

# Prévention des expositions liées aux émissions des moteurs thermiques

### **L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)**

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés).

De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés... Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

**Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels**, disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation. Les caisses assurent aussi la diffusion des publications édités par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2020.

Édition : Emmanuelle Chalaux (INRS)

Conception graphique : Julie&Gilles

Mise en pages : Opixido



ED 6246 |  
février 2021

Démarche de prévention  
Risque

# Prévention des expositions liées aux émissions des moteurs thermiques

Brochure INRS élaborée par B. Courtois, B. Sallé, M. Ferreira.

Remerciements à M. Mouthon (Mouthon Formation), au syndicat professionnel des équipements pour la construction, les infrastructures, la sidérurgie et la maintenance (Cisma), et au syndicat professionnel de la distribution, la location et la réparation du matériel pour le BTP et la maintenance (DLR).

# Sommaire

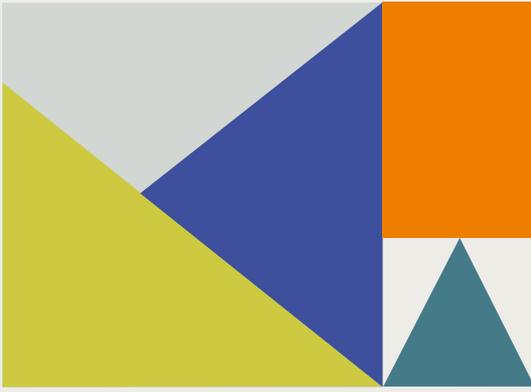
|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1 Caractéristiques des gaz d'échappement</b>                         | <b>4</b>  |
| <b>2 Effets sur la santé</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1 Les émissions des moteurs diesels                                   | 6         |
| 2.2 Les émissions des moteurs à allumage commandé                       | 6         |
| 2.3 Les valeurs limites d'exposition professionnelle                    | 7         |
| <b>3 Réglementation des émissions des moteurs thermiques</b>            | <b>8</b>  |
| <b>4 Moyens de prévention</b>   | <b>9</b>  |
| 4.1 Réduction des polluants à la source                                 | 9         |
| 4.1.1. Choix du moteur  | 9         |
| 4.1.2. Entretien des moteurs  | 10        |
| 4.1.3. Filtres à particules additionnels                                | 11        |
| 4.2 Ventilation mécanique   | 12        |
| 4.2.1. Captage des gaz d'échappement à la source                        | 12        |
| 4.2.2. Ventilation générale   | 12        |
| 4.2.3. Particularités des travaux en souterrain                         | 14        |
| <b>Annexes</b>  | <b>15</b> |
| Annexe 1. Réglementation sur les émissions des moteurs                  | 15        |
| Annexe 2. Réglementation et recommandations sur les travaux souterrains | 20        |

## Introduction

Les moteurs thermiques sont largement utilisés sur les véhicules routiers ou non routiers ainsi que pour des applications fixes (compresseurs, groupes électrogènes). Les émissions de ces moteurs peuvent entraîner des effets néfastes sur la santé du fait des nombreuses substances dangereuses qu'elles contiennent. Les expositions professionnelles à ces émissions sont fréquentes et peuvent atteindre des niveaux bien supérieurs aux expositions environnementales de la population générale car les moteurs thermiques sont généralement utilisés à proximité directe des salariés ou à l'intérieur des locaux de travail.

Ce document fait un point sur la réglementation des émissions des moteurs, sur leurs effets sur la santé et sur les moyens de prévention qui peuvent être mis en œuvre en milieu professionnel.

Les préconisations décrites dans la suite de ce document s'attacheront surtout aux véhicules non routiers (chariots automoteurs, engins de chantier, groupes électrogènes...), équipements généralement utilisés sur un lieu de travail.



# 1. Caractéristiques des gaz d'échappement

Deux grands types de moteurs thermiques sont utilisés sur les véhicules ou engins : les moteurs à allumage commandé et ceux à allumage par compression (moteurs diesels). Les premiers utilisent une étincelle électrique pour enflammer le mélange air/carburant dans les cylindres ; les carburants utilisés sont soit de l'essence, soit du gaz stocké sous forme liquéfiée (GPL<sup>1</sup>, GNL<sup>2</sup>) ou comprimé (GNV/GNC<sup>3</sup>). Pour les moteurs diesels, de l'air est comprimé dans les cylindres jusqu'à atteindre une température permettant l'auto-inflammation du carburant lors de son injection.

Dans le milieu professionnel, l'essence est utilisée pour des véhicules utilitaires légers et des petits engins non routiers portables (disqueuses, tronçonneuses...) ou non portables (groupe électrogène...). Le GPL est surtout utilisé sur des chariots automoteurs et le GNV sur des bus ou des véhicules utilisés en agglomération. La grande majorité des véhicules non routiers (engins de chantier...) et ceux pour le transport de marchandises utilisent des moteurs diesels. Le GNL est, aujourd'hui, en développement essentiellement dans le secteur du transport de marchandises.

En milieux confinés (creusement de tunnels par exemple), l'utilisation du diesel est prépondérante en raison essentiellement des risques plus

importants d'incendie ou d'explosion liés aux autres carburants.

Les émissions des moteurs thermiques sont constituées de produits issus de la combustion du carburant qui n'est jamais complète, de petites quantités des lubrifiants du moteur, de produits d'oxydation de l'azote de l'air et de produits d'usure du moteur.

La nature des gaz d'échappement est complexe et variable, deux phases sont cependant identifiables. La phase gazeuse comprend du monoxyde de carbone, des oxydes d'azote (monoxyde d'azote et dioxyde d'azote), des composés organiques volatils (benzène, formaldéhyde...). La phase solide, sous forme de particules, se compose de carbone, de cendres, de sulfates, de métaux et de molécules organiques de hauts poids moléculaires. Certaines molécules comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques et les nitroarènes peuvent se partager entre les phases gazeuses et particulaires.

Les compositions des gaz d'échappement des moteurs à allumage commandé et des moteurs diesels sont sensiblement différentes. Les premières se caractérisent notamment par des émissions plus importantes de monoxyde de carbone, alors que les secondes contiennent plus d'oxyde d'azote et de particules fines. Sur ces particules sont adsorbés des composés organiques de compositions très complexes. À la sortie de l'échappement, les particules (10 à 30 nm) forment des agglomérats de 30 à 300 nm.

1. Gaz de pétrole liquéfiés : propane ou butane, seuls ou en mélange.

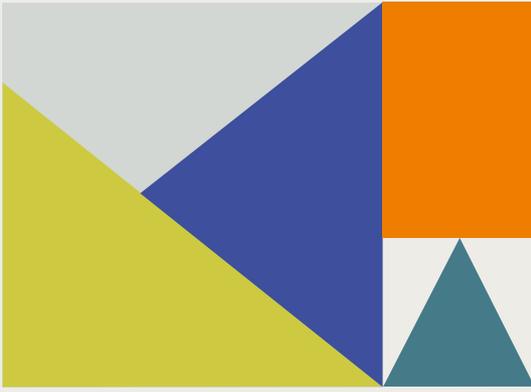
2. Gaz naturel liquéfié : méthane.

3. Gaz naturel pour véhicule ou gaz naturel comprimé : méthane.

De nombreux paramètres peuvent influencer sur la composition des gaz d'échappement, notamment :

- le type de moteur (mode d'injection) ;
- le type de carburant et la qualité de sa composition ;
- le réglage et l'entretien du moteur ;
- le régime du moteur (ralenti, accélération ou décélération, régime transitoire, marche stabilisée ou régime de croisière, pleine charge) ;
- la chaîne cinématique de l'engin ;
- la présence ou non d'un dispositif de dépollution.

Par exemple, le seul régime moteur influe de façon importante sur la composition des rejets à l'échappement. Un moteur qui n'a pas atteint sa température de fonctionnement émet plus de polluants qu'un moteur l'ayant atteinte.



