

LA VENTILATION DE DILUTION

1°) introduction :

Les moyens et les procédés de la ventilation générale et ceux de la ventilation de dilution sont identiques.

Ainsi donc, comme son nom l'indique, la ventilation de dilution consiste à diluer de l'air pollué par de l'air non pollué dans le but de diminuer les risques liés à la présence du polluant.

2°) PRINCIPE DE LA VENTILATION DE DILUTION :

a) PRINCIPE :

Le principe de ventilation de dilution est donc de mélanger au maximum (ou mieux, totalement). L'air pollué avec un grand volume d'air non pollué afin d'obtenir la dilution, et d'éliminer ensuite le mélange obtenu à une allure telle que le niveau de pollution reste bas .

3°) CLASSIFICATION ET PROPRIETES DES POLLUNATS :

a) Classification des polluants :

Les hygiénistes industriels procèdent habituellement à la classification suivante :

- Les particules solides et liquides de dimensions variables, que l'on peut scinder en deux : les poussières qui sont de petites particules provenant de matières solides finement divisées, et les aérosols qui sont des particules solides ou liquides suspendues dans l'air et dont la dimension peut varier de 100 microns jusqu'à 0.01 micron ou moins, et qui comprennent les poussières fines, les fumées, les brouillards.

- Les gaz et les vapeurs qui sont une dispersion moléculaire dans l'air, de composés normalement (conditions normales de T et de P) gazeux ou liquides.

On entend par gaz, les gaz permanents aux conditions habituelles de température.

Pour les vapeurs, elles sont produites par évaporation à la suite de réchauffage ou résultent de la tension de vapeur des liquides à température ambiante.

L'appellation générale de "poussière" est réservée habituellement aux particules solides produites par les opérations mécaniques impliquant une désintégration et une dispersion de matière solide.

On désigne par brouillard, de fines gouttelettes de liquide suspendues dans l'air, les brouillards, sont produits par condensation de la vapeur d'un liquide ou par pulvérisation de ce dernier.

b) Propriétés des polluants :

Comme nous l'avons déjà vu au premier chapitre, les deux propriétés principales qui nous intéressent en ventilation sont la toxicité et l'inflammabilité du polluant.

En matière de toxicité, la caractéristique qui nous intéresse est la valeur limite d'exposition V.L.E. (ou en anglais T.L.V. : threshold limit value) qui est une concentration en polluant qu'il ne faut pas dépasser sur le lieu de travail grâce à l'utilisation de la ventilation.

Elle est donnée et mise à jour périodiquement pour les polluants reconnus toxiques dans les tables spécialisées ou dans les fiches toxicologiques. Elle est comptée en ppm (partie par million) en **mg/l** ou en **mg/m³**.

En ce qui concerne la deuxième propriété, il faut indiquer que la plupart des gaz ou vapeurs inflammables, en mélange avec l'air sont susceptibles d'exploser en s'enflammant. Le domaine des concentrations explosives de chacun d'entre eux est borné par les limites inférieures et supérieures dites "d'inflammabilité" ou "d'explosivité".

Rappelons que la LII d'un gaz ou d'une vapeur dans l'air est la concentration minimale en volume dans le mélange au-dessus de laquelle il peut être enflammé.

En ventilation, on aura besoin de connaître la valeur de ces concentrations afin de mettre en place les dispositifs qui permettent de ne pas les dépasser ou mieux de ne pas les atteindre.

A titre indicatif, on trouvera dans le tableau 3.1 les valeurs de la LIE des gaz et liquides usuels.

Notons que les atmosphères explosives peuvent se former accidentellement en raison de fuites sur des récipients de stockage, sur des canalisations ou sur des installations contenant des liquides ou des gaz inflammables se trouvant dans les locaux non ventilés.

Les gaz et les vapeurs inflammables ne sont pas seuls responsables des explosions, les poussières combustibles présentes dans l'air peuvent constituer des nuages explosifs. La concentration minimale explosive d'une poussière donnée dépend de plusieurs paramètres (granulométrie, énergie de la source d'inflammation).

4°) COMPORTEMENT DE CERTAINS TYPES DE POLLUANTS :

a) Polluant gazeux dans l'air :

On s'imagine souvent qu'un polluant gazeux lourd, contenu dans l'air, va descendre vers le sol. En réalité, dès que le gaz pénètre dans l'air, un mélange moléculaire s'effectue comme le prévoit la loi de Dalton. Le mélange gazeux à une masse volumique proche de celle de l'air et la gravité n'a plus de grand effet sur lui.

