

→ J.P. Danet, F. Dubernet,
G. Magniez, Service Prévention,
CRAM Aquitaine, Bordeaux,

En collaboration avec H. Aussel,
A. Rolin, Département Formation,
INRS, Paris, Nancy

Le bilan aéraulique des chantiers d'amiante

THE « AIR FLOWS BALANCE » OF ASBESTOS SITES

Firms qualified in the removal or confinement of friable asbestos must ensure the protection of employees and the environment, in particular by means of systems to clean the air and maintain a negative pressure in the working zone.

The « air flows balance » technique allows firms to adopt a rigorous, step-by-step approach. It ensures the control of risk by predicting equipment requirements in advance and limiting improvisation on site.

Finally, measurements carried out on site allow validation of the assumptions made and feedback on experience, which is a factor of progress in the prevention of occupational risks on asbestos removal sites.

● asbestos removal site ● ventilation
● air flows ● confinement

Les entreprises qualifiées pour le retrait ou le confinement de l'amiante friable ont l'obligation d'assurer la protection des salariés et de l'environnement, en particulier au moyen de dispositifs d'assainissement et de mise en dépression de la zone de travail. Le bilan aéraulique est une technique qui permet aux entreprises d'adopter une démarche rigoureuse, étape par étape. Il assure la maîtrise des risques par la prévision en amont du matériel nécessaire à mettre en œuvre et par la limitation des improvisations sur chantier.

Enfin, les mesures sur chantier permettent de valider les hypothèses et assurent un retour d'expérience, facteur de progrès pour la prévention des risques professionnels liés au désamiantage.

● désamiantage ● chantier ● bilan aéraulique ● ventilation ● aéraulique
● confinement

La méthode dite « du bilan aéraulique », développée par le service Prévention de la Caisse régionale d'assurance maladie (CRAM) Aquitaine [1], pour quantifier et valider la qualité du confinement des chantiers d'amiante, consiste à mener une réflexion globale sur les moyens de ventilation à mettre en œuvre sur les chantiers, selon la configuration des lieux :

- le bilan aéraulique prévisionnel, mené dans le cadre de l'élaboration du plan de retrait, permet de prévoir et de dimensionner le matériel nécessaire pour maîtriser les flux d'air et ainsi limiter les improvisations sur chantier ;

- le bilan aéraulique réalisé ensuite sur chantier, avant le démarrage des travaux de désamiantage proprement dit, permet de valider les hypothèses de calcul et notamment, de s'assurer que les débits d'air transitant par les sas personnel et déchets sont corrects.

La pratique régulière du bilan aéraulique par les entreprises qualifiées, avec l'aide éventuelle de bureaux d'études spécialisés, pour les cas les plus complexes, doit aussi enrichir leurs retours d'expériences en gardant « en mémoire » les données et les choix effectués.

Le bilan aéraulique s'appuie sur la réglementation française traitant de l'amiante, ainsi que sur les ouvrages de l'INRS traitant de ce sujet et, plus généralement, des questions de ventilation [2, 3]. Il vient en complément de toute mesure visant à réduire au niveau le plus faible possible l'émission de fibres dans la zone de travail (captage à la source, pulvérisation, imprégnation...).

La présentation pratique du bilan aéraulique que nous proposons ici permet une acquisition didactique de la méthode, depuis la reconnaissance des lieux jusqu'à la vérification sur chantier, en passant par le dimensionnement et l'implantation du matériel nécessaire.

Le bilan aéralique prévisionnel

Le bilan aéralique prévisionnel [1] permet de concevoir un système de ventilation garantissant mieux :

- un renouvellement en air neuf de la zone de travail constant pendant toute la durée du chantier,
- la répartition homogène de l'air neuf dans l'ensemble de la zone de travail,
- le maintien de la zone de travail en dépression constante par rapport à l'extérieur,
- la maîtrise des entrées d'air et notamment les débits d'air transitant par les sas personnel et déchets,
- la maîtrise du fonctionnement du système d'extraction par intégration de la fonction « secours »,
- une mise en œuvre sur chantier, simplifiée, concrète, efficace et rapide.

La méthode se déroule en 16 étapes, décrites dans les chapitres suivants.

Étape 1 - Établir un plan (figures A et B)

A partir du relevé d'informations sur le chantier, notamment des plans préexistants, il s'agit d'établir un plan coté à l'échelle des locaux à traiter et de leur environnement, en tenant compte :

- de l'environnement du chantier :
 - accès,
 - place disponible autour des locaux à traiter,
 - nature des locaux avoisinants les locaux à traiter,
 - raccordements pour les besoins du chantier (électricité, eau, rejets d'eau,...),
 - etc.,
- des caractéristiques des locaux à traiter :
 - emplacement des matériaux contenant l'amiante et nature des supports,
 - cloisonnement des locaux, position et dimension des ouvertures, hauteur sous plafond...,
 - etc.