## 2. Effets sur la santé

Les émissions des moteurs thermiques contiennent de nombreux polluants. En première approche, l'évaluation de l'exposition liée à ces émissions peut se faire en ne considérant que les produits majoritaires identifiés. Pour les moteurs diesels, les oxydes d'azote et les particules sont les polluants les plus caractéristiques alors que le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote sont caractéristiques des moteurs à allumage commandé. Les fiches toxicologiques de l'INRS donnent une synthèse des effets sur la santé de ces gaz<sup>4</sup>.

### 2.1. Les émissions des moteurs diesels

En juin 2012, le Circ (Centre international de recherche sur le cancer) a classé les gaz d'échappement des moteurs diesels comme étant cancérigènes pour l'homme (groupe 1). Les experts du Circ ont considéré, à la vue des éléments scientifiques disponibles, que les gaz d'échappement de moteurs diesels provoquaient une augmentation des cancers du poumon et qu'il existait également la possibilité d'une augmentation du risque de cancer de la vessie. Ce classement est basé, d'une part, sur des études épidémiologiques montrant un risque accru de cancers pour des travailleurs

(mineurs, employés des chemins de fer, dockers) exposés à des émissions de moteurs diesels, et, d'autre part, sur des études sur l'animal montrant que l'ensemble des émissions des moteurs diesels et également les particules seules induisaient des dommages à l'ADN et la formation de tumeurs.

Dans l'enquête Sumer 2017, les émissions de moteurs diesels apparaissent comme l'agent cancérigène exposant le plus de salariés en France.

Les émissions des moteurs diesels sont également soupçonnées de favoriser le développement de maladies cardiovasculaires et d'allergies respiratoires.

Enfin, l'exposition à des concentrations importantes d'émissions de moteur diesel peut entraîner des irritations des voies respiratoires et des yeux.

### 2.2. Les émissions des moteurs à allumage commandé

En juin 2012, le Circ a maintenu le classement des gaz d'échappement des moteurs à essence comme étant cancérigènes possibles pour l'homme (groupe 2B). Pour ces moteurs, les quelques études épidémiologiques existantes ne permettent pas de conclure sur une relation entre l'exposition aux émissions et l'augmentation des cas de cancers, notamment en raison

4. Fiche n° 47, *Monoxyde de carbone* ; Fiche n° 133, *Oxydes d'azote*.

de coexposition à des émissions de moteurs diesels. En revanche, les études expérimentales permettent de conclure que les condensats d'émissions de moteurs à essence sont cancérigènes sur l'animal. Il existe également de nombreux éléments montrant l'existence d'un mécanisme génotoxique pour les effets cancérigènes des extraits au solvant des particules émises par les moteurs à essence.

**Il se produit chaque année en France des intoxications graves voire mortelles au monoxyde de carbone émis tant par des petits moteurs à essence équipant des engins portatifs (tronçonneuses à disque...) ou fixes (groupes électrogènes...) que par des moteurs à gaz équipant des engins (chariots automoteurs...). Les deux principales causes sont le défaut de réglage des moteurs ou leur utilisation dans des espaces confinés ou mal ventilés.**

### 2.3. Les valeurs limites d'exposition professionnelle

Le tableau suivant donne les valeurs limites d'exposition professionnelle existant en France pour les principaux gaz des émissions de moteurs thermiques.

| Substance                | VLEP-8h <sup>5</sup> |                   | VLCT <sup>6</sup> |                   |
|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                          | ppm                  | mg/m <sup>3</sup> | ppm               | mg/m <sup>3</sup> |
| Monoxyde de carbone (CO) | 20                   | 23                | 100               | 117               |
| Monoxyde d'azote (NO)    | 2                    | 2,5               | –                 | –                 |
| Dioxyde d'azote          | 0,5                  | 0,96              | 1                 | 1,91              |
| Dioxyde de carbone       | 5 000                | 9 000             | –                 | –                 |

5. Valeur limite sur 8 heures destinée à protéger les salariés des effets à long terme, elle est mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

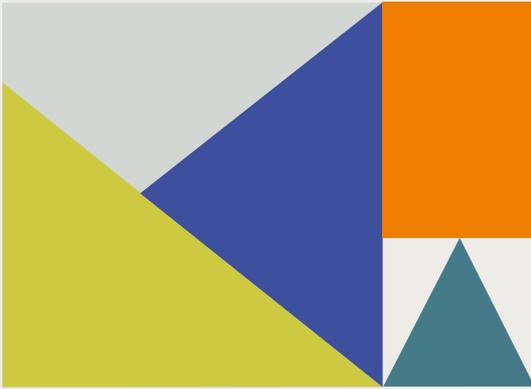
6. Valeur limite de court terme destinée à protéger les salariés des effets immédiats ou à court terme, elle est mesurée ou estimée sur une durée de 15 minutes.

Dans le tableau, les valeurs en gras sont réglementaires contraignantes alors que celles pour le dioxyde de carbone sont réglementaires indicatives. Les particules diesels n'ont actuellement pas de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) en France.

Une directive européenne (UE) 2019/130 modifiant la directive 2004/37/CE introduit les « travaux exposant aux émissions d'échappement de moteurs diesels » dans la liste des travaux cancérigènes, elle doit être transposée d'ici peu dans la réglementation française et fixe une VLEP-8h pour les émissions d'échappement de moteurs diesel à 0,05 mg/m<sup>3</sup> mesurées sous forme de carbone élémentaire. Cette valeur limite entre en application à partir du 21 février 2023, sauf pour l'extraction souterraine et le creusement de tunnels où elle entre en application à partir du 21 février 2026.

Quelques pays avaient déjà fixé une VLEP pour les particules diesels comme l'Autriche et la Suisse. L'Autriche a établi une VLEP-8h de 0,3 mg/m<sup>3</sup> pour les travaux souterrains et de 0,1 mg/m<sup>3</sup> dans les autres cas. Ces valeurs sont basées sur des critères pragmatiques et non sur des critères purement sanitaires. Quant à la Suisse, elle dispose d'une VL-8h de 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Les valeurs autrichiennes et suisses sont basées sur la détermination du carbone élémentaire composant la fraction alvéolaire des particules diesels. Il existe une norme européenne (EN 14530<sup>7</sup>) pour l'analyse du carbone élémentaire dans les prélèvements de particules diesels.

7. « Air des lieux de travail – Dosage des matières particulaires émises par les moteurs diesels – Exigences générales », NF EN 14530, 2004.



### 3. Réglementation des émissions des moteurs thermiques

Au cours de ces vingt dernières années, la réglementation européenne a progressivement imposé des limitations de plus en plus sévères sur les rejets des moteurs et notamment sur le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures imbrûlés et les particules. Ces limitations ont obligé les fabricants à faire évoluer la technologie de leurs motorisations et à les équiper de dispositifs de dépollution comme les filtres catalytiques sur les moteurs à allumage commandé ou les filtres à particules sur les moteurs diesels de dernière génération.

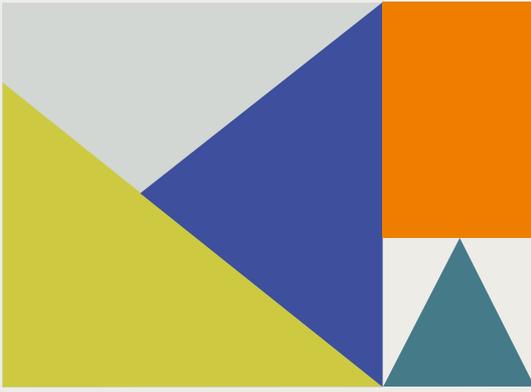
La réglementation européenne distingue différentes catégories de véhicules: les véhicules légers, les poids lourds et les véhicules non routiers. Elle distingue aussi les moteurs diesels des moteurs à allumage commandé. Cette réglementation, qui était moins sévère pour les véhicules non routiers, a évolué en 2017, avec l'entrée en vigueur du règlement européen (UE) 2016/1628 du 14 septembre 2016. En particulier, celui-ci établit désormais des limitations en nombre de particules, comme cela était déjà le cas pour les véhicules routiers, et prend également en compte les émissions des moteurs à allumage commandé (moteurs à essence et à gaz) d'une puissance supérieure ou égale à 19 kW. **Les petits moteurs à allumage commandé d'une puissance inférieure à 19 kW (souvent destinés à des engins portatifs comme des tronçonneuses à disque) ou d'une puissance inférieure à 30 kW et d'un cylindre inférieur à 1 000 cm<sup>3</sup> ne sont eux soumis**

**qu'à des limitations peu sévères (entre 600 et 800 g/KWh de monoxyde de carbone). Ils sont donc susceptibles d'entraîner des intoxications mortelles au monoxyde de carbone lorsqu'ils sont utilisés dans des espaces confinés ou mal ventilés.**

Si cette réglementation est maintenant applicable, il reste, pour les fournisseurs, la possibilité d'écouler certains moteurs produits avant le 31 décembre 2019 jusqu'au 31 décembre 2021 en fonction de la catégorie du moteur et de sa puissance.

