

# LE SOUDAGE ET L'ENVIRONNEMENT

## ENVIRONNEMENT

Lorsqu'on parle du soudage et de l'environnement, on peut se poser plusieurs questions à ce sujet, comme p. e., "Quelle technique de soudage est une technologie non polluante?" ou "Quelles techniques de soudage peut-on considérer comme respectueuses de l'environnement?" Les réponses à ces questions ne sont pas du tout simples et/ou aisées. Il y a des techniques qui peuvent être polluantes et non polluantes, tout dépend de leur mise en œuvre. De plus, une technique polluante peut devenir une technique respectueuse de l'environnement lorsqu'on prend les précautions nécessaires, et naturellement la situation inverse existe également.

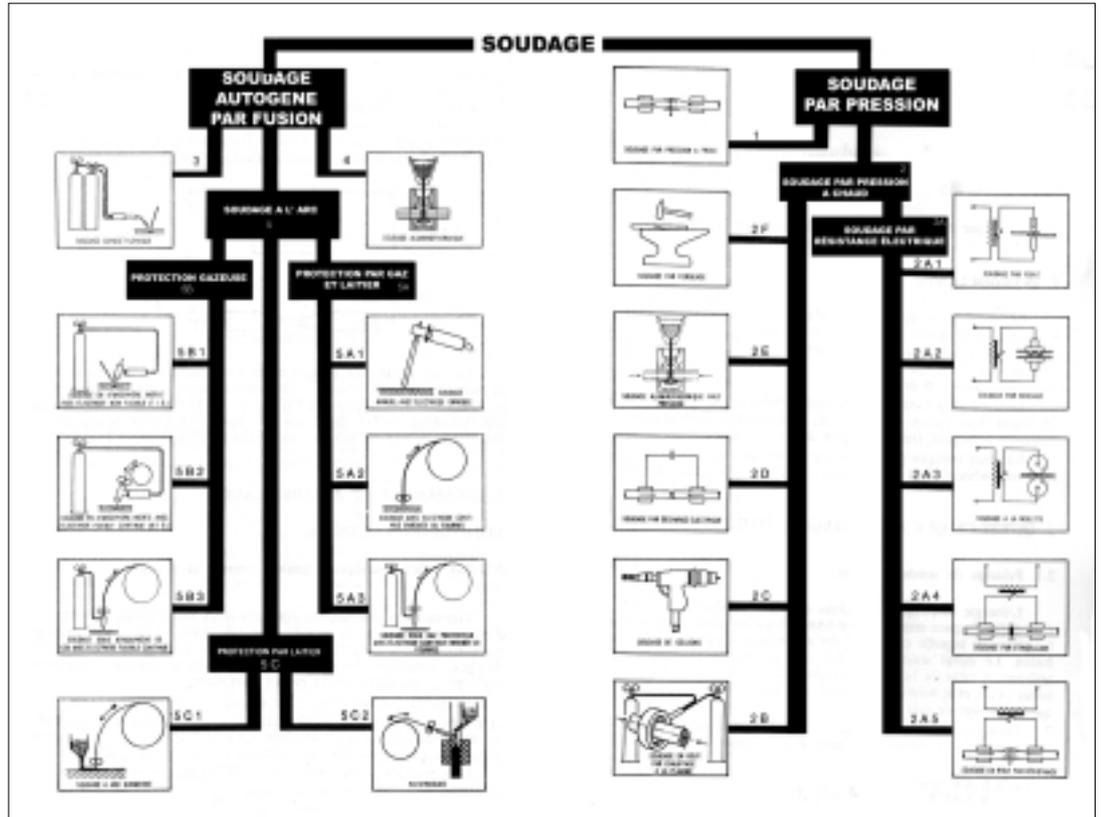


Figure 1: la classification qui est la plus appliquée est celle qui subdivise les procédés en deux grands blocs: les procédés de soudage par fusion et les procédés de soudage où on applique une pression pour réaliser le joint

### CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Lorsqu'on doit réaliser une construction par soudage, on doit faire pas mal de choix, en fonction de la construction à réaliser. Un petit exemple facilitera la compréhension. Pour la construction d'un pont, on a dû choisir un matériau ou des matériaux de base pour l'œuvre d'art à construire. Après avoir conçu et calculé l'ensemble, on obtiendra à un ensemble de tôles, profilés etc... de différentes épaisseurs. En fonction du type de matériaux, des épaisseurs à assembler, du soudage en atelier ou sur site etc..., l'ingénieur soudeur doit faire son choix. Il a souvent le choix parmi plusieurs procédés (présents dans l'atelier) pour réaliser la construction en question. Sa décision dépendra également de beaucoup d'autres facteurs qui n'ont pas encore été cités ci-avant; tels que la position de soudage, le préchauffage des pièces à souder, les possibilités de soudage mécanisé ou robotisé, le rendement du procédé, l'aspect économique ... et l'ingénieur soudeur doit aussi tenir compte du facteur environnement! Lorsque, par exemple, la

concentration des gaz et fumées de soudage produits avec le procédé choisi est supérieure à des valeurs admissibles, une aspiration et un traitement des fumées doivent être prévus. Un autre problème est le soudage de tôles prépeintes. Il est possible qu'un même procédé mis en œuvre sur tôle sans primer de soudage ne pose pas de problèmes d'environnement alors que son utilisation sur le même type de tôle avec primer exigera des précautions. Un autre problème peut également apparaître: le procédé idéal pour le respect de l'environnement et/ou aspect économique n'est pas disponible dans l'atelier et la série de pièces à souder est trop faible pour justifier la mise en œuvre de ce procédé! Dans ce cas, l'ingénieur soudeur doit faire le meilleur choix possible quant à l'environnement tout en tenant compte des aspects économiques et techniques.

### CLASSIFICATION DES PROCÉDÉS DE SOUDAGE

Il existe plusieurs manières de classer. Celle qui est la plus appliquée est celle qui subdivise les procédés en deux grands blocs: les

procédés de soudage par fusion et les procédés de soudage où on applique une pression pour réaliser le joint. La **Figure 1** donne un aperçu de cette classification.

### PROCÉDÉS DE SOUDAGE PAR FUSION

En Europe, la majorité des constructions soudées est réalisée avec peu de procédés. L'évolution a été telle qu'à peu près 60% est réalisé avec le procédé MIG/MAG (Metal Inert Gas/Metal Active Gas) souvent aussi dénommé semi-automatique et "30% est réalisé avec le soudage à l'arc avec électrode enrobée et le reste, " 10% est réalisé par les procédés TIG (Tungsten Inert Gas) et arc submergé. En Amérique et au Japon, cette évolution est plus ou moins similaire, sauf que pour le procédé MIG/MAG une grande partie est soudée avec fil fourré au lieu de fil plein. Le fil fourré, pour ce procédé de soudage, n'a pas pénétré le marché européen comme il l'a fait en Amérique et au Japon. Une des causes probables est peut être le fait que le dégagement de fumées de soudage est nettement supérieur à celui produit avec le fil

plein... Il faut encore mentionner que lorsqu'un procédé de soudage dit classique est appliqué, comme p. e. le soudage à l'électrode enrobée, la quantité de gaz et fumées de soudage, pour la même électrode (même métal d'apport) augmente avec l'intensité du courant de soudage! Cela veut dire que la quantité de fumées produites pour la même opération de soudage varie avec le courant de soudage! Un procédé respectueux de l'environnement est le soudage sous flux. Une limitation importante de ce procédé est que c'est un procédé mécanisé qui ne peut être appliqué (à quelques exceptions près) qu'à plat, soudage horizontal. Une autre limitation est que ce procédé ne peut être mis en œuvre à partir d'une épaisseur supérieure à 3 mm.

### PROCÉDÉS DE SOUDAGE PAR PRESSION

Pour les procédés de soudage par pression, la majorité des soudures est réalisée par le soudage par résistance. Le soudage par points et/ou à la molette sont les plus répandus et connus comme techniques majeures dans la

construction automobile, le mobilier métallique, les radiateurs de chauffage, les appareils électroménagers, etc.... Le principe du procédé de soudage par points est relativement simple. Dans une presse/pince, deux tôles sont mises sous pression par des électrodes. Un courant électrique

lorsque la teneur des fumées devient trop importante, il faut prévoir une aspiration locale.

