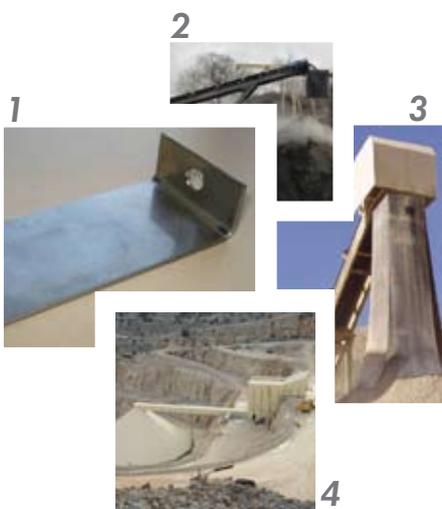




Carrières, poussières et environnement

ENCEM
février 2011
NRI-B3-11-G





- 1 Plaque poussières
- 2 Convoyeur capoté
- 3 Protection de chute par bandes caoutchoutées
- 4 Installations de traitement capotée

Carrières, poussières et environnement

Préface			7
1. Introduction			8
	1.1	Présentation	8
	1.2	Contenu et mode de présentation de l'étude	9
		Partie I	
		Les poussières, les sources, les impacts, la réglementation, la quantification	
2. Les poussières des carrières			13
	2.1	Définitions et caractéristiques des poussières	13
		Définition générale des poussières	
		Définition des poussières dans le domaine des granulats	
		Différence entre aérosol, poussière fine, filler et sable	
		Le bruit de fond et le fond continu	
		Les caractéristiques des poussières	
		Le diamètre des particules ou granulométrie	
		Le comportement des particules selon leur granulométrie	
	2.2	L'empoussièrément et l'empoussiéragé	16
		Définition et domaine d'application de l'empoussièrément	
		Définition de l'empoussiéragé	
		Domaine d'application	
		Fonction de travail	
		Zone géographique	
3. Les sources d'émission de l'empoussièrément et leur importance			18
	3.1	Aspects généraux	18
	3.2	L'importance des différentes sources de poussière	19
	3.3	Analyse par secteurs	19
		Le décapage de la découverte	
		L'extraction des matériaux	
		Extraction des roches massives	
		Extraction des matériaux alluvionnaires	
		Le déplacement des matériaux	
		Le traitement des matériaux par concassage, criblage et lavage	
		Le stockage et la livraison	
		La remise en état du site exploité	
4. Les facteurs influençant l'empoussièrément			26
	4.1	Les facteurs favorisant la formation des poussières	
		La friabilité de la roche exploitée	
		L'état de dessiccation de la roche	
	4.2	Les facteurs influençant la dispersion des poussières	27
		La granulométrie des poussières émises	

		<p>La forme de la poussière</p> <p>Les conditions météorologiques</p> <ul style="list-style-type: none"> Le vent La sécheresse Les précipitations <p>L'implantation géographique du site</p> <p>Le type de gisement</p> <p>La configuration du site</p> <p>Le facteur production</p>	
5. Impacts et conséquences			30
	5.1	Les problèmes de sécurité sur l'exploitation et aux alentours	30
	5.2	Les riverains	30
	5.3	L'érosion des produits et la perte de rentabilité	30
	5.4	Impact visuel	30
	5.5	Impacts sur le milieu naturel	31
6. Les aspects réglementaires			32
	6.1	Cadre général	32
	6.2.	Arrêté du 22 septembre 1994	32
		Article 17	
		Article 19	
	6.3.	Arrêté du 30 juin 1997	33
	6.4.	Conclusions	35
7. Métrologie de l'empoussièrement			36
	7.1	Démarche préliminaire	37
	7.2	Choix des points de mesure	38
		Le Point 0	
		Les points de quantification	
	7.3	Mesures des poussières atmosphériques	39
		Compteur optique de Hund	
		Compteur de Grimm	
		Compteur triboélectrique	
	7.4	Échantillonnage par des capteurs de poussières	40
		Mesure du taux de poussières sédimentables	
		Les plaquettes de dépôt	
		Le collecteur de précipitation	
		Procès-verbal de mesure et interprétation	
		Mesure du taux de poussières en suspension	
		Le capteur atmosphérique de poussières : CAP	
		L'armoire à prélèvement : HVS	
		Jauge β	
		Le néphélomètre	
		Les résultats	
		Mesure des témoins	
		Détermination de la concentration en poussières	
		Validation et présentation des résultats	
	7.5	Émissions canalisées	47

7.6	Résumé des procédures pour la mesure de l'empoussièrement	47
	Mesure des particules sédimentables	
	Mesure des particules en suspension	
7.7	Conclusions	49

Partie II

La lutte contre les poussières

8. Prise en compte des conditions météorologiques		52
8.1	Les mesures limitant les impacts des conditions météorologiques	52
	Mesures limitant l'impact du vent	
	Les précipitations : une limite naturelle à l'émission des poussières	
8.2	Dispositions sur le site	53
9. Les dispositifs techniques		53
9.1.	Les dispositifs passifs	53
	Le capotage et le bâchage des appareils	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Applications pour les différentes installations de traitement	
	Le bardage des installations	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Applications en installations de traitement	
	Le confinement en bâtiment	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Le bâchage des poids lourds	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Remarques	
9.2.	Les dispositifs mécaniques	58
	La captation et la filtration	
	Principe	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Applications pour les différentes étapes de l'exploitation	
	Autres mesures	
9.3.	Dispositif électrostatique	65
9.4.	Les dispositifs à base d'eau	65
	L'aspersion	
	Principe	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Applications pour les différentes installations de traitement	
		67

	La pulvérisation	
	Principe	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Applications pour les différentes installations de traitement	
	La brumisation	
	Principe	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Applications pour les différentes installations de traitement	
	La suppression des poussières à la « mousse »	
	Le laquage	
	Principe	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
	Applications pour les différentes installations de traitement	
9.5.	Le lavage des roues	76
	Principe	
	Avantages	
	Inconvénients	
	Recommandations	
9.6.	Autres mesures	78
	Le transfert des matériaux	
	Le transport par convoyeurs à bande	
	La circulation des engins dans l'enceinte de la carrière	
	L'usage d'une verse	
	Le traitement des matériaux	
	Le stockage et la livraison	
	Les opérations de stockage	
	Les stocks	
	L'évacuation des matériaux hors de la carrière	
	Remise en état du site	
	L'entretien des installations	
	Le devenir des poussières récupérées	
9.7.	Recommandations pour la production de granulats fins	82
	Le capotage	
	Le bardage	
	La captation et la filtration	
10. Conclusions		83
Bibliographie - Crédits photos		87

Préface

L'amélioration de l'intégration des carrières dans leurs territoires est une priorité pour les industriels du granulat. La mesure et la maîtrise des émissions de poussières est un enjeu complexe et délicat qui a conduit l'UNPG à apporter à ses adhérents des éléments de réponses pratiques.

En effet, ce guide, fruit du travail des professionnels et d'experts, intègre les questions de quantification et de réduction des sources d'émission.

Il vient compléter les nombreuses publications de notre union professionnelle et les programmes d'actions soutenues par la Charte Environnement des industries de carrières. Cette étude vise non seulement au respect des prescriptions réglementaires mais aussi à la meilleure intégration des sites dans leur environnement humain et physique.

Catherine Lechenault-Bonin

Présidente de la Charte Environnement
des industries de carrières

Nicolas Vuillier

Président de l'UNPG
Union nationale
des producteurs de granulats

1. Introduction

■ 1.1 Présentation

Les émissions de poussières représentent une nuisance liée à l'exploitation des carrières. D'une façon générale, elles sont susceptibles de poser des problèmes de sécurité et d'hygiène du personnel, d'accélérer l'usure des équipements, d'affecter la qualité des matériaux, sans compter la gêne occasionnée aux riverains et aux agriculteurs. Il est d'ailleurs admis aujourd'hui qu'elles représentent l'une des formes de nuisance parmi les plus ressenties par les riverains [BRGM, 1989], tout comme la circulation des camions ou le bruit.

Divers facteurs accroissent l'importance des poussières émises par les carrières :

- le transfert des productions alluvionnaires vers les roches massives conduit à reporter des productions en milieu humide vers des milieux secs plus générateurs de poussières ;
- la qualité croissante des caractéristiques techniques imposées aux granulats qui nécessite de dépoussiérer le produit pour le rendre conforme à des prescriptions spécifiques [Campanac et al., 1990] ;
- la recherche de qualité de vie des populations, la prise en compte grandissante de l'environnement conduisent à des exigences de plus en plus importantes vis-à-vis de l'industrie et des nuisances qu'elle induit.

L'industrie extractive est parfaitement consciente qu'il importe de lutter efficacement contre cette nuisance, sans toujours bien connaître les techniques existantes, voire même la réglementation. Il est vrai que les poussières relèvent de deux régimes juridiques différents :

- d'une part, la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement, qui vise à assurer la protection des tiers, du voisinage et de l'environnement d'une manière plus générale, ce qu'on qualifie donc comme l'empoussièrément ;
- d'autre part, le Règlement général des industries extractives (RGIE), régime juridique particulier de protection des travailleurs dans les mines et carrières, le terme utilisé étant alors l'empoussiérage.

Le présent document s'intéresse à la problématique de l'empoussièrément ; les spécificités liées à l'empoussiérage, et donc à la santé des travailleurs, sont évoquées au paragraphe 2.2.2.

Nous n'abordons pas ici les incidences des poussières sur la santé publique bien que les mesures présentées en vue de réduire les quantités de poussières émises contribuent à limiter les quantités de poussières pouvant être inhalées par le public.

Notons qu'au-delà de l'aspect contrainte, la limitation des émissions de poussières dans une carrière apporte des bénéfices non négligeables tels que :

- l'amélioration de la sécurité et de l'hygiène du personnel ;
- la protection de l'outil de fabrication ;
- la diminution des temps de maintenance et de réparation des appareils ;
- la propreté du matériau qui améliore la qualité du produit fini ;
- la rentabilisation de la fabrication des granulats par la diminution des pertes de production ;
- la récupération des fillers, pour les valoriser comme produits ou pour les réinsérer dans la chaîne d'élaboration des granulats ;
- l'amélioration de l'image des carrières, car l'entretien et la propreté d'un site sont de bons indicateurs de l'implication de l'entreprise dans l'environnement [UNPG, 1998] ;
- le respect des riverains et de l'environnement.

Pour autant, les exploitants rencontrent des difficultés de toutes natures dans la maîtrise et le contrôle de cet impact, par exemple :

- la difficulté d'établir un « point zéro » pour l'empoussièrément sur un site (le bruit de fond) ;
- la multiplicité des sources d'émission de poussières sur un site ainsi que la diversité des moments et des modes d'émission rendent difficile la suppression ou seulement la réduction des impacts ;
- la difficulté d'assurer un suivi de l'empoussièrément alors que les méthodes de mesure n'en sont encore qu'à leurs débuts, tant pour les appareils de mesure disponibles que pour la bonne interprétation des résultats.

Remarquons également que les poussières liées à l'activité carrière présentent la particularité d'être émises de façon diffuse, même en l'absence d'activité.

La stratégie d'échantillonnage des polluants sur les lieux de travail, longuement étudiée en milieu industriel, est à présent bien définie et largement décrite dans un certain nombre de documents. Mais une application similaire pour l'industrie extractive à ciel ouvert fait appel à quelques considérations pratiques qu'il est bon d'évoquer. En effet, les différentes campagnes de mesure réalisées sur plusieurs sites permettent aujourd'hui d'approcher les difficultés liées à l'évaluation de l'empoussièrément dans ce type d'exploitation.

C'est pour ces raisons que l'association « Charte Environnement des industries de carrières » a souhaité conduire une étude sur ce sujet, étude qui fait suite à celle réalisée par l'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), à la demande conjointe du ministère de l'Environnement et de la Charte.

■ 1.2 Contenu et mode de présentation de l'étude

Dans le souci d'en faciliter l'utilisation, l'étude est présentée en deux parties :

Partie I (chapitres 1 à 7) : elle traite de la connaissance des sources d'émission de poussières d'une carrière et des techniques actuelles de mesure des émissions. L'exploitant pourra ainsi juger de l'impact « poussières » de sa carrière sur son environnement et le quantifier.

Cela implique :

- la détermination des sources d'émission de poussières dans les exploitations : identification et classement de ces sources selon leur localisation sur le site et, pour chaque point localisé, selon leur occurrence dans le temps ;
- un essai de métrologie de l'empoussièrément en site industriel ouvert, suite aux travaux déjà effectués sur le sujet par l'INERIS, avec :
 - une liste des appareils de mesure des poussières en suspension et sédimentables ;
 - la proposition d'une méthodologie de mise en place d'un réseau de mesures sur un site.

Partie II (chapitres 8 et 9) : elle fait le point sur la connaissance des dispositifs de lutte contre ces émissions de poussières en terme de matériels et de conseils ; elle comprend un inventaire aussi exhaustif que possible des dispositifs existants de lutte contre les émissions de poussières : préconisation d'emploi de ces dispositifs (avantages, inconvénients) ainsi que rappel des mesures complémentaires pouvant être appliquées pour éviter ou limiter les émissions de poussières.

Précisons que la vocation de cet ouvrage est de traiter de l'empoussièrément et non de l'empoussiérage.

L'empoussièrément est défini comme l'impact des installations sur leur environnement (les cultures, les paysages et les riverains). Cette notion ne doit pas être confondue avec l'empoussiérage qui représente l'exposition du personnel des installations aux poussières minérales qu'elles produisent.

Pour plus d'information sur l'empoussiérage, il convient de se référer au guide publié par la Société de l'Industrie Minérale (SIM) intitulé : « Guide de l'exploitant - Empoussiérage ». Ce guide traite de la mesure de l'empoussiérage ainsi que de la prévention, de l'aménagement des sites et de leur équipement.

Partie I :
Les poussières, les sources,
les impacts, la réglementation,
la quantification



- > Les poussières des carrières
- > Les sources d'émission de l'empoussièrement et leur importance
- > Les facteurs influençant l'empoussièrement
- > Impacts et conséquences
- > Les aspects réglementaires
- > Métrologie de l'empoussièrement

2. Les poussières des carrières

■ 2.1 Définitions et caractéristiques des poussières

Définition générale des poussières

Les poussières correspondent aux particules se trouvant dans l'air et dont le diamètre est inférieur à 1 000 microns (μm). Elles sont naturellement présentes dans l'atmosphère et peuvent être :

- d'origine naturelle : résultat de l'action du vent (grains de sable et de limon provenant de l'érosion éolienne, embruns composés de chlorure de sodium, pollens, spores, etc.) ;
- issues de l'activité humaine : transport, chauffage, agriculture (moissons), industrie, dont l'exploitation des carrières.

Une partie des poussières, les particules secondaires, se forme dans l'air par réaction chimique à partir de polluants précurseurs comme les oxydes de soufre, les oxydes d'azote, l'ammoniac et les composés organiques volatils.

Définition des poussières dans le domaine des granulats

Différence entre aérosol, poussière, fine, filler et sable

Un aérosol est un ensemble de particules, solides ou liquides, de diamètre inférieur à 1 micron, en suspension dans un milieu gazeux. Issus de l'érosion, naturelle ou anthropique, ils interviennent à échelle planétaire et locale dans les phénomènes de pollution de l'air.

Dans l'industrie du granulat, le terme de « poussière » s'applique à des particules solides, inertes, non hydrosolubles, de diamètre compris entre 0 et 40 microns [Piédoue, 1996]. Le terme de poussière est parfois remplacé par celui de « fines » pour les éléments de diamètre inférieur à 80 μm qui correspond à la coupure basse du sable.

Le terme de filler, quant à lui, correspond à des « fines » commercialisables entrant dans la composition d'enrobés ou de béton ou pour la préparation de certains sables [Piédoue, 1996]. La défyllérisation est une technique qui consiste à extraire d'un produit la tranche granulométrique comprise entre 0 et 80 microns.

Les termes poussières, fines et particules seront employés indifféremment dans ce document pour caractériser les éléments inférieurs à 80 μm .

Le bruit de fond et le fond continu

En l'absence de toute émission de poussières en provenance du site étudié, l'air contient naturellement des particules en suspension appelées aérosols, complétées par les poussières issues d'autres activités (poussières de combustion, de circulation...) qui forment un bruit de fond.

Lors du fonctionnement des activités du site, des poussières sont rejetées dans l'atmosphère où elles restent en suspension. Elles augmentent le bruit de fond naturel au droit de la carrière et dans les environs pour former le fond continu.

Si l'industriel cherche à maîtriser les poussières issues de son activité, le riverain est sensible à l'ensemble des poussières qu'il reçoit : c'est le cumul des impacts.

Les caractéristiques des poussières

La tendance naturelle des poussières à se libérer et à se mettre en suspension est directement liée à la nature du matériau (alluvionnaire, éruptif, calcaire). Mais elle dépend également de la teneur en humidité qui sera plus ou moins importante selon que le matériau sera naturellement hydrophobe ou hydrophile.

De même, la forme peut influencer sur l'envol et la vitesse de sédimentation. Les poussières vont donc être caractérisées par leur nature et leur granulométrie. Ces deux paramètres vont commander leur comportement dans l'air et leur nocivité sur l'homme.

Le diamètre des particules ou granulométrie

La taille des particules influe directement sur leur comportement dans l'environnement. Elle permet de comprendre la dispersion de ces particules aux alentours d'un site, leur comportement en fonction des conditions météorologiques.

Les exploitants de carrières utilisent un vocabulaire spécifique pour nommer les particules selon leur taille.

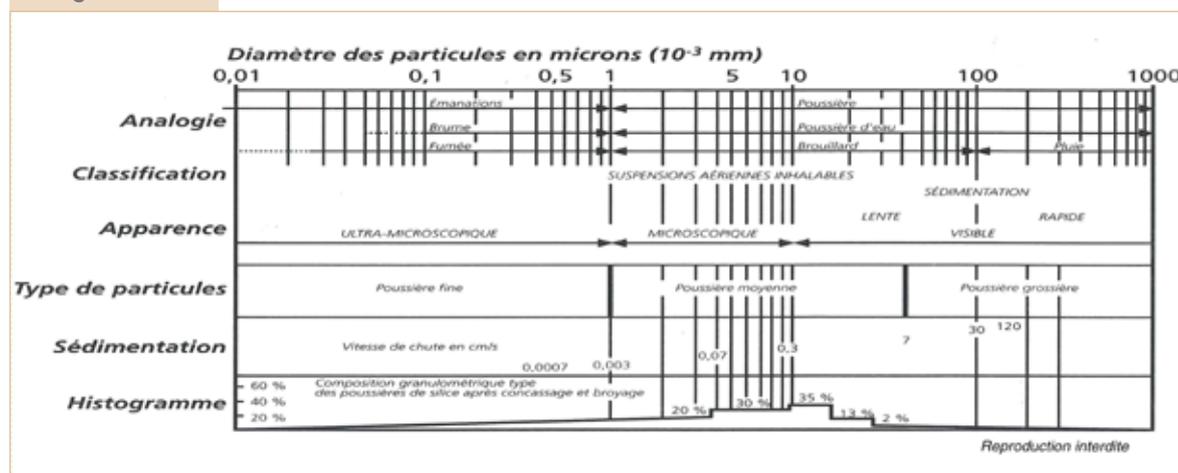
On nomme :

- poussières fines, les particules de diamètre inférieur à 1 micron. Les particules sont alors assimilables aux émanations, aux aérosols et aux fumées ;
- poussières moyennes, les particules dont le diamètre est compris entre 1 et 40 microns ;
- poussières grossières, les particules de diamètre supérieur à 40 microns et inférieur à 80 microns.

Les particules en suspension sont considérées aujourd'hui comme l'un des principaux indicateurs de la qualité de l'air. Les instances chargées du suivi de la qualité de l'air distinguent les particules de diamètre inférieur à 10 microns : PM10, 2,5 microns : PM2,5 et 1 micron : PM1.

On peut également différencier des particules selon leur aspect visuel. On parlera de particules microscopiques si leur diamètre est inférieur à 10 microns et si elles se maintiennent en suspension avec une faible sédimentation. Les particules visibles à l'œil nu sont des poussières d'un diamètre supérieur à 10 microns et dont la vitesse de sédimentation augmente avec le diamètre. Une particule de 10 µm émise à une hauteur de 1 mètre se dépose en quelques minutes, contre quelques secondes pour une particule de 100 µm.

Figure n° 1



Le comportement des particules selon leur granulométrie

Le vent constitue le vecteur de la nuisance poussière dans l'environnement.

Dans un air calme à 20° C, les vitesses de chute des particules de différents diamètres sont données par le tableau suivant :

Tableau n° 1

Dimension des particules en microns (diamètre aérodynamique)	Vitesse de chute en cm/seconde
1 000	400
100	30
10	0,3
1	0,0035 (12,6 cm/h)
0,1	0,000035

(Source : Campanac et al., 1990)

Vitesse de chute en fonction de la dimension des particules

Diamètre aérodynamique :

$$Da = D \times \sqrt{\rho}$$

Avec D : diamètre géométrique

ρ : densité de la particule

Le tableau ci-dessous répertorie les distances parcourues par des particules minérales en fonction de la vitesse du vent, à partir d'un point d'envol pour un stock de granulats d'une hauteur de 15 m.

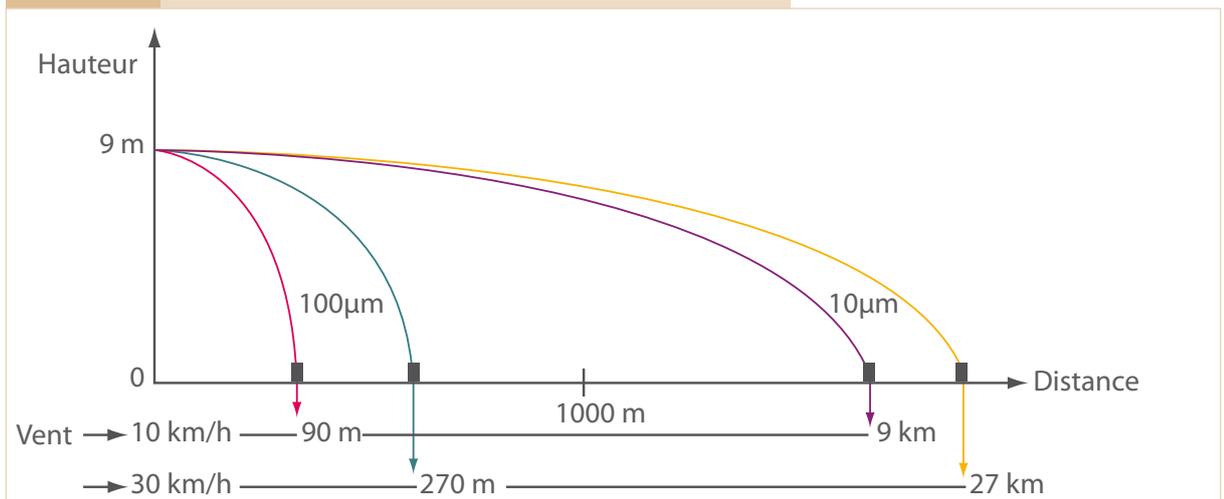
Tableau n° 2

Taille des particules	200 μm	100 μm	30 μm	10 μm	5 μm	1 μm
Vent à 10 km/h	0,03 km	0,15 km	0,6 km	14 km	42 km	140 km
Vent à 30 km/h	0,1 km	0,4 km	1,8 km	40 km	125 km	4165 km

(Piédoue 1996)

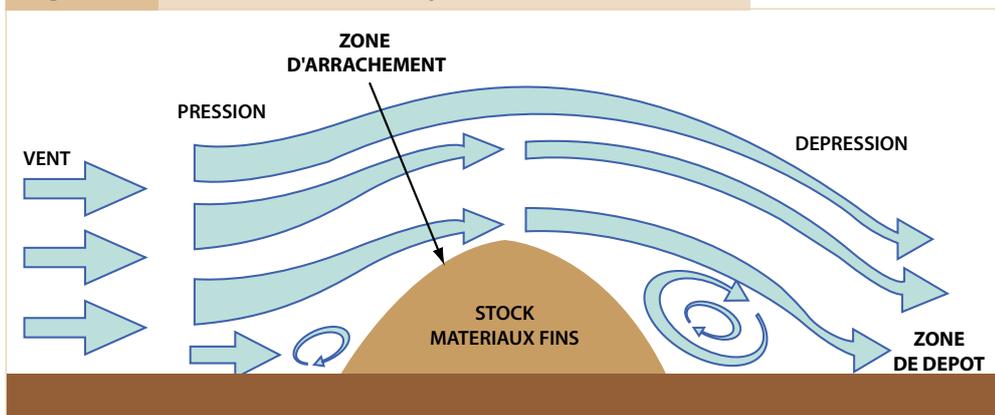
De même, le graphique suivant indique la distance parcourue par des particules tombant d'une hauteur de 9 m.

Figure n° 2 : Influence du vent sur la propagation des poussières



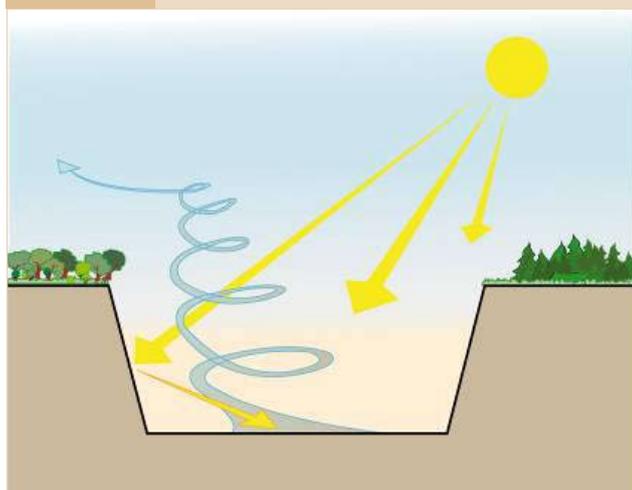
Ces données restent théoriques pour les zones proches du sol, car les vents ne sont jamais parfaitement laminaires à cause des obstacles (arbres, constructions, topographie...). Ainsi sur un site de carrière, les obstacles (reliefs, bâtiments, stocks) dévient les lignes de courant renforçant localement les vitesses et donc la capacité d'entraînement. A contrario, après l'obstacle, la vitesse diminue et les particules s'accumulent au sol.