Le mélange, signalons-le, est provoqué par la turbulence naturelle (mouvement des particules de l'air et du gaz) et par les courants d'air existants (même faibles) qui font que le polluant se dilue dans l'air et se disperse dans toute l'atmosphère du local.

Ainsi un polluant gazeux, même lourd, restera en mélange avec l'air et se déplacera avec lui **s'il se trouve en faible proportion dans l'air**. Par contre, les gaz et les vapeurs de densité élevée et émis en quantité importante peuvent se répandre dans les parties basses des installations et nécessiter des systèmes de captage en partie basse.

Les fines particules restent constamment suspendues dans l'air à cause du mouvement brownien qui est du comme on le sait au choc des particules d'air (qui sont en mouvement continu) avec les particules solides, et il ne faut pas s'attendre à les voir se déposer.

¹ . INRS. Caractéristiques des mélanges explosifs, Chapitre1, ed911.

les vitesses de chute des fines particules sont très faibles comparées à celles des courants d'air qui sont estimées pour l'air très calme entre 0,1 et 0,2 m/s, ce qui peut amener ces particules à se déplacer avec les courants d'air présents et ainsi si on arrive à contrôler le mouvement de l'air, on peut également arriver à contrôler leur mouvement.

5°) MOUVEMENT DE L'AIR DANS LES LOCAUX

Sachant que les ventilateurs sont des machines servant à déplacer l'air. Nous voulons rajouter ici des indications concernant l'évolution des vitesses d'aspiration et de soufflage.

En effet, les mesures effectuées à l'aspiration et au refoulement d'un ventilateur en fonctionnement ont permis de faire les remarques suivantes :

- La vitesse de l'air soufflé reste encore égale à approximativement 10% de la vitesse mesurée au refoulement et cela à une distance égale à 30 fois le diamètre de la section de sortie.
- A l'aspiration la vitesse de l'air aspiré n'est plus que de 10% de la vitesse mesurée à la bouche d'aspiration et cela à seulement une distance égale à un diamètre de la section d'aspiration.

Ces données sont importantes pour comprendre l'évolution des polluants à travers les locaux et permettent de fixer les idées quant aux déplacements de l'air contaminé (voir figure 3.3).

6°) DIFFERENTS MODES DE VENTILATION DE DILUTION :

Le premier mode est la ventilation naturelle se faisant à travers les portes et les fenêtres ou par des ouvertures existantes ou spécialement aménagées du local.

L'introduction et l'extraction d'air se fait au travers de ces ouvertures de manière naturelle.

Un tel mode de ventilation n'est pas maîtrisable. Il peut y avoir trop ou peu de ventilation et elle ne se fait pas dans une direction constante et dans la direction désirée. De plus lorsqu'il fait froid l'introduction d'air provoque l'inconfort pour les personnes, perturbe le travail et peut amener le personnel à fermer ces ouvertures. Par ailleurs, les courants d'air peuvent être violents et causer des dégâts.

Le deuxième mode de ventilation et le plus sûr est la ventilation mécanisée produite par des moyens mécaniques (généralement les ventilateurs). Par ce mode on obtient une source constante et régulière d'air en mouvement.

L'intérêt de l'utilisation de ce mode réside dans :