Depuis 2008, la Suisse a, pour les engins de chantier, une réglementation imposant, en plus des dispositions européennes, une limitation en nombre de particules émises. Les engins équipés de moteurs ne respectant pas cette limitation doivent être munis de filtre à particules répondant à des spécifications de performances. Les moteurs dont les caractéristiques respectent les prescriptions issues de la dernière évolution de la réglementation européenne obéissent également aux dispositions de la réglementation suisse.

Les grandes lignes de la réglementation européenne sur les émissions des moteurs thermiques, extrêmement dense et complexe, sont présentées dans l'annexe 1.



## 4. Moyens de prévention

Les mesures de prévention de l'exposition professionnelle aux rejets des moteurs thermiques sont fondées sur les principes généraux de prévention énoncés dans le Code du travail.

Une analyse détaillée des procédés de travail et des modes opératoires permet de définir les risques prévisibles et de définir les mesures de prévention tant techniques qu'organisationnelles.

La première mesure de prévention est la limitation du nombre des moteurs thermiques en utilisant des moteurs électriques chaque fois que cela est possible. Cette mesure revêt toute son importance en espace confiné.

Pour les travaux en souterrain, il est possible par exemple :

- d'équiper de moteurs électriques le matériel fixe ou semi-mobile tel que compresseur, pompe à béton, chargeuse, engin de forage ;
- d'utiliser de préférence, pour l'extraction et le marinage, des matériels tels que machine d'attaque ponctuelle, transporteur à bande, portique équipés de moteurs électriques ;
- de placer en surface le matériel équipé de moteur diesel (groupe électrogène par exemple).

Pour des travaux à l'intérieur d'un bâtiment, il est possible par exemple :

- d'utiliser de préférence des équipements auto-moteurs électriques ;
- d'organiser le travail de façon à ne pas avoir à utiliser les moteurs thermiques à l'intérieur ;
- d'utiliser des moteurs à gaz si des puissances importantes sont requises.

Les autres mesures de prévention consistent à réduire les émissions à la source par le choix de technologies de moteur peu polluantes, ou par l'épuration des gaz d'échappement, et à ventiler mécaniquement l'espace de travail.

### 4.1. Réduction des polluants à la source

#### 4.1.1. Choix du moteur

##### Moteurs diesels

Pour les engins non routiers, les moteurs conformes aux exigences d'émissions de la phase IV de la réglementation (*voir l'annexe I*) respectent les limites d'émissions en nombre des particules et la masse de particules émises est réduite d'un facteur supérieur à 10 par rapport à ceux de la phase IIIA. Le respect des valeurs limites d'émission de particules prévues par la phase V de la réglementation implique que les moteurs soient équipés d'un filtre à particules.

**Afin de réduire au maximum les risques pour les personnes exposées, il est recommandé de privilégier l'utilisation d'engins équipés de moteurs répondant à la dernière phase de la réglementation en vigueur, notamment dans les situations**

où les expositions aux émissions des moteurs sont importantes, comme pour les travaux souterrains.

Lors de l'achat d'un nouvel engin et jusqu'à la fin de la période transitoire pendant laquelle la mise sur le marché d'engins en stock équipés d'un moteur répondant à la phase précédente de la réglementation est autorisée par dérogation (soit le 31 décembre 2021), il est nécessaire d'interroger le fournisseur de l'engin pour s'assurer que le moteur répond à la phase V de la réglementation.

L'annexe du guide INRS ED 6296<sup>8</sup> donne les informations pour vérifier, en lisant la plaque du constructeur, à quelle phase de la réglementation répond le moteur d'un véhicule non routier et la date limite de mise sur le marché du moteur.

Dans le cas des véhicules routiers, les moteurs répondant à la dernière phase de la réglementation en vigueur sont moins polluants que ceux plus anciens. L'utilisation des moteurs répondant pour les poids lourds à la phase EURO VI et pour les véhicules légers à la phase EURO 6 doit être privilégiée dans les situations où les expositions aux émissions des moteurs sont importantes.

### Moteurs à allumage commandé

Pour l'écoulement de stocks existants, il est possible que certains petits constructeurs aient encore le droit de commercialiser des moteurs à allumage commandé d'une puissance comprise entre 19 et 56 kW ne répondant pas à la dernière phase de la réglementation sur les émissions (et n'étant donc soumis à aucune limitation) au-delà du 31 décembre 2020. Lors de l'achat d'un engin équipé d'un moteur à allumage commandé (chariot automoteur à gaz par exemple), il est donc recommandé de s'assurer que le moteur répond

bien à la phase V de la réglementation, en particulier si celui-ci doit être utilisé en intérieur.

Ces recommandations s'appliquent également aux matériels loués.

### 4.1.2. Entretien des moteurs

L'entretien des moteurs est important pour le maintien dans le temps d'un niveau d'émission de polluants aussi faible que possible. Les préconisations du fournisseur doivent être strictement respectées.

Pour les engins équipés d'un moteur diesel, l'entretien portera en premier lieu sur les injecteurs et l'alimentation en air, avec une importance toute particulière à accorder au changement régulier des filtres à air. Dans le cas des moteurs équipés d'un filtre à particules, son entretien est bien évidemment nécessaire. Par ailleurs, l'utilisation d'une huile moteur adaptée et des vidanges régulières sont également importantes.

Concernant les engins dotés d'un moteur à allumage commandé, l'entretien portera en particulier sur le détendeur gaz, l'allumage, l'alimentation en air (le changement régulier des filtres à air est particulièrement important). **Un mauvais entretien ou des réglages inadaptés peuvent conduire à des émissions très élevées de monoxyde de carbone susceptibles de provoquer des intoxications graves.**

Il est donc recommandé de vérifier semestriellement pour les engins utilisés quotidiennement dans un local, et *a minima* annuellement pour les autres, que les rejets à l'échappement respectent les valeurs préconisées dans le tableau ci-dessous.

|                   | Moteur sans système de dépollution | Moteur équipé d'épurateur catalytique 2 ou 3* voies |
|-------------------|------------------------------------|---|
| CO <sub>cor</sub> | 0,2% max                           | 0,1% max  |
| CO <sub>2</sub>   | 10% mini                           | 10% mini  |
| HC                | 300 ppm max                        | 100 ppm max   |
| O <sub>2</sub>    | 2% max                             | 2% max pour le catalyseur 2 voies                   |

CO<sub>cor</sub> : Correspond à la teneur en monoxyde de carbone directement lue sur l'analyseur de gaz et corrigée des dilutions pouvant venir de prise d'air à l'échappement. Pour les nouvelles motorisations, le rejet en CO peut être bien plus faible voire en limite de détection de l'analyseur.

HC : Correspond à la teneur en hydrocarbures (valeur donnée pour un analyseur de gaz étalonné au propane).

\* Rapport lambda entre 0,97 et 1,03.