Figure n° 3 : Modification du vent par un stock de matériaux



Notons de plus qu'une roche réémet une forte proportion de la chaleur qu'elle reçoit. Cette augmentation de chaleur crée des ascendances qui, lorsqu'elles sont fortes, entraînent des poussières même en l'absence de toute activité.

Figure n° 4 : Ascendance entraînant des poussières



■ 2.2 L'empoussièrément et l'empoussiérage

Définition et domaine d'application de l'empoussièrément

L'empoussièrément correspond aux poussières en suspension ou sédimentables liées au fonctionnement des exploitations et qui sont susceptibles d'avoir des conséquences sur l'environnement. Dans le domaine des granulats, ce terme concerne les exploitations de carrière et les installations de premier traitement des matériaux de carrière, qui sont implantées dans une carrière ou en dehors, et qui relèvent du régime des installations classées.

Définition de l'empoussiérage

Par le décret du 2 septembre 1994, il a été établi dans le Règlement général des industries extractives (RGIE) que le titre « Empoussiérage » (EM) représentait la concentration moyenne en poussières alvéolaires siliceuses de l'atmosphère, évaluée sur une période de 8 heures et exprimée en mg/m^3 d'air (art. 12).

L'empoussiérage est défini par rapport à une fonction de travail ou par rapport à une zone géographique. L'objectif de cette mesure est de respecter la compatibilité entre l'empoussiérage du poste de travail et l'aptitude d'affectation du salarié (art. 18). La mesure de la concentration en poussières est réalisée à partir du poids de poussières recueillies, du débit d'air de l'appareil et de la durée de prélèvement.

Dans la pratique, le mot « empoussiérage » est utilisé de manière plus large et s'applique souvent à la concentration moyenne de poussières dans les lieux de travail. C'est pourquoi, pour éviter toute confusion, il est utile de préciser, suivant le cas, de quelle fraction de poussière il s'agit et quelle est sa nature.

Domaine d'application

Le titre « Empoussiérage » est en vigueur depuis le 8 septembre 1995. Il s'applique aux travaux des mines et des carrières, à leurs installations de surface qui en sont le complément nécessaire, ainsi qu'aux autres installations indispensables. Ces autres installations indispensables à l'exploitation comprennent notamment :

- les ateliers de traitement des produits extraits,
- les ateliers d'entretien du matériel,
- les dépôts de matières et de matériel nécessaires aux besoins de l'exploitation,
- les dépôts et mises en dépôts de produits et déchets de l'exploitation,

- les laboratoires (analyses granulométriques),
- les canaux, routes, voies ferrées, canalisations et tous ouvrages destinés au transport des produits et déchets.

Toutes les autres installations de surface sont régies par la réglementation du ministère du Travail.



Employé équipé pour intervenir en secteur empoussiéré

Photo n° 1

De plus, les prescriptions du titre EM s'appliquent au personnel de l'exploitation ainsi qu'aux intérimaires. Elles sont également applicables au personnel des entreprises extérieures dont l'activité dans les carrières est supérieure à trente jours par an.

En ce qui concerne le cas particulier du transport des produits considérés comme traités, donc commercialisables, le personnel de transport reste soumis au RGIE s'il est issu de l'effectif d'une exploitation soumise au RGIE. En revanche, le personnel d'une entreprise de transport travaillant pour le compte d'une exploitation soumise au RGIE reste soumis aux règles du ministère des Transports. Lorsque du personnel est amené à travailler fréquemment, voire simultanément, sur des sites soumis à une réglementation différente, il y a lieu de consulter

la DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) et l'Inspection du Travail pour définir les règles à appliquer.

Ne sont pas soumis au titre « Empoussiérage » les tiers autres que les entreprises extérieures.

Fonction de travail

Une fonction de travail représente l'ensemble des activités exercées par une personne au cours de la durée journalière du travail (art. 1). La fonction de travail est caractérisée par :

- les emplois tenus,
- les lieux occupés,
- les conditions locales d'exécution des tâches.

Zone géographique

Une zone géographique représente l'ensemble des fonctions de travail comparables du point de vue de l'exposition aux poussières alvéolaires siliceuses (art. 11, 16 et 17).

Il n'est pas toujours possible de définir une fonction de travail précise chez les salariés polyvalents.

En effet, sur un site d'extraction, on constate en pratique que presque tout le personnel est concerné par la poussière produite. Aussi, préfère-t-on découper le site en zones géographiques d'empoussiérage homogène, sachant qu'une même zone géographique peut contenir plusieurs fonctions de travail. Les fonctions de travail regroupées dans une zone géographique doivent, en premier lieu, avoir un empoussiérage et un taux de quartz comparables, mais elles doivent aussi être liées de telle façon qu'une modification des conditions d'exploitation les influence de manière sensiblement identique (cette condition est particulièrement requise pour la validité d'une mesure de groupe).

Au sens du règlement, une zone géographique n'est donc pas nécessairement une zone délimitable sur le terrain, mais un ensemble de fonctions de travail ayant un empoussiérage et un taux de quartz comparables. Un même lieu peut contenir plusieurs zones géographiques. Le classement des zones géographiques résulte de la comparaison de leur empoussiérage E à un empoussiérage de référence Er.

3. Les sources d'émission de poussières et leur importance

■ 3.1 Aspects généraux

Dans toute exploitation de granulats, on trouve six étapes principales de production :



Une installation complète avec de nombreuses sources de poussières
Photo n° 2

1. le décapage des niveaux non exploitables ;
2. l'extraction des matériaux ;
3. l'amenée du tout-venant jusqu'aux installations de traitement ;
4. le traitement du tout-venant dans des unités primaires, secondaires et éventuellement tertiaires pour obtenir les produits finis ;
5. le stockage et la livraison ;
6. la remise en état du site après exploitation.

En carrière, les émissions de poussières peuvent être classées en trois groupes :

- sporadiques ou fugitives (par exemple les émissions provoquées par les tirs de mines, le déchargement des tombereaux ou les envols d'éléments fins des stocks à l'air libre) ;
- semi-permanentes (essentiellement les émissions produites durant la foration et la circulation des véhicules sur les routes, pistes et chemins) ;
- permanentes (celles produites par les installations de broyage, concassage et criblage).

Les paragraphes suivants concerneront presque exclusivement les exploitations de roches massives, source principale des problèmes de poussière.

Pour chaque étape de production des granulats, la nature des poussières, leur granulométrie, leur forme, ainsi que le processus de mise en suspension ou d'envol, sont très différents et sont liés à de nombreux facteurs comme :

- le déplacement des masses d'air et leur vitesse, qu'il soit naturel (sens et force du vent) ou artificiel par ventilation (broyeurs à percussion par exemple) ;
- le type d'appareil de traitement (broyeurs à mâchoires, giratoires, marteaux) ;
- la configuration de la station de criblage (bardée, non bardée) située sur les hauteurs ou en fond de carrière ;
- le mode de stockage des produits finis (directement au sol ou en silo).

Entre chaque étape de production des granulats, le déplacement des matériaux peut être source de poussières. Le mode de déplacement va jouer sur l'importance des émissions.

Le déplacement des granulats peut être :

- « libre » quand les éléments sont entièrement libres de se mouvoir les uns par rapport aux autres. C'est le cas d'un transport par jetée des matériaux dans l'air. Ce transport est évidemment celui qui disperse le plus de poussières dans l'atmosphère. Il se rencontre dans toutes les étapes de production des granulats :
 - lors du chargement des tombereaux en carrière,
 - à l'entrée et à la sortie des concasseurs et des cribles,
 - à la jetée des convoyeurs à bandes,
 - au stockage et au chargement des produits commercialisés ou éliminés ;
- « lié », lorsque chacun des éléments est posé sur un support qui se déplace de manière telle que tout déplacement relatif des granulats est faible. C'est le cas du transport par convoyeurs à bande, dont la position est adaptée en fonction de la progression de l'exploitation ;

- « compact » quand les éléments restent serrés les uns contre les autres. C'est essentiellement le transport des produits commercialisés dans les véhicules routiers, ainsi que l'alimentation de la station de traitement à partir des trémies. Il est peu générateur de poussières.

À l'arrivée dans un appareil ou à la sortie de l'appareil et lors de la mise en stock, l'importance de la dispersion des poussières sera fonction de la hauteur de la chute libre des matériaux dans l'air. Cette hauteur peut se limiter à une vingtaine de centimètres lors du passage d'un transporteur à l'autre et à l'alimentation des cribles, une cinquantaine de centimètres à quelques mètres à l'entrée ou à la sortie des concasseurs et à la sortie des cribles, et une dizaine de mètres, parfois plus, lors de la mise en stock des produits.

D'autre part, la mise en mouvement des poussières présentes sur le sol constitue, pour l'environnement, un aspect important de ce problème en carrière. Il touche les abords de l'installation de traitement, les aires de stockage non couvertes, le carreau de la carrière, les voiries de desserte, qu'elles soient internes à la carrière ou externes. Cette remise en suspension est principalement due aux mouvements des véhicules et engins qui provoquent également une augmentation de la finesse des poussières par attrition⁽¹⁾, mais aussi sous la seule influence du vent. Les conditions atmosphériques jouent dans ce domaine un rôle prépondérant.

■ 3.2. L'importance des différentes sources de poussière

De façon globale, les différentes activités peuvent être classées en fonction des quantités de poussières produites :

Tableau n° 3

Sources d'émission modérée	Sources d'émission importante	Sources d'émission très importante
Décapage	Transport par verse	Circulation des engins et tombereaux en carrière
Foration	Stockage/déstockage	
Minage	Évacuation des matériaux	Concassage
Transport par convoyeur		Criblage
Lavage		

Une étude INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) réalisée en 1998 a permis d'observer des concentrations allant de 1 à 10 mg/m³ et celles mesurées à proximité des points de stockage des produits fins pouvaient atteindre 100 mg/m³. L'étude de Balon Blanchard 1998 indique que les émissions les plus importantes sont liées aux activités ayant trait au roulage, aux opérations de concassage et à celle de criblage.

Le tableau 4 ci-dessous propose un classement des grandes étapes de fabrication des granulats en fonction de la masse de poussières produites :

Tableau n° 4

Masse de production de poussières inférieure à 0,1 g/h/m ³	Masse de production de poussières comprise entre 0,1 g/h/m ³ et 1 g/h/m ³	Masse de production de poussières supérieure à 1 g/h/m ³
<ul style="list-style-type: none"> • Extraction des roches • Concassage primaire • Aire de stockage 	<ul style="list-style-type: none"> • Convoyeurs à bande • Stock de sable 	<ul style="list-style-type: none"> • Installations secondaires et tertiaires

(à partir de l'article de Campanac et al. 1990)

■ 3.3. Analyse par secteur

Le décapage de la découverte

Cette opération a pour but de mettre à nu le gisement à extraire, par retrait des couches superficielles. La découverte est constituée par la terre végétale, les roches plus ou moins altérées et les niveaux stériles.

Les travaux sont faits de façon sélective pour bien séparer la terre végétale des stériles. Ces deux horizons serviront à la remise en état du site, après exploitation.

(1) Usure des matériaux par frottement réciproque formant ainsi des fines susceptibles d'être remises en suspension.

Dès le retrait de la couverture végétale, le vent peut entraîner les matériaux les plus fins. De même les différentes manipulations sont susceptibles de libérer des fines.

Les stocks de matériaux : terre végétale et stériles peuvent constituer des sources d'envol de poussière.

Cette source est ponctuelle, limitée dans l'espace et dans le temps, les quantités sont relativement peu importantes.

Les facteurs aggravants sont le temps sec et venteux et la siccité⁽²⁾ naturelle de la roche.

L'extraction des matériaux

Exploitation des roches massives

Le matériau exploité est cohérent et l'extraction est réalisée à l'aide de tirs de mines.

Cette étape comprend la foration des trous destinés à recevoir les mines et l'abattage du matériau à proprement parler. L'importance de l'émission de poussières est variable en fonction de la méthode de tir et du type de gisement.

La foration

Des trous verticaux d'une quinzaine de mètres de profondeur et d'une dizaine de centimètres de diamètre sont réalisés par une foreuse qui travaille par percussion ou rotation. La roche est broyée : environ 20 % du volume de roche sont transformés en poussière. Les fragments sont évacués à l'extérieur du trou par circulation d'air comprimé (avec ou sans dépoussiéreur).



Foreuse avec tête aspiratrice
Photos n° 3 et 4

Cette source est semi-permanente, les émissions sont assez bien maîtrisées par l'installation de dépoussiéreur sur les foreuses actuelles. Les fines récupérées sont comprimées et posées au sol où elles restent susceptibles de s'envoler par grand vent ou lors du tir.

Les facteurs aggravants sont liés à la friabilité et la siccité de la roche ainsi qu'à la position des foreuses en secteur exposés aux vents.

(2) État de ce qui est sec. La siccité s'exprime en pourcentage pondéral de la masse sèche par rapport à la masse totale.

Les tirs

L'abattage se fait à l'aide d'explosifs introduits dans les trous forés. Au moment de l'explosion, il se produit une fragmentation importante de la roche en un temps très court, donc un nuage de poussières conséquent mais assez vite dispersé. Il faut remarquer que ce nuage est en majorité constitué par le soulèvement de poussières présentes sur le sol et remises en suspension par le souffle de l'explosion.

Il s'agit d'une source ponctuelle avec une fréquence variable selon l'organisation de l'exploitation.

Le vent et l'état de dessiccation sont des facteurs aggravants.



Nuage de poussières consécutif à un tir de mine
Photo n° 5

L'extraction des matériaux alluvionnaires

Les matériaux étant faiblement cohérents, l'extraction se limite à employer les engins suivants : pelle, chargeur lorsque l'exploitation a lieu à sec ou pelle, dragueline, drague flottante si l'exploitation est pratiquée en eau.

La teneur en eau limite les risques d'envols de poussières lorsque l'exploitation est conduite en eau et, dans une moindre mesure, lorsque l'humidité résiduelle des matériaux est significative.

Le déplacement des matériaux

L'utilisation d'une verse

Dans les régions à fort relief, certaines entreprises, pour éviter de faire circuler des tombereaux sur des terrains abrupts, utilisent une verse pour faire descendre les matériaux jusqu'au carreau. La gravité est alors l'agent de transport.

Les matériaux chutent par gravité, les poussières contenues dans la masse des matériaux sont libérées, d'autres poussières sont produites par attrition au sein des matériaux en mouvement.

Cette source est semi-permanente puisque les matériaux ne sont pas placés dans la verse lorsque les engins prélèvent des matériaux en pied de verse.

Facteur aggravant : la hauteur de chute et l'exposition aux vents peuvent aggraver la diffusion de la nuisance.

Il est donc recommandé de fonctionner à verse pleine : les matériaux sont déposés sur le sommet de l'éboulis formé par la verse.

Dans ces conditions, les poussières restent modérément importantes.

Le transport des matériaux par tombereaux

Deux sources de poussières sont reconnues :

- la circulation des engins et des tombereaux sur les pistes et le carreau provoquent l'érosion du sol par frottement de la roche et l'envol des poussières préalablement déposées (attrition) ;
- les matériaux transportés sont en général relativement grossiers et, de ce fait, peu sensibles à la déflation⁽³⁾. Néanmoins, les pistes mal entretenues entraînent des secousses et des heurts qui peuvent favoriser la formation et l'envol des poussières.

(3) Entraînement éolien de matériaux fins et secs.



Cette source est semi-permanente : elle est fonction du nombre d'engins et de tombereaux qui circulent sur le site. La circulation des engins participe de façon importante à l'empoussièremement général de l'exploitation.

Cette émission de poussières est très diffuse. Elle peut devenir conséquente dans le cas du va-et-vient des tombereaux pour alimenter la station de traitement à un rythme soutenu.

Les facteurs aggravants sont le temps sec et venté, la vitesse des tombereaux, le mauvais état des pistes.

Poussières soulevées par la circulation de l'engin

Photo n° 6

Le transport des matériaux par convoyeurs à bande

Les convoyeurs à bande sont utilisés :

- dans certaines exploitations pour faire transiter les matériaux extraits jusqu'aux unités de transformation ;
- systématiquement pour assurer le déplacement du matériau au sein de l'installation de traitement.

Les matériaux sont placés sur la bande (par un concasseur, un broyeur, un crible, une trémie, etc.), la zone d'alimentation du convoyeur, puis ils sont entraînés tout le long du parcours du transporteur par traction de la bande. Le passage - ou chute - des matériaux d'une bande à une autre correspond au point de transfert. La destination finale des matériaux est un stockage en trémie ou au sol. À cette étape du transport, les granulats chutent à partir de l'extrémité du convoyeur jusqu'au niveau de leur point de stockage.

L'émission de poussières est due essentiellement au brin de retour de la bande. Lorsque les matériaux transportés sont légèrement humides, les particules les plus fines adhèrent à la bande ; lorsqu'elles sèchent, elles tombent et se dispersent essentiellement au niveau des rouleaux supports de la courroie transporteuse. Lorsque la bande est broyée ou raclée, le point de nettoyage doit être protégé des risques d'envols de poussière.

Il y a peu d'émissions de poussières au niveau du convoyeur, surtout si les matériaux sont humidifiés sur bande lors d'une rupture de charge et/ou si les tapis sont protégés par un capot.

Cette source est quasiment permanente, durant la période quotidienne d'exploitation.



Convoyeur capoté

Photo n° 7

Tableau n° 5
Poussières émises par les convoyeurs

Sources d'émission	Facteurs aggravants
À l'alimentation du transporteur à bande, la chute des matériaux sur le tapis du transporteur crée un envol de poussières.	<ul style="list-style-type: none"> • Angle de montée du transporteur • Largeur de la bande • Hauteurs de chute de l'alimentation • Problème de l'étanchéité du capotage aux extrémités
Tout au long du parcours du convoyeur, les poussières restent majoritairement fixées sur la surface du granulat (micropoussières).	<ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de la bande • Mauvaise étanchéité du capotage sur tout le parcours de la bande
Au niveau du retour de bande, les particules les plus fines lorsqu'elles sèchent et tombent au niveau des rouleaux supports.	<ul style="list-style-type: none"> • Nature des matériaux

Le traitement des matériaux par concassage, criblage, lavage

Le traitement comprend les opérations de concassage, de criblage et, si nécessaire, de lavage. À l'issue de chaque opération, le produit est placé sur un convoyeur qui l'achemine vers l'opération suivante.

Le traitement des matériaux alluvionnaires est plus limité et se réduit parfois au seul criblage.

Les opérations de concassage

La première étape de l'élaboration des granulats est la réduction des matériaux bruts. Selon le taux de réduction désiré, les granulats sont fragmentés dans différents concasseurs et broyeurs afin d'obtenir des produits de diamètre spécifique correspondant aux différentes classes granulométriques recherchées par la clientèle ou permettant des opérations de traitement ultérieures. La fabrication des granulats à partir de roches massives nécessite toujours plusieurs opérations de concassage. Ces opérations libèrent des particules fines.



Alimentation d'un concasseur

Photo n° 8

Il existe de nombreux types de concasseurs et de broyeurs qui ont des principes d'action adaptés aux granulats élaborés. Les principaux appareils employés dans les installations de traitement de carrières sont :

- les appareils procédant par écrasement (concasseurs à mâchoires, à cylindres et broyeurs giratoires). La roche est fragmentée par écrasement entre une plaque mobile et une plaque fixe. La plaque mobile du concasseur à mâchoires effectue un mouvement oscillatoire et celle du concasseur giratoire, un mouvement pendulaire. Ces appareils sont souvent utilisés au niveau du traitement primaire. Ils sont peu générateurs de poussières ;
- les appareils procédant par chocs (broyeurs à percussion, broyeurs à marteaux). Le concassage s'effectue par chocs des percuteurs sur les matériaux. La géométrie particulière de la chambre de concassage et le fait que les pièces mobiles ont une vitesse élevée favorisent la dispersion des « fines » dans le courant d'air induit par la machine. Cette dispersion est particulièrement importante au démarrage et à l'arrêt car l'appareil fait office de « ventilateur » et disperse les poussières accumulées à l'intérieur. Ces dispositifs élaborent des produits de toutes granulométries. Ces appareils sont sources d'importantes quantités de poussières ;
- les appareils travaillant par frottement (broyeurs à barre). Les broyeurs sont des tambours cylindriques remplis en partie de corps broyants : boulets ou barres cylindriques en acier. Ces appareils fournissent des matériaux de très faible granulométrie, comme les sables, et présentant une forte proportion d'éléments fins

(sables très fillérisés), pour des revêtements routiers par exemple. Mais leur conception les rend relativement étanches. Ils émettent peu de poussières.

Le concassage et le broyage produisent des fines susceptibles de s'envoler, les pièces en mouvement et la ventilation des appareils (refroidissement) sont également des sources d'envols de poussières.

Le concassage constitue une source permanente de poussières (pendant les heures de fonctionnement de l'exploitation) ; l'importance est variable selon le type de concasseur et selon sa position dans la chaîne de traitement : un broyeur tertiaire produit plus de fines que le concassage primaire.

Facteurs aggravants

Au niveau du concasseur giratoire, il peut y avoir un effet de cheminée entraînant une dispersion importante de poussières lors de la chute des matériaux broyés. Cet effet est produit par les ouvertures de socle des concasseurs, quand ceux-ci sont disposés au-dessus du niveau du sol.

Afin de lutter contre les poussières, de l'eau est injectée dans les appareils mais lorsque ceux-ci ne sont plus en charge, l'arrivée d'eau est arrêtée pour éviter de colmater l'appareil et l'effet ventilateur provoque un nuage de poussières.



Le criblage

C'est lors des opérations de criblage que s'effectue la mise en suspension la plus importante des poussières émises pendant le traitement mécanique du matériau.

Le criblage consiste à classer les matériaux selon leur dimension avant de les commercialiser. On obtient ainsi des éléments de différents calibres exprimés en granulométrie (dimension précise de granulat) ou en fourchette (une fourchette granulométrique est représentée sous la forme « granulats 6/10 », c'est-à-dire des granulats dont les grains font entre 6 et 10 mm).

Cette opération est effectuée par une succession de cribles, des grilles soumises à des vibrations, qui séparent les grains en ne laissant passer que les éléments inférieurs à la taille d'ouverture des mailles. Ce procédé provoque une dispersion des poussières.

Crible

Photo n° 9

De plus, le frottement des matériaux les uns contre les autres engendre, par attrition, une production supplémentaire d'éléments fins d'autant plus importante que les matériaux sont plus tendres. La dispersion dans l'atmosphère des poussières produites par les cribles dépend de l'état de finesse du produit à cribler ; plus il contient d'éléments fins, plus cette dispersion est importante.

Il arrive fréquemment que les opérations de criblage et de lavage soient simultanées, ce qui diminue les émissions de poussières, au contraire des cribles à sec qui génèrent des niveaux d'empoussièrément extrêmement élevés.

Les opérations de concassage et de criblage sont les plus « productrices » de poussières sur un site, d'autant plus que l'émission est permanente. Ces différents appareils s'intègrent dans des boucles du type « alimentation - concassage - criblage » qui se multiplient suivant les capacités des appareils à réduire et les types de granulats à produire. La multiplication de ces boucles augmentera donc les sources de poussières puisque chaque élément est générateur de poussières.

Facteurs aggravants : les cribles sont généralement situés au sommet des installations et, de ce fait, sont très exposés aux vents.

Le lavage

La propreté des granulats est une nécessité industrielle. La présence d'argiles ou de poussières fixées aux matériaux empêche l'adhérence des liants nécessaires à leur utilisation pour élaborer du béton, des enrobés, etc., et donc conduit à entraver leur valorisation.

Le lavage des matériaux s'effectue par l'intermédiaire d'une rampe de buses. Les eaux de lavage sont dirigées vers une unité de traitement pour être décantées avant d'être réutilisées. Les opérations de lavage et de criblage des matériaux sont souvent réalisées conjointement par l'installation de la rampe de buses au-dessus



Crible laveur

Photo n° 10

du crible. Notons toutefois que, dans les carrières de roches dures, la fraction de matériaux lavés est souvent réduite.

Le lavage limite naturellement l'émission de poussières grâce à l'humidification des matériaux. Mais il génère des eaux chargées qui sont dirigées vers des bassins de décantation. Les boues séparées de l'eau recyclée sont mises à sécher, puis utilisées dans le cadre de la remise en état de la carrière. Les boues sèches peuvent être à l'origine d'envol de poussières.

Il s'agit là encore d'une source permanente de production de poussières.

Le stockage et la livraison

La mise en stock

Lors du transport lui-même, des émissions de poussières sont possibles, le déplacement d'air lié à la vitesse de circulation provoquant les envols. Le déversement des matériaux fins depuis la benne d'un tombereau émet des poussières importantes.

La répétition des opérations de stockage/déstockage rend cette opération quasi permanente. Le vent fort renforce la sensibilité aux poussières.

Les stocks

Une fois réduits, traités et classés, les granulats sont acheminés vers des aires de stockage, où ils forment des tas individualisés. Ils peuvent également être placés dans des trémies (ouvertes) ou silos (enceintes fermées employées pour des produits plus pulvérulents).

Les matériaux peuvent alors être livrés par camions, trains ou barges. Ils peuvent également être transformés sur place en cas de présence sur le site d'une centrale à béton, d'une centrale de graves ou d'une centrale d'enrobage.

Les matériaux stockés peuvent être affectés par les vents, et surtout les plus fins, une partie de la production se transformant en poussières. La sécheresse et la chaleur vont conduire à un assèchement des produits et les rendre plus facilement mobilisables.

Les trémies restant ouvertes au sommet, une perte de matériaux par déflation est possible. Les silos sont fermés mais, lors du remplissage du silo, l'air contenu dans le silo est chassé et entraîne des fines. Les événements sont donc classiquement équipés de filtres.

Cette source de poussières est permanente, même en dehors des périodes d'activité. Le rôle des vents est important, la position des stocks de produits fins doit donc intégrer la direction des vents dominants.

Le chargement des matériaux pour l'expédition

La chute des matériaux depuis l'engin de chargement dans le véhicule de transport (benne, wagon, barge) est une source d'envol de poussières d'autant plus que les matériaux manipulés sont fins et secs et que l'opération est soumise aux vents.

L'évacuation des matériaux commercialisés hors de la carrière

Lors du transport sur les voies de circulation, des envols de poussières sont possibles :

- il peut y avoir envol d'une partie du chargement au cours du transport ;
- les véhicules de livraison quittant une exploitation entraînent des particules qui adhèrent aux roues et au châssis du véhicule ; en séchant, ces particules s'envolent.

Notons que les matériaux très fins (fillers) sont habituellement transportés en véhicule-citerne.

