



Sérigraphie

Gilles Castaing, INRS

Mise à jour : Nicolas Bertrand, INRS

ED 6001 • mise à jour avril 2019

© INRS • ISBN 978-2-7389-2461-2 • Disponible uniquement en version électronique

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 • www.inrs.fr • info@inrs.fr

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).

Sommaire

I. Domaine d'application du guide	4
II. La technique sérigraphique	5
II.1. Préparation des éléments	6
II.2. Impression sérigraphique	6
II.3. Séchage et polymérisation.....	6
II.4. Nettoyage des écrans.....	7
II.5. Dégravage des écrans.....	7
III. Les produits utilisés	7
III.1. Produits utilisés dans la préparation des écrans	7
III.2. Produits d'impression.....	7
III.3. Produits de dilution, nettoyage, dégravage, retardeurs.....	7
IV. La nature des risques.....	8
IV.1. Risques liés aux contacts avec les préparations.....	8
IV.2. Risques pour la santé liés aux gaz et aux vapeurs.....	9
IV.3. Incendie-explosion	9
IV.4. Niveau de risque	9
V. Les mesures générales de prévention	10
V.1. Aspect général	10
V.2. Principes généraux de ventilation	11
V.3. Mise en œuvre des techniques de ventilation.....	13
V.4. Choix de la technique principale de ventilation.....	18
VI. Dossiers techniques	18
1. Comparaison de deux dispositifs de captage par modélisation	19
2. Impression sérigraphique de capsules embouties.....	20
3. Poste de lavage manuel d'écrans	21
4. Marquage de pièces mécaniques	22
Bibliographie	23

Ce document a été établi par un groupe de travail constitué sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam) et comprenant des spécialistes en ventilation, nuisances chimiques et incendie-explosion des Carsat (Caisses d'assurance retraite et de la santé au travail) et de l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité). Il a été conçu dans le but de servir de document de référence à l'usage des personnes et organisations concernées par la conception, la construction, l'exploitation et le contrôle des machines utilisées dans les ateliers d'impression sérigraphique.

Seuls les points essentiels relatifs à la ventilation et à certains risques principaux ont été traités.

Au sommaire : la technique sérigraphique, les produits utilisés, la nature des risques, les mesures générales de prévention (principes généraux de ventilation, mise en œuvre technique des mesures de ventilation, choix des techniques de ventilation).

Ce texte est suivi de dossiers techniques présentant des situations concrètes dans l'industrie.

I. Domaine d'application du guide

Ce document est destiné à fournir des réponses pratiques à toute personne confrontée à un problème de conception, de réception, de conduite et de contrôle d'installations de ventilation dans un atelier de sérigraphie.

Il ne traite que des points essentiels relatifs à la **conception des installations**

de ventilation. Les nuisances autres que celles d'ordre chimique, ainsi que les problèmes posés par le rejet des polluants dans l'environnement, n'ont pas été abordés de manière exhaustive.

Ce guide a été élaboré après consultation des organismes suivants :

- FIPEC (Fédération des industries des peintures, encres, couleurs, colles et adhésifs) ;
- GPSF (Groupement professionnel de la sérigraphie française) ;

- UNICLIMA (Union syndicale des constructeurs de matériel aéraulique, thermique, thermodynamique et frigorifique) ;

- CETIAT (Centre technique des industries aérauliques et thermiques) ;

- FICG (Fédération de l'imprimerie et de la communication graphique).

Les données de ce document permettent d'assurer la protection des opérateurs contre les risques associés à l'inhalation de vapeurs ou d'aérosols liquides émis par les solvants contenus dans les encres. Ces risques sont principalement présents pendant les opérations d'impression et de séchage mais aussi lors des opérations annexes telles que le nettoyage des écrans faisant intervenir des solvants et d'autres produits.

Les indications données visent :

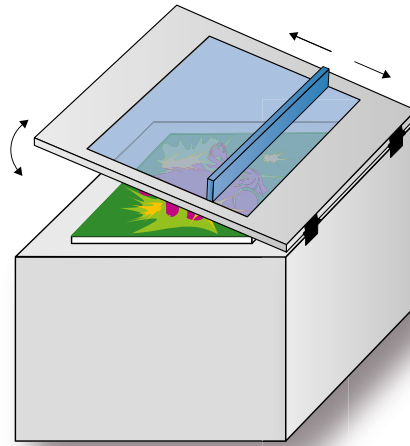
- à garantir le personnel exposé contre tout risque d'altération de sa santé ;

- à assurer les conditions de salubrité et de confort de l'atmosphère des locaux de travail.

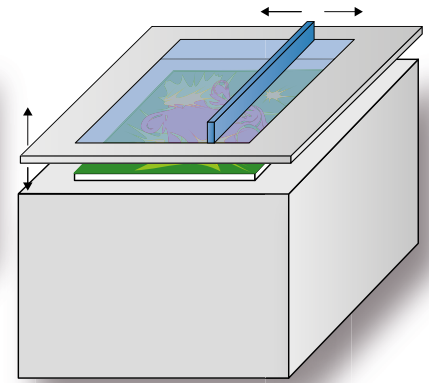
Ces données s'appliquent à tous les procédés d'impression que ceux-ci soient manuels, semi-automatiques ou automatiques.

En ce qui concerne les nuisances chimiques, l'objectif minimal à atteindre est le maintien de la salubrité de l'air dans les locaux de travail. Une bonne solution consiste à utiliser le système de référence des valeurs limites pour les concentrations des substances dangereuses au niveau des voies respiratoires, que ces valeurs limites soient issues de la réglementation, de recommandations françaises ou étrangères. Toutefois, il faut garder à l'esprit que le respect des valeurs limites n'implique pas l'absence de risque (valeurs variables selon les pays, variabilité individuelle, conditions d'exposition primordiales...). Il faut donc se garder de juger de la toxicité d'un produit en se basant uniquement sur une valeur limite (cas des CMR¹ notamment).

Les caractéristiques de captage proposées constituent des **recommandations** propres à faciliter l'atteinte de cet objectif sur la base des données actuellement disponibles. Ces caractéristiques sont susceptibles d'évoluer en fonction de l'expérience acquise, de résultats d'études

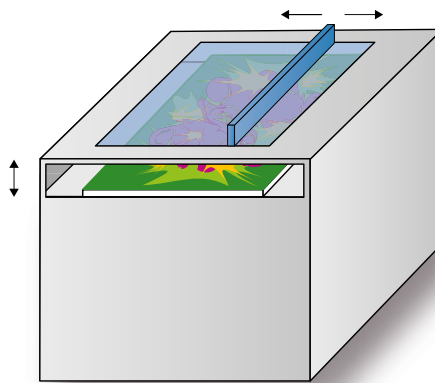


1a. Basculement de l'écran.

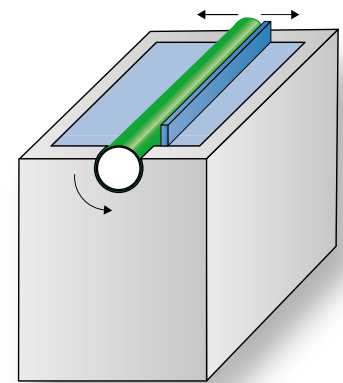


1b. Déplacement vertical ou oblique de l'écran.

Figure 1. Machines à support fixe.



2a. Déplacement vertical du support.



2b. Rotation du support.

Figure 2. Machines à écran fixe.

nouvelles conduites sur ce thème ou de modifications réglementaires.

II. La technique sérigraphique

L'impression sérigraphique consiste à reporter sur un support le motif dont le négatif est fixé sur un écran en tissu spécial (tamis) [1-2-3]. Une raclette mobile étale l'encre et la force à passer à travers les mailles non obturées du tamis pour être déposée sur la pièce à imprimer.

La sérigraphie est très utilisée. Un rapide tour d'horizon des applications potentielles permet de comprendre qu'elle est partout présente :

- affiches publicitaires de grande taille, notamment dans les abribus,
- autocollants pour vitrines,

- banderoles, bannières,
- tee-shirts, casquettes, vêtements,
- skis, planches à voile,
- meubles,
- briquets, porte-clefs,
- miroirs, bouteilles,
- panneaux de signalisation routière,
- chromos pour l'industrie de la céramique,
- ballons gonflables,
- emballages, sacs,
- ...

Les entreprises utilisent différents types de machines de sérigraphie (**voir figures 1 et 2, photos 1 et 2 page suivante**).

La technique sérigraphique procède par cinq étapes successives :

- la préparation de l'écran et des encres,
- l'impression proprement dite,
- le séchage,
- le nettoyage des écrans,
- le dégravage des écrans.

1. CMR : produits cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction.



Photo 1. Modèle de machines de sérigraphie avec un carrousel.

II.1. Préparation des éléments

II.1.1. Préparation du motif par photocomposition

Cette phase comporte :

- les prises de vue ou la mise en forme des différents motifs sur un film transparent,
- le photomontage,
- l'obtention du motif final (typon) sur film transparent par prise photographique.

Aujourd'hui ces trois étapes sont réalisées par des procédés faisant appel à l'informatique et sont donc nettement simplifiées.

II.1.2. Préparation de l'écran

Cela consiste à tendre uniformément et à fixer, par collage ou parfois par agrafage, le tissu sur le cadre rigide.

Cette opération, assez délicate, nécessite la mise en œuvre d'un tendeur spécial et de colles synthétiques. Le séchage s'effectue sous tension.

La préparation de l'écran est très souvent sous-traitée par les entreprises d'impression sérigraphique.

II.1.3. Report du motif à imprimer sur l'écran

Il s'agit de fixer sur le tissu le négatif du motif obtenu par photocomposition.

Différentes techniques sont utilisées :

- insolation par rayonnement ultraviolet (UV) d'un film de gélatine : un lavage à l'eau chaude élimine les parties non exposées ;

- simpimpression du motif sur le tissu au moyen d'encre diazo ; cette opération est suivie d'une insolation pour fixer l'encre puis d'un lavage ;

- emploi de films photosensibles qui fixent directement le motif sur le tissu par insolation.

Certaines entreprises conservent les écrans pouvant être réutilisés, ce qui évite l'étape de report du motif sur le tissu.

II.1.4. Préparation des encres

La préparation des encres comporte deux phases :

- la mise à la teinte,
- l'ajustement de la viscosité au moyen de solvants. Cette opération se fait généralement avant la phase d'impression ; toutefois, des ajustements de viscosité sont encore nécessaires aux postes d'impression.

II.2. Impression sérigraphique

L'impression se fait soit à la main, soit au moyen de machines plus ou moins automatisées.

Les opérations successives comprennent le positionnement du support, celui de l'écran, le contact entre l'écran et le support selon différents mouvements de translation ou de rotation, le déplacement de la raclette, la séparation de l'écran et du support imprimé et enfin le retrait de ce dernier.



Photo 2. Machines à support fixe avec basculement de l'écran.

L'impression manuelle

Elle utilise souvent de petits écrans ; le support est placé sur une simple table.

L'impression semi-automatique

Cette méthode met en œuvre des machines possédant différents degrés d'automatisation avec commandes programmées. L'introduction et l'évacuation du support se font manuellement et nécessitent, suivant les dimensions des machines, un ou plusieurs opérateurs.

Le réglage (positionnement, pression exercée sur le support, vitesse d'impression...) est assez délicat et peut demander des interventions régulières sur la machine en fonctionnement. La plupart de ces machines possède un plateau perforé avec système d'aspiration pour maintenir le support en place. Cela peut également être réalisé par voie mécanique ou au moyen de colles temporaires.

Les machines entièrement automatisées

Elles possèdent une alimentation et une évacuation mécaniques programmées des supports. Ces appareils ont tendance à se développer.

L'impression sur support non plat

La particularité de ce type d'impression réside dans les mouvements relatifs de l'écran ou de la pièce à imprimer permettant à la totalité de la zone à imprimer d'entrer en contact avec l'écran.

II.3. Séchage et polymérisation

Pour des supports plats, le séchage à température ambiante, avec évaporation

lente des solvants, se fait habituellement sur des chariots à claies. Il peut durer plusieurs heures : il dépend de l'ambiance thermique (vitesse d'air et température) et du type de produits utilisés.