### GAZ ET FUMÉES DE SOUDAGE

En soudage et coupage thermique, les gaz et fumées sont difficiles à

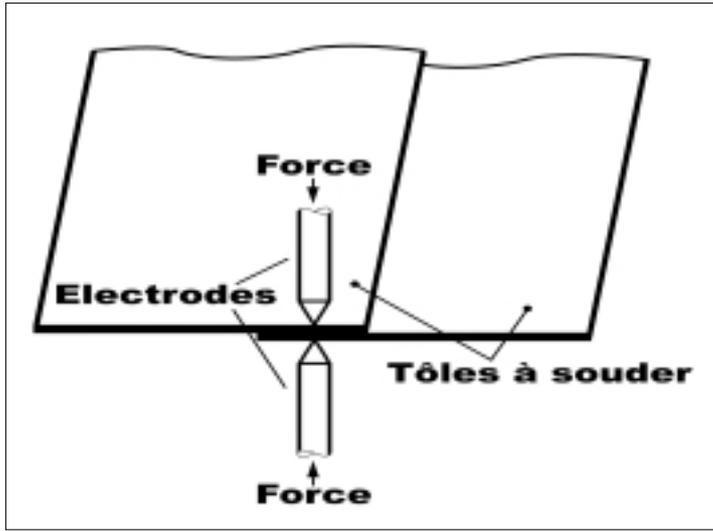


Figure 2: La force appliquée doit être telle que les tôles à souder sont tenues en contact lors du soudage pour qu'il ne se crée pas de projections de métal fondu

passer ensuite dans les électrodes à travers les tôles à souder et ceci pendant un temps bien déterminé. Dans la zone de contact entre les tôles se forme un noyau/un point de soudure. La force appliquée doit être telle que les tôles à souder sont tenues en contact lors du soudage pour qu'il ne se crée pas de projections de métal fondu.

#### Voir la Figure 2

Ce procédé est très respectueux de l'environnement, mais ne peut être appliqué que pour des tôles de faible épaisseur. La pollution créée lors du soudage est le champ magnétique produit autour de la machine. L'importance de ce champ est proportionnelle au courant de soudage appliqué. En principe, cela n'engendre aucun problème humain, mais peut poser des problèmes éventuels pour les pacemaker, appareillages électroniques, etc.... Les problèmes de type sécurité et hygiène qui peuvent se poser sont bien connus et peuvent être résolus en prenant les précautions appropriées. Il faut tenir compte du fait qu'il s'agit d'une presse et qu'il faut donc veiller à ne pas être pris par la machine. Il faut se protéger contre les projections éventuelles de petites particules métalliques fondues. De plus, c'est une machine électrique et on doit donc éviter tout contact électrique possible avec l'alimentation, côté primaire de la machine. Un problème environnemental éventuel qui pourrait se poser, est dû au fait que les métaux (acier) à assembler sont souvent protégés par une mince couche d'huile protectrice à la surface. Cette huile va brûler lors du soudage et

classifier. De nombreux procédés de soudage par fusion et/ou procédés de coupage thermique engendrent la formation de gaz et fumées de soudure. Les quantités produites dépendent non seulement du procédé appliqué mais aussi du type de métal d'apport (p. e., fil plein ou fil fourré), du courant de soudage, du revêtement ou non, du matériau de base, de l'huile de protection à la surface, etc.... La nature des fumées, donc sa composition et sa toxicité éventuelle, dépend de la composition des matériaux de base, du métal d'apport (fil et flux de soudage), de l'intensité du courant de soudage, du revêtement du matériau de base (zinc, peinture, huile, autres...), des produits polluants dans l'atmosphère (p. e. dégraissant).

En soudage et coupage thermique, la composition des gaz et fumées de soudage diffère normalement de la composition des électrodes ou produits d'apport. Ce qu'on peut attendre comme constituants dans les fumées de soudage pour des opérations normales sont des éléments volatils et/ou produits de réaction ou oxydation des métaux d'apport, matériaux de base, coatings, et des polluants atmosphériques. C'est plutôt le métal d'apport et non le matériau de base qui est la source des fumées. Mais une quantité non négligeable dans les fumées peut provenir du matériau de base lorsque celui-ci contient des éléments d'alliage et/ou des coatings qui deviennent volatils à des températures plus élevées.

Certains gaz sont produits lors de la décomposition des flux ou enrobages

d'électrodes. D'autres sont formés sous l'action de l'énergie de l'arc ou par le rayonnement UV sur les constituants atmosphériques et polluants.

