



HAL
open science

Recommandations pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors de la circulation sur pistes non revêtues

Ouardia Sediki, Erwann Rayssac, Andry Razakamanantsoa, Pascal Insenga

► To cite this version:

Ouardia Sediki, Erwann Rayssac, Andry Razakamanantsoa, Pascal Insenga. Recommandations pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors de la circulation sur pistes non revêtues. Université Gustave Eiffel, GTI7, 55p, 2021, Techniques et méthodes: guide technique, 978-2-85782-756-6. hal-03555657v2

HAL Id: hal-03555657

<https://hal.science/hal-03555657v2>

Submitted on 19 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

TECHNIQUES ET MÉTHODES

Recommandations pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors de la circulation sur pistes non revêtues



guide technique

Recommandations pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors de la circulation sur pistes non revêtues

NOVEMBRE 2021



TECHNIQUES ET MÉTHODES

Ce guide a été rédigé sous la direction de :

Andry RAZAKAMANANTSOA, Université Gustave Eiffel, Département GERS-GIE

Ont participé à la rédaction de ce guide :

Ouardia SEDIKI, Université Gustave Eiffel

Erwann RAYSSAC, Université Gustave Eiffel

Andry RAZAKAMANANTSOA, Université Gustave Eiffel

Pascal INSENGA, Vinci Construction Terrassement (UMTM / SPTF)

Les informations contenues dans ce guide sont issues de la thèse Cifre « Étude des mécanismes d'instabilité et d'envol des particules en lien avec l'hydratation des sols fins » réalisées à l'Ifsttar/Université Gustave Eiffel entre 2015 et 2018 par Ouardia SEDIKI, financée par Vinci Construction Terrassement, avec l'appui de la Fédération nationale des travaux publics (FNTP) et le Syndicat professionnel des Terrassiers de France (SPTF).

Ce guide a bénéficié des commentaires et remarques des personnes suivantes :

Benjamin DAUBILLY, UMTM (SPTF)

Laurent DESMURS, NGE (UMTM / SPTF)

Philippe GOTTELAND, FNTP

Vincent HAMONET, expert auprès de l'UMTM / SPTF

Tangi LE BORGNE, BOUYGUES TP Régions France (UMTM / SPTF)

Crédit photos de la couverture :

Université Gustave Eiffel

Comment citer cet ouvrage :

Université Gustave Eiffel, FNTP, UMTM et SPTF, Recommandations pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors de la circulation sur pistes non revêtues. Marne-la-Vallée, Université Gustave Eiffel, 2021. Techniques et méthodes, GTI7, 55 pages, ISBN 978-2-85782-756-6.

Université Gustave Eiffel

www.univ-gustave-eiffel.fr

Les collections de l'Ifsttar

techniques et méthodes – guide technique – Référence : GTI7

ISBN 978-2-85782-756-6 – ISSN 2492-5438



Cet ouvrage est mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution.

Pas d'Utilisation Commerciale – Pas de Modification 4.0 International.

Les termes de cette licence sont accessibles à l'adresse :

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Sommaire

Avertissement	5
Introduction	7
Domaine d'application	9
Termes et définitions	11
Contexte réglementaire et références normatives	13

Partie 1. Généralités sur les poussières sur les pistes non revêtues

1.1 Mécanisme de génération des poussières et facteurs d'influence	17
1.2 Sources d'envol des poussières et facteurs d'influence	18
1.2.1 Définition de l'envol.....	18
1.2.2 Facteurs d'influence de l'envol	18
1.3 Conséquences de l'envol des poussières.....	21
1.3.1 Activité anthropique avoisinante	21
1.3.2 Aspects sécuritaires.....	21
1.3.3 Sensibilité environnementale	22
1.4 Bilan.....	23

Partie 2. Estimation des besoins en eau pour le rabattement des poussières

2.1 Caractérisation du matériau du site	28
2.1.1 Dégradabilité de surface des pistes sous l'effet des cycles (DS).....	28
2.1.2 Potentiel d'envol du matériau	31
2.1.3 Détermination des besoins en eau du sol	35
2.2 Évaluation du matériel d'arrosage : détermination du $Q/S_{\text{eau-matériel}}$	38
2.2.1 Estimation du Q/S du matériel d'arrosage ($Q/S_{\text{eau-matériel}}$).....	38
2.2.2 Mesure du Q/S du matériel d'arrosage : $Q/S_{\text{eau-matériel}}$	39
2.3 Détermination du nombre de passe d'arroseuse journalier	40

Partie 3. Évaluation de l'environnement vis-à-vis de l'exposition à la poussière

3.1 Identification des milieux exposés aux poussières	43
3.2 Classification des niveaux d'exposition aux poussières	45

Partie 4. Recommandations pour la prévention de la production et de l'envol des poussières

4.1 Compactage à l'Optimum Sec	49
4.2 Optimisation de l'arrosage.....	50
4.3 Mesures liées à l'environnement proche du site.....	51
4.4 Mesures complémentaires	52
Bibliographie	53
Fiche bibliographique	54
Publication data form	55

Avertissement

Ce guide ne traite pas des périodes climatiques extrêmes (sécheresse) au cours desquelles des restrictions sur la ressource en eau peuvent contraindre la mise en œuvre des mesures de prévention de la production des poussières et les possibilités de rabattement.

Le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre doivent tenir compte de ces phénomènes pour la bonne exécution de leur chantier afin de limiter les impacts sur l'environnement proche ou garantir la sécurité (visibilité). Les conséquences de ces phénomènes sur les conditions d'exécution des marchés de travaux notamment en termes de délai d'exécution, de durée et de montant sont également à prendre en compte dans le cadre des dispositions contractuelles ou par voie d'avenant.

Introduction

Le présent guide a pour finalité l'accompagnement des professionnels du terrassement, des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre quant à la prise de décision concernant la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors des circulations des engins et véhicules sur les pistes non revêtues.

En effet, les intervenants sont parfaitement conscients de la nécessité de maîtriser les émissions de poussières, tout en maîtrisant les consommations en eau.

Le présent guide propose des démarches de qualification des conditions de circulation et de l'environnement du site, de contrôle et de prévention des émissions de poussières. Les mesures qui y sont présentées viennent en complément des règles de l'art habituellement adoptées *in situ*.

Pour faciliter son utilisation, le guide est présenté en quatre parties :

La **première** partie du guide fait le point sur les connaissances des mécanismes de production et d'envol des poussières lors des circulations sur pistes non revêtues, ainsi que leurs conséquences sur l'environnement proche du site. Les maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et responsables de travaux peuvent ainsi s'informer sur les sources des poussières et juger leurs impacts sur le site et ses alentours.

La **deuxième** partie du guide récapitule les méthodologies d'évaluation des sols et des matériels utilisés *in situ*. Les mécanismes régissant la dégradation des sols, l'envol des particules et l'affinité à l'eau des sols dépendent de propriétés qui sont identifiées et qualifiées. La méthodologie de calcul des quantités d'eau déversées par le matériel d'arrosage est également décrite. L'ensemble de ces connaissances permettent aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et responsables de travaux de se positionner sur les actions nécessaires pour prévenir l'envol des poussières et/ou permettre d'en inhiber les effets.

La **troisième** partie du guide a pour objet de définir la méthodologie d'évaluation de l'environnement proche du site vis-à-vis de son exposition à la poussière, afin d'en tenir compte dans la procédure de gestion des poussières et de l'usage de l'eau dans le site.

Enfin, la **quatrième** et dernière partie de ce guide récapitule certaines actions recommandées pour la prévention de production de poussières et de son envol, en prenant compte de l'environnement proche du site.

Domaine d'application

Le présent guide s'applique à l'exploitation des pistes non revêtues. On entend par l'exploitation des pistes non revêtues, les opérations liées à la circulation des engins et des véhicules sur celles-ci. Les engins considérés dans le présent guide sont les engins de chantier, qui représentent la cible principale de risque de production des poussières, tels que les tombereaux. Quant aux véhicules considérés, ils impliquent les véhicules d'usage, tels que les camions, camionnettes et voitures, bien que leur risque de production de poussières soit inférieur à ceux des engins de chantier.

Ce guide s'intéresse principalement aux effets de la circulation des engins et des véhicules, aux propriétés des sols et à l'environnement du site, avec pour objectif de garantir la sécurité des travailleurs et de protéger l'environnement. La protection de l'environnement traitée dans le guide concerne, d'une part, la gestion des émissions de poussières, et d'autre part, la gestion économe de l'usage de l'eau.

Compte tenu des connaissances actuelles, ce guide ne traite pas les sources d'émission de poussières suivantes :

- les poussières émises au niveau des bennes des engins lors de leur déplacement ;
- les émissions de poussières issues des opérations d'épandage et de malaxage des produits de traitement ;
- les autres activités du site émettrices de poussières tels que l'extraction, le chargement, le compactage des sols ;
- les stockages de sols, etc.

De même, ce guide n'aborde pas l'incidence des poussières sur la santé publique.

En revanche, les mesures de réduction des émissions de poussières présentées dans ce guide, contribuent, directement ou indirectement, à limiter les impacts de la poussière sur l'homme et sur l'environnement.

NB : Les données affichées dans le guide concernent uniquement les sols de classe A (GTR). Cependant, tous les sols sont susceptibles à l'envol de poussière, dont la sensibilité à l'envol et à l'eau varie suivant leur nature. Par exemple, les sols de classe B présenteront une sensibilité à l'envol et à l'eau plus faible que les sols de classe A.

Termes et définitions

Poussière : on appelle « poussière » toute particule fine, dont le diamètre est inférieur à 80 μm , susceptible d'être mise en suspension dans l'air. Les termes « fines » et « particules » sont également utilisés pour désigner les poussières dans le présent guide.

PM : Particule Matter (matière particulaire), est le diamètre aérodynamique des particules de poussières. Les instances en charge de la qualité de l'air distinguent les particules très fines PM1, PM2,5, PM4 et PM10 dont 1, 2,5, 4 et 10 sont les diamètres aérodynamiques maximaux des particules, exprimés en μm (micromètre).

Potentiel d'envol du sol (PE) : représente la capacité d'un matériau fin à s'envoler dans une condition climatique donnée.

Potentiel d'émission du sol (Pe) : est un potentiel d'envol indirect qui représente la capacité d'un matériau fin à s'envoler en fonction de son argilosité.

Dégradabilité du sol compacté (DS) : représente le potentiel de la surface du sol à s'éroder sous l'effet des cycles de passage, exprimée en g/m^2 .

Q/S eau du matériau ($Q/S_{\text{eau-matériau}}$) qualifie la propriété intrinsèque du sol vis-à-vis de l'arrosage et traduit ses capacités d'absorption par capillarité et/ou infiltration. Le « $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ » correspond à la quantité d'eau nécessaire au matériau pour limiter la dégradabilité de surface et l'envol des poussières, exprimée en L/m^2 .

Q/S eau du matériel d'arrosage ($Q/S_{\text{eau-matériel}}$) qualifie l'efficacité de l'engin d'arrosage utilisé. Le $Q/S_{\text{eau-matériel}}$ correspond à la quantité d'eau déversée sur une surface par le matériel d'arrosage pendant son passage, à une vitesse donnée, exprimée en L/m^2 .

Q/S eau journalier (Q/S_{eauj}) qualifie la quantité d'eau d'arrosage suffisante au sol pour limiter l'envol des poussières sur une journée de travail. Elle est déduite à partir de la propriété intrinsèque du sol vis-à-vis de l'arrosage, « $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ », ainsi que deux paramètres externes, l'apport d'eau généré par la rosée matinale et la perte d'eau due à l'évapotranspiration.

Zone d'exposition : est une zone proche du chantier qui contient des milieux susceptibles d'être sensibles à la poussière : zone d'habitation, zone industrielle, zone d'élevage, zone de culture, zone humide, etc.

Niveau d'exposition : est un paramètre qui qualifie l'impact humain et environnemental de la source de production des poussières sur la zone d'exposition.

Optimum sec : il s'agit d'un état de compacité du sol correspondant à une teneur en eau de compactage de $0,75 w_{\text{OPN}}$ ($0,75 \times$ teneur en eau à l'optimum Proctor) et une densité sèche maximale du sol γ_{dmax} , mesurés au Proctor Normal.