8. Réduction des émissions des moteurs diesel sur les chantiers en espace confiné, INRS, ED 6296.

**Ces valeurs sont données à titre indicatif et ne constituent pas des objectifs lors du réglage du moteur mais des seuils qui indiquent la nécessité d'une intervention afin de réduire le niveau d'émission.**

Les valeurs sont mesurées avec un analyseur multigaz étalonné et vérifié.

Pour les véhicules loués, il est impératif que l'entretien prenne en compte l'ensemble de ces éléments et que le locataire dispose, à l'arrivée de l'engin, d'une garantie du respect des seuils préconisés.

### 4.1.3. Filtres à particules additionnels

L'évolution de la réglementation européenne sur les émissions des moteurs fait que tous les moteurs diesels les plus couramment utilisés dans l'industrie ou sur les chantiers et d'une puissance supérieure à 19 kW doivent actuellement être équipés d'origine de filtres à particules (FAP). Les recommandations de ce chapitre ne sont donc utiles que pour le cas où des moteurs plus anciens ou de faibles puissances devraient être équipés de FAP.

Il existe deux grands types de filtre à particules susceptibles d'être installés :

- les filtres à régénération passive pour lesquels l'élimination des particules diesels piégées se fait en continu. Cette technologie nécessite que les gaz d'échappement atteignent une température suffisante pendant un temps assez long dans la journée ;
- les filtres à régénération active pour lesquels l'élimination des particules diesels piégées se fait d'une manière séquentielle grâce à un apport supplémentaire d'énergie d'origine électrique ou par la combustion de carburant.

Le fonctionnement de ces filtres peut nécessiter l'ajout au carburant d'un additif facilitant la combustion des particules dans le filtre.

L'ajout d'un FAP sur un engin dont le moteur n'est pas équipé d'origine nécessite une étude prenant en compte notamment la description de l'activité de l'engin, les caractéristiques du moteur et du lubrifiant afin de déterminer le type de filtre à installer, ses caractéristiques précises et son implantation sur l'engin. Cette étude doit être réalisée par le fournisseur du FAP en concertation avec le fournisseur de l'engin afin de garantir le maintien

de la conformité de l'engin vis-à-vis de la directive Machines.

Des travaux réalisés par l'INRS et la Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) montrent que les FAP à régénération active avec ajout d'additif au carburant sont souvent bien adaptés aux engins de chantier.

Ils permettent notamment :

- de bonnes performances (de l'ordre de 99 %) pour le piégeage des particules ;
- une régénération complète et rapide sans immobilisation de l'engin ;
- de ne pas émettre de polluants secondaires ;
- de ne pas augmenter les émissions de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) ;
- un fonctionnement fiable en utilisant du gazole non routier comme carburant.

Afin d'aider les entreprises souhaitant équiper certains de leurs engins de FAP, la Cramif a publié un guide d'aide au choix et à l'installation de ce type de dispositif<sup>9</sup>.

En Suisse, la Suva a publié un guide de solutions techniques de prévention des accidents dus aux engins de chantier équipé de FAP additionnels<sup>10</sup>.

L'association Vert, organisation internationale de promotion des meilleures technologies disponibles en matière de réduction des émissions, délivre une certification aux FAP respectant certaines exigences de performance. Il est possible d'accéder à la liste des filtres certifiés sur le site web de l'association : [www.vert-dpf.eu](http://www.vert-dpf.eu). Cette association met également en ligne une base de données de solutions (types de filtres déjà installés sur différents types d'engins).

Par ailleurs, l'Office fédéral de l'environnement (Ofev, Suisse) publie la liste des filtres conformes aux prescriptions de l'ordonnance fédérale sur la protection de l'environnement, liste accessible sur le site web de l'Ofev : <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/filtres-a-particules/types-de-systemes-de-filtres-a-particules.html>.

9. *Guide pour le choix et l'installation d'un filtre à particules sur les engins de chantier*, DTE 222, Cramif, 2011.

10. *Filtre à particules en post-équipement. Solutions techniques de prévention des accidents dus aux engins de chantier*, SuvaPro, 88272.f, 2013.

## 4.2. Ventilation mécanique

L'assainissement de l'atmosphère de travail consiste à appliquer l'un des deux grands principes de ventilation suivants, classés par ordre de priorité :

- captage à la source, ventilation locale par aspiration au plus près de la source d'émission avant que les gaz d'échappement ne soient dispersés dans l'atmosphère et inhalés par les salariés ;
- ventilation générale consistant à diluer les polluants par un apport d'air neuf et par un balayage de l'ensemble du volume du local.

Lorsque la pollution provient de véhicules en mouvement, le captage à la source des gaz d'échappement n'est généralement pas possible. Une ventilation générale doit donc être mise en place permettant d'abaisser les concentrations des substances toxiques à des valeurs les plus faibles possibles et dans tous les cas en dessous des VLEP existantes.

En revanche, lorsque des moteurs sont utilisés à poste fixe (moteurs industriels ou véhicules immobilisés pour cause d'entretien ou de contrôle par exemple), un captage directement au niveau de la sortie de l'échappement doit être privilégié.

### 4.2.1. Captage des gaz d'échappement à la source

Le débit d'aspiration des gaz d'échappement dans le cas d'un capteur placé à **proximité immédiate de l'échappement** peut être estimé par la formule suivante<sup>11, 12</sup> :

$$Q = 1,2 \cdot V \cdot 0,0363 \cdot n$$

Q : débit d'aspiration en m<sup>3</sup>/h

V : cylindrée du véhicule en litres

n : régime du moteur en tours/min

0,0363 : facteur prenant en compte l'augmentation du volume des gaz et la conversion des unités

1,2 : introduction de 20% d'air frais

11. *Méthode moderne de contrôle de la puissance et des gaz d'échappement. Principe, technique, applications*, Florian Vierling, Kraftthang Verlag Walter Schulz GmbH, Bad Wörishofen, 2010.

12. *Abgase von Dieselmotoren. Technische Regeln für Gefahrstoffe*, TRGS 554, 2008.

Cette formule ne s'applique que lorsque les moteurs tournent sans charge.

Par exemple, en application de la formule précédente, pour les véhicules légers, le captage des gaz émis par un moteur de 3 litres de cylindrée tournant à 3 000 tr/min nécessite un débit d'aspiration d'au moins 400 m<sup>3</sup>/h.

De la même manière, pour les poids lourds, un débit d'aspiration d'au moins 1 000 m<sup>3</sup>/h est nécessaire, ce qui permet, d'après la formule précédente, le captage des gaz émis par un moteur de 12 litres de cylindrée tournant à 1 900 tr/min.

Dans le cas où, pour des raisons de contrôle technique ou de réglage de moteurs, le dispositif de captage ne peut être directement connecté à la sortie de l'échappement, une étude de l'INRS (non publiée) a montré que, pour des véhicules légers, le dispositif de captage doit être placé à **moins de 30 cm de la sortie des gaz d'échappement et avoir un débit d'aspiration d'au moins 1 000 m<sup>3</sup>/h**.

### 4.2.2. Ventilation générale

L'installation doit répondre aux principes énoncés ci-dessous<sup>13</sup> :

- compenser les sorties d'air par des entrées d'air équivalentes pour éviter les effets de dépression, les courants d'air, les mouvements tourbillonnaires déplaçant les zones polluées vers des zones propres, l'inconfort du personnel... ;
- positionner correctement les ouvertures d'entrées et de sorties d'air afin de balayer l'ensemble du volume et d'éviter que les travailleurs soient placés entre les sources de pollution et l'extraction, pour tendre vers un écoulement général des zones propres vers les zones polluées.