Le séchage à chaud s'effectue dans des étuves ou des fours-tunnels équipés d'un système de soufflage ou de brassage d'air chaud et d'une cheminée d'évacuation des vapeurs de solvants. Un séchage à chaud par rayonnement infrarouge est également envisageable. Les températures de séchage sont de l'ordre de 60°C dans la plupart des cas et peuvent atteindre 600°C dans le cas particulier de l'impression sur céramique.

Une technique alternative consiste à utiliser des encres polymérisables par rayonnement UV ; les supports imprimés séjournent pendant quelques secondes dans une zone capotée comportant la source de rayonnement. La polymérisation est quasi immédiate. Cette technique qui utilise des encres sans solvant se répand rapidement. Une variante consiste à effectuer cette insolation UV sous azote (procédé inerté).

II.4. Nettoyage des écrans

Tant en cours d'impression qu'en fin de journée ou en fin d'utilisation, les écrans doivent être régulièrement nettoyés.

Ces opérations sont nécessaires pour obtenir une impression de qualité lors de l'utilisation d'encres à solvants.

Il y a lieu de distinguer deux techniques de nettoyage.

Le nettoyage en ligne

Il s'effectue en cours d'impression, au moyen de papiers, chiffons ou brosses imprégnés de solvants. Il est à noter que les encres UV ne nécessitent pas de nettoyage en ligne lors des opérations d'impression (pas de séchage, ni de bouchage des pores de l'écran).

Le nettoyage complet

Mis en œuvre en fin d'utilisation ou en fin de poste, le nettoyage complet est indispensable si l'on veut réutiliser l'écran. Il est préférable que ce nettoyage se fasse à un poste de lavage spécifique et adapté.

Dans le cas du poste de lavage spécial, deux méthodes sont utilisées :

- le nettoyage manuel par projection de solvant,
- le nettoyage par projection de solvant dans des machines spécifiques, étanches et automatisées.

Le solvant utilisé doit être recyclé, après régénération éventuelle, ou récupéré en vue d'une élimination par une filière adaptée. Le rejet à l'égout est proscrit.

II.5. Dégravage des écrans

Il consiste à enlever de l'écran tout motif en vue d'une réutilisation ultérieure.

Après élimination de l'encre, le dégravage se fait par application de produits spécifiques (détergents spéciaux, eau de javel), suivie d'un lavage par projection d'eau sous pression. Dans certains cas, on peut dégraver par simple projection d'eau chaude.

III. Les produits utilisés

Les produits utilisés depuis l'apparition de la sérigraphie ont connu une évolution constante.

L'avènement des supports en matières plastiques (polyéthylène, polystyrène, polychlorure de vinyle...) a marqué les débuts de l'utilisation des encres à solvants.

Aujourd'hui, les fabricants d'encres de sérigraphie ont à leur catalogue des produits d'impression adaptés aux différents supports et à la nature du travail à effectuer. Les formulations se sont considérablement compliquées et, pour certaines, font appel à une chimie de plus en plus élaborée.

III.1. Produits utilisés dans la préparation des écrans

Les procédés photographiques emploient différents types de produits photosensibles durcissables par insolation.

Les produits de développement sont choisis en fonction du revêtement photosensible :

- les colles pour le montage des écrans (opération souvent sous-traitée) ;
- les colloïdes bichromatés : la gélatine

ou gomme arabique bichromatée est généralement utilisée en présence de bichromate d'ammonium comme agent sensibilisateur ; le développement s'effectue à l'eau tiède additionnée de certains sels ; l'utilisation des colloïdes est en régression ; certaines émulsions contiennent notamment des phtalates ou des éthoxylates ;

- les résines à base d'alcool polyvinylique, développables également à l'eau ;
- les émulsions diazo dont le développement se fait à l'aide de solutions aqueuses basiques.

III.2. Produits d'impression

Comme les peintures et vernis, une encre est composée de plusieurs éléments :

- les liants : résines naturelles ou synthétiques,
- les solvants et diluants,
- les pigments,
- les charges et adjuvants.

Le **tableau I page suivante** répertorie les principaux supports et indique les types d'encres utilisables, caractérisés par leur liant, avec mention des solvants et des additifs particuliers associés à ces encres.

Principaux pigments, charges et adjuvants entrant dans la composition des encres

Pigments : organiques (bleu de phthalocyanine, rouges et jaunes azoïques, violet de dioxazine, pigments fluorescents) et minéraux (jaune de chrome, blanc de titane, oxydes de fer, bleu d'Outremer, molybdate de plomb).

Charges : carbonate de calcium, sulfate de baryum, mica, noir de carbone, talc, silice amorphe.

Adjuvants : plastifiants (phtalates, éthyltoluène, sulfonamide).

Divers : agents de viscosité (éthylhydroxyéthylcellulose, amidon), fongicide, anti-mousse (silicones), mouillants.

III.3. Produits de dilution, nettoyage, dégravage, retardeurs

Dilution : les diluants utilisés pour ajuster la viscosité des encres ont en général

TABLEAU I
PRINCIPAUX TYPES D'ENCRE ET LEURS SOLVANTS

Supports	Encres	Solvants, additifs particuliers
Papier, carton (affiche, papier peint, panneau de particules)	<ul style="list-style-type: none"> – Nitrocellulosiques – Vinyliques – Acryliques – Pliolite (styrène-acrylique) 	<ul style="list-style-type: none"> – Méthoxypropanol – Solvant naphtha – Esters (acétates de méthoxypropanol et d'éthoxypropanol)
Métaux et alliages	<ul style="list-style-type: none"> – Époxydiques – Polyesters – Nitrocellulosiques (pour métal laqué) 	<ul style="list-style-type: none"> – Butylglycol – Solvant naphtha – Méthoxypropanol – Durcisseurs : diéthylènetriamine, tris (diméthylaminométhyl) phénol – Silane
Matières plastiques <ul style="list-style-type: none"> • Acétobutyrate de cellulose, polystyrène, copolymère acrylonitrile/butadiène/styrène • Polyméthacrylate de méthyle, polychlorure de vinyle, polycarbonate, polyester 	<ul style="list-style-type: none"> – Cellulosiques – Vinyliques ou acryliques 	<ul style="list-style-type: none"> – Hydrocarbures benzéniques lourds – Cétones (cyclohexanone, butyrolactone)
Textiles naturels et synthétiques, cuirs	<ul style="list-style-type: none"> – Plastisol – Polyuréthannes 	<ul style="list-style-type: none"> – Copolymères de PVC, plastifiant (di-isononyl phtalate) – Durcisseur de type polyisocyanate
Verre, émail, porcelaine	<ul style="list-style-type: none"> – Époxydiques 	<ul style="list-style-type: none"> – Butylglycol, éthylidiglycol – Durcisseur de type époxy-silane
Tous supports (essentiellement matières plastiques)	<ul style="list-style-type: none"> – UV (acrylates) 	<ul style="list-style-type: none"> – Monomères acryliques polyfonctionnels (diacrylate de 1,6-hexanediol, diacrylate d'éthylèneglycol...) – Photoinitiateurs (dérivés de benzoïne, de thioxanthone...) – N-vinyl-2-caprolactame (occasionnellement) – N-vinyl pyrrolidone (plus rare)

Attention, certaines substances présentes dans les formulations d'encres sont classées cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) de catégorie 1A ou 2B ; la réglementation impose leur remplacement par des produits moins dangereux lorsque cela est techniquement possible.

une composition voisine de celle du solvant de l'encre (voir tableau I).

Nettoyage : des préparations diverses sont utilisées, à base d'hydrocarbures benzéniques lourds et d'éthers de glycol additionnés généralement de cyclohexanone. Les opérations de nettoyage nécessitent très souvent l'utilisation de solvants volatils : toluène, éthylbenzène, xylène, acétate d'éthyle ou de butyle, alcool butylique, acétone, méthylisobutylcétone, chlorure de méthylène.

Dégravage : le dégravage des écrans s'effectue à l'aide de solutions de soude ou de solutions fortement oxydantes (eau de javel, périodate de sodium, eau oxygénée).

Pour supprimer une éventuelle image fantôme subsistant sur l'écran après un premier dégravage, on peut être amené à utiliser une pâte corrosive alcaline (soude à 50% + cyclohexane).

Retardeurs : certains solvants à point d'ébullition plus élevé sont parfois ajoutés pour augmenter les temps de séchage (cyclohexanol, alcool benzylique...).

IV. La nature des risques

Lors de la préparation et du nettoyage des écrans, de l'impression et du séchage des pièces, les produits et les techniques utilisés peuvent conduire à des risques toxicologiques dus à un **contact cutané** ou à l'**inhalation des vapeurs** émises. Les risques d'ingestion sont, quant à eux, limités par l'application de mesures strictes d'hygiène (ne pas fumer ou manger sur le lieu de travail, se laver les mains, ne pas se maquiller...).

Les constituants des préparations utilisées sont souvent à la fois inflammables et toxiques. Leur limite inférieure d'explosivité est de l'ordre de 1% en volume dans l'air, mais les effets toxiques peuvent se manifester à des concentrations beaucoup plus faibles. La prévention des risques d'incendie et d'intoxication impose donc la mise en place de systèmes de ventilation. On peut considérer la concentration des divers gaz et substances volatiles dans l'atmosphère du

poste de travail comme un critère d'évaluation de l'efficacité du système de ventilation.

Afin de mieux préciser les risques, il convient de rappeler quelques données sur la toxicité des substances employées et des gaz émis [4]. Bien que ce guide ne vise que la prévention des risques toxicologiques liés à l'inhalation des gaz et vapeurs, un rappel succinct de ceux consécutifs à un contact cutané paraît utile.

IV.1. Risques liés aux contacts avec les préparations

- Les diluants contenus dans les encres et les solvants de nettoyage [5] peuvent entraîner, par contact répété ou prolongé avec la peau, des irritations cutanées plus ou moins sévères. Les projections dans les yeux ont souvent des conséquences graves.
- Les contacts cutanés réguliers provoquent un dessèchement important de la peau.

- La pénétration dans l'organisme par voie cutanée peut conduire à des intoxications spécifiques (cas des éthers de glycol par exemple).

- La plupart des produits de dégravage ont une action fortement irritante sur la peau.

Les résines et monomères contenus dans les encres, en particulier dans les encres photo-polymérisables par rayonnement ultraviolet, dites encres UV, peuvent être à l'origine d'irritations de la peau et d'eczémas allergiques (une fois la sensibilisation réalisée, la réaction allergique peut avoir lieu pour des seuils extrêmement bas).

IV.2. Risques pour la santé liés aux gaz et aux vapeurs

IV.2.1. Encres à solvants

L'exposition aux principales substances volatiles contenues dans les encres ou susceptibles d'être émises lors du processus d'impression peut provoquer des maladies reconnues et indemnisées par le régime général d'assurance maladie (tableau n° 84).

Les propriétés toxicologiques des diverses familles chimiques concernées sont décrites ci-après.

Hydrocarbures aromatiques (toluène, xylènes, éthylbenzène, triméthylbenzènes)

Une exposition à forte dose agit sur le système nerveux central (effet ébriarotique). Des expositions plus faibles mais prolongées peuvent conduire à une altération de la mémoire et de certaines capacités psychiques. Elles altèrent également l'audition par action sur l'oreille interne (ototoxicité).

Il est à noter que les essences, white-spirit et solvants naphtas, souvent utilisés, sont à base d'hydrocarbures aliphatiques, mais peuvent contenir également des hydrocarbures aromatiques.

Éthers de glycol (éther butylique de l'éthylène glycol, éther méthylique du propylène glycol...)

Ces substances ont une volatilité relativement faible. La contamination par voie respiratoire intervient exclusivement dans des situations où les produits sont utilisés en zone chaude ou sous forme d'aérosols. En sérigraphie, l'exposition à ces substances se

fait principalement par contact cutané.

L'expérimentation animale a mis en évidence, pour plusieurs substances de cette famille, des risques d'atteintes rénales, pulmonaires, nerveuses et sanguines. Certaines sont, en outre, suspectées d'avoir des effets sur la reproduction. Ces résultats ont conduit à la classification des éthers de glycol dans les substances toxiques pour la reproduction de catégorie 1B ou 2.

Il est recommandé, dans le cas d'utilisation de produits de cette famille, de rechercher les produits les moins dangereux de la gamme.

Cétones (acétone, méthyléthylcétone, méthylisobutylcétone, isophorone, diacétonealcool...)