Emprise de chantier : correspond à l'emprise maximale de la zone des travaux prévue par le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux, y compris les zones de préparation du chantier, d'entreposage et de circulation des engins et véhicules.

Cycle de passage : le cycle de passage correspond à un aller/retour de la roue de l'appareil de simulation de trafic de laboratoire, soit à deux passages d'un essieu.

Zone de culture : terrains qui sont utilisés pour produire des aliments pour les hommes et les animaux d'élevage.

Zone d'élevage : terrains où vivent des animaux destinés en général à la production de nourriture, mais cela peut être également des chevaux ou poneys pour le loisir.

Zone humide : terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire, ou dont la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année.

Contexte réglementaire et références normatives

Contexte réglementaire

À la date de publication de ce guide, la principale réglementation française relative aux limitations des émissions de poussières concerne les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et non les chantiers de travaux publics.

Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent guide. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique.

- NF P94-093 : Détermination des références de compactage d'un matériau – Essai Proctor normal – Essai Proctor modifié
- NF P11-300 : Classification des sols utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme
- NF P94-050 / 049-1 et -2 : Détermination de la teneur en eau
- NF EN ISO 17892-4 – Partie 4 : Détermination de la distribution granulométrique des particules
- NF EN ISO 17892-12 Juillet 2018 – Partie 12 : Détermination des limites de liquidité et de plasticité
- NF P94-068 : Détermination de la valeur au bleu de méthylène du sol (VBS)

Ces documents sont disponibles auprès de l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

- GTR, 1992, « Guide des Terrassements Routiers : Réalisation des remblais et des couches de forme », LCPC, Ministère de l'équipement, du logement et des transports.

Ce guide est disponible auprès du Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) ou de l'Université Gustave Eiffel.

Partie 1.
Généralités sur les poussières
sur les pistes non revêtues

Ce chapitre présente l'état des connaissances actuelles, issues de la bibliographie et de l'expérience du terrain, sur les poussières émises lors des activités de terrassement sur les pistes non revêtues, dont notamment les émissions de poussières liées à la circulation des engins de chantier et des véhicules d'usage pendant les travaux. Cela comprend les actions de mouvement de terre avec le transport des sols, réalisées le plus souvent par des engins de transport et manutention tel que les « tombereaux » et les camions semi-remorques, ainsi que le déplacement des travailleurs sur chantier à bord de véhicules d'usage : camions, camionnettes et voitures.

Dans ce chapitre, des éléments de compréhension sur les phénomènes de production et d'envol des poussières sur les pistes non revêtues seront présentés. En effet, la maîtrise des poussières implique l'identification des mécanismes de production, de mise en suspension et de transport des poussières ainsi que leurs impacts sur la vie du chantier et sur l'environnement.

Le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux pourra utiliser ces informations pour organiser le chantier et définir les actions initiales à mener pour limiter les impacts des poussières sur celui-ci et son environnement.

1.1 Mécanisme de génération des poussières et facteurs d'influence

Il est admis que le poste de travail qui génère le plus de poussières sur un chantier de terrassement est attribué à la circulation des engins et plus particulièrement ceux utilisés pour le transport de sols sur le site. Les poussières sont produites lors de la dégradation du sol sous l'effet du frottement entre les roues des engins et véhicules et la surface du sol.

Le potentiel de production de poussières pendant la circulation des engins et véhicules est lié aux :

- **Propriétés du matériau** : notamment sa distribution granulométrique et sa fragmentabilité¹. Concernant la distribution granulométrique, un sol sableux par exemple est plus susceptible de se dégrader du fait de l'importance des forces de frottement générées au contact sol-roue. Quant à la fragmentabilité du matériau, elle constitue un facteur aggravant la production de fines.
- **Caractéristiques des engins et véhicules** : la dimension des pneus, les sculptures présentes sur les pneus, le poids des engins et véhicules circulant sur site. Ainsi, la surface de contact du pneu avec le sol est proportionnelle à ses dimensions, ce qui génère une augmentation des efforts de frottement, source de la production des particules fines à la surface.
- **Conditions de circulation des engins et véhicules sur site** et le nombre de passage.
- **Conditions de compactage du sol**, notamment la compacité. Un sol sous compacté est plus sensible à la dégradation.
- **L'état des pistes** : le mauvais état des pistes, notamment la présence d'ornières, accentue considérablement le potentiel de production de poussières.

1. Fragmentabilité : sensibilité d'un matériau à se fragmenter sous une sollicitation mécanique

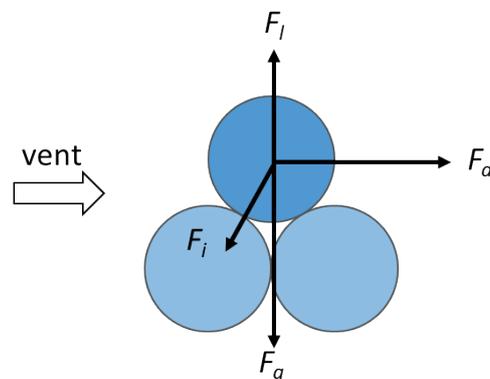
1.2 Sources d'envol des poussières et facteurs d'influence

1.2.1 Définition de l'envol

L'envol des particules de la surface du sol résulte de l'interaction entre un mouvement d'air proche de la surface du sol, avec un ensemble de particules solides de tailles variables se trouvant sur la couche supérieure de la surface.

Si l'on isole une particule de sol, sa mise en suspension dépend de la combinaison de deux types de forces agissant sur la particule : les forces stabilisantes et les forces déstabilisantes. L'équilibre entre ces forces peut donner lieu ou non à l'envol de la particule (Figure 1).

Figure 1
Forces stabilisantes et déstabilisantes exercées sur la particule fine



L'ensemble des forces déstabilisantes sont exercées par le vent, à savoir : la force de traînée aérodynamique F_d et la force de portance aérodynamique F_j . La première s'oppose au mouvement du grain dans l'air et la seconde permet au grain de s'envoler et de se maintenir en altitude. Tandis que les forces stabilisantes regroupent les forces de gravité F_g et les forces inter-particulaires F_i . Parmi ces dernières, on trouve les forces électrostatiques de Van Der Waals, les forces capillaires dues aux ponts capillaires entre les grains ainsi que les forces hygroscopiques d'adsorption.

Toutes ces forces affectent le seuil de vitesse d'envol de la particule. Ce seuil se définit par la valeur minimale de la vitesse du vent requise pour initier l'envol (*Ravi et al. 2006, Picotti et al. 2018*).

1.2.2 Facteurs d'influence de l'envol

Lors de la circulation des engins et véhicules sur pistes, la mise en suspension des poussières est principalement due à la combinaison de l'effet des déplacements des engins et véhicules, avec l'action du vent. La turbulence générée par le déplacement de l'engin ou du véhicule induit la mise en suspension des poussières préalablement produites. Par ailleurs, les passages répétitifs sur la piste non revêtue génèrent une augmentation de la finesse des poussières par attrition, ce qui augmente son potentiel d'envol.

L'envol des poussières pendant le transport est altéré par des facteurs liés à l'environnement, aux sols ainsi qu'aux types de matériel et à leurs conditions de circulation sur site. L'effet de chaque facteur est détaillé dans ce chapitre.

a) Le vent

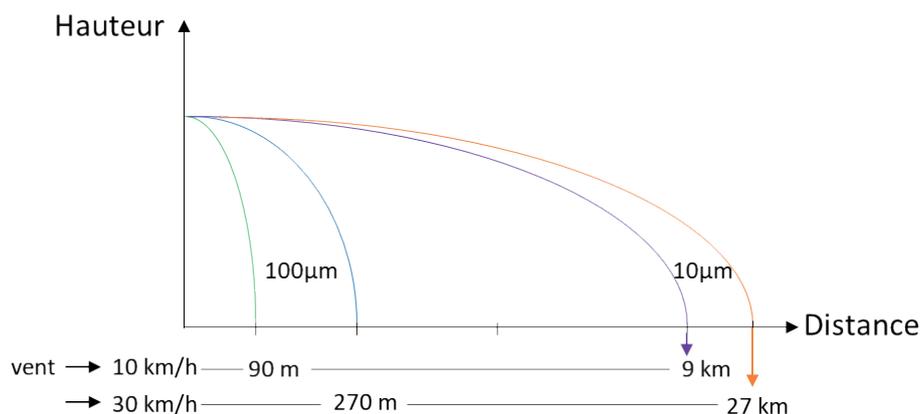
Le vent constitue le facteur principal de mise en suspension des poussières dans l'air, de leur transport et de leur dispersion. Le rôle du vent dépend de sa vitesse, sa fréquence, sa direction et de la présence ou non de turbulences.

Le vent génère :

- la dessiccation du matériau et réduit donc l'adhérence entre les particules fines ;
- la remise en suspension des particules fines déposées au sol ;
- le transport par entraînement des fines sur le site et ses alentours.

L'étude réalisée par l'ENCEM (Figure 2) donne des indications sur la distance parcourue par des particules de diamètre aérodynamique de $100\ \mu\text{m}$ et de $10\ \mu\text{m}$, tombant d'une hauteur de 9 m en fonction de la vitesse du vent (par exemple, une particule de $10\ \mu\text{m}$ parcourt 9 km avec un vent de 10 km/h).

Figure 2
Influence du vent sur la propagation des poussières (ENCEM, 2011)



La Figure 2 met en évidence l'effet de la taille des particules sur leur mise en suspension et leur transport aux alentours de la source. La distance parcourue par les particules de poussières est inversement proportionnelle à leur taille.

b) Les propriétés des sols

Les distributions granulométriques des sols, leur texture, leur état hydrique ainsi que leur état de compacité constituent des facteurs pouvant agir sur la mise en suspension dans l'air de sa fraction fine.

Comme expliqué précédemment, la mise en suspension d'un sol et son transport dépendent de la taille des particules. Ainsi, la finesse du sol favorise sa mise en suspension dans l'air et diminue son potentiel de sédimentation.

Au-delà de la taille, la mise en suspension des particules du sol dépend également de leurs poids. Comme cité plus haut, pour que la particule puisse être mise en suspension,

il est nécessaire que la force de portance soit supérieure à la force de gravité de la particule considérée.

Par ailleurs, la texture externe du sol peut modifier ses conditions de mise en suspension. La texture du sol peut être qualifiée par sa rugosité.

L'état hydrique du sol peut également changer ses caractéristiques de taille, de texture et de poids. L'humidification d'un sol sec génère la création d'agrégats de sol à partir de l'assemblage de plusieurs particules fines. Par conséquent, l'agrégat a une taille et un poids plus importants et une texture qui évolue. Il est ainsi moins susceptible de s'envoler.

La forme des poussières est également un facteur d'influence de la mise en suspension des particules fines. Elle peut favoriser et/ou diminuer la vitesse de sédimentation des particules : une particule de forme aplatie (particules d'argile) progresse plus lentement qu'une particule sphérique lors de sa sédimentation. Le paramètre qui permet de caractériser la taille des particules de poussières est le diamètre aérodynamique (Particle Matter en anglais, PM).

c) Les matériels de chantier et les conditions de circulation

La turbulence générée par l'engin ou le véhicule en déplacement est intimement liée aux conditions de circulation, de passage et à ses dimensions. Par exemple, la turbulence générée par un tombereau est plus importante que celle générée par une voiture d'usage. Par conséquent, l'envol des poussières sera plus accentué lors du passage d'un tombereau.

d) Le climat

Lors d'un chantier de terrassement, la mise en suspension des particules fines dépendra du climat qui y règne à chaque étape des travaux.

Par exemple, un phénomène de sécheresse se traduit par une diminution de l'humidité relative et crée une condition favorable à la mise en suspension des particules fines produites par chaque poste de travail.

En revanche, les précipitations se traduisent par l'augmentation de l'humidité relative. Ce phénomène atténue la possibilité de mise en suspension des particules. La présence de gouttes d'eau, issues des précipitations, permet d'agglomérer les particules, donnant lieu à une diminution de la concentration des poussières dans l'air.