APPLICATION

Les figures A à O illustrent un exemple concret de réalisation d'un bilan aéralique prévisionnel.
La figure P illustre les corrections au bilan, après mesures sur chantier.

Fig. A. Le plafond de ce bâtiment est à défloquer
- Asbestos is to be stripped from the ceiling of this building

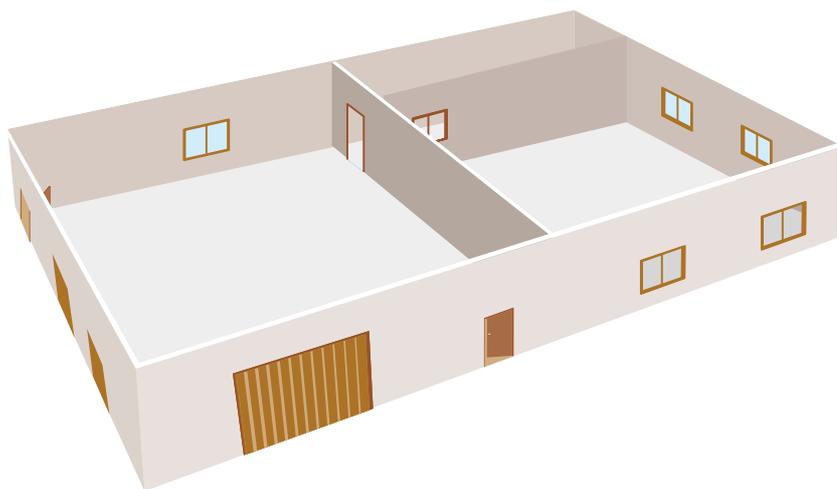
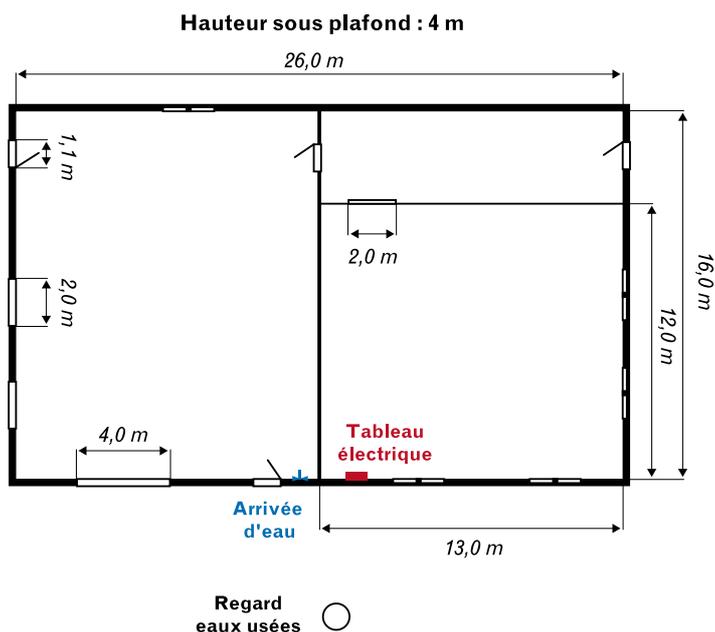


Fig. B. Plan coté à l'échelle
- Dimensional scale drawing



Étape 2 - Délimiter la zone à confiner. Positionner le sas personnel, le sas déchets, les extracteurs (fig. C)

La zone à confiner doit être réduite, et strictement limitée (sauf contrainte technique particulière) aux surfaces concernées par les travaux. La conception et la construction du confinement (cf. *annexe I, fiche 1*) prend en compte :

- la facilité d'accès aux matériaux à déposer,
- le mode d'accrochage de l'enveloppe,
- les difficultés prévisibles pour confiner (cf. *annexe I, fiche 2*).

Le sas personnel (cf. *annexe I, fiche 3*) et le sas déchets (cf. *annexe I, fiche 4*) sont positionnés en tenant compte des contraintes propres au chantier : environnement, place disponible, dimensions des ouvertures, accès aux réseaux d'alimentation en eau et évacuation des eaux usées, etc. Les sas constituent obligatoirement des voies d'entrée d'air maîtrisées.

En règle générale, les extracteurs sont situés à l'opposé des entrées d'air de façon à mieux balayer la zone de travail ; l'air extrait doit être rejeté à l'extérieur des bâtiments.

Pour obtenir la capacité d'extraction nécessaire au taux de renouvellement choisi, pour la valeur de la dépression fixée, il est préférable d'installer plusieurs extracteurs identiques de faible capacité (cf. *annexe I, fiche 7*).

Étape 3 - Diviser la zone confinée en zones élémentaires (fig. D)

L'objectif est d'analyser les difficultés éventuelles de circulation d'air dans la zone confinée : des cloisonnements, des recoins, des décrochements peuvent perturber la ventilation de la zone confinée, en créant des « zones mortes » par exemple.