L'évacuation est semi-permanente : elle est fonction du nombre de camions qui quittent le site et de leur propreté.

Facteurs aggravants :

- vitesse du véhicule ;
- nature du matériau ;
- granulométrie du matériau transporté ;
- degré d'hygrométrie du chargement ;
- état des voies de circulation.

La remise en état du site exploité

Les différentes couches de matériaux séparés lors des travaux de découverte sont stockées en vue du réaménagement du site. La terre végétale et les stériles peuvent être stockés sous forme de merlons de quelques mètres de hauteur environ (une hauteur maximale de 3 m est retenue pour la terre végétale afin de limiter les phénomènes de compaction qui altèrent ses qualités agronomiques, cette terre étant végétalisée pour maintenir une vie biologique et optimiser la qualité de la remise en état).

La remise en état des carrières s'effectue progressivement tout au long des phases d'exploitation jusqu'à la fermeture du site. Elle est définie par l'étude d'impact et précisée dans l'autorisation d'exploitation avant même l'ouverture du site.

Il existe différents types de réaménagements possibles selon la nature de la carrière (en eau, à flanc de co-teau...) et selon l'environnement dans lequel s'inscrit l'exploitation (milieu rural ou urbain). Des bases de loisirs, des zones d'habitation, des zones naturelles peuvent voir le jour sur des sites d'anciennes carrières. Il s'agit d'une source ponctuelle relativement peu importante.

4 - Les facteurs influençant l'empoussièrement

Indépendamment des techniques d'extraction et de traitement des matériaux, de nombreux facteurs peuvent influencer sur l'émission, la mise en suspension et le déplacement des poussières dans l'atmosphère et dans l'environnement proche de la carrière.

■ 4.1 Les facteurs favorisant la formation des poussières

La friabilité de la roche exploitée

Quand une roche est tendre, la formation de poussières est facilitée. La tendance naturelle des poussières à se libérer et à se mettre en suspension est donc directement liée à la nature du matériau : calcaire, marne, craie, sable...

Quand une roche est dure, le traitement devra être particulièrement intense pour obtenir les granulométries attendues. Les poussières seront émises au niveau des installations de traitement.

L'état de dessiccation de la roche

Plus la roche est sèche, plus son traitement générera de la poussière. En effet, entre l'eau et les éléments minéraux se crée une force (tension superficielle pour des grains de sable - liaisons électrostatiques pour les argiles) qui les lie entre eux et apporte la cohésion à l'ensemble.

L'intensité des forces mises en jeu est variable selon la nature des matériaux et le chimisme de l'eau.

Certaines roches sont plus sensibles à la présence d'eau et, de ce fait, résistent mieux à la dessiccation (marnes, argiles).

■ 4.2 Les facteurs influençant la dispersion des poussières

La granulométrie des poussières émises

La granulométrie a une influence sur la mise en suspension et sur la sédimentation des poussières dans l'environnement. Plus les particules ont un petit diamètre, plus elles sont susceptibles d'être mises en suspension dans l'air et plus longtemps elles y resteront.

4.2.2 La forme de la poussière

Elle peut favoriser l'envol et/ou diminuer la vitesse de sédimentation d'une particule : une particule plate a le même comportement qu'une feuille pendant sa chute et se déposera donc plus lentement qu'une particule sphérique. La vitesse de chute est fonction du diamètre aérodynamique.

Les conditions météorologiques

Les conditions atmosphériques (vent, sécheresse et précipitations) jouent un rôle majeur dans l'empoussièrement d'une exploitation. Elles interviennent principalement sur :

- la dessiccation des matériaux ;
- le déplacement des poussières, y compris par reprise de poussières sédimentées ;
- la formation de boues qui, en séchant, forment des poussières.

Les conditions extrêmes de dispersion des poussières sont :

- un terrain plat ;
- l'absence d'écran végétal ;
- une hygrométrie et des précipitations faibles ;
- un vent fort.

Le vent

Les effets produits par l'action des vents sont très importants puisque, comme on l'a vu précédemment, ce sont eux qui vont provoquer, pour une part importante, l'envol des particules et surtout leur transport aux alentours des installations.

Le rôle des vents est fonction de la fréquence, de sa force, de sa direction et de la présence ou non de turbulence. La direction des vents dominants varie avec la saison, tout particulièrement en bord de mer.

Les effets du vent peuvent se faire sentir sur de grandes distances. Ainsi, périodiquement, on remarque en France des dépôts de poussières rouges provenant du Sahara.

La configuration des lieux peut guider les vents selon une direction privilégiée où un couloir de dispersion entraîne les poussières relativement loin (plusieurs kilomètres). C'est le cas des carrières situées dans la vallée du Rhône où le mistral est un agent de transport important.

Les facteurs déterminants seront donc la position des appareils générateurs de poussières, les modes de constitution, les formes et les orientations des stocks par rapport aux vents dominants.

Pour un site donné, ce sont eux qui détermineront l'importance et l'étendue de la zone soumise à l'empoussièrement. Rappelons, comme vu au chapitre 2.1.3.2., qu'une particule de 30 microns tombant d'une hauteur de 15 m parcourra une distance de 1 800 m avec un vent de 30 km/h.

Tout déplacement des masses d'air, qu'il soit naturel (sens et force des vents) ou artificiel (ventilation des broyeurs), provoque une part importante de l'envol des poussières et leur transport à l'extérieur du site. Ainsi, le vent provoque :

- la dessiccation du matériau et réduit donc l'adhérence des éléments les plus fins à un support ;
- la remise en suspension des fines déposées au sol et sur les matériaux en traitement dans les parties de l'installation à l'air libre ;
- le transport par entraînement des fines.

La sécheresse

Un temps sec limite la présence d'eau et favorise la remise en suspension des poussières sous l'action du vent ou des passages de véhicules. D'une façon générale, les niveaux d'empoussièrement près des installations de traitement en plein air sont plus importants en période sèche (été) qu'en période humide (hiver). Plus que l'absence de précipitations, c'est la durée des périodes sèches qui est un facteur déterminant.

Cette dispersion des poussières est directement liée à la granulométrie des particules :

- les grosses particules sont les plus affectées par les variations de conditions météorologiques. Quand la force du vent augmente, le taux des grosses poussières dans l'air augmente ;
- à l'inverse, la concentration des poussières fines (diamètre inférieur à 1,5 micron), en suspension dans un rayon de 2 km sous le vent d'un site, est sensiblement constante, quelles que soient la distance et la vitesse du vent. En effet, la granulométrie faible de ces poussières ne leur permet pas de sédimenter et elles restent soumises aux vents. Elles se comportent alors comme des aérosols gazeux [BRGM, 1989].

En période hivernale, les systèmes d'aspersion sont soumis au risque de gel. Ils ne sont donc pas activés et laissent les envols se faire.

Les précipitations

Les précipitations humidifient le matériau et font tomber les poussières dispersées dans l'atmosphère aux alentours de l'exploitation. Selon leur fréquence et leur intensité, elles contribuent plus ou moins à limiter la dispersion des poussières. De même, le brouillard est composé de gouttelettes en suspension qui piègent les particules

Cependant, les eaux qui entraînent les fines les déposent, constituant des boues qui en séchant vont créer des points d'émission potentielle de poussières.

L'implantation géographique du site

L'implantation géographique d'un site aura évidemment une incidence sur l'émission de poussières, comme c'est le cas pour les régions du sud et du sud-est de la France qui ont un climat sec et venteux.

Les exploitations situées en zones réputées humides connaissent également des problèmes d'empoussièrement liés à d'autres facteurs, comme la configuration du site, l'entretien des installations. En outre, une conséquence de l'implantation d'une carrière dans une région pluvieuse peut être la formation de boues.

Le type de gisement

L'émission de poussières est plus importante pour une exploitation de roches massives hors d'eau (teneurs en eau parfois proche de 0 %) que pour une exploitation de roches meubles en eau où le matériau exploité a un taux d'humidité élevé.

Cependant, dès qu'il y a concassage de gros éléments, comme les graviers ou les galets, on peut être confronté à des problèmes de poussières.

La configuration du site

La topographie du terrain influence la dispersion des poussières hors de la carrière.

Dans les régions qui présentent une topographie accidentée, les secteurs protégés du vent alternent avec ceux qui sont exposés.

Un encaissement important, de par la topographie naturelle du site ou un rideau d'arbres plantés au plus près des installations, limite la dispersion rapide des poussières.

Une ouverture très importante vers l'extérieur favorise l'envol des poussières hors du site en produisant également un effet visuel.

Une ouverture étroite peut canaliser les vents et les renforcer localement (effet Venturi).

La localisation des éléments d'installations de traitement favorise ou limite la dispersion des poussières, selon qu'ils sont situés en hauteur ou en fond de carrière. Il en va de même pour l'orientation des stocks par rapport aux vents dominants : ils peuvent avoir une prise au vent plus ou moins importante selon leur taille et leur disposition sur le site.

Les installations en hauteur sont davantage soumises aux vents mais souvent plus faciles à barder. Les installations à développement horizontal nécessitent souvent plus de déplacement de matériaux.

Le facteur production

Plus la production est importante, plus les quantités de poussières émises risquent d'être importantes.

De façon secondaire, il peut y avoir une influence de la production sur les niveaux d'empoussièrement. La méconnaissance des spécifications concernant les fournitures de granulats peut amener à produire un matériau mal adapté aux besoins, par exemple la production de fines pour obtenir un matériau auquel on retirera, par criblage, une partie des fines excédentaires (production de poussières qui pourrait être évitée).

5. Les impacts de l'empoussièrement dans la carrière et l'environnement

■ 5.1 Sécurité sur l'exploitation et aux alentours

Si la concentration de poussières dans l'air est élevée, le nuage créé peut réduire la visibilité des conducteurs circulant aux abords de la carrière et ainsi être une source d'insécurité. La visibilité tombe, par exemple, de 500 m à 150 m quand la concentration des particules dans l'air varie de 1 mg/m³ à 200 mg/m³.

En présence d'eau, les poussières constituent de la boue qui sera d'autant plus liquide que la quantité d'eau augmente.

Les précipitations, le ruissellement sur un site empoussieré, génèrent de la boue. L'abattage des poussières à l'aide de système utilisant de l'eau peut provoquer la formation de quantités de boues plus ou moins importantes selon la gestion des eaux.

Ces boues altèrent la liaison véhicule/chaussée et peuvent être la source d'accidents lorsqu'elles s'accumulent sur les voies de circulation.



Poussière soulevée par un poids lourd sur la voie de desserte d'une carrière

Photo n° 11

■ 5.2 Les riverains

Même si, a priori, les carrières ne semblent pas être à l'origine d'effets en matière de santé publique, les évolutions réglementaires en ce domaine amènent à s'interroger sur l'influence éventuelle des exploitations sur la santé des riverains. En effet, le décret du 20 mars 2000 a introduit la nécessaire prise en compte des effets des projets sur la santé dans les études d'impact. La présence de secteurs habités doit donc être prise en compte lors des réflexions en matière de lutte contre les poussières.

Les mesures prises vis-à-vis de la santé des personnels permettent de limiter les conséquences sur les riverains. Mais la présence possible, parmi les populations riveraines, de personnes plus sensibles conduit à renforcer les mesures de protection. Notons que les riverains ne bénéficient pas d'un suivi médical spécifique.

Les activités artisanales ou industrielles riveraines peuvent être sensibles à la présence de poussières : atelier de peinture, industrie électronique... et, plus largement, un fort taux de poussières est rarement compatible avec les opérations de finition et d'emballage.

■ 5.3 Érosion des produits et perte de rentabilité

Dans les opérations de fabrication des granulats, les émissions non contrôlées de poussières peuvent influencer la régularité du calibrage des produits. La dispersion de particules commercialisables telles les fillers, produits riches constitués de fines, représente un manque à gagner pour l'exploitant. Sur un stock de matériaux fins en région Nord-Pas de Calais, la perte a été évaluée à 5 % de la masse stockée.

De même, les pertes lors du transport ou du stockage peuvent devenir notables.

■ 5.4 Impact visuel

Les riverains sont sensibles aux salissures générées par des dépôts de poussières sur leurs biens.

Un envol dense de poussières va marquer le paysage. Les retombées importantes, par le blanchiment des surfaces, vont altérer la gamme chromatique perceptible.

Les poussières qui se déposent sur le sol, la végétation, les façades ou les toits, après un séjour plus ou moins long dans l'atmosphère, peuvent blanchir les différentes surfaces par effet de diffusion de la lumière. Ce phénomène sera d'autant plus important que la granulométrie des poussières sera faible [BRGM, 1989].



L'activité n'est visible que par le nuage de poussières qu'elle génère.

Photo n° 12

En règle générale, cette fine pellicule de poussières qui se dépose est lessivée avec les eaux météoriques. Cette nuisance ne devient préoccupante que lorsqu'elle est durable. C'est le cas lors des émissions prolongées et des longues périodes de sécheresse.

Au final, un excès de poussières peut constituer un halo autour de la carrière qui va accroître l'impact visuel du site à l'ensemble carrière, nuage de poussières et zones blanchies par les retombées.

■ 5.5 Impacts sur le milieu naturel

Lorsque les retombées de poussières sont très importantes, la pellicule de poussières qui se dépose sur les végétaux peut être suffisante pour altérer la synthèse chlorophyllienne et ralentir la croissance des plantes. Le dépôt des poussières peut se faire sentir de façon plus importante pour l'agriculture en provoquant la diminution de la qualité et/ou de la quantité de certaines récoltes.



Vue d'un stomate en microscopie

Photo n° 13

L'aspect poussiéreux des fruits est une entrave à leur commercialisation souvent mise en avant par les producteurs. Il fait craindre une évolution des caractéristiques des produits issus des procédés de transformation (vinification, industrie agroalimentaire...). À l'heure actuelle, les pertes de qualités ne sont pas prouvées.

De façon indirecte, les fines, une fois déposées, peuvent être entraînées par les eaux de ruissellement. Elles contribuent alors à un excès de matières en suspension dans les rejets et peuvent altérer le milieu récepteur où vivent parfois des espèces protégées (écrevisses à pattes blanches...).

Ceci étant, ces mêmes poussières peuvent avoir, dans certains cas, un impact positif, soit par ajout d'amendement calcaire, soit en bloquant le développement de certains organismes parasites ou en favorisant la pollinisation.



Blanchiment de la végétation riveraine

Photo n° 14

6. Les aspects réglementaires

■ 6.1 Cadre général

La réglementation applicable aux carrières comme aux installations de transformation des substances minérales relève de la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement qui vise à assurer la protection des tiers, du voisinage et de l'environnement.

Ces activités principales relèvent des rubriques 2510 et 2515 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement. Suivant l'importance de leurs inconvénients pour l'environnement, ces installations sont donc soumises aux procédures de déclaration préalable, d'enregistrement ou d'autorisation préfectorale prévues par le code de l'environnement qui conduisent à prescrire les dispositions adéquates pour assurer la protection de l'environnement, notamment contre les émissions de poussières dans le voisinage.

Les installations soumises au régime de la déclaration sont réglementées par des arrêtés types établis, pour chaque activité, par le ministère concerné. Ces arrêtés types sont annexés aux récépissés de déclaration délivrés par le préfet et précisent les dispositions générales à observer pour assurer la protection de l'environnement, en particulier pour lutter contre la pollution atmosphérique (notamment par les émissions de poussières). Les installations de premier traitement, soumises à déclaration, sont concernées par l'arrêté ministériel du 30 juin 1997.

Les installations soumises au régime de l'autorisation font l'objet d'une étude d'impact préalable instruite par le préfet du département concerné. Le préfet autorisera l'exploitation par un arrêté spécifique dont la rédaction s'appuie sur des arrêtés particuliers :

- arrêté du 2 février 1998, relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation (JO du 28 mars 1993) ;
- arrêté du 22 septembre 1994 (modifié en dernier lieu par arrêté en date du 5 mai 2010) relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières.

En ce qui concerne les exploitations de carrières et les installations de premier traitement, c'est donc l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 qui fixe les prescriptions minimales applicables en particulier dans le domaine des pollutions. Dans son arrêté, le préfet du département reprend les prescriptions de cet arrêté ; le cas échéant, il renforce les prescriptions.

■ 6.2. Arrêté du 22 septembre 1994

Ce texte comprend 2 articles traitant des poussières :

- l'article 17 qui reste général,
- l'article 19 qui est spécifique à la pollution de l'air.

Article 17 - Article général

Article 17

L'exploitant prend toutes les dispositions nécessaires dans la conduite de l'exploitation pour limiter les risques de pollution des eaux, de l'air ou des sols, et de nuisance par le bruit et les vibrations et l'impact visuel.

L'ensemble du site et ses abords, placés sous le contrôle de l'exploitant, sont maintenus en bon état de propreté. Les bâtiments et installations sont entretenus en permanence.

Les voies de circulation internes et aires de stationnement des véhicules sont aménagées et entretenues.

Les véhicules sortant de l'installation ne doivent pas être à l'origine d'envols de poussières, ni entraîner de dépôts de poussières ou de boues sur les voies de circulation publiques.

Cet article très général demande de lutter contre les poussières (propreté et aspect visuel). Il précise que la lutte contre cette nuisance doit s'étendre aux voies de circulation publiques (sécurité routière).

Article 19

Cet article définit les dispositions à prendre par l'exploitant et des seuils qu'il doit respecter.

Article 19

Alinéa I - L'exploitant prend toutes les dispositions utiles pour éviter l'émission et la propagation des poussières.

Alinéa II - Les dispositifs de limitation d'émission des poussières résultant du fonctionnement des installations de traitement des matériaux sont aussi complets et efficaces que possible.

Les émissions captées sont canalisées et dépoussiérées. La concentration du rejet pour les poussières doit être inférieure à 30 mg/Nm³ (les mètres cubes sont rapportés à des conditions normalisées de température, 273 kelvin, et de pression, 101,3 kilopascals, après déduction de la vapeur d'eau, gaz sec).

Les périodes de pannes ou d'arrêts des dispositifs d'épuration pendant lesquelles les teneurs en poussières des gaz rejetés dépassent le double des valeurs fixées ci-dessus doivent être d'une durée continue inférieure à quarante-huit heures et leur durée cumulée sur une année est inférieure à deux cents heures.

En aucun cas, la teneur en poussières des gaz émis ne peut dépasser la valeur de 500 mg/Nm³. En cas de dépassement de cette valeur, l'exploitant est tenu de procéder sans délai à l'arrêt de l'installation en cause.

Les valeurs limites s'imposent à des prélèvements d'une durée voisine d'une demi-heure.

L'arrêté d'autorisation fixe une valeur limite pour le débit gazeux et le flux des poussières.

Il fixe la périodicité des contrôles, qui est au moins annuelle, pour déterminer les concentrations, les débits et les flux de poussières des émissions gazeuses. Ces contrôles sont effectués selon des méthodes normalisées et par un organisme agréé.

Alinéa III - Pour les carrières de roches massives dont la production annuelle est supérieure à 150 000 tonnes, un réseau approprié de mesure des retombées de poussières dans l'environnement est mis en place.

Le nombre et les conditions d'installation et d'exploitation des appareils de mesure sont fixés par l'arrêté d'autorisation.

L'article 19 édicte des prescriptions quant à la prévention de l'empoussièrement sur les exploitations et dans l'environnement proche des carrières. Elles abordent deux thèmes :

- la limitation des émissions et des propagations de poussières par la mise en place de dispositifs les plus efficaces possibles ;
- la mesure :
 - des taux de poussières émises dans le cas de rejets de particules dans l'atmosphère pour les rejets canalisés (mesures à l'émission), concernant les particules en suspension ;
 - des retombées de poussières dans l'environnement par la mise en place d'un réseau approprié de mesure des particules sédimentables.

Les exploitants doivent connaître les techniques qui limitent les niveaux d'empoussièrement et d'empoussièrement (limiter les émissions et la propagation des poussières) ainsi que les méthodes de mesures des poussières dans l'environnement, pour l'empoussièrement comme pour l'empoussièrement.

Il est à noter que le texte fixe un seuil pour les rejets canalisés ; il n'en fixe pas pour les retombées dans l'environnement.

■ 6.3. Arrêté du 30 juin 1997

Cet arrêté relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2515 (Broyage, concassage, criblage, ensachage, pulvérisation, nettoyage, tamisage, mélange de pierres, cailloux, minerais et autres produits minéraux naturels ou artificiels) traite de la qualité de l'air et des poussières dans les articles 6.1 à 6.4.

Article 6.1. Captage et épuration des rejets à l'atmosphère

Les installations susceptibles de dégager des fumées, gaz, poussières ou odeurs doivent être munies de dispositifs permettant de collecter et canaliser autant que possible les émissions. Ces dispositifs, après épuration des gaz collectés en tant que de besoin, sont munis d'orifices obturables et accessibles aux fins d'analyse.

Le débouché des cheminées doit être éloigné au maximum des habitations et ne pas comporter d'obstacles à la diffusion des gaz (chapeaux chinois...).

Article 6.2. Valeurs limites et conditions de rejet

Les effluents gazeux doivent respecter les valeurs limites définies ci-après, exprimées dans les conditions normalisées de température (273 kelvins) et de pression (101,3 kilopascals) après déduction de la vapeur d'eau (gaz sec) et mesurées selon les méthodes définies au point 6.3.

Les gaz rejetés à l'atmosphère ne doivent pas contenir plus de 150 mg/Nm³ de poussières.

Le point de rejet doit dépasser d'au moins 3 mètres les bâtiments situés dans un rayon de 15 mètres.

Article 6.3 Mesure périodique de la pollution rejetée

Une mesure du débit rejeté et de la concentration des polluants visés au point 6.2 doit être effectuée, selon les méthodes normalisées en vigueur, au moins tous les trois ans.

Les mesures sont effectuées par un organisme agréé par le ministre de l'Environnement quand il existe une procédure d'agrément des organismes.

À défaut de méthode spécifique normalisée et lorsque les composés sont sous forme particulaire ou vésiculaire, les conditions d'échantillonnage isocinétique décrites par la norme NFX 44-052 doivent être respectées.

Ces mesures sont effectuées sur une durée voisine d'une demi-heure, dans des conditions représentatives du fonctionnement de l'installation.

En cas d'impossibilité, liée à l'activité ou aux équipements, d'effectuer une mesure représentative des rejets, une évaluation des conditions de fonctionnement et des capacités des équipements d'épuration à respecter les valeurs limites est réalisée.

Article 6.4. Stockages

Les stockages extérieurs doivent être protégés des vents en mettant en place des écrans, chaque fois que nécessaire, ou être stabilisés pour éviter les émissions et les envols de poussières. En cas d'impossibilité de les stabiliser, ces stockages doivent être réalisés sous abri ou en silos.

Les fillers (éléments fins inférieurs à 80 µm) et les produits pulvérulents non stabilisés doivent être ensachés ou stockés en silos. Ces silos doivent être munis de dispositifs de contrôle de niveau de manière à éviter les débordements. L'air s'échappant de ces silos doit être dépoussiéré s'il est rejeté à l'atmosphère.

On constate que l'arrêté du 30 juin 1997 est plus précis que celui du 22 septembre 1994. Dans le cadre des opérations soumises à autorisation, le préfet peut adapter ses prescriptions aux éléments ressortant de l'étude d'impact qui a été montée pour le site concerné.

■ 6.4. Conclusions

L'application sur le terrain des prescriptions « poussières » de l'arrêté du 22 septembre 1994, en particulier son article 19, s'est avérée peu suivie par les exploitants, d'autant plus qu'une confusion persiste toujours entre la lutte contre les poussières nuisibles à l'environnement (notion d'empoussièremment) et la lutte contre les particules nocives pour la santé des salariés de l'entreprise (notion d'empoussiérage traitée par le RGIE).

En explicitant ces termes d'empoussièremment, on se rend compte que cela concerne la gestion de la poussière mais à deux échelles différentes. Ces deux niveaux rendent la gestion de la poussière difficile pour l'exploitant, car il doit s'occuper à la fois du général et du particulier. En effet, les approches et les moyens de lutte contre les poussières ne seront pas les mêmes suivant la localisation du problème et la dimension environnementale. Il faut être conscient des différences fondamentales entre nuisance, pollution, danger et toxicité. Confondre ces différentes notions, faire des amalgames, généraliser le degré d'agression de la poussière et son impact sur un individu sans vérifier quelle est sa concentration, sa composition chimique ou sa structure, sont autant de causes de mauvaise interprétation, avec des conséquences non négligeables.

Lors du colloque « Gestion des poussières dans l'industrie minérale », en 1997, Monsieur DESWAEF de l'ISSeP (Institut scientifique de service public - Laboratoire et pilote industriel section air) de Liège a insisté sur l'interdépendance des différents phénomènes propres aux trois secteurs que sont les aérosols solides aux postes de travail, l'émission et les retombées dans l'environnement (qualité de l'air). Il faudrait donc prendre en compte cette réalité et éviter de spécialiser à outrance chacun de ces domaines comme c'est trop souvent le cas actuellement en matière de métrologie. Lors de ce même colloque, L. C. KENNY, du laboratoire Hygiène et Santé de Sheffield, a souligné sa confiance en l'état d'avancement des travaux sur les préleveurs/échantillonneurs de poussières ainsi que sur l'harmonisation des procédures de prélèvement dans différents pays. De manière générale, on peut conclure que les problèmes techniques sont résolus pour les fractions alvéolaire et thoracique, les technologies d'échantillonnage des poussières inhalables nécessitant encore quelques adaptations et améliorations.

De plus, en ce qui concerne la mesure du taux d'empoussièremment d'une exploitation, on peut distinguer deux problèmes distincts :

- la mesure du taux de poussières émises par des cheminées qui rejettent à l'atmosphère un débit d'air provenant du dépoussièremment des émissions captées dans les installations de traitement ;
- la mise en place, pour les exploitations les plus importantes (production supérieure à 150 000 tonnes/an), d'un réseau de mesures de la retombée des poussières dans l'environnement.

7. Métrologie de l'empoussièrement

Connaître l'incidence d'un site en matière de poussière doit non seulement être qualitatif mais aussi quantitatif.

Les résultats de campagnes de mesures hors du site vont conduire à s'interroger sur les points à améliorer dans le site et à contrôler l'efficacité des moyens de protection mis en œuvre.

Les mesures peuvent donc être faites :

- pour connaître l'émission en rejet canalisé,
- pour connaître l'incidence d'un appareil ou d'un groupe d'appareils voisins,
- pour connaître la nuisance subie à l'extérieur du site.

Dans ce dernier cas, on peut s'intéresser aux poussières retombées et aux poussières en suspension.