Par ailleurs, l'ensoleillement peut provoquer un mouvement ascendant d'air chaud par vent faible. Ce mouvement contribue à l'entraînement des particules fines.

e) La configuration du site

La configuration du site peut influencer la condition de dispersion des poussières aux alentours du site. L'influence des facteurs géographiques peut être résumé comme suit :

- Implantation géographique du site : par exemple, les régions du sud et du sud-est de la France, qui ont un climat sec et venteux, sont favorables à l'émission des poussières.
- La topographie : un site qui présente une topographie très variable pourrait présenter des secteurs protégés du vent et des secteurs exposés au vent, avec des potentiels d'émission très différents.

- La couverture végétale environnante : un rideau de plantes près du site limite la dispersion rapide des poussières. En revanche, la présence d'ouvertures étroites peut canaliser et renforcer les vents, favorisant la dispersion des poussières.

1.3 Conséquences de l'envol des poussières

En cours de travaux, l'envol des poussières est un paramètre susceptible de générer des nuisances sur l'activité humaine avoisinante ainsi que sur son environnement géographique.

L'impact de l'envol des poussières lors des travaux est proportionnel à :

- l'activité humaine présente sur le site et ses alentours ;
- la sensibilité environnementale aux alentours du site ;
- la nature et l'importance des travaux à réaliser.

1.3.1 Activité anthropique avoisinante

L'impact de l'envol de poussière est fortement lié à la perception de chaque riverain. Il se traduit en général par le dépôt de particules sur le paysage environnant du site, notamment sur le sol, la végétation, les façades ou les toits. Par ailleurs, la tolérance vis-à-vis de cette nuisance sera également différente suivant la sensibilité de l'activité humaine avoisinante, comme par exemple des prairies cultivées, des industries sensibles ou des activités de service.

Une meilleure gestion des émissions de poussière lors de travaux de terrassement peut permettre de réduire significativement les nuisances sur le site et ses alentours. Si les mesures de protection des personnels présents sur le site sont définies dans le PPSPS (Plan Particulier en matière de Sécurité et de Protection de la Santé) du projet, en revanche, la présence d'activité humaine à l'extérieur du site n'est pas prise en compte et n'est soumise à aucun texte réglementaire. L'activité anthropique devra donc être appréciée par le maître d'ouvrage lors de l'étude de son projet.

Par ailleurs, l'impact sur l'activité humaine peut évoluer plus ou moins favorablement en fonction de nombreux facteurs, notamment climatologiques. Des épisodes de pluie peuvent lessiver le dépôt de poussière, en réduisant l'impact. *A contrario*, des épisodes de sécheresse vont augmenter cet impact.

1.3.2 Aspects sécuritaires

L'émission des particules fines dans l'air génère un nuage de poussières plus ou moins dense selon leurs concentrations. Ce nuage peut réduire la visibilité des conducteurs circulant aux abords du site et ainsi être une source d'insécurité. Par exemple, la visibilité passe de 500 à 150 m lorsque la concentration des particules fines dans l'air varie de 1 à 200 mg/m³ (ENCEN, 2011).

Figure 3
Envol des poussières suite au passage d'un tombereau



Crédit photo : Université Gustave Eiffel

La présence d'eau, sous l'effet des précipitations ou d'un arrosage trop intensif des pistes, peut également être une source d'insécurité sur le site, par la formation de boues à la surface des pistes. Ces boues altèrent l'adhérence entre le véhicule et la surface de sol, ce qui peut être source d'accidents. La Figure 4 montre un exemple de la conséquence d'un sur-arrosage des pistes.

Figure 4
Flaques d'eau formées suite à un sur-arrosage de la piste



Crédit photos : Université Gustave Eiffel

1.3.3 Sensibilité environnementale

L'envol des poussières présente un impact potentiel sur l'environnement géographique et hydraulique autour du site.

Le maître d'ouvrage doit donc évaluer l'impact de dépôt de poussières sur les zones sensibles présentes aux alentours du site, par des dépôts de poussière (impact direct) ou dans les eaux de ruissellement (impact indirect). Des dépôts de poussières importants peuvent par exemple potentiellement modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et conduire notamment à une modification du pH et de l'alcalinité ou altérer la croissance des cultures.

1.4 Bilan

Le *Tableau 1* présente l'inventaire des sources principales de production et d'envol des poussières, les facteurs d'influence environnementaux, ainsi que les paramètres d'influence liés au matériau, au site ou aux travaux lors de l'exploitation de pistes non revêtues.

Tableau 1
Bilan de l'impact des poussières produites lors de l'exploitation de pistes non revêtues

	Mécanismes	Paramètres d'influence		Risques potentiels
		Liés au matériau et au site	Liés aux travaux	
Source de production	<ul style="list-style-type: none"> Attrition lors du compactage Dégradation au contact roue/sol Dégradation inter-agglomérats (Effritement) 	<ul style="list-style-type: none"> Nature du matériau : granulométrie, composition minéralogique État hydrique du matériau Conditions météorologiques : humidité relative de l'air, température, ensoleillement 	<ul style="list-style-type: none"> Conditions de compactage du matériau Modification de l'état hydrique du matériau Conditions de circulation et nombre de passage des engins et véhicules Caractéristiques des engins et véhicules 	<ul style="list-style-type: none"> Baisse de la visibilité sur chantier Dépôt de poussières dans l'environnement humain Pollution des espaces naturels
Source d'envol	<ul style="list-style-type: none"> Vent Circulation des engins et véhicules 	<ul style="list-style-type: none"> Masse volumique des sols Nature du matériau : granulométrie, composition minéralogique État hydrique du matériau Conditions météorologiques : humidité relative de l'air, température, ensoleillement, vent 	<ul style="list-style-type: none"> Taille des agglomérats État hydrique du matériau Conditions de circulation et fréquences de passage des engins et véhicules 	

Partie 2.
**Estimation des besoins en eau
pour le rabattement des poussières**

À ce jour, le rabattement des poussières est essentiellement obtenu par l'arrosage des pistes. Les besoins en eau constituent un enjeu majeur pour le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux. L'objectif de ce chapitre consiste à décrire une démarche méthodologique permettant de disposer d'informations suffisantes pour comprendre et maîtriser les émissions de poussières tout en limitant la consommation d'eau.

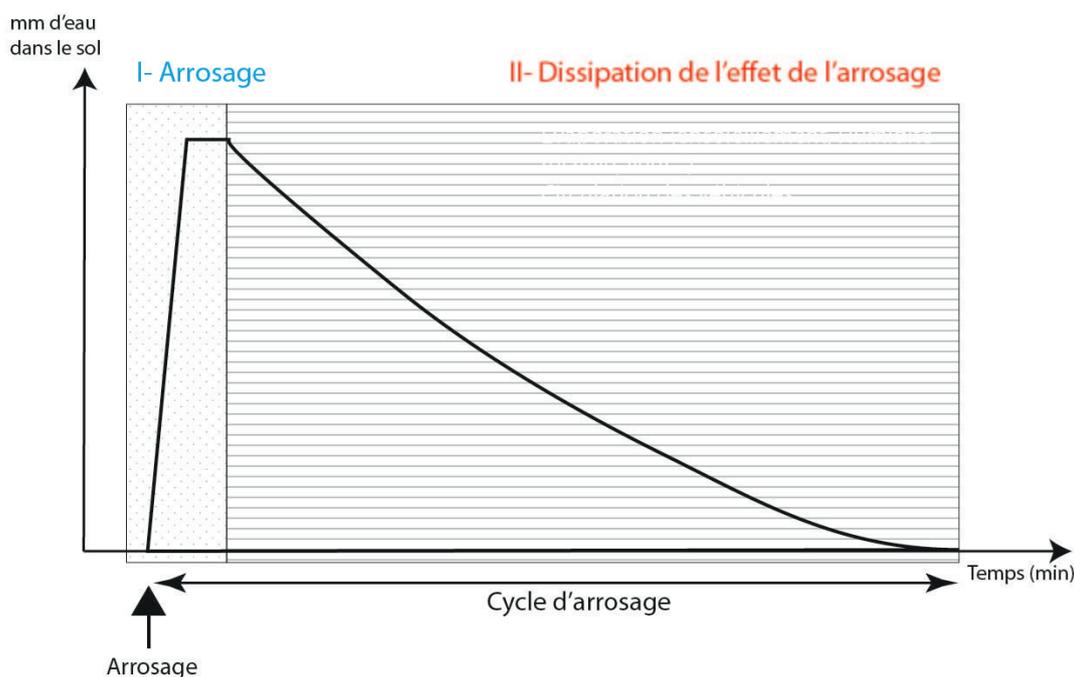
La maîtrise des émissions de poussières et donc de l'eau, nécessite de disposer de la connaissance fine du matériau du site et des moyens mis en œuvre pour en réduire l'impact, en particulier le matériel d'arrosage. Au cours d'une journée de travail, la gestion de l'arrosage implique également de connaître les sollicitations environnementales sur le chantier sur le matériau. Ces sollicitations vont contribuer aussi bien à un apport en eau qu'à un départ d'eau par évaporation. Les sollicitations environnementales peuvent être d'ordre naturel (vent, ensoleillement, température, humidité relative, rosée) ou anthropiques (circulation des véhicules).

L'arrosage d'une piste consiste à apporter au sol une quantité d'eau suffisante qui va permettre de réduire significativement l'envol des particules, tout en évitant l'excès d'eau par ruissellement. Mais cet excès en eau peut aussi contribuer à l'amplification du mécanisme de détérioration des pistes.

La figure 5 présente un schéma qui décrit le mécanisme d'évolution de la quantité d'eau dans le sol après un passage d'arroseuse. L'évolution de la quantité d'eau retenue dans le sol s'effectue en deux phases bien distinctes. Une première phase où un apport d'eau suffisant permet de compenser la capacité d'absorption en eau du sol en place. Et une seconde phase où l'effet d'arrosage est dissipé par les conditions météorologiques du site. Ce mécanisme de dissipation dépendra aussi des conditions de trafic.

Compte tenu de l'ensemble des mécanismes présentés, il peut être nécessaire d'ajuster le nombre de cycle d'arrosage en fonction des conditions météorologiques du site et des conditions de trafic du chantier, pour tenir compte des phénomènes d'atténuation de l'effet de l'arrosage.

Figure 5
Schéma du mécanisme d'évolution de la quantité d'eau à la surface du sol au cours du temps



Ce chapitre présente les principaux moyens connus pour analyser le comportement d'un sol lors de l'arrosage (Zone I de la Figure 5). La connaissance de l'atténuation de l'arrosage dans le temps (Zone II de la Figure 5) demandera des études ultérieures et devrait permettre, dans le futur, de déterminer avec plus de précision les cycles d'arrosage nécessaires en fonction des caractéristiques du site.

La démarche méthodologique présentée consiste à déterminer les propriétés du matériau et les caractéristiques des dispositifs d'arrosage. Deux méthodes d'évaluation sont proposées. La première s'appuie sur des abaques prédéfinis, et la deuxième se base sur les essais à mettre en œuvre en laboratoire ou sur site. Les abaques d'estimation des propriétés des sols sont issus soit de résultats d'expérimentation en laboratoire, réalisés sur cinq sols fins non évolutifs, de classe géotechnique A1, A2 ou A3, soit de données opérationnelles issues des chantiers.

Dans un second temps, la propriété du matériau et les caractéristiques du matériel sont qualifiés en utilisant des indicateurs, permettant ainsi au maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux de prendre des décisions quant à la mise en place et au déclenchement des actions limitatrices de l'envol des poussières.

Notons que, si le chantier présente plusieurs sols dominants sur l'ensemble du site des travaux, les études du matériau et les recommandations sur la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau seront à considérer pour chaque matériau.

2.1 Caractérisation du matériau du site

L'évaluation d'un matériau consiste à déterminer la dégradabilité de surface (DS), son potentiel d'envol (PE) ainsi que son affinité à l'eau ($Q/S_{\text{eau-matériau}}$). La connaissance de ces trois propriétés permettra au maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux de mettre en place d'éventuelles mesures préventives avant le début des travaux et de prévoir les procédures de prévention pendant la durée du chantier, notamment anticiper les quantités d'eau d'arrosage journalières nécessaires au matériau en fonction de son affinité à l'eau.