Si besoin est, on délimite sur le plan différentes zones homogènes, considérées comme des zones élémentaires. Cette division « virtuelle » permettra d'assurer par la suite des apports d'air de compensation homogènes en tout point de la zone confinée.

A cette étape de la méthode, il est utile de recenser les zones élémentaires dans lesquelles il n'est pas possible d'amener directement de l'air neuf de compensation, du fait de l'absence d'ouverture donnant sur l'extérieur, par exemple.

Fig. C. Délimitation de la zone à confiner ; positionnement du sas personnel, du sas déchets, des extracteurs

- Demarcation of the zone to be isolated; position of personnel lock, waste-product lock and exhaust devices

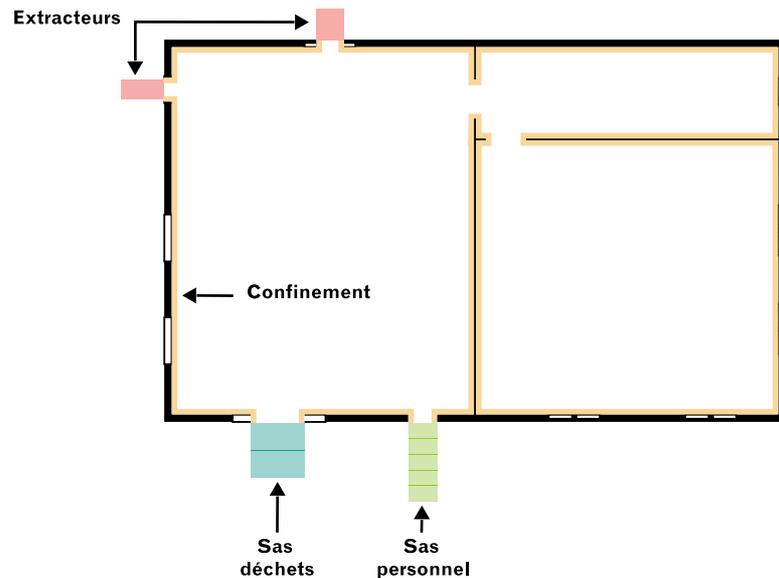
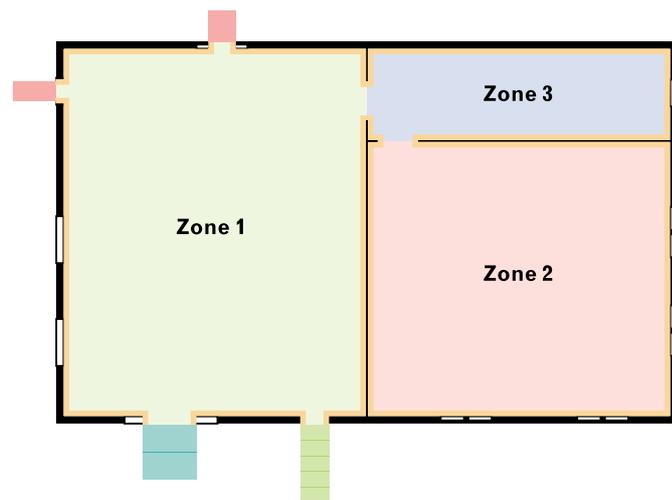


Fig. D. Division de la zone confinée en zones élémentaires

- Division of isolated zone into elementary zones



Étape 4 - Calculer le volume de chaque zone élémentaire. En déduire le volume total de la zone à confiner (fig. E)

La forme et les dimensions de chaque zone élémentaire permettent de calculer leur volume.

Le volume total de la zone à confiner est obtenu en faisant la somme des volumes des zones élémentaires.

En pratique, les résultats sont arrondis au m³.

Étape 5 - Choisir le taux minimal de renouvellement d'air neuf à garantir (encadré 1)

L'air neuf, provenant de l'atmosphère extérieure à la zone confinée, pénètre dans celle-ci de façon à compenser l'air évacué par les extracteurs.

Pour un local de volume donné, le taux de renouvellement en air neuf représente le nombre de fois que le volume est renouvelé en une heure. C'est un facteur de sécurité essentiel, car le flux d'air neuf dans l'enceinte confinée contribue, par dilution, à abaisser l'empoussièrement du chantier.

Le taux de renouvellement en air neuf ne doit jamais être inférieur à 4 volumes/heure. Il est supérieur en cas de méthodes de travail particulières: dépose à sec, cryogénie, sablage....

Ce taux minimal de renouvellement d'air neuf sera garanti depuis le démarrage du chantier jusqu'à la fin des travaux.