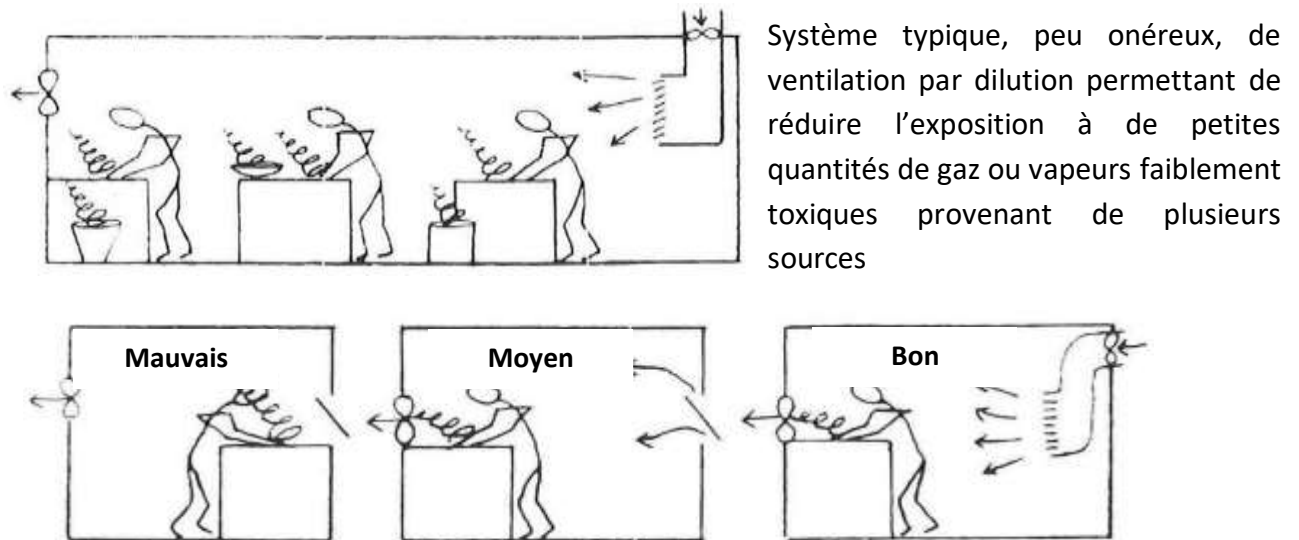
- La possibilité de localiser : aspiration et soufflage
- Un meilleur brassage donc une meilleure homogénéisation du mélange donnant une meilleure dilution.
- La possibilité de tempérer l'air.

On peut utiliser la ventilation naturelle et la ventilation mécanisée en même temps : c'est le mode de ventilation mixte.

² McDERMOTT H.I. Handbook of ventilation for contaminant control. 1° éd. Ann. Arbor Science. 1976 .

C'est le cas qui se rapproche le plus de la réalité car il y a présence inévitable d'ouvertures dans les parois des locaux, ce qui provoque un certain effet de ventilation naturelle.

Dans figure 3.4, nous présentons différents systèmes de ventilation de dilution en vue de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de chaque type.



Système typique, peu onéreux, de ventilation par dilution permettant de réduire l'exposition à de petites quantités de gaz ou vapeurs faiblement toxiques provenant de plusieurs sources

Une bonne ventilation par dilution pour un travailleur unique, dans un petit espace, doit prendre en compte la position de ce dernier. Ce système peut être presque aussi efficace qu'une ventilation par déplacement.

Figure 3.4: Différents modes de ventilation de dilution

I

Il suffit d'aménager une ou plusieurs ouvertures à travers lesquelles d'air pollué peut s'échapper et placer un ventilateur pour l'extraire.

L'introduction d'air non pollué doit être nécessairement faire pour remplacer le mélange d'air déplacer et pour effectuer la dilution.

Les ouvertures sont judicieusement choisies de sorte qu'un brassage de tout l'air ambiant soit fait pour obtenir une bonne homogénéisation et éviter les zones mortes par des passages préférentiels.

On peut améliorer le système en plaçant des caissons diffuseurs.

Finalement le système peut requérir de filtrer et de tempérer l'air entrant. La filtration peut aussi être utilisée pour l'air sortant.

8°) DOMAINES D'APPLICATION DE LA VENTILATION DE DILUTION :

- La ventilation de dilution est applicable aux substances peu toxiques et émises à un débit faible et régulier dans le temps.

Cependant il est important de rappeler que malgré la basse toxicité il faut s'assurer que la zone de respiration des personnes doit se trouver au-dessous de la concentration dangereuse.

- La ventilation de dilution est généralement appliquée comme complément de la ventilation localisée pour diluer les polluants non captés par cette dernière.
- Souvent lorsque la conception de l'équipement ou du process utilisé ne permet pas l'usage de la ventilation localisée la ventilation de dilution reste la seule alternative valable à appliquer à condition que les personnes exposées soient suffisamment éloignées des sources de pollution et des zones à concentration dangereuse.