L'analyse des poussières en suspension est rapportée à la taille des particules :

- poussières inhalables : fraction massique des poussières totales en suspension inhalées par le nez et la bouche ($< 100 \mu\text{m}$) ;
- poussières thoraciques : fraction massique des particules inhalées pénétrant au niveau du larynx ($< 30 \mu\text{m}$) ;
- poussières alvéolaires : fraction massique des particules inhalées pénétrant au niveau des voies aériennes non ciliées ($< 15 \mu\text{m}$).

Ces fractions sont reprises dans la norme ISO 7708 et dans la norme Afnor X 43-100.

Nous avons vu au chapitre précédent que la réglementation impose des mesures dans deux cas :

- les rejets canalisés,
- les retombées de poussières des carrières de roche massive de plus de 150 000 t.

Mais lorsque ces mesures indiquent des niveaux élevés de poussières, il peut être intéressant de conduire des mesures de façon à cerner où sont les sources les plus importantes sur le site et quelle est la participation de chacune aux nuisances.

Une fois le diagnostic fait, des dispositifs de réduction des émissions seront mis en place ; il faudra alors contrôler leur efficacité.

La problématique de la quantification des poussières en carrière vient du fait que les points d'émission sont multiples. En effet, certains appareils émetteurs sont bien localisés (unité de traitement), d'autres émissions sont diffuses (passage des tombereaux, envol depuis les terrains nus) ou se déplacent au cours du temps (déplacement de la zone d'exploitation).

Le déplacement des poussières est fortement lié à l'action des vents, les variations en direction et en intensité, ce qui rend les résultats peu reproductibles.

Remarques

La complexité de la mesure des poussières ne peut se faire que par une bonne collaboration entre l'exploitant et son prestataire.

Si l'exploitant peut amener des moyens humains, la connaissance de son outil et du voisinage, le prestataire apporte la connaissance des moyens de mesure et une capacité d'analyse en fonction d'une expérience des situations analogues. Les analyses sont faites dans des laboratoires spécialisés, les faibles quantités demandant des appareils de dosage de précision assez onéreux.

Les termes utilisés dans les normes de mesures des poussières sont définis dans la norme NF X 43-001.

Quelques normes

NF X 43-001	Définition des termes utilisés dans les normes de mesures de poussières
NF EN 13284-1	Détermination de la faible concentration en masse de poussières – méthode gravimétrique manuelle
NF X44-052	Détermination des fortes concentrations massiques de poussières – méthode gravimétrique manuelle
NF EN 13284-2	Détermination de faibles concentrations en masse de poussières – systèmes automatiques de mesure
NF EN 14181, QAL1	Assurance Qualité des systèmes automatiques de mesure
NF ISO 7708	Définition des fractions de particules pour l'échantillonnage lié aux problèmes de santé

Pour être prises en compte au niveau européen, les méthodes de mesure des particules en suspension doivent prouver leur équivalence avec la méthode de référence qu'est la gravimétrie et prendre en compte une fraction bien définie des particules en suspension (PM10).

■ 7.1 Démarche préliminaire

Avant toute démarche de quantification des poussières, il est fondamental de bien caractériser l'exploitation en collectant un maximum de renseignements sur :

- l'activité de la carrière et de l'unité de traitement : nature des matériaux traités, granulométries produites, type de matériels utilisés, mode de transport des matériaux dans la carrière et hors de celle-ci ;
- les sources d'émission potentielles en précisant surtout, pour chaque source, s'il s'agit d'émission continue ou sporadique (à quelle fréquence), fugace ou non. Par source, il faut entendre non seulement les matériels (cribles par exemple) ou les lieux (pistes d'amenée du tout-venant) ou des actes d'exploitation (forage ou tir), mais aussi les sources liées à des dysfonctionnements (bardages non jointifs, ouverture béante dans un bardage, etc.) ;
- les moyens d'abattage des poussières existants.

La deuxième étape vise à caractériser le contexte dans lequel se place le site :

- les conditions climatiques : vents dominants, régime pluviométrique, variations de température ; l'idéal est d'avoir les données climatiques du site lui-même sur plusieurs années ou, à défaut, d'une station qui représente au mieux la situation du site. Il est conseillé d'installer une station météo pendant la période des mesures ;
- l'environnement général pouvant provoquer des poussières : routes à proximité, trafic routier, autre carrière voisine, activité agricole génératrice de poussières à certains moments, centrales de graves ou de béton, industries diverses... ;
- les éléments de l'environnement sensibles aux poussières (établissement accueillant du public, établissement de soins, industrie...).

Seules l'acquisition de ces connaissances et leur traduction cartographique permettront de déterminer les points de contrôle qui rendront le mieux compte des phénomènes de poussières liés à la carrière par rapport au « bruit de fond poussière » de son environnement.

La recherche de toutes les sources de poussières se fait à la fois :

- par simple repérage visuel ou mieux, photographique ;
- grâce à des appareils en lecture directe donnant une valeur ponctuelle des émissions de poussières des différentes machines en activité sur le site étudié. Ces appareils sont des compteurs optiques de Hund ou de Grimm décrits au paragraphe 7.3.

Il est recommandé de préparer un tableau pour noter pendant la période de mesure :

- le régime des conditions météorologiques principales (direction des vents, précipitations) affectant la région prospectée ;
- les événements survenus dans la carrière : production, granulométrie, modification dans le nombre d'appareils en fonctionnement ou dans les modalités de l'amenée du tout-venant, fonctionnement des systèmes de dépoussiérage ;
- les événements survenus dans l'environnement de la carrière (activité agricole, etc.) ;

Figure n° 5

Laboratoire :										Référence			
FICHE DE PRÉLÈVEMENT DES POUSSIÈRES													
Capteur		Filtre ou coupelle N°	Tête N°	Prélèvement			Durée de marche			Analyses demandées		Autres	
N°				Al ou In	I ou PF	Fonction ou aire de mesurage	Date	H début	H fin	Durée	Concentration mg/m ³	Taux de quartz	
									Total				

Al : alvéolaire In : Inhalable
I : individuel PF : poste fixe

Nom de l'opérateur		Nom de la société	
Conditions météo		Site étudié	
		Remarques	

7.2. Choix des points de mesure

Point 0

Pour connaître le « bruit de fond », il faut placer un capteur hors de la zone influencée par l'activité. L'idéal pourrait être de pratiquer des mesures avant la mise en place de l'exploitation mais le niveau du bruit de fond initial doit être complété par l'arrivée d'autres sources de poussières extérieures à l'activité étudiée (évolution de la circulation routière par exemple).

Notons qu'en l'absence d'activité, une carrière ouverte reste une source potentielle de poussières. On ne peut donc pas considérer que des mesures en période de fermeture estivale ou hivernale puissent représenter le bruit de fond.

La mesure du bruit de fond permet de relativiser les résultats des mesures effectuées aux abords de la carrière.

L'emplacement de la mesure de référence se situe au vent, c'est-à-dire dans une zone qui n'est pas affectée par les poussières issues du site. Notons que les mesures de poussières devant être faites sur des périodes longues de 8 jours à un mois, on ne peut garantir que les vents soient constants en direction et qu'un point positionné au vent vis-à-vis des vents dominants ne se retrouve pas périodiquement sous le vent du fait de conditions météorologiques particulières.

Ce point doit être choisi représentatif de la situation du site étudié, c'est-à-dire à l'écart des autres sources de poussières (industrie, autres carrières, scierie...).

Selon l'époque de l'année, il peut être nécessaire de ne pas avoir le même point zéro (ainsi, par exemple, au moment des labours si la carrière est sous le vent des champs à labourer).

La valeur du bruit de fond sera donc assortie de données sur l'évolution des vents et l'activité des environs.

Les points de quantification

Le choix de l'implantation des capteurs dans l'environnement est fonction de l'objectif recherché :

- la connaissance de l'impact général va conduire à placer de nombreux capteurs dans les environs (plaquettes, collecteurs de précipitations) ;
- la connaissance de l'impact vis-à-vis d'un lieu sensible, ou suite à une plainte, conduit à placer quelques instruments (nombre limité) :
 - à proximité de ce lieu,
 - hors zone affectée : disposer d'un capteur de référence,
 - entre le site et le lieu étudié : placer quelques capteurs peut s'avérer intéressant pour évaluer la décroissance des retombées avec la distance ;
- réaliser une étude d'amélioration ; la connaissance de l'impact d'un groupe de machines ou d'un point de l'activité amènera à placer un ou deux appareils à proximité de la source étudiée.

Le choix de l'implantation doit également prendre en compte :

- la production potentielle de poussières de la source étudiée : une proximité excessive peut amener à une saturation rapide des capteurs ;
- des contraintes d'alimentation électrique de certains appareils ;
- des risques de vandalisme (vol, dégradation).

Remarque :

L'implantation d'un réseau n'est pas définitive. Elle pourra évoluer dans l'espace (repositionnement de l'un ou l'autre des points de mesure) ou en nombre selon les problèmes identifiés et l'évolution du site étudié (déplacement du secteur d'extraction...) et de son environnement (croissance végétale, modification de l'occupation des sols).

■ 7.3 Mesures des poussières atmosphériques

Ces instruments sont adaptés aux mesures à l'émission ou au sein des procédés industriels.

Compteur optique de Hund

Le principe du compteur optique de Hund est basé sur la lumière diffusée. Un rayon de lumière infrarouge est émis par une diode et envoyé dans une chambre de mesure. Les particules se trouvant sur la trajectoire de ce rayon de lumière primaire réfléchissent la lumière incidente. L'instrument mesure uniquement la lumière diffusée par les particules les plus fines. L'appareil n'a pas besoin de pré-séparateur, car le principe de mesure choisi

ne tient compte que des particules de plus de 8 μm environ. La mesure concerne donc uniquement la fraction alvéolaire des particules en suspension.

Réalisée en continu, cette mesure donne un indice d'intensité de la lumière diffusée qui est directement proportionnel à la concentration des poussières dans l'air.

Sur un même site, mais en différents endroits, les mesures permettent une certaine quantification et donc une hiérarchisation des sources d'émission.

Compteur de Grimm

Il s'agit d'un compteur de noyaux de condensation. C'est un analyseur capable de détecter en continu et en temps réel des particules de 3 à 3000 nanomètres de diamètre.

L'échantillon entre dans le saturateur chauffé à 35° C où il est exposé à une vapeur de butanol. Le flux de particules et de vapeur passe ensuite à travers le condenseur à 10° C, où la vapeur de butanol condense sur toutes les particules. Ce phénomène augmente la taille initiale des particules. Ces gouttelettes de taille plus importante traversent ensuite un faisceau laser et chaque gouttelette diffuse de la lumière. Ces pics d'intensité de lumière diffusée sont comptés en continu et exprimés en particules/cm³/seconde.

Compteur triboélectrique

La triboélectricité s'appuie sur le fait que les particules ont une charge électrique. Un champ se crée qui peut être mesuré. Le signal est directement proportionnel à la concentration en particules. Cette méthode ne peut pas être retenue si le traitement des poussières est fait par système électrique (électro-filtre par exemple).

■ 7.4 Échantillonnage par des capteurs de poussières

Mesure du taux de poussières sédimentables

Les particules de diamètre supérieur à 15 microns ont une vitesse de chute importante. Elles sédimentent à des distances faibles de la source : ce sont les poussières sédimentables. On distingue les particules de 15 à 100 microns, qui ont une sédimentation lente, et les particules supérieures à 100 microns, qui ont une sédimentation rapide. Ces particules sont à l'origine du risque de pollution de l'environnement d'une carrière et donc de l'empoussièrément [Piédoue 1996].

L'échantillonnage des particules sédimentables peut être réalisé grâce à deux méthodes :

- la mise en place d'un réseau de plaquettes de dépôt ;
- la mise en place d'un réseau de collecteurs de précipitation.

Le réseau de plaquettes semble être la technique la plus largement répandue dans les exploitations, ce qui s'explique par sa facilité de mise en œuvre et son coût réduit.

Ces méthodes sont basées sur le principe de la quantification des particules récoltées par un capteur de surface connue, pendant une période déterminée. Les résultats sont exprimés en masse, par unité de surface et par unité de temps.

Elles répondent à la prescription de l'article 19 III de l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 concernant l'implantation d'un « réseau approprié de mesure de la retombée des poussières ».

L'arrêté préfectoral d'autorisation doit préciser le nombre et la localisation des capteurs à mettre en place.

Les plaquettes de dépôt

Principe

Le principe consiste en l'exposition de plaquettes métalliques minces, recouvertes d'un enduit approprié. Elles sont disposées horizontalement dans l'air ambiant. Les poussières véhiculées par l'air se déposent sur les plaques métalliques et adhèrent à l'enduit.

Les plaquettes de dépôt et leur méthode d'utilisation sont décrites dans la norme NF X 43-007 (décembre 2008) : Qualité de l'air - Air ambiant - Détermination de la masse des retombées atmosphériques sèches - Prélèvement sur plaquettes de dépôts - Préparation et traitement.

On doit en premier lieu définir deux critères :

- la ou les plaquettes de référence ;
- le nombre de plaquettes composant le réseau : le nombre de plaquettes varie généralement de 5 à 12. Ce nombre de plaquettes, constituant le réseau, est déterminé en fonction de la taille du site, de la sensibilité des environs et de la précision attendue.

Protocole de mesure

Le protocole de mesure est décrit par la norme NF X 43-007 (décembre 2008) à laquelle on se reportera.

Les plaquettes sont disposées généralement en périphérie du site. On les place dans des zones où circulent les particules émises par la carrière, à savoir sous les vents dominants, à proximité d'une activité émettrice de poussières, ou aux abords de zones sensibles (zone agricole ou viticole, habitations, secteur accueillant du public, zone naturelle...). Elles peuvent être installées dans un rayon allant jusqu'à 2 km autour du site. On pose parfois des plaquettes à l'intérieur du site lui-même pour contrôler un poste précis pouvant générer un empoussièrément particulier.

Après le temps d'exposition prévu, les plaquettes sont adressées à un laboratoire d'analyse.

Les plaquettes y sont lavées, le produit de lavage est filtré, le filtre est pesé.

La durée d'exposition

La norme précise (dans sa nouvelle version) : « Les mesures doivent être conduites sur une durée maximale de 1 mois ».

L'expression des résultats

La teneur moyenne en poussières p , exprimée en milligrammes par mètre carré et par jour est égale à :

$$P = \frac{m}{s} \times \frac{1}{t}$$

t : durée d'exposition de la plaquette en jours ;

m : masse en milligrammes des poussières recueillies ;

s : surface utile d'exposition de la plaquette en mètres carrés.

La possibilité de collecter des poussières est limitée par la surface de colle disponible : une quantité importante de poussières sature la plaquette et les nouvelles poussières ne peuvent plus adhérer au support. C'est pourquoi la norme NF X 43-007 demande d'adapter la durée d'exposition aux quantités de poussières.

La norme indique une incertitude de répétabilité élargie de 50 %.



Vue d'une plaquette de dépôt

Photo n° 15

Le collecteur de précipitations

Principe

Le principe de la méthode du collecteur de précipitations, encore appelé jauge Owen, ou sa variante jauge Hibernia, est de recueillir et de conserver les retombées liquides ou solides (poussières sédimentables) dans un récipient d'une capacité suffisante pour la durée du prélèvement. Elle est décrite dans la norme NF X 43-006 « Mesure des retombées par la méthode des collecteurs de précipitations ».

Un collecteur de précipitations est un récipient cylindrique, à fond plat, de 200 mm de diamètre intérieur et de 400 mm de hauteur.



Vues de collecteurs de précipitations

Photos n° 16 et 17 (source : ENCEM)

Protocole de mesure

Les collecteurs sont disposés en périphérie de site. La question de l'emplacement des points de mesure et du choix du point de référence reste, là aussi, essentielle.

Les modalités d'installation sont décrites par la norme à laquelle on se reportera.

En terrain découvert, le site doit être horizontal et l'objet le plus proche ne doit pas être à moins de 3 m du collecteur. En zone urbaine, un toit d'immeuble horizontal et plat, de hauteur moyenne pour la ville, doit être choisi. Dans les deux cas, le site de mesure doit être placé aussi loin que possible des sources spécifiques telles que cheminées, voies de circulation, arbres, ...

La durée d'exposition des collecteurs est de 30 jours \pm 2 jours. En fin de période, le contenu du collecteur est recueilli dans un flacon qui sera fermé hermétiquement et adressé à un laboratoire d'analyse.

Le traitement est réalisé par filtration, la masse récoltée est pesée. La fraction dissoute est déterminée par calcination et pesée du résidu. Les résultats sont exprimés en grammes de poussières déposées par mètre carré et par mois.

Remarque

Ce dispositif semble moins simple d'utilisation (le volume d'échantillon est beaucoup plus important). Les limites observées pour un réseau de collecteur de précipitations sont les mêmes que pour le réseau de plaquettes de dépôt.

Procès-verbal de mesure et interprétation

Une fois les résultats d'analyse connus, on établit le procès-verbal d'essai qui indique les résultats obtenus, exprimés en grammes par mètre carré et par mois. Il doit être obligatoirement complété par :

- les indications concernant le site (repère, numéro de la plaquette, ...) : un plan de repérage est indispensable ;
- la durée d'exposition ;
- les conditions d'exposition, tant géographiques que météorologiques ;
- la référence à la norme ;
- les événements ou incidents susceptibles d'avoir influencé les résultats (coup de vent, moissons, labours par temps sec, travaux, panne de machine...).

Les essais manifestement faussés seront éliminés et seront signalés dans le procès-verbal d'essai.

Remarques

Il n'existe pas aujourd'hui de seuil réglementaire concernant les poussières sédimentables (4). Seules les poussières en suspension font l'objet d'une réglementation européenne.

Une limite importante de ce dispositif vient du fait que la mesure des poussières sédimentables est quantitative et non qualitative. De ce fait, si un fort taux de poussières est détecté sur un récepteur, on ne peut pas a priori affirmer que ces poussières ont été émises par la seule carrière et, outre les autres sources voisines potentielles, on peut rappeler qu'il arrive que du sable saharien parcourt des milliers de kilomètres avant de sédimenter en Europe.

La prise en compte des résultats d'un récepteur témoin devrait permettre de préciser la part due à l'activité étudiée. Mais la forte variabilité des dépôts de poussières rend souvent l'interprétation délicate. Dans les cas conflictuels, on peut préconiser une analyse minéralogique des poussières récoltées. Cependant, les résultats obtenus par une telle analyse ne permettent pas de distinguer entre deux carrières s'intéressant à des gisements analogues.

Il reste qu'au niveau du récepteur on doit prendre en compte les effets cumulés des activités.

Si la variabilité des paramètres rend compréhensible l'absence de seuil réglementaire d'empoussièrement, la justification des mesures peut être remise en question même si leur coût reste modeste.

Toutefois, on perçoit l'intérêt des analyses des poussières sédimentables au bout de quelques années. Les différentes mesures effectuées permettent en effet d'apprécier l'évolution générale de l'empoussièrement généré par une exploitation. Il est alors possible de constater, en particulier au moyen de graphiques (moyenne / écart-type), les effets de la mise en place de dispositifs de limitation des poussières et de donner une estimation quantitative de leur impact sur l'empoussièrement général dû à la carrière.

Mesure du taux de poussières en suspension

Les particules dont le diamètre est inférieur à 20 microns peuvent rester en suspension dans l'atmosphère et être inhalées par l'homme : elles sont appelées poussières en suspension. [Piédoue 1996].

Les appareils de mesure doivent donc pomper une certaine quantité d'air.

(4) La norme allemande fixe à 350/mg/m²/jour les seuils d'une gêne potentielle importante. Le laboratoire d'analyse Ampadi LR considère que les niveaux de fond sont situés entre 0,09 et 3,6 g/m²/mois et que des niveaux de l'ordre de 15 g/m²/mois témoignent déjà d'une gêne potentielle importante selon le type d'environnement qui subit cet empoussièrement.

Le capteur atmosphérique de poussières - CAP

Le CAP repose sur le même principe que le capteur individuel de poussières (CIP 10) utilisé pour connaître l'exposition du personnel du site, mais il est adapté pour un temps de prélèvement de 8 jours et il fonctionne en poste fixe.

Il permet de déterminer la concentration des particules en suspension dans l'air ambiant par aspiration de l'air, selon la norme NFX 43-262 « Méthode de la coupelle rotative ». C'est une méthode de prélèvement d'aérosols solides ayant pour but de recueillir une quantité représentative du dépôt alvéolaire. Son domaine d'application est la mesure de l'exposition réelle des personnels, car cet appareil permet l'échantillonnage dans la zone respiratoire des personnes exposées.

Ce dispositif possède une coupelle, montée sur l'axe d'un moteur électrique, qui est mise en rotation. La mise en mouvement de la coupelle va conduire à :

- un effet ventilateur par entraînement de l'air qui est aspiré dans le trou central aménagé dans la mousse à cellules ouvertes qui garnit la coupelle ;
- un effet de collecte des particules en suspension dans l'air qui passent latéralement à travers la mousse avant d'être rejetées en périphérie.

Dans ce dispositif à coupelle rotative, l'aérosol ambiant est aspiré au niveau d'un orifice ou d'une fente. Il traverse un étage sélecteur dont le rôle est de retenir les grosses particules. Puis, il va pénétrer à l'intérieur de la coupelle garnie d'un substrat chargé de retenir les fines particules constituant le dépôt alvéolaire. L'air est ensuite rejeté par un orifice de refoulement tangentiel au niveau d'une paroi de l'appareil. Pour chaque taille particulaire, l'efficacité de collecte de l'appareil est sensiblement proportionnelle à la probabilité correspondante du dépôt alvéolaire chez un individu sain, respirant dans des conditions vésicatoires moyennes.

La coupelle contenant les particules collectées est ensuite traitée par gravimétrie, c'est-à-dire par pesée.

Le débit de l'appareil varie de 7 l/min (en version thoracique) à 10 l/min (en version inhalable). Il faut réaliser un témoin. Les résultats sont exprimés mg/m³ d'air aspiré.

Protocole expérimental : il est décrit par la norme NF X 43-262 à laquelle on se reportera.

L'armoire à prélèvement : HVS (High Volume Sampler)

Cet appareil, aussi appelé échantillonneur grand débit, est utilisé dans la détermination de la fraction thoracique (que l'on dénomme sous l'abréviation MP 10).

L'air est aspiré à l'aide d'une turbine (pouvant débiter jusqu'à 20 m³ par heure) au travers d'un filtre sur lequel se déposent les particules de poussières. La masse des particules est déterminée par gravimétrie (NF X 43-023) : pesée du filtre avant et après prélèvement. Il faut réaliser un témoin.

Les résultats sont exprimés en mg/m³ d'air aspiré.

Autre appareil

On peut également utiliser le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) pour l'échantillonnage des particules en suspension PM-10, PM-2,5. Cet appareil intègre des microbalances.

Jauge β

Principe

La mesure par la jauge β consiste à déterminer la concentration des matières en suspension dans l'air ambiant au moyen d'un appareil automatique, basé sur l'absorption des rayons β par la matière [Balon Blanchard, 1998].

Protocole de mesure

L'air ambiant est aspiré à débit constant (généralement 1,5 m³/h) au travers d'un filtre en fibre de verre pur sur lequel se déposent les particules de poussières prélevées. La concentration des matières particulaires est calculée par la mesure de l'absorption des rayons β par ces matières, en fonction du volume d'air aspiré. Le filtre se trouve entre un bloc émetteur des rayons β et un bloc récepteur. Cette méthode est décrite par la norme NF X 43-017 « Méthode par absorption de rayons β ».

Le seuil de détection de la méthode d'analyse par jauge β est de l'ordre de 15 à 30 μg/cm² en termes de masse surfacique, ce qui correspond, dans les conditions opératoires habituellement utilisées, à une concentration de l'ordre de 1 à 4 μg/m³ pour une durée de l'échantillonnage de 24 heures. Les particules filtrées peuvent avoir un diamètre inférieur à 10 μm.

Les résultats sont exprimés en mg/m³ d'air aspiré.



Néphélomètre en cours d'installation

Photo n° 18

Les néphélomètres

Le néphélomètre est un instrument qui mesure le coefficient de diffraction de la lumière due aux particules en suspension dans l'air. Il établit la relation entre cette mesure et le niveau de concentration en particules.

Ces instruments sont sensibles à des coefficients de diffusion d'aérosols inférieurs à $2,0 \times 10^{-7} \text{ m}^{-1}$. Cela représente deux fois la puissance de dix proposée par les appareils concurrents.

Les résultats

Mesure des témoins

Les opérations de pesée des échantillons ont pour objet de donner la masse totale des poussières captées au cours du prélèvement. Les supports d'échantillonnage mousse (CAP) et filtre (HVS, jauge β) étant sensibles à l'humidité de l'air ambiant, la détermination de la masse de poussières prélevées doit être effectuée en utilisant des supports d'échantillonnage de référence (témoins).

Détermination de la concentration en poussières

Quel que soit l'appareil de prélèvement, la détermination de la concentration pondérale de poussières est déterminée à partir :

- de la masse de poussières recueillies,
- du débit d'air de l'appareil de prélèvement, suivant la formule générale :

$$C \text{ en mg/m}^3 = (m_2 - m_1) / DT$$

dans laquelle :

- m_1 est la masse du filtre avant le prélèvement en mg
- m_2 est la masse du filtre après le prélèvement en mg
- D est le débit de prélèvement en m³/h
- T est le temps de prélèvement en heures.

Validation et présentation des résultats

La pratique des campagnes de mesures a montré que certains prélèvements peuvent être aberrants en raison d'une mauvaise utilisation des capteurs de poussières. Il y a donc lieu d'éliminer ces prélèvements aberrants et de les refaire.

On présente les résultats sous la forme d'un rapport d'essai ou d'analyse. Par exemple, ce rapport peut se présenter sous la forme de deux pages, l'une comportant les renseignements administratifs et techniques, l'autre présentant les résultats d'analyse.

Il restera à concevoir le rapport d'interprétation des résultats.

Figure n° 6 Exemple de tableau de rapport d'analyse

Laboratoire :	
Tél. :	
Fax :	
Rapport d'analyse N°	
Société :	
Adresse :	
N° de fax :	
Destinataire :	
N° de la demande :	
Date de réception :	
Description :	
Analyses demandées :	
Observations sur les prélèvements :	
A _____, le _____ Signataire,	
Le laboratoire n'est pas responsable de la représentativité d'un échantillon dont il n'a pas assuré le prélèvement.	