Outre l'action irritante des vapeurs de ces composés sur la peau et les muqueuses, l'inhalation des cétones peut conduire à des effets narcotiques. L'isophorone présente une toxicité rénale ; elle est classée par la communauté européenne en tant que produit cancérigène de catégorie 2.

Alcools (alcool butylique, cyclohexanol, alcool benzylique...)

L'inhalation à forte concentration des vapeurs d'alcools peut conduire à des troubles du système nerveux (vertige, somnolence...).

Par expérimentation sur l'animal, on a observé, pour certaines substances de cette famille, des lésions hépatiques et rénales.

Esters (acétate d'éthyle, de butyle...)

Les vapeurs d'acétate d'éthyle ou de butyle sont particulièrement irritantes pour les muqueuses oculaires et respiratoires ; elles peuvent provoquer, à forte concentration, des effets narcotiques.

Hydrocarbures chlorés (trichlorobenzène, dichlorométhane)

Ces hydrocarbures peuvent entraîner des irritations de la peau et des muqueuses ; en outre, le dichlorométhane présente des risques d'atteintes du système nerveux central. Certains hydrocarbures chlorés sont à l'origine de troubles digestifs, cardio-respiratoires et hépatorénaux.

IV.2.2. Encres UV

Ozone

Les rayonnements UV utilisés pour l'insolation des écrans et le séchage des encres provoquent la formation d'ozone.

Il s'agit d'un gaz particulièrement irritant pour le système respiratoire et les muqueuses oculaires.

N-vinyl pyrrolidone (NVP)

La N-vinyl pyrrolidone (ou 1-vinyl-2-pyrrolidone) est un constituant des encres UV répertorié comme produit dangereux. Suspectée d'être cancérigène (classée en catégorie 2), elle est irritante et nocive, particulièrement lors d'expositions par inhalation.

N-vinyl caprolactame (NVC)

Le N-vinyl caprolactame est proposé en remplacement de la NVP. Certains fournisseurs le classent parmi les substances nocives par inhalation (induisant des effets hépatiques) et irritantes pour les voies respiratoires et la peau. Par analogie structurale avec la NVP, on peut considérer que son emploi dans les encres demande également une attention particulière.

IV.3. Incendie-explosion

L'utilisation de produits solvantés nécessite une évaluation du risque incendie-explosion. La ventilation en place doit permettre d'avoir une concentration en polluants la plus basse possible et au moins inférieure à 10% de la LIE (limite inférieure d'explosivité), lorsque du personnel est présent dans le local.

Toutes les installations électriques des locaux, y compris l'éclairage, où peuvent être présentes des vapeurs inflammables, doivent être adaptées à la zone de risque, conformément aux directives européennes ATEX (atmosphères explosives) [6]. Il est recommandé de coupler la ventilation en place avec un système d'alarme, pour prévenir toute formation accidentelle de zones explosives, en cas de dysfonctionnement.

IV.4. Niveau de risque

La concentration en vapeurs de solvants dans les ateliers de sérigraphie dépend de nombreux facteurs tels que :

- le type d'encres, de diluants utilisés ;
- la configuration de l'atelier ;
- les techniques de travail ;
- la ventilation.

Les moyens analytiques actuels permettent de mesurer les concentrations atmosphériques de la plupart des polluants présents au niveau des postes de travail et de les comparer aux valeurs limites d'exposition professionnelle, issues de la réglementation, de recommandations françaises ou étrangères.

Dans le cas de mélanges de solvants (cas fréquemment rencontré en sérigraphie), on peut définir pour chacun d'eux un indice d'exposition d_i par la formule :

$$d_i = C_i / VME_i$$

C_i étant la concentration d'un polluant i dont la valeur moyenne d'exposition est VME_i , établie pour une période de référence de 8 heures.

En supposant une simple sommation des effets toxiques sur l'organisme de ces différents composés (hypothèse en général optimiste), on peut calculer alors un indice d'exposition global par la formule :

$$D = \sum d_i$$

Cet indice global d'exposition est utilisé pour évaluer la salubrité des ateliers. En effet, sur la base d'études statistiques qui montrent que les atmosphères de travail peuvent être décrites par une loi de répartition log-normale, on admet qu'une maîtrise correcte des environnements de travail conduit à un indice d'exposition inférieur à 0,3. Si l'indice est compris entre 0,3 et 0,7, le process de fabrication est à surveiller et si possible à améliorer. Enfin, si l'indice est supérieur à 0,7, des mesures correctives sont à prendre [7].

Les valeurs limites sont destinées à protéger contre le risque d'inhalation. Elles ne sont plus suffisantes si d'autres voies de pénétration existent, notamment la voie percutanée, très possible en sérigraphie où l'on utilise de nombreux solvants lipophiles.

V. Les mesures générales de prévention

V.1. Aspect général

Pour réduire le niveau de pollution, il faut tout d'abord rechercher l'implantation la plus judicieuse de l'atelier, les

techniques sérigraphiques les moins polluantes et les produits les moins dangereux, tout en respectant la réglementation et les règles de prévention générale du risque chimique.

V.1.1. Principaux textes réglementaires

- Les règles générales de prévention du risque chimique, établies par les articles R. 4412-1 à R. 4412-93 du Code du travail, doivent être appliqués.

- L'aération et l'assainissement des lieux de travail font l'objet des articles suivants du Code du travail : articles R. 4212-1 à 7, R. 4222-1 à 22, R. 4722-1 et 2 et R. 4724-2 et 3. Les locaux dans lesquels s'exercent des travaux de sérigraphie sont des « locaux à pollution spécifique », ce qui entraîne, pour l'employeur, l'obligation de capter les poussières et vapeurs « au fur et à mesure de leur production, au plus près de leur source d'émission et aussi efficacement que possible, notamment en tenant compte de la nature, des caractéristiques et du débit des polluants de l'air ainsi que des mouvements de l'air » (article R. 4222-12 du Code du travail).

- Ces dispositions sont précisées et commentées dans la circulaire du 9 mai 1985 du ministère chargé du Travail, relative au commentaire technique des décrets n°84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail.

- Les dispositions relatives au contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement sont prévues par l'arrêté du 8 octobre 1987 du ministère du Travail.

- Tableaux des maladies professionnelles [8].

- Réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) : rubrique 2450 – Imprimeries ou ateliers de reproduction graphique sur tout support.

V.1.2. Conception et cahier des charges

Toute nouvelle installation ou toute modification d'une installation existante doit faire l'objet d'une réflexion et d'une étude préalable.

Ainsi, certaines exigences sont à prendre en compte et à contrôler avant et après la réalisation des travaux, afin de

garantir à l'entreprise un niveau d'hygiène et de sécurité convenable.

Implantation de l'atelier (voir figure 3)

Les postes les plus polluants seront séparés du local d'impression et installés dans des locaux spécifiques. Cela concerne la préparation des encres, le séchage des écrans, ainsi que le dégravage et le nettoyage des écrans.

Choix des techniques

L'emploi de techniques mettant en œuvre des encres photo-polymérisables sous UV permet de réduire fortement les dégagements de solvants et de limiter le risque d'incendie et d'explosion. Il faut toutefois prendre en compte les risques propres à leur utilisation et notamment les problèmes de sensibilisation rencontrés avec ce type de produit.

Choix des machines

Les machines à sérigraphier neuves doivent être munies de dispositifs de captage, situés au plus près des sources d'émission des solvants, permettant de les raccorder à une installation d'aspiration (voir paragraphe 1.5.13 de l'annexe I introduite par l'article R. 4312-1). Les chefs d'établissement doivent veiller à ce que les machines qu'ils vont acquérir satisfassent cette exigence. Il leur est aussi conseillé d'attirer l'attention du concepteur sur cette nécessité dans le cahier des charges des machines ou des installations spéciales. Il leur incombe également de s'assurer du bon raccordement de ces machines à un système de ventilation. Les machines anciennes en service ou achetées d'occasion (non marquées CE) doivent être équipées de dispositifs de captage si elles n'en sont pas munies d'origine.

Ventilation

Les objectifs en termes de résultats, notamment les vitesses d'air, doivent être pris en compte dans le cahier des charges.

Un contrôle des caractéristiques aérauliques de référence doit être prévu lors de la mise en service, puis réalisé périodiquement.

Il est important de rappeler que toute installation de ventilation doit posséder un dossier technique spécifique (appelé dossier d'installation de ventilation), élaboré lors de l'installation, dans lequel sont

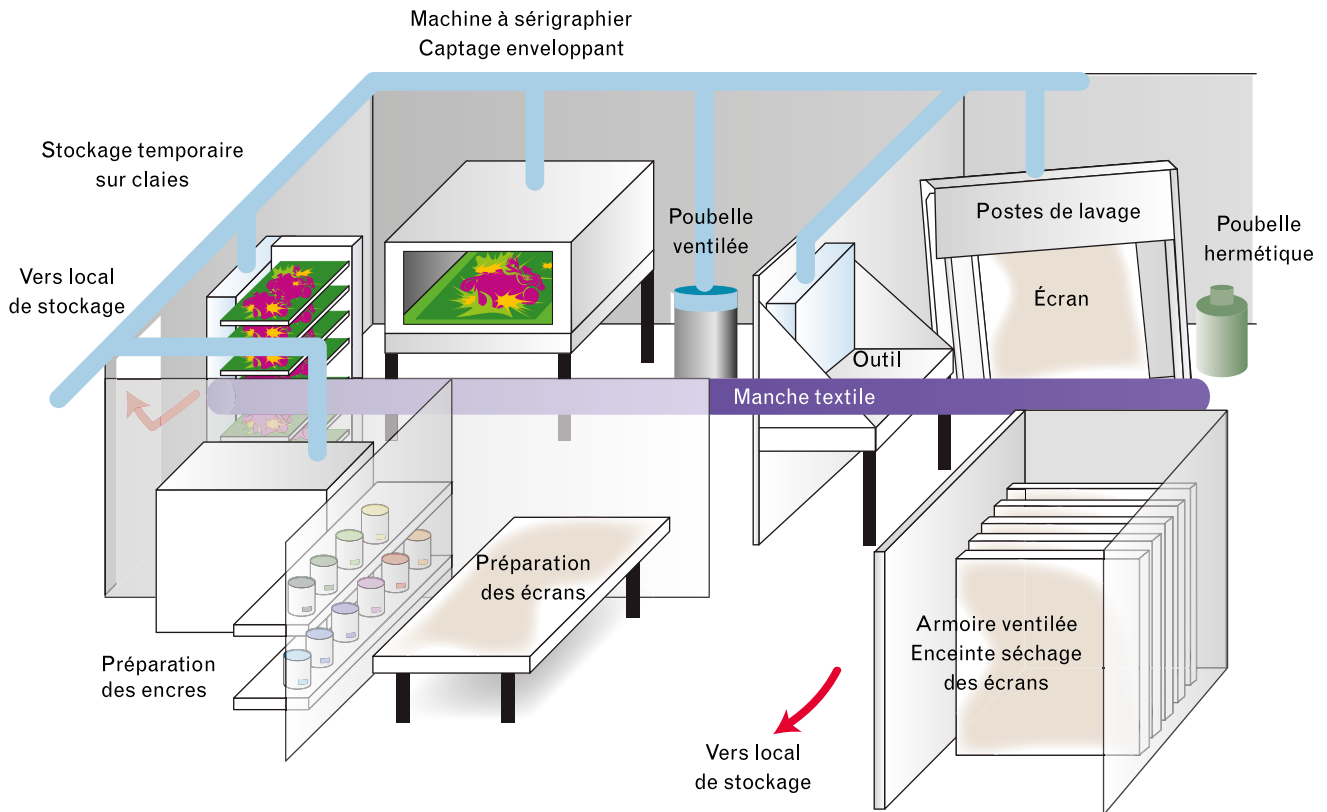


Figure 3. Schéma d'un atelier type

consignées les caractéristiques aérodynamiques et dimensionnelles du matériel [9].

Choix et gestion des produits et des stocks

Toutes les encres, solvants ou diluants utilisés en sérigraphie contiennent des substances dangereuses. Les règles de prévention du risque chimique impliquent l'utilisation des produits les moins dangereux. La substitution est d'ailleurs obligatoire pour les produits CMR de catégories 1A et 1B, lorsque cela est techniquement possible.