Étape 6 - Choisir la valeur de la dépression à maintenir en permanence et l'emplacement du point de mesure (encadré 1)

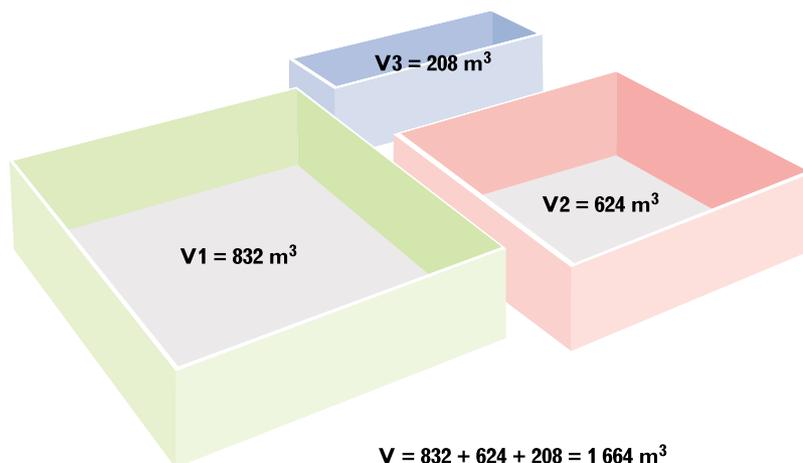
La dépression à maintenir constante est la différence entre la pression statique existante à l'extérieur de la zone confinée et celle maintenue à l'intérieur de cette zone. En l'absence de valeur réglementaire ou normative, la valeur habituellement retenue est de 20 Pa.

Le vent exerce une influence sur les pressions réelles ou lues sur l'appareil de mesure (manomètre), à la fois par la position des entrées d'air et ou la position de la prise de pression extérieure du manomètre. On observe alors des fluctuations sur l'afficheur de l'appareil de mesure.

Fig. E. Calcul du volume de chaque zone élémentaire et déduction du volume total de la zone à confiner

Les valeurs numériques sont données volontairement avec précision pour faciliter la vérification des calculs. Dans la pratique, les valeurs de débit seront arrondies.

- Calculation of the volume of each elementary zone and deduction of the total volume of the zone to be isolated



ENCADRE 1

CHOIX DU TAUX MINIMAL DE RENOUELEMENT D'AIR NEUF, DE LA VALEUR DE LA DÉPRESSION ET DE L'EMPLACEMENT DU POINT DE MESURE - CHOICE OF MINIMUM AIR EXCHANGE RATE, VALUE OF NEGATIVE PRESSURE, AND POSITION OF MEASUREMENT POINT

Étape 5

- Taux minimal de renouvellement d'air neuf choisi : 4 volumes/heure

Étape 6

- Valeur de la dépression retenue : 20 Pa
- Point de mesure dans la zone 1

Dans tous les cas :

- des seuils d'alerte haut et bas, temporisés, permettront de signaler, localement ou à distance, une dérive de la dépression. Le seuil d'alerte bas ne sera jamais inférieur à 10 Pa, temporisé par exemple à 10 secondes ;
- la solidité de l'enveloppe du confinement devra être adaptée au niveau de dépression choisi ;
- les choix du nombre d'extracteurs et de leur mode de fonctionnement permettront de maintenir la dépression autour de

sa valeur nominale et de garantir le taux minimal de renouvellement d'air neuf.

Généralement, la valeur de la dépression dans une zone confinée est pratiquement égale en tous points (la différence de pression existant entre deux points distincts est souvent si faible qu'elle ne peut être mesurée avec les manomètres employés sur ce type de chantier).

L'emplacement du point de mesure de la dépression se situe de préférence à proximité du sas personnel, dans la zone confinée.

Étape 7 - Déterminer les débits d'air neuf entrant par les sas pour la valeur de la dépression choisie (fig. F)

L'air neuf pénètre en priorité par les sas. Dans cette étape, il s'agit d'évaluer les apports d'air neuf dans la zone confinée en provenance des sas.

Pour cela, les caractéristiques aérodynamiques des sas personnel et déchets mis en place sur le chantier doivent être connues des entreprises qualifiées, par les données des fabricants ou un retour d'expérience. L'INRS recommande que les compartiments des sas soient conçus pour garantir une vitesse minimale en air de 0,2 à 0,5 m/s, en considérant toute la section du compartiment [2].

Étape 8 - Calculer le débit minimal d'air neuf entrant dans chaque zone élémentaire par les entrées d'air de compensation (fig. G)

En complément de l'air amené par les sas, il s'agit de créer un apport d'air neuf dans la zone de travail pour atteindre de façon sûre le taux de renouvellement choisi.

Cet apport d'air neuf complémentaire pénètre par des entrées d'air de compensation (cf. *annexe I, fiche 5*), disposées et réparties de façon à optimiser le balayage en air neuf de chaque zone élémentaire à traiter.

En pratique, le calcul doit être effectué pour chaque zone élémentaire, en tenant compte :

- du volume de la zone et du taux de renouvellement choisi,
- de la contribution du sas personnel dans la zone concernée par ce sas,
- de la contribution du sas déchets dans la zone équipée de ce sas.

