qu'ont tenté de relever les membres du groupe « poussières » en partant de quelques-unes des questions les plus fréquentes posées au cours de réunions en entreprises ou en confrontations publiques à l'occasion d'un projet, voire simplement dans la sphère privée. Ainsi, par les réponses à huit questions principales sur les poussières sont apportées les connaissances et les pratiques de l'industrie minérale qui permettent de mieux en cerner la réalité et les enjeux.

La plupart des questions s'enchaînent et se complètent. De cette façon, les réponses s'emboîtent dans une logique de démonstration. Deux questions sont volontairement plus générales - quels sont les tonnages extraits en France ? et quels procédés sont employés ? - afin de rendre compte du fonctionnement, de l'importance et du rôle de cette industrie. Même si les rédacteurs se sont efforcés d'explicitier au fur et à mesure les abréviations et sigles employés, un récapitulatif est proposé en fin du document. Chaque question / réponse est présentée sous forme de fiche indépendante pouvant ainsi être plus commodément consultée, transmise et utilisée.



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

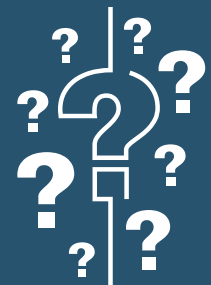
Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire



# Les poussières

## Que sont les poussières ? 5

La dispersion des poussières

Qualité de l'air

Les poussières minérales et la mécanique atmosphérique

Changement climatique et poussières

Poussières et santé

Les poussières produites par l'activité humaine

Origine des poussières en carrière

Quel vocabulaire employer pour les poussières ?

Quelles sont les caractéristiques des poussières de carrière ?

## Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ? 12

Risques pour le personnel

Rappel des différentes formes de silices

Rappel des différentes formes d'amiantes et minéraux susceptibles de produire des particules minérales allongées

Risques pour la population générale

## Quels tonnages sont extraits des carrières en France ? 15

Les granulats

Les roches ornementales

Les minéraux industriels

## Quels sont les procédés de production ? 17

Étape 1 : l'extraction

Étape 2 : le traitement des matériaux extraits

Étape 3 : le chargement, le conditionnement des produits et l'expédition

Principales spécificités liées aux granulats, roches ornementales et minéraux industriels

## Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ? 20

Pourquoi traiter les émissions de poussières ?

Quels sont les principes de prévention ?

Quels sont les dispositifs et techniques de réduction adaptés aux procédés de production en carrières ?

## Quels sont les moyens de mesure des poussières ? 34

En hygiène de travail

Dans l'environnement

## Quels sont les résultats ? 38

Exposition professionnelle

Dans l'environnement

## Quelle est la réglementation ? 41

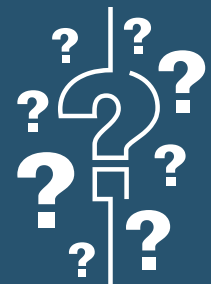
Pour la protection des travailleurs

Environnement des carrières : plan de surveillance

Environnement des installations de traitement

## Glossaire des sigles et abréviations 45





# Que sont les poussières ?



Les poussières sont des particules solides suffisamment fines et légères pour être mises en suspension dans l'air et y rester plus ou moins longtemps. Elles font partie des constituants atmosphériques. Leur nature, très variée, est le reflet de leur origine naturelle ou plus ou moins directement liée aux activités humaines : pollens, fibres, microplastiques, cendres, suies, limons, sables, ...

## La dispersion des poussières

Quelle que soit leur origine, le vecteur principal de la dispersion des poussières est l'air dont la circulation fait partie des dynamiques complexes du climat. Associés à cette circulation que l'on perçoit par le vent, caractérisé par sa force, sa direction, son altitude, se trouvent les autres paramètres météorologiques essentiels comme la pluie, l'ensoleillement, l'humidité, la température.

La pluie lave l'air des particules en suspension pour les plaquer au sol, favorisant leur mélange aux terres ou les entrainer dans les eaux de surfaces qui vont contribuer à leur transport puis leur sédimentation. Au contraire, un ensoleillement prolongé et d'importantes variations de températures contribuent à l'assèchement et à la désagrégation des surfaces, phénomènes propices à l'entraînement des poussières minérales dans l'air dès qu'un processus d'arrachement physique intervient au moment où des masses d'air sont en mouvement.

## Qualité de l'air

Le contenu de l'air représente un enjeu majeur en raison de son impact sur la santé et sur l'environnement. Sa qualité dépend des polluants rejetés par les activités humaines (cheminées d'usine ou de logements, transports, agriculture, etc.) et en même temps par des sources naturelles (éruptions volcaniques, embruns marins, végétation, etc.). D'autres polluants peuvent se former par réactions physico-chimiques entre des substances présentes dans l'air sous forme solide ou gazeuse. La qualité de l'air est aussi fonction des conditions météorologiques qui font évoluer les polluants dans l'atmosphère et favorisent leur dispersion, leur transport ou leur concentration.

## Les poussières minérales et la mécanique atmosphérique

Les climats désertiques favorisent des déplacements considérables de poussières minérales happées par les ascendances dans les couches supérieures de l'atmosphère. Par exemple, les panaches de poussières provenant du Sahara traversent l'océan Atlantique ou la mer Méditerranée suivant la météorologie pour retomber, aux Antilles, au Groenland, en Amazonie ou en Europe.

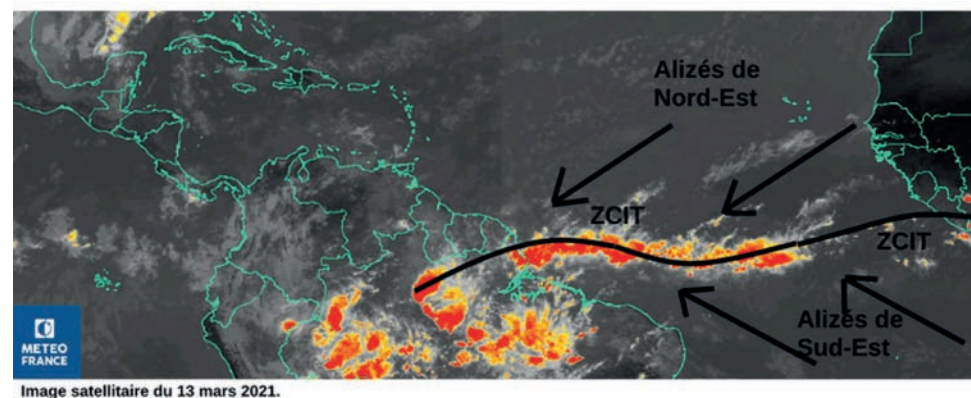


Image satellitaire du 13 mars 2021.

Les alizés de nord-est véhiculent un peu de brume de poussières de l'Afrique du nord vers la Guyane

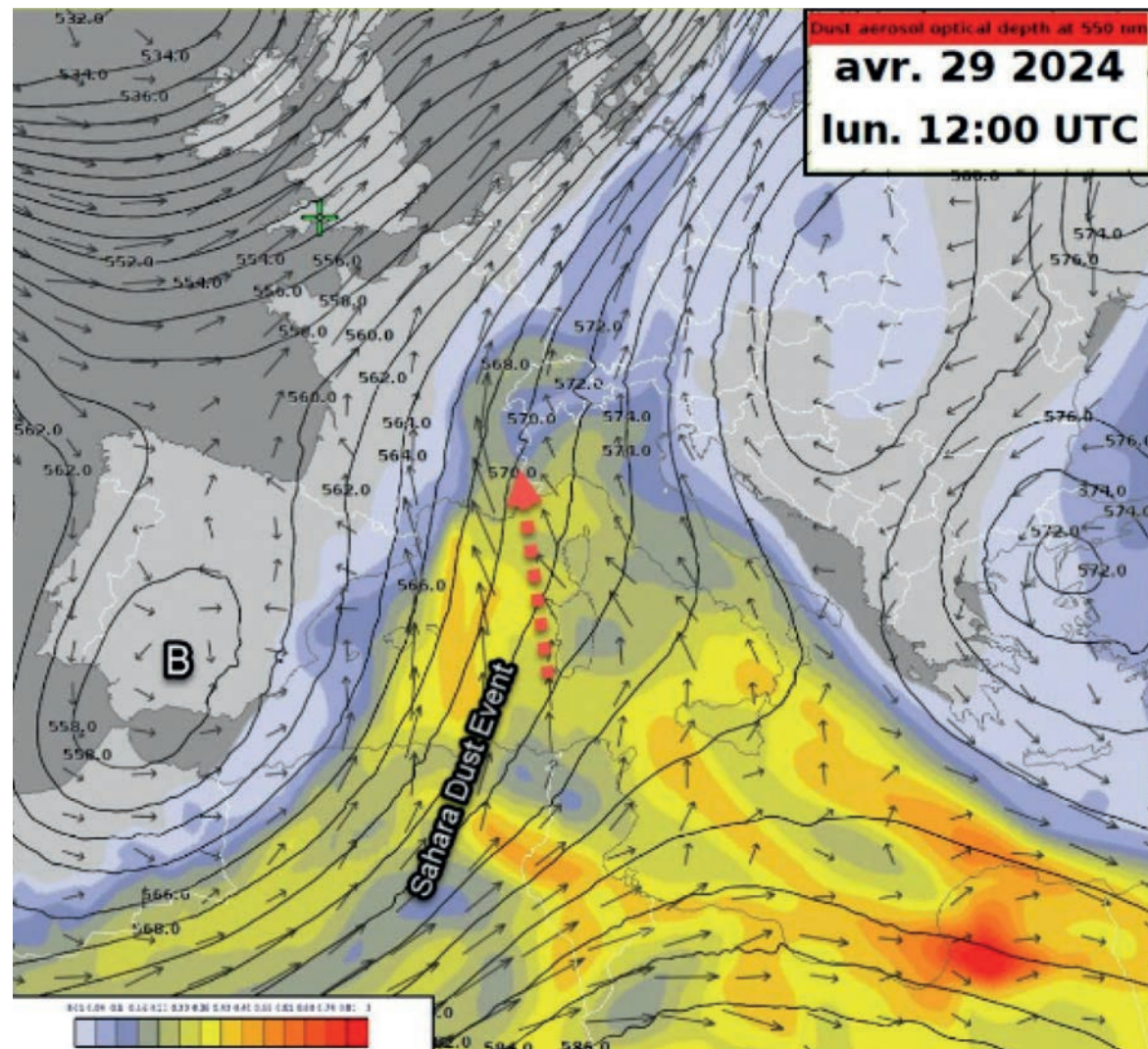




Cette érosion éolienne se traduit par des flux de transports aériens estimés à environ 2 milliards de tonnes par an qui alimente le bruit de fond des concentrations minérales dans l'air. L'ONU, relevant une tendance haussière des quantités moyennes de poussières dans l'air, appelle à mieux comprendre le rôle du changement climatique dans le phénomène, en faisant le parallèle avec la hausse du nombre de « points chauds » qui s'accroît dans le monde. L'Organisation météorologique mondiale OMM a identifié dans un rapport annuel<sup>1</sup> consacré à ces phénomènes plusieurs régions à l'origine de la hausse de ces émissions : le centre-ouest africain, la péninsule arabique, le plateau iranien et le plateau du Nord-Ouest de la Chine. Les évolutions climatiques, les températures plus élevées et l'absence de précipitations, combinées à une mauvaise gestion des eaux et des terres favorisent l'avancée des zones désertiques et ainsi les envois de poussières, affectant les économies, les écosystèmes, le temps et le climat.

À ces phénomènes d'érosion éolienne, s'ajoutent plus ou moins momentanément les poussières volcaniques lorsque les panaches explosifs sont suffisamment violents pour projeter des cendres dans la haute atmosphère à plusieurs dizaines de kilomètres. Au-delà des poussières minérales, relevons que les méga-feux qui ravagent de multiples régions sur les cinq continents, génèrent des suies qui se dispersent dans l'atmosphère sur des milliers de kilomètres.

<sup>1</sup> Le Bulletin de l'OMM sur les poussières atmosphériques esquisse les zones critiques d'aujourd'hui et de demain | Organisation Météorologique Mondiale (wmo.int)



SDE en vue entre dimanche 28 et 29 avril 2024 (COPERNICUS - ECMWF)

Épisode de remontées de poussières sahariennes du 29 avril 2024

## Changement climatique et poussières

Les poussières atmosphériques, suivant la densité de leur panache, réfléchissent la chaleur des rayonnements solaires, autrement absorbée par la surface sombre des océans. Typiquement, les volcanologues et les climatologues corrélient les émissions massives de cendres de certains épisodes éruptifs avec des périodes de refroidissement<sup>2</sup>, voire des glaciations. Au contraire, lorsque cette même poussière s'accumule sur la surface claire de la neige ou de la glace, un réchauffement se produit, en captant la chaleur des rayonnements solaires au lieu de la réfléchir, accélérant la fonte.

Les poussières exercent une influence sur la formation des nuages : suivant les conditions et l'altitude elles vont ou bien alimenter les masses nuageuses qui repoussent la chaleur, ou bien à d'autres moments, contribuent à la formation de nébulosités qui retiennent la chaleur près de la surface terrestre. Ainsi, les poussières qui se déplacent en haute atmosphère, associées à des masses d'air sèches, réduisent le développement de tempêtes tropicales alimentées par la chaleur humide, voire de cyclones tropicaux lorsque la saison s'y prête.

Indirectement, les poussières agissent sur le climat par le biais du développement des organismes vivants. De nombreuses études<sup>3</sup> soulignent cette capacité à aider les organismes vivants à puiser les nutriments nécessaires pour la photosynthèse. Les chercheurs expliquent une grande partie des cycles glaciaires et interglaciaires de notre histoire récente en reliant le pouvoir fertilisant des poussières avec l'explosion de la végétation qui absorbe le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère<sup>4</sup>.

En conclusion, il semblerait d'après une publication récente<sup>5</sup>, que la teneur de l'atmosphère en poussières désertiques a sensiblement augmenté depuis l'ère préindustrielle (+55 %), masquant, par leur effet écran, une partie du réchauffement induit par les émissions humaines de gaz à effet de serre. Sans cet effet, les chercheurs ont modélisé un réchauffement mondial supérieur d'environ 0,1 °C à celui actuellement mesuré. D'autres travaux sont en cours, en particulier grâce aux données récoltées par l'instrument développé par la NASA, EMIT (Earth Surface Mineral Dust Source Investigation) qui cartographie la composition des poussières terrestres, permettant de mieux modéliser le rôle des particules fines dans les mécanismes atmosphériques et plus globalement dans le changement climatique.

## Poussières et santé

Un fois en suspension dans l'air, les poussières peuvent entraîner des répercussions graves sur la santé des populations. En périphérie des zones arides, l'air est parfois si chargé de particules qu'il y est difficile de respirer. Les poussières fines (PM<sub>2,5</sub> - cf. § « Quel vocabulaire employer pour les poussières ? »), sont capables de pénétrer profondément dans les poumons et dans la circulation sanguine, provoquant des troubles cardiovasculaires, cérébro-vasculaires et respiratoires. De nouvelles données indiquent que les particules affectent d'autres organes et provoquent également d'autres maladies comme certains cancers. En 2021, l'OMS a révisé ses lignes directrices relatives à la qualité de l'air, les rendant plus strictes afin d'aider les pays à mieux évaluer la qualité de l'air.