2.1.1 Dégradabilité de surface des pistes sous l'effet des cycles (DS)

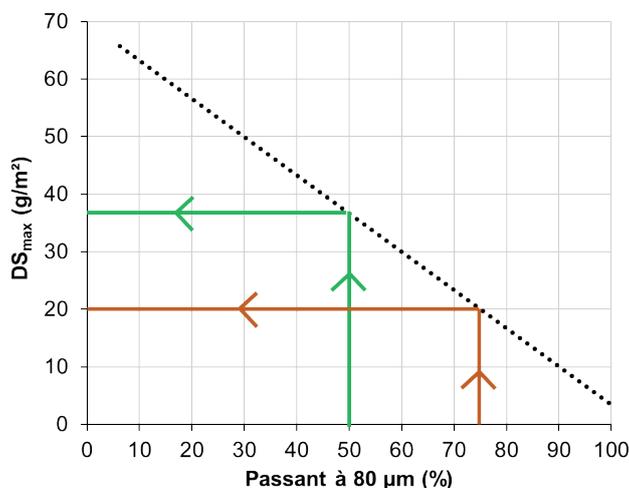
L'évaluation de la dégradation des pistes consistent à quantifier la dégradabilité de surface d'un sol compacté sous l'effet des cycles de roulement. Cette dégradabilité peut être estimée à partir d'un abaque ou mesurée en laboratoire. La combinaison des résultats de laboratoire avec les paramètres de circulation sur site permet d'évaluer la dégradabilité de surface du sol sur le site. La connaissance de la dégradabilité de surface du sol permettra de proposer les actions à mener pour réduire la production de poussières sur les pistes.

a) Estimation de la dégradabilité de surface maximale

Le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux a la possibilité d'estimer la dégradabilité de surface maximale, noté DS_{max} , des pistes à partir des caractéristiques granulométriques du matériau. Cette estimation est réalisée avec l'abaque de la Figure 6, en utilisant les résultats du passant à $80 \mu\text{m}$.

Les valeurs de dégradabilité de surface maximale représentées sont issues des essais de laboratoire, qui sont obtenus sous 10^5 cycles, sur un sol compacté à $w = 0.75w_{\text{OPN}}$ et γ_{dmax} .

Figure 6
Abaque d'estimation de DS_{max} à partir du passant à $80 \mu m$ du matériau



L'abaque de la *Figure 6* montre que la surface du sol est davantage dégradée lorsque le sol présente une fraction granulaire importante. Par exemple, un matériau dont le passant à $80 \mu m$ est de 50 % présente une dégradabilité de surface maximale de 37 g/m^2 (flèche verte), tandis qu'un matériau dont le passant à $80 \mu m$ est de 75 %, sa dégradabilité maximale est de 20 g/m^2 (flèche orange).

Notons que l'abaque de la *Figure 6* permet uniquement d'estimer la dégradabilité sous 10^5 cycles. Des mesures spécifiques doivent donc être privilégiées pour une qualification plus précise, notamment pour un nombre de passages spécifique.

NB : Les limites de l'abaque représentent les résultats de cinq sols fins non évolutifs de catégorie géotechnique « A ». Cet abaque peut, éventuellement, être amélioré en intégrant les données d'autres sols, et notamment de classes géotechniques différentes.

b) Mesure de la dégradabilité de surface au laboratoire

La mesure de la dégradabilité du matériau est réalisée au laboratoire en soumettant un sol compacté à des cycles de roulement. L'éprouvette testée est compactée au laboratoire à l'aide d'un compacteur roulant de laboratoire (cf. *Figure 7*). Cette éprouvette est ensuite soumise à des cycles de roulement à l'aide d'un simulateur de trafic de laboratoire (*Figure 8*) afin d'étudier son mécanisme de dégradation de la surface au contact sol/pneu.

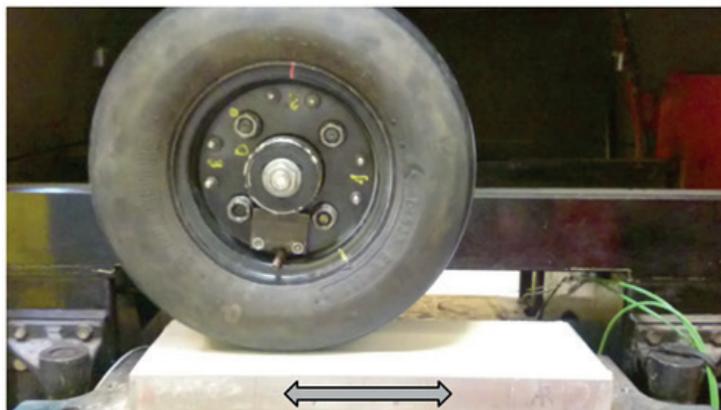
Figure 7
Compacteur roulant de laboratoire



Crédit photo : Université Gustave Eiffel

L'essai de dégradation sous cycles consiste à soumettre l'éprouvette de sol à 100 000 cycles, et à suivre l'évolution de la dégradation à la surface. Notons qu'un cycle de roulement représente un aller/retour de la roue sur la surface du sol. La dégradabilité est quantifiée par pesage des particules fines collectées à la surface des éprouvettes.

Figure 8
Simulateur de trafic de laboratoire



Crédit photo : Université Gustave Eiffel

La dégradabilité de surface est liée aux propriétés intrinsèques du sol (masse humide des particules, poids volumique des particules), aux caractéristiques de mise en œuvre (teneur en eau, poids volumique sec de l'éprouvette) ainsi qu'aux caractéristiques de la surface sollicitée (surface). Elle est calculée selon l'équation (1) :

$$DS = \frac{m_h}{(1+w)S_{\text{soll}}} \times \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \quad (1)$$

Avec :

DS : dégradabilité de surface (g/m²)

w : teneur en eau du sol (valeur comprise entre 0 et 1)

m_h : masse humide des particules dégradées (g)

S_{soll} : surface sollicitée de l'éprouvette (m²)

γ_d : poids volumique sec de l'éprouvette (kN/m³)

γ_s : poids volumique des particules solides du sol (kN/m³)

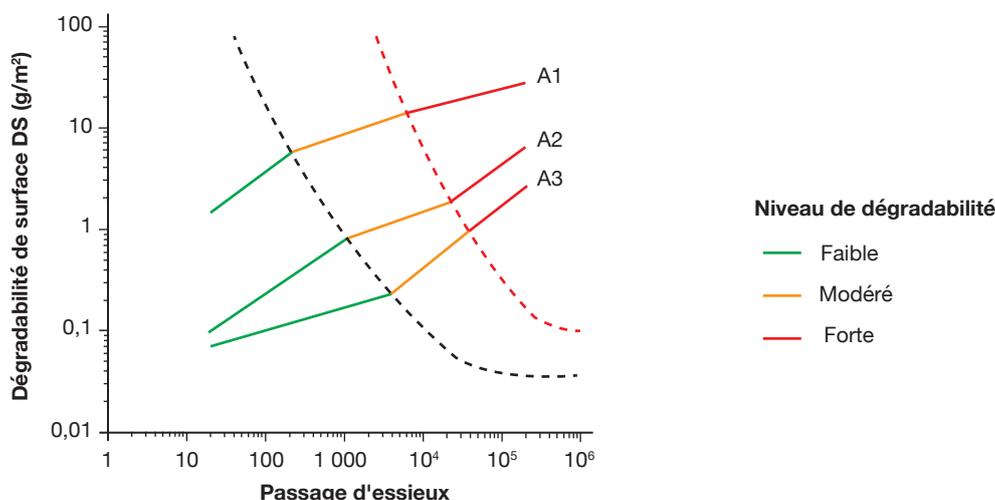
La dégradabilité de surface est calculée au fur et à mesure des cycles, et une dégradabilité maximale DS_{max} est définie à 100 000 cycles de roulement.

c) Qualification de la dégradabilité de surface

La qualification de la dégradabilité de surface est obtenue en reportant sur la Figure 9 la valeur estimée ou calculée de DS et le nombre de passage d'essieu prévu sur le chantier.

Lorsque la mesure de la dégradabilité de surface (DS) n'est pas possible, elle peut être déduite et qualifiée en croisant le nombre de passage d'essieu prévu sur site avec les courbes caractérisant le comportement de 3 classes de sol type.

Figure 9
Abaque de dégradabilité de surface



L'évolution de la dégradabilité peut être divisée en trois phases, tel que :

Phase I : la dégradabilité du sol est faible. Cette phase est également appelée phase transitoire dans laquelle le frottement entre la roue et la surface du sol se met en place.

Phase II : la dégradabilité est modérée. La surface du sol a un comportement élastique du à l'intensification des frottements sous l'effet des cycles répétés. Aux frottements du contact sol/roue s'ajoutent les frottements entre les agrégats de sol proches de la surface.

Phase III : phase de rupture pour laquelle le matériau présente une forte dégradabilité à sa surface. Elle représente l'état de dégradation avancé de la surface du sol généré par les frottements dus conjointement aux contacts sol/roue et sol/sol en profondeur.

La Figure 9 montre ainsi l'influence de la classe géotechnique du sol dans son potentiel de dégradation de surface. En effet, par exemple, les sols de classe A1 présentent une dégradation importante dès les premiers passages d'essieux. La transition des phases de dégradabilité est également plus précoce par rapport aux autres sols. Cette démarche permet ainsi d'avoir davantage de latitude lors de la mise en œuvre *in situ* ou pour la gestion de la production de poussières pendant les travaux. Les recommandations à adopter pour chaque cas sont détaillées dans la partie 4.

Cet abaque met en évidence l'influence de la nature du sol et du trafic sur la production de poussières. Pour un matériau donné, le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux pourra connaître les conditions optimales pour limiter la production de poussière.

2.1.2 Potentiel d'envol du matériau

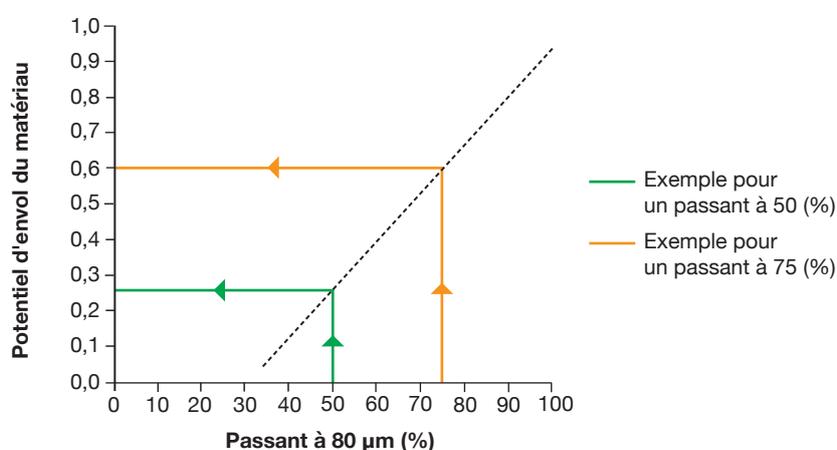
Ce chapitre présente la méthode de détermination du potentiel d'envol d'un matériau et en propose une qualification. Le potentiel d'envol d'un sol peut être soit estimé en utilisant un abaque, soit déterminé en laboratoire. À partir des résultats, le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux pourra mettre en place les actions nécessaires à la prévention et à l'inhibition de l'envol des poussières.

a) Estimation du potentiel d'envol du matériau

Le potentiel d'envol du matériau peut être estimé à partir du passant à 80 μm du matériau du site. La Figure 10 montre l'abaque d'estimation du potentiel d'envol d'un matériau.

Les résultats de l'abaque sont issus d'une étude paramétrique sur les facteurs qui peuvent influencer le potentiel d'envol du matériau. L'étude a été réalisée au laboratoire sur cinq sols fins non évolutifs. Les facteurs d'étude considérés sont : le passant à 80 μm et la V_{BS} du matériau. Les résultats ont montré que le potentiel d'envol du matériau est proportionnel au passant à 80 μm (Figure 10), et est intimement lié à l'argilosité du sol (cf. paragraphe b).

Figure 10
Abaque d'estimation du potentiel d'envol du matériau



L'abaque de la Figure 10 montre que le potentiel d'envol du matériau augmente avec l'augmentation de la fraction fine dans le sol. Par exemple, un sol qui contient 50 % de fraction inférieure à 80 μm présente un potentiel d'envol de 0,27 (flèche verte), tandis qu'un sol dont le passant à 80 μm est de 75 %, présente un potentiel d'envol de 0,6 soit deux fois plus important (flèche orange). L'utilisation de cet abaque doit permettre au maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux de disposer rapidement d'une valeur de potentiel d'envol du matériau du site pour prévoir les actions à mener.