Les gaz potentiellement toxiques sont le monoxyde de carbone, les gaz nitreux, l'ozone et le phosgène, ou d'autres produits de décomposition d'hydrocarbures chlorés. L'hélium et l'argon sont des gaz inertes et peuvent diminuer la teneur en oxygène de telle façon qu'il y a risque d'asphyxie; le dioxyde de carbone et l'azote ont le même effet. L'ozone peut être formé par le rayonnement UV d'un arc de soudage et ceci en particulier lorsqu'on utilise l'argon ou l'hélium comme gaz de protection.

Une bonne estimation de la composition des fumées de soudage ne peut être faite qu'en prenant en considération le procédé et le(s) matériau(x) à assembler. Par ex., le soudage MAG d'un acier doux avec gaz de protection Ar-CO<sub>2</sub> donne lieu à un niveau de fumées peu élevé tandis que le soudage en environnement oxydant donne lieu à un niveau de fumées considérable et peut créer du monoxyde de carbone et des oxydes d'azote. Ces fumées contiennent des particules amorphes de laitier contenant du fer, manganèse, silicium et d'autres constituants métalliques en fonction de l'alliage soudé. Le chrome et le nickel sont présents lorsqu'on soude de l'acier inoxydable. Certains types d'électrodes enrobées ou fils fourrés

2. respirables et non retenues dans les poumons (dimension inférieure à 0,1 micron),

3. respirables et retenues dans les poumons (dimension de " 0,1 µ à 10 micron).

Ce sont surtout ces dernières qui posent des problèmes. La figure donne des informations sur les dimensions des poussières dans plusieurs types de gaz et fumées. La Figure 3 montre où se situent les gaz et fumées de soudage par rapport à d'autres gaz et fumées bien connus comme par ex. les fumées de cigarettes. Il est à mentionner ici que la plupart des gaz et fumées de soudage (avec exclusion de ceux contenant des métaux lourds par exemple), sont moins dangereux que les fumées de cigarettes. La liste suivante donne un aperçu des produits que l'on peut retrouver dans les gaz et fumées de soudage avec leur valeur TLV (Threshold Limit Value ' la teneur maximale admissible dans l'air pour une durée de travail de 8 h par jour pendant toute la carrière d'une personne en bonne santé sans qu'il se pose un problème pour l'individu) et les problèmes éventuels qu'ils peuvent engendrer.

- Fumées de soudage (du métal d'apport et matériau de base)  
1. Oxyde de fer (TLV: 5 mg/m<sup>3</sup>, soit 500 particules respirables par cm<sup>3</sup>; de substance totale) peut représenter 50% des fumées de soudage et peut donner lieu à une sidérose (affection

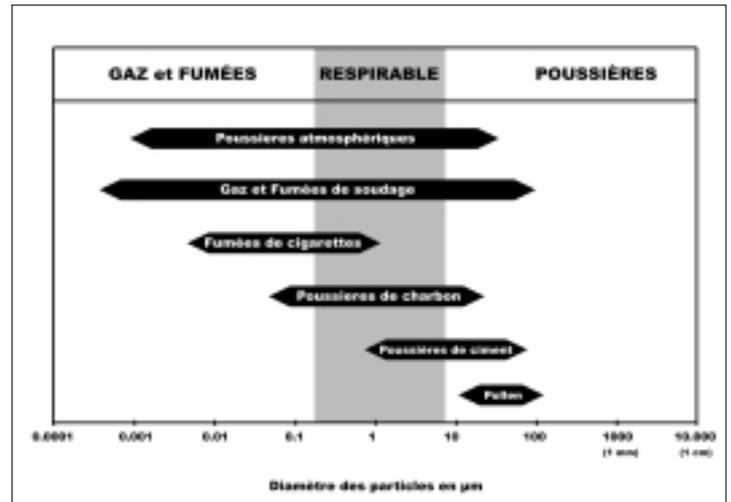


Figure 3: les dimensions des poussières dans plusieurs types de gaz et fumées

contiennent des fluorures. Les fumées produites lors du soudage contiennent nettement plus de fluorures que d'oxydes. Mais, une étude aux Pays-Bas a démontré qu'il n'y a pas de rapport direct entre la teneur en fluor dans l'enrobage et dans les fumées. Les fumées de soudage sont composées de deux constituants principaux: les gaz et les fumées, c.-à-d. les particules. Lorsqu'on considère ces dernières selon leur grandeur/taille, on peut les subdiviser en trois catégories:

1. non-respirables (particules de dimension supérieure à 10 micron),

des poumons qui présente une ressemblance avec la silicose).