9°) REGLES GENERALES A SUIVRE POUR L'APPLICATION DU SYSTEME

- S'assurer au préalable que le recours à une ventilation locale est bien techniquement impossible. Dans le cas contraire préférer une aspiration localisée
- Tendre un écoulement général des zones propres vers les zones polluées
- Essayer de faire passer le maximum d'air sur les zones polluées
- Eviter que les travailleurs ne soient placés entre les sources et l'extraction,
- Il faudra éviter les zones de fluides mort
- Il est important de calculer convenablement le débit d'air à mettre en jeu et de bien positionner les ouvertures.
- Les ouvertures d'extraction doivent être prévues le plus près possible de la source de pollution de sorte que la majorité du polluants (exemple : effet ascensionnel des gaz chauds)
- Dans le cas où le local à ventiler communique avec d'autres locaux ou il n'y a pas de pollution il est conseillé d'augmenter le volume d'air extrait par rapport au volume d'air introduit dans le local et ce grâce à la dépression produite.
- Lorsqu'il n'y pas communication avec d'autres locaux un excès d'air introduit va forcer l'air pollué à sortir le plus vite possible.
- Dans tous les cas il est important d'éviter à ce que les sorties d'air pollué ne se trouvent à proximité d'autres entrées d'air.

10°) DIMENSIONNEMENT :

L'objet de ce paragraphe est de savoir comment déterminer le volume d'air nécessaire à la bonne dilution dans une situation déterminée.

a) Bilan matières :

Soit un local de volume V . suppose qu'un polluant est émis dans ce local à un débit massique G (mg seconde par exemple).

En l'absence de ventilation et d'extraction d'air ce polluant va se diluer dans l'air du local et après un temps donné t (s). la concentration du polluant dans le local sera : c

$$\text{Nous pourrions écrire qu'au temps } t : Gt = Vc \quad (1)$$

Ce premier bilan matière indique que la masse de substance émis par la source se retrouve dans le local.

La concentration du polluant évolue avec le temps et elle augmentera de dc pendant le temps dt

On pourra écrire alors : $V dc = G dt$ (2) en termes différentiels.

Si maintenant on extrait l'air pollué à un débit volumique Q (m^3/s), le débit massique d'extraction égal à $Q c$ au temps t , et la masse extraite au temps t sera $Q c t$. pendant le temps dt elle sera : $Q c dt$.

Si toute la masse de polluant émise est extraite au même rythme que son émission on pourra écrire le bilan massique suivant :

Masse de polluant émis = masse de polluant extrait

Ou encore : $G dt = Q c dt$ (3)

Ce bilan montre **qu'il n'y a pas accumulation** de polluant dans le local : **tout ce qui est émis est extrait** et on arrive ainsi à maintenir une **concentration constante** dans le local.

Si maintenant nous supposons le débit d'extraction insuffisant il y aura alors obligatoirement accumulation de polluant dans le local et nous pourrons écrire le bilan massique suivant :

Masse de polluant émis – masse de polluant extrait = masse de polluant accumulé

Ce bilan se traduit mathématiquement par l'équation suivante :

$$G dt - Q c dt = V dc \quad (4)$$

Effectuons à présent l'intégration des expressions (3) et (4) en supposant les débits réguliers dans le temps :

$$\int_{t_1}^{t_2} G dt = \int_{t_1}^{t_2} Q c dt \quad \text{d'où } G (t_2 - t_1) = Q c (t_2 - t_1)$$

$$\text{Ou encore } Q = G/c \quad (5)$$

Pour l'autre expression nous aurons :

$$(G - Qc)dt = V dc \quad \text{d'où } : \frac{dt}{V} = \frac{dc}{G - Qc}$$

Qui va donner après intégration :

$$\ln \frac{G - Qc_1}{G - Qc_2} = \frac{Q}{V} (t_2 - t_1) \quad (6) \text{ régime transitaire}$$

L'expression (5) permet de déterminer le débit d'air théorique Q à mettre en jeu pour maintenir constante la concentration C d'un polluant émis au débit G .

L'expression (6) permet de connaître l'évolution de la concentration en fonction du temps pour un polluant émis au débit G et qui s'accumule dans le volume V suite à l'insuffisance du débit d'extraction théorique Q .

b) Facteur de sécurité K :

Dans les bilans précédents nous avons supposé les débits constants et réguliers nous avons sous-entendu le fait que le brassage et l'homogénéisation du polluant dans l'air et sa dilution dans l'air étaient parfaits ; nous n'avons pas tenu compte de la position des travailleurs par rapport aux sources etc

Afin de tenir compte de toutes ces possibilités et d'autres que nous citerons par la suite on doit introduire un facteur de correction du débit théorique Q le facteur de sécurité K qui devra évidemment être **supérieur à 1** et qui nous permettra de déterminer le débit d'air réel Q' à mettre en jeu.