Si le débit d'air apporté dans une zone élémentaire par un sas est suffisant pour assurer le taux de renouvellement choisi, il est inutile de créer une entrée d'air de compensation supplémentaire dans cette zone.

Fig. F. Détermination des débits d'air entrant par les sas, pour la valeur de la dépression choisie

Caractéristiques des sas disponibles (retour d'expérience)

Débit d'air neuf entrant par le sas personnel: 350 m³/h pour une dépression de 20 Pa

Débit d'air neuf entrant par le sas déchets: 400 m³/h pour une dépression de 20 Pa

- Determination of the rates of input air flow through the locks for the value of negative pressure chosen

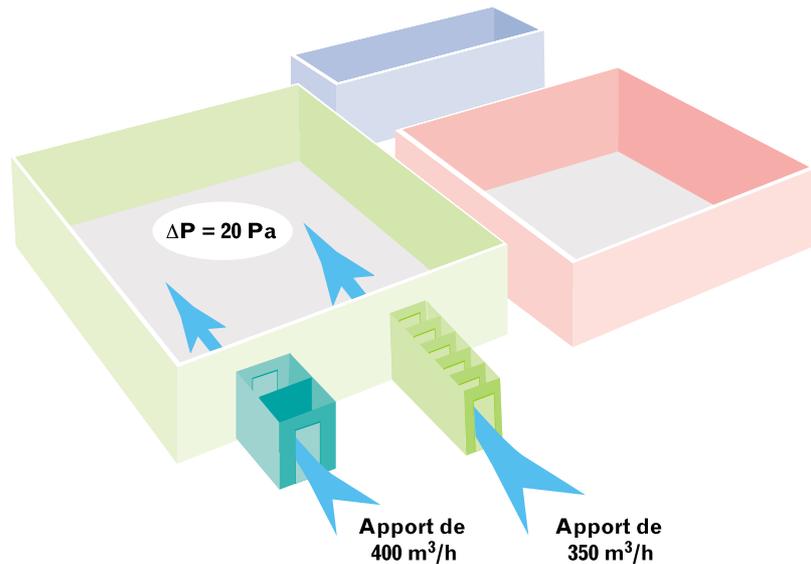
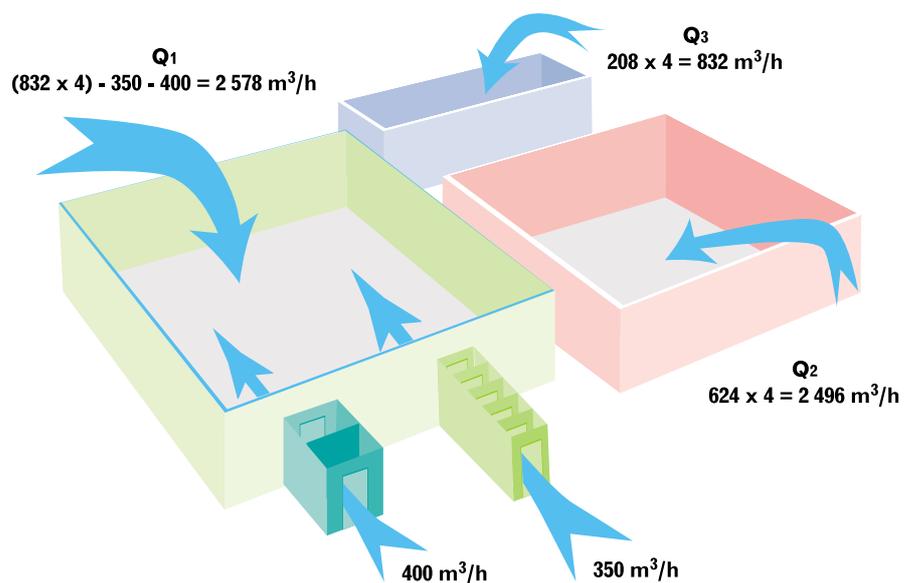


Fig. G. Calcul du débit minimal d'air neuf entrant dans chaque zone élémentaire par les entrées d'air de compensation

- Calculation of the minimum rate of fresh air entering each elementary zone via the make-up air inlets



Étape 9 - Déterminer le débit d'air neuf pénétrant par une entrée d'air de compensation, pour la valeur de la dépression choisie (fig. H)

C'est la maîtrise des débits d'air neuf pénétrant par l'ensemble des entrées d'air qui contribue à l'atteinte des objectifs :

- maintien de la dépression,
- taux de renouvellement.

Il appartient aux entreprises qualifiées de connaître les caractéristiques aérodynamiques des entrées d'air de compensation qu'elles mettent en place sur les chantiers (« préfiltres », tubes calibrés équipés d'éléments adaptés,...) :

- soit on utilise une entrée d'air de compensation dont on connaît le débit, sous la dépression choisie (retour d'expérience ou donnée fournie par le fabricant) ;
- soit le débit de l'entrée d'air est calculé. Dans ce cas, il est déterminé à l'aide des formules détaillées dans l'encadré 2.