RAPPORT D'ANALYSE N° - RESULTATS				
Lieu de prélèvement :				
Période de prélèvement :				
Détermination de la concentration en poussières alvéolaires selon la norme NF X				
Détermination du taux de quartz selon la norme NF X				
Echantillon n°	Fonction ou aire	Concentration en mg/m ³	Taux de quartz	Observation
Tout échantillon est détruit lors de l'analyse				

■ 7.5 Émissions canalisées

Les mesures sur rejets canalisés visent à répondre aux exigences de l'arrêté du 22 septembre 1994 lorsque les installations de traitement sont dotées de rejets canalisés.

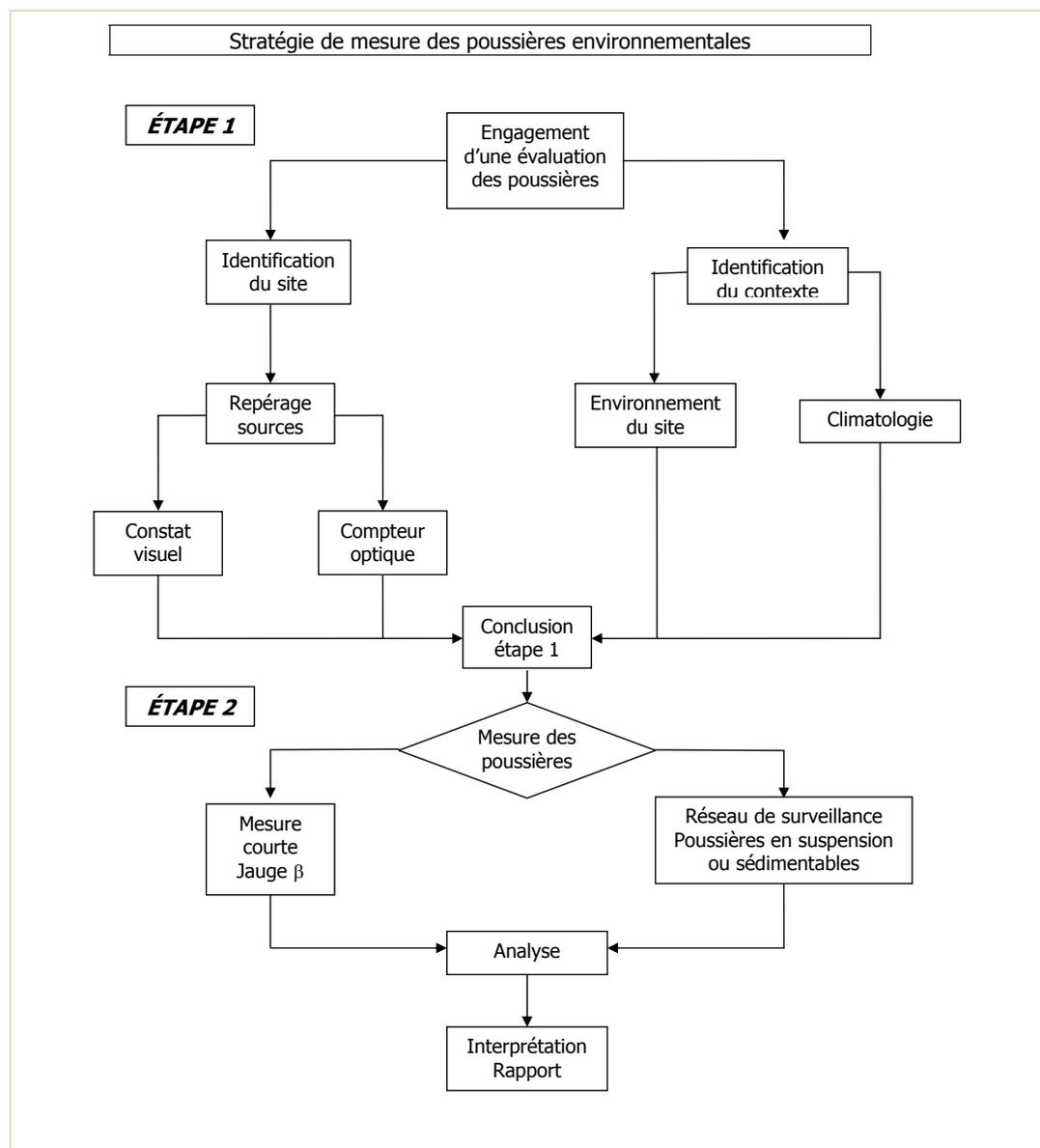
Les mesures doivent être isocinétiques : il faut donc connaître le débit rejeté. La mesure est faite en différents points de la canalisation de rejet, à l'aide d'un tube de Pitot.

Les particules sont prélevées au sein du flux par aspiration à travers une buse en faisant en sorte que le débit d'aspiration soit égal au débit mesuré préalablement.

Les particules sont recueillies sur un filtre qui sera pesé.

La masse des particules obtenues est ramenée aux conditions normales de température et de pression et exprimée en mg/Nm^3 .

■ 7.6 Résumé des procédures pour la mesure de l'empoussièrement



Mesure des particules sédimentables

ÉTAPE 1 :

- Choisir les lieux où l'on va implanter les plaquettes de dépôt ou les collecteurs de précipitations (voir recommandations dans les normes NF X 43-006 et NF X 43-007).

ÉTAPE 2 :

- Mettre en place le réseau de plaquettes ou de collecteurs.

ÉTAPE 3 :

- Mesurer la teneur moyenne en poussières pour les différents points de prélèvement.

Figure n° 7

Particules sédimentables		
Nom de la méthode	Plaquette de dépôt	Collecteur de précipitations
Norme	NF X 43-007	NF X 43-006
Durée de mesure	1 mois maximum	30 jours
Appréciation technique	<p>Technique la plus simple, la plus rudimentaire.</p> <p>Les très fines particules se déposent difficilement sur les plaquettes (temps de sédimentation trop long).</p> <p>Les grosses particules se fixent facilement (elles sédimentent rapidement), ce qui a une incidence sur la valeur pondérale de l'échantillon.</p> <p>Utilisation hebdomadaire et bimensuelle, mais non mensuelle, des plaquettes.</p>	<p>Principe simple et facile à mettre en œuvre.</p> <p>Mal adapté à une surveillance en continu sur un site en présence de forte concentration de poussières.</p>
Difficultés	<p>Problème de lessivage des plaquettes, par forte pluie, qui fausse les résultats.</p> <p>Assèchement au cours du temps.</p> <p>Distribution hétérogène.</p>	<p>Développé pour pallier les défauts des plaquettes de dépôt, (lessivage par la pluie). Une période de sécheresse conduit à sous-estimer les résultats.</p>
	Ne montrent pas le lien entre activité et poussières car la courbe est lissée par des facteurs extérieurs.	
Unité des résultats	g/m ² /mois	g/m ² /mois

Mesure des particules en suspension

ÉTAPE 1 : MESURES PONCTUELLES

- Recherche des sources d'émission grâce aux compteurs optiques de Hund ou de Grimm.

ÉTAPE 2 : ANALYSE QUANTITATIVE

- Mesure de l'empoussièrement par les différents appareils de prélèvement (en mg/m³ d'air filtré) en poste fixe.

Figure n° 8

Particules en suspension		
HVS	CAP	Jauge β
Pr EN 12341	NF X 43 262	NF X 43 017
Couramment utilisé dans les réseaux de surveillance, surtout aux États-Unis. Il semblerait qu'il présente une bonne corrélation avec le CAP.	Principe de prélèvement par aspiration. Entraîne une collecte de particules très fines et, grâce à la géométrie de sa tête de prélèvement, sélectionne les particules inférieures à 100 μm.	Méthode employée dans les réseaux de surveillance pour suivre la pollution particulaire dans les centres urbains. Dans l'industrie extractive, son utilisation doit rester limitée à une approche d'expertise, lors d'ouverture ou d'extension de site, ou dans l'analyse fine d'un problème.
	Granulométrie unimodale. Bonne reproductibilité.	Celle qui permet de mieux visualiser l'impact des poussières sur l'exploitation.
Les débits importants des appareils entraînent des colmatages rapides des membranes et au final provoquent une usure prématurée des moteurs.	Il faut intégrer une programmation pour permettre une plus large utilisation de la technique.	Coût élevé, entretien délicat. Il est difficile d'installer en permanence plusieurs jauges β sur une exploitation extractive.
Problème avec la durée des prélèvements.	Ne montre pas le lien entre activité et poussières car la courbe d'émission est lissée par des facteurs extérieurs.	Mesure en continu : fournit des informations en temps réel sur les niveaux de concentration. Montre le lien entre activité et poussières.
Mesure sur 24 h	Mesure sur 7 jours	Mesure en continu
mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³

Remarque

Nous n'avons pas présenté les méthodes prévisionnelles d'estimation des poussières émises qui peuvent être conduites avant la mise en exploitation d'un site.

À ce jour, ces méthodes ne sont pas totalement satisfaisantes. Elles donnent un chiffre qui doit être accompagné de l'incertitude liée à l'analyse physique et mathématique des phénomènes en jeu.

Les méthodes sont intéressantes pour comparer différentes variantes d'un projet en termes d'implantation mais sont insuffisantes pour juger dans le détail de l'efficacité d'un équipement particulier.

7.7. Conclusions

La propagation des poussières d'une carrière est complexe. D'une part, les sources sont multiples : certaines sont permanentes, d'autres ponctuelles ; certaines sont fixes, d'autres mobiles. D'autre part, la dispersion des poussières à l'extérieur de la carrière est éminemment liée aux vents qui sont très variables dans l'espace et dans le temps.

Notons que d'autres sources de poussières peuvent se trouver au voisinage de la carrière. Il pourra être délicat d'attribuer les résultats à l'une ou l'autre des sources.

Deux types de mesures sont possibles :

- la mesure des retombées de poussières, ce qui quantifie les dépôts de poussière ;
- la mesure des poussières contenues dans l'air atmosphérique.

Il n'existe pas aujourd'hui de protocole unique. Aussi, le choix d'un type de mesure doit être réfléchi et argumenté.

La grande variabilité de l'activité d'un site conduit à pratiquer les mesures sur des périodes longues (de 8 à 30 jours).

La difficulté de mesure repose également sur la nécessité de positionner des appareils à l'extérieur du site sur une période longue ; les risques de déprédations sont importants.

Au-delà des chiffres délivrés par les appareils de mesure, il conviendra de les interpréter. Pour cela, il faut noter précisément quel aura été le fonctionnement du site pendant la mesure (localisation de l'extraction, durée de fonctionnement, activité des systèmes de dépoussiérage...) mais aussi quelles ont été les conditions météorologiques et l'activité des environs.

Les conditions présentes durant la mesure sont très variables. Aussi, les mesures de poussières sont difficilement reproductibles. Les résultats devront être interprétés en relativisant les résultats des différents points de mesures entre eux ou en comparant les résultats de plusieurs années pour rechercher une évolution.

Notons que les contrôles réglementaires dans le milieu récepteur se limitent aux seules carrières de roche massive de plus de 150 000 t de production annuelle, sans qu'un seuil à respecter ait été défini.

Les installations de traitement équipées de systèmes de rejets canalisés sont peu nombreuses. Il s'agit presque exclusivement de sites de production de matériaux industriels. Les textes imposent un contrôle avec un seuil de rejet.

Lorsque les installations sont équipées de systèmes d'aspiration ponctuelle, les mesures de poussière ne sont en général pas exigées, les taux de poussières émises restent très modérés.

Les différentes mesures pratiquées vont permettre de localiser les zones émettrices de poussières, de les hiérarchiser et de les traiter à l'aide des moyens décrits dans les chapitres qui suivent.

Partie II

La lutte contre les poussières



- > *Prise en compte des conditions météorologiques*
- > *Les dispositifs techniques*

8. Prises en compte des conditions météorologiques

Pour lutter contre l'empoussièrement, l'entreprise dispose de plusieurs types de mesures :

- les mesures de lutte à la source. Ces mesures peuvent être passives ou actives ;
- les mesures de lutte contre la propagation des poussières émises.

Le choix du site et l'implantation des sources dans le site interviennent dans la sensibilité aux émissions de poussières tandis que des écrans peuvent être mis en place.

■ 8.1 Mesures limitant les impacts des conditions météorologiques

Les deux paramètres importants en matière d'envol de poussières sont les vents et l'hygrométrie. Une bonne protection se basera sur une bonne connaissance de l'exposition par rapport aux vents et sur l'humidité (précipitations, brouillards...).

Mesures limitant l'impact du vent

Le vecteur des poussières dans l'environnement est en majorité le vent. Aussi, pour protéger l'activité de l'action du vent, il faut soit soustraire les activités sensibles par la mise en place d'écrans, soit éviter de pratiquer les activités sensibles en période de vent fort.

Les mesures possibles sont les suivantes :

- réaliser certaines opérations (décapage de la découverte, terrassements, etc.) les jours sans vent et/ou en choisissant des périodes humides de l'année. Il s'agit des activités ponctuelles qui seront programmées après analyses des statistiques météorologiques, ou qui seront reportées si les conditions météorologiques sont trop défavorables ;
- limiter les surfaces ouvertes sur lesquelles le vent peut agir. Le décapage est phasé en fonction des besoins annuels, la remise en état est conduite de façon coordonnée. Il pourra être envisagé de réaliser une végétalisation provisoire afin de soustraire une surface à l'érosion éolienne (cas d'un projet d'implantation d'une zone d'activité artisanale sur un site de carrière) ;
- édifier des écrans, sous forme de merlons, et planter des arbres en périphérie du site permettent de freiner l'action du vent sur le site. L'efficacité est bien entendu fonction de la position des écrans par rapport aux sources, un écran n'étant efficace que s'il est proche de la source. Il peut s'avérer nécessaire de créer de nouveaux écrans lorsque l'exploitation progresse ou lorsque les écrans naturels se trouvent soumis à l'extraction. La morphologie des aménagements doit être étudiée avec précision pour éviter le renforcement local de la nuisance par effet Venturi. Les merlons restent peu efficaces pour les poussières les plus fines formant des aérosols.

Les plantations d'arbres sont plus ou moins efficaces. Placées en amont, elles limitent l'action des vents sur le site. En aval, elles piègent une partie des poussières entraînées par les vents. Le choix des essences plantées est important. S'il semble préférable d'utiliser des plantes à feuillage persistant, il faut s'interroger sur l'adaptation de la plante au milieu d'accueil (nature du sol, eau et nutriments dans les terrains supports). Dans un souci d'insertion paysagère, il est recommandé de choisir les espèces en fonction de la palette de plantes présentes dans les environs. Les haies mono-spécifiques seront évitées.

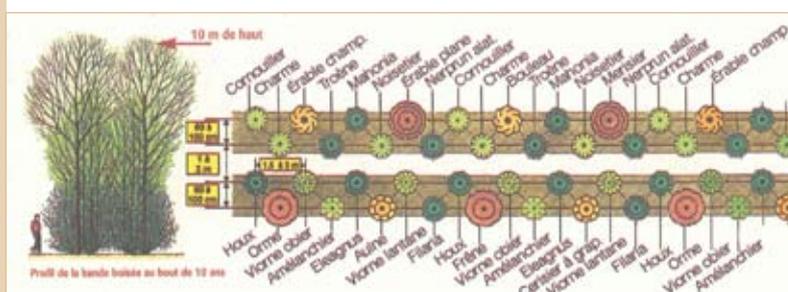


Schéma de constitution d'une haie

Figure 9

Le schéma ci-après, tiré du document : « Des haies pour l'Isère », montre un exemple de haie boisée qu'il faudra adapter aux conditions locales.

Les précipitations : une limite naturelle à l'émission des poussières

La fréquence des épisodes pluvieux est une limite naturelle à la diffusion et à la remobilisation des poussières. Les précipitations humidifient le matériau et font tomber les poussières dispersées dans l'atmosphère aux alentours de l'exploitation. Il se produit une diminution de 50 % environ des émissions de poussières entre l'été et l'hiver.

La présence de brouillard atmosphérique, avec des gouttelettes d'eau très fines (entre 1 et 40 microns), constitue un abattage naturel efficace des particules fines. Une pluie légère et durable élimine plus de poussières qu'une averse orageuse.

L'humidité naturelle des fronts de taille (hygrométrie des fronts de taille et des fronts d'approfondissement du fait du ruissellement) réduit la mobilisation des poussières.

L'humidification permanente de certains sols en hiver évite aux poussières fines d'être remises en suspension sous l'action du vent ou des passages de véhicules [CRAMAM, 1985]. Les précipitations diminuent considérablement le taux de grosses poussières.

Le lessivage par l'eau, suivi d'un séchage par évaporation (accumulation au point bas ou dans un bassin de décantation), confère aux poussières une cohésion qui, si elle n'est pas détruite mécaniquement par le passage des engins, empêche toute nouvelle remise en suspension par le vent. Dans le cas contraire, les boues en séchant deviennent une source de poussières.

■ 8.2 Dispositions sur le site

Le positionnement des pistes ou des convoyeurs doit être réfléchi en termes d'exposition aux envols de poussières. Le décaissement de l'emprise des pistes et de l'assise des convoyeurs peut être une solution efficace pour soustraire les voiries internes à l'action des vents.

Le choix de l'implantation topographique de l'installation de traitement doit intégrer la problématique des poussières. La situation retenue devrait être décidée en fonction des vents dominants :

- disposition encaissée de l'installation de traitement pour réduire l'influence des vents et la propagation des poussières en dehors du site ;
- installation semi-enterrée en fosse pour les concasseurs ;
- implantation des broyeurs à barres à l'écart de l'installation principale et sous le vent de cette installation.

L'implantation doit également être étudiée en fonction des milieux sensibles identifiés : positionner les postes les plus producteurs de poussières en tenant compte de la direction des vents dominants.

Le piégeage des poussières peut être obtenu par l'exploitation judicieuse de la topographie résultant de la progression des travaux. Une réflexion sur le plan de l'exploitation peut s'avérer efficace. Ces dispositions particulières peuvent être un front d'exploitation servant d'écran, un front d'exploitation en cercle, un talus naturel ou artificiel (découverte), planté de préférence, ou bien encore des stocks de matériaux (grossiers) qui peuvent être utilisés comme écran aux vents.

9. Les dispositifs de lutte contre les émissions de poussières

■ 9.1. Les dispositifs passifs

Ces différents dispositifs visent à confiner les poussières, à les enfermer. Le confinement d'une installation peut être complet (installation dans un bâtiment fermé), ou partiel (traitement de quelques points par le capotage d'éléments particuliers, le bardage d'une machine).

D'une manière générale, ces dispositifs enferment les poussières dans une enceinte. La concentration des poussières à l'intérieur est élevée ; elle peut constituer un agent accélérant l'usure des matériels. Les interventions des salariés dans une enceinte confinée doivent se faire dans des conditions les préservant des atteintes des poussières.

> Voir le « Guide de l'exploitant – Empoussiérement » de la SIM qui présente des solutions techniques complémentaires à celles indiquées dans les chapitres suivants.

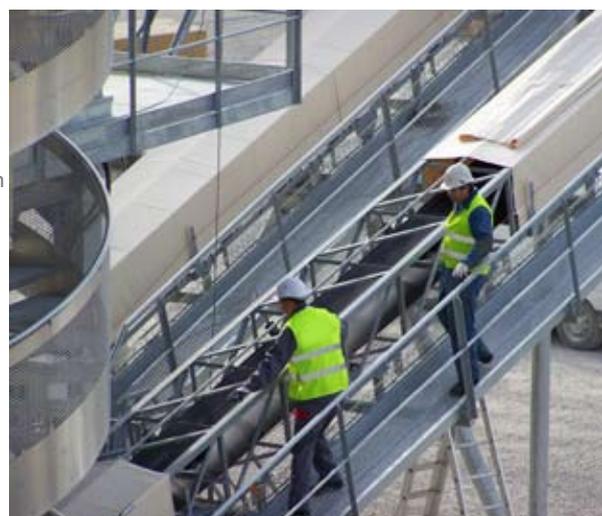
Le capotage et le bâchage des appareils

Le capotage de certains appareils est un mode de confinement qui permet d'éviter les émissions de poussières. Le capotage consiste à recouvrir un appareil, ou le point émetteur de poussières de l'appareil, par un capot pour limiter la dispersion des poussières dans l'air ambiant. Le capotage peut consister à enfermer les lieux où des poussières sont produites ou à enfermer des pièces en mouvement afin d'éviter de brasser de l'air empoussiéré.



Crible avec capotage

Photo n° 20



Bâchage d'un convoyeur

Photo n° 19

Le bâchage s'effectue en recouvrant d'une toile les installations, comme les cribles par exemple.

Avantages

Les capots et bâches ne nécessitent que peu d'entretien et constituent des dispositifs légers et peu coûteux. Ils sont adaptés à un point précis.

Ils permettent également d'assurer la sécurité des pièces en mouvement ou des points de chute des matériaux.

Inconvénients

En premier lieu, les capotages limitent l'accessibilité aux machines et doivent être conçus pour ne pas remettre en cause l'ergonomie.

Les systèmes de capotage ou de bâchage ne sont pas toujours très étanches ou, s'ils le sont initialement, les vibrations des appareils ont tendance à diminuer leur efficacité. Il importe de mettre en place des éléments assurant une solution de continuité entre les appareils et les capots. Ces éléments doivent prendre en compte, dans leur conception, les vibrations des appareils.

Les bâches choisies doivent être résistantes aux UV pour éviter une dégradation prématurée des protections.

Recommandations

Les pièces tournantes, les poulies de moteur et les courroies de transmission des concasseurs doivent être capotées intégralement pour limiter les mouvements d'air.

Pour traiter les poussières dans le capotage, on pourra le mettre en dépression et le relier à un circuit de dépoussiérage (voir 5.2).

Il est nécessaire de réduire au maximum les ouvertures dans les capotages des appareils (goulottes d'alimentation et de déchargement, passage de l'arbre de transmission entre les moteurs électriques, pont d'entraînement...).

Applications pour les différentes installations de traitement

Le transport par convoyeur et le chargement

À l'alimentation : mettre un capot le plus hermétique possible au niveau de la chute des matériaux sur le tapis et limiter la hauteur de chute des matériaux depuis les engins d'alimentation.

Le long du convoyeur : mettre en place le capotage ou un simple bâchage de toutes les bandes. Si les bandes transporteuses subissent des modifications fréquentes dans leur implantation, il est préférable d'utiliser des capotages sous forme de toile enduite, maintenus par des arceaux métalliques, et fixés sur le bâti du chemin de roulement par des tendeurs. Les capotages rigides en tôle zinguée seront plutôt réservés aux convoyeurs fixes.



Convoyeur à bande capoté

Photos n° 21 et 22

Aux points de transfert et à la jetée du convoyeur pour l'alimentation d'une machine, il faut un coffrage aussi étanche que possible.

Pour le chargement de wagons : mettre en place un système avec un tapis capoté.

Pour le chargement dans les bennes des véhicules à partir d'une trémie, on peut prolonger l'orifice de déchargement de la trémie par une manche en caoutchouc ou en toile de jute éventuellement humidifiée. Toutefois, ce système est généralement peu efficace lorsque la hauteur de manche est fixe, car il y a encore une chute des matériaux dans l'espace soumis aux vents.

Des systèmes télescopiques permettent de protéger la chute jusqu'au fond de benne, mais leur usage reste délicat. Des systèmes sont à l'étude. Ils comprennent l'asservissement du chargement du poids lourd à sa position sous la trémie. La masse de l'équipement conduit à disposer de structures adaptées.

Le stockage : pour la constitution des stocks en plein air, la chute peut être protégée des vents par la mise en place de protections en bande de caoutchouc ou en chaussette.

Il existe un dispositif permettant de limiter la prise au vent des matériaux lors de leur chute : c'est la tour à sable. Le tapis déverse les matériaux dans une tour (diamètre de 1000 à 1500 mm) présentant des ouvertures disposées selon une ligne hélicoïdale munies de clapets en caoutchouc. Le sable s'écoule par le clapet le plus proche du sommet du stock sans présenter de prise au vent.



Protection de chute par bandes caoutchoutées
Photo n° 23



Tours à sable
Photo n° 24

Pour les **stocks de sables les plus fins**, on réalise un confinement à l'intérieur d'un hangar ou, mieux, le stockage est réalisé en silo.

Pour le **stockage des matériaux en trémie**, on peut éventuellement placer un capotage au sommet, si la nature du matériau stocké le justifie.

Le bardage des installations

Le bardage est la protection d'une machine, d'un appareil par des panneaux (plastique, métal ou composite). Ces panneaux sont posés à recouvrement et servent à enfermer la machine concernée. En fait, il s'agit d'un confinement souvent incomplet des machines car limité à une protection par rapport aux vents dominants, et donc généralement latéral et sommital.

Inconvénients

Le confinement sous forme d'un bardage d'un groupe de machines pose le problème des conditions de travail des personnels amenés à intervenir à l'intérieur du bardage.

Le bardage réduit l'accessibilité aux machines.

La conception d'une installation bardée conduit à rechercher la compacité réduisant les possibilités d'évolution. Les unités sont souvent conçues avec un développement vertical, ce qui donne des bâtiments élevés qui marquent le paysage. Le choix des teintes retenues pour le bardage peut être important pour une bonne maîtrise de l'impact visuel.

Recommandations

En termes de construction, l'ajout de bardages augmente la masse. L'exposition aux vents devient plus importante, tout particulièrement pour les bardages situés en hauteur. C'est pourquoi il convient de s'assurer que les structures sont suffisantes pour supporter les équipements projetés.

La stricte étanchéité de ce système est un élément indispensable pour en assurer l'efficacité. Cette étanchéité passe aussi par la fermeture des portes lorsqu'il en existe dans le bardage. L'utilisation de ces panneaux peut également permettre une protection contre le bruit : doublage des bardages à l'aide d'isolants acoustiques.

Applications en installations de traitement

Le traitement des matériaux

Généralement, ce sont des appareils en batteries (concasseurs) qui peuvent être bardés, mais un bon capotage est souvent préféré.

Le stockage

On place dans cette catégorie les silos et trémies. Les trémies sont fréquemment ouvertes au sommet. Un bardage peut être ajouté pour éviter les envols liés au vent. Il englobera alors la tête du convoyeur d'alimentation.

En ce qui concerne les silos, le remplissage conduit à devoir évacuer de l'air chargé en fines. L'air doit donc être dépoussiéré. On équipe alors les événements de filtres à manches.