En théorie, le débit d'air à mettre en œuvre dans une installation de ventilation générale peut être estimé par la formule :

$$Q = K \cdot D / (C - C_0)$$

Q : débit de ventilation générale

D : débit d'émission de polluant dans le cas de véhicules circulant dans un local : il peut être déterminé à partir des caractéristiques des moteurs données par le fabricant (attention à ce que les émissions réelles ne soient pas plus

13. Voir le *Guide pratique de ventilation 0 - Principes généraux de ventilation*, INRS, ED 695.

## ■ Exemple de calculs pouvant être réalisés

On considère un entrepôt de 50 m x 50 m et de 5 m de hauteur ayant donc un volume de 12 500 m<sup>3</sup>. Dans cet entrepôt intervient un chariot automoteur équipé d'un moteur à gaz d'une puissance maximum de 40 kW. Le polluant pris en compte est le monoxyde de carbone. Le moteur du chariot en émet 4 g/kWh (il s'agit d'un moteur répondant à la réglementation européenne sur les émissions des moteurs à allumage commandé pour véhicules non routiers). On considère que le moteur fonctionne en moyenne à 50 % de sa puissance maximum soit 20 kW.

Le débit est calculé à partir de la formule :  $Q = K \cdot D / (C - C_0)$ .

On considère qu'il n'y a pas de monoxyde de carbone dans l'air neuf :  $C_0 = 0$  et  $K = 1$  (le chariot se déplace dans le local, homogénéise la concentration du monoxyde de carbone et on considère que la ventilation permet une introduction bien répartie de l'air neuf dans l'entrepôt, il n'y a pas de zone morte). On considère que la concentration maximum admissible en monoxyde de carbone  $C$  est de 20 mg/m<sup>3</sup> = 0,02 g/m<sup>3</sup> (soit une valeur un peu en dessous de la VLEP-8h réglementaire contraignante de 22 mg/m<sup>3</sup> pour le monoxyde de carbone).

Le débit de monoxyde de carbone émis  $D$  est de 4 g/kWh x 20 kW = 80 g/h.

Le débit de ventilation à mettre en œuvre est alors de  $80 / 0,02 = 4\,000$  m<sup>3</sup>/h.

L'utilisation d'un chariot automoteur assez peu polluant en intérieur nécessite donc un débit de ventilation relativement important pour maintenir une concentration faible en monoxyde de carbone dans le local.

Il est à noter que le débit de ventilation calculé ne dépend pas du volume de l'entrepôt. Le volume de celui-ci est par contre nécessaire pour utiliser le logiciel IHMOD. Celui-ci permet de calculer la concentration moyenne en monoxyde de carbone dans l'entrepôt en fonction du temps lorsque le chariot automoteur fonctionne.

L'utilisation du logiciel IHMOD avec un modèle de pièce similaire avec de l'air uniformément mélangé et les données du précédent exemple permet d'estimer que la concentration moyenne en monoxyde de carbone dans l'entrepôt est 14,6 mg/m<sup>3</sup> au bout de 4 heures et de 18,5 mg/m<sup>3</sup> au bout de 8 heures, la concentration à l'équilibre de 20 mg/m<sup>3</sup> n'est donc atteinte que pour un temps supérieur à la durée d'une journée de travail.

IHMOD permet d'estimer des concentrations dans d'autres situations : par exemple, le même chariot utilisé dans un local ayant un volume 10 fois plus faible soit 1 250 m<sup>3</sup> et un débit de ventilation également 10 fois plus faible soit 400 m<sup>3</sup>/h (le taux de renouvellement de l'air reste le même) conduit à une concentration en monoxyde de carbone de 146 mg/m<sup>3</sup> au bout de 4 heures. Dans cette situation, l'exposition du conducteur du chariot atteindrait la VLEP-8h pour le monoxyde de carbone de 22 mg/m<sup>3</sup> en environ 45 minutes et 170 mg/m<sup>3</sup> en 8 heures. Une telle situation ne serait pas acceptable et pourrait conduire à une intoxication grave du conducteur en cas d'augmentation de l'émission de monoxyde de carbone par le chariot.

fortes que celles données par le constructeur à cause du vieillissement du moteur ou d'un entretien insuffisant) ; des mesures de concentration en polluants dans les gaz d'échappement peuvent également être utilisées.

$C$  : concentration en polluant tolérée dans l'ambiance du local

$C_0$  : concentration en polluant dans l'air neuf (souvent nulle)

$K$  : facteur de sécurité : prend en compte l'uniformité de la répartition du débit d'air, la position des personnes par rapport aux zones d'émission, l'hétérogénéité du débit des polluants. L'évaluation du facteur  $K$  est difficile ; sa valeur en fonction des éléments ci-dessus peut varier de 1 à 10.

Le logiciel IHMod, accessible sur le site web de l'INRS, permet d'évaluer la concentration d'un

polluant dans un local en fonction du débit d'émission de celui-ci et d'un débit de ventilation.

En dehors de cas simples, la ventilation est une affaire de spécialistes. Elle ne peut être improvisée et doit être réétudiée chaque fois que la configuration des lieux change.

### **4.2.3. Particularités des travaux en souterrain**

Lors de travaux souterrains, la ventilation a également pour objectif d'évacuer d'autres polluants que les gaz d'échappement :

- poussières provoquées par la perforation et le marinage ;
- dégagements de gaz contenus dans certaines roches : hydrogène sulfuré, radon, méthane... ;
- gaz et poussières émis lors de creusement à l'explosif.

Les principes de base à mettre en œuvre lors de travaux souterrains sont les suivants :

- chercher à supprimer ou à limiter au mieux, sur les différents sites, l'émission de substances polluantes en prévoyant des techniques appropriées d'excavation, marinage, soutènement... ;
- favoriser le captage de tous les produits dégagés au plus près de la source, afin qu'ils ne se répandent pas dans l'atmosphère du chantier ;
- en dernier lieu, diluer les polluants résiduels non captés ou neutralisés à la source, afin de maintenir leur concentration en-dessous des seuils admissibles.

Pour ces types de travaux, il existe à la fois des dispositions réglementaires qui fixent des minima en matière de ventilation, et également des recommandations émises par l'Assurance maladie et des organisations professionnelles, rappelées dans l'annexe 2.

# Annexes



## Annexe 1. Réglementation sur les émissions des moteurs

Cette réglementation est complexe, nous ne donnerons ici que les principaux éléments qui peuvent être utiles à la prévention.

La réglementation est différente pour les voitures et véhicules utilitaires légers, les poids lourds et véhicules de transport en commun et enfin les engins mobiles non routiers. Les principales limitations de pollution concernant les véhicules non routiers ainsi que les poids lourds et véhicules de transport en commun sont résumées ci-dessous.

### Engins mobiles non routiers

Il s'agit de toute machine mobile, tout équipement industriel transportable ou tout véhicule, pourvu ou non d'une carrosserie, non destiné au transport routier de passagers ou de marchandises, sur lequel est installé un moteur à combustion interne. Cette définition englobe les locomotives, les autorails et les bateaux de navigation intérieure.

Actuellement, c'est le règlement européen (UE) 2016/1628 applicable depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017 qui fixe les seuils d'émissions à respecter pour les moteurs installés ou destinés à être installés sur des engins mobiles non routiers. Il abroge la directive 97/68/CE modifiée et introduit une phase V imposant le respect de nouvelles limites d'émissions, non seulement en masse, mais également en nombre de particules. Il introduit aussi des limitations d'émission pour les moteurs à allumage commandé d'une puissance comprise entre 30 et 56 kW alors qu'il n'en existait précédemment aucune. Dans ce cadre, le texte prévoit une réception par catégories de moteurs au titre des émissions polluantes préalablement à leur mise sur le marché.

Les catégories de moteurs qui sont le plus couramment utilisés sur les chantiers et dans l'industrie sont les suivantes :

- catégorie NRE : moteurs pour engins mobiles non routiers destinés à se déplacer ou à être déplacés et qui ne sont pas rangés dans une autre catégorie. Cela comprend les moteurs diesels de puissance inférieure à 56 kW et les moteurs à allumage commandé ou diesels de puissance supérieure ou égale à 56 kW ;
- catégorie NRS : moteurs à allumage commandé de puissance inférieure à 56 kW ;
- catégorie NRSf : moteurs à allumage commandé de puissance inférieure à 19 kW qui sont exclusivement destinés à être utilisés dans des engins portatifs.