Des mesures spécifiques doivent cependant être privilégiées pour une qualification plus précise.

b) Mesure du potentiel d'envol indirect du matériau ou potentiel d'émission

La caractérisation des propriétés d'envol du matériau consiste à étudier son potentiel à être mis en suspension dans l'air dans des conditions environnementales données.

La mesure du potentiel d'émission d'un matériau consiste à mettre en suspension dans l'air une quantité de matériau fin sec, et de mesurer l'atténuation de la visibilité, due au nuage de poussière créé, ainsi que l'évolution des concentrations massiques des poussières émises.

Cet essai peut être réalisé au laboratoire ou *in situ*, avant ou pendant les travaux. Cependant, sa réalisation nécessite de respecter certaines recommandations :

- L'essai doit être réalisé dans un environnement non-confiné (à ciel ouvert).

- Le dispositif doit comprendre un appareil de génération de flux d'air (souffleur par exemple), une enceinte pour poser le matériau à l'intérieur, un appareil de mesure de la visibilité, un appareil de mesure des concentrations massiques des poussières ainsi qu'un appareil de mesure de l'humidité relative.
- L'enceinte dans laquelle le matériau est posé doit avoir deux ouvertures, l'une pour injecter le flux d'air et l'autre pour générer le nuage de particules dans l'air. Ces ouvertures ne doivent pas être sur le même axe.
- Le flux d'air généré est dans un régime turbulent ($Re > 2\ 000$), avec une vitesse d'écoulement qui doit dépasser la vitesse du vent externe pour éliminer l'effet de ce dernier.
- L'essai est réalisé sur au moins trois quantités de sol de masse comprise entre 50 et 250 g. Les sols sont séchés à l'étuve à 50 °C pendant 48 h et sont tamisés au préalable à 2 mm.
- La distance entre la sortie du nuage de poussières et l'appareil de mesure de visibilité et de concentrations est suffisante pour considérer le cas le plus défavorable du nuage de poussières.
- L'appareil de mesure de l'humidité relative est placé à proximité de la zone de mesure, dans un endroit non ombré et non influencé par le nuage de poussières émis.
- La fin de l'essai est déterminée par une stabilisation de la valeur de la visibilité et des concentrations massiques mesurées.

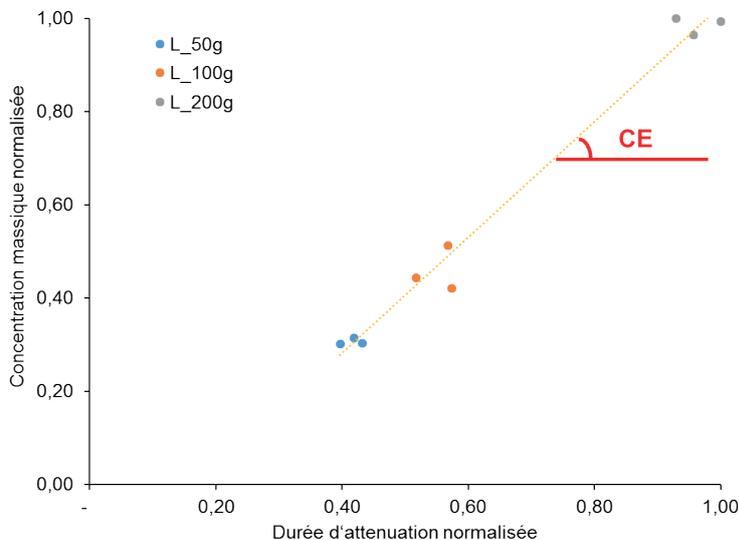
L'un des procédés de détermination du potentiel d'émission d'un matériau est décrit ci-dessous :

- Préparer au moins trois quantités différentes du matériau sec pulvérulent dont le diamètre maximal est de 2 mm.
- Poser l'échantillon de sol dans l'enceinte, puis générer un flux d'air permettant de mettre les poussières en vol.
- Mesurer les concentrations massiques dans l'air ainsi que l'atténuation de la visibilité au droit du nuage de poussières.
- Mesurer en parallèle l'humidité relative dans l'air.

À partir des différentes mesures, deux coefficients sont déterminés :

Le coefficient d'émission CE : qui caractérise de manière générale, pour le matériau considéré, sa capacité à émettre des particules lorsqu'il est sollicité, notamment par les passages des engins et véhicules sur site. Il est déduit à partir des mesures normalisées de concentrations massiques maximales des poussières et de la durée d'atténuation de la visibilité, réalisées pour chaque masse testée. La durée d'atténuation de la visibilité correspond au temps nécessaire à la visibilité pour qu'elle revienne à sa valeur initiale mesurée avant l'essai d'envol. Les valeurs sont normalisées par rapport aux valeurs maximales déduites sur la totalité des masses testées. Le coefficient d'émission propre au matériau est ainsi la pente de la courbe qui relie les concentrations maximales normalisées en fonction des durées d'atténuation normalisées (voir exemple en *Figure 11*).

Figure 11
Exemple pour la détermination du coefficient d'émission



Le potentiel d'émission Pe : qui caractérise la capacité du sol à émettre des poussières, en lien avec l'argilosité du sol, quantifiée par la V_{BS} . La relation qui lie le potentiel d'envol, le coefficient d'émission propre au sol et la V_{BS} du sol est donnée par l'équation (2).

$$Pe = \frac{CE}{V_{BS}} \quad (2)$$

CE : pente de la courbe qui relie la concentration maximale normalisée en fonction de la durée d'atténuation normalisée de la visibilité pendant l'envol.

V_{BS} : valeur au bleu du sol.

À partir de la valeur du potentiel d'émission (ou potentiel d'envol indirect), il est possible de qualifier la capacité du sol à émettre des poussières en fonction de son argilosité.

c) Qualification du potentiel d'envol des sols

La valeur du potentiel d'envol estimée ou mesurée est ensuite reportée sur l'abaque de la Figure 12 afin d'être qualifié.

Figure 12
Qualification du potentiel d'envol du sol du site



La classification du sol permet au maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux de prédire le comportement du sol du site à l'envol, et de prévoir les mesures nécessaires pour l'inhibition de l'envol, telles que détaillées dans la partie 4 de ce guide.

NB : Rappelons que les valeurs intermédiaires sont déduites des essais réalisés au laboratoire sur cinq sols fins non évolutifs, appartenant à la classe géotechnique A.

2.1.3 Détermination des besoins en eau du sol

Les besoins en eau du sol correspondent au $Q/S_{\text{eau-matériau}}$. Le $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ est la quantité d'eau instantanée nécessaire et suffisante à apporter à une surface de piste pour limiter l'envol des poussières et atténuer l'impact de l'arrosage sur la dégradabilité de surface de l'ouvrage. Le $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ est un paramètre fondamental pour l'optimisation de l'arrosage de pistes non revêtues.

Au regard de l'état de connaissance actuelle, le $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ instantané permet de connaître le seuil minimal de volume d'eau requis pour humidifier le sol. Cependant, ce volume d'eau ne prend pas en compte le temps d'atténuation de l'effet de l'arrosage dans le temps en fonction des conditions météorologiques et des conditions de circulation propre au chantier (Figure 5).

Le Q/S_{eauJ} « journalier » désigne la quantité d'eau nécessaire et suffisante pour maîtriser l'envol des poussières pour une journée de travail. Pour déterminer le Q/S_{eauJ} , il faut donc prendre en compte :

- les propriétés du matériau, c'est le Q/S du matériau ou $Q/S_{\text{eau-matériau}}$;
- les caractéristiques environnementales du site, dont la rosée matinale (R) et la perte en eau résultant de l'évapotranspiration (ET).

Le Q/S_{eauJ} est calculé selon l'équation (3).

$$Q/S_{\text{eauJ}} = Q/S_{\text{eau-matériau}} - R + ET \quad (3)$$

Avec :

$Q/S_{\text{eau-matériau}}$: affinité à l'eau du matériau (L/m^2).

R : Rosée matinale (L/m^2)

ET : Évapotranspiration (L/m^2)

Pour la France métropolitaine, les valeurs moyennes journalières de rosée matinale (R) et d'évapotranspiration (ET), respectivement, sont estimées respectivement à 0,5 mm d'eau (R), et 2 mm d'eau (ET).

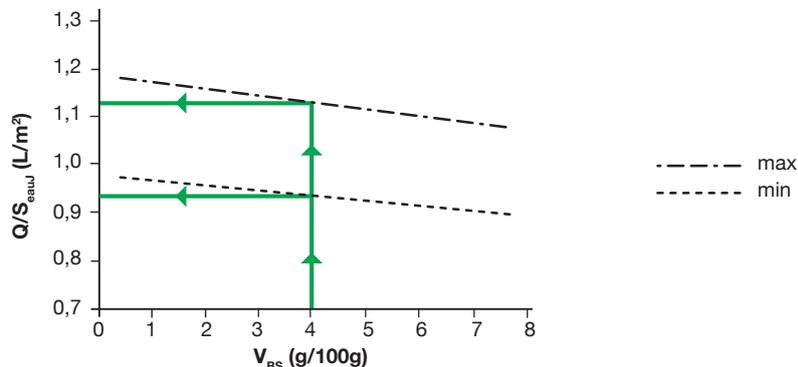
Si l'atténuation de l'effet de l'arrosage (séchage) est négligée, le Q/S_{eauJ} journalier correspond au $Q/S_{\text{eau-matériau}}$.

Le $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ peut être déterminé à partir de la mesure de la capacité d'absorption en eau du matériau en laboratoire. À défaut, $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ peut être estimé à partir de l'activité argileuse du matériau (VBS). Les méthodes d'estimation et de mesure du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ sont décrites en détail ci-dessous. Les résultats permettent au maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux de se positionner sur les actions à prévoir.

a) Estimation du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$

L'estimation du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ est obtenue en se basant sur l'argilosité du matériau, représentée par la Valeur au Bleu du Sol (V_{BS}), tel que montré dans la Figure 13.

Figure 13
Abaque d'estimation du Q/S_{eauj} journalier

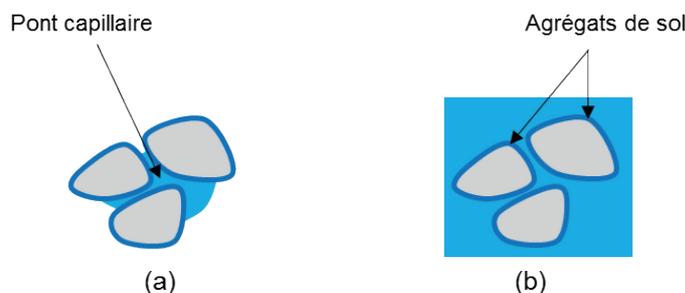


La Figure 13 montre deux courbes de corrélation entre le Q/S eau, appelées « min » et « max » qui ont été construites à partir de données issues de l'expérience des terrassiers. Sur les chantiers, il est admis que les sols nécessitent en moyenne un apport entre 5 et 10 mm d'eau par jour :

La courbe « min » représente les quantités d'eau minimales dont le sol a besoin pour un maintien ponctuel des particules de poussières à la surface du sol. À l'échelle microscopique, cela correspond à un sol composé d'agrégats de sol maintenus entre eux par des ponts capillaires stabilisants (Figure 14a)

La courbe « max » correspond aux quantités maximales, avant ruissellement, nécessaires au sol pour assurer une stabilité durable des particules de poussières à la surface du sol avant le prochain arrosage. À l'échelle microscopique, cela correspond à une infiltration gravitaire du sol (Figure 14b)

Figure 14
Représentation schématique des agrégats correspondants aux courbes (a) min et (b) max



Aux valeurs de capillarité et d'infiltration, s'ajoutent les quantités d'eau apportées et/ou perdues par la rosée matinale et l'évapotranspiration, respectivement. Ces valeurs sont déjà intégrées dans les valeurs représentées dans la Figure 13. Par ailleurs, la pluie peut également être considérée comme un facteur d'influence favorable à l'économie des quantités d'eau d'arrosage. En revanche, les données disponibles actuellement ne permettent pas de les prendre en compte dans le présent guide.

Le fuseau formé par ces deux courbes définit des valeurs qui correspondent à la quantité d'eau nécessaire au matériau du site pour une journée de chantier.