On écrira donc : $Q' = K Q$ (7) et ainsi les relations (5) et (6) deviendront :

$$Q' = K G / C \quad (8) \quad \text{et} \quad \ln \frac{G-Q C_1}{G-Q C_2} = \frac{Q'(t^2-t^1)}{K V} \quad (9)$$

On donne habituellement à K des valeurs pouvant aller de 3 à 10 selon les cas et c'est le choix de la valeur de K qui est difficile car il fait appel à l'expérience, à l'intuition et au jugement du concepteur.

L'évaluation de K est effectuée en fonction d'un certain nombre de considération :

- L'efficacité de brassage et d'homogénéisation, ceci en fonction de la bonne ou de la mauvaise répartition du débit d'air dans le local et de l'uniformité de sa circulation.

- La toxicité du polluant : plus le niveau de toxicité est élevé et plus K sera grand. On admet généralement qu'il y a haute toxicité pour VLE < 100 ppm, qu'il y a toxicité modérée pour VLE compris entre 100 et 500 ppm et il y a basse toxicité pour VLE > 500 ppm.

- La difficulté de l'estimation du débit d'émission G
- La non uniformité possible du débit d'émission
- La position des personnes par rapport aux sources
- La réduction du rendement des ventilateurs avec le temps.

c) Cas de l'assainissement d'un local :

Il peut arriver que l'air d'un local soit pollué et qu'après avoir éliminé la source de pollution on cherche à assainir l'atmosphère. Pour cela on introduit de l'air pur et on extrait l'air pollué. $-\frac{Q'}{K} c dt = V dc$ Car dc est négatif (c'est une concentration qui diminue)

On aura alors : $-\frac{Q'}{KV} dt = \frac{dc}{c}$ et après intégration, on aura :

$$\ln \frac{c_1}{c_2} = \frac{Q'}{KV} (t_2 - t_1) \quad (10) \quad \text{avec : } c_2 < c_1$$

d) Cas de substance inflammable :

Lorsque l'air se trouve en présence d'une substance inflammable qui risque de provoquer une explosion on se considère plus les concentrations du point de vue toxicologique (VLE) mais on considère plutôt les concentrations pouvant donner lieu à une explosion : (LIE).

Ainsi si on veut maintenir une concentration constante inférieure ou égale à la LIE on utilisera l'expression (8) et si on désire connaître l'évolution des concentrations on utilisera l'expression (9).

Cependant il est utile de remarquer que :

- Etant donné que la LIE varie avec la température on devra faire intervenir un facteur de correction de la concentration B que l'on prendra égal à 1 pour les valeurs de la température inférieures à 121 °C (ou 250° F) et à 0.7 pour des températures supérieures à 121°C.
- On utilisera un facteur de sécurité K' au lieu de K et on lui donnera des valeurs comprises entre 4 et 12 et même plus en fonction des situations rencontrées.

e) Présence de plusieurs polluants différents :

Il arrive souvent que dans le même local il y ait émission de plusieurs polluants différents (possédant chacun sa propre VLE).

Quand il y a une présence de plusieurs polluants on prendra en considération leur effet conjugué (voir cours de toxicologie). En l'absence d'information concernant cet effet, les effets des différents risques toxicologiques devront être considérés comme additifs.

Ceci étant, si la somme suivante est supérieure à 1, on peut considérer que la VLE du mélange est dépassées :

$$\frac{C_1}{VLE_1} + \frac{C_2}{VLE_2} + \dots + \frac{C_n}{VLE_n} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{VLE_i}$$

Avec C_1 = concentration du ième polluant.

On calcule alors la quantité d'air requise pour diluer chaque composant du mélange à la concentration désirée et on prendra la somme des quantités d'air comme volume global à mettre en jeu :

$$Q' = Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 + \dots + Q'_n$$

Exception à cette règle est faite lorsqu'il est reconnu que les effets toxicologiques des différentes substances ne sont pas additifs mais qu'elles agissent indépendamment sur les différents ordinairement dépassée lorsqu'au moins un terme de la série suivante a une valeur supérieur à 1 :

$$\frac{C_1}{VLE_1} \text{ OU } \frac{C_2}{VLE_2} \text{ etc.....}$$

La ventilation requise est alors calculée pour chaque composant du mélange pris séparément et c'est la valeur du débit le plus élevé qui sera prise comme valeur de débit de la ventilation.