## Les poussières produites par l'activité humaine

L'agriculture, l'industrie, le chauffage des bâtiments avec en particulier le chauffage au bois et les transports constituent les activités humaines les plus génératrices d'émissions de particules.



© DC/Sim

Pratiques agricoles mécanisées :  
émissions de poussières par temps sec



© Freepik

Pratiques industrielles et émissions de  
polluants dans l'air dont des particules fines

<sup>2</sup> Le « petit âge glaciaire » du Moyen Age s'explique par l'éruption d'un volcan – Frank LAVIGNE

<sup>3</sup> Quantification des sources du fer de l'océan Nord Atlantique – Tim M.CONWAY, Le rôle fertilisant des poussières africaines en Amazonie – Hongbin YU&all

<sup>4</sup> Rétroactions poussière-climat - Gary SHAFFER et Fabrice LAMBERT

<sup>5</sup> Impacts des aérosols de poussières minérales sur le changement climatique – Jasper F. KOK&all

En France si le niveau des émissions de particules totales en suspension (TSP pour Total Suspended Particulates) est régulièrement en baisse depuis 1990 (-38 %), l'activité la plus émettrice demeure l'agriculture du fait des pratiques et traitements des sols et des cultures ; vient ensuite l'industrie manufacturière, du fait des activités du BTP et des extractions de matières premières (avec la part des carrières de granulats qui représente moins de 5 % des TSP- Etude UNPG) et le résidentiel du fait de la combustion dans les équipements domestiques. Les diagrammes extraits du rapport SECTEN 2025 du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) illustrent ces tendances générales depuis 1990.

Aux postes de travail, les poussières présentes sont générées par les différents procédés utilisés, comme l'usinage et la transformation de matériaux (bois, aciers, matières plastiques...), la manipulation de produits pulvérulents (sucre, farine...) ou de frottements entre matériaux (centre de tri de colis ou de lettres...).



Poste de travail de menuiserie



Polissage de pierre

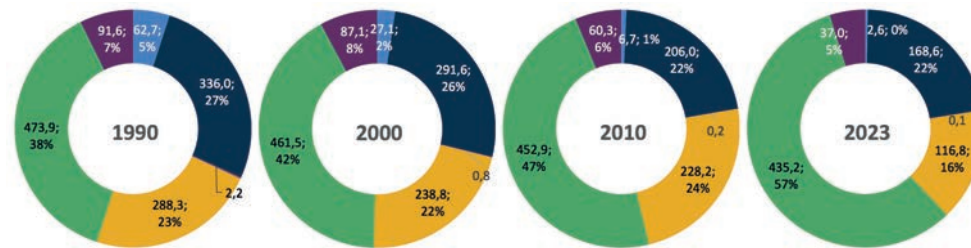


Coulage d'acier



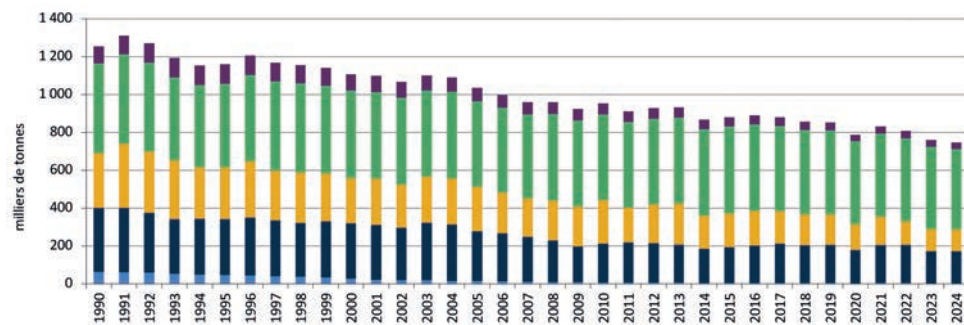
Usinage

## Répartition des émissions de TSP en France (Métropole)



- Industrie de l'énergie
- Industrie manufacturière / construction
- Usage / activités des bâtiments
- Déchets (centralisés)
- Agriculture / sylviculture
- Transports

## Évolution des émissions dans l'air de TSP depuis 1990 en France (Métropole)



- Industrie de l'énergie
- Industrie manufacturière / construction
- Usage / activités des bâtiments
- Déchets (centralisés)
- Agriculture / sylviculture
- Transports 2024 : pré-estimation

Tendance générale des émissions de poussières totales en France depuis 1990 par secteurs économiques : en proportions, graphiques du haut, en tonnages annuels, diagramme inférieur. L'industrie minérale est comprise dans les industries manufacturières représentées en bleu soutenu. Rapport SECTEN édition 2025 - CITEPA

## Origine des poussières en carrière

Les procédés mécaniques d'extraction des roches (foration, tirs de mines, découpe, ...), les techniques de réduction (concassage, broyage, ...) et de façonnage (sciage, polissage, ...) produisent nécessairement des poussières. Lorsque ces dernières sont exposées à une circulation d'air (vent, flux de matières, circulation de véhicules, ...) elles se trouvent en suspension (mesurable en concentration) avant de se redéposer plus ou moins rapidement (mesurable en quantité déposée). Sans moyens de réduction à la source, ces poussières peuvent entraîner un risque pour la santé du personnel présent, une usure mécanique pour les machines et les moteurs, enfin un impact environnemental si la mise en suspension dépasse le périmètre du site.



Carrière de gneiss dans l'Ouest : alimentation du poste primaire de traitement



Carrière de gneiss dans l'Ouest : piste de transport

## Quel vocabulaire employer pour les poussières ?

On utilise le **diamètre aérodynamique** qui est le diamètre équivalent d'une particule régissant le comportement dans l'air d'un aérosol. Il est défini comme le diamètre de la sphère de masse volumique  $1000 \text{ kg/m}^3$  dont la vitesse limite de chute en air calme est identique à celle de la particule. Le diamètre aérodynamique intègre à la fois la taille de la particule, sa forme et sa densité (voir schéma ci-dessous). C'est donc un paramètre essentiel pour l'inhalation (la pénétration et le dépôt dans l'arbre respiratoire). Il est également employé pour définir réglementairement la poussière dans le code du travail : « **poussière totale** : toute particule solide d'un diamètre aérodynamique de 100 micromètres maximum ou dont la vitesse limite de chute, dans des conditions normales de température est au plus égale à 0,25 mètre par seconde » (article R. 4222-3 du code du travail).

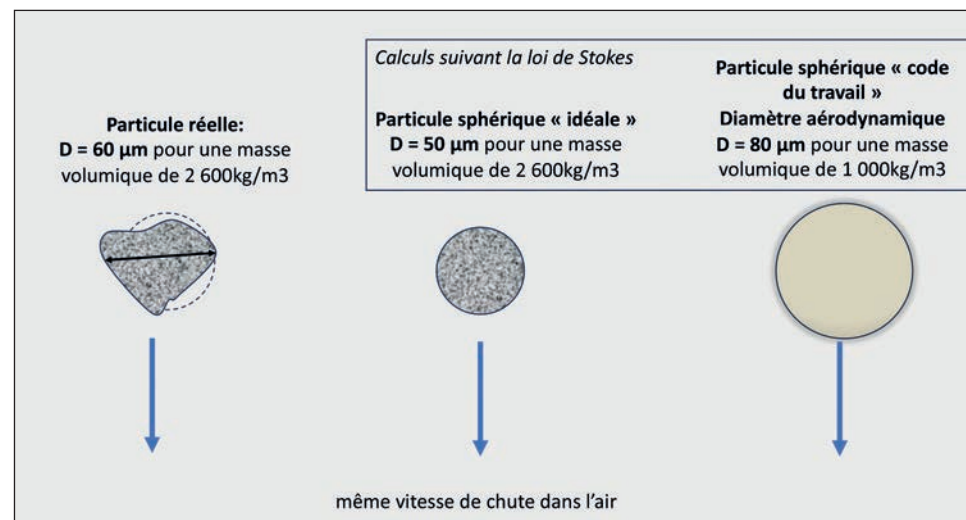


Illustration de la notion de diamètre aérodynamique pour une particule dans l'air

Plus les particules sont légères et de petite taille, plus celles-ci resteront en suspension dans l'air et plus elles pourront pénétrer profondément dans le système respiratoire sous forme d'aérosols. Un **aérosol** désigne une dispersion de particules solides ou liquides dans un gaz. Afin de se rendre compte des grandeurs en jeu, le schéma ci-contre représente les différents diamètres en rapport avec la taille d'un cheveu.

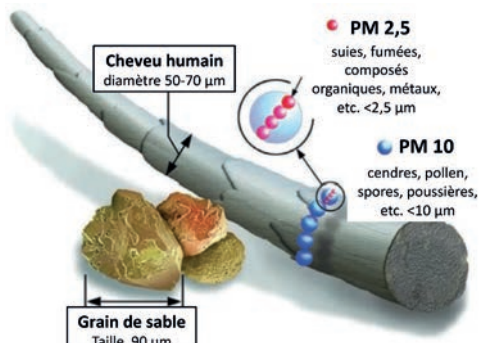


Illustration des tailles relatives des particules

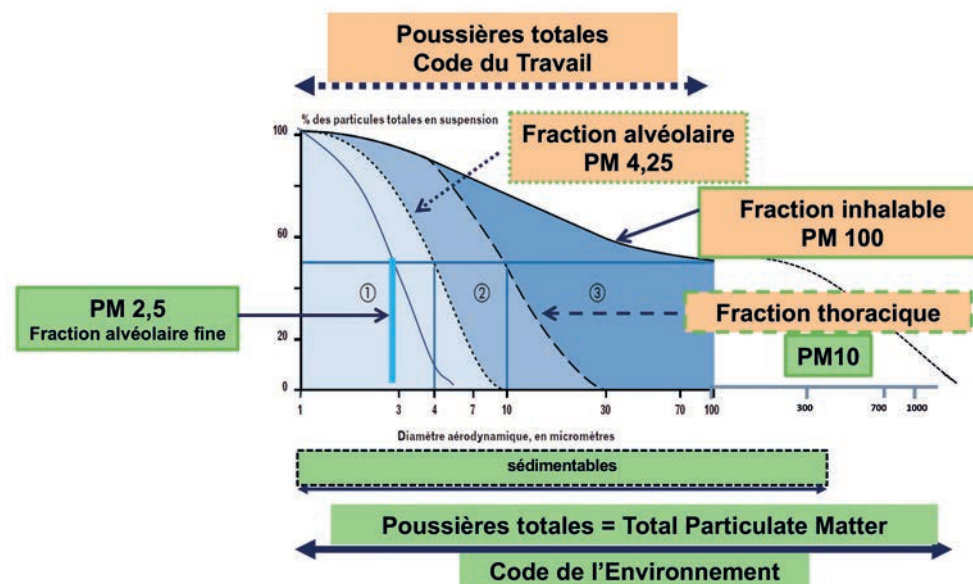
**En santé au travail**, les fractions sont baptisées en fonction de leur pénétration dans l'arbre respiratoire :

- **Fraction inhalable** : partie des particules de l'aérosol présent dans la zone respiratoire qui sont inhalées par le nez ou la bouche. Il s'agit des particules de diamètre aérodynamique inférieur à 100 µm.
- **Fraction thoracique** : fraction des particules de l'aérosol qui sont inhalées et qui pénètrent l'arbre respiratoire au-delà du larynx (équivalente aux PM 10).
- **Fraction alvéolaire** : fraction des particules de l'aérosol inférieures à 10 µm qui sont inhalées et qui pénètrent l'arbre respiratoire au-delà des bronchioles non cillées (équivalente aux PM 4,25).

**Dans l'environnement**<sup>6</sup>, la manière de nommer les poussières diffère. Deux fractions granulométriques principales sont retenues :

- **les PM10** « Particulate Matter » de 10 µm : « particules passant dans un orifice d'entrée calibré [...], avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 10 µm » = **part des poussières inférieures à 30 µm dont 50 % ont un diamètre de 10 µm.**
- **les PM2,5** « Particulate Matter » de 2,5 µm : « particules passant dans un orifice d'entrée calibré [...], avec un rendement de séparation de 50 % pour un diamètre aérodynamique de 2,5 µm » = **part des poussières inférieures à 10 µm dont 50 % ont un diamètre de 2,5 µm.**

Une **synthèse** (cf. ci-dessous) représente les courbes granulométriques des particules en suspension avec en abscisse les tailles en micromètres et en ordonnée la probabilité en % de pénétration dans les poumons. Le texte en fond orange correspond aux fractions granulométriques utilisées en hygiène du travail, le texte en fond vert à celles de l'environnement. La fraction alvéolaire, spécifique au code du travail, correspond à une PM 4,25. La courbe de la fraction thoracique se confond avec la PM10 et celle de la fraction alvéolaire fine avec la PM 2,5.



Sources : qualité de l'air norme NF X43-100, NF ISO 7708 - mai 1996 ; rapport INERIS 2004

Représentation graphique des tailles des particules en fonction des différents référentiels

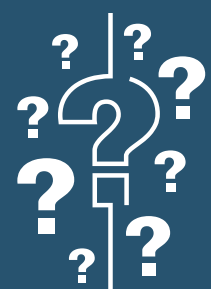
<sup>6</sup> Définitions à l'article R221-1 du code de l'environnement qui reprennent pour les particules celles de la Directive 2008/50/CE dite qualité de l'air

## Quelles sont les caractéristiques des poussières de carrière ?

Une carrière émet des poussières par diverses sources (installations, circulation des véhicules, chargement des produits, action du vent, ...). Les suivis d'analyses réalisés dans l'air prouvent qu'elles appartiennent à la fraction dite grossière des particules, en majorité des PM10, avec moins de 20 % de PM2,5 en moyenne. Ils soulignent qu'elles restent peu de temps en suspension en raison de leur masse volumique élevée (entre 2 et 3 000 kg/m<sup>3</sup>). Les mesures de retombées atmosphériques montrent que la majorité retombent dans le périmètre de la carrière. Cet espace étant ouvert sur le milieu extérieur, les conditions météorologiques sont donc déterminantes pour les envols de ces poussières et leur dispersion en fonction de la topographie. C'est pourquoi, il est essentiel que les poussières soient captées à la source ou au plus près de l'opération qui la génère : c'est la démarche qui sera expliquée avec des exemples pratiques dans les réponses à la question « Quels sont les moyens de prévention ? »



© Freepik



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

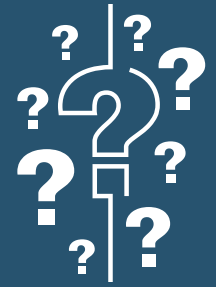
Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire



# Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?



Les poussières minérales issues des carrières et du traitement des matériaux peuvent, comme toutes les poussières, entraîner des maladies respiratoires pour les personnels des exploitations. Ce risque s'apprécie en fonction des caractéristiques physico-chimiques des particules (taille, forme, état de surface, et nature). A ce risque direct peut s'ajouter celui des composés chimiques libérés dans l'atmosphère qui, se fixant sur des particules minérales, trouvent des vecteurs de diffusion susceptibles d'étendre, voire aggraver les conséquences sanitaires des polluants.