Dans l'exemple de la Figure 13, un matériau de V_{BS} 4, nécessite un apport d'eau entre 0,92 et 1,12 L/m² pour inhiber l'envol de la poussière. En dessous de 0,92, le passage des engins génère le nuage de poussière, au-dessus de 1,12, le matériau est saturé et devient boueux.

Rappelons que les limites de l'abaque sont données de manière informative selon les matériaux testés à ce jour. D'autres études pourraient permettre de faire évoluer l'abaque pour d'autres matériaux rencontrés *in situ*.

À l'état actuel de la connaissance, la valeur du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ est voisine de 0,1 L/m² pour les sols de classe géotechnique A.

b) *Mesure du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ en laboratoire*

La mesure du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ en laboratoire est réalisée avec un dispositif expérimental qui permet de mesurer la capacité d'absorption en eau du matériau par capillarité et/ou infiltration.

L'expérimentation consiste à apporter de l'eau, de quantité définie, par brumisation, à la surface de l'éprouvette de sol sec. L'essai est répété jusqu'à la saturation complète en eau du matériau. Les quantités d'eau infiltrées dans le matériau sont quantifiées par pesage. L'évolution de l'humidité relative dans l'air de la chambre d'arrosage, ainsi que dans le sol, sur plusieurs profondeurs de l'éprouvette, est également mesurée en continue durant l'essai.

La réalisation de l'essai d'arrosage au laboratoire nécessite de respecter certaines recommandations :

- Le sol est sec et pulvérulent, avec diamètre maximal de 4 mm.
- Le sol est mis en place dans son moule par pluviation pour assurer son homogénéité.
- L'arrosage est réalisé par pulvérisation par de fines gouttelettes d'eau. Ces dernières sont réparties de façon uniforme sur toute la surface de l'éprouvette.
- La chambre d'arrosage doit être suffisamment étanche pour maîtriser les quantités d'arrosage et limiter l'évaporation.
- Le dispositif d'essai comprend des appareils de mesure de l'humidité relative dans l'air (à l'intérieur de la chambre d'arrosage) et dans le sol, à différentes profondeurs. Le premier capteur d'humidité relative doit être placé dans le sol à une profondeur suffisante permettant de mettre en évidence le flux d'infiltration de l'eau. Dans le cadre de cette étude, le premier capteur est placé à 12,5 mm de la surface de l'éprouvette (dépend des caractéristiques des capteurs utilisés).

L'essai d'arrosage en chambre est réalisé en plusieurs étapes. L'un des procédés de détermination du « $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ » est décrit ci-dessous :

- Préparer l'éprouvette de sol sec et pulvérulent par pluviation.
- Disposer l'éprouvette de sol dans la chambre d'arrosage.
- Générer des arrosages par pulvérisation pendant une minute. Entre deux arrosages, un temps de repos de 10 minutes est appliqué pour permettre à l'eau de s'infiltrer sous l'effet de la force gravitationnelle ainsi que les forces inter-particulaires qui se développent. Cela permet également d'éviter le ruissellement de l'eau ou la formation de boue à la surface.
- Mesurer les quantités arrosées par pesage des éprouvettes de sol.

Le $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ désigne le flux d'infiltration d'eau qui prend en compte la capillarité et l'infiltration. Les capteurs d'humidité relative sont placés à des profondeurs connues dans le matériau. Ainsi, il est possible d'en déduire les valeurs de $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ par le calcul de la durée d'infiltration de l'eau dans le sol, de la surface jusqu'au premier capteur pour atteindre l'équilibre des humidités relatives.

À partir de ces mesures d'infiltration, les quantités d'eau mobilisées par capillarité et infiltration sont déduites. D'une part, la quantité adsorbée par le sol par capillarité, c'est-à-dire, la quantité d'eau minimale dont le sol a besoin pour maintenir instantanément les particules de poussières au sol.

D'autre part, la quantité d'eau infiltrée jusqu'à la saturation, sans ruissellement, c'est-à-dire, la quantité d'eau maximale dont le sol a besoin pour maintenir les particules de poussières au sol et assurer une humidification suffisamment durable jusqu'au prochain arrosage.

L'état des connaissances actuelles est limité à 3 classes de sols naturels fins non évolutifs de classe A1, A2 et A3. Les valeurs de $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ obtenues lors des études sont les suivantes :

Tableau 2
Valeurs de $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ pour les trois classes de sol étudiées

	$Q/S_{\text{eau-matériau}}$
Sol A1	0,12 L/m ²
Sol A2	0,13 L/m ²
Sol A3	0,14 L/m ²

2.2 Évaluation du matériel d'arrosage : détermination du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$

Ce chapitre consiste à déterminer la quantité d'eau déversée par le matériel d'arrosage lors de son passage sur la piste, appelé $Q/S_{\text{eau-matériau}}$. Cette quantité peut être estimée, lorsque le matériel d'arrosage est une queue de carpe classique. Dans la mesure du possible, il est préférable de mesurer la valeur exacte du Q/S du matériel d'arrosage disponible sur le site.

2.2.1 Estimation du Q/S du matériel d'arrosage ($Q/S_{\text{eau-matériau}}$)

L'estimation du $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ est basé sur l'utilisation du matériel d'arrosage le plus utilisé sur les chantiers, « la queue de carpe classique ». Cette estimation représente la valeur de Q/S la plus défavorable.

Le $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ de ce type de matériel est estimé, pour des vitesses d'avancement comprises entre 10 km/h et 30 km/h, en utilisant l'équation (4).

$$Q/S_{\text{eau-matériau}} = -0,02 V + 0,84 \quad (4)$$

Avec :

$Q/S_{\text{eau-matériau}}$: quantité d'eau déversée par la queue de carpe (L/m²)

V : vitesse d'avancement de l'arroseuse (km/h)

2.2.2 Mesure du Q/S du matériel d'arrosage : $Q/S_{\text{eau-matériel}}$

La qualification du matériel d'arrosage consiste à déterminer le « Q/S eau du matériel d'arrosage » du site, noté $Q/S_{\text{eau-matériel}}$. Cette mesure consiste à quantifier le volume d'eau arrosée, Q, sur des surfaces connues, S, lors du passage du matériel d'arrosage à différentes vitesses.

La mesure du $Q/S_{\text{eau-matériel}}$ nécessite de respecter certaines recommandations, à savoir :

- Le récipient de recueil d'eau doit être suffisamment plat. Une hauteur supplémentaire de 50 mm semble générer jusqu'à 50 % de rétention d'eau supplémentaire.
- La surface d'arrosage du récipient doit être suffisamment grande pour que les résultats soient le plus possible représentatifs de toute la piste.

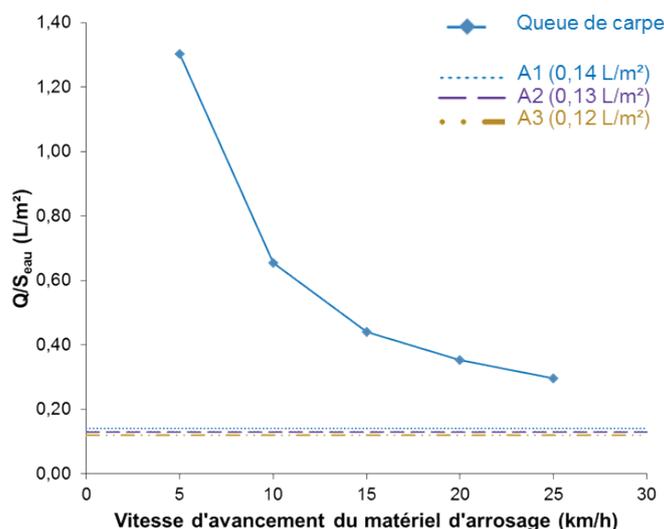
La mesure du « Q/S du matériel d'arrosage » est réalisée sur une piste linéaire et plane. L'un des procédés de détermination du $Q/S_{\text{eau-matériel}}$ est décrit ci-dessous :

- Disposer des bacs pour retenir l'eau sur la planche d'essai. L'idéal serait d'avoir au moins 3 bacs dans le sens longitudinal et 3 dans le sens transversal. Les bacs longitudinaux permettront de vérifier la répétabilité de l'arrosage le long de la planche d'essais. Quant aux bacs transversaux, ils permettront de vérifier l'homogénéité de la distribution de l'eau d'arrosage de part et d'autre de l'arroseuse.
- Réaliser des passages de l'arroseuse à vitesse fixe le long de la planche. Les essais sont réalisés avec au moins 3 vitesses de passage, entre 5 et 30 km/h. Une différence de 10 km/h entre les différentes vitesses est souhaitable pour mettre en évidence son effet. Ajouter à cela, pour une meilleure répétabilité, les passages à la même vitesse sont répétés au moins 2 fois.
- Les valeurs de $Q/S_{\text{eau-matériel}}$ sont ensuite déduites pour toutes les vitesses testées.

Si un site dispose de plusieurs types d'arrosage et qu'il faudrait en choisir une pour l'exécution, les étapes précédentes sont réalisées pour chaque rampe d'arrosage.

Les données de Q/S_{eau} du sol et du matériel sont ensuite comparées. Un exemple de courbe de comparaison des $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ des sols étudiés dans ce guide, de classe géotechnique A1, A2 et A3, avec le $Q/S_{\text{eau-matériel}}$ d'une queue de carpe classique est montré sur la Figure 15.

Figure 15
Comparaison des Q/S_{eau} du sol et du matériel d'arrosage (par passe)



Dans l'exemple présenté dans la Figure 15, qui présente le cas d'une queue de carpe classique, le matériel d'arrosage (courbe pleine) fournit trop d'eau par rapport à la capacité d'absorption des sols de classe géotechnique A (droites en pointillé), et cela quel que soit la vitesse.

Pour que l'arrosage soit optimisé, alors, il faudrait que la courbe d'arrosage de la queue de carpe soit tangente aux droites représentant le $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ des sols A1, A2 ou A3.

Les actions recommandées pour palier à ce problème sont détaillées dans la partie 4.

2.3 Détermination du nombre de passe d'arroseuse journalier

Pour une meilleure organisation de son chantier, le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux doit disposer des informations nécessaires lui permettant de connaître les besoins en eau journalier pour le rabattement de poussière.

Le besoin en eau journalier est ainsi exprimé par le Q/S_{eauJ} et peut être estimé à partir des propriétés du sol, des caractéristiques de l'arrosage (caractéristique de la rampe d'arrosage, vitesse de l'arroseuse) et des sollicitations environnementales, ceci afin de déduire le nombre de passage d'arroseuse journalier.

Le nombre de passage journalier de l'arroseuse peut donc être estimé en se basant sur les valeurs du Q/S_{eau} du sol ($Q/S_{\text{eau-matériau}}$) et du Q/S_{eau} de la rampe d'arrosage ($Q/S_{\text{eau-matériau}}$).

La détermination des besoins en eau journalier permet d'estimer un nombre de cycle d'arrosage nécessaire (passes d'arroseuse). Il peut être recommandé d'ajuster le nombre de cycle d'arrosage en fonction des conditions météorologiques du site et des conditions de trafic du chantier, pour tenir compte des phénomènes d'atténuation de l'effet de l'arrosage (Figure 5).

À titre d'exemple, pour un sol fin non évolutif de classe géotechnique A2, dont les besoins journaliers sont compris entre 0,93 et 1,13 L/m² (estimé à partir du VBS), avec un $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ de 0,13 L/m² (correspondant à un arrosage optimisé pour le sol) et des conditions météorologiques constantes, le nombre de passages d'arroseuse serait compris entre 7 (=0,93/0,13) et 9 (=1,13/0,13) passages.

Cet exemple est valable avec une arroseuse optimisée pour apporter la quantité d'eau nécessaire et suffisante au sol, sans ruissellement.

Partie 3.
Évaluation de l'environnement
vis-à-vis de l'exposition
à la poussière

Si l'émission de poussière pose de nombreux problèmes sur les chantiers, elle peut être également problématique dans l'environnement proche du site. Ce chapitre apporte des éléments pour construire un plan de prévention au risque poussière qui tient compte, aussi bien des risques sur le chantier, que des risques vis-à-vis des différents milieux proches du chantier. Il s'agit ainsi de sensibiliser le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux sur la gestion des poussières et de l'usage de l'eau. Pour construire un plan de prévention au risque poussière, le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou le responsable de travaux doit réaliser une étude exhaustive de l'environnement proche du site pour :

- identifier les milieux sensibles proches du site ;
- étudier leurs sensibilités vis-à-vis de l'envol des poussières ;
- définir et hiérarchiser leurs niveaux d'expositions.