Le règlement définit les seuils d'émission à respecter pour une série de polluants à savoir le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), les particules avec des limitations en masse (PM) et en nombre (PN).

Les valeurs dépendent des sous-catégories auxquelles appartiennent les engins mais aussi de leur puissance et de leur mode d'allumage.

Le tableau page suivante donne les limitations d'émission de la phase V pour les moteurs de la catégorie NRE.

| Catégorie | Allumage       | Puissance (kW) | CO    | HC                | NO <sub>x</sub> | PM    | PN                   |
|-----------|----------------|----------------|-------|-------------------|-----------------|-------|----------------------|
|           |                |                | g/kWh |                   |                 | /kWh  |                      |
| NRE-v/c-1 | C <sup>1</sup> | P < 8          | 8,00  | 7,50 <sup>2</sup> |                 | 0,40  | *                    |
| NRE-v/c-2 | C              | 8 < P < 19     | 6,60  | 7,50 <sup>2</sup> |                 | 0,40  | *                    |
| NRE-v/c-3 | C              | 19 ≤ P < 37    | 5,00  | 4,70 <sup>2</sup> |                 | 0,015 | 1 x 10 <sup>12</sup> |
| NRE-v/c-4 | C              | 37 < P < 56    | 5,00  | 4,70 <sup>2</sup> |                 | 0,015 | 1 x 10 <sup>12</sup> |
| NRE-v/c-5 | Tous           | 56 < P < 130   | 5,00  | 0,19              | 0,40            | 0,015 | 1 x 10 <sup>12</sup> |
| NRE-v/c-6 | Tous           | 130 ≤ P < 560  | 3,50  | 0,19              | 0,40            | 0,015 | 1 x 10 <sup>12</sup> |
| NRE-v/c-7 | Tous           | P > 560        | 3,50  | 0,19              | 3,50            | 0,045 | *                    |

1. C : Allumage par compression (diesel).

2. HC + NO<sub>x</sub>.

\* Ces moteurs ne seront pas équipés de FAP.

Le tableau suivant donne les limitations d'émission de la phase V pour les moteurs de la catégorie NRS.

| Catégorie    | Puissance (kW) | Cylindrée (cm <sup>3</sup> ) | CO (g/kWh) | HC + NO <sub>x</sub> (g/kWh) |
|--------------|----------------|------------------------------|------------|------------------------------|
| NRS-vr/vi-1a | P < 19         | 80 ≤ V < 225                 | 610        | 10                           |
| NRS-vr/vi-1b |                | V ≥ 225                      | 610        | 8                            |
| NRS-v-2a     | 19 ≤ P < 30    | V ≤ 1 000                    | 610        | 8                            |
| NRS-v-2b     |                | V > 1 000                    | 4,4*       | 2,70*                        |
| NRS-v-3      | 30 ≤ P < 56    | Toutes                       | 4,4*       | 2,70*                        |

\* À titre optionnel et alternatif, toute combinaison de valeurs répondant à l'équation  $(HC + NO_x) \times CO \times 0,784 \leq 8,57$  ainsi qu'aux conditions suivantes : CO ≤ 20,6 g/kWh et (HC + NO<sub>x</sub>) ≤ 2,7 g/kWh.

Le tableau suivant donne les limitations d'émission de la phase V pour les moteurs de la catégorie NRSh.

| Catégorie | Cylindrée (cm <sup>3</sup> ) | CO (g/kWh) | HC + NO <sub>x</sub> (g/kWh) |
|-----------|------------------------------|------------|------------------------------|
| NRSh-v-1a | V < 50                       | 805        | 50                           |
| NRSh-v-1b | V ≥ 50                       | 603        | 72                           |

Même si un moteur ne répondant pas aux exigences de la phase V ne peut plus être mis sur le marché de l'Union européenne depuis le 31 décembre 2019, il existe une période de transition permettant d'écouler les stocks de moteurs existants. Il est ainsi encore possible de vendre des machines équipées de moteurs répondant aux phases IV, IIIB ou IIIA jusqu'au 31 décembre 2021 en fonction de la catégorie du moteur et de sa puissance.

Le tableau page suivante donne les limitations d'émission fixées par la directive 97/68/CE pour les moteurs destinés à des utilisations autres que la traction de locomotives, d'autorails et de bateaux de la navigation intérieure répondant aux phases IIIA, IIIB ou IV.

| Puissance (kW)     | Date d'application* | CO (g/kWh) | NO <sub>x</sub> + hydrocarbures (g/kWh) | Hydrocarbures (g/kWh) | NO <sub>x</sub> (g/kWh) | Particules (g/kWh) |
|--------------------|---------------------|------------|---|-----------------------|-------------------------|--------------------|
| <b>Phase III A</b> |                     |            |   |                       |                         |                    |
| 130-560            | 31/12/2005          | 3,5        | 4,0                                     | –                     | –                       | 0,2                |
| 75-130             | 31/12/2006          | 5,0        | 4,0                                     | –                     | –                       | 0,3                |
| 37-75              | 31/12/2007          | 5,0        | 4,7                                     | –                     | –                       | 0,4                |
| 19-37              | 31/12/2006          | 5,5        | 7,5                                     | –                     | –                       | 0,6                |
| <b>Phase III B</b> |                     |            |   |                       |                         |                    |
| 130-560            | 31/12/2010          | 3,5        | –                                       | 0,19                  | 2,0                     | 0,02               |
| 75-130             | 31/12/2011          | 5,0        | –                                       | 0,19                  | 3,3                     | 0,02               |
| 56-75              | 31/12/2011          | 5,0        | –                                       | 0,19                  | 3,3                     | 0,02               |
| 37-56              | 31/12/2012          | 5,0        | 4,7                                     | –                     | –                       | 0,025              |
| <b>Phase IV</b>    |                     |            |   |                       |                         |                    |
| 130-560            | 31/12/2013          | 3,5        | –                                       | 0,19                  | 0,4                     | 0,025              |
| 56-130             | 31/09/2014          | 5,0        | –                                       | 0,19                  | 0,4                     | 0,025              |

\* La date d'application indiquée est celle à partir de laquelle les moteurs ne répondant pas à la phase concernée ne peuvent plus être mis sur le marché. Note : Les phases III A, III B et IV de la réglementation européenne sont largement harmonisées avec les tiers 3, 4 intérim et 4 final de la réglementation américaine.

Pour fonctionner correctement, les moteurs répondant aux exigences des phases IIIB, IV et V doivent être alimentés avec un carburant ne contenant qu'une faible teneur en soufre.

La directive 2009/30/CE du 23 avril 2009<sup>14</sup> prévoit l'introduction d'un gazole non routier dont la teneur en soufre ne dépasse pas 10 ppm. En France, l'utilisation de ce carburant est obligatoire pour les engins non routiers depuis 2011 (arrêté du 10 décembre 2010 modifié et arrêté du 10 novembre 2011<sup>15</sup>). Le fioul domestique, précédemment utilisé dans les engins non routiers en France, a une teneur en soufre de 1 000 ppm (100 fois supérieure à celle du gazole non routier).

### Réglementation spécifique à la Suisse

En 2008, la Suisse a mis en place une réglementation (ordonnance du 16 décembre 1985 modifiée sur la protection de l'air) imposant des contraintes supplémentaires par rapport à la réglementation européenne sur les émissions des moteurs diesels

de plus de 18 kW équipant des machines et appareils utilisés sur les chantiers. **Ces moteurs ne doivent pas émettre plus de 10<sup>12</sup> particules (d'un diamètre supérieur à 23 nm) par kWh.** Les moteurs sont réputés répondre à cette exigence s'ils sont équipés d'un système de filtre répondant aux spécifications de l'ordonnance. Cette réglementation s'applique aux machines neuves mises sur le marché et aux machines anciennes déjà en utilisation et d'une puissance supérieure à 37 kW. Pour les machines fabriquées avant 2000 l'obligation est entrée en vigueur au 1<sup>er</sup> mai 2015. Aujourd'hui, les moteurs répondant à la phase V de la réglementation européenne satisfont également les exigences de la réglementation suisse.