Bruit

Le bruit est une nuisance importante des installations de ventilation et le niveau sonore doit être le plus bas possible. L'installation de ventilation ne doit pas augmenter de plus de 2 dB(A) le niveau sonore ambiant mesuré aux postes de travail, sauf si elle n'engendre pas un niveau supérieur à 50 dB(A).

Le niveau sonore élevé d'une installation de ventilation peut être dû au manque d'étanchéité entre les différents éléments du réseau (bouches, conduits, dispositifs de captage, caractéristiques des ventilateurs...), mais également aux vitesses d'air trop élevées dans les conduits. Celles-ci sont généralement comprises entre 7 et 10 m/s, selon les installations.

V.2. Principes généraux de ventilation

Les techniques de ventilation utilisables sont soit la ventilation par captage localisé, soit la ventilation générale par dilution. Il convient de se reporter à ce sujet aux *Guides pratiques de ventilation n°0 et n°1* relatifs aux principes généraux de ventilation [13-14].

La concentration en polluants dans l'atmosphère du poste de travail doit être aussi faible que possible et en deçà des valeurs limites d'exposition profes-

sionnelle, afin d'assurer des conditions d'hygiène et de sécurité convenables [15].

V.2.1. Compensation

L'air extrait par les systèmes de ventilation doit être compensé par des apports équivalents d'air neuf, notamment pour :

- assurer l'efficacité des systèmes de ventilation : un manque d'air de compensation produit une mise en dépression des locaux qui contribue à la diminution des débits d'air extrait ;

Sur un plan général, l'emploi des encres et des solvants impose des règles élémentaires de prévention :

- travailler en atmosphère ventilée ;
- porter des gants adaptés aux solvants et aux produits utilisés [10-11], un vêtement de protection et des protections oculaires [12] ;
- refermer les emballages après emploi ;
- respecter les règles de stockage et d'étiquetage des produits chimiques ;
- n'entreposer dans l'atelier que les quantités strictement nécessaires au travail journalier ;
- placer les déchets tels que chiffons et papiers imprégnés de solvants dans des poubelles incombustibles munies de couvercles, si possible à fermeture automatique, et/ou ventilées ;
- proscrire l'usage de solvants pour le nettoyage des mains et utiliser des détergents d'ateliers conformes aux normes NF T 73-101 et NF T 73-102 ;
- respecter les consignes de sécurité et d'hygiène : ne pas manger, ne pas boire, ne pas fumer sur le lieu de travail, se laver les mains...

- éliminer les courants d'air provenant des ouvertures (portes, fenêtres...) qui peuvent :
 - diminuer l'efficacité du captage ;
 - disperser les polluants dans tout l'atelier ;
 - provoquer un inconfort thermique pour le personnel (pouvant le conduire à arrêter les installations de ventilation) ;
- éviter que l'air provenant des zones « polluées » ne soit entraîné vers des zones « propres » ;
- diminuer les efforts d'ouverture et de fermeture des portes.

L'introduction de l'air de compensation peut être naturelle ou mécanique. L'introduction mécanique doit être privilégiée ; elle est la seule à permettre d'assurer le conditionnement de l'air introduit et sa distribution optimale dans le local (voir figure 4).

Dans la plupart des cas, le débit de l'air introduit est égal au débit de tous les dispositifs d'extraction. Mais parfois, une légère dépression permet de prévenir tout risque de fuite des polluants vers un local voisin.

L'air de compensation doit être pris à l'extérieur des ateliers, dans une zone où il n'y a pas de risque d'interférence avec des rejets d'air pollué. Il convient de le filtrer, et de le réchauffer pendant la saison froide, afin d'assurer le confort thermique du personnel.

L'air neuf doit être distribué dans l'atelier de façon à traverser d'abord la zone occupée par le personnel, puis ensuite les zones polluées. Choisir une vitesse d'introduction d'air neuf la plus lente possible assure un confort maximal aux opérateurs et des perturbations minimales des circulations d'air. Pour cela, l'utilisation d'un plafond perforé (plénum) ou de conduits textiles poreux présente des qualités indéniables : une grande surface favorise une vitesse d'introduction d'air lente (généralement inférieure à 0,5 m/s).

Le recyclage de l'air extrait est à proscrire.

V.2.2. Technique de ventilation

La ventilation par captage localisé consiste à capter les polluants au plus près de leur source d'émission avant qu'ils ne pénètrent dans la zone des voies respiratoires des travailleurs et ne se diffusent dans l'atmosphère du local de travail.

La ventilation par aspiration localisée doit toujours être retenue en priorité et, en particulier, chaque fois que des produits dangereux sont émis.

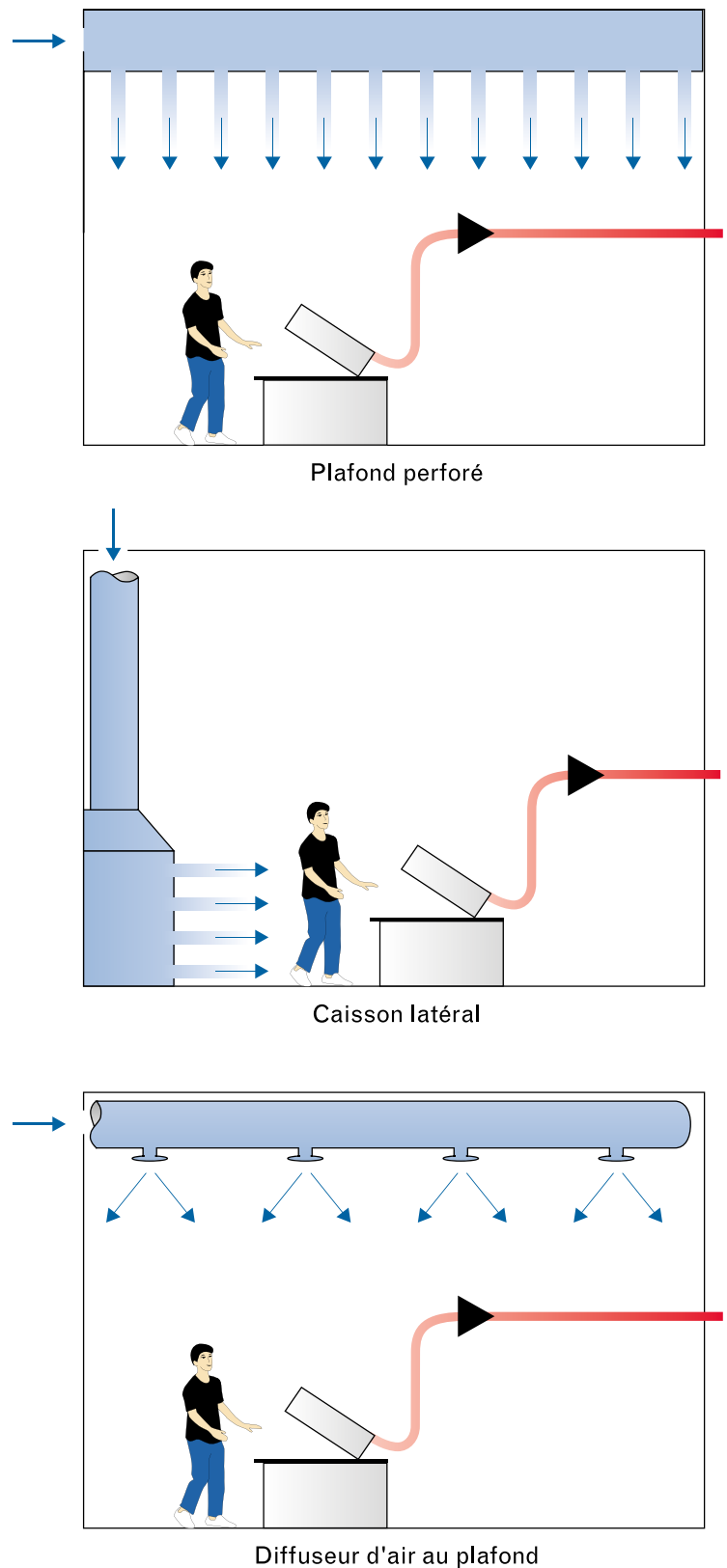
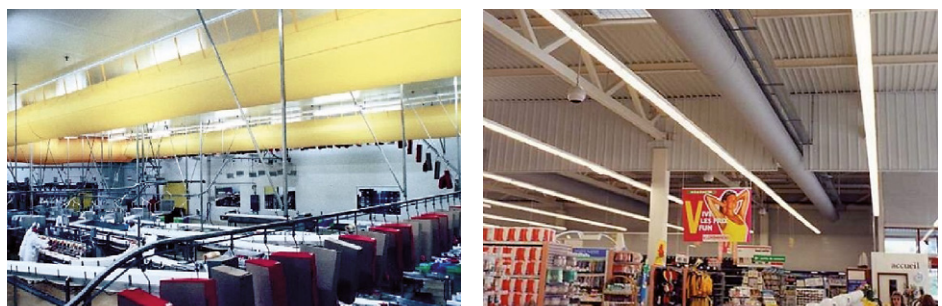


Figure 4. Différents dispositifs d'introduction d'air de compensation



La salubrité de l'atelier ne peut être valablement assurée que si l'ensemble des sources de pollution est traité. En effet, il est difficile d'assurer une atmosphère salubre au poste de travail si l'air de compensation est lui-même pollué par des sources non traitées.

La ventilation générale (voir photos page précédente) opère par extraction et surtout par dilution des polluants à l'aide d'un apport d'air neuf dans le local, de manière à diminuer les concentrations des substances dangereuses résiduelles pour les amener à des valeurs aussi faibles que possible.

Une ventilation générale est souvent utilisée comme complément à un captage localisé. Elle ne peut être envisagée, en tant que technique unique d'assainissement de l'air, que si le recours à une ventilation locale est techniquement impossible.

V.2.3. Rejets

L'industrie graphique, particulièrement la sérigraphie, est une activité à forte consommation de solvants ; elle est donc concernée par les rejets de COV² dans l'atmosphère.

Les entreprises de sérigraphie doivent veiller à être conformes à la réglementation en vigueur, notamment celle relative à la protection de l'environnement (arrêtés du 2 février 1998 modifié et du 16 juillet 2003).

V.3. Mise en œuvre des techniques de ventilation

V.3.1. Atelier de préparation des écrans

Dans la plupart des cas, les travaux de photomontage et de fixation du tissu sur son cadre sont effectués dans des locaux exigus et/ou aveugles, sans aération naturelle.

Pour les postes de travail nécessitant l'utilisation de produits chimiques (nettoyage aux solvants, collage...), il y a lieu d'effectuer les manipulations sous aspirations localisées adaptées. Le lecteur pourra s'inspirer utilement des

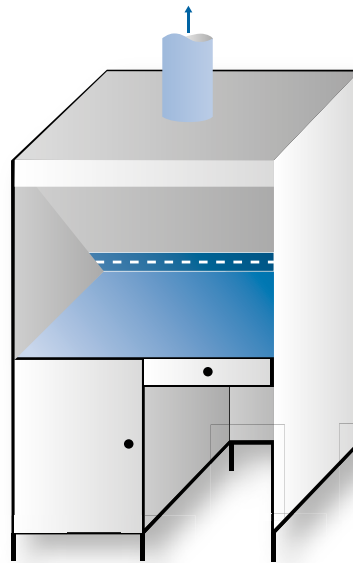


Figure 5. Schéma d'un poste de préparation des encres, valable également pour la préparation des écrans.

recommandations du *Guide pratique de ventilation n°5* relatif à la ventilation des ateliers d'encollage de petits objets [16].

V.3.2. Stockage et poste de préparation des encres

Très fréquemment, les encres sont stockées au plus près du poste de préparation des encres. Le stockage de ces produits chimiques doit respecter les principes généraux de la prévention du risque chimique : utilisation d'un local spécifique dont le renouvellement d'air est assuré et contrôlé, accès limité... On peut se référer aux guides de l'INRS relatifs au stockage des produits chimiques [17-18].

Il est indispensable de prévoir un local spécifique pour la préparation des encres (mélanges et dilutions). En effet, ce type d'opération nécessitant la manipulation et l'utilisation de solvants en quantités importantes, l'émission de polluants est alors élevée.

La réalisation d'une telle installation doit satisfaire aux conditions suivantes :

- cabine ouverte de petite dimension, dans le local dédié, munie d'un système d'aspiration frontale, avec rejet de l'air pollué à l'extérieur (**voir figure 5**) ;
- vitesse d'air moyenne de 0,5 m/s dans la section frontale³ ;
- compensation d'air adaptée.