Cette étude doit permettre d'adapter les procédures de travail en fonction de l'environnement qui entoure le chantier.

3.1 Identification des milieux exposés aux poussières

Les différents milieux qui peuvent être présents sur et à proximité d'un chantier seront également appelés « zones d'exposition ». L'identification des zones d'exposition aux poussières est basée sur l'étude de l'environnement géographique proche du site.

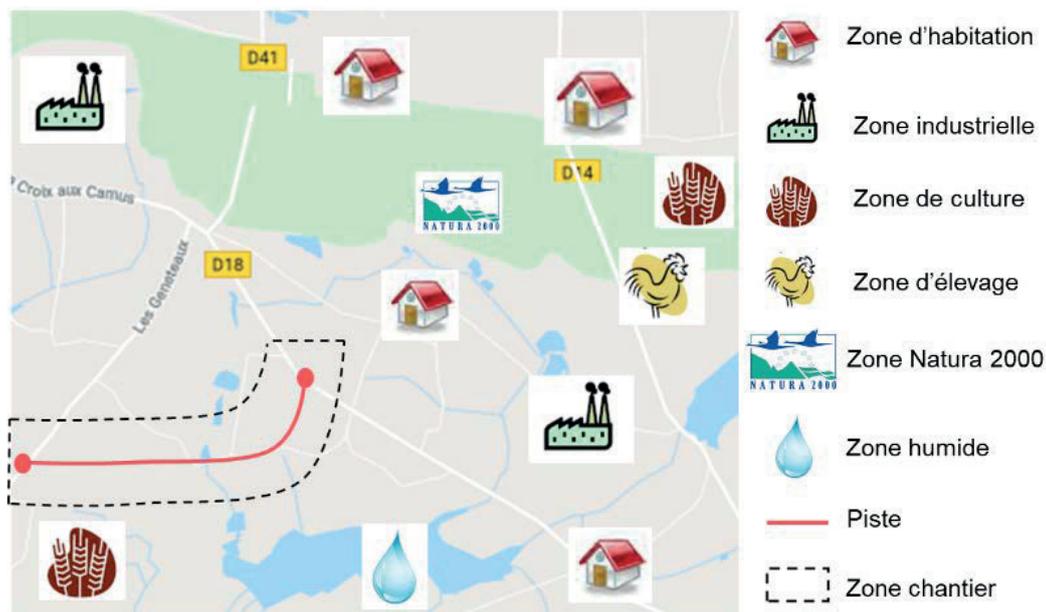
Six zones d'exposition sont considérées dans ce guide :

- les zones d'habitation, tel que des maisons isolées, des lotissements ou des zones urbaines ;
- les zones industrielles ou artisanales : bâtiments administratifs, équipements pour la production de biens ou d'aliments, ou zones de stockage ;
- les zones de culture : cela peut être des prés, des terres agricoles ou des jardins potagers ;
- les zones d'élevage : les zoos et autres parcs animaliers font également partie de cette catégorie ;
- les zones Natura 2000, qui regroupent les zones de faune et de flore protégées ;
- les zones humides qui regroupent les terrains habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire.

La zone chantier représente l'emprise du chantier.

La *Figure 16* présente un exemple de cartographie des zones d'exposition qui entourent un chantier de terrassement.

Figure 16
Exemple de cartographie d'identification des zones d'exposition



La cartographie de l'environnement proche du chantier est réalisée sur un rayon suffisamment grand autour du chantier. Le choix de la zone à cartographier prend en compte la distance potentiellement parcourue par les poussières autour de sa source ainsi que des installations qui entourent le site. Par exemple, dans le cas d'une carrière, la réglementation en vigueur préconise de surveiller les retombées de poussières à proximité des premiers bâtiments accueillant des personnes sensibles (centre de soins, crèche, etc.) ou des premières habitations situées à moins de 1 500 m des limites de propriété de l'exploitation, sous les vents dominants.

Les impacts potentiels de la poussière sur une zone d'exposition dépendent des activités qui s'y déroulent. Ces impacts potentiels peuvent être influencés par l'environnement géographique de la zone ainsi que par la nature de l'activité humaine.

Selon les impacts induits par la zone, exprimés par les deux impacts environnemental et humain, ainsi que la sensibilité de la zone aux poussières, un indice de sensibilité ou « indice de zone » est attribué à la zone d'exposition (cf. *Tableau 3*).

Tableau 3
Détermination de l'indice de zone en fonction des critères de sensibilité du site exposé à la poussière

Impact de la poussière	Indice de zone	Exemple
Faible	I1	Zone chantier
Moyen	I2	Environnement non protégé ou commun, culture à faible valeur ajoutée, industrie non sensible
Fort	I3	Environnement protégé ou rare, habitations, culture à forte valeur ajoutée, industrie sensible

Ainsi, un indice de sensibilité est attribué à chaque zone qui entoure le chantier. Ce qui permet au maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux de mieux appréhender l'environnement de son chantier, d'anticiper des problèmes futurs et de réfléchir aux précautions à prendre en compte lors des travaux selon l'enjeu encouru.

3.2 Classification des niveaux d'exposition aux poussières

La définition de niveaux d'exposition ou sensibilité est un moyen simple pour identifier les zones qui nécessiteront une attention particulière de la part du maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux, pour lui permettre d'adapter les procédures de travaux. Elle doit également permettre de proposer des outils de sensibilisation aux personnes travaillant sur le chantier, qui pourront également être utilisés dans la stratégie de communication avec l'administration et les riverains du chantier.

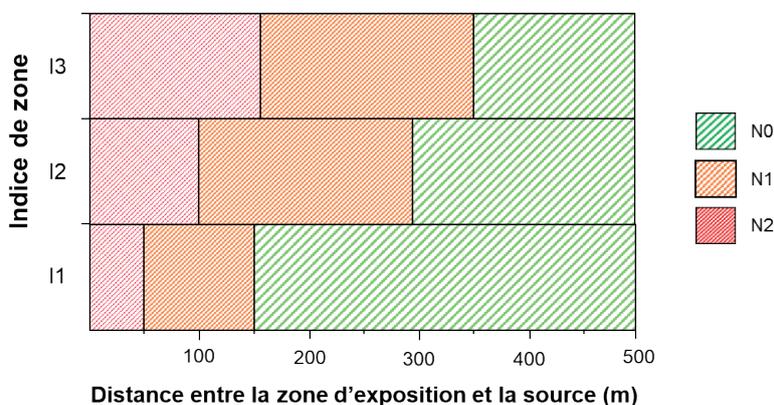
Selon le niveau d'exposition de la zone considérée, le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux peut ainsi mettre en place et adapter les actions pour diminuer les conséquences de l'envol des poussières sur ces zones.

La sensibilité de la zone d'exposition aux poussières est intimement liée à :

- la distance par rapport à la source des poussières ;
- aux conditions environnementales : vitesse du vent, humidité relative, etc. ;
- aux propriétés du sol : finesse, état hydrique, etc.

À ce jour, en l'absence de suffisamment de données concernant l'impact des conditions environnementales et des propriétés du sol sur la sensibilité de la zone d'exposition, le niveau d'exposition des zones est qualifié uniquement en fonction de la distance par rapport à la source, tel que montré sur la *Figure 17*.

Figure 17
Abaque de classification des niveaux d'exposition aux poussières



Trois niveaux d'exposition sont définis, tel que montré dans la *Figure 17*.

Avec :

N0 : sans Impact

N1 : niveau faible, la nuisance probable est visuelle

N2 : niveau important

Pour chaque zone d'exposition, le niveau d'exposition tient compte de son environnement et de sa distance par rapport à la source productrice des poussières. Les recommandations à adopter pour chaque niveau d'exposition sont détaillées dans la partie 4.

Partie 4.
Recommandations
pour la prévention de la production
et de l'envol des poussières

Cette partie décrit les actions qu'il est recommandé d'appliquer pour atténuer l'impact des poussières lors des travaux sur les pistes non revêtues, en agissant sur la réduction des émissions de poussières, en optimisant l'usage de l'eau, voire en adaptant les procédures de travaux. Ces actions de prévention concernent en premier lieu la zone de chantier mais intègre également les enjeux environnementaux proches du chantier.

Deux recommandations sont classées dans ce guide (*Tableau 4*) pour accompagner le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux tout au long des travaux dans ses procédures de prévention de la production des poussières, de gestion de l'envol des poussières ainsi que de leur rabattement.

Tableau 4
Classification des recommandations pour la gestion et l'inhibition des émissions de poussières

Actions recommandées	Dégradabilité de surface du sol			Potentiel d'envol du sol			Impact sur l'environnement proche du site*		
	Faible	Modérée	Fort	Faible	Modéré	Fort	N0	N1	N2
1 Optimisation du compactage (voir chapitre 4.1)	x	xx	xxx				x	xx	xxx
2 Optimisation de l'arrosage (voir chapitre 4.2)				x	xx	xxx	x	xx	xxx

x Conseillée xx Recommandée xxx Très recommandée

* Niveau d'exposition

Remarque : Le niveau de recommandation de chaque action est lié aux résultats d'études réalisées préalablement, selon les méthodologies détaillées dans les parties 2 et 3 du présent guide.

4.1 Compactage à l'Optimum Sec

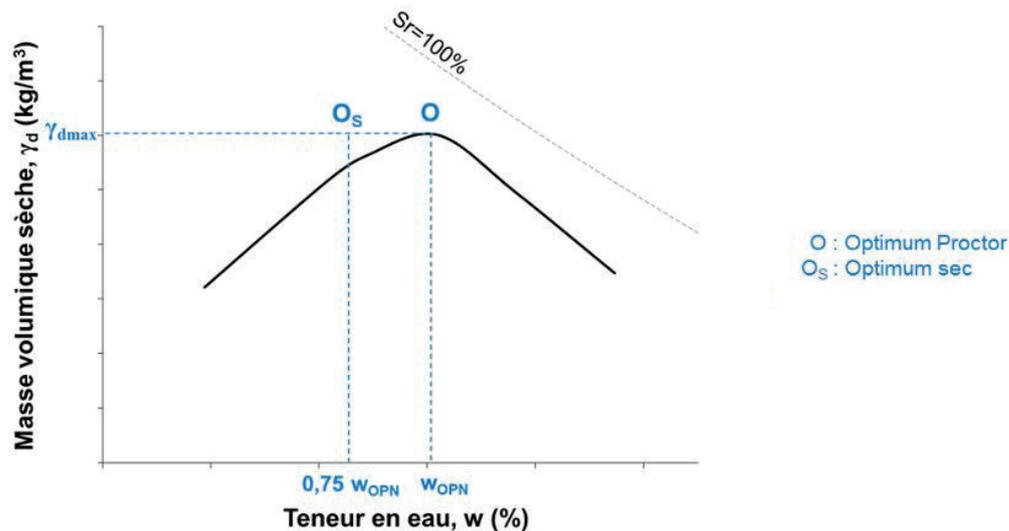
Les études au laboratoire sur le comportement, à la surface, des sols fins sous sollicitations de trafic ont montré que leur potentiel de dégradation est fortement lié aux conditions de mise en œuvre. Pour assurer une prévention maximale de la dégradation des pistes, et limiter l'envol des poussières, l'optimisation du compactage est donc une solution particulièrement efficace pour atténuer ce potentiel de dégradation d'un sol, et ainsi son envol. Un compactage à un état hydrique sec avec un état de compacité maximal (Optimum sec) semble être la configuration la plus optimale.

Lorsque les conditions d'un chantier le nécessitent (climat, environnement), le choix d'un compactage à l'optimum sec est ainsi fortement recommandé. En effet, cette condition de mise en œuvre permet, d'une part, un gain non négligeable des quantités d'eau de mise en œuvre, et d'autre part, de réduire le potentiel du sol à produire de la poussière, et donc de réduire l'impact des travaux sur l'environnement.