2. Silice (TLV: 0,3 mg/m<sup>3</sup>) provient de l'enrobage des électrodes et peut donner lieu à la silicose.

3. Manganèse et oxydes de manganèse (TLV: 5 mg/m<sup>3</sup>) parfois présents en quantité importante, peuvent causer des lésions au système nerveux.

4. Fluorures (TU: 2,5 mg/m<sup>3</sup>): surtout dans les électrodes basiques. Ils irritent les voies respiratoires et peuvent causer un empoisonnement lors d'une longue exposition. Ils sont souvent à la base des plaintes en ce

qui concerne les fumées irritantes.

5. Oxydes de chrome (TLV: 0,11 mg/m; pour le chrome trivalent et 0,05 mg/m; pour le chrome hexavalent) d'éléments en aciers inoxydables ou chromés, exercent un effet irritant sur la peau et les organes respiratoires. D'autres sources parlent de cancer des poumons (pour Cr<sub>6</sub>).

6. Métaux alcalins et alcalino-terreux (TLV: 5 mg/m): oxydes de calcium (dans les fumées d'électrodes basiques à base de chaux).

7. Zinc (TLV: 5 mg/m;), étain (TLV: 2 mg/m;). Les fumées peuvent provoquer ce qu'on appelle la "fièvre des fumées métalliques" qui disparaît cependant après quelques heures ou une nuit de repos. La fièvre des fumées métalliques a les mêmes symptômes que la grippe.

14. Titane (TLV: 10 mg/m;).

15. Vanadium (TLV: 0,05 mg/m; pentoxyde de vanadium). Surtout dans les fils fourrés. Ces vapeurs ont une action irritante sur les muqueuses.

- Gaz (engendrés par les températures élevées et les radiations)
- Vapeurs nitreuses (NO<sub>2</sub>) surtout, est dangereux (TLV 5 ppm). Elles sont engendrées à haute température, sont plus lourdes que l'air et peuvent irriter les voies respiratoires et les yeux. Un oedème pulmonaire ainsi que des maux à l'estomac et aux intestins peuvent se déclarer.
- Anhydride carbonique (CO<sub>2</sub>) (TLV 5000 ppm) utilisé comme protection de l'arc lors du soudage. Ce gaz est plus lourd que l'air et, à de fortes concentrations, peut entraîner l'asphyxie.

complètement sèches, après nettoyage avec du trichloréthylène, de l'acétone ou des substances analogues.

- Les autres gaz protecteurs comme l'argon, l'hélium, l'hydrogène, l'azote sont, en eux-mêmes, non toxiques, mais, en trop grandes quantités, ils peuvent chasser l'air et donc provoquer l'asphyxie, surtout dans des espaces confinés.

## EVACUATION DES FUMÉES DE SOUDAGE

Lorsque la concentration des fumées de soudage et poussières dans l'air de l'atelier est trop élevée, il faut agir par renouvellement de l'air dans l'atelier et/ou aspiration des fumées de soudage.

propre dans l'atelier. Mais les fumées évacuées doivent être filtrées de façon à ce que l'air récupéré et renvoyé dans l'atelier soit sain, non polluant.

## CONCLUSION

En ce qui concerne les gaz et fumées de soudage on peut dire que l'atmosphère de soudage ne représente aucun danger pour le travailleur si les seuils de tolérance (valeurs TLV) ne sont pas dépassés. Lorsque ces valeurs sont dépassées, il faut prévoir une aspiration/évacuation de ces gaz et fumées et les traiter de façon appropriée. Cela aura pour résultat une atmosphère saine pour le soudeur/travailleur et un résidu qui ne posera aucun problème quant au respect de l'environnement lorsqu'il est traité de façon adéquate.

Il faut également mentionner que lorsqu'un procédé de soudage dit classique est appliqué, comme par ex. le soudage à l'électrode enrobée, la quantité de gaz et fumées de soudage, pour la même électrode (même métal d'apport) augmente avec l'intensité du courant de soudage!

Cela veut dire que la quantité des fumées produites pour la même opération de soudage varie avec le courant de soudage!