Le confinement en bâtiment

Le confinement des installations de traitement évite la dispersion des poussières vers l'extérieur. Il est assuré en plaçant les installations à l'intérieur d'un bâtiment pour être ainsi dans un milieu fermé, au sein duquel les poussières sédimenteront sans venir polluer l'air extérieur.

Toutes les entrées et sorties doivent être traitées pour éviter les circulations d'air.



Installation totalement capotée

Photo n° 25

Avantages

Le confinement en bâtiment a pour avantage de soustraire l'unité aux agents extérieurs (vent, pluie). Un bâtiment bien conçu permet une exploitation industrielle des installations. En complément, le bâtiment apporte une amélioration de l'image perçue de l'activité (exploitation industrielle).

Inconvénients

Si le bâtiment évite la propagation des poussières vers l'extérieur, il les concentre à l'intérieur et les conditions de travail à l'intérieur deviennent vite inacceptables. Un traitement des poussières à l'intérieur est alors nécessaire.

Les bâtiments doivent être adaptés pour permettre la conduite des opérations de maintenance des appareils, voire leur remplacement.

Ce type d'aménagement nécessite généralement l'obtention d'un permis de construire.

Recommandations

L'aménagement d'un bâtiment, souvent de grande taille, doit être étudié précisément. L'impact visuel du bâtiment pouvant être pénalisant, une réflexion sur les teintes du bâtiment par rapport à l'environnement est souhaitable.

Une réflexion doit être menée sur la nécessité d'intégrer une isolation phonique. La masse de ces équipements doit être prise en compte dans le dimensionnement des structures porteuses.

Le bâchage des poids lourds

Les véhicules qui évacuent les matériaux sont des sources de nuisances potentielles par les poussières. Il est donc recommandé de bâcher les bennes qui transportent des matériaux fins

Le bâchage effectué de façon manuelle laisse progressivement place à des systèmes mécaniques, voire motorisés. Certains véhicules sont équipés pour benner sans débâcher.

Notons que les produits les plus fins sont communément transportés en citerne.

Avantages

Les bâches sont efficaces, quelle que soit la distance parcourue lors du transport.

Il a été démontré que les véhicules bâchés sont plus aérodynamiques et, de ce fait, consomment moins d'énergie que les bennes ouvertes (chargées ou vides).

Inconvénients

En premier lieu, le bâchage par système manuel est peu pratique et nécessite la présence d'un quai de bâchage. La mise en place induit une perte de temps importante.

Remarques

Si, dans certains pays, le bâchage systématique des transports de matériaux fins est obligatoire, ce n'est pas le cas en France.

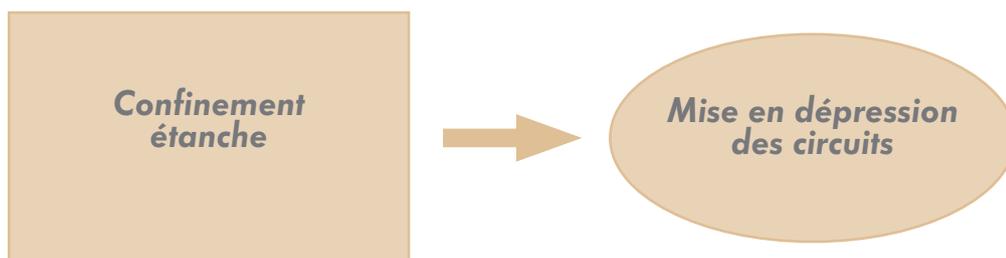
Néanmoins, des réflexions dans ce sens sont en cours. Des arrêtés préfectoraux visant l'ensemble des transports de matériaux fins pourraient être pris, en particulier dans les départements où la nuisance est manifeste.

Dans certains départements, les arrêtés d'autorisation d'exploiter imposent systématiquement le bâchage des transports de produits fins.

■ 9.2. Les dispositifs mécaniques

Une fois le confinement réalisé, une mise en dépression des circuits peut être réalisée pour récupérer les fines émises dans l'espace confiné.

Figure 10 Principe de traitement des poussières



Bâchage d'une benne

Photo n° 26

La captation et la filtration

Principes

Des études ont été effectuées sur les systèmes de captation par Campanac et Petitprez (voir bibliographie). En voici les principes généraux.

Un **système de captation** est une installation de dépolluage par aspiration qui comporte généralement 3 parties distinctes :

1. une captation des poussières de l'air ;
2. un transport de l'air poussiéreux par un réseau d'aspiration ;
3. la séparation des poussières captées par un système de filtration.

1 - La captation des poussières de l'air

L'air poussiéreux est capté par une hotte ou par un coffrage enveloppant au maximum la source émettrice. Puis l'installation est mise en dépression de façon à ce que la vitesse de l'air pénétrant dans ses ouvertures soit suffisante pour empêcher la sortie des fumées et des poussières. L'air est ensuite transporté par un réseau de tuyauteries jusqu'à un séparateur qui extrait les poussières de l'air.

On peut diviser cette captation des poussières en deux techniques : le dépolluage centralisé et le dépolluage par points.



Aspiration centralisée

Photo n° 27

Le dépolluage centralisé : c'est une centralisation des différents débits d'aspiration provenant de chaque point de captation vers un filtre collecteur. Les envois de poussières sont limités par le confinement dans le bâtiment. Pour le nettoyage de l'installation, des flexibles de nettoyage sont branchés à des prises de raccordement reliées à un réseau de canalisations fixes et mis en dépression. Les poussières et les éléments aspirés sont, après transport dans les tuyauteries, séparés dans un dépollueur qui rassemble les différents débits d'aspiration provenant de chaque point de captation jusqu'à un filtre collecteur.

Le dépolluage point par point : il reprend les principes de base du dépolluage centralisé, mais ce système traite à la source, ponctuellement, chaque débit d'air poussiéreux. Le transport des poussières dans les tuyauteries est donc réduit au plus court.

L'association du dispositif de captage à celui de la captation empêche toute dispersion dans le milieu environnant des particules à partir de leur point d'émission. On peut relier ces deux dispositifs selon deux procédés :

- le captage par îlot. Chaque appareil est enfermé dans un caisson étanche et l'air poussiéreux est ensuite aspiré. Cela nécessite une puissance relativement réduite. Mais ce procédé demande du soin dans la confection des caissons, ce qui n'est pas toujours compatible avec une surveillance correcte des appareils. Les organes mécaniques de ces appareils ne sont d'ailleurs pas protégés de la poussière ;



Dépollueur localisé, ici, en sortie de concasseur

Photo n° 28

- le captage par poste (ou par point). C'est le procédé le plus couramment employé. Le capotage est localisé dans la zone à protéger. Seule la zone émettrice de poussières est enfermée dans une enceinte, et non l'appareil dans son ensemble comme pour le captage par îlots. Il faut donc créer une dépression à proximité immédiate de ces points d'émission. On réalise cette dépression généralement grâce à une hotte. Les entrées d'air à la périphérie de la hotte restent importantes. En effet, ce système ne fournissant pas une étanchéité parfaite, le débit d'aspiration est élevé. La position, le dimensionnement et la forme des hottes d'aspiration sont des facteurs primordiaux pour assurer l'efficacité du dispositif.

Ce procédé est utilisé lorsqu'il est impossible d'exécuter un capotage de l'ensemble de l'appareil, ou lorsque la présence de celui-ci compliquerait la bonne marche ou l'entretien de l'installation. Les avantages de ce procédé sont la facilité d'exécution, le faible encombrement, l'efficacité et la gêne minimum.

Recommandations

- Pour la conception de la hotte, il faut déterminer la vitesse de captation des poussières, généralement comprise entre 50 cm/s et quelques m/s. On déduit ensuite le débit d'air à aspirer dans le coffrage pour créer la vitesse d'air désirée au point de captage de la poussière.
- La vitesse d'entraînement des particules de poussières du système de captage devra être de l'ordre de 20 m/s dans les conduites d'aspiration. Les vitesses appliquées seront d'autant plus importantes que les particules seront de grandes dimensions et de masse élevée.
- Rendre le capotage le plus étanche possible en choisissant une forme de hotte très enveloppante. Cela influe sur le volume d'air à traiter, donc sur le coût de l'installation.
- Rapprocher au maximum le caisson de la source de dégagement des poussières.
- L'ouverture de la hotte doit être importante, afin de diminuer la vitesse de l'air à la section de raccordement avec le capotage (2 m/s au maximum).
- La zone de raccordement avec la tuyauterie de transport doit se rétrécir progressivement (angle de 45° minimum).

Le choix entre une aspiration centralisée et une aspiration point par point se fait selon le nombre de points à traiter et les coûts d'implantation. Le système à mettre en place est également fonction de la nature du matériau traité. En présence de matériaux abrasifs (haute teneur en silice), les tuyauteries doivent être blindées ou changées fréquemment, ce qui peut rendre excessif le montant d'une aspiration centralisée.

2 - Le transport de l'air poussiéreux par un réseau d'aspiration

Ce réseau est plus ou moins long et assure la liaison entre les hottes de captation et le dépoussiéreur et entre le dépoussiéreur et l'atmosphère. La conception du réseau est d'une grande importance pour l'efficacité de l'installation : une erreur de conception peut rendre le système inutilisable. Elle prend en compte l'implantation du réseau, le dimensionnement des tuyauteries et leur exécution, ainsi que le calcul des pertes de charge du réseau.

L'implantation d'un réseau de captation est soumise à trois impératifs :

- la position des points d'aspiration ;
- la position du dépoussiéreur ;
- la configuration du bâtiment.

Il faut déterminer le parcours optimal qui conduira à un minimum de consommation en termes de puissance, tout en étant facile à exploiter, à savoir un collecteur principal et des collecteurs secondaires qui sont reliés par des branchements aux diverses hottes d'aspiration. Il faut également que le circuit soit le plus symétrique possible et de longueur minimale.

Le dimensionnement des tuyauteries dépend du débit d'air à véhiculer et de la vitesse de l'air. Si cette dernière est trop rapide, il y a usure par abrasion des tuyauteries ; si elle est trop lente, les tuyaux peuvent se colmater. Lors de la mise en place des tuyauteries, des règles d'aérodynamique doivent être respectées :

- les changements de direction de l'écoulement doivent se faire selon des angles obtus ; il faut éviter les gaines de section rectangulaire ;
- la vitesse doit être maintenue à sa valeur optimale dans toutes les portions du circuit.

Le calcul des pertes de charge se fait dans le sens normal de circulation de l'air. L'air est capté par les hottes d'aspiration. Il remonte vers le dépoussiéreur, le ventilateur puis l'atmosphère. Chaque section de tuyauterie est décomposée et, pour chaque élément, on calcule la perte de charge, puis la perte de charge du réseau complet.

3 - La séparation des poussières captées par le système de filtration

Elle peut être réalisée par :

- **Filtration mécanique** (cyclones, appareils séparateurs en voie sèche à l'amont de l'aspiration). Les appareils à filtration mécanique sont très utilisés comme pré-dépoussiéreur pour récupérer des poussières que l'on peut valoriser dans l'industrie des engrais par exemple. Mais ils conviennent rarement seuls pour résoudre les problèmes actuels du dépoussiérage, car ils sont inopérants sur la tranche la plus fine des poussières (inférieure à 1 micron) et peu efficaces en-dessous de 10 microns. On trouve les appareils suivants basés sur ce principe :
 - les **cyclones** : ce sont des réservoirs cylindro-coniques en tôle, avec une arrivée tangentielle de l'air empoussiéré. Le rendement de la captation varie en fonction du diamètre des particules. En effet, l'efficacité des cyclones augmente avec la réduction de leur diamètre. L'avantage de ces appareils est l'absence totale d'entretien ;
 - les **cyclones à axe horizontal** : même principe que les cyclones simples mais, pour une efficacité comparable et un encombrement égal, le débit d'air traité est ici plus élevé ;
 - les **multicyclones** : il s'agit d'une batterie de plusieurs cônes en parallèle, disposés à l'intérieur d'une enceinte mise en dépression. Chacun des cônes est découpé en lames de persienne. L'air poussiéreux pénètre dans le cône par sa base (située à la partie supérieure), vient buter sur les lames de persienne selon un angle très faible et y dépose une fraction de ses poussières. Les particules les plus grosses ainsi captées par les lames tombent ensuite par gravité à la pointe du cône où elles sont recueillies.

On trouve aujourd'hui des « **cyclofiltres** », appareil combinant l'action d'un cyclone (séparation des gros éléments) et d'un filtre à manche (pour la retenue des poussières fines).

Les aspirateurs - dépoussiéreur en voie sèche - Ce sont des aspirateurs à turbine centrifuge qui aspirent l'air poussiéreux. La poussière vient d'abord se coller sur les pales de la turbine et glisse le long de celles-ci par la force centrifuge pour être ensuite évacuée vers le bas de l'appareil. La grande vitesse atteinte par les particules le long des pales est génératrice d'usure. L'usage de ces appareils est donc réduit aux cas où les poussières sont faiblement abrasives.

- **Filtration hydraulique** (appareils séparateurs en voie humide). Ce type de filtration repose sur le principe suivant : faire pénétrer la particule de poussière dans une goutte d'eau appartenant à un film liquide. Ces dispositifs sont utilisés pour des particules fines inférieures à 40 microns. Leur efficacité est généralement d'autant meilleure que la taille et la masse volumique des poussières sont grandes. Ces appareils sont peu coûteux et de faible encombrement. Ils éliminent les poussières et les polluants gazeux simultanément. De plus, leur fonctionnement en atmosphère humide limite les risques d'explosion. Les matériaux de construction du dépoussiéreur doivent pouvoir résister à la corrosion. On trouve les appareils suivants basés sur ce principe :

- **les dépoussiéreurs à lame d'eau** - Ce sont des caissons en tôle, compartimentés par une double paroi en « s » : l'impulseur. La partie inférieure est remplie d'eau. L'air est dépoussiéré lors de son passage à travers l'impulseur par entraînement d'une lame d'eau projetée à l'intrados⁽⁵⁾ par la vitesse et rejetée dans le second compartiment. L'épuration fournie est très satisfaisante ;
- **les cyclones par voie humide** - Même dispositif que les cyclones par voie sèche, mais avec l'ajout d'un tube perforé axial pour l'injection d'eau. Ils possèdent également une excellente efficacité d'épuration ;
- **les venturi laveurs** - Identiques à l'aspirateur à sec. Des injecteurs d'eau mouillent la surface des aubes du rotor. L'air entre par un système perpendiculaire au système d'aspiration et subit un premier lavage en traversant le brouillard d'eau produit par les injecteurs. Dans la zone d'action du rotor, l'air et l'eau sont brassés énergiquement et le contact intime débarrasse l'air de la presque totalité des poussières. Ils assurent une très bonne épuration.
- **Les séparateurs électriques ou électrofiltres**. Un gaz est chargé en poussières. Il traverse une chambre d'ionisation dans laquelle sont émis des ions positifs. Ceux-ci rencontrent les particules de poussières qui sont chargées à leur tour. Le gaz à épurer traverse une section soumise à un champ électrique qui attire les particules chargées.

Ils sont généralement utilisés pour dépoussiérer de grandes masses gazeuses chargées d'impuretés plus ou moins nocives comme les gaz brûlés des fours à ciments ou les fumées des centrales thermiques. Ces séparateurs ont un très bon rendement, mais les frais d'installation sont très élevés et ils n'acceptent qu'une faible concentration de poussières.

- **Les séparateurs à couche filtrante** (filtres à manches, poches, cartouches, panneaux plissés, éléments rigides et poreux). L'air poussiéreux perd ses poussières en traversant un filtre poreux, de type manche, poche ou cartouche. Leur utilisation est fonction des performances souhaitées. Le nettoyage du filtre est obtenu par injection brève d'air comprimé qui stoppe la filtration et gonfle brutalement la poche ou la manche ; le dépôt de particules est décollé et chute dans une trémie.

Les dispositifs avec filtres à manches nécessitent un entretien assez fréquent, si l'on veut maintenir leur efficacité dans le temps. Il existe de nombreux types de filtre, mais dans le dépoussiérage effectué lors de la fabrication des granulats, seuls sont utilisés les filtres à manche en tissu spécial. Ces filtres fonctionnent selon le principe des aspirateurs ménagers : l'air pollué passe au travers d'un sac en tissu dont la texture est capable de retenir les particules en suspension (coton, feutre, Tergal, fibres de verre...).

Les dépoussiéreurs sont constitués de cellules qui sont successivement mises en service, puis hors circuit et enfin nettoyées par des dispositifs automatiques (mécaniques ou électromécaniques, pneumatiques, à contre-courant). Le rendement est excellent. Leurs prix sont plus élevés que celui des cyclones, mais ils ont un rendement supérieur et sont plus résistants. Les rejets sont pratiquement toujours inférieurs à 10 mg/m³.

Les deux premiers types de filtration (mécanique et hydraulique) ne sont pas toujours d'une efficacité suffisante, compte tenu de la réglementation concernant les garanties de rejet dans l'atmosphère. Le filtre à couche poreuse est actuellement la seule méthode totalement efficace pour traiter le dépoussiérage après captation et transport de l'air chargé de poussières. De plus, il y a une évolution permanente des matériaux filtrants et donc une amélioration constante des performances et des rendements de tels filtres.

Choix de l'appareil séparateur

Le choix du système de séparation des poussières se fait en fonction de :

- la concentration des poussières dans l'air aspiré qui a une influence sur le débit d'aspiration ;
- la granulométrie des poussières à aspirer. Par exemple, un cyclone permet de neutraliser des particules dont le diamètre est supérieur à 10 microns ;
- le frottement des poussières. Par exemple, un aspirateur-dépoussiéreur en voie sèche possède des pales sur lesquelles des particules sont projetées à grande vitesse.

L'abrasivité des matériaux traités va conduire le choix : type de matériel, choix des revêtements...

(5) Face intérieure et inférieure d'une paroi voûtée.

Avantages

La captation et la filtration évitent l'utilisation d'eau et d'adjuvants. L'aspiration mécanique permet la récupération de fines et le nettoyage des matériaux. Ces dispositifs permettent de filtrer les poussières nocives pour la santé (de diamètre inférieur à 10 microns).

Le dépoussiérage centralisé

Il permet de traiter de nombreux points. Il est possible de renouveler l'air à l'intérieur de l'enceinte confinée, par aspiration et arrivée d'air frais.

Il rassemble les poussières en un seul point, ce qui permet de les stocker pour en faciliter la gestion et permet de les commercialiser.

Le dépoussiérage point par point

Les filtres se situant sur des points précis permettent une évolution dans le temps des installations de traitement, des investissements progressifs.

Inconvénients

Le dépoussiérage centralisé

Il représente un investissement important. Seules les poussières les plus fines sont aspirées par ce procédé, les plus grosses s'étant déjà déposées avant la fin de leur parcours. Ce procédé ne protège que partiellement le personnel et le matériel à l'intérieur du bâtiment. Ce dispositif nécessite l'étanchéité du bâtiment par un bardage coûteux ou la réalisation d'un ensemble de tuyauteries qu'il faudra entretenir.

Le dépoussiérage point par point

La multiplicité des points à traiter entraîne un coût élevé.

Les poussières éliminées au niveau des appareils dépoussiérés se trouvent en divers points de l'installation.

De nombreux systèmes replacent les poussières sur le convoyeur. Les poussières pourront donc s'envoler à nouveau, dans la partie aval de la chaîne de traitement.

Recommandations

Erreurs à éviter

Un débit d'air trop important provoque l'entraînement des poussières qui seraient normalement restées dans le flux des matériaux traités.

Une vitesse trop élevée dans les canalisations aggrave les phénomènes d'usure par abrasion dans les capotages, les hottes d'aspiration et les canalisations, donc une augmentation inutile de la puissance consommée et finalement une augmentation des coûts d'exploitation.

Applications pour les différentes étapes de l'exploitation

L'extraction de la roche : la foration

La foreuse doit être équipée d'un système de dépoussiérage avec récupération. La poussière générée par la foration est aspirée par un flexible fixé au cône supportant les fleurets. L'aspiration peut être pneumatique ou hydraulique. Les particules sont canalisées et traitées dans une unité de filtration (filtre à manche). La consommation de cet appareil en air comprimé va de 1000 l/mn à 4000 l/mn pour de gros modèles montés sur les engins à chenilles. Un tel dispositif permet l'observation et le prélèvement des éclats de roche. Ce sont donc des appareils très efficaces, qui assurent la protection pour le foreur. Mais la poussière récupérée est finalement rejetée sur le sol. Il y a donc une possibilité de remise en suspension par les vents.

Le transport par convoyeurs

Le long du parcours du convoyeur, mettre en place un capotage, les poussières étant plus importantes aux extrémités : chute sur la bande pour l'alimenter et chute de la bande vers un appareil ou un silo. Un système de captation sera installé et la transition entre les différents capotages sera étanchée autant que possible.

Le retour de bande sera traité par retournement, la bande sera nettoyée (racleurs, eau sous pression). On peut associer un dispositif de captation avec un système de capotage.

Le traitement des matériaux

Le dépoussiérage point par point : captage par poste

Pour mettre en place ce type de dépoussiérage, il faut décomposer les différentes parties de l'installation en postes simples : concassage primaire, concassage et criblage secondaire, concassage et criblage tertiaire. Pour chaque poste, l'exploitant doit considérer la capacité nominale en tonne/heure et estimer la production de particules inférieures à 100 microns en tonne/heure. Cette technique est souvent la mieux adaptée pour résoudre les problèmes de poussières au niveau des postes de criblage tertiaire puisqu'on ne peut plus humidifier les granulats à ce stade, car cela entraînerait des risques de colmatage des cribles. Les poussières aspirées sont collectées sur des filtres à manches à nettoyage pneumatique.

Recommandations pour le système de captation / capotage :

- le débit d'air sera au moins de 1000 m³/h et par m² de surface de crible, afin d'éviter une accumulation de poussières à l'intérieur du dispositif ;
- le débit d'aspiration d'air nécessaire est obtenu en limitant la masse des particules en suspension entre 10 et 20 g environ par m³ d'air aspiré ;
- éloigner au maximum les systèmes de refroidissement auxiliaires éventuels des concasseurs équipés d'un ventilateur ;
- la vitesse d'aspiration doit être limitée à 2 à 3 m/s au niveau des bouches d'aspiration et des secteurs de raccordement et entre 25 et 30 m/s dans les canalisations ;
- l'ensemble de ces paramètres permet de calculer et de dimensionner l'installation de dépoussiérage à réaliser. La puissance absorbée par le dépoussiérage varie, selon le cas, de 0,5 à 1 kW/T/h de matériau produit. Selon les distances séparant les postes de concassage/criblage, il sera nécessaire d'envisager plusieurs unités de dépoussiérage (point par point) pour éviter les pertes d'énergie dans des canalisations trop longues ;
- pour de bonnes conditions de capotage aux points d'émission des poussières et pour des conditions moyennes de granulométrie, de température et d'hygrométrie de l'air, il faut retenir que la proportion de fines en suspension est égale à 10 % des fines totales pour chaque poste considéré.



Hotte d'aspiration sur poste de chargement

Photo n° 29

Le stockage des sables

Pour les opérations de stockage et déstockage, un système de chargement par camions citernes, munis de manches de chargement télescopique, avec filtre de dépoussiérage, permet d'éviter la prise au vent des sables pendant le chargement.

Le chargement sous trémie peut se faire avec une certaine fermeture de l'espace de circulation du véhicule ou mise en dépression de l'espace de chargement. Ce type d'aménagement nécessite une adaptation au véhicule utilisé.

Autre mesure

La circulation des engins dans l'enceinte de la carrière

Un nettoyage régulier des routes enrobées est recommandé car le roulage constant des engins apporte et produit par attrition des poussières qui forment une couche mobilisable au passage d'un engin ou d'un camion, ou simplement par le vent. Ce nettoyage peut être réalisé par une société sous-traitante avec un appareil aspirateur de particules. Par exemple, une carrière peut faire appel une fois par semaine à une société utilisant une balayeuse aspiratrice.

■ 9.3. Dispositif électrostatique

Les entreprises de carrière se sont vu proposer un système de captation des poussières exploitant les forces électrostatiques.

Le principe de fonctionnement est identique à celui d'un filtre électrostatique. Il se fonde sur le principe physique de la séparation par ionisation.

En sortie de concasseur, les granulats et la poussière qui les accompagne transitent dans un cylindre qui recouvre le convoyeur. Un champ électrique est créé dans le tube, les particules de poussière sont ionisées et attirées par les parois du cylindre où elles s'accumulent. Un moteur déséquilibré à démarrage périodique monté sur le boîtier de l'appareil réintègre la poussière dans le flux d'acheminement.

L'équipement du système se compose d'une unité à haute tension, d'une unité de commande, d'un isolateur haute tension, d'électrodes à effet de couronne et du boîtier de protection entourant la station de fixation des poussières. La tension de service du système est de 230 V pour une consommation d'énergie de quelques centaines de watts. Les coûts de maintenance et d'exploitation restent minimes car le système comporte peu de pièces mobiles et ne nécessite donc pas de personnel d'entretien ou de service spécifique.

■ 9.4. Les dispositifs à base d'eau

Aspersion

Principe

Pour réduire, voire éliminer, la remise en suspension des poussières des pistes, on les arrose légèrement et superficiellement, soit à partir d'un poste mobile soit, ce qui est mieux, à partir d'un poste fixe.

L'aspersion des pistes par des citernes mobiles

L'utilisation d'un camion citerne équipé à l'arrière d'une rampe d'arrosage est couramment observée sur les pistes des exploitations. L'emploi d'une citerne est adapté à l'arrosage des pistes temporaires pour lesquelles il n'est pas envisageable de poser un réseau d'arrosage fixe, mais ce dispositif est consommateur d'eau et peut être à l'origine de la formation de boues et d'ornières. La consommation en eau d'une citerne est assez importante. En effet, la capacité moyenne d'un tel engin est de 10 m³ et il est parfois nécessaire d'effectuer cinq à six remplissages par jour.

L'opération nécessite l'achat de la citerne, l'adaptation éventuelle d'un véhicule et mobilise une personne pour une durée non négligeable.



Aspersion des pistes par engin mobile

Photo n° 30

L'arrosage des pistes par des asperseurs fixes (buses rotatives ou non)

Un réseau d'asperseurs fixes est souhaitable pour des pistes définitives et les routes enrobées qui se chargent de poussières lors du passage des engins. Ce dispositif, lorsqu'il est bien réglé, est nettement plus efficace que l'emploi d'une arroseuse mobile. Il est aussi plus économe en eau, mais les buses nécessitent un entretien régulier.