Étape 10 - Calculer le nombre d'entrées d'air de compensation par zone élémentaire. Répartir et repérer ces entrées sur le plan. Déterminer le débit total des entrées d'air de compensation dans la zone confinée (fig. I)

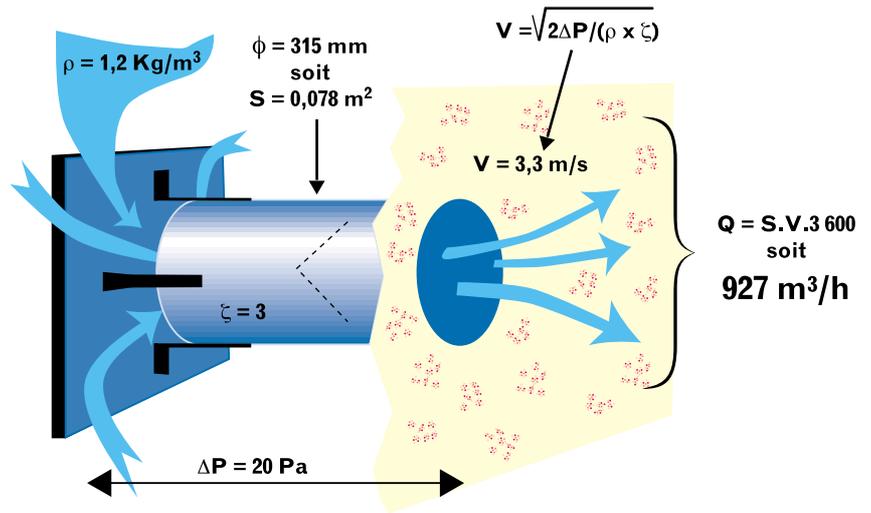
A cette étape du calcul prévisionnel, on rappelle que :

- le débit minimal d'air neuf pénétrant dans une zone élémentaire par les entrées d'air de compensation a été calculé à l'étape 8 ;
- le débit d'air neuf pénétrant par une entrée d'air de compensation donnée, pour la dépression choisie, a été déterminé lors de l'étape n° 9.

Le calcul est mené pour chaque zone élémentaire. Le nombre d'entrées d'air de compensation est obtenu en divisant le débit minimal d'air neuf pénétrant dans une zone élémentaire par le débit d'une entrée d'air. Le résultat est arrondi à l'entier supérieur.

Fig. H. Détermination du débit d'air neuf pénétrant par une entrée d'air de compensation

- Determination of the rate of fresh air entering via one make-up air inlet



ENCADRE 2

CALCUL DU DÉBIT D'ENTRÉE D'AIR - CALCULATION OF INPUT AIR FLOW RATE

- En ventilation, une perte de charge singulière est donnée par la relation :

$$\Delta P = \zeta \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

soit :

$$v = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\zeta \cdot \rho}}$$

avec :

- v = vitesse de l'air dans l'entrée [m/s],
- $\rho = 1,2 \text{ kg / m}^3$ (masse volumique de l'air à 20 °C et à la pression atmosphérique normale),
- ΔP = valeur de la dépression choisie (20 Pa, par exemple),
- ζ = coefficient de perte de charge de l'entrée d'air (donnée du fabricant, estimation, calcul,...).

- Le débit traversant l'entrée d'air de compensation est donné par la relation :

$$Q = S \cdot v \cdot 3600$$

avec :

- v = vitesse de l'air dans l'entrée [m/s],
- S = section de passage de l'entrée d'air [m²],
- Q = débit d'air [m³/h].

Les entrées d'air de compensation sont positionnées sur le plan, de façon à répartir les entrées d'air neuf et assurer un balayage homogène des zones élémentaires. Si le nombre d'entrées d'air placées en un même lieu est trop important, il est judicieux de choisir un modèle d'entrée d'air de capacité supérieure.

La numérotation de chaque entrée d'air facilite le repérage et le contrôle sur chantier.

Les zones élémentaires, dans lesquelles il n'est pas possible d'amener l'air neuf de compensation par des entrées classiques ou bien celles comportant des zones mortes, seront ventilées au moyen d'entrées d'air munies de conduites souples.

Il est aussi possible d'installer des extracteurs d'air à l'intérieur de ces zones de façon à brasser et épurer l'air en continu. Ces extracteurs fonctionnent alors en « recycleurs » et les débits d'air qu'ils mettent en jeu ne seront pas pris en compte dans les étapes suivantes. De plus, il est indispensable de s'assurer, par une analyse de risques particulière, que l'utilisation de ces recycleurs ne risque pas de mettre en suppression une partie de la zone confinée et de favoriser ainsi l'émission de fibres vers l'extérieur. Leur emplacement et leur orientation devront être déterminés avec soin.