Un procédé respectueux de l'environnement est le soudage sous flux. Une limitation importante de ce procédé est que c'est un procédé mécanisé qui ne peut être appliqué (à quelques exceptions près) qu'à plat, soudage horizontal. Une autre limitation est que ce procédé ne peut être mis en oeuvre à partir d'une épaisseur supérieure à " 3 mm. Pour les procédés classiques de soudage par fusion, qui sont les procédés les plus appliqués en construction soudée (électrode enrobée, MIG/MAG), il est presque impossible sinon impossible d'indiquer le/les procédé(s) respectueux de l'environnement parce que ce n'est pas seulement le procédé qu'il faut considérer mais aussi les paramètres de soudage appliqués, le type de métal d'apport, la composition chimique du métal d'apport et du matériau de base, l'état de surface des pièces à souder (revêtement, primer, huile, ...), etc.... Chaque soudeur représente un défi pour trouver le compromis idéal entre la qualité de la soudure, l'aspect économique et le respect de l'environnement.

Les conseillers du Centre de Recherche de l'Institut Belge de la Soudure sont à votre disposition pour répondre à toute question pratique à ce sujet. Vous pouvez toujours prendre contact avec Ir. R. Vennekens, EWE, Fweld, Ing. B. Verstraeten, EVVE, Ing. K. Broeckx, EVVE, tél.: 09/264.32.38 ou 54, fax: 09/223.73.26 □

**Ir. R. Vennekens, EWE, Fweld  
Institut Belge de la Soudure**



*L'ingénieur soudeur doit faire le meilleur choix possible quant à l'environnement tout en tenant compte des aspects économiques et techniques*

Il n'y a pas lieu de craindre des lésions permanentes, mais à la première occasion, on peut vite rechuter.

Zinc: dans le lait et les matériaux zingués (acier galvanisé); étain: lors du soudage du bronze.

8. Béryllium (TLV: 0,002 mg/m; ) très toxique. Lors du soudage de certains alliages de Cu.

9. Plomb (TLV: 0,15 mg/m; ) peut provoquer après quelques heures déjà une intoxication au plomb.

10. Cadmium (TLV : 0,05 mg; ) peut avoir un effet lacrymogène violent, comparable au gaz lacrymogène.

11. Cuivre (TLV 0,1 mg/m; ). Provoque la fièvre des fumées métalliques.

12. Nickel (TLV 0,1 mg/m; ). Provoque une inflammation des poumons.

13. Molybdène (TLV: 5 mg/m; pour les composés insolubles). À ce jour, aucun cas d'intoxication par le molybdène dû au soudage n'a été signalé, à part un irritation des voies respiratoires.

- Monoxyde de carbone (CO) (TLV 50 ppm) provient en grande partie de la dissolution du CO<sub>2</sub> à température élevée, est nocif et, à concentration élevée, est même mortel.

Dans des espaces confinés, une trop haute concentration en CO peut se former (aussi bien que du CO<sub>2</sub>). Une bonne ventilation est alors nécessaire.

- Ozone (O<sub>3</sub>) (TLV: 0,1 ppm) est un gaz très irritant qui se forme sous l'action des rayons UV sur l'oxygène, surtout dans le cas de tensions de courant élevées lors du soudage à l'arc (surtout lors du soudage TIG et plasma).

L'ozone se forme le plus lors de l'allumage de l'arc. Il peut irriter les muqueuses et peut donner lieu à des irritations des poumons et des maux de tête.

- Phosgène (TLV: 0,1 ppm). COCl<sub>2</sub> résulte de l'action de la chaleur ou des radiations ultraviolettes sur les hydrocarbures chlorés. C'est un gaz inodore qui touche les voies respiratoires. C'est pourquoi on doit uniquement souder sur des pièces

La norme suédoise *Welding Electrodes - Fume classes*, parue pour la première fois en 1979, est à l'origine de ces actions. Cette norme a été mise au point sur base de tests de soudage avec électrodes enrobées. Les électrodes ont été cataloguées dans des classes de formation de fumées de soudage, déterminant les taux de renouvellement de l'air dans l'atelier.

L'évacuation des fumées de soudage peut être réalisée de façon différente selon le cas. D'abord, il y a la possibilité de l'aspiration locale des gaz et fumées de soudage, c'est l'aspiration à la source. Dans certains cas, cette aspiration locale ne donne pas satisfaction complète et doit donc être combinée à un masque avec amenée d'air filtré pour le soudeur. La deuxième possibilité consiste en une ventilation générale qui doit amener à un environnement sain dans la totalité de l'atelier.

Dans les deux cas précités, l'évacuation des fumées de soudage engendre une atmosphère saine et