## Risques pour le personnel

Comme expliqué plus haut, les poussières sont caractérisées par leur taille, leur forme et leur nature, ce qui conditionne en particulier leur pénétration plus ou moins profondément dans l'arbre respiratoire.

En commençant par la taille :

- **les poussières inhalables** (PM 100  $\mu\text{m}$ ) sont majoritairement retenues dans la région nasopharyngée, puis éliminées par l'organisme. C'est la fraction des poussières totales en suspension dans l'atmosphère des lieux de travail susceptible de pénétrer par le nez ou par la bouche dans les voies aériennes supérieures. L'accumulation de poussières inhalables dans les poumons est susceptible d'entraîner des désordres progressifs dont la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO). Cette maladie pulmonaire se caractérise par une baisse persistante de l'écoulement des gaz inspirés et se développe sur des années ou des décennies. Les symptômes s'aggravent progressivement, avec un essoufflement à l'effort finissant par se produire aussi au repos.
- **les poussières alvéolaires** (PM 4,25  $\mu\text{m}$ ) se déposent au plus profond des poumons, des bronches, bronchioles et des alvéoles, sans que les moyens naturels de défense du système respiratoire ne permettent de les évacuer efficacement. Leur diamètre est 8 fois plus fin qu'un cheveu. Les effets immédiats sont une gêne respiratoire ou l'irritation des yeux et des voies respiratoires (sinus, pharynx, larynx, ...). À terme, se développent plus ou moins rapidement suivant les individus et les concentrations inhalées des fibres susceptibles d'évoluer, en particulier suivant les autres polluants inhalés.

A noter que les poussières qui ne présentent pas d'effet autre que ceux résultant des conséquences d'une surcharge pulmonaire, sont appelées « poussières sans

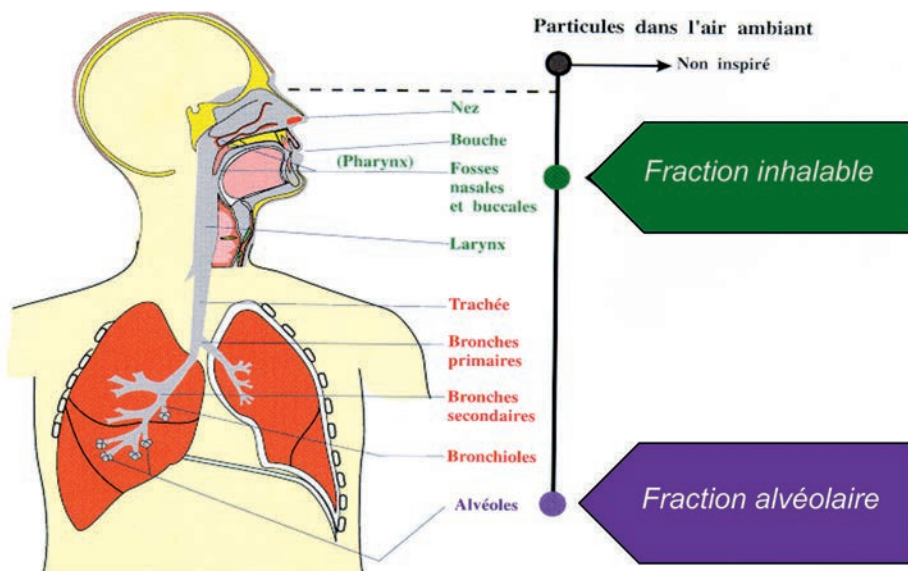
effet spécifique » (PSES). Toutefois le code du travail rend obligatoire l'utilisation d'une protection collective et si pas possible l'utilisation d'EPI et cela quelque soit les poussières.

La nature des poussières a également son importance. En particulier, l'accumulation de poussières alvéolaires de silice cristalline entraîne non seulement la réduction progressive de la capacité respiratoire, mais des fibroses irréversibles croissent inexorablement (les manifestations peuvent être tardives, jusqu'à 30 ans de latence). Le développement d'autres affections telles que les cancers broncho-pulmonaires ou des maladies inflammatoires systémiques (sarcoïdose, lupus, sclérodémie, ...) est également possible. La silicose est reconnue comme maladie professionnelle au titre du régime général et du régime agricole de la Sécurité sociale.

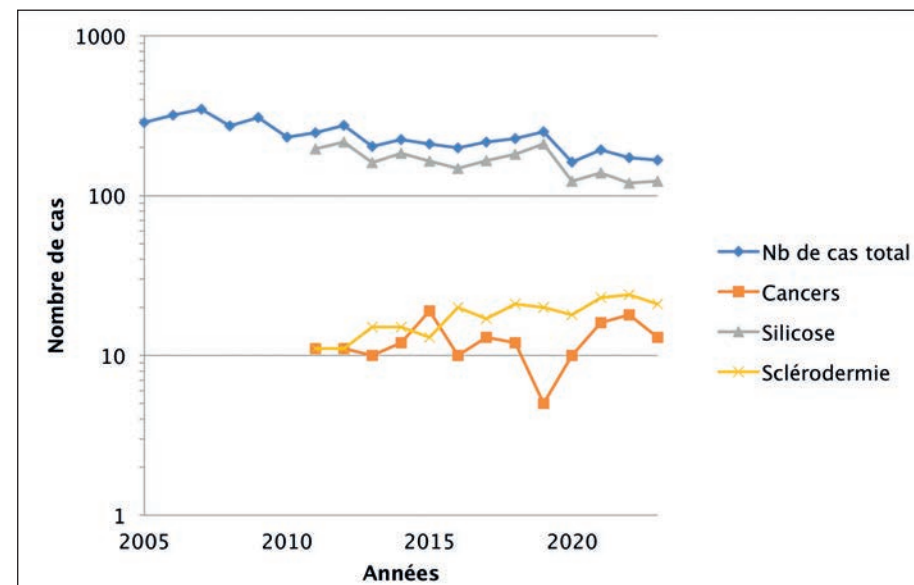
Pour compléter ce tableau des risques sanitaires pour l'industrie minérale, la forme des particules est un facteur aggravant majeur. En effet, il existe dans certaines roches des minéraux fibreux (amiantes, serpentines, ...) qui sont susceptibles de libérer dans l'air des particules minérales allongées (PMA) qui une fois inhalées, piégées dans les alvéoles pulmonaires, vont détruire les cellules de la plèvre en les perforant, provoquant une fibrose pulmonaire spécifique, l'asbestose. Les pathologies peuvent apparaître, comme avec la silicose, de nombreuses années après la période d'exposition. Aucun seuil d'effet sanitaire ne peut être déterminé chez l'homme pour les fibres d'amiante, quel que soit leur nature ou leur caractère dimensionnel. Toutes les fibres d'amiante sont classées cancérogènes de catégorie 1A au niveau européen. Les maladies professionnelles consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante sont toutes reconnues au titre des tableaux 30 et 30 bis du régime général de la Sécurité sociale.



# Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?



Pénétration des poussières dans l'arbre bronchial



Maladies professionnelles déclarées - Source CNAM

Le graphique ci-dessus donne le nombre de maladies professionnelles déclarées, reconnues et indemnisées au titre du tableau 25 du régime général de la sécurité sociale **tous secteurs d'activité confondus** (Source Caisse Nationale d'Assurance Maladie).

## Rappel des différentes formes de silice

L'élément chimique silicium (Si), composant majeur de la croûte terrestre (environ 25 %), existe principalement sous la forme :

- de **silice libre** (dioxyde de silicium,  $\text{SiO}_2$ ) qui est un solide de grande dureté, blanc ou incolore ;
- de **silicates** qui sont des minéraux contenant une combinaison de silice avec divers oxydes métalliques (fer, magnésium...).

Affiches pour la prévention des maladies professionnelles - Source UNICEM Occitanie





# Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

La silice et les silicates se présentent sous forme **crystalline** ou **amorphe**, à l'état naturel ou résultent d'un processus industriel. Le terme « cristallin » désigne une structure minérale organisée (forme géométrique) et régulière, c'est le cas du **quartz**. Un composé « amorphe » est quant à lui formé d'atomes ne respectant aucun ordre, c'est le cas du **verre**.

## Rappel des différentes formes d'amiantes et minéraux susceptibles de produire des PMA

De nombreuses roches possèdent une composition chimique favorable à la cristallisation de minéraux de la famille des serpentines et/ou des amphiboles : roches basiques et ultrabasiques<sup>7</sup> ainsi que certaines roches métamorphiques<sup>8</sup> carbonatées ou siliceuses. Six espèces minérales, une serpentine (Chrysotile) et cinq amphiboles (Actinolite-amiante, Trémolite-amiante, Anthophyllite-amiante, Amosite et Crocidolite ou Amiante bleu) constituent les amiantes reconnues au tableau des substances cancérigènes ; leur longueur est supérieure à 5 µm, leur diamètre est inférieur à 3 µm et leur rapport d'allongement (longueur sur diamètre) est supérieur à 3. C'est le cumul de ces critères qui définit le caractère asbestiforme d'une particule.

Le terme de « particules minérales allongées » (PMA) est employé pour décrire les particules minérales ayant ce rapport d'allongement supérieur à 3, sans tenir compte de leur caractère asbestiforme ou non asbestiforme.

<sup>7</sup> Roches issues de magmas pauvres en silice et riches en minéraux sombres ferromagnésiens

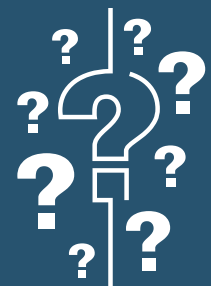
<sup>8</sup> Issues de la transformation de roches préexistantes par augmentation de la pression et de la température en présence d'eau

## Risques pour la population générale

Les expositions aux particules PM10 et PM2,5, en particulier en milieux urbains, sont associées à une augmentation de la mortalité notamment pour des causes cardiovasculaires. Ces effets s'observent à court terme : selon Santé publique France, une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux de PM10 du jour et des cinq jours précédents se traduit par une augmentation de 0,5 % de la mortalité non accidentelle. À long terme, les expositions aux particules fines sont également associées à des risques plus importants de mortalité. Toujours, selon Santé publique France, une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des PM2,5 est associée à une augmentation de 15% du risque de mortalité totale non-accidentelle. Ces constatations sont en ligne avec les rapports des médecins qui suivent les populations exposées aux pollutions par les matières particulaires (cf. § Santé et poussières).

Il est à noter que l'industrie minérale, ne contribue que très faiblement à la pollution atmosphérique par les particules fines (voir la partie sur les mesures dans l'environnement). Pour la population générale, ces poussières ne représentent qu'une très faible part de l'exposition aux particules fines qui sont connues pour favoriser la survenue de maladies cardiovasculaires.

Source : <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/articles/pollution-atmospherique-quels-sont-les-risques>



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

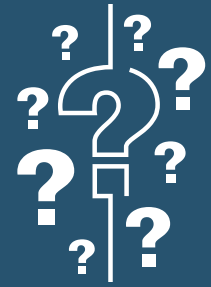
Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire



# Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?



Extraites en carrière et transformées en usine, les matières minérales sont essentielles pour la construction, les aménagements et l'industrie, mais méconnues. En effet, elles restent le plus souvent invisibles puisque intégrées soit aux ouvrages et édifices, soit aux produits de tous secteurs.

Ordre de grandeur du nombre des carrières en fonction des grandes familles de produits :

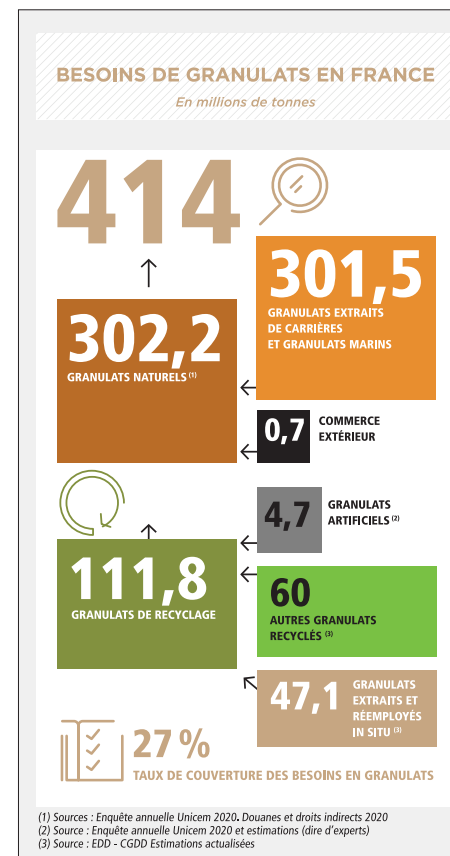
- 2000 carrières de **granulats**
- 500 carrières de **pierres ornementales**
- 500 carrières de **minéraux pour l'industrie et l'agriculture**

Auxquelles doivent être ajoutés les sites de transformations (usines, plateformes, installations de traitement...) dont beaucoup ne sont pas situés directement sur l'extraction.

**Les granulats** sont principalement issus :

- De carrières de roches meubles (alluvions, sables, galets...) qui extraient des dépôts sédimentaires d'origine géologique diverse (fluviale, glaciaire, marine, éolienne...) Tonnage produit en France 2020 = 117,9 Mt.
- De carrières de roches massives qui exploitent des roches consolidées de différentes natures éruptives, métamorphiques ou sédimentaires. Tonnage produit en France 2020 = 183,6 Mt.
- Du recyclage par tri et valorisation des matériaux inertes issus des chantiers routiers et de la déconstruction de bâtiments ; de sous-produits industriels comme les laitiers de hauts fourneaux ou d'aciéries (matériaux minéraux issus de l'élaboration de la fonte et de l'acier), les mâchefers d'incinération des déchets non dangereux. Tonnage recyclé et valorisé en France 2020 = 111,8 Mt.

À noter que des granulats meubles proviennent également d'extractions en mer exploitant généralement d'anciennes alluvions maintenant immergées du fait de la remontée du niveau marin depuis la dernière glaciation. Tonnage extrait en France 2020 = 5,4 Mt.



Ainsi, les besoins français en granulats s'établissent pour l'année 2020 ainsi suivant le schéma ci-contre publié par l'UNICEM.

Représentation des besoins de granulats en France  
- Source UNICEM



**Les roches ornementales** sont toutes les roches naturelles utilisées en structures, architecture et décoration, pour la construction et l'aménagement des bâtiments et des ouvrages d'art, pour la voirie, le funéraire, les aménagements intérieurs et paysagers, pour la restauration des monuments historiques et la sculpture. Les roches ornementales extraites en France sont principalement des pierres calcaires (270 400 m<sup>3</sup> extraits en 2018, soit 68 %) et des granites (115 300 m<sup>3</sup> soit 29 %). À elles seules, ces roches représentent environ 97 % de la production totale nationale, soit environ 900 000 tonnes. L'extraction de grès, laves et schistes correspond aux 3 % restant.

## Les minéraux industriels

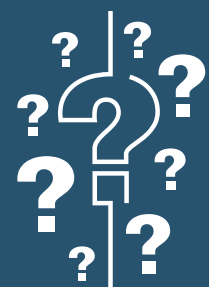
Les minéraux industriels sont des matières premières naturelles non métalliques et non énergétiques, formées dans des environnements géologiques particuliers et extraites de l'écorce terrestre pour leurs propriétés physiques et chimiques.