Étape 11 - Calculer le débit total des entrées d'air maîtrisées (fig. J)

Le sas personnel, le sas déchets, les entrées d'air de compensation constituent les entrées d'air maîtrisées.

Le débit total des entrées d'air maîtrisées est la somme des débits :

- du sas personnel,
- du sas déchets,
- des entrées d'air de compensation.

Ce débit total d'air neuf prévisionnel, pénétrant par les entrées d'air maîtrisées, sera ensuite vérifié lors de la réalisation du bilan aéraulique sur le chantier.

Fig. I. Calcul du nombre d'entrées d'air de compensation par zone élémentaire ; répartition et repérage de ces entrées d'air sur le plan ; détermination du débit total des entrées d'air de compensation dans la zone confinée

Nombre d'entrées d'air de compensation par zone élémentaire :

Zone 1 : $2578 / 927 = 2,78$ arrondi à 3

Zone 2 : $2496 / 927 = 2,69$ arrondi à 3

Zone 3 : $832 / 927 = 0,90$ arrondi à 1

Débit des entrées d'air de compensation dans la zone confinée :

Zone 1 : $3 \times 927 = 2781 \text{ m}^3/\text{h}$

Zone 2 : $3 \times 927 = 2781 \text{ m}^3/\text{h}$

Zone 3 : $1 \times 927 = 927 \text{ m}^3/\text{h}$

Débit total de compensation = $6489 \text{ m}^3/\text{h}$

- Calculation of the number of make-up air inlets per elementary zone; distribution and location of these air inlets on the drawing; determination of total flow rate at make-up air inlets in the isolated zone

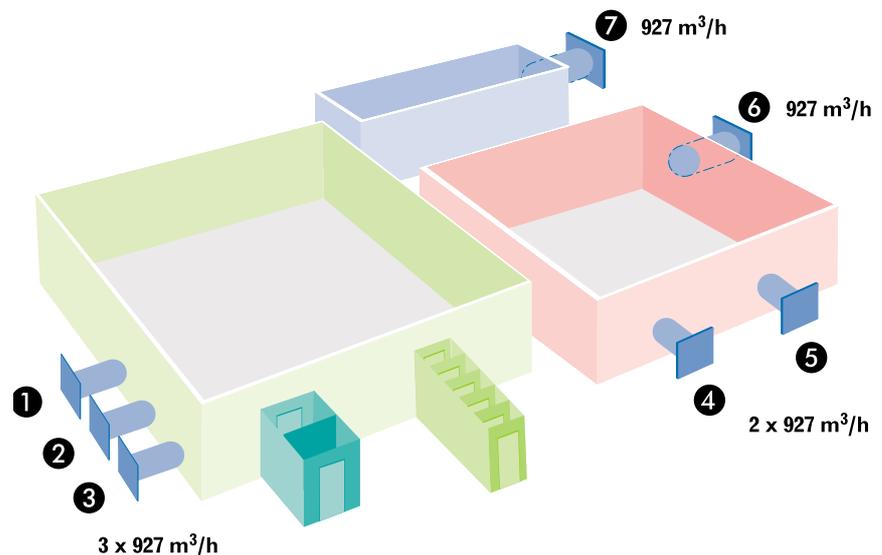


Fig. J. Calcul du débit total des entrées d'air maîtrisées

Débit des entrées d'air maîtrisées :

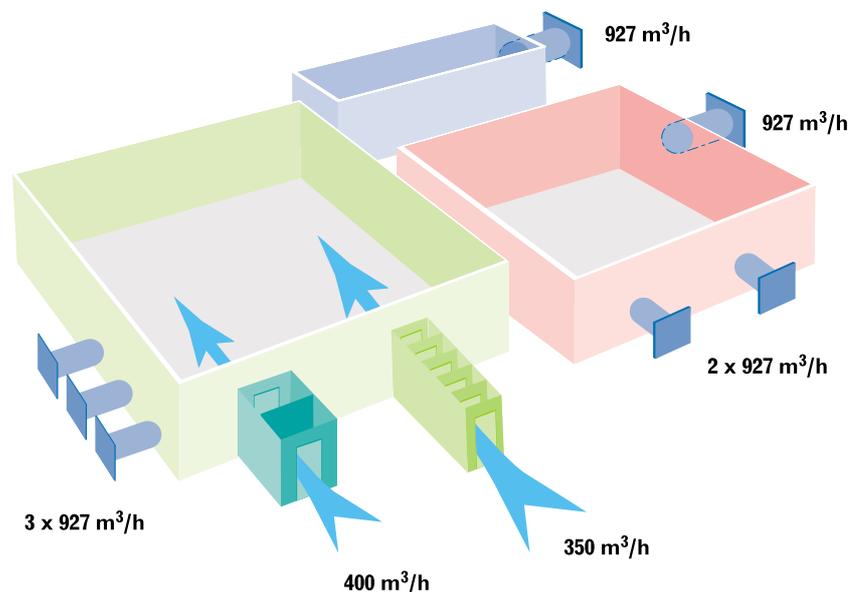
Zone 1 : $2781 + 350 + 400 = 3531 \text{ m}^3/\text{h}$