### Véhicules utilitaires lourds

La première réglementation européenne spécifique aux moteurs des véhicules utilitaires lourds et limitant leurs émissions est entrée en vigueur en 1992. Le tableau page suivante donne les limitations d'émissions pour les différentes phases définies par la réglementation pour les essais en cycle stationnaire. Depuis la phase IV, il existe également des limitations pour des essais en cycle transitoire qui sont obligatoires. À partir des phases Euro IV, la réglementation (directive 2005/55/CE

14. Directive 2009/30/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 modifiant la directive 98/70/CE en ce qui concerne les spécifications relatives à l'essence, au carburant diesel et aux gazoles ainsi que l'introduction d'un mécanisme permettant de surveiller et de réduire les émissions de gaz à effet de serre, modifiant la directive 1999/32/CE du Conseil en ce qui concerne les spécifications relatives aux carburants utilisés par les bateaux de navigation intérieure et abrogeant la directive 93/12/CEE.

15. Arrêté du 10 décembre 2010 modifié par arrêté du 26 janvier 2012 relatif aux caractéristiques du gazole non routier.

|          | Date*<br>et catégorie | CO<br>(g/<br>kWh) | Hydrocarbure<br>(g/kWh) | NO <sub>x</sub><br>(g/kWh) | Particules<br>(g/kWh) | Particules<br>(nombre/<br>kWh) | Opacité<br>des fumées<br>(m <sup>-1</sup> ) |
|----------|-----------------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---|
| Euro I   | 1992, < 85 kW         | 4,5               | 1,1                     | 8,0                        | 0,612                 | –                              | –   |
| Euro I   | 1992, > 85 kW         | 4,5               | 1,1                     | 8,0                        | 0,36                  | –                              | –   |
| Euro II  | 01/10/1996            | 4,0               | 1,1                     | 7,0                        | 0,25                  | –                              | –   |
| Euro II  | 01/10/1998            | 4,0               | 1,1                     | 7,0                        | 0,15                  | –                              | –   |
| Euro III | 01/10/1999<br>EEVs**  | 1,5               | 0,25                    | 2,0                        | 0,02                  | –                              | 0,15  |
| Euro III | 01/10/2000            | 2,1               | 0,66                    | 5,0                        | 0,1                   | –                              | 0,8   |
| Euro IV  | 01/10/2005            | 1,5               | 0,46                    | 3,5                        | 0,02                  | –                              | 0,5   |
| Euro V   | 01/10/2008            | 1,5               | 0,46                    | 2,0                        | 0,02                  | –                              | 0,5   |
| Euro VI  | 01/01/2013            | 1,5               | 0,13                    | 0,4                        | 0,01                  | 8 x 10 <sup>11</sup>           | –   |

\* Il s'agit de la date d'application pour les nouveaux moteurs.

\*\* EEVs : Véhicules à très basse émission destinés à réduire les émissions dans les villes.

du 28 septembre 2005<sup>16</sup> transposée en droit français par un arrêté du 14 novembre 2006<sup>17</sup>) introduit des obligations sur la durabilité des niveaux d'émission des moteurs ainsi que sur l'utilisation de systèmes de diagnostic embarqué du fonctionnement des systèmes de dépollution.

Les exigences de la phase Euro VI sont définies par le règlement (CE) n° 595/2009 modifié en dernier lieu par le règlement (UE) n° 133/2014 du 31 janvier 2014<sup>18</sup>, cette phase introduit notamment une limitation en nombre de particules pour les émissions des moteurs.

16. Directive 2005/55/CE du Parlement européen et du Conseil du 28 septembre 2005 modifiée par les directives de la Commission 2005/78/CE du 14 novembre 2005, 2006/51/CE du 6 juin 2006 et 2008/74/CE du 18 juillet 2008, concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux mesures à prendre contre les émissions de gaz polluants et de particules polluantes provenant des moteurs à allumage par compression destinés à la propulsion des véhicules et les émissions de gaz polluants provenant des moteurs à allumage commandé fonctionnant au gaz naturel ou au gaz de pétrole liquéfié et destinés à la propulsion des véhicules, texte aujourd'hui abrogé.

17. Arrêté du 14 novembre 2006 modifiant l'arrêté du 6 mai 1988 relatif au contrôle, avant la mise en circulation des véhicules automobiles, des émissions de gaz polluants et de particules polluantes provenant des moteurs à allumage par compression et des moteurs à allumage commandé fonctionnant au gaz naturel ou au gaz de pétrole liquéfié destinés à la propulsion de ces véhicules.

18. Règlement (CE) n° 595/2009 du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009 modifié par les règlements (UE) n° 582/2011 de la Commission du 25 mai 2011 et (UE) n° 133/2014 de la Commission du 31 janvier 2014, relatif à la réception des véhicules à moteur et des moteurs au regard des émissions des véhicules utilitaires lourds (Euro VI) et à l'accès aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules, et modifiant le règlement (CE) n° 715/2007 et la directive 2007/46/CE, et abrogeant les directives 80/1269/CEE, 2005/55/CE et 2005/78/CE.

## Véhicules particuliers et véhicules utilitaires légers

Le règlement (CE) n° 715/2007 du 20 juin 2007 modifié en dernier lieu par le règlement (CE) n° 459/2012 du 29 mai 2012<sup>19</sup> fixe les limitations d'émissions pour les véhicules particuliers et les véhicules utilitaires légers. Le règlement (CE) n° 692/2008 du 18 juillet 2008 modifié en dernier lieu par le règlement (UE) n° 2015/45 du 14 janvier 2015<sup>20</sup> fixe les dispositions techniques nécessaires à l'application du règlement (CE) n° 715/2007 modifié et établit les exigences requises pour la réception des véhicules conformes aux normes Euro 5 et 6.

Les phases 5 et 6 introduisent notamment une diminution importante des masses de particules ainsi qu'une limitation du nombre des particules émises. Des règles pour la conformité en service, la durabilité des dispositifs de maîtrise de la pollution et les systèmes de diagnostic embarqués sont définies.

19. Règlement (CE) n° 715/2007 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2007 modifié par les règlements (CE) n° 692/2008 du 18 juillet 2008, (CE) n° 595/2009 du 18 juin 2009, (UE) n° 566/2011 du 8 juin 2011 et (UE) n° 459/2012 du 29 mai 2012, relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules.

20. Règlement (CE) n° 692/2008 de la Commission du 18 juillet 2008 portant application et modification du règlement (CE) n° 715/2007 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2007 relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules, modifié par les règlements (UE) n° 566/2011 du 8 juin 2011, (UE) n° 459/2012 du 29 mai 2012, (UE) n° 630/2012 du 12 juillet 2012, (UE) n° 143/2013 du 19 février 2013, (UE) n° 171/2013 du 26 février 2013, (UE) n° 195/2013 du 7 mars 2013, (UE) n° 519/2013 du 21 février 2013, (UE) n° 136/2014 du 11 février 2014 et (UE) n° 2015/45 du 14 janvier 2015.