Un réseau d'arrosage fixe se compose de rampes d'arrosage avec des buses placées à la limite des voies de roulage. Les asperseurs constituant ces rampes sont desservis par un réseau de tuyaux alimenté par un pompage en nappe ; parfois, une réserve d'eau peut être utilisée. Ils pulvérisent l'eau sur les voies pour abattre les poussières. Le nombre d'asperseurs utilisés peut varier de quelques unités pour une piste seule à plusieurs dizaines pour couvrir l'ensemble d'un site. Leur nombre dépend de leur portée et de leur surface d'arrosage. La portée peut aller jusqu'à 12 mètres.

L'un des atouts de ce type de dispositif est la possibilité de gérer la distribution de l'eau. Le déclenchement du système peut se faire de différentes façons :

- l'arrosage peut être déclenché à la demande. Par exemple, sur une exploitation présentant des pistes d'un kilomètre de longueur (distance entre le front d'abattage et les installations) et où les tombereaux effectuent des rotations continues, un système de buses d'arrosage enterrées et alimentées a été mis en place sur une piste légèrement surélevée. Trois bornes à déclenchement infrarouge ont été posées le long de la voie. Ces bornes commandent le déclenchement du mécanisme d'aspersion. Si le conducteur du tombereau estime que la piste doit être humidifiée, il envoie un signal par télécommande à ces bornes;
- ce dispositif, commandé ponctuellement par les utilisateurs des pistes, permet d'éviter une aspersion trop importante des pistes et limite la formation d'ornières. De plus, assurant une meilleure qualité de la piste, et donc un confort de conduite accru, il est correctement mis en œuvre par les chauffeurs ;
- les asperseurs peuvent être programmés de telle sorte que les différents secteurs d'une carrière soient arrosés automatiquement par intervalles de temps réguliers grâce à un temporisateur (par exemple : programmation de l'arrosage d'une zone pendant 1 minute toutes les 15 minutes) ;
- des systèmes « semi-intelligents », avec repérage de l'utilisation de la piste ou déclenchement de l'arrosage selon les conditions climatiques, peuvent être utilisés.

Avantages

L'aspersion des pistes par des citernes mobiles

Elle est utilisable pour des voies temporaires, où il n'est pas possible d'installer un système fixe.

L'arrosage des pistes par des asperseurs fixes (buses)

C'est le meilleur système pour humidifier des pistes à condition d'être déclenché par une minuterie ou par une commande à distance.

Inconvénients

L'aspersion des pistes par des citernes mobiles

C'est la solution la plus onéreuse puisque l'on mobilise un véhicule en permanence. Ce dispositif est en outre un grand consommateur d'eau, surtout lorsque les quantités déversées ne sont pas contrôlables. Il faut pouvoir disposer d'eau en quantité suffisante, ce qui peut se révéler problématique en période de sécheresse. L'arrosage excessif favorise la formation de boues puis d'ornières par le roulage fréquent des tombereaux. De plus, il est à noter que les nids de poule sont à l'origine de dégagements importants de poussières.

L'arrosage des pistes par des asperseurs fixes (buses rotatives ou non)

Les inconvénients résultent le plus souvent d'une mauvaise maîtrise des temps d'arrosage. De plus, pour certaines carrières du sud de la France, où les ressources en eau sont faibles, l'approvisionnement en eau peut se révéler un véritable problème.

La qualité de l'eau doit être suffisante : une eau chargée conduit à une obstruction des buses qui, peu à peu, ne fonctionnent plus. L'eau utilisée doit être filtrée. Les eaux fortement carbonatées conduisent à entartrer les buses.

Le gel conduit à ne pas utiliser ces systèmes pendant la période froide. Les installations seront purgées pour éviter toute dégradation.

L'entretien des buses est donc indispensable.

Recommandations

L'aspersion des pistes par des citernes mobiles

- Procéder plusieurs fois par jour à l'arrosage des pistes en période sèche. Il est souhaitable d'arroser dès la première heure du jour car, en plein soleil, les voies humidifiées sèchent en 20 minutes. Or, c'est le temps mis par une citerne pour se remplir.
- Utiliser une arroseuse munie d'une pompe à débit variable.
- Choisir une arroseuse dont les buses peuvent s'orienter dans l'espace (gauche et droite, dessous...) pour augmenter l'efficacité de l'arrosage.
- Il est possible de faire appel à une société sous-traitante pour l'emploi d'une citerne comme le font certains exploitants.

L'arrosage des pistes par des asperseurs fixes (buses rotatives ou non)

Asservir le système pour utiliser l'eau de façon économe (minuterie ou déclenchement par télécommande). Il n'y a pas de réglage standard ; il appartient donc au personnel de carrière, après l'installation, de rechercher le réglage optimum en fonction des conditions météorologiques de la carrière.



Aspersion des pistes par arroseur fixe

Photo n° 31

Applications

L'exploitant pourra procéder à l'arrosage des pistes par des citernes ou par asperseurs fixes selon que les pistes sont temporaires ou non.

L'utilisation raisonnée de l'eau par l'aspersion des pistes permet d'éviter la création d'ornières. Lorsque le type de voie le permet, favoriser l'utilisation d'asperseurs fixes asservis à un temporisateur distribuant ainsi l'eau de manière plus parcimonieuse.

Pour les stocks de matériaux commercialisables, l'arrosage automatique de la zone de stockage et de chargement ainsi que de la piste d'accès à la voie publique permet de réduire efficacement les poussières mais cela demande de grandes quantités d'eau.



Humidification du chargement par portique d'arrosage

Photo n° 32

L'évacuation des matériaux hors de la carrière

Les camions transportant du sable passent sous un portique, où leur chargement est humidifié en surface. Cet arrosage peut se faire par jet automatique. L'aspersion du chargement d'un camion peut se faire au même moment que le lavage des pneus.

La pulvérisation

Principe

L'abattage des poussières par simple pulvérisation

L'eau est projetée en fines gouttelettes sur les matériaux, ce qui va plaquer la poussière sur le tout-venant ou les granulats, selon le stade d'élaboration des produits. La pulvérisation se fait au moyen de buses, placées généralement aux points d'approvisionnement du matériau à traiter et, le plus fréquemment, à l'entrée des concasseurs. Ces dispositifs utilisent des « eaux propres » en quantité relativement importante, ce qui peut dans certains cas modifier le taux d'humidité du matériau et augmenter les risques de colmatage des cribles ou des goulottes.



Pulvérisation d'eau dans la trémie d'alimentation

Photo n° 33 (source : LAFARGE)



Pulvérisation sur l'alimentation d'un concasseur

Photo n° 34

L'abattage des poussières avec ajout de produits chimiques

L'addition d'un agent réducteur de tension superficielle facilite le contact entre les gouttelettes d'eau et les particules. Lors du contact entre les gouttelettes d'eau et les poussières, celles-ci sont enrobées spontanément par l'eau « mouillante », elles s'alourdissent et précipitent rapidement. Ce type d'abattage nécessite une installation plus sophistiquée, mais les risques de colmatage sont pratiquement éliminés.

Cependant, les produits tensioactifs⁽⁶⁾ utilisés peuvent modifier les caractéristiques des granulats de faible granulométrie, comme les sables, vis-à-vis des liants hydrauliques ou bitumineux. La pression des pulvérisateurs doit être suffisante pour obtenir des gouttelettes fines qui favorisent un contact solide/liquide rapide, modifiant ainsi de manière instantanée la vitesse de sédimentation des particules rencontrées. Mais cette pression ne doit pas être pour autant trop élevée, car alors la vitesse des gouttelettes créerait un coussin d'air entre la gouttelette et la particule, et cette dernière serait alors déviée sans être mouillée. Ce point est important, car le dispositif peut se révéler inefficace en cas de mauvais réglage de la pression.

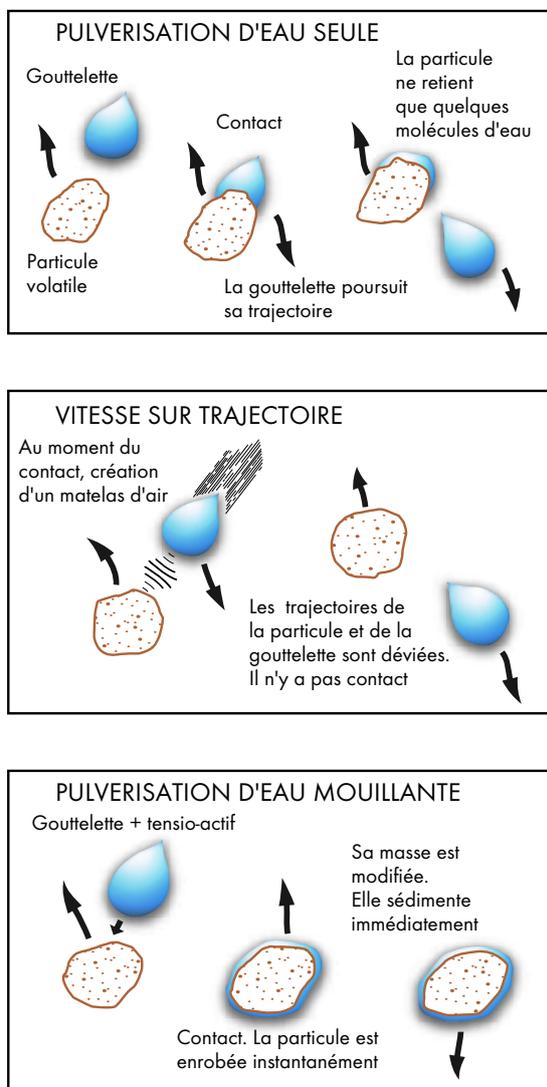
(6) Un agent tensioactif est un agent qui modifie les forces présentes en surface des particules : la tension superficielle. L'abaissement de ces forces permet une meilleure liaison entre les particules et l'eau.

Une autre possibilité est la pulvérisation de mousse et d'additifs chimiques : le système moussant mélange de l'air comprimé, de l'eau et un tensioactif dans une mousse composée de bulles de 100 à 200 microns de diamètre. Des jets spécialement fabriqués permettent à la mousse d'être efficacement distribuée sur le matériau circulant sur un convoyeur à bande, par pulvérisation sur le matériau chutant ou par injection dans l'orifice du convoyeur. Les bulles entrent en contact avec des particules de 1 à 50 microns de diamètre, les mouillent et les font adhérer à d'autres particules ou à d'autres surfaces mouillées. Cependant, les particules de grande taille (diamètre supérieur à 50 microns) ne sont pas affectées par les bulles de mousse.

Il existe également un système d'abattage des poussières par pulvérisation d'eau additionnée d'un agent (liant ou agglomérant) qui capte, retient ou agglomère les poussières émises par les différents appareils des installations de traitement.

Figure n° 11

Source : RAM® Environnement



Avantages

L'abattage des poussières par simple pulvérisation

Ce procédé est le moins coûteux et souvent le mieux adapté pour réduire les poussières dans les installations de traitement. Le montant de l'investissement est très nettement inférieur à celui d'une installation de captation/aspiration.

L'abattage des poussières avec ajout de produits mouillants

Ce dispositif augmente l'efficacité des pulvérisateurs d'eau.

Inconvénients

L'abattage des poussières par simple pulvérisation

La pulvérisation a pour finalité de maintenir les poussières dans la masse produite. Or, la poussière agglomérée sur le matériau peut gêner, dans certains cas, sa commercialisation.

De plus, des risques de colmatage peuvent se produire en aval, au niveau des cribles et des goulottes, si les quantités d'eau injectées dans le système sont trop importantes.

Ce dispositif risque de geler en période hivernale.

L'abattage des poussières avec ajout de produits mouillants

Si l'adjonction de produits divers réduit les émissions de poussières, le produit peut modifier certaines caractéristiques des matériaux. Il faudra vérifier la compatibilité en fonction des usages projetés.

Recommandations

L'abattage des poussières par simple pulvérisation

Pour obtenir le meilleur rendement possible :

- utiliser le minimum de liquide possible pour un maximum d'efficacité. Pour cela, il faut déterminer, avant la mise en place des installations de dépoussiérage, la taille et la quantité des particules qu'il va falloir abattre. En effet, la taille et la quantité des gouttelettes d'eau doivent être les plus proches possibles de la taille et du nombre de particules à piéger ;
- protéger si nécessaire le dispositif contre le gel ;
- pulvériser l'eau sur les produits uniquement lors de leur passage pour éviter le colmatage des installations.

Il est possible de mettre en place un système d'asservissement de l'installation à partir de détecteurs pour permettre d'obtenir une pulvérisation très précise correspondant au temps de passage du matériau, c'est-à-dire au temps réel d'émission des poussières :

- il faut mesurer le niveau d'intensité absorbée par un moteur lorsque l'appareil est en charge ;
- la mesure de la flèche de la bande en charge permet de détecter la présence du matériau en un point donné d'un transporteur ;
- la quantité d'eau pulvérisée doit être adaptée à la production de matériaux à traiter. Elle est de l'ordre de 0,3 % à 0,7 %, soit 3 à 7 litres par tonne de production horaire pour des matériaux usuels, selon leur hygroscopie ;
- le mélange d'eau et de tensioactif doit être constant et régulier.

Tous ces systèmes nécessitent impérativement un entretien très soigné. Il est recommandé de souscrire un contrat d'entretien avec une société spécialisée.

Applications pour les différentes installations de traitement

L'extraction de la roche : la foration

L'abattage des poussières par pulvérisation consiste à introduire un brouillard d'eau pulvérisée dans de l'air comprimé et injecté au fond du forage pour remonter les éclats de roche. Ce dispositif nécessite des appareils munis d'un système d'injection d'eau au niveau de l'outil de foration. Il faut disposer d'eau en quantité importante.

L'extraction de la roche : les tirs de mines

L'abattage des poussières par pulvérisation est utilisé au niveau du front abattu, en fonction du type d'explosif.

Ces deux dispositifs sont rarement utilisés.

Le transport des matériaux

Aux points de transfert et à la jetée du convoyeur pour l'alimentation d'une machine, l'exploitant utilisera le dispositif d'abattage des poussières par pulvérisation avec des buses donnant un jet plat lors d'une rupture de charge.

On peut mettre en place le « tube de plombier » en forme de cercle avec deux petites buses aux extrémités : le matériau chute au milieu du cercle où il y a pulvérisation d'eau. Ce dispositif ne fonctionne pas si les matériaux sont trop fins.

Pour le transport par voie ferrée

L'eau est pulvérisée au moyen de diffuseurs à la jetée du tapis de remplissage des wagons.

Le traitement des matériaux

La pulvérisation est utilisée sur les installations de traitement primaire. Le mouillage du tout-venant, grâce à un filet d'eau en continu, atténue les émissions de poussières lors des opérations de concassage. La même solution adoptée en sortie des concasseurs diminue sensiblement les poussières au niveau du criblage.

Pour le stockage des matériaux en trémies ou en stocks extérieurs, l'abattage des poussières par pulvérisation se réalise au remplissage de la trémie ou à la jetée des matériaux en tête de sauterelle.

On peut également humidifier les stocks pour éviter que les fines s'envolent.

La brumisation

Principe

Ce procédé consiste en une micronisation d'eau. Il se forme ainsi un brouillard qui abat les poussières.

L'abattage des poussières par brumisation

On traite l'air, chargé de poussières de très faible granulométrie, avec un brouillard composé de gouttes d'eau très fines. Les poussières entrent en contact avec l'eau car elles sont attirées, grâce à des forces électrostatiques, par les particules d'eau. Ces poussières, ainsi hydratées, s'alourdissent et tombent.

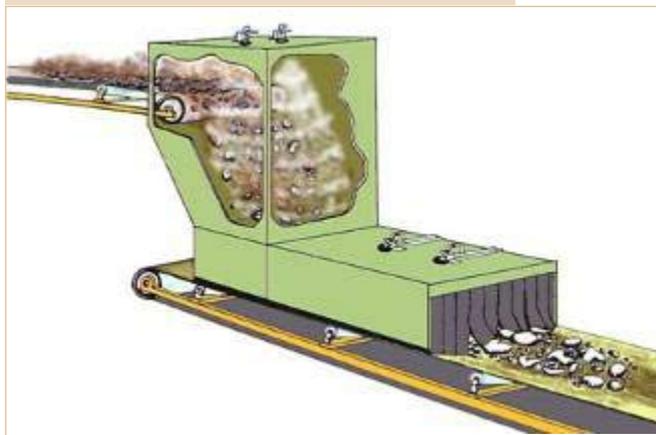
Quand elle est bien conçue, la brumisation utilise un minimum d'eau et produit des gouttelettes qui ont une taille idéale pour agréger les particules de poussière. Les particules et les gouttelettes ont en effet tendance à s'agglomérer lorsque leurs tailles sont proches, car les tensions de surface tendront alors à agglomérer les deux éléments. À volume air et eau constant, la finesse, et donc le nombre de particules générées, est plus élevée par le procédé de brumisation que par la simple pulvérisation. La surface de contact totale de l'eau avec les particules à abattre est plus grande. Ce procédé est donc plus efficace que la pulvérisation.

L'obtention d'un brouillard peut se faire :

- par atomiseur ultrasonique avec un apport d'air comprimé. On atomise des liquides en les soumettant à des vagues de sons générés par une chambre de résonance construite dans la buse de pulvérisation. L'eau, injectée dans une zone de vibration d'air comprimé à hautes fréquences (5 000 à 50 000 Hz), explose littéralement en millions de micro-gouttelettes de 1 à 50 microns de diamètre ;
- par pression hydraulique élevée. On force l'eau à traverser un orifice calibré, en lui donnant au même moment une très grande vitesse, généralement centrifuge, à l'aide d'une pression d'eau élevée. Le brouillard obtenu est composé de micro-gouttelettes de 40 à 150 microns de diamètre ;
- par atomisation (ou atomisation pneumatique). On utilise de l'air comprimé qui propulse l'eau à haute pression dans de petits orifices.

Figure n° 13

Brumisation au niveau d'une jetée de tapis



Avantages

La nature même du brouillard (gouttelettes très dispersées) évite que les installations soient trop mouillées et qu'il y ait des problèmes de gel par temps froid.

La brumisation ne nécessite pas d'ajout d'adjuvant chimique mouillant.

La brumisation peut être employée pour des matériaux réputés non hydratables, mais ayant une charge électrique ou une tension de surface attirant les gouttelettes.

Inconvénients

Ce dispositif est assez sensible. Il demande donc un entretien important et régulier, notamment au niveau des buses. De plus, la brumisation reste un poste d'investissement élevé.

Recommandations

Pour que le brouillard et la poussière restent en contact le plus longtemps possible (contact gouttelettes/poussières) et obtenir ainsi un maximum d'efficacité, le système doit être placé dans un local ou un caisson à l'abri du vent ou des courants d'air. En effet, en cas de violents courants d'air, le brouillard serait entraîné sans avoir agi. Il est admis que le brouillard reste efficace jusqu'à 1 m/s. Au-delà, il faut réaliser des enceintes de confinement ou, pour les trémies de chargement, des déflecteurs qui forment un tourbillon et le maintiennent sur place le plus longtemps possible.

Mais la condition essentielle pour que ce système soit efficace durablement c'est d'établir un contrat de maintenance avec une société spécialisée. L'entretien du système est impératif. Il faut une bonne filtration de l'eau

en amont, car la présence de matières en suspension ou la précipitation des carbonates d'une eau calcaire obstrueraient les buses. De même, l'air envoyé dans le dispositif doit être propre.

Le nombre de buses et leur orientation doivent être soigneusement définis pour que le brouillard se mélange bien à l'ensemble du volume d'air à traiter.

De même, les enceintes de confinement doivent être bien dimensionnées pour ralentir au maximum les poussières et leur permettre de rester le plus longtemps possible en contact avec les gouttelettes.

Applications pour les différentes installations de traitement

Transport par convoyeurs

L'abatage des poussières par brumisation peut se faire au niveau de l'alimentation des convoyeurs.

Chargement des matériaux

L'abatage des poussières par brumisation, au niveau du chargement des bennes sous les silos des installations de traitement, permet d'abattre les poussières des produits, lorsqu'ils tombent dans la benne du poids lourd. Cet abatage s'effectue par la formation d'un brouillard autour des casques de déchargement des sables au niveau des silos. Par exemple, dans une exploitation de Cassis, la brumisation se déclenche par thermocontact lorsqu'un camion passe sous un silo.

On peut également employer un micro-brouillard à granulométrie étagée. Ce micro-brouillard à granulométrie étagée est un mélange de brouillards composés de gouttes et de micro-gouttes, les plus grosses gouttes ayant un effet d'accélération et de stabilisation sur les plus petites gouttes. Ce procédé permet de traiter des zones peu protégées des vents, où le micro-brouillard seul serait inefficace, tout en utilisant des débits raisonnables, si l'on compare à l'arrosage parfois excessif pratiqué à ce niveau.

Traitement des matériaux

Au niveau du traitement primaire, l'humidification du matériau par brumisation a un effet bénéfique. En effet, lors du concassage, il y a augmentation de la surface spécifique des granulats et ainsi l'humidité des matériaux diminue. L'humidification permet de restituer le niveau d'humidité recherché.

La suppression des poussières à la « mousse »

La suppression des poussières par voie humide est la plus ancienne méthode de contrôle des poussières. Des réactifs chimiques bien choisis et actifs à faible dose sont de plus en plus souvent mélangés à l'eau pour réduire les quantités d'eau nécessaires et l'humidité apportée aux différents matériaux à traiter ainsi que les effets induits non désirables, comme par exemple :

- le colmatage des cribles,
- l'encrassement des bandes transporteuses,
- les dépenses énergétiques supplémentaires pour éliminer les résidus d'eau durant, le cas échéant, le séchage des produits,
- les coûts de transport plus élevés dus au transport d'eau,
- l'aggravation des problèmes dus au gel des matériaux,
- ...



Mousse appliquée au niveau d'un changement de bande transporteuse

Photo n° 35 - © Société NALCO

Les équipements utilisés vont des installations les plus simples aux plus sophistiquées comme les systèmes d'aspersion, les systèmes de pulvérisation et les systèmes de production de mousse. Tous ces systèmes ont en commun d'ajouter de l'humidité au matériau à traiter. Cependant, les systèmes les plus sophistiqués cherchent à produire des tailles de gouttelettes d'eau les plus efficaces possibles de façon à contrôler non seulement la poussière mais aussi la quantité d'humidité ajoutée. De ce dernier point de vue, les systèmes de production de mousse sont parmi les systèmes qui apportent le moins d'humidité aux différents matériaux à traiter.

L'efficacité de la suppression de la poussière par voie humide peut varier grandement en fonction des caractéristiques des matériaux à traiter, de la quantité d'humidité à appliquer et des méthodes d'application utilisées. Le but de l'addition d'un réactif chimique à l'eau va bien au-delà des résultats attendus de systèmes utilisant de l'eau seule, comme les systèmes d'aspersion ou les systèmes de pulvérisation. Pouvoir mettre en place des systèmes de suppression de la poussière avec un effet résiduel tout au long d'une chaîne de « concassage - broyage - bandes transporteuses - stockage » devient plus la règle que l'exception.

Cette tendance a eu pour conséquence le développement d'une gamme d'additifs pour atteindre ces objectifs de traitement des poussières avec effet résiduel. Ces programmes de traitement avec effet résiduel sont appliqués aussi près que possible de la source de la poussière. Ils peuvent contrôler avec succès toute génération de poussières observée auparavant, avant l'application du traitement à effet résiduel, à des endroits éloignés de l'application initiale du traitement, même si ces endroits sont situés à plusieurs minutes, voire à plusieurs jours, de ce point d'application initial du traitement.

La mise en œuvre de réactifs de plus en plus performants, combinée au développement d'équipements de plus en plus simples, plus fiables et plus faciles à utiliser, contribue de nos jours au succès grandissant de ces programmes à effet résiduel de contrôle de la poussière. Une basse teneur en humidité ajoutée, combinée à des effets résiduels de traitement de la poussière, est devenue chose courante grâce aux réactifs performants disponibles et à un équipement sans cesse optimisé.

Le choix et l'application de la bonne combinaison - programme de suppression à effet résiduel et équipement pour n'importe quelle application donnée - demandent de comprendre toutes les caractéristiques du matériau et du procédé de fabrication à traiter. Les réactifs à utiliser sont d'abord dilués dans de l'eau puis, après mise en œuvre dans des équipements spécifiques, forment une « mousse », c'est-à-dire des micro-bulles qui peuvent être appliquées sur les matériaux à traiter à différents endroits, comme aux concasseurs/broyeurs, aux points du transfert, aux zones de stockage,...

Il est à noter que le passage des produits du stade « solution » au stade « mousse » se fait dans des équipements spéciaux, avec un rapport d'expansion de 50 à 80.

Le laquage

Principe

Le principe du laquage consiste à étendre des produits hygrophiles ou des produits qui polymérisent et forment une « fine croûte » sur la surface traitée. Cette surface se trouve alors protégée de l'érosion éolienne, ce qui va réduire ainsi la formation de poussière.

Le traitement de surface par épandage

L'aspersion de certains produits permet de diminuer les impacts de l'érosion éolienne et du roulage des engins sur les différentes zones d'une exploitation (pistes ou zones hors circulation comme les stocks) en augmentant la faculté d'hydratation du sol ou la résistance de sa couche superficielle. Ce procédé est employé pour des surfaces supérieures au mètre carré et qui ne sont pas utilisées pendant plusieurs mois, comme les stocks de stériles, les fronts de taille, les talus, le carreau. De plus, certains produits de laquage n'empêchent pas la germination de graines.

Les produits commercialisés sont de deux types : les produits hygrophiles et les émulsions à base de polymères.