On distingue ainsi :

- **Les matières premières pour les métiers de la construction** : argiles pour tuiles et briques, argile et calcaire pour le ciment ou la chaux, gypse ou anhydrite pour le plâtre...

- **Les matières premières de l'industrie chimique** : carbonates de sodium, sels, borates, fluorine, phosphates, silice pour le silicium métal....
- **Les matières premières pour les autres industries** : papeterie, verrerie, plastiques, réfractaires, peintures, pharmacie et cosmétiques, céramique, alimentation animale, engrais, agriculture (amendement) et agro-alimentaire, industrie pétrolière, caoutchouc, électronique, traitement de l'eau... Pour ces industries de très nombreux minéraux sont utilisés, on peut citer les argiles, le kaolin, le feldspath, la silice (sables ou grès), le talc, la calcite, la dolomie, l'andalousite, les micas, la diatomite, le zircon, la perlite, les argiles « spéciales » (vermiculite, sépiolite, bentonite...)

Ces minéraux pour l'industrie représentent un tonnage d'environ 50 Mt (2019).



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

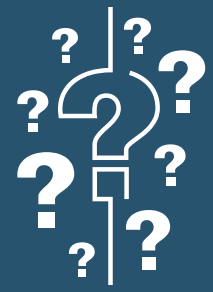
Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

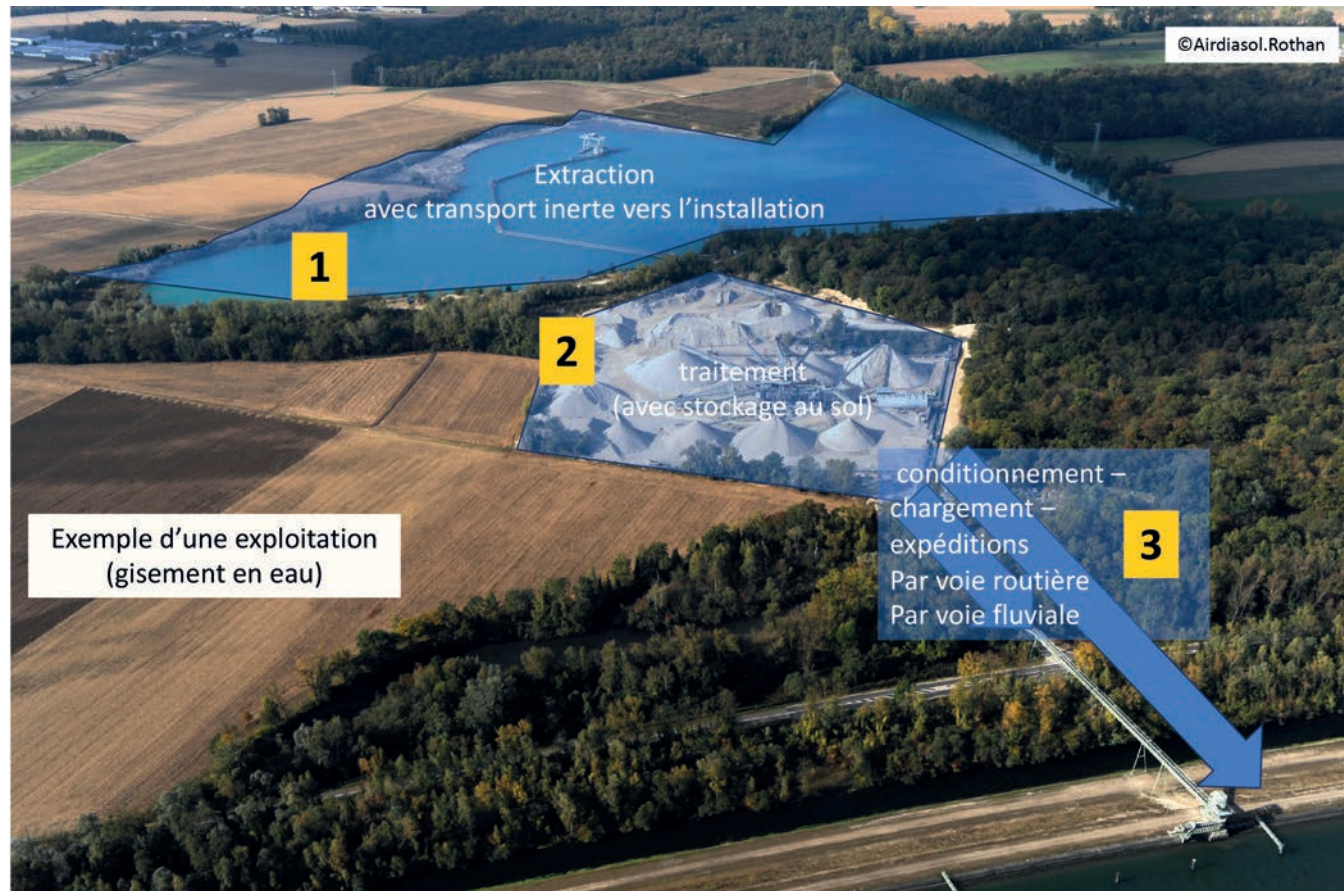
> Aller au glossaire





# Quels sont les procédés de production?

Les procédés d'élaboration des granulats, des roches ornementales et des minéraux industriels diffèrent puisque les produits répondent à des usages très variés, mais présentent tous, trois étapes communes illustrées ci-dessous ; les spécificités sont décrites plus loin.



Représentation des étapes de production dans l'industrie minière



## Étape 1 : l'extraction

Il s'agit de l'activité initiale caractéristique de ces activités avant toute transformation : la carrière. Elle regroupe :

- Recherches géologiques avec sondage de reconnaissance de la zone à extraire, analyses granulométriques, pétrographiques, essais physico-chimiques, etc.
- Décapage, découverte de la surface (suppression de la couverture végétale et des terres inaptées à être transformées), stockage séparé. Les moyens employés sont des engins de terrassement (pelleteuses, tombereaux, bulldozers, ...)
- Extraction :
  - En roches massives, foration pour tirs de mines (foreuses) et minage et reprise par des engins (pelleteuses, chargeuses, ...)
  - En roches meubles, extraction et reprise directement par des engins (pelleteuses, chargeuses, ...) avec des spécificités lorsque l'extraction se fait en eau (excavateurs, dragues à benne, dragues suceuses refoulant en pulpe le matériau jusqu'à l'unité de traitement, ...)
  - Certains matériaux sont extraits par dissolution (sels) et acheminés par tuyauteries pour transformation en usine.
- Transport interne pour acheminer le matériau extrait (tout-venant, blocs) par camions, tombereaux, convoyeurs à bandes, pipeline... jusqu'à l'installation de traitement.
- Remise en état et réaménagement sont les étapes finales lorsque la matière première est épuisée. Suivant les configurations des sites (épaisseur du gisement), ces étapes sont assurées par campagnes plus ou moins coordonnées à la découverte avec les mêmes engins de terrassement reprenant en particulier les terres de découvertes stockées, valorisant les déchets d'extraction et de fabrication et complétant avec des déchets inertes extérieurs non recyclables lorsque les conditions locales le permettent.

## Étape 2 : le traitement des matériaux extraits

L'installation de transformation regroupe les machines, outillages et manutentions dans des usines qui implantées sur la carrière ou non suivant l'optimisation de chaque entreprise et son marché. Traits communs :

- Automatisation, robotisation et supervision des opérations
- Recyclage des matières, des eaux de procédé (clarificateur, presse à boues, ...)
- Entretien des matériels mobiles et fixes en atelier de maintenance
- Aires et enceintes de stockage des matériaux bruts, semi-finis, et finis à proximité

## Étape 3 : le chargement, le conditionnement des produits et l'expédition

Généralement attenante à l'installation, une plateforme regroupe les dernières opérations logistiques pour la commercialisation des produits :

- Le chargement direct sous trémies/silos (vracs) ou par engins (chargeurs, pelleteuses, ...)
- Le conditionnement éventuel des produits (sacs, big-bags, palettes, caisses, ...)
- L'expédition par camions, trains, bateaux
- Le contrôle administratif (édition et remise des documents commerciaux)

## Principales spécificités

- **Pour les granulats**, la production est basée sur la classification (scalpage, criblage, cyclonage, ...) et la réduction (concassage, broyage) afin d'atteindre les caractéristiques physiques voulues (forme, angularité, dureté, granulométrie, propreté, ...). Ces étapes sont organisées en voie sèche ou humide suivant les gisements (présente d'argile par exemple) et la destination des produits (enrobés, béton, ...).



# Quels sont les procédés de production?

- **Pour les roches ornementales**, l'extraction, uniquement en roches massives, consiste à retirer de la masse rocheuse des blocs homogènes les plus grands possibles, suivant différentes techniques : la coupe (sciage) au câble diamanté, avec une haveuse, à l'aide d'explosif avec des techniques (foration, charge) protégeant l'intégrité des blocs, au jet d'eau, par coins hydrauliques...

Les manutentions (les blocs extraits pèsent jusqu'à 16 tonnes) se font généralement par chariots élévateurs, grues, ou derricks, plateaux..., jusqu'à l'atelier de transformation.

Les procédés de base reposent sur le sciage permettant le débit en tranches plus ou moins épaisses suivant les produits recherchés :

- pour les plus minces : revêtements de sols, de façades, de murs (« produits minces »)
- pour les plus épaisses à être débitées en pavés, bordures ou monuments funéraires, ...

Le façonnage permet des formes complexes grâce aux outils de taille numérique, soit par taille de pierre manuelle.

La finition est le traitement de surface destiné à donner son caractère fonctionnel et/ou esthétique au produit : brut, adouci, poli, brossé, flammé, bouchardé, layé, ciselé, bossagé, etc.

- **Pour les minéraux industriels**, une fois l'extraction réalisée, des technologies très variées, adaptées à chaque type de minéral et à son contexte industriel, sont utilisées pour enrichir, séparer, réduire, sélectionner afin d'obtenir la forme et la composition selon les besoins de l'industrie utilisatrice.

Au-delà des techniques partagées avec la fabrication des granulats (réduction, séparation et recomposition), citons quelques spécificités comme :

- la séparation magnétique, électrostatique, densimétrique à sec ou en humide (flottation)
- le tri optique
- la calcination, fondamentale pour assurer les transformations chimiques de certaines matières (ciment, chaux, terres cuites, chamotte, métakaolin).
- le séchage combiné (avant ou après à certains traitements mécaniques ou chimiques)
- la micronisation (broyage ultrafin)
- le traitement de surface (dépôt de composés chimiques spécifiques en surface)

**À chaque étape de ces procédés de production, les aspects « empoussiérage » (risque pour la santé) et « empoussièremment » (risque pour l'environnement) doivent être pris en compte et organisés.**

Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire

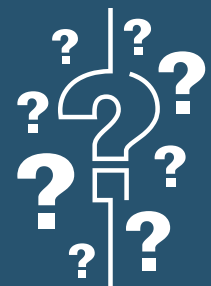
> Retrouvez directement chaque question :

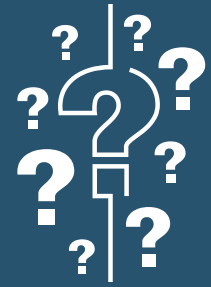
Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?



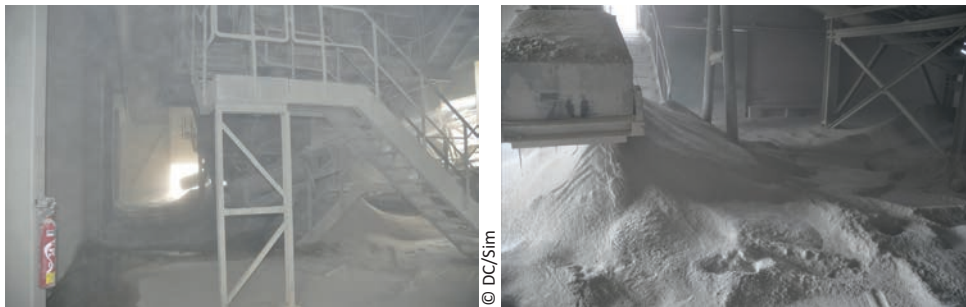


# Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?



## Pourquoi traiter les émissions de poussières ?

Quelques illustrations tirées de situations extrêmes montrent la nécessité de répondre à cette question.



*Installation de traitement : platelage de circulation encombré par l'accumulation de débordements et d'accumulation de poussières*

Premier exemple avec des photos montrant l'intérieur d'une installation de traitement sous bâtiment où les matériels n'ont pas été suffisamment équipés pour réduire les émissions de poussières. Celles-ci sont produites ou mises en suspension principalement au niveau des transporteurs, des cribles et des concasseurs. On constate que les poussières émises dans l'air sont majoritairement retombées, restant confinées à l'intérieur des bâtiments, avec très probablement un moindre impact sur l'environnement. Assurer la surveillance, l'entretien courant et la maintenance de telles installations avec des aires de circulation encombrées, expose le personnel à de mauvaises conditions de travail et à de fortes concentrations en poussières.

En extérieur, les situations qu'illustrent les photos ci-dessous sont néfastes pour la qualité de l'air que respire le personnel comme pour l'environnement immédiat de la carrière.



*Carrière en Bourgogne : émissions de poussières à la mise en stock après concassage*



*Carrière dans l'Ouest : émissions ponctuelles derrière un tombereau sur une piste sèche*

Aujourd'hui, grâce au développement des techniques et des équipements, il est possible de réduire les émissions de poussières des installations anciennes jusqu'à atteindre des performances quasi équivalentes à celles que l'on doit obtenir sur une installation nouvelle.



*Carrière en Normandie : installation sans dépoussiérage*



*Même carrière en Normandie : installation après adaptations*



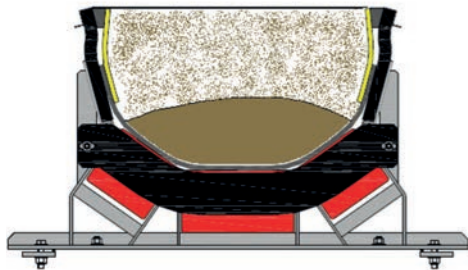
## Quels sont les principes de prévention ?

La lutte contre les poussières commence à la source des émissions et comporte, quels que soient les métiers, trois méthodes : le confinement, l'aspiration (voie sèche) et l'abattage (voie humide).