Zone 2 : $2781 \text{ m}^3/\text{h}$

Zone 3 : $927 \text{ m}^3/\text{h}$

Débit total des entrées d'air maîtrisées = $7239 \text{ m}^3/\text{h}$

- Calculation of the total flow rate of controlled air inputs



Étape 12 - Estimer le taux de fuite du confinement. En déduire le débit d'air entrant par les fuites dans le confinement (fig. K)

Un confinement n'est jamais totalement étanche. Il existe toujours des fuites dont l'importance dépend du volume du local, de la perméabilité à l'air de la structure, de la capacité de l'entreprise à construire un confinement de qualité, etc.

De même, les sas ne sont pas parfaitement étanches.

Toutes les fuites constituent des entrées d'air parasites « non maîtrisées ».

Le taux de fuite d'un confinement est estimé par retour d'expérience de chaque entreprise ou bien par la méthode proposée (cf. annexe I, fiche 2).

Le débit d'air entrant par les fuites est calculé en tenant compte du volume de la zone confinée.

La localisation des fuites étant a priori impossible, les débits d'air entrant par les fuites ne seront jamais pris en compte pour le calcul du taux minimal de renouvellement d'air neuf à garantir.

Étape 13 - Calculer le débit d'air à extraire en permanence (fig. L)

Dans la zone confinée, le débit d'air extrait est équivalent aux débits d'air entrant. C'est l'application du principe de la compensation de l'air en ventilation.

Aussi, le bilan aéraulique d'un chantier d'amiante est établi sur la base de l'égalité suivante :

$$\begin{aligned} & \text{Somme des débits d'air extrait} \\ & = \\ & \text{Somme des débits d'air neuf maîtrisés entrant} \\ & + \\ & \text{Somme des débits d'air entrant par les fuites} \end{aligned}$$

Fig. K. Estimation du taux de fuite du confinement, déduction du débit d'air entrant par les fuites dans le confinement

Confinement classé en type I (*) :

Taux de fuite d'air vers l'intérieur du confinement : $0,2 \text{ h}^{-1}$ (*)

Volume de la zone confinée : 1664 m^3

Débit total des fuites : $0,2 \times 1664 = 333 \text{ m}^3/\text{h}$

(*) valeurs établies par l'entreprise selon les indications de la fiche « Étanchéité d'un confinement » (annexe I).

- Estimation of the containment leakage rate, deduction of the flow rate of air entering via the leaks into the isolated zone

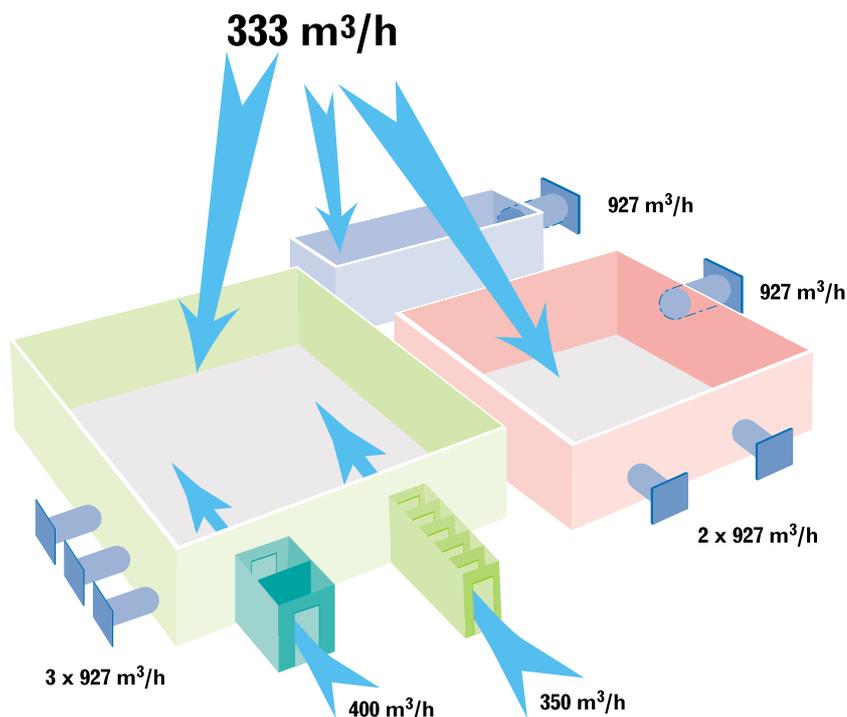