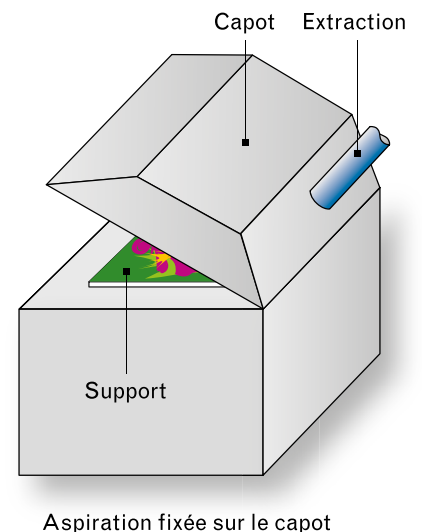
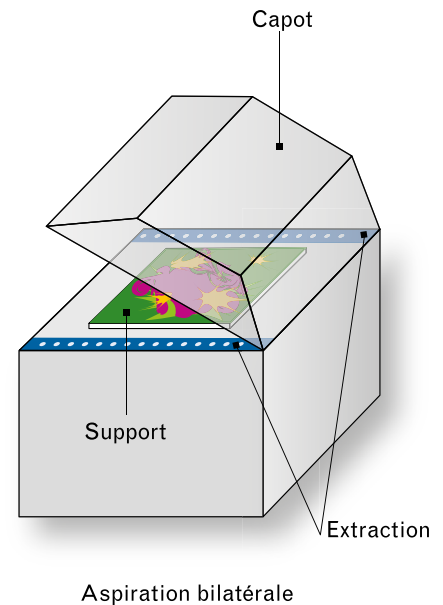
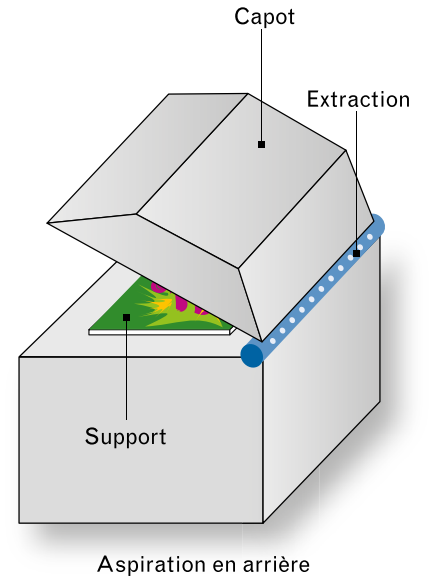


Figure 6. Différents dispositifs de captage pour machine de sérigraphie.

2. COV (composé organique volatil) : toute substance organique émettant des vapeurs à température ambiante.
3. Le flux d'air doit être homogène et ne pas présenter de vitesse d'air inférieure à 0,4 m/s.

V.3.3. Postes d'impression sérigraphique

Les encres à solvants émettent généralement des vapeurs dangereuses ce qui impose le captage à la source. Les encres UV sont, quant à elles, susceptibles de relarguer des vapeurs de monomères (acryliques, NVP...).

Il y a donc lieu de prévoir un système de ventilation par captage localisé au niveau de l'écran et du support imprimé (voir figure 6 page précédente).

Compte tenu de la très grande diversité des situations rencontrées au niveau de l'impression sérigraphique, il pourra s'avérer nécessaire de prévoir une étude particulière de ventilation pour certains postes.

Le dispositif de captage peut être enveloppant ou inducteur [13].

Il est enveloppant lorsque la source de pollution est située entièrement à l'intérieur du dispositif. Les vitesses d'air sont telles que les polluants ne peuvent pas en ressortir. Le débit d'air est fourni par la relation :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = S_o \cdot V_o$$

TABLEAU II
VITESSES D'AIR EN FONCTION DU DISPOSITIF DE CAPTAGE AUX POSTES D'IMPRESSION SÉRIGRAPHIQUE

Dispositif enveloppant	V_o : vitesse d'air moyenne au droit de l'ouverture 0,50 m/s (*)
Dispositif inducteur	V_c : vitesse de captage 0,25 m/s (**) et (***)

(*) Le flux d'air doit être homogène et ne pas présenter de vitesses d'air inférieures à 0,4 m/s.

(**) Une vitesse d'air de l'ordre de 0,25 m/s au point le plus éloigné du dispositif inducteur (par exemple en milieu de table s'il s'agit d'aspirations latérales) conduit à des vitesses d'air plus importantes à proximité des dispositifs d'aspiration, vitesses susceptibles de perturber l'impression. Le choix de cette technique de captage dépend donc en particulier du type d'impression réalisé et de la nature de l'encre utilisée. La conception d'un captage le plus enveloppant possible conduit au débit d'extraction le plus réduit.

(***) Dans le cas d'un dispositif d'aspiration sur au moins deux côtés, cette valeur correspond à une vitesse théorique utilisable pour la conception de l'installation. Elle ne peut pas servir pour son contrôle car, dans ce type d'installation, la mesure de la vitesse de captage n'est pas accessible. Le contrôle de l'installation peut se faire par une mesure de débit d'air (vitesses d'air en conduit ou au niveau des fentes).

S_o = section totale des ouvertures (m²)
 V_o = vitesse d'air dans les ouvertures

Le dispositif est inducteur lorsqu'il n'enveloppe pas la source de pollution et qu'il génère, dans la zone d'émission des polluants, des vitesses de captage V_c telles que les polluants soient entraînés par le système.

Les bouches et fentes d'aspiration sont des dispositifs inducteurs ; elles peuvent être implantées latéralement et/ou à l'arrière du plan de travail. Leur efficacité s'améliore nettement si elles comportent une

collerette supérieure d'une hauteur suffisante (par exemple 0,3 m) conduisant à une meilleure canalisation de l'air dans la zone d'émission, donc à une diminution du débit pour une vitesse de captage équivalente.

Caractéristiques de la ventilation

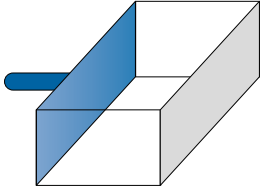
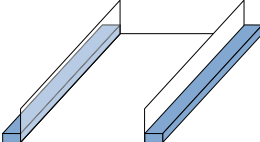
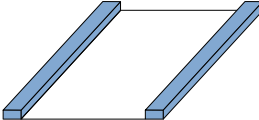
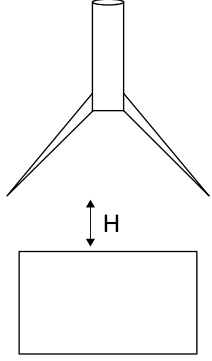
Les dispositifs de captage doivent être caractérisés par des vitesses d'air et non par les seuls débits d'air.

Choix des vitesses d'air

Les vitesses d'air à mettre en œuvre dans la zone d'émission des polluants

TABLEAU III

EXEMPLES DE CALCULS ET COMPARAISON DES DÉBITS NÉCESSAIRES À UN CAPTAGE EFFICACE DES POLLUANTS, AVEC QUATRE DISPOSITIFS DE VENTILATION, POUR UNE TABLE DE SÉRIGRAPHIE DE 2 MÈTRES PAR 1.

	Dispositif enveloppant (H = 40 cm)	Deux lèvres aspirantes avec dossier	Deux lèvres aspirantes	Hotte en dôme, quatre faces ouvertes (h = 70 cm - V = 0,4 m/s)
Type de dispositif envisagé (avec mesures complémentaires)				
Formule de calcul utilisable [13]	$Q = S \times V$	$Q = 1,6 \times L \times D \times V$	$Q = 2,8 \times L \times D \times V$	$Q = 1,4 \times P \times H \times V$
Débit total calculé	$QT = Q$ $= 0,4 \times 2 \times 0,5$ $= 0,4 \text{ m}^3\text{/s}$ $= 1440 \text{ m}^3\text{/h}$	$QT = 2 \times Q$ $= 2 \times 1,6 \times 2 \times 0,5 \times 0,25$ $= 0,8 \text{ m}^3\text{/s}$ $= 2880 \text{ m}^3\text{/h}$	$QT = 2 \times Q$ $= 2 \times 2,8 \times 2 \times 0,5 \times 0,25$ $= 1,4 \text{ m}^3\text{/s}$ $= 5040 \text{ m}^3\text{/h}$	$QT = Q$ $= 1,4 \times 6 \times 0,7 \times 0,4$ $= 2,35 \text{ m}^3\text{/s}$ $= 8470 \text{ m}^3\text{/h}$

L = longueur de la table (2 m)

D = distance la plus éloignée des dispositifs d'aspiration (ici D = 0,5 m – milieu de la table)

V = vitesse d'air induite à la distance D ou au droit de l'ouverture du dispositif de captage

S = surface de l'ouverture du dispositif (ici S = H x L)

P = périmètre de la source

sont déterminées de façon :

- à empêcher la sortie des polluants lorsqu'il s'agit d'un dispositif enveloppant;
- à entraîner la totalité des polluants vers le dispositif de captage lorsqu'il s'agit d'un dispositif inducteur.

Les vitesses d'air théoriques qui permettent de calculer les débits à l'installation sont données dans le **tableau II page précédente**.

Le **tableau III page précédente** montre des exemples de calculs et la comparaison de débits pour différents dispositifs de captage de polluants, applicables à une table de sérigraphie.

Ce tableau démontre clairement que les dispositifs enveloppants nécessitent la mise en œuvre de débits beaucoup plus faibles que des installations de type hotte en dôme. Celles-ci sont d'ailleurs à proscrire en sérigraphie : du fait de l'activité, l'opérateur est en effet amené à se pencher fréquemment au-dessus de la table et à se trouver dans un flux d'air pollué.

V.3.4. Stockage temporaire sur chariot à claies avant séchage

Après impression, l'évaporation des encres à solvants est importante, surtout lors de la première heure. Durant le chargement des chariots à claies, les pièces imprimées commencent à sécher et polluent l'atmosphère de l'atelier.

Le chariot doit donc être placé dans une cabine ouverte ou devant un caisson aspirant.

Les systèmes d'aspiration seront choisis de façon à obtenir une vitesse d'air supérieure ou égale à 0,25 m/s en tout point d'émission des polluants.

La **figure 7** montre quelques exemples de réalisation. On pourra également consulter le dossier technique n° 1 page 19 relatif au stockage temporaire des chariots à claies.

V.3.5. Postes de séchage

Le séchage sur chariot à claies à l'air libre dans l'atelier est à proscrire. Cette opération doit avoir lieu dans un local spécifique lorsque cela est techniquement possible ou être réalisée dans l'atelier à l'aide d'appareillages spécifiques.

Plusieurs solutions peuvent être adoptées suivant les situations.

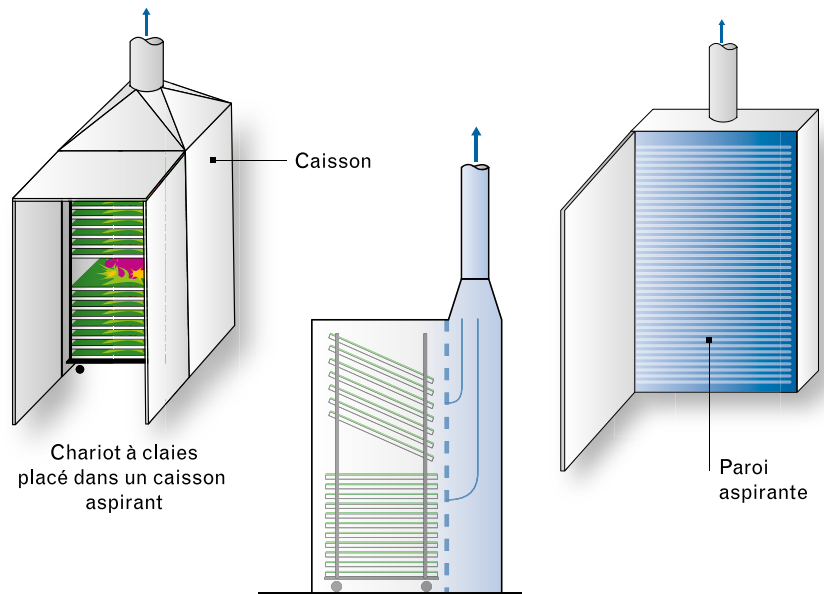


Figure 7. Différents dispositifs de captage pour stockage temporaire des pièces imprimées sur chariot à claies.