### LE CONFINEMENT

Le confinement consiste à isoler la source d'émissions des poussières de l'extérieur par des moyens passifs (écrans, capotages, bardages, goulottes, étanchéités, ...). C'est la première étape **essentielle et indispensable** pour réduire les émissions de poussières. Il se décline à plusieurs échelles :

- Au niveau de chaque matériel fixe comme les concasseurs, cribles, convoyeurs, ... (schémas et photos jointes)



Confinement d'un transporteur

© GB/Brunone



Carrière de grès - Bretagne : installation de traitement de granulats - Confinement d'un transporteur

© DC/Sim

- ou matériel mobile comme les groupes de concassage, criblage, foreuse, ... (dont les photos jointes contrastent clairement avec les précédentes, soulignant l'importance que revêt le confinement)

Carrière de calcaire- Occitanie : émissions de poussières d'un groupe de concassage mobile sans équipement anti-poussières



© DC/Sim

- et au niveau des bâtiments qui enferment des équipements, machines, ... en particulier autour des unités de traitement et des stocks de produits fins



© DC/Sim

Carrière de grès - Bretagne : foreuse en action sur gradin avec dépoussiérage à la source et cabine isolée pour le foreur



Carrière de grès - Bretagne : installation de traitement bardée

### L'ASPIRATION (voie sèche)

Comme dit précédemment, le confinement est une étape indispensable, mais dans certains cas, insuffisante car des poussières se propagent à l'extérieur. En particulier, le déplacement de volumes de matériaux génère des mouvements d'air avec une mise en pression, chassant des poussières vers l'extérieur. Pour améliorer la performance du confinement et dans le cas de granulométries fines, il faut donc y associer une aspiration avec un traitement par filtre de l'air empoussiéré avant rejet dans l'atmosphère. La mise en dépression de la zone confinée empêche ainsi les poussières de s'échapper. Cette mise en dépression peut être centralisée ou assurée ponctuellement.



## Dépoussiérage centralisé

L'aspiration **centralisée** impose la création d'un réseau important de conduits pour relier tous les éléments de l'installation au ventilateur de mise en dépression, après être passé par les filtres.

Conséquences :

- Le réglage de la dépression pour chaque équipement peut être délicat.
- L'air chargé de poussières circulant à grande vitesse dans les conduits entraîne des problèmes d'usure, en particulier dès que les fines comportent des particules abrasives.
- Une cheminée unique rejette à l'atmosphère l'air filtré ; elle doit être équipée pour que les contrôles de débits et de concentrations soient assurés.
- Les fines collectées en bas de filtres sont généralement dirigées vers un silo spécifique pour être ensuite évacuées par camion-citerne.
- La circulation au sein des installations doit prendre en compte l'encombrement de ces conduits, des tôleries de confinement ainsi que des nombreux dispositifs d'étanchéité entre les appareils.



© JED/Sim

Installation de production de granulats : confinement et conduites de captage des flux d'air dans un dépoussiérage centralisé



© JED/Sim

Dépoussiérage centralisé ajouté en extérieur d'un bâtiment fermé de criblage ; les fines sont renvoyées dans les graves



© DC/Sim

Stockage en silo des fines

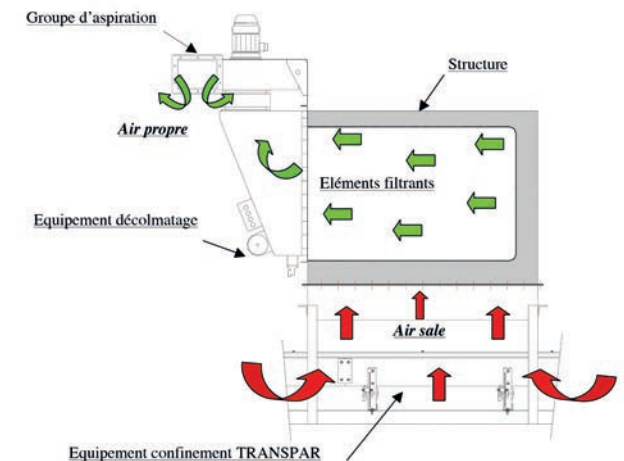
Chargement des fines dans une citerne à pulvérulents avec une manche télescopique dépoussiérée

## Dépoussiérage ponctuel (ou localisé)



© DC/Sim

Dépoussiéreur ponctuel sur convoyeur après concassage





L'aspiration par ventilateur ponctuel en aval d'un filtre, installé ici sur un convoyeur, permet non seulement de traiter les poussières pour la partie réception, mais aussi pour l'élément situé en amont (crible ou concasseur) : le traitement est rendu possible par la mise en dépression nécessaire dû au mouvement d'air des matériaux, moyennant un confinement soigné. L'évacuation des fines récupérées par le filtre se fait directement sur les matériaux présents sur la bande transporteuse par décolmatage séquentiel des manches.

À ce jour, le système de dépoussiérage ponctuel est le plus répandu en carrière : l'installation en est souvent plus aisée sur le plan technique et permet un investissement progressif par éléments dans le cas d'installations existantes en hiérarchisant les priorités.

Une installation de dépoussiérage centralisée traite un ensemble de matériels généralement dans un même bâtiment (poste secondaire ou tertiaire par exemple) le plus souvent à l'occasion d'une nouvelle unité (meilleure anticipation des contraintes d'encombrement) ; l'investissement est beaucoup plus important.

## L'ABATTAGE (voie humide)

Ce système regroupe toutes les techniques utilisant l'eau pour réduire les envols de particules. Un matériau humide génère moins de poussières. La difficulté est double : mouiller un matériau sec et atteindre des particules de très petite dimension ( $< 50 \mu$ ). La bonne efficacité de l'abattage passe par plusieurs voies pour abaisser la tension superficielle des gouttes d'eau (addition d'un tensioactif...) et réduire la taille des gouttelettes d'eau pour la rapprocher de celle des poussières.

On distingue plusieurs techniques :

**Arrosage** = eau basse pression répandue le plus souvent avec du matériel agricole

**Atomisation** = eau basse pression pulvérisée avec des agents mouillants et de l'air comprimé

**Nébulisation** = eau sous haute pression ( $> 50$  bars) projetée sous forme de brouillard

L'**arrosage** concerne les pistes, les trémies de concasseurs primaires, les bandes transporteuses, les stocks de matériaux O/D avant expédition, ...

Certains inconvénients tels que le colmatage (des trémies, des bandes transporteuses et des éléments criblants), la détérioration des pistes... obligent à contrôler les débits d'eau :

- pour éviter de rendre les matériaux « collants » peu compatibles avec les opérations de criblage. L'arrosage est ainsi le plus souvent réservé aux postes primaires ;
- pour éviter l'usure des mâchoires de concasseur et des blindages par rapport à une utilisation à sec ;
- pour limiter les coupures et les usures accélérées sur les bandes transporteuses en caoutchouc.

L'**atomisation** concerne entre-autre le traitement des chutes de matériaux à la sortie de transporteurs.

La **nébulisation** est plutôt réservée au traitement des volumes importants (trémie de concasseur primaire, hall d'installation, ...).

Les techniques d'abattage déployées aujourd'hui tendent à réduire toujours davantage les volumes d'eau ; les tensio-actifs utilisés sont biodégradables.

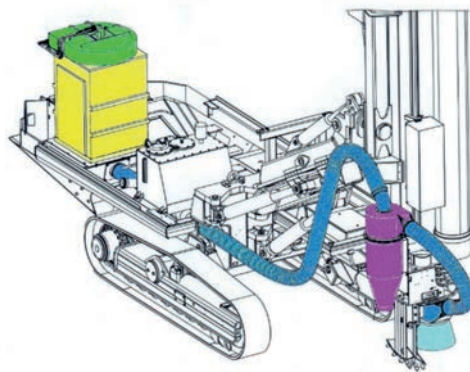


## Quels sont les dispositifs et techniques de réduction adaptés aux procédés de production en carrière ?

### Extraction - Foration et Minage/abattage (roches massives)

L'opération d'abattage des matériaux au front de taille (qu'ils soient valorisés ou stériles) commence par le forage des trous recevant ensuite l'explosif de minage. Toutes les machines de foration doivent être équipées de système de dépoussiérage depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020. La foration entraîne donc beaucoup moins d'émissions directes de poussières dans l'atmosphère.

Par ailleurs, le plus souvent l'opérateur se trouve dans une cabine fermée, généralement climatisée et filtrée. Les opérations de remplacement des barres étant complètement automatisées, il n'intervient plus en pied de mât et n'est donc plus exposé aux remontées d'air chargées de particules.



Le circuit de dépoussiérage de l'air sur une foreuse



Carrière de grès-quartzite dans l'Ouest : foreuse en action



Rejet des fines en arrière de la machine



Carrière de granite ornemental dans le Sidobre : rang de quatre perforatrices montées sur bras de pelle hydraulique



Carrière de calcaire : foreuse en action

Concernant les tirs de mines, il n'existe pas à ce jour de système de suppression des émissions de poussières. C'est la maîtrise des tirs qui permet de réduire les émissions et de garantir une blocométrie (dimension des blocs de matériaux) compatible avec la capacité du concasseur primaire. Cette maîtrise réduit ou supprime l'utilisation des brise-roches en pied de butte ou dans la trémie de réception en tête d'installation, opération occasionnelle certes, mais génératrice de poussières.



Tir de mines

Remarquons que les émissions des tirs sont très limitées dans le temps (quelques minutes et pas tous les jours) et dans l'espace (roche en place avec une certaine humidité). Les suivis expérimentaux dans les carrières de granulats montrent que dans la plupart des cas, les stations situées à l'extérieur des sites ne décèlent aucune influence des tirs de mines sur la qualité de l'air mesurée.



## Extraction directe (roches meubles)

L'opération consiste à extraire directement au front de taille les matériaux (éventuellement après ripage). Il n'y a pratiquement pas d'émissions de poussières à cette étape, même lorsque les conditions sont défavorables (roche hors d'eau, période sèche, vent)



© DC/Sim

*Normandie : exploitation à sec de sables et graviers en hautes terrasses*



*Bretagne : exploitation de sables Pliocène*

## Reprise des matériaux bruts et transport sur pistes

En carrières de roches massives, comme en roches meubles, la reprise et le chargement des matériaux bruts par les engins (pelle sur chenille, chargeur sur pneu, s...) ne remobilise généralement que peu de poussières. En revanche, si le transport jusqu'à l'installation de traitement est assuré par des tombereaux sur pistes, ces derniers peuvent générer un envol important de particules dès que les conditions sont défavorables (topographie, météorologie, vitesse, ...). À noter que pour les roches ornementales, les risques de mises en suspension sont très réduits du fait que les vitesses de circulation des véhicules de transfert en charge (chargeur, élévateur, ...) sont lentes.



*Sud-Ouest : transport par tombereau en carrière de calcaire*



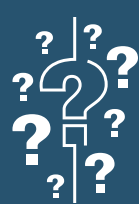
© DC/Sim

*Sidobre : transfert de blocs de granite au chargeur ; des chutes et débris au tombereau articulé*



© DC/Sim

*Nouvelle-Aquitaine : carrière de sables et graviers - transport des matériaux après égouttage par tombereau*



# Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?



Pour réduire les émissions de poussières, une première solution consiste à réaliser un réseau de canalisations équipées d'aspenseurs rotatifs le long des pistes et voies de circulation. Le système de commande est généralement centralisé, avec une gestion automatisée des cycles en fonction de la circulation, des pistes empruntées et de la météorologie. Un tel réseau se révèle toutefois délicat à régler et à maintenir complètement opérationnel tout au long de l'année (purges en hiver, remplacement des canalisations endommagées, gestion des vannes et des pompes associées au réseau). De plus, un excès d'eau peut générer des ruissellements et « nids de poules » sur les pistes, pouvant engendrer des dégradations des conditions de travail des conducteurs, des ralentissements dans les rotations et donc des pertes d'exploitation pour le site. Les réseaux, très consommateurs d'eau, sont progressivement remplacés par des systèmes plus performants dès que les conditions demandent des efforts de réduction de prélèvement d'eau.



© DC/Sim

Nouvelle-Aquitaine : aspersion sur aire de circulation



Une autre solution couramment employée est d'arroser les aires de circulation avec du matériel de type agricole. L'efficacité de l'arrosage est renforcée avec l'ajout d'un surpresseur sur la cuve et de buses de pulvérisation montées sur rampes à l'arrière de la cuve.



© DC/Sim

Aspenseur agricole



© DC/Sim

Arroseuse (tombereau articulé modifié)



Arroseuse en action (tombereau articulé modifié)

Certains engins peuvent être spécifiquement équipés permettant d'embarquer des volumes d'eau plus importants tout en assurant une circulation en rapport avec la vitesse des autres engins en carrière. Par ailleurs, des lances latérales permettent de procéder au mouillage des pieds de stocks de granulats.

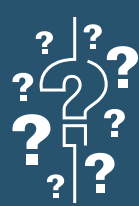
Différents additifs ou liants mélangés à l'eau mise en œuvre par engins d'aspersion évitent la formation de poussières au roulage, limitent l'érosion due au trafic et forment un croûtage qui réduit l'érosion éolienne. Les traitements peuvent être espacés de plusieurs jours à plusieurs mois suivant les conditions de roulage et la météorologie. Utilisés de façon continue et régulière, les liants renforceront la piste en évitant la création d'ornières. A noter le développement de nouvelles molécules, dont certaines issues de végétaux (certifiés éco-compatibles), formulés pour améliorer la cohésion de surface des sols non revêtus comme les pistes de circulation des engins.



© Sim/Dumpo

Benne de tombereau modifié pour mouillage des aires de circulation





# Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Des solutions nouvelles consistent à embarquer sur le tombereau un réservoir d'eau avec un système de pulvérisation fine sous pression devant les roues, commandé et optimisé par le conducteur.

Certains systèmes utilisent la benne comme réservoir lors du déplacement à vide du dumper. Une commande permet d'arroser à l'avant des roues arrière comme le montrent les photos ci-contre.



*Système embarqué sur tombereau pour pulvérisation*



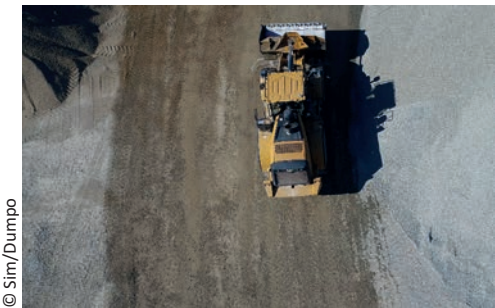
*Remplissage de la benne*



*Modification de benne pour mouillage des aires de circulation*



*Godet de chargeur modifié pour mouillage des aires de circulation*



*Mouillage des aires de circulation par chargeur modifié*

Le roulage en carrière (engins et camions sur l'ensemble des aires de circulation) représente **une des plus importantes sources d'émissions par remobilisation des poussières** : les méthodes de réduction adaptées aux diverses situations sont appliquées de façon permanente avec des contrôles sanitaires et environnementaux.

## Installations de traitement

L'alimentation d'une installation commence avec le bennage des tombereaux dans la trémie primaire, opération répétée qui peut générer, en conditions défavorables, beaucoup de poussières en raison de la quantité de matériaux mise en mouvement (entre 30 et 90 tonnes) sur des hauteurs de chute de plusieurs mètres. Le bennage génère ainsi un brusque flux d'air entraînant beaucoup de poussières. Pour réduire cette émission, un bardage supérieur permet de confiner les poussières dans un volume d'air moins exposé. Un rideau souple à l'entrée améliore encore le confinement.

Dans tous les cas, l'arrosage est commandé par le chauffeur qui optimise la quantité d'eau à apporter sur la piste et cela sans risque d'excès.

Le plein est assuré par un poste de chargement rapide proche de la trémie primaire.