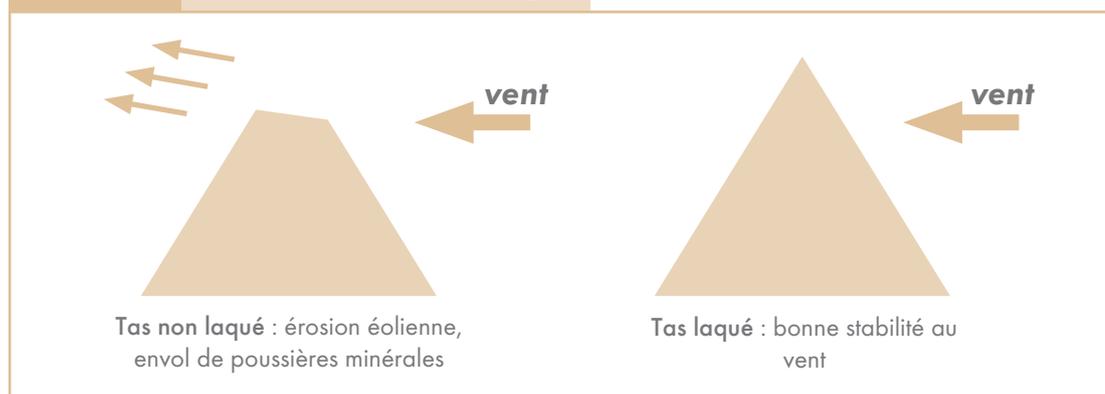
Les produits hygrophiles

Ils captent et retiennent l'eau, tout en maintenant les aires de circulation non revêtues à un degré d'humidité suffisant pour empêcher la formation de poussières. On les trouve sous forme de paillettes pour le chlorure de calcium ou d'additifs liquides. Les paillettes ont un fort pouvoir d'absorption de l'eau et, lorsqu'elles sont répandues sur la surface à traiter, elles captent l'humidité de l'air et forment une solution qui pénètre et reste dans le sol. L'épandage d'un produit hygroscopique permet de capter l'humidité de la nuit et limite le phénomène de séchage rapide, quand l'eau est utilisée pour humidifier la voie. L'épandage se fait avec le matériel utilisé pour l'arrosage.

Les émulsions à base de polymères

Les émulsions forment une croûte superficielle plus ou moins résistante selon le produit utilisé. Le produit de base, mélangé à l'eau, va pénétrer et saturer le matériau à traiter. Dès le début du séchage, des chaînes polymères vont se constituer et souder les fines particules, les agréger et les coller aux éléments de plus grosse dimension pour créer une surface dense, résistante et à l'épreuve des précipitations. L'application de ce type de produit assure une protection de quelques mois à un an. Mais il est cependant nécessaire de renouveler les applications sur des zones où le roulage des engins est important ou pour des produits dont la concentration en matières actives est faible.

Figure n° 13 Schéma du principe du laquage



Avantages

Les produits hygrophiles

L'utilisation de ces produits permet de réaliser des économies d'eau. L'épandage se fait facilement, même pour les granulés de chlorure de calcium qui peuvent être dissous dans une certaine quantité d'eau.

Les émulsions à base de polymères

Ces émulsions permettent également de réaliser des économies d'eau. Ce type de produit peut s'avérer plus efficace qu'un produit hygrophile, car il forme une véritable croûte souple sur la zone traitée.

Inconvénients

Les produits hygrophiles

La nature hygroscopique des produits utilisés pour lutter contre les poussières peut les rendre agressifs, notamment pour le matériel d'épandage et les engins qui passent sur les pistes traitées. En outre, la nécessité de réhumidifier diminue l'intérêt de ce traitement.

Les émulsions à base de polymères

La fine croûte formée ne résiste pas au roulage. Cette solution n'est donc pas adaptée aux espaces actifs de la carrière ou de l'installation.

Recommandations

La manipulation de certains de ces produits nécessite le port de gants et le rinçage du matériel d'épandage après emploi.

Applications pour les stocks

Pour les stocks de terre végétale et de stériles

On va utiliser une émulsion à base de chaînes hydrocarbonées qui forme une croûte superficielle plus ou moins résistante, selon la concentration du produit, en protégeant le stock traité de l'érosion éolienne. Le produit de base, mélangé à l'eau, va pénétrer et saturer le matériau à traiter.

On peut également prendre une émulsion adaptée aux zones touchées par l'érosion due au vent et qui permet la germination de graines en surface, car le produit retient l'eau. Mais l'application de ce type de traitement de surface donne une apparence plus ou moins sale, et elle dépend de la rotation des stocks.

Les stocks de matériaux commercialisables

L'épandage : on peut appliquer un traitement de surface qui va former une croûte sur le stock et éviter l'envol des particules.

Une société française commercialise un produit de laquage des stocks par brouillard fixant pour réduire l'érosion naturelle des stocks. Un appareil dépose sur la surface à traiter ce fin brouillard fixant qui va assurer une cohésion particulaire durable par polymérisation, et éviter ainsi la prise au vent.

On peut également appliquer un mélange de résine à base de polymères et d'agent mouillant. La résine capte les poussières et l'agent mouillant facilite la distribution de la résine. Ce type de produit peut donner un aspect sale au matériau. Si l'exploitant est l'utilisateur du matériau, cela ne pose pas de problèmes, puisque l'émulsion ne modifie pas les caractéristiques du produit, mais cela peut être gênant pour la commercialisation du matériau. L'application d'un tel produit va dépendre également de la rotation des stocks.

■ 9.5. Le lavage des roues

Principe

Le roulage sur les pistes ou autour des stocks, sur des sols souvent poussiéreux et/ou boueux, font que les roues des véhicules se chargent de matières diverses (sables, gravillons, boues). Les deux principaux systèmes de nettoyage des roues des engins quittant le site sont les bacs de nettoyage et les systèmes en pente. Ils fonctionnent selon deux principes, le plus efficace et le plus économe en eau étant le système en pente.



Bac de nettoyage des roues de poids lourds

Photo n° 36 (Source : GSM Saint-Fraigne)

Les bacs de nettoyage

Ce sont des bacs horizontaux équipés de traverses métalliques, avec un fond d'eau. Le roulage du camion dans l'eau élimine les particules accrochées aux pneus. Les traverses font travailler les pneus et participent ainsi à leur nettoyage.



Bac de nettoyage des roues de poids lourds

Photo n° 37 (Source : GSM Quincy)



Lavage sous pression des roues et châssis

Photo n° 38 (Source : SOCAVA St Jeoire)

Une version plus évoluée que le bac décrit précédemment est une installation de nettoyage des roues avec jets d'eau frontaux ou latéraux. Le positionnement des jets permet de laver le châssis.

Sur d'autres installations de lavage, les camions se positionnent sur des rouleaux et lâchent leurs freins. Les rouleaux tournent entraînant les roues qui sont lavées par des jets d'eau. Les roues des différents essieux sont lavées successivement ou concomitamment.



Lavage des roues par système en pente

Photo n° 39

Les systèmes en pente

Le camion roule sur une surface montante, ou en déclivité latérale, revêtue (béton ou enrobé) et arrosée, débouchant généralement sur la bascule. L'eau s'écoule en filet depuis le sommet de la pente ou bien elle est projetée par des buses positionnées sur les bords de la plateforme. L'eau s'écoule sur la plateforme en une mince pellicule, ce qui permet de nettoyer le plat du pneu ; l'ajout de jets latéraux lave les faces latérales des roues. La pente ne doit pas nécessairement être importante, mais elle doit permettre à l'eau déplacée par les roues des camions de redescendre par gravité vers le bas du système. Cette eau est alors récupérée et recyclée.

Avantages

Les bacs de nettoyage

Soit il s'agit d'un bac « passif », une simple cuvette dans laquelle les camions roulent pour débarrasser leurs roues des poussières et des boues. Ce système peut être facilement mis en œuvre, généralement avant la bascule.

Soit il s'agit de matériel plus élaboré, disponible dans le commerce, les sociétés fabriquant de tels nettoyeurs les vendant ou même les louant pour des emplois ponctuels. Les temps de lavage sont relativement courts et ils peuvent fonctionner en hiver.

Ces systèmes permettent de traiter des flux importants de véhicules. La présence de buses assure une bonne efficacité vis-à-vis des matériaux « collants ».

Les systèmes en pente

Avec ce type de système, seule la surface roulante des pneus est en contact avec l'eau, évitant de mouiller les

systèmes de freinage. Cependant, le lavage dans les dessins des pneus n'est pas toujours satisfaisant. Ce type d'aménagement a un intérêt limité aux flux modérés ou aux sites peu producteurs de poussières et de boues.

Inconvénients

Les bacs de nettoyage

Ce sont des dispositifs consommateurs d'eau, le recyclage permettant d'en économiser des quantités significatives. Lors du passage dans un bac, si le poids lourd roule un peu vite, l'eau peut déborder autour du dispositif et favoriser la formation de boues. Selon la longueur du bac et la propreté de l'eau, les roues sont plus ou moins débarrassées des particules. Si l'eau n'est pas recyclée, elle se charge en particules et ne joue plus son rôle. Le bac doit être régulièrement curé pour éliminer les boues déposées au fond.

Les systèmes en pente

Ce type d'équipement nécessite de disposer d'espace et peut représenter un investissement plus important, notamment si l'on doit aménager une pente ou si l'on pose des jets latéraux.

Recommandations

Dans chacun de ces systèmes, les eaux usées doivent être récupérées, si possible en vue d'être recyclées. Avant rejet au milieu extérieur, elles sont impérativement décantées et déshuilées et leur qualité est contrôlée.

L'accès à ces dispositifs doit être simple et rapide pour que les véhicules soient contraints de les utiliser. Il ne faut pas qu'ils puissent le contourner pour des raisons diverses (économie de temps, économie de manœuvre, etc.).

D'une façon générale, le positionnement de ces équipements se fait immédiatement en amont de la bascule, ce qui contraint les véhicules à les emprunter et permet de limiter l'encrassement de la bascule.

Les bacs de nettoyage

Ces systèmes peuvent être utilement complétés par des jets d'eau latéraux dont la pression permettra d'éliminer une fraction supplémentaire de particules sur les flancs des pneus et les châssis. Un asservissement du fonctionnement des buses au passage du véhicule permet de limiter les consommations d'eau. Les buses doivent être suffisamment ouvertes pour accepter une eau relativement chargée.

Le bac doit impérativement pouvoir être vidangé pour assurer l'efficacité du lavage.

Lorsqu'ils sont mouillés, les freins perdent de leur efficacité, au moins temporairement. Le niveau de l'eau doit donc être suffisamment bas pour éviter ce problème (une hauteur d'eau de 15 cm est suffisante pour la partie la plus sale des roues) et empêcher également que l'eau ne déborde autour du dispositif.

Les systèmes en pente

Les systèmes en pente mobilisent une longueur de piste relativement importante et peuvent être aménagés sur la piste d'évacuation.

■ 9.6. Autres mesures

Le transfert des matériaux

Les convoyeurs à bande

Dans la mesure du possible, l'utilisation de tapis transporteurs pour acheminer les matériaux abattus vers les installations de traitement doit être préférée à l'usage de tombereaux. Cette organisation peut nécessiter de placer le concasseur primaire à proximité du lieu d'extraction.

Aux points de transfert et à la jetée du convoyeur pour l'alimentation d'une machine, il faut :

- limiter la distance entre l'équipement amont et l'équipement aval, afin de limiter autant que possible la hauteur de chute des granulats. La position des sauterelles doit être tout particulièrement étudiée ;
- ajuster ou remplacer des bavettes défectueuses ou usées, réparer les goulottes usées ou percées, etc. ;
- racler, nettoyer les bandes, opérer des retournements de bande, pour éviter que des particules ne se détachent de la bande tout au long de son trajet de retour.

La circulation des engins dans l'enceinte de la carrière

Le maintien de la structure des pistes

Différentes techniques sont envisageables pour conserver les pistes en état : l'enrobage des voies permanentes, le recouvrement des pistes par des produits sablo-graveleux, le traitement de surface avec des produits chimiques (notamment des produits hygrophiles), le nettoyage et l'entretien des pistes et des voies d'accès au site et la diminution de la vitesse des camions sur les pistes permettent de limiter la formation et les envols de poussières. De plus, ces mesures réduisent les risques liés à la sécurité de la circulation.

Le revêtement des pistes de circulation

Il permet de réduire sensiblement l'émission de particules. Différentes techniques sont envisageables :

- l'enrobage des voies permanentes sur une longueur suffisante, notamment en sortie de site, ce qui évite d'exporter des poussières sur les voies publiques. Il permet également une maîtrise des niveaux sonores liés à la circulation et une moindre dégradation des véhicules. Dans la mesure du possible, la piste d'évacuation sera enrobée sur un minimum de 100 m ;
- le recouvrement des aires de circulation et de stockage avec des produits sablo-graveleux pour drainer les eaux et éviter la formation de boues (enduit gravillonné, cailloux, matériaux issus du triage des granulats comme des graviers par exemple, etc.) permet de compléter la protection.

Mesures contre l'érosion du chargement

Lors du transport, le déplacement d'air lié à la vitesse et au vent peut entraîner un envol de poussières, l'érosion du chargement.

Le chargement des véhicules sera humidifié afin de créer une surface indurée. Pour ce faire, les véhicules transportant les fractions les plus fines passeront sous un portique.

La modération de la vitesse

La maîtrise des vitesses de circulation sur les pistes permet de limiter la formation et les envols de poussières. De plus, cela contribue à la sécurité du personnel.

La vitesse pourrait être limitée à 40 km/h sur la voie d'accès au site, de 15 à 30 km/h dans l'enceinte de l'exploitation et dans la partie commerciale. Un important travail de sensibilisation des conducteurs est nécessaire, d'autant que plus une piste est plane, plus la tentation d'augmenter la vitesse est grande (RGIE - Décret du 13 février 1984).

L'usage des verses

Dans les régions montagneuses, et en particulier dans les exploitations d'éboulis, l'usage d'une verse est relativement fréquent : la gravité permet d'acheminer les matériaux jusqu'au carreau inférieur.

Ce type de fonctionnement nécessite de placer la verse dans un point aussi peu exposé au vent que possible et d'éviter d'utiliser la verse par grand vent. Mais surtout, il convient de travailler avec des verses pleines : les matériaux roulent sur les génératrices du cône préétabli et ne tombent pas directement. En complément, une humidification peut être réalisée en sommet de verse.

La gestion du traitement des matériaux

Sur certaines installations, on utilise des programmes informatiques contrôlant la quantité de matériaux arrivant dans les concasseurs. Cette gestion permet d'éviter de laisser fonctionner des concasseurs ou des cribles à vide, situation qui provoque d'importants envols de poussières.

De même, la gestion automatisée des aspersion et du dosage des additifs (mousse, agents réducteurs...) en fonction de la production permet d'optimiser l'abattage des poussières.

Le stockage et la livraison

Les opérations de stockage

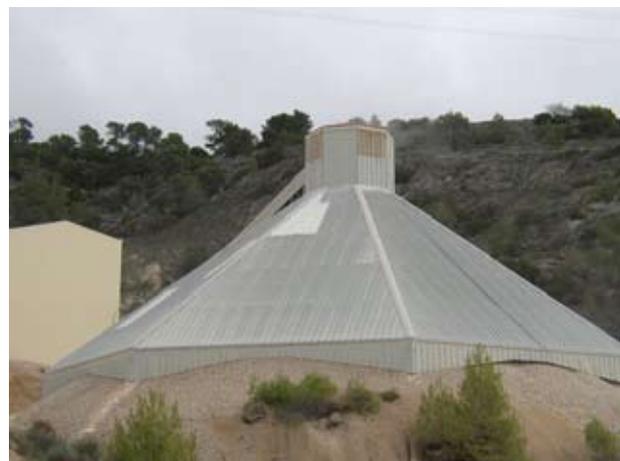
Pour le stockage des matériaux sous forme de stocks, il est recommandé d'équiper la chute des matériaux depuis les sauterelles avec un dispositif d'humidification en tête de sauterelle.

Les stocks

Les stocks de matériaux commercialisables

La remise en suspension des poussières dans l'air va dépendre du mode de stockage des produits finis, selon qu'il se fait directement au sol ou en trémies. Le stockage du sable sec dans des silos ou des trémies est la solution la plus radicale pour éviter les envols de poussières. Elle n'est possible que dans certaines conditions liées à la quantité de matériaux à stocker.

Si l'on doit conserver pendant plusieurs années dans la carrière des produits de précriblage, on peut épandre des émulsions qui laqueront les poussières.



Protection des stockages de matériaux fins

Photos n° 40 et 41

L'évacuation des matériaux hors de la carrière

La conception du plan de circulation vise à séparer, autant que faire se peut, les circulations à vocation interne (engins, tombereaux) et la circulation des véhicules de livraison. Un circuit « hors poussières » est défini pour les camions d'évacuation des productions.

Le circuit hors poussières est doté d'un sol stable et nettoyé régulièrement.

La piste d'accès à la voie publique est revêtue (enrobé, béton).

Rappelons que nous avons vu ci-dessus le bâchage des poids lourds ou l'humidification de leur chargement.

Remise en état du site

Comme pour les opérations de décapage, il est préférable, dans le cadre de la remise en état, de manipuler les terres hors des périodes de sécheresse et de vent fort.

Une remise en état qui suit de près la fin de l'exploitation permet de réduire les surfaces ouvertes et donc susceptibles d'être source d'envol de poussières.

La remise en état coordonnée peut conduire à supprimer des écrans qui doivent être reconstitués et repositionnés en fonction du risque poussière.

L'entretien des installations

L'entretien des installations par rapport aux poussières doit comprendre deux axes :

- le nettoyage des dépôts de poussières sur le site ;
- l'entretien des équipements de lutte contre les émissions.

Lorsque les vents soufflent à plus d'un mètre par seconde, l'empoussièrisme principal d'une installation mal entretenue provient, non plus des appareils eux-mêmes, mais des tas de poussières accumulés et remis en suspension par les mouvements d'air.

En l'absence de vent, cette poussière est remise en suspension par la circulation des engins et des véhicules, mais aussi par les ventilations (refroidissement de machines) et le déplacement d'air lié aux pièces en mouvement.

Pour le nettoyage, les soufflettes sont à proscrire. Elles ne font que déplacer le problème et augmenter les quantités de poussières en suspension dans l'air. Il faut utiliser soit des systèmes d'aspiration avec récupération, soit des jets d'eau, les eaux chargées étant dirigées vers un bassin de décantation.

Il est judicieux de prévoir les aménagements nécessaires à ce nettoyage en disposant de plates-formes en matériaux durs aux points les plus sensibles (dalle béton sous les installations, pistes stabilisées, bouche d'aspiration localisée de façon pratique...).

L'entretien des équipements de lutte contre les poussières est fonction des équipements mis en place. L'étanchéité des bardages et capotages doit être contrôlée et la fermeture des ouvrants doit être systématique. La maintenance des filtres doit être assurée. Les systèmes d'aspersion et de brumisation disposent de buses dont l'efficacité doit être vérifiée : une eau chargée en fines ou à forte teneur en bicarbonates risque de colmater les buses. Les systèmes utilisant des produits et additifs doivent être régulièrement réapprovisionnés. Il ne faut pas oublier l'entretien des plantations (haies arborées et couverture végétale des espaces plans).

Cet aspect est extrêmement important, car il est le garant du bon fonctionnement des dispositifs de dépoussiérage mis en place. Des mesures de prévention sont sans effet s'il n'y a pas d'entretien permanent de l'installation, comme l'exige d'ailleurs l'article 17 de l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994.

Il convient donc d'intégrer dans la gestion d'un site la nécessité de l'entretien et du nettoyage, autant dans la conception des installations que dans la répartition des tâches à accomplir.



Aspiration des poussières sous l'installation

Photo n° 42

Le devenir des poussières récupérées

Les divers systèmes de traitement des poussières conduisent à récupérer ces éléments fins pour lesquels un devenir doit être trouvé.

La première démarche consiste à rechercher un débouché commercial. Les produits fins peuvent répondre à un marché spécifique ou intervenir en mélange avec des productions classiques.

La correction des sols (amendement calcaire) est l'utilisation la plus connue. Le domaine industriel peut avoir des besoins auxquels ce type de produits peut répondre. Néanmoins, une analyse spécifique doit être conduite pour s'assurer de l'adéquation du gisement avec les besoins des industriels.

Le débouché peut également concerner le mélange des fines avec un produit commercialisé, pour autant que les caractéristiques demandées par le client ne soient pas altérées (modification de courbe granulométrique). Au-delà, les fines peuvent être mélangées avec les stériles ou les matériaux terreux, voire avec des apports d'inertes, qui sont utilisés dans le cadre de la remise en état.

Il est recommandé d'éviter de constituer des couches de matériaux fins entre le fond de forme et la terre végétale. Ces couches sont peu perméables et altèrent donc le bon drainage du sol.

■ 9.7. Recommandations pour la production de granulats fins

Dans le cadre de cette production de matériaux fins (diamètre inférieur à 3 mm), on met en place un certain nombre de dispositifs de lutte cités précédemment. Mais ces procédés seront accompagnés de moyens spécifiques contre une formation importante de poussières qui, en raison de leur faible granulométrie, ont un fort pouvoir de dispersion.

Le capotage

Ce système sera employé lors du transport des matériaux. En effet, il est impératif de prévoir la couverture du convoyeur, dès la sortie des concasseurs et sur toute la longueur de transport des matériaux produits jusqu'au lieu de stockage.

Lors de l'évacuation des matériaux hors de la carrière, le bâchage des bennes transportant les matériaux fins et du sable sec est une solution efficace et économique contre les problèmes d'envol du chargement. De façon secondaire, il permet aux produits transportés de ne pas être pollués pendant le trajet. Le transport des produits les plus fins se fait par citerne.

Le bardage

Il est conseillé de barder complètement les installations de concassage tertiaires, car elles comprennent des broyeurs produisant des matériaux de faible granulométrie. Les produits de granulométrie 0/2 ne doivent pas être stockés à l'extérieur mais dans des silos ou dans des hangars fermés.

La captation et la filtration

Pour les matériaux fins, on choisira les systèmes basés :

- sur la filtration hydraulique, en sachant que pour atteindre une efficacité satisfaisante sur des particules de faible diamètre (inférieure à 1 micron), la dépense énergétique est importante ;
- les séparateurs électriques ou électrofiltres ;
- les séparateurs à couche filtrante (filtres à manches, poches, cartouches, panneaux plissés, éléments rigides et poreux), qui permettent d'atteindre une efficacité de récupération des poussières de 99,9 %, notamment pour les très fines poussières. Les particules de diamètre inférieur à 5 microns peuvent être retenues.

Conclusions

La production d'éléments fins sur une carrière est inévitable. Les moyens techniques disponibles permettent, si ce n'est d'éliminer totalement les poussières, de maîtriser les différentes sources d'envols.

Une réflexion doit être conduite dès la conception du projet d'exploitation. Les sources de poussières sont identifiées et les sensibilités de l'environnement reconnues.

Les moyens de lutte sont définis en prenant en compte la nature des poussières à traiter (poussières colmatantes ou abrasives).

Pour les entreprises, les choix technologiques sont des enjeux forts (installation compacte en bâtiment ou installation étendue au sol). Les structures doivent prendre en compte les conséquences de l'installation d'un équipement (charpente, ergonomie).

De nombreux systèmes de lutte contre les poussières utilisent de l'eau : il faudra rechercher l'efficacité tout en économisant la ressource en eau.

Pour être efficaces, les techniques de traitement des poussières doivent être utilisées correctement : sensibiliser et former le personnel.

Les opérations d'entretien et de nettoyage régulier d'un site d'exploitation et de ses abords diminuent sensiblement les envols de poussières.

Il reste que la quantification des poussières émises est délicate au-delà des rejets canalisés qui ne représentent qu'une part des rejets des carrières. Les nombreux paramètres influant sur les résultats des mesures les rendent difficiles à interpréter. Les calculs d'incertitudes montrent les limites des mesures. On cherchera plus à comparer les résultats d'une année à l'autre ou à caractériser une tendance.

La problématique des poussières n'est pas un domaine abouti. Les entreprises d'exploitation de carrières resteront attentives aux évolutions techniques.

Bibliographie - Crédits photos



Bibliographie

ARELCO - Documentation commerciale sur les appareils CAP et CIP 10

Babel M., « La lutte contre le bruit et les poussières dans l'industrie extractive », Mines et Carrières, volume 78, juin 1996, p. 35-38

Balon P., Blanchard O., « Intégration des carrières dans leur environnement : mesure et contrôle des émissions de poussières » - Rapport de synthèse - UNPG - Ministère de l'Environnement, 55 pages, 1998

Blanchard O., « Stratégie de mesure et optimisation du contrôle de l'empoussiérage dans les carrières » - Rapport intermédiaire - UNPG - Ministère de l'Environnement, 1997

Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Alsace - Moselle (CRAMAM), « Réduction des émissions de poussières dans les installations de traitement des graviers : ballastières - gravières ». Note technique CRAMAM, n° 14, 13 pages, 1985

Campanac R., Allombert J., Delobelle T., « Granulats », Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, pages 411-441, 1990

Ciments, bétons, plâtres, chaux, n° 815, avril 1994

Collectif, « Poussières et scènes de ménage », Mines et Carrières, volume 152, octobre 2008, pages 45-59

Collectif, « Guide de l'exploitant : empoussiérage, dépoussiérage », Mines et Carrières, volume 152 - hors série, octobre 2008, 96 pages

Colloque sur la gestion des poussières dans l'industrie minière, Liège, juin 1997 - Les techniques V/97 - Mines et Carrières, 78 pages

Comité de gestion de la taxe parafiscale sur les granulats, « Contribution à l'analyse, à la prévision, aux contrôles et aux moyens de réduction des émissions de poussières en carrières », BRGM, 1989

Conseil Général de l'Isère, « Des Haies pour l'Isère », Éd. Sciences et techniques agricoles, 1997, 40 pages

Corlieu A., « Les poussières : aide à la mise en œuvre des prescriptions de l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 et aspects environnementaux » - Rapport de DESS Ressources Naturelles et Environnement, 103 pages, 1999

Normes AFNOR :

NF X 43-007 « Mesures des retombées par la méthode des plaquettes de dépôts », décembre 2008

Petitprez J-F., « De la captation au dépoussiérage », Mines et Carrières, volume 78, juin 1996, pages 51-55

Piédoue J., « Le dépoussiérage en carrières », Mines et Carrières, volume 78, juin 1996, pages 56-60

UNICEM, RGIE - Guide pratique

UNPG, « Les granulats », Dossier pédagogique réalisé dans le cadre de la Convention générale de Coopération signée entre le ministère de l'Éducation Nationale et l'UNICEM, 1997

Documentation technique des sociétés Caruelle, Dustcontrol, Mahle, Brunone & Traon

Vernières R., Piédoue J., « Il était une fois un chasseur de poussières », Mines et Carrières, juin 1994, pages 24-28

Crédits photos

Charte Environnement des industries de carrières : photos n° 1, 6, 7, 10, 19, 21, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 41, 42

ENCEN : photos n° 3, 4, 8, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 31, 34

GSM : photos n° 36, 37

LAFARGE : photos n° 9, 20, 29, 33

METSO : photo n° 27

NALCO : photo n° 35

SOCAVA : photo n° 38

UNICEM : photos n° 5, 9, 16, 23, 25, 39, 40

Wikipedia : photo n° 13