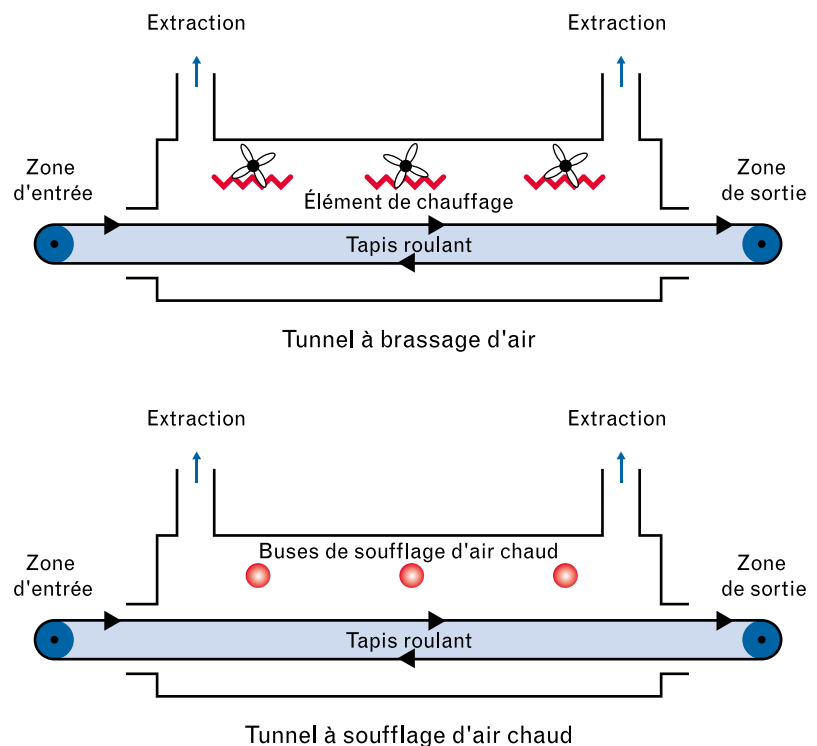


Figure 8. Dispositifs de séchage des pièces imprimées, sous tunnel.

Chariot placé en enceinte ventilée (chauffée ou non)

Dans cette situation, l'atmosphère dans l'enceinte doit respecter les valeurs limites d'exposition professionnelle (court terme et 8 heures, voir au point IV.4) et les limites inférieures d'explosivité (inférieures à 10 ou 25 % de la LIE, selon la présence ou non d'opérateurs dans le local).

Table grillagée aspirante

Ce dispositif est envisageable, par exemple, pour des supports imprimés

rigides de faibles dimensions tels que les circuits imprimés. La vitesse d'air doit être supérieure ou égale à 0,25 m/s en tout point d'émission des polluants.

Séchage sous tunnel (voir figure 8)

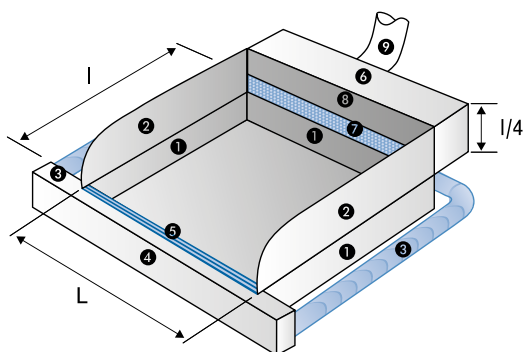
L'évaporation des solvants est accélérée par le brassage ou le soufflage d'air chauffé.

Tous les tunnels doivent être équipés d'un système d'aspiration. Le débit de cette aspiration est calculé de façon à assurer en permanence à l'intérieur du tunnel :



Photos 3 et 4. Dispositifs de stockage et de sécurité permettant la distribution de solvants.

- ① Bac de lavage.
- ② Parois latérales de hauteur 1/4.
- ③ Arrivées d'air soufflé.
- ④ Caisson de soufflage.
- ⑤ Fente de soufflage orientable.
- ⑥ Plenum d'extraction.
- ⑦ Extraction à travers une tête perforée, surface des trous 5 à 10 %.
- ⑧ « Casquette » réalisant une avancée maximale.
- ⑨ Gaine d'extraction vers la tourelle d'extraction sur toiture.



Extraction
(rejet au-dessus
de la toiture)

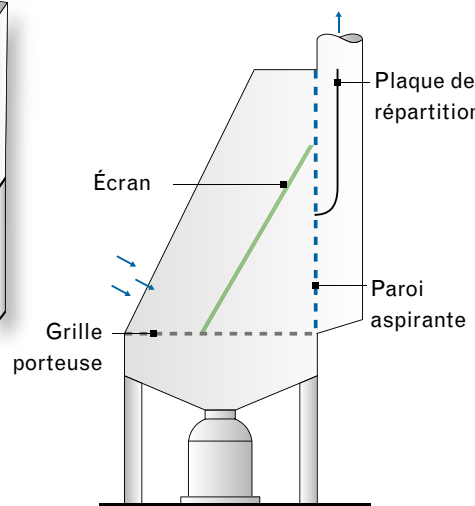
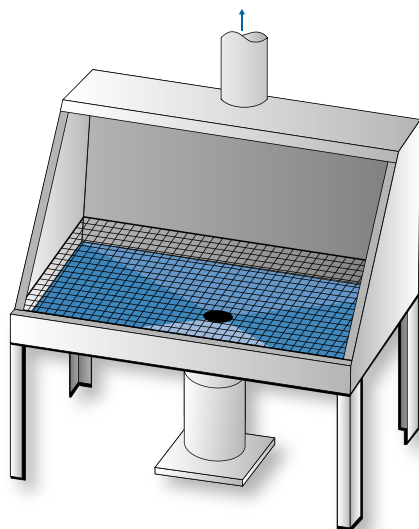
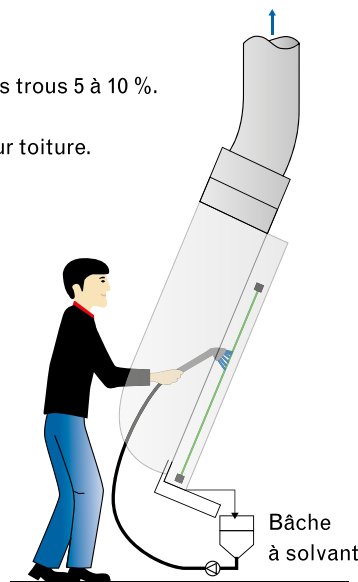


Figure 9. Dispositifs de lavage des écrans avec aspiration et recyclage éventuel du solvant.

- une dépression suffisante empêchant toute émission de vapeurs de solvants vers l'extérieur ;
- une concentration en vapeurs de solvants inférieure à 25 % de la LIE.

Dans ce type d'installation, l'air chaud subit de forts mouvements ascensionnels et a tendance à s'échapper par les parties hautes des extrémités du tunnel. Les débits d'air peuvent alors être particulièrement élevés. La mise en place de portes aux extrémités du tunnel ou d'un système ayant une configuration dite « en canoë » minimisent ces problèmes.

Le séchage UV (polymérisation)

La mise en œuvre de cette technique entraîne parfois des dégagements de substances dangereuses pour les opérateurs (ozone...) nécessitant une aspiration efficace de la zone d'insolation [19]. La mise en place d'un système d'extraction efficace est d'autant plus intéressante qu'elle assure une pérennité du matériel.

Dans le cas de procédé inerté, il est important de vérifier que le tunnel de séchage reste en dépression, de manière à éviter tout transfert de polluants vers l'atelier (ozone, azote, NVP...).

V.3.6. Nettoyage du matériel

Il y a lieu de distinguer diverses situations.

Le nettoyage en ligne sur machine, en cours ou en fin d'opération.

Ce nettoyage est réalisé directement sur la machine, au moyen de papiers, chiffons ou brosses imprégnés de solvants.

C'est une opération généralement très polluante, bien qu'aujourd'hui apparaissent des solvants à évaporation limitée (esters dibasiques par exemple). Le système d'extraction doit être conçu pour capter efficacement les polluants durant ces phases de nettoyage.

Cette opération, génératrice d'une grande quantité de déchets à fort pouvoir polluant (voir V.3.7.), ne peut se faire sans le port de gants adaptés aux solvants utilisés [10-11], d'un vêtement de protection et de protections oculaires [12].

Il existe des récipients de sécurité (voir photos 3 et 4), dispositifs permettant une distribution ponctuelle et limitée de solvant : ces distributeurs, par touche ou par pression, permettent donc la mani-

pulation des solvants en apportant une protection contre les risques d'intoxication et d'incendie ainsi qu'une économie de produit. Les bidons de sécurité avec bec verseur auto-fermant ou les bidons humidificateurs par pression en sont deux exemples.

On peut également mentionner l'existence de chiffons de nettoyage pré-imbibés de solvant (style « lingettes »).

Cette solution présente l'avantage d'éviter toute manipulation ou transvasement de solvant (opération à pollution non négligeable). Les dispositifs de distribution sont fermés en cas de non utilisation. Le recours à ce procédé entraîne généralement une économie de solvant.

Le nettoyage complet hors ligne en fin d'utilisation, en machine de nettoyage fermée ou à un poste de lavage spécial.

Nettoyage complet dans des machines fermées automatiques ou semi-automatiques

Ces machines de nettoyage requièrent une bonne étanchéité, sinon elles doivent être mises en légère dépression par une aspiration de faible débit. Cependant, à l'ouverture de la machine et pendant le retrait de l'écran, le dégagement de vapeurs de solvants nécessite la mise en place d'un système d'extraction conduisant à une vitesse d'air d'environ 1 m/s au droit de l'ouverture.

Une solution judicieuse consiste à équiper la machine étanche d'un système d'extraction fonctionnant selon le cycle suivant :

- phase 1 : mise en place de l'écran dans la machine avec aspiration en fonctionnement;
- phase 2 : lavage de l'écran par pulvérisation du solvant, machine fermée et aspiration à l'arrêt;
- phase 3 : assainissement de l'atmosphère à l'intérieur de la cuve par mise en service de l'aspiration; l'entrée d'air peut être obtenue par une légère ouverture de la machine pendant quelques dizaines de secondes;
- phase 4 : sortie de l'écran, autorisée uniquement après l'assainissement de l'atmosphère réalisé en phase 3.

L'extraction reste en marche, tant que la machine est ouverte. Il est souhaitable d'installer la machine dans un local isolé et aéré.

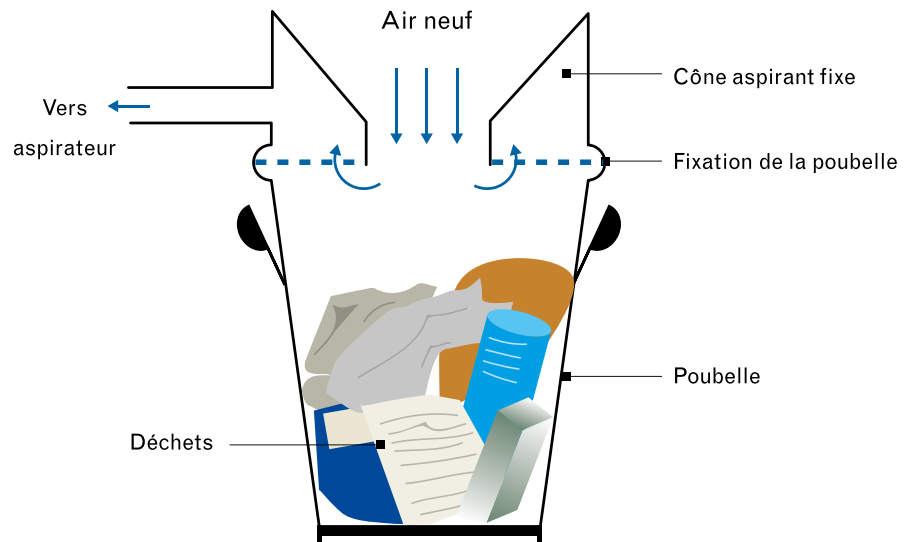


Figure 10. Exemple de poubelle ventilée, à cône aspirant

Nettoyage manuel par projection de solvant

Cette méthode nécessite un système d'aspiration efficace de façon à obtenir une vitesse d'air moyenne horizontale de 0,5 m/s dans la section frontale du poste⁴; cette surface frontale peut être réduite par des parois coulissantes.