Le système existe aussi pour les chargeuses sur pneus : le principe est d'utiliser le godet comme réservoir et d'arroser en roulant. La rapidité de déplacement de ces machines permet de couvrir facilement l'ensemble des zones de circulation. Pour beaucoup de sites, cette polyvalence évite d'avoir à investir dans des engins dédiés à l'arrosage, avec les contraintes de conduite et d'organisation que cela induit.





# Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?



Trémie bardée sur trois faces pour limiter l'explosion aux vents



Trémie bardée avec rideau pour limiter les émissions au vidage

Pour une efficacité renforcée on peut associer des rampes de pulvérisation autour de la trémie ou un canon de brumisation d'eau.



Rampes de pulvérisation d'eau au-dessus d'une trémie

Quelle que soit l'installation :

- une attention spécifique est portée pour confiner chaque appareil, en particulier au niveau des réceptions des matériaux : jetées sous appareils avec ou quelques fois sans goulotte avant convoyeur de reprise. Pour assurer l'étanchéité de ces points de chargement et tout particulièrement en présence de gros éléments dans

le flux des matériaux, une auge de réception spécifique sans rouleaux assurant une fonction d'amortissement pour préserver la bande transporteuse sera préférée aux rouleaux classiques.



Détail de réalisation d'une liaison sur un convoyeur entre zone de chargement et zone de transport



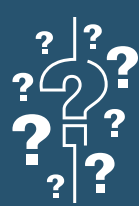
Bavettes d'étanchéité en partie basse d'une zone de chargement sur un convoyeur

- les appareils les plus nombreux sont les transporteurs ; même s'ils ne sont pas à l'origine de la production des poussières, ils en sont un vecteur de propagation via le flux d'air créé dans l'environnement :

- à la jonction avec les machines
- au niveau du système de raclage
- au niveau des rouleaux, et notamment ceux de retour



Dépoussiéreur ponctuel en sortie de concasseur



## Stockages



© Brunone



Stacker orientable



Stacker avec « échelle » anti-poussière

Écran en jetée de transporteur pour augmenter l'efficacité de la brumisation en réduisant la prise au vent

© DC/Sim



© DC/Sim

Aspersion sur zones de circulation et sur pied des stocks

La réduction des émissions de poussières à la mise en stock peut commencer à la jetée du dernier convoyeur par réduction des hauteurs de chute avec des différents systèmes (inclinaison/orientation automatiques par rapport aux tas, échelles à cailloux, goulottes télescopiques, ...) et par mise en place d'écrans et dispositifs de mouillage des granulats.

Les aires de stockage sont également traitées comme les aires de circulation, soit par réseau de canalisations équipées d'asperseurs rotatifs, soit par des engins mobiles équipés de lances, dispositions fixes ou mobiles visant toutes à mouiller le plus possible l'ensemble des granulats afin de limiter l'érosion éolienne, mais sans réduire de manière significative les émissions à la reprise pour chargement.

Une variante des liants végétaux utilisés contre les envols de poussières sur les pistes a été adaptée à la protection des stocks de matériaux contre l'érosion éolienne. Il s'agit d'un complexe organo-minéral en phase aqueuse pulvérisé à la lance ou par les arroseuses équipées de rampes latérales orientables. Une croûte de plusieurs millimètres en surface protège le stock des envols pendant plusieurs mois. Le produit se dégrade dès manipulation et aération du granulat ; aucune contrainte qualitative dans l'emploi ultérieur du stock de granulat traité en surface. Composé à base de matières végétales, ce produit n'a aucune incidence sur la qualité des granulats stockés et ainsi protégés de l'érosion éolienne. Brun à l'origine, il change d'aspect au séchage.



© D. GROUT

Pulvérisation de liants végétaux sur stocks (laquage)



## Reprise et chargement



© DC/Sim



© DC/Sim



© DC/Sim

Ce poste demeure le point le plus sensible en particulier lorsque la granulométrie est fine.

Les principales innovations vont plutôt concerner les postes de chargement fixes sous silos ou trémies.

Plusieurs étapes de traitement des poussières sont prises en compte : à la sortie du matériau sous la casque de la trémie, au niveau de la benne, au niveau de l'engin de chargement, ou au niveau du poste de chargement.

*Mise en suspension des fines du produit par le déplacement d'air dans la benne*

*Reprise et chargement d'un sable sec par un chargeur*

*Émission d'un panache ponctuel de poussières*

Au niveau des sorties de trémies/silos, suivant les granulométries, plusieurs dispositifs existent :

- goulottes télescopiques (sables et fillers)
- goulottes DSH (dust suppression hopper)
- rampes de pulvérisation



© @GB/Brunone

Goulottes DSH



© DC/Sim

Rampes de pulvérisation autour d'un casque d'une trémie



Goulottes télescopiques





# Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?



Le niveau suivant peut-être celui de la benne du véhicule avec des dispositifs de hotte relié à un dispositif de dépoussiérage par mise en dépression de l'ensemble du volume de chargement. L'efficacité de cet équipement peut être améliorée en réalisant l'enfermement du camion avec sa benne par bardage complet du poste de chargement sous trémie : des portes automatiques se ferment au moment du chargement du véhicule limitant les courants d'air. Le chargement achevé, après le départ du camion, on constate que le confinement a permis de limiter les poussières au niveau du véhicule.



Postes de chargement automatique bardés



Chargement en cours avec mise en dépression



Hall de chargement en dépression après départ du véhicule

Pour le chargement effectué par des engins mobiles (chargeur, pelle, ...), la réduction des émissions passe par le confinement des aires de stockage/chargement sous halls avec, lorsqu'il est possible de le faire, un mouillage des produits ou pulvérisation de brouillard par canon.



Hall de stockage de sables secs fillerisés



Canon de brumisation sur stocks au sol

Pour le chargement des trains, des infrastructures spécifiques sont le plus souvent nécessaires pour concilier cadences de remplissage, maîtrise des nuisances sonores et émissions de poussières.



Chargement de wagons





## Circulation des camions sur site au chargement

Pour ce poste d'émission, la solution de voiries en enrobés (ou en béton) reste la meilleure et la plus pérenne. Elle nécessite néanmoins un balayage régulier et un arrosage (fixe ou par engins) mais celui-ci est beaucoup plus limité.



© JED/Sim

Aire de circulation en carrière en enrobés



© JED/Sim

Aire de circulation en carrière en enrobés avec aspersion

## Autres émissions fugitives

Afin de réduire naturellement les envols de poussières depuis les banquettes (ainsi nommés les paliers de max. 15 m en front de taille) et les aires minérales, sont développées de nouvelles techniques de végétalisation des espaces en carrières. Le principe est d'introduire dans le sol des micro-organismes naturels sélectionnés pour leur capacité à vivre dans les milieux arides exposés à l'érosion afin d'entrer en symbiose avec la végétation de surface introduite pour lui permettre de s'y développer. Une fiche de retour d'expérience<sup>9</sup> détaille cette technique de génie écologique qui permet, sur la base de plants locaux d'optimiser la stabilisation et la fertilité des sols généralement mises à mal par les opérations de terrassements en carrière, en particulier en zones arides.



© DC/Sim

<sup>9</sup> [https://www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/rex/21-rex\\_cdr\\_ge\\_vf.pdf](https://www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/rex/21-rex_cdr_ge_vf.pdf)



© J.F. Narcy

Opérateur sur intervention d'aspiration

## Maintenance et entretien des équipements

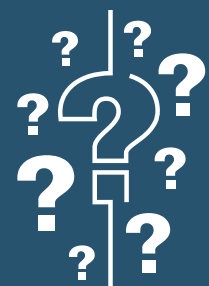
Au cours des opérations de maintenance et d'entretien, le personnel est exposé en particulier par remobilisation des poussières déposées sur les équipements, les machines et les zones de circulation. Au-delà de la conception même des installations, la prévention exige de faire précéder toute intervention d'une phase de nettoyage / purification (par aspiration, par lavage suivant les sites, les configurations et les matériaux). En outre, ces tâches de nettoyage peuvent être organisées de manière systématique (campagne d'une demi-journée par semaine par exemple) en définissant des zones des installations, avec des plages d'intervention en fonction des disponibilités des matériels de nettoyage (sous-traitance ou en propre).

En cas d'interventions d'urgence sur incident, il peut être difficile de suivre de telles règles : l'exploitant veille alors à ce que les protections individuelles adaptées soient portées par tous les intervenants.



© J.F. Narcy

Véhicule aspirateur avec bras télescopique



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

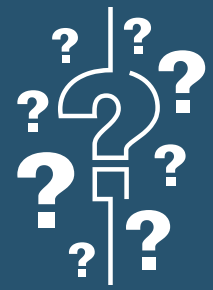
Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire





# Quels sont les moyens de mesure des poussières ?



De façon générale, la mesure de la concentration des poussières dans l'air peut se faire :

- directement selon le principe de la gravimétrie : un prélèvement d'air est réalisé par une pompe à air avec un flux constant et connu, dirigé sur un filtre où se déposent les poussières ; en fin de mesure, le filtre est pesé et analysé lorsqu'on veut déterminer la nature des particules recueillies ; l'affichage immédiat du résultat de la pesée, et par conséquent de la concentration des poussières dans l'air est possible avec l'ajout d'une jauge bêta dont l'atténuation du rayonnement est proportionnel aux dépôts sur le filtre.
- indirectement par mesure optique avec un rayon lumineux diffracté par les particules, ou encore électrostatique avec l'ionisation autour d'une tige métallique exposée aux frottements des particules ; dans ces cas, l'affichage de la concentration est direct.

Les méthodes de références pour les prélèvements de poussières dans l'air sont basées à ce jour sur l'emploi de préleveurs fonctionnant sur le principe de la gravimétrie et équipés d'une pompe régulée pour un débit d'air donné passant au travers d'une tête de prélèvement sélective, elle-même calibrée pour une taille de particule.

## Mesure en hygiène du travail

Les mesures destinées à évaluer l'exposition des travailleurs sont réalisées à l'aide de préleveurs individuels permettant d'échantillonner les poussières dans une zone proche des voies respiratoires. Ces appareils sont équipés d'une tête avec un cyclone permettant de prélever spécifiquement, soit la fraction inhalable des poussières, soit la fraction alvéolaire. La pesée des filtres permet ensuite de déterminer la masse de poussières prélevées : le volume d'air prélevé étant connu par le débit de la pompe de l'appareil, la concentration en poussières dans l'air inhalé par la personne peut ainsi être calculée. Pour déterminer la nature des particules, les filtres sont ensuite envoyés en laboratoire d'analyse : la diffraction aux rayons X ou la spectrométrie infrarouge permettent d'évaluer la silice cristalline et donc de calculer l'exposition des opérateurs.

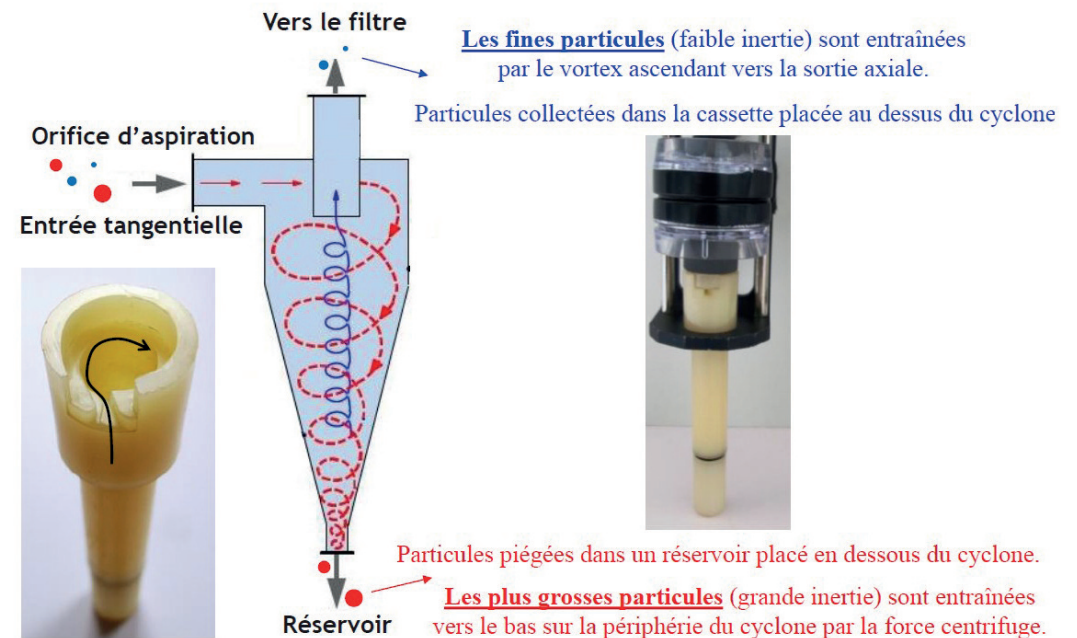


Schéma de fonctionnement d'un cyclone et photo d'un cyclone de type Dorr-Oliver



Le choix d'un modèle de préleveur obéit aux prescriptions liées principalement au type d'atmosphère et à la famille de poussières à échantillonner.

Le modèle le plus utilisé en carrière est un dispositif autonome de prélèvement, le CIP 10<sup>10</sup> qui collecte les particules dans une coupelle rotative munie d'une mousse (voir schéma et photo). Il existe en trois versions pour prélever la fraction alvéolaire (R), thoracique (T) et inhalable (I). Son débit de prélèvement est calibré à 10 litres/minute.

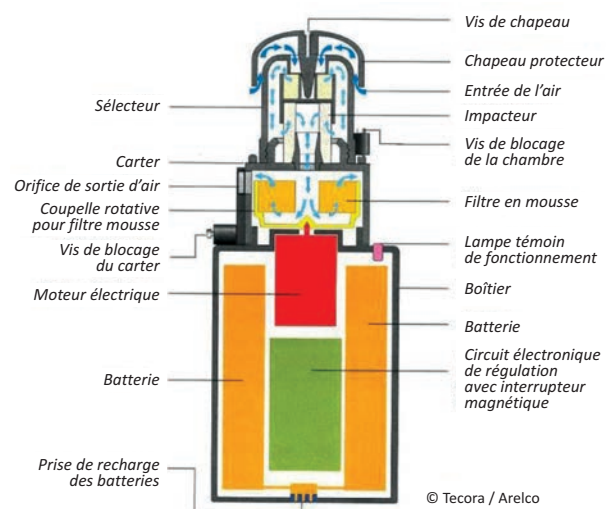


Schéma d'un CIP 10 en version alvéolaire



CIP 10



Compteur de particules par photométrie

Des appareils de mesures en temps réel – comme le photomètre présenté ci-contre – sont également utilisés pour :

- Détecter et localiser des émanations de poussières sur une plage de concentrations de 0 à 200 mg/m<sup>3</sup>.
- Déterminer des profils d'exposition pour l'identification des pics d'exposition, généralement indétectables par les méthodes traditionnelles de prélèvements.
- Aider à la mise en place d'une stratégie de prélèvements en fournissant une estimation des niveaux de pollution en divers endroits et à différents moments.
- Aider à la validation d'un système de captage ou d'assainissement de flux d'air empoussiéré.
- Sensibiliser les salariés en mettant en évidence, en temps réel, des expositions à des poussières qui ne se voient pas.