Le tableau ci-dessous donne les limites d'émissions pour les différentes phases programmées par la réglementation pour les moteurs diesels et pour les moteurs à allumage commandé des véhicules utilitaires légers de masse inférieure à 1 305 kg.

|   | Date*      | CO<br>(g/km) | Hydrocarbure<br>(g/km) | Hydrocarbure<br>+ NO <sub>x</sub><br>(g/km) | NO <sub>x</sub><br>(g/km) | Particules<br>(g/km) | Particules<br>(nombre/<br>km) |
|---|------------|--------------|------------------------|---|---------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <b>Moteur à allumage par compression (diesel)</b> |            |              |                        |   |                           |                      |                               |
| <b>Euro 1</b>                                     | 01/10/1994 | 2,72         | –                      | 0,97  | –                         | 0,14                 | –                             |
| <b>Euro 2 IDI</b>                                 | 01/01/1998 | 1,0          | –                      | 0,70  | –                         | 0,08                 | –                             |
| <b>Euro 2 DI</b>                                  | 01/01/1998 | 1,0          | –                      | 0,9   | –                         | 0,1                  | –                             |
| <b>Euro 3</b>                                     | 01/01/2000 | 0,64         | –                      | 0,56  | 0,50                      | 0,05                 | –                             |
| <b>Euro 4</b>                                     | 01/01/2005 | 0,50         | –                      | 0,30  | 0,25                      | 0,025                | –                             |
| <b>Euro 5a</b>                                    | 01/09/2009 | 0,50         | –                      | 0,23  | 0,18                      | 0,005                | –                             |
| <b>Euro 5b</b>                                    | 01/09/2011 | 0,50         | –                      | 0,23  | 0,18                      | 0,005                | 6,0 x 10 <sup>11</sup>        |
| <b>Euro 6</b>                                     | 01/09/2014 | 0,50         | –                      | 0,17  | 0,08                      | 0,0045               | 6,0 x 10 <sup>11</sup>        |
| <b>Moteur à allumage commandé</b>                 |            |              |                        |   |                           |                      |                               |
| <b>Euro 1</b>                                     | 01/10/1994 | 2,72         | –                      | 0,97  | –                         | –                    | –                             |
| <b>Euro 2</b>                                     | 01/01/1998 | 2,2          | –                      | 0,50  | –                         | –                    | –                             |
| <b>Euro 3</b>                                     | 01/01/2000 | 2,3          | 0,2                    | –   | 0,15                      | –                    | –                             |
| <b>Euro 4</b>                                     | 01/01/2005 | 1,0          | 0,1                    | –   | 0,08                      | –                    | –                             |
| <b>Euro 5</b>                                     | 01/09/2009 | 1,0          | 0,1                    | –   | 0,06                      | 0,005                | –                             |
| <b>Euro 6</b>                                     | 01/09/2014 | 1,0          | 0,1                    | –   | 0,06                      | 0,0045**             | 6,0 x 10 <sup>11**</sup>      |

IDI : Moteurs à injection indirecte.

DI : Moteurs à injection directe.

\* Il s'agit de la date d'application pour les nouveaux moteurs.

\*\* Ces limites ne s'appliquent qu'aux moteurs à injection directe (les émissions des moteurs à injection indirecte sont jugées suffisamment faibles pour ne pas nécessiter de limitation réglementaire). Une limite transitoire en nombre de particules de  $6 \times 10^{12}$  s'applique pendant les trois premières années suivant l'entrée en application de la phase.

## Annexe 2. Réglementation et recommandations sur les travaux souterrains

### Textes réglementaires

Dans la partie du Code du travail spécifique au **bâtiment et au génie civil**, les articles R. 4534-40 à R. 4534-59 traitent des travaux souterrains. Les articles R. 4534-43 à R. 4534-49 traitent spécifiquement de la ventilation et introduisent les valeurs suivantes :

- ventilation au front de taille : 25 L/s par homme (soit 90 m<sup>3</sup>/h par homme) ;
- en cas d'utilisation d'explosifs prévoir une ventilation d'au moins 200 L/s/m<sup>2</sup> de section.

Il est également prévu que, lorsqu'il est fait usage de moteurs thermiques ou qu'il existe des émanations nocives, les débits précédents doivent être augmentés de telle sorte que la qualité de l'air demeure compatible avec la santé et la sécurité des travailleurs.

Par ailleurs, les articles suivants du Code du travail sont applicables :

#### Ventilation des locaux à pollution spécifique

**Art. R. 4222-11** : Pour chaque local à pollution spécifique, la ventilation est réalisée et son débit déterminé en fonction de la nature et de la quantité des polluants ainsi que, le cas échéant, de la quantité de chaleur à évacuer, sans que le débit minimal d'air neuf puisse être inférieur aux valeurs fixées à l'article R. 4222-6.

Lorsque l'air provient de locaux à pollution non spécifique, il est tenu compte du nombre total d'occupants des locaux desservis pour déterminer le débit minimal d'entrée d'air neuf.

#### Travaux en espace confiné

**Art. R. 4222-23** : Dans les puits, conduites de gaz, carneaux, conduits de fumée, cuves, réservoirs, citernes, fosses, galeries et dans les lieux où il n'est pas possible d'assurer de manière permanente le respect des dispositions du présent chapitre, les travaux ne sont entrepris qu'après vérification de l'absence de risque pour la santé et la sécurité des travailleurs et, le cas échéant, après assainissement de l'atmosphère et vidange du contenu.

**Art. R. 4222-24** : Pendant l'exécution des travaux, la ventilation est réalisée suivant les prescriptions de l'article R. 4222-6 ou R. 4222-11, selon qu'il s'agit d'un local à pollution non spécifique ou d'un local à pollution spécifique, de manière à maintenir la salubrité de l'atmosphère et à en assurer un balayage permanent, sans préjudice, pour les travaux souterrains, des dispositions des articles R. 4534-43 à R. 4534-49.

Pour les **industries extractives**, l'utilisation des moteurs thermiques dans tous les travaux souterrains des mines et carrières doit répondre aux dispositions contenues dans le titre « Moteurs thermiques MT-1-R » du règlement général des industries extractives institué par le décret n° 80-331 du 7 mai 1980 modifié portant règlement général des industries extractives.

### Recommandations

#### Recommandation de la Cnam (R 494)

La Cnam a publié la recommandation R 494 relative à la mise en œuvre de dispositifs de ventilation en travaux souterrains linéaires<sup>21</sup>. Cette recommandation définit les règles minimales à respecter dans un projet de ventilation destiné à traiter les polluants émis par les activités d'un chantier souterrain linéaire.

#### Recommandations de l'Aftes

L'Association française de travaux en souterrain (Aftes) a publié en 2003 une recommandation relative à la ventilation des ouvrages souterrains en cours de construction<sup>22</sup>. Celle-ci complète la recommandation de la Cnam et a pour objectif de servir de guide pour concevoir le système de ventilation d'un chantier souterrain permettant d'assurer la salubrité de l'atmosphère.

#### Recommandation de la Cramif (DTE 266)

La Cramif a publié une recommandation relative aux travaux souterrains qui dresse un socle d'exigences minimales en matière de prévention des risques professionnels pour le projet urbain du Grand Paris<sup>23</sup>.

21. *Mise en œuvre de dispositifs de ventilation en travaux souterrains linéaires*, R 494, Cnam, 2017 (<https://www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31437/document/r494.pdf>).

22. *Ventilation des ouvrages souterrains en cours de construction*, GT27R1F1 2003, n° 176.

23. Grand Paris. *Travaux souterrains*, DTE 266, 2016 (<https://www.cramif.fr/sites/default/files/inline-files/dte-266-grand-paris-travaux-souterrains.pdf>).

**Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur** ■

[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

**Pour commander les publications de l'INRS au format papier** ■

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS. Retrouvez leurs coordonnées sur [www.inrs.fr/reseau-am](http://www.inrs.fr/reseau-am)

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à [service.diffusion@inrs.fr](mailto:service.diffusion@inrs.fr)

Les moteurs thermiques sont largement utilisés sur les véhicules routiers ou non routiers ainsi que pour des applications fixes. Les émissions de ces moteurs peuvent entraîner des effets néfastes sur la santé et les expositions professionnelles à ces émissions sont fréquentes. Cette brochure fait un point sur la réglementation des émissions des moteurs thermiques, sur leurs effets sur la santé et sur les moyens de prévention qui peuvent être mis en œuvre en milieu professionnel.



Institut national de recherche et de sécurité  
pour la prévention des accidents du travail  
et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris  
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

#### Édition INRS ED 6246

2<sup>e</sup> édition | février 2021 | 2 000 ex. | ISBN 978-2-7389-2631-9

L'INRS est financé par la Sécurité sociale  
Assurance maladie / Risques professionnels