La figure 9 page précédente montre des exemples d'aménagement de postes de nettoyage manuel d'écrans avec aspiration.

Des appareils permettant le lavage des raclettes de manière automatisée ou semi-automatisée existent. Leur utilisation réduit alors l'émission des polluants à ce poste de travail.

V.3.7. Gestion des déchets

Les activités de nettoyage, des écrans notamment, sont génératrices de beaucoup de déchets très polluants : chiffons, papiers et brosses imbibés de solvants, encres ainsi que leurs contenants... La contribution de ces déchets à la pollution ambiante est importante. Une mesure très efficace pour remédier à cette pollution consiste à installer des poubelles ventilées (voir figure 10) : l'extraction des polluants (anneau d'aspiration...) placée sur la partie supérieure de la poubelle évite le relargage des solvants contenus dans les déchets [19]. L'utilisation de cette technique simple peut abaisser notablement la pollution. Ce

système efficace et peu onéreux est donc à recommander.

Les poubelles mobiles, ne pouvant pas être raccordées à un réseau de ventilation-aspiration, doivent être fermées par un couvercle et munies de systèmes de type pédale ne permettant qu'une ouverture ponctuelle. Pour limiter les risques d'incendie-explosion par accumulation de vapeurs de solvants, il est indispensable de vider ces poubelles très régulièrement.

V.3.8. Dégravage des écrans

Si le poste de nettoyage manuel des écrans est correctement équipé (voir V.3.6.), les opérations de dégravage peuvent y être réalisées avec un équipement efficace contre les rétroprojections (écrans transparents coulissants, vêtements de travail).

Si le dégravage est effectué sur un poste à part, celui-ci doit être réalisé dans une enceinte spécifique isolée du reste de l'atelier. Un équipement contre les rétroprojections est également à prévoir.

Si une « image fantôme » persiste sur l'écran, une pâte corrosive (soude à 50% + cyclohexane) peut être utilisée afin de décaper complètement l'écran. Des rétroprojections sont alors également à craindre lors du rinçage.

Il existe aussi des machines de dégravage automatisées.

4. Le flux d'air doit être homogène et ne pas présenter de vitesse d'air inférieures à 0,4 m/s.

TABLEAU IV
GUIDE POUR LE CHOIX DE LA TECHNIQUE PRINCIPALE DE VENTILATION PAR POSTE DE TRAVAIL

Postes de travail	VENTILATION PAR ASPIRATION LOCALE			
	Captage enveloppant	Captage inducteur		
		Aspiration bi-latérale	Aspiration arrière	Hotte en dôme
Préparation des écrans	recommandée	utilisable	utilisable	exclue
Préparation des encres	recommandée	/	recommandée	exclue
Impression manuelle machines semi-automatiques machines automatiques (encres UV) machines grandes dimensions	recommandée recommandée recommandée recommandée	utilisable utilisable utilisable acceptable	utilisable utilisable utilisable acceptable	exclue exclue exclue exclue
Stockage temporaire des chariots à claies	recommandée	utilisable	recommandée	acceptable (avec parois coulissantes)
Nettoyage des écrans	recommandée	/	utilisable	exclue
Dégravage	recommandée	/	utilisable	exclue

V.4. Choix de la technique principale de ventilation

Le **tableau IV** permet de faire le choix de la technique principale de ventilation en fonction des postes de travail et des commentaires cités ci-après.

Les solutions techniques **recommandées** sont celles qui doivent être mises en place en priorité : le choix de telles solutions s'impose lors de la conception d'installations nouvelles.

Les solutions techniques **utilisables** correspondent à des solutions susceptibles d'assurer un assainissement satisfaisant, dans la mesure où certaines contraintes qui leur sont associées sont satisfaites. Elles sont réservées aux ins-

tallations où une impossibilité technique empêche la mise en place d'une solution « recommandée » ou lorsque les paramètres de fabrication sont parfaitement définis et reproductibles (fabrication en série). Une telle installation peut être rendue caduque par une modification mineure du processus industriel ou par suite d'évolutions réglementaires liées à des considérations d'ordre toxicologique.

Les solutions techniques **acceptables** ne doivent pas être retenues de manière permanente. Elles ne peuvent être adoptées que pour des situations exceptionnelles ou pour des situations à caractère provisoire devant évoluer à court terme.

Les solutions techniques **exclus** sont inutilisables en toutes circonstances. Elles

ne permettent pas d'atteindre les objectifs de salubrité souhaitable.

VI. Dossiers techniques

Les dossiers techniques qui suivent correspondent à des situations industrielles réelles ou simulées. Ils sont destinés à présenter différents dispositifs de ventilation sous réserve des remarques suivantes :

- les solutions techniques adoptées n'ont pas toujours été optimisées ;
- la ventilation doit être adaptée à chaque cas particulier ;
- l'ensemble des dossiers techniques ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les réalisations possibles ; de plus, ils ne correspondent qu'à des solutions partielles. En ce qui concerne l'assainissement de l'atmosphère de l'atelier, la situation ne peut être satisfaisante que si tous les postes qui émettent des polluants sont munis de dispositifs de captage ;
- les prélèvements d'atmosphère sont valables pour un poste précis et à un moment donné ; les résultats ne doivent pas être extrapolés ;
- les prélèvements d'atmosphère ont été effectués au niveau des voies respiratoires des opérateurs ; les résultats correspondent à la moyenne des concentrations mesurées.

RAPPEL

Une installation efficace de ventilation nécessite d'être :

- adaptée aux besoins (cahier des charges),
- bien dimensionnée,
- correctement installée,
- bien entretenue,
- contrôlée régulièrement.

Toute installation de ventilation doit posséder un dossier technique spécifique [19], élaboré lors de l'installation, dans lequel sont consignées les caractéristiques aérodynamiques et dimensionnelles du matériel.

Celles-ci doivent être contrôlées régulièrement (au minimum tous les ans) afin de s'assurer du bon fonctionnement du matériel. Ces contrôles réguliers sont également consignés dans le dossier technique.

Arrêté du 8 octobre 1987 relatif au contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement des locaux de travail.

Comparaison de deux dispositifs de captage par modélisation

Dans le cadre de l'impression sérigraphique, il s'agit ici de modéliser, par simulation informatique (logiciel EOL 3D), une paroi aspirante positionnée derrière un chariot à claies servant au stockage des pièces imprimées avant séchage. Cette modélisation permet la comparaison de deux dispositifs de captage des polluants : une paroi aspirante simple et une paroi aspirante munie d'un retour perpendiculaire (joue).

Objectif

Recherche des débits nécessaires permettant d'obtenir des vitesses d'air

au point d'émission des solvants supérieures à 0,25 m/s.

Atelier

Le local est de dimensions réduites. Le chariot à claies pouvant contenir les pièces imprimées est placé devant une paroi aspirante de taille proche de celle du chariot.

Cette paroi est munie ou non d'un retour perpendiculaire contre lequel est placé le chariot.

L'entrée d'air dans la pièce est choisie de manière à obtenir une propagation de l'air dans l'atelier ne perturbant en rien le

système de captage choisi : manche textile basse vitesse ou caisson soufflant basse vitesse.

Local : 6 m x 6 m x 4 m

Surface de soufflage : 6 m²

Surface d'extraction d'air : 2,4 m²

Surface de la paroi retour : 1,28 m²

Dimensions du chariot à claies :

1,5 m x 0,8 m x 1,4 m

Hypothèses aérauliques

Le tableau ci-contre donne les hypothèses des simulations.

Résultats

Les simulations sont représentées dans les figures ci-contre avec les mêmes paramètres. Elles représentent les champs de vecteurs vitesses et modules des vitesses dans un plan horizontal à 1 mètre du sol.

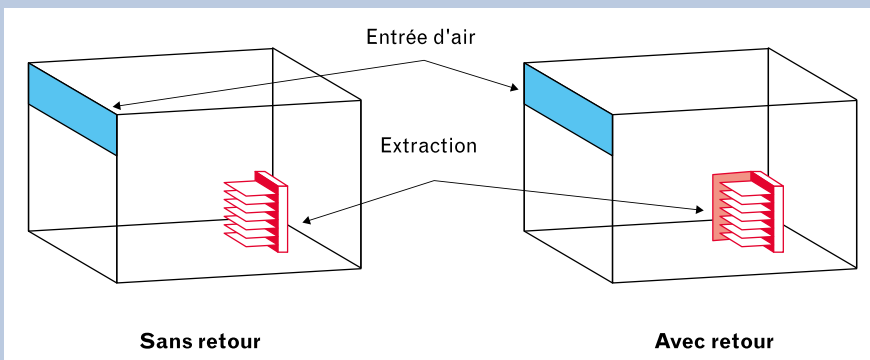
Commentaires

Dans les deux cas étudiés, les résultats obtenus sont quasiment identiques. Les vitesses d'air sont supérieures à 0,25 m/s en tout point de la surface du chariot à claies et les flux d'air sont homogènes. Il est à noter que les pièces imprimées ne couvrent généralement pas l'intégralité de la surface de la claie.

La mise en place d'un simple écran latéral permet de diminuer le débit nécessaire de près de 35 % (de 6 480 m³/h à 4 320 m³/h).

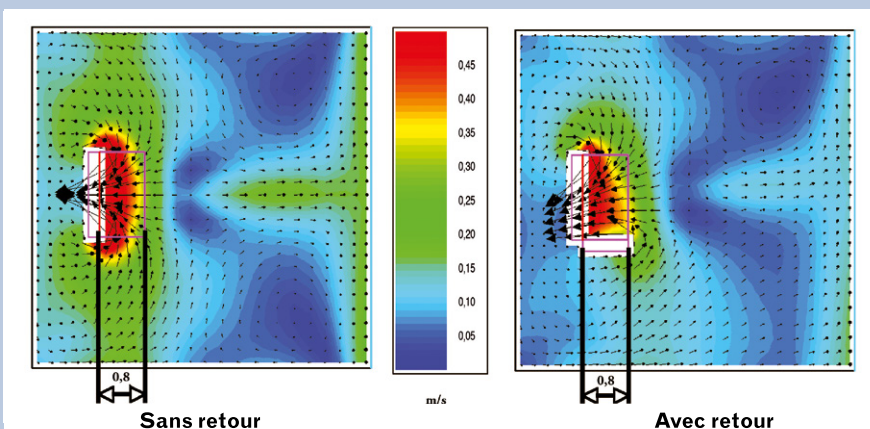
La mise en place de tels écrans est donc intéressante car elle autorise un réseau de ventilation de capacité et de puissance plus faible. Par ailleurs, un seul écran ne perturbe pas les opérations de remplissage du chariot à claies (gêne de l'opérateur, mobilité réduite...).

Dans la mesure où il est techniquement possible de rajouter des écrans, il est donc toujours très intéressant d'encotrer au maximum une zone productrice de polluants : les débits de captage sont minimisés et l'assainissement de l'air facilité.



HYPOTHÈSES DES SIMULATIONS

	Extraction		Soufflage	
	Vitesse en m/s	Débit total en m ³ /h	Vitesse en m/s	Débit total en m ³ /h
Sans retour	0,75	6 480	0,30	6 480
Avec retour	0,50	4 320	0,20	4 320



Impression sérigraphique de capsules embouties

Situation initiale

Aucun poste de travail n'est équipé d'aspiration. Les voies respiratoires des opérateurs se situent à environ 20 cm de l'écran contenant les encres. Les encres utilisées sont à base de solvants. Les opérations de nettoyage s'effectuent avec un chiffon imbibé de solvants.

Objectif

Réduire les émanations de solvants dans l'atelier tout en maintenant les niveaux qualitatif et quantitatif de la production.

Propositions d'amélioration

Pour éviter les émanations de solvants dans l'atelier, une solution consiste à capter au plus près les polluants émis, en enveloppant autant que possible la source d'émission. La vitesse d'air ne doit pas être trop élevée pour éviter le séchage des encres pendant la phase d'impression.

Après différents essais avec les opérateurs, la solution retenue est un dispositif de captage embarqué permettant de capter les différents polluants émis lors des phases d'impression et de nettoyage.