L'Optimum Sec correspond à un état hydrique du sol égal à 75 % de la teneur en eau optimale, noté $0.75w_{OPN}$, et un poids volumique sec maximal de la courbe Proctor Normal, noté γ_{dmax} . L'état hydrique choisi correspond à un état sec selon le GTR, qui se définit comme « l'état de faible humidité mais autorisant une mise en œuvre en prenant des dispositions particulières (arrosage, sur-compactage, etc.) estimées comme normales dans les conditions technico-économiques actuelles ».

La Figure 18 donne un exemple de courbe permettant la définition des conditions de compactage du sol. L'Optimum Proctor Normal est nommé « O » sur la courbe et l'Optimum Sec correspond au point « O_S » de la figure.

Figure 18
Conditions de compactage à l'Optimum Sec



Les résultats de laboratoire réalisés sur cinq sols fins non évolutifs ont montré qu'un compactage à l'Optimum Sec permet d'atteindre un objectif de densité satisfaisant tout en réduisant fortement la consommation en eau de compactage (de l'ordre de -15 %). En revanche, pour atteindre cet objectif de poids volumique sec, il est nécessaire d'adapter l'énergie de compactage, exprimé *in situ* par le nombre de passes du compacteur. Le nombre de passes à appliquer est défini en début des travaux selon les dispositions décrites du GTR.

Rappelons que cet état de compactage a été vérifié au laboratoire pour des sols fins de classe géotechnique A. Des campagnes de mesures peuvent être envisagées pour l'expérimenter sur terrain.

4.2 Optimisation de l'arrosage

L'optimisation de l'arrosage est la recommandation évidente pour assurer une meilleure gestion des quantités d'eau consommées sur les chantiers. Elle nécessite d'étudier, simultanément, les besoins en eau du sol et les conditions d'arrosage par le matériel du chantier. Les besoins en eau du sol déterminent les quantités nécessaires au sol sur une journée de chantier, et les conditions d'arrosage par le matériel déterminent la quantité déversée par le matériel, ainsi que sa distribution adéquate sur la surface du sol.

L'optimisation du matériel d'arrosage peut être obtenue en agissant sur :

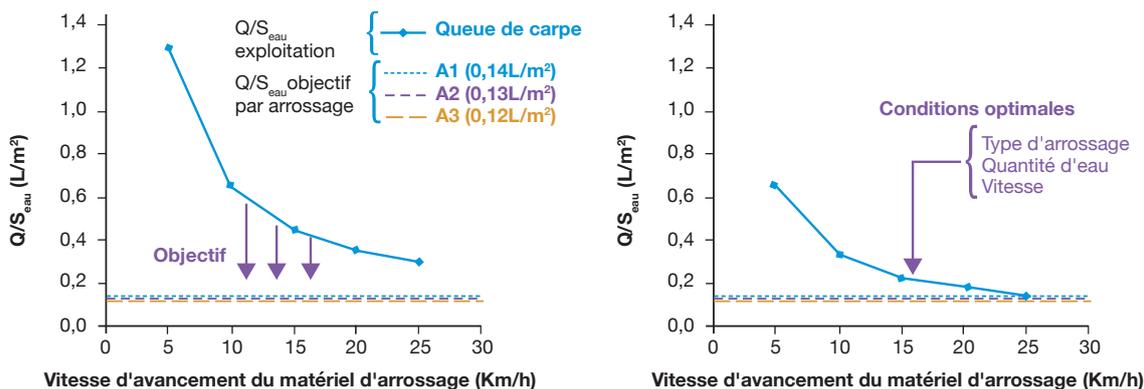
- la configuration des buses d'arrosage : brumisation, pulvérisation, etc. ;
- le débit d'arrosage : configuration de la rampe et quantités arrosées ;
- les vitesses d'avancement du matériel d'arrosage.

Ainsi, lorsque les valeurs de « $Q/S_{\text{eau-matériau}}$ » et « $Q/S_{\text{eau-matériel}}$ » sont connues (Partie 2), il convient de tracer l'abaque d'arrosage qui représente les valeurs de « Q/S_{eau} » en fonction de la vitesse d'avancement du matériel d'arrosage (Figure 19).

À ce jour, cinq sols fins non évolutifs de classe géotechnique A1, A2 et A3, ainsi que deux types de rampes d'arrosage, rampe classique de type « queue de carpe » et une rampe améliorée, ont été testées. Les résultats sont représentés sur la Figure 19.

Figure 19

Représentation des conditions d'arrosage *in situ* (à gauche) queue de carpe, (à droite) rampe améliorée



Sur le graphe de la Figure 19 (à gauche), la courbe de la queue de carpe met en évidence la possibilité d'observer un phénomène de ruissellement à chaque passage de l'arroseuse, indépendamment de sa vitesse d'avancement. Ce ruissellement est la conséquence d'un apport en eau supérieur à la capacité d'absorption du sol. En revanche, en modifiant le type d'arrosage, les études ont montré qu'il est possible de trouver une condition d'arrosage optimale, telle que montrée sur la Figure 19 (à droite). En jouant, par exemple, sur la vitesse de l'arroseuse, la quantité d'eau déversée sur le sol est alors optimisée.

L'optimisation du matériel d'arrosage en fonction de la nature du sol est donc un objectif important pour la gestion de l'eau sur les chantiers. Les travaux présentés doivent aider le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux à analyser ses paramètres d'arrosage et à développer des solutions d'optimisation, en réalisant notamment des essais sur site.

Ces données d'études peuvent être exploitées lorsque la réalisation des essais d'arrosage *in situ* n'est pas envisageable, mais elles ne sont pas représentatives, aujourd'hui, de toutes les configurations d'arrosage.

4.3 Mesures liées à l'environnement proche du site

Si le traitement de la poussière sur les pistes non revêtues est un enjeu majeur sur les chantiers, la prise en compte de l'environnement proche du chantier ne doit pas être pour autant négligée. En effet, les poussières peuvent également se diffuser hors de l'emprise du chantier, et affecter des zones sensibles.

Les mesures qui seront mises en place sur le chantier nécessite donc de tenir également compte de l'environnement proche du chantier. Les conditions de travail et les actions de prévention des poussières seront à adapter selon sa sensibilité.

Dans le *Tableau 4*, les actions principales sont modulées selon la sensibilité aux poussières de l'environnement proche du chantier. Par exemple, lorsque la nuisance générée par les poussières est importante (N2), il est très fortement recommandé d'optimiser le compactage afin de limiter la dégradation des pistes, ainsi qu'optimiser l'arrosage pour gérer au mieux les quantités d'eau utilisées.

4.4 Mesures complémentaires

D'autres actions peuvent être envisagées pour limiter significativement la mise en suspension de poussières, à savoir :

- Planification des travaux de transport en prenant en compte les paramètres météorologiques du site.
- Adaptation des caractéristiques (carénage, de poids).
- Implantation des pistes de circulation : selon l'importance des activités prévues dans le projet ainsi que leurs impacts, l'organisation des moyens de production et des circuits de transport peut être anticipée en amont des travaux par le maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou responsable de travaux avec, notamment, la prise en compte de la direction des vents dominants.

Bibliographie

- ENCEM, février 2011, « Carrières, poussières et environnement », Les études de l'UNICEM - Impacts industriels.
- GTR, 1992, « Guide des Terrassements Routiers : Réalisation des remblais et des couches de forme », LCPC, Ministère de l'équipement, du logement et des transports.
- INERIS, 2013, « Impact des activités humaines sur les milieux et la santé : Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires », première édition, août 2013.
- Picotti, G., Borghesani, P., Cholette, M.E., Manzolini, G., 2018, « Soiling of solar collectors – Modelling approaches for airborne dust and its interactions with surfaces », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, pp. 2343-2357.
- Ravi, S., Zobeck, T. M., Over, T. M., Okin, G.S., D'Odorico, P., 2006, « On the effect of moisture bonding forces in air-dry soils on threshold friction velocity of wind erosion », *Sedimentology*, Vol. 53, pp. 597-609, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2006.00775.x>
- Succarieh, M., 1992, « Control of dust emissions from unpaved roads », Rapport final pour Alaska cooperative transportation and public facilities research program.

Fiche bibliographique

Collection Techniques et méthodes		
ISSN 2492-5438	ISBN PDF : 978-2-85782-756-6	Réf. GTI7
Titre Recommandations pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors de la circulation sur pistes non revêtues		
Auteurs Université Gustave Eiffel, FNTF, UMTM, SPTF		
Rédacteurs Ouardia Sediki, Université Gustave Eiffel Erwann Rayssac, Université Gustave Eiffel Andry Razakamanantsoa, Université Gustave Eiffel Pascal Insenga, Vinci Construction Terrassement (UMTM / SPTF)		
Date de publication Novembre 2021		Langue Français
Résumé Le présent guide a pour objectif de donner des méthodes de qualification des travaux et de l'environnement du site, de contrôle et de prévention des émissions de poussières, ainsi que de leur inhibition par arrosage. La méthodologie proposée consiste à évaluer les sols et le matériel d'arrosage du site de travaux. Les propriétés des sols considérées sont la dégradabilité de surface sous cycles, le potentiel d'envol et l'affinité à l'eau. Le matériel d'arrosage considéré est caractérisé par les quantités d'eau qu'il peut déverser. L'environnement proche du site est également évalué vis-à-vis de son exposition à la poussière, afin d'en tenir compte dans la procédure de gestion des poussières et de l'usage de l'eau sur le site. Ce guide propose aux maîtres d'ouvrage, aux maîtres d'œuvre et aux professionnels du terrassement des outils à la prise de décision pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors des circulations des engins et véhicules sur les pistes non revêtues.		
Mots clés Piste non revêtue, nuisance, poussière, arrosage, terrassement, circulation des engins de chantier, économie d'eau		
Nbre de pages 55		Prix Gratuit

Publication data form

Collection Technics and methods		
ISSN 2492-5438	ISBN PDF : 978-2-85782-756-6	Ref. GTI7
Title Recommendations for management of dust emissions and water use when driving on unpaved tracks		
Authors University Gustave Eiffel, FNTF, UMTM, SPTF		
Writers Ouardia Sediki, University Gustave Eiffel Erwann Rayssac, University Gustave Eiffel Andry Razakamanantsoa, University Gustave Eiffel Pascal Insenga, Vinci Construction Terrassement (UMTM / SPTF)		
Publication date November 2021		Language French
Summary The construction and use of unpaved roads, especially during earthworks activities, can generate dust emissions, the dust inhibition of which requires a significant use of water. In the context of water resources saving, the present guide offers recommendations for identifying and controlling dust emissions, as well as for optimizing their reduction. The presented measures are used in addition to the usual rules adopted in earthworks activities. The objective of this guide is to provide to contracting authorities, contractors and earthmoving professionals decision tools for the management of dust emissions and the use of water during the circulation of machinery and vehicles on unpaved roads.		
Key Words Unpaved road, nuisance, dust, watering, earthworks activities, circulation of construction machinery, water saving		
Nbr of pages 55		Price Free

Document publié par l'Université Gustave Eiffel
Dépôt légal : novembre 2021
ISBN : 978-2-85782-756-6
ISSN : 2492-5438

Conception graphique et mise en page : STDI

Siège de l'Université Gustave Eiffel
5, boulevard Descartes
Champs-sur-Marne
77454 Marne-la-Vallée cedex 2

www.univ-gustave-eiffel.fr

Le présent guide a pour objectif de donner des méthodes de qualification des travaux et de l'environnement du site, de contrôle et de prévention des émissions de poussières, ainsi que de leur inhibition par arrosage. La méthodologie proposée consiste à évaluer les sols et le matériel d'arrosage du site de travaux. Les propriétés des sols considérées sont la dégradabilité de surface sous cycles, le potentiel d'envol et l'affinité à l'eau. Le matériel d'arrosage considéré est caractérisé par les quantités d'eau qu'il peut déverser. L'environnement proche du site est également évalué vis-à-vis de son exposition à la poussière, afin d'en tenir compte dans la procédure de gestion des poussières et de l'usage de l'eau sur le site. Ce guide propose aux maîtres d'ouvrage, aux maîtres d'œuvre et aux professionnels du terrassement des outils à la prise de décision pour la gestion des émissions de poussières et de l'usage de l'eau lors des circulations des engins et véhicules sur les pistes non revêtues.



ISSN : 2492-5438
Référence : GTI7
Novembre 2021