Pour une étude détaillée de l'exposition lors de tâches particulières, il existe des solutions permettant de coupler de tels appareils à un enregistrement vidéo et ensuite de visualiser parallèlement le film avec l'affichage des concentrations mesurées.

## Mesures en environnement

L'évaluation de la qualité de l'air ambiant se fait suivant la Directive européenne révisée (résolution du 24 avril 2024) qui, en outre, donne les objectifs en termes de valeurs cibles pour prévenir ou réduire les effets nocifs pour la santé humaine et pour l'environnement dans son ensemble. Ces modalités, dites de référence, reposent en particulier sur des **préleveurs/analyseurs dont le débit nominal doit être au moins de 2,3 m<sup>3</sup>/h** (soit 38,3 litres/minute) conformément à la norme EN 12341 (2014) Air ambiant — Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique PM<sub>10</sub> ou PM<sub>2,5</sub> de matière particulaire en suspension.

<sup>10</sup> <https://www.inrs.fr/dms/inrs/PDF/metropol-prelevement-cip10/metropol-prelevement-cip10.pdf>



# Quels sont les moyens de mesure des poussières ?



Un capteur de pollution transforme la concentration d'une particule (ou d'un gaz) dans l'atmosphère en un signal électrique permettant la mesure. Les appareils sont répertoriés « conformes à la méthode de référence » lorsqu'ils ont été testés répondant aux spécifications par un laboratoire accrédité, ou « équivalent à la méthode de référence » lorsque les tests s'appuient sur le guide européen de démonstration d'équivalence et soumis à recalibration. On trouve sur le site du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air la liste des analyseurs-préleveurs référencés, ainsi que le référentiel technique national pour assurer les mesures des polluants dans l'atmosphère (TEOM, BAM, FIDAS).

Ces appareils sont équipés pour transmettre en temps réel les informations sur les concentrations mesurées en PM (10, 2,5 et le plus souvent 1) et sont le plus souvent équipés de batteries de prélèvements sur filtres afin d'assurer, sur un pas de temps programmable, des échantillons de particules pour analyse chimique.



© DC/sim

Région PACA - station de mesure expérimentale en périphérie de carrière : néphélomètre PM10 + station météo + batteries+ panneaux solaires

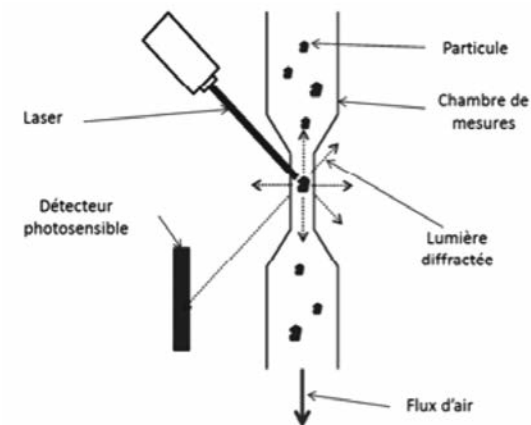
Depuis quelques années, la miniaturisation des équipements a mis sur le marché des micro-capteurs et des micro-préleveurs, moins volumineux, moins coûteux, donc plus facilement mis en œuvre, tout en intégrant des dispositifs de télétransmission corrélés à des interfaces de traitement de données et d'alarme.

Le Laboratoire Centrale de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA), s'appuyant sur les travaux européens, a précisé la définition des instruments répondant au nom de « micro-capteur » :

- D'un coût très significativement inférieur
- D'un poids et d'un encombrement très modestes
- D'un affichage directement lisible

Les micro-capteurs de particules (PM10, PM2,5, PM1) ont actuellement une technologie basée sur la diffraction de la lumière : ils sont regroupés sous le nom d'OPC (Optical Particle Counter). Coupe schématique d'OPC.

Chaque particule qui passe devant le faisceau de lumière en diffracte une partie vers la photodiode (détecteur photosensible). La figure de diffraction captée est directement liée à la taille des particules et à leur nombre, c'est-à-dire leur densité dans l'espace qu'elles occupent. En fonction d'un étalonnage avec des particules de référence, le logiciel (boîte noire du capteur) en déduit une concentration en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  par taille de particule (entre 10 et 1  $\mu\text{m}$ ).



Principe de fonctionnement d'un détecteur de particules dans un flux d'air



# Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

De bonnes corrélations avec la méthode de référence, en sites périurbain et urbain sont généralement obtenues. Cependant les nombreux essais réalisés, en particulier dans les carrières, montrent que :

- Certains phénomènes météorologiques perturbent les mesures (brouillard, condensation, vent fort...)
- Les panaches de poussières (fortes concentrations) provoquent la saturation du capteur
- Les grosses particules sont mal identifiées (interprétées comme plusieurs particules)

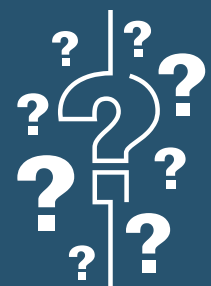
Ainsi, **les micro-capteurs - dans les technologies actuelles - doivent être réservés à la surveillance extérieure des sites** (là où les concentrations restent très inférieures aux seuils de saturation) en appui d'un ou plusieurs analyseur(s)/préleveur(s) séquentiel(s) implanté(s) à proximité des sources principales d'émissions.

La miniaturisation des équipements concerne également les préleveurs de particules bas-débit (de 1 à 4,5 litres/min) qui peuvent être alimentés sur batterie (ou par panneaux solaires) avec des impacteurs PM10 ou PM2,5. Et, contrairement aux micro-capteurs, **les essais de micro-préleveurs réalisés en carrières montrent une bonne corrélation avec les mesures gravimétriques de référence.**

Enfin, la surveillance de sites comme les carrières et les installations de traitement dont les émissions sont dominées par des particules denses qui sédimentent très rapidement, porte généralement sur les dépôts atmosphériques :

- Pratiquée avec des jauges suivant la norme NF X43-014 (novembre 2017) pour une détermination des retombées atmosphériques totales (dépôts secs et dépôts humides)
- Pratiquée avec des plaquettes suivant la norme NF X43-007 (décembre 2008) pour une détermination des dépôts secs

Les études ont montré que les dépôts de poussières en carrière comme à proximité des installations de traitement étaient composées de particules grossières (plus de 100  $\mu$ ) et aussi de particules fines pouvant aller jusqu'à moins de 0,1  $\mu$ .



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

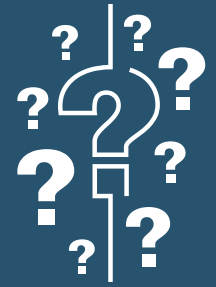
Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire



# Quels sont les résultats ?



## Exposition professionnelle

Plus l'opérateur sera proche d'une source d'émission plus son exposition pourra être importante. Divers facteurs influent sur celle-ci :

- Le temps de présence dans la zone,
- La qualité des poussières et du matériaux d'origine (pulvéulence plus importante de certains matériaux),
- Le type d'installation de traitement (ouverte, semi-ouverte, fermée),
- La présence d'équipements de confinement, d'aspiration ou d'abattage des poussières,
- L'organisation mise en œuvre par l'exploitant (travaux à l'arrêt, sous processus humide, nettoyage avant intervention, avec appareil respiratoire, etc.).

Sur les carrières, la majorité des lieux de travail sont en extérieurs et limitent l'exposition du personnel aux poussières alvéolaires. De nombreux postes sont dans des engins climatisés ou pressurisés permettant d'isoler le conducteur des poussières émises au cours des opérations d'extraction, de chargement/déchargement et de transport, sous réserve de bonnes conditions d'entretien et de nettoyage des cabines.

A l'opposé, les lieux de travail les plus exposants sont les installations de traitement en elles-mêmes et les opérations de maintenance qui leur sont liées. Ainsi, les personnels les plus exposés sont :

- Les pilotes et surveillants des installations, en particulier lorsqu'ils procèdent aux rondes de contrôles de production (hors des postes de supervision généralement en surpression et dépoussiérés).

- Les opérateurs de maintenance intervenants principalement sur les cribles, les concasseurs et les broyeurs ainsi que les différentes manutentions et équipements associés.

Autre source d'exposition non négligeable : les travaux en laboratoire, lors des contrôles des produits principalement.

Les industriels de l'industrie minérale, toutes filières confondues, sont très actifs sur la prévention à l'exposition aux poussières :

- cherchent des solutions afin de réduire le plus possible l'exposition professionnelle en privilégiant les mesures de protection collective complétées par des mesures organisationnelles ;
- mettent à disposition de ses adhérents des outils de prévention comme des guides<sup>11</sup>, comme le passeport sécurité destiné aux sous-traitants formés via un service en ligne<sup>12</sup> ;
- adhèrent à l'accord européen NEPSI pour l'évaluation des risques d'exposition à la silice cristalline et participent activement aux échanges de données pour l'amélioration continue des pratiques ;
- viennent de lancer une gestion mutualisée des suivis (pour les 15 000 salariés des carrières de granulats, dans un premier temps) sous forme d'une base de données des contrôles réalisés par les organismes accrédités afin de disposer d'indicateurs sur l'évolution des expositions professionnelles en fonction des postes de travail et des mesures de prévention.

<sup>11</sup> *Vient de paraître : deux guides sur la prévention des risques liés aux poussières | UNICEM*

<sup>12</sup> *Accueil - UNPG (passeport-securite.com)*



## Dans l'environnement

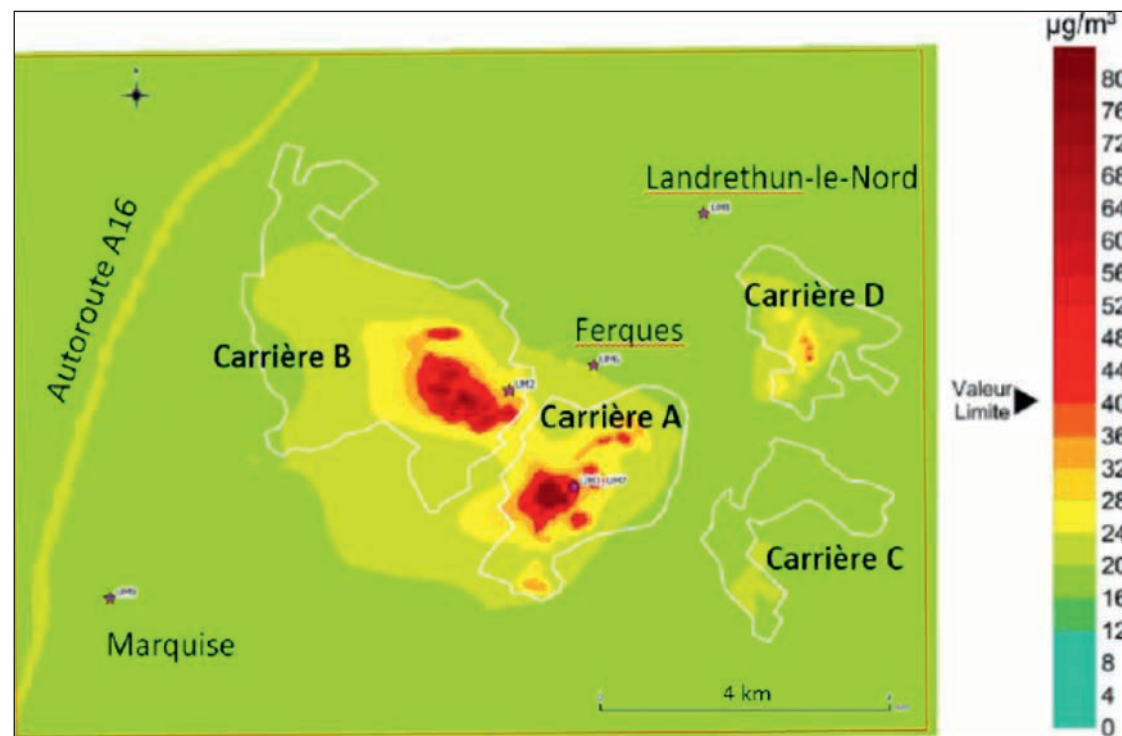
Aujourd'hui, la dispersion des poussières venant des carrières est limitée du fait des techniques et procédés mis en œuvre. Les résultats de cette gestion de réduction des émissions montrent, en termes de qualité de l'air et en extrapolant les mesures réalisées sur l'année entière, que les seuils réglementaires (PM10, PM2.5 et retombées atmosphériques) sont très majoritairement respectés sur l'ensemble des stations de mesures situés autour des carrières.

Depuis 2012, plusieurs programmes d'études professionnelles ont été menés avec des experts de la qualité de l'air, sur différents sites dans des contextes variés et représentatifs des fonctionnements tout au long de l'année :

- Les carrières produisent majoritairement des PM 10 et peu de PM 2,5 (ratio caractéristique  $PM_{2,5}/PM_{10} < 0,2$ ) ;
- Les PM 10 ne se dispersent pas au-delà d'un rayon de quelques centaines de mètres autour des sites d'extraction ;

La conclusion de ces études est que, dans les conditions des suivis réalisés, il n'apparaît pas de risque sanitaire pour les riverains même lorsque les sites exploitent une roche nécessitant des contrôles pour le personnel (silice, PMA).

Cette influence limitée est confirmée lorsqu'on prend soin de réaliser des analyses chimiques sur les prélèvements, y compris pour les PM2,5 dont l'influence est plus limitée. De telles analyses mettent également en évidence d'autres sources de particules : par exemple les influences maritimes pour des sites du littoral, celles des exploitations agricoles ou encore du chauffage urbain (bois).



Représentation de la concentration moyenne de PM10 - période du 7 septembre au 5 octobre 2015  
Modélisation du bassin de Marquise - Etude EMCAIR 2015-2018

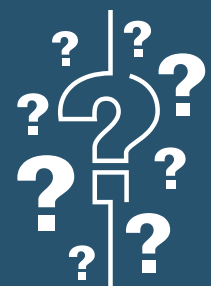


L'approche dans l'environnement réalisés avec des jauges Owen, confirme que la dispersion aux abords de la carrière reste limitée. Les analyses chimiques ont été utilisées au cours de ces études pour caractériser la contribution de la carrière sur son environnement par la géochimie des roches exploitées avec le Ca (calcium) pour la roche calcaire, le rapport Fe/Al (rapport fer/aluminium) pour les roches comme les grès et les gneiss : même périmètre d'influence qu'avec les PM10. Par analyses granulométriques, on constate que les poussières sédimentables (échantillonnées au plus près des sources pour disposer de quantités représentatives) :

- sont constituées de particules de taille étendue – de 0,1 à 250  $\mu\text{m}$  de diamètre – dont les particules de plus de 10 $\mu\text{m}$  de diamètre, les plus concernées par les phénomènes de sédimentation constituent la masse principale ;
- peuvent être, par remobilisation, des sources secondaires de PM10 et dans une moindre mesure les PM2,5.
- sont corrélées aux PM10, mais pas aux PM2,5 car leurs proportions sont très faibles dans les émissions de carrières.