Résultats

Visualisation des flux d'air

La visualisation en divers points des flux d'air (par fumigène) a permis d'observer et d'évaluer l'efficacité du dispositif.

Mesure des vitesses d'air

Des mesures de vitesses d'air ont été effectuées avec un anémomètre à fil chaud.

Les résultats obtenus sont homogènes, avec une vitesse moyenne dans le plan égale à 0,33 m/s.

Ces vitesses permettent de garantir un captage efficace des polluants émis et n'accélèrent pas le séchage de l'encre pendant les phases d'impression.

Commentaires

La mise en place d'un dispositif de captage embarqué permet de protéger les opérateurs des différents polluants émis lors des phases d'impression.

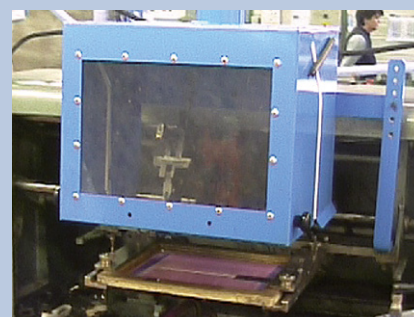
La démarche, mise en œuvre par l'entreprise, de réaliser un prototype permettant de recueillir les remarques des opérateurs, a permis de concevoir un dispositif de captage adapté à la situation de travail.

Tous les opérateurs travaillant à ce poste sont satisfaits de ce changement.

Phase d'impression.



Dispositif de captage fermé en phase d'impression.



Écran permettant à l'opérateur de visualiser son travail

Phase de nettoyage.



Le dispositif se soulève afin de faciliter le nettoyage de l'écran d'impression.

Poste de sérigraphie



L'écran contenant des encres à base de solvant

Le chiffon, utilisé pour le nettoyage, imbibé de solvant

Le distributeur de solvant

L'opérateur, à 20 cm de la source de pollution

Aucun système de captage n'existe : les polluants émis lors des différentes phases se dispersent partout, surtout près des voies respiratoires des opérateurs.

Poste de lavage manuel d'écrans

Objectif

Conception et mise en œuvre aérodynamique de deux postes donnant pleine satisfaction aux opérateurs.

Atelier

Les deux postes de lavage des écrans sont distincts et séparés de l'atelier (locaux isolés). Le nettoyage manuel par projection de solvant nécessite un système d'aspiration efficace de façon à obtenir une vitesse d'air moyenne du flux horizontal de 0,5 m/s dans la section frontale du poste (voir schéma de principe ci-dessous); cette surface frontale peut être réduite par des parois coulissantes.

Le solvant utilisé est récupéré et peut être recyclé. Lors des arrêts des postes de lavage des écrans, le local doit

bénéficier d'une ventilation générale qui maintient une atmosphère convenable d'un point de vue hygiène et sécurité.

Les compensations d'air sont assurées par les ouvertures des locaux où sont situés les appareillages (ouvertures vers l'extérieur et vers l'atelier).

Résultats et commentaires

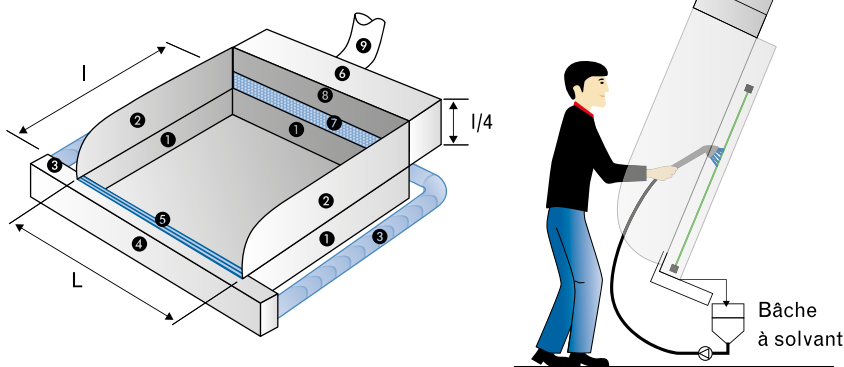
Dans les deux cas étudiés, les résultats obtenus sont identiques. Les vitesses d'air sont supérieures à 0,5 m/s lors des mesures effectuées. Ces vitesses nécessitent des débits d'air importants, qui peuvent être modulés en réduisant la surface frontale avec des parois coulissantes.

L'aménagement de ces postes donne satisfaction aux utilisateurs.

CARACTÉRISTIQUES DES POSTES DE LAVAGE

Caractéristiques	Laveur 1	Laveur 2
Largeur (m)	3,2	1,5
Hauteur de l'ouverture (cm)	80	70
Profondeur (cm)	70 environ	70 environ
Débit global approximatif de l'installation (m ³ /h)	8 000	4 000

- ① Bac de lavage.
- ② Parois latérales de hauteur l/4.
- ③ Arrivées d'air soufflé.
- ④ Caisson de soufflage.
- ⑤ Fente de soufflage orientable.
- ⑥ Plenum d'extraction.
- ⑦ Extraction à travers une tête perforée, surface des trous 5 à 10 %.
- ⑧ « Casquette » réalisant une avancée maximale.
- ⑨ Gaine d'extraction vers la tourelle d'extraction sur toiture.



Poste de lavage n° 1.



Poste de lavage n° 2.



Marquage de pièces mécaniques

L'activité consiste en l'impression par procédé sérigraphique de pièces derévolution (pistons). Après impression, les pièces sont accumulées sur une claie et passées dans un four pour séchage. La pollution principale est causée par des vapeurs d'aldéhyde formique et de solvants (constituants de l'encre). L'entreprise souhaite agir pour améliorer les conditions sanitaires dans cet atelier. Les principales sources de pollution se situent au niveau de l'écran, du piston et de la zone d'accumulation avant séchage.

Situation initiale

Les trois postes de travail sont situés dans un local conçu pour fonctionner avec une surpression de l'ordre de 25 Pa. Le local est climatisé avec un renouvellement d'air partiel. La surpression, assurée par la compensation en air neuf, doit permettre d'éviter tout retour de vapeurs dans le local depuis l'ouverture du four. Après vérification, cette surpression n'est effectivement pas assurée par l'installation. Le captage sur les postes de travail est réalisé au moyen de bras articulés mobiles. Placées à 0,50 m environ de l'écran, du fait de leurs dimensions qui ne permet pas de les approcher davantage, les bouches sont trop éloignées pour assurer un captage efficace.

Objectif

Modifier le captage en adaptant l'installation existante, pour améliorer l'efficacité à débit identique.

Solution retenue

L'installation a été modifiée pour que la surpression prévue initialement soit effectivement assurée.

Le captage au niveau de l'écran est effectué au moyen d'une fente aspirante le long de l'écran, permettant d'obtenir une vitesse de captage suffisante sur toute la surface (voir photo 1).

Un captage supplémentaire a été ajouté près du piston. Du fait de la diversité dimensionnelle des pièces, un simple conduit articulé autoportant a été mis en place (voir photo 2).

Le débit disponible a permis d'ajouter un captage supplémentaire (sans modification importante de l'installation) sur la zone d'accumulation des pièces avant séchage au moyen d'une hotte.

Les bras articulés mobiles ont été conservés et sont utilisés pour les opérations de remplissage de l'alimentation en encre des machines. Lorsqu'ils

ne sont pas utilisés, ils sont fermés par une trappe.

L'utilisation des éléments nécessitant une intervention des opérateurs (conduit articulé au niveau du piston, bras orientable pour l'opération d'alimentation en encre) a fait l'objet de consignes. Les opérateurs ont été formés.

Résultats

Les mesures effectuées aux postes de travail montrent (voir tableau ci-dessous) des vitesses d'air permettant un captage efficace des vapeurs aux points d'émission.

Conclusion

Une réflexion sur la conception du captage au plus près de la source d'émission des polluants a permis d'obtenir des résultats satisfaisants sans augmenter les débits mis en jeu initialement.

Les opérateurs sont satisfaits de l'évolution de la situation.

RÉSULTATS DES MESURES EFFECTUÉES AUX POSTES DE TRAVAIL

	Machine	Vitesse d'air mesurée au point d'émission ou dans la section ouverte en m/s	Vitesse d'air recommandée en m/s
Écran	n° 1	0,60	0,25*
	n° 2	0,45	
	n° 3	0,35	
Piston	n° 1	0,40	0,25
	n° 2	0,30	
	n° 3	0,80	
Zone d'accumulation	Commune	0,80**	0,50

*Au point le plus éloigné du captage. ** Valeur moyenne sur un gradient de vitesse.

Photo 1.

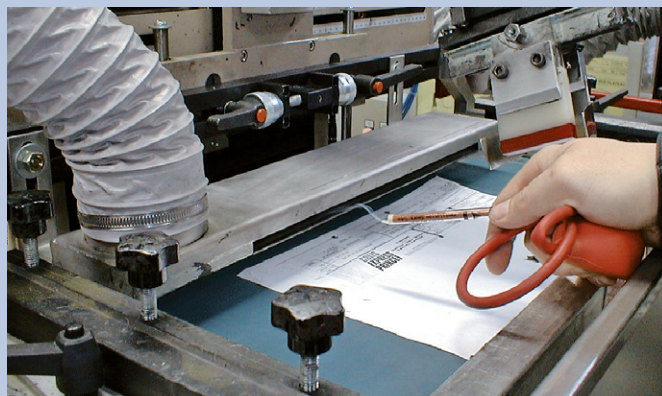
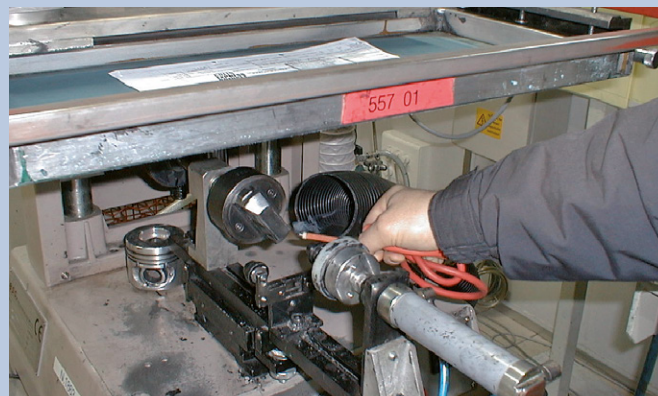


Photo 2.



Bibliographie

- [1] VAN DUPPEN J. – Manuel de sérigraphie. *Éditions «Le Tamis », 1977.*
- [2] FAINE B. – Le guide complet de la sérigraphie. *Éditions Dessain et Tolra, 1990.*
- [3] CAZA M. – Les techniques de la sérigraphie. *Cd-Rom, Carlier Productions, 2006.*
- [4] Base des fiches toxicologiques INRS. *Voir le site www.inrs.fr*
- [5] Les fiches solvants. *INRS, ED 4220 à ED 4230.*
- [6] ATEX – Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives. *Guide méthodologique. INRS, ED 945.*
- [7] NF EN 689 – Exposition sur les lieux de travail. Mesurage de l'exposition par inhalation d'agents chimiques. Stratégie pour vérifier la conformité à des valeurs limites d'exposition professionnelle. *Afnor, 2018.*
- [8] Base de données des tableaux des maladies professionnelles. *Voir le site www.inrs.fr*
- [9] Le dossier d'installation de ventilation. *Guide pratique de ventilation n°10. INRS, ED 6008*
- [10] Des gants contre le risque chimique. *Fiche pratique de sécurité. INRS, ED 112.*
- [11] Logiciel ProtectPo INRS. *Voir le site www.inrs.fr.*
- [12] Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage. *INRS, ED 798.*
- [13] Principes généraux de ventilation. *Guide pratique de ventilation n° 0. INRS, ED 695.*
- [14] L'assainissement de l'air des locaux de travail. *Guide pratique de ventilation n° 1. INRS, ED 657.*
- [15] Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. *INRS, ED 984.*
- [16] Ventilation des ateliers d'encollage de petits objets – chaussures. *Guide pratique de ventilation n° 5. INRS, ED 672.*
- [17] Stockage et transfert des produits chimiques dangereux. *INRS, ED 753.*
- [18] Le stockage des produits chimiques au laboratoire. *INRS, ED 6105.*
- [19] Mise en œuvre des rayons ultraviolets. *Recommandation CNAM R 240.*