© DC/Sim



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

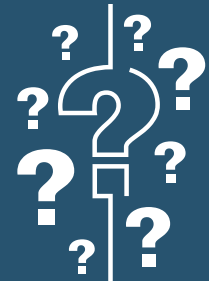
Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire



# Quelle est la réglementation ?



## Pour la protection des travailleurs

La prévention des expositions aux poussières dans les carrières est soumise à la partie du Code du travail concernant les agents chimiques dangereux (article R 4412-1 à 57) et, lorsque de la silice cristalline est présente dans la roche exploitée, à celle concernant les agents chimiques cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction. En effet, les travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire ont été ajoutés récemment à la liste des procédés cancérigènes (arrêté du 26 octobre 2020 applicable au 1er janvier 2021 par transposition de la directive européenne du 12 décembre 2017). Antérieurement, le Code du Travail avait été complété par des dispositions spécifiques relatives au contrôle de l'exposition aux poussières alvéolaires dans les mines et les carrières (décret n° 2013-797 du 30/08/13 modifié et par l'arrêté du 4 novembre 2013).

L'évaluation des risques constitue le préalable de toute démarche de prévention des risques chimiques. Celle-ci permet de construire un plan d'actions de prévention. Pour être efficace, elle est renouvelée régulièrement et à chaque modification importante des processus de travail. Les résultats de l'évaluation des risques sont consignés dans le document unique d'évaluation des risques professionnels.

Dans le cas de l'exposition aux poussières, l'évaluation a pour objectif de hiérarchiser les postes et les tâches en fonction de leur niveau d'exposition et ainsi de définir les mesures de prévention à mettre en place et les priorités d'amélioration à apporter.

La méthodologie d'évaluation des risques comprend les étapes suivantes :

- Évaluer la dangerosité des poussières en déterminant la teneur du gisement en quartz et si nécessaire en cristobalite et en tridymite ainsi qu'en minéraux asbestiformes (amiante) ;
- Identifier les sources d'émission de poussières ;
- Identifier les postes de travail et les salariés exposés aux poussières ;

- Évaluer pour chaque salarié l'exposition au risque poussière :
  - Durée d'exposition ;
  - Niveau d'exposition ;
- Recenser les moyens de prévention existants ;
- Définir les mesures de prévention à mettre en place ou à améliorer, les prioriser et les planifier.

Les limites de concentrations moyennes sur 8 heures **dans les locaux de travail** à pollution spécifique pour les poussières sont spécifiées à l'article R 4222-10 du Code du travail. Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022, elles sont fixées à **7 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction inhalable** et à **3,5 mg/m<sup>3</sup> pour la fraction alvéolaire**. Ces valeurs ont été abaissées à 4 et 0,9 mg/m<sup>3</sup> depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2023. Pour l'industrie extractive, une valeur de 5 mg/m<sup>3</sup> s'applique pour la fraction alvéolaire à l'extérieur.

Les valeurs limites d'exposition professionnelles sur 8 heures pour les **fractions alvéolaires des principales formes de silice** sont fixées par l'article R 4412-149 du Code du travail à :

- 0,1 mg/m<sup>3</sup> pour le quartz ;
- 0,05 mg/m<sup>3</sup> pour la cristobalite ;
- 0,05 mg/m<sup>3</sup> pour la tridymite.

Dans le cas de présence simultanée de poussières alvéolaires de silice cristalline et d'autres poussières, la valeur limite d'exposition professionnelle sur 8 heures pour le mélange de poussières est fixée par l'article R 4412-154, par la formule suivante :

$$C_{al}/5 + C_q/V_q + C_c/V_c + C_t/V_t < 1$$

$C_{al}$ ,  $C_q$ ,  $C_c$ ,  $C_t$  : concentrations dans l'air en poussières alvéolaires autres que la silice cristalline, le quartz, la cristobalite et la tridymite respectivement ;

$V_q$ ,  $V_c$ ,  $V_t$  : VLEP pour le quartz, la cristobalite et la tridymite respectivement.



Rappelons que le code du travail (art. R4412-87 et 4412-117) impose à l'employeur d'organiser, « en liaison avec le comité social et économique et le médecin du travail, l'information et la formation à la sécurité des travailleurs susceptibles d'être exposés à l'action d'agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction ».

En conclusion, l'évaluation des risques puis la mise en œuvre efficace des équipements et des mesures de prévention au plus proche des sources d'émission, sont effectuées de façon à minimiser l'exposition du personnel travaillant sur le site, permettant d'aborder maintenant la maîtrise du risque environnemental en périphérie du site.

### Environnement des carrières : plan de surveillance

L'exploitation de toute carrière (rubrique 2510) est conçue et organisée pour ne pas être à l'origine d'émissions de poussières susceptibles d'incommoder le voisinage et de nuire à la santé et à la sécurité publique, et ce même en période d'inactivité. Des dispositions particulières sont mises en œuvre, notamment sur les voies de circulation, pour prévenir et limiter les émissions par les engins et véhicules. Au niveau de la foration, les engins sont équipés de dispositifs de dépoussiérage (depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020).

Le plan de surveillance concerne toutes les carrières (y compris les carrières de roches meubles) dont la production annuelle est supérieure à **150 000 tonnes**, à **l'exception seulement de celles exploitées en eau**.

Les points essentiels sont les suivants :

Le suivi de la surveillance est opéré à l'aide de **jauges** (et non plus de **plaquettes**).

- Un réseau de surveillance comprend :
  - au moins une station de mesure **témoin** correspondant à un ou plusieurs lieux non impactés par l'exploitation de la carrière ;
  - une ou plusieurs stations de mesure implantées à proximité immédiate des premiers bâtiments accueillant des personnes sensibles (centre de soins, crèche, école) ou des premières habitations situées à moins de 1 500 mètres des limites de propriété de l'exploitation, sous les vents dominants (station de type b) ;

- une ou plusieurs stations de mesure implantées en limite de site, sous les vents dominants.

La profession recommande l'implantation d'au moins une jauge à l'intérieur du périmètre de la carrière au voisinage des principales sources d'émission, afin que l'exploitant soit en mesure de démontrer l'efficacité des mesures de prévention mises en place.

Pour les sites nouveaux, un état initial est établi au stade de l'étude d'impact.

Les mesures des retombées atmosphériques totales portent sur la somme des **fractions soluble et insoluble**. Elles sont exprimées en **mg/m<sup>2</sup>/jour**. L'objectif est de rester toujours sous le seuil des **500 mg/m<sup>2</sup>/jour** en moyenne annuelle glissante pour chacune des jauges installées en point de type b du plan de surveillance. Il est à noter qu'à ce stade, ce seuil de 500 mg/m<sup>2</sup>/jour est fixé à titre d'objectif. Au terme d'un bilan qu'il réalisera, le ministère envisagera de rendre ce seuil contraignant ou d'en abaisser la valeur comme c'est déjà le cas dans certains départements fortement exposés par les conditions climatiques.

L'INERIS réalise régulièrement depuis quelques années une analyse statistique<sup>13</sup> de ces données déclarées par les carrières sur l'application GEREP. Il note que la part des exploitations dépassant la valeur d'objectif de 500 mg/m<sup>2</sup>/j reste faible (3,5 %).

Les sites dont la surface est entièrement située sur le territoire d'une commune couverte par un plan de protection de l'atmosphère seront équipés d'une **station météorologique avec une résolution horaire minimum** mesurant la direction et la vitesse du vent, la température et la pluviométrie. Les autres sites pourront se référer aux données corrigées de la station météorologique la plus représentative à proximité.

À noter que la référence normative de la méthodologie des retombées atmosphériques par des jauges a été actualisée : la norme NF X 43-014 (2017) est réputée répondre aux exigences réglementaires.

<sup>13</sup> INERIS édition janv 2026 : <https://www.ineris.fr/fr/surveillance-environnementale-carrieres>



## Environnement des installations de traitement

Depuis le décret du 22 octobre 2018, les installations (rubrique 2515) ne relèvent plus que de deux régimes :

- Celui de la déclaration lorsque la puissance totale des matériels fixes contribuant à la production est supérieure à 40 kW et inférieure ou égale à 200 kW ; les prescriptions applicables sont celles de l'arrêté du 30 juin 1997 ;
- **Celui de l'enregistrement lorsque la puissance est supérieure à 200 kW ; les prescriptions applicables sont celles de l'arrêté du 26 novembre 2012 modifié et nous allons préciser ci-après.**

L'exploitant décrit les différentes sources d'émission de poussières, aussi bien diffuses que canalisées, et définit toutes les dispositions utiles mises en œuvre pour en éviter ou en limiter l'émission et la propagation. Des dispositions particulières, tant au niveau de la conception et de la construction (implantation en fonction du vent, des bâtiments alentour, des rideaux d'arbres, etc.) que de l'exploitation de l'installation, doivent être mises en œuvre. En particulier les postes de chargement/déchargement, stockage font l'objet de mesures de réduction telles que le capotage, l'aspiration, la brumisation, la réduction des hauteurs de chute, ... Les points de rejet des systèmes de dépoussiérage par aspiration sont en nombre aussi réduits que possible.

La surveillance environnementale repose sur la mesure des retombées atmosphériques par la méthode des jauges en appliquant la norme NF X 43-014 (2017) ou par celle des paquettes suivant la norme NF X 43-007 (2008) seulement pour les installations existantes<sup>14</sup>. Un point au moins, permettant de déterminer le niveau d'empoussièrement ambiant ("bruit de fond") est prévu. La fréquence des mesures de retombées de poussières est au minimum trimestrielle (sauf pour les installations temporaires fonctionnant sur une période unique d'une durée inférieure ou égale à six mois). Au cours de ces campagnes, les paramètres météorologiques sont enregistrés en continu par une station utilisée par l'exploitant, ou à défaut, les données de la station météorologique la plus proche sont récupérées.

Les exploitants qui participent à un réseau de suivi de la qualité de l'air qui comporte des mesures de retombées de poussières peuvent être dispensés par le préfet de cette obligation si le réseau existant permet de surveiller correctement les effets de leurs rejets.

Les installations implantées sur une carrière - réalisant une surveillance environnementale selon les prescriptions de l'arrêté du 22 septembre 1994 - n'appliquent pas les prescriptions de l'arrêté du 26 novembre 2012.

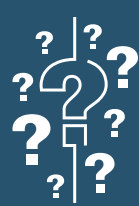
Pour les installations de traitement dont la puissance est supérieure à 550 kW situées en carrière, les rejets d'air captés et dépoussiérés sont canalisés vers l'extérieur des bâtiments et font l'objet d'un contrôle au moins annuel. La concentration du rejet en poussières doit être inférieure ou égale à 20 mg/Nm<sup>3</sup> au lieu de 30 mg/Nm<sup>3</sup> (seuil antérieur). Par ailleurs, les mesures en poussières totales sont complétées par celles des PM10.

Important : lorsque le captage des rejets d'air est effectué à l'aide d'équipements d'une capacité d'aspiration inférieure ou égale à 7 000 m<sup>3</sup>/h, l'exploitant n'effectue pas de mesures. Un entretien au moins annuel (permettant de garantir la concentration maximale de 20 mg/Nm<sup>3</sup> apportée par le fabricant) est à réaliser sur ces installations. La périodicité et les conditions d'entretien sont documentées par l'exploitant.

Pour les autres installations qui ne relèvent que de la rubrique 2515, comme les unités de traitement de granulats hors carrières, la concentration en poussières du rejet canalisé doit être inférieure ou égale à 30 mg/Nm<sup>3</sup> pour les nouvelles installations, 40 mg/Nm<sup>3</sup> pour les installations existantes<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> 1<sup>er</sup> juillet 2013, lorsque la puissance est inférieure ou égale à 550 kW, 25 novembre 2018 lorsque la puissance est supérieure à 550 kW

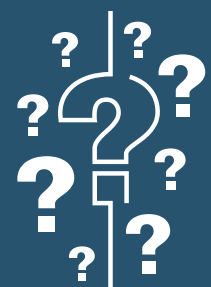
<sup>15</sup> 1<sup>er</sup> juillet 2013, lorsque la puissance est inférieure ou égale à 550 kW, 25 novembre 2018 lorsque la puissance est supérieure à 550 kW



Il est maintenant précisé que les arrêtés du 10 décembre 2013 qui détaillent les prescriptions applicables aux rubriques 2516 (produits minéraux pulvérulents) et 2517 (produits minéraux non pulvérulents) ne s'appliquent pas aux installations qui relèvent également du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique 2515 de la nomenclature des installations classées. Les mesures de suivi des émissions dans l'air pour ces sites ne sont pas modifiées. Pour rappel, l'exploitant est tenu d'assurer un suivi par mesurage trimestriel des retombées de poussières (sans qu'une méthode soit imposée) avec interprétation en fonction des données météorologiques et de l'activité industrielle. En cas de rejets canalisés, contrôle au cours de la première année de mise en service, puis tous les trois ans.



© DC/Sim



> Retrouvez directement chaque question :

Que sont les poussières ?

Quels sont les risques liés à l'inhalation des poussières ?

Quels tonnages sont extraits des carrières en France ?

Quels sont les procédés de production ?

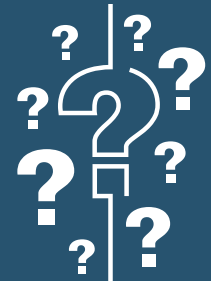
Quels sont les moyens de prévention contre les poussières ?

Quels sont les moyens de mesure des poussières ?

Quels sont les résultats ?

Quelle est la réglementation ?

> Aller au glossaire



# Sigles, abréviations et éléments de vocabulaire



## B

**BAM** : Analyseur certifié de particules (*Voir Clean Air*)

**BPCO** : Bronchopneumopathie chronique obstructive

**BTP** : Bâtiment & Travaux Publics

## C

**CIP 10** : Capteur Individuel de Poussières

**CITEPA** : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

## E

**EMCAIR** : Émissions des Carrières dans l'Air : programme lancé par l'UNPG de 2015 à 2018 retenu par l'ADEME dans le cadre des financements CORTEA

## F

**FIDAS** : Fidas 2000 Analyseur optique certifié mesure de particules (*voir FranceEnvironnement*)

## L

**LCSQA** : Laboratoire Centrale de Surveillance de la Qualité de l'Air

## M

**MIF** : Minéraux Industriels - France

**MP** : Maladie Professionnelle

**Mt** : Million de tonnes

## O

**OPC** : Optical Particle Counter

## P

**PM** : Particulate Matter

**PMA** : Particules minérales allongées

**PSES** : Poussières sans effet spécifique

## S

**SECTEN** : Rapport de référence sur les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France par secteurs d'activités économiques

**Si** : Silicium

**Sim** : Société de l'industrie minérale

**SiO<sub>2</sub>** : Dioxyde de silicium

## T

**TEOM** : Analyseur certifié de particules (*Voir Ecomesure*)

**TSP (PTS)** : Total suspended particulate (Particules totales en suspension)

## U

**UNICEM** : Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux

**UNPG** : Union Nationale des Producteurs de Granulats



© DC/Sim



**Société de l'industrie minérale**

17 rue Saint-Séverin - 75005 Paris - France

[www.lasim.org](http://www.lasim.org) - [contact@lasim.org](mailto:contact@lasim.org)

Tél. +33 (0)1 53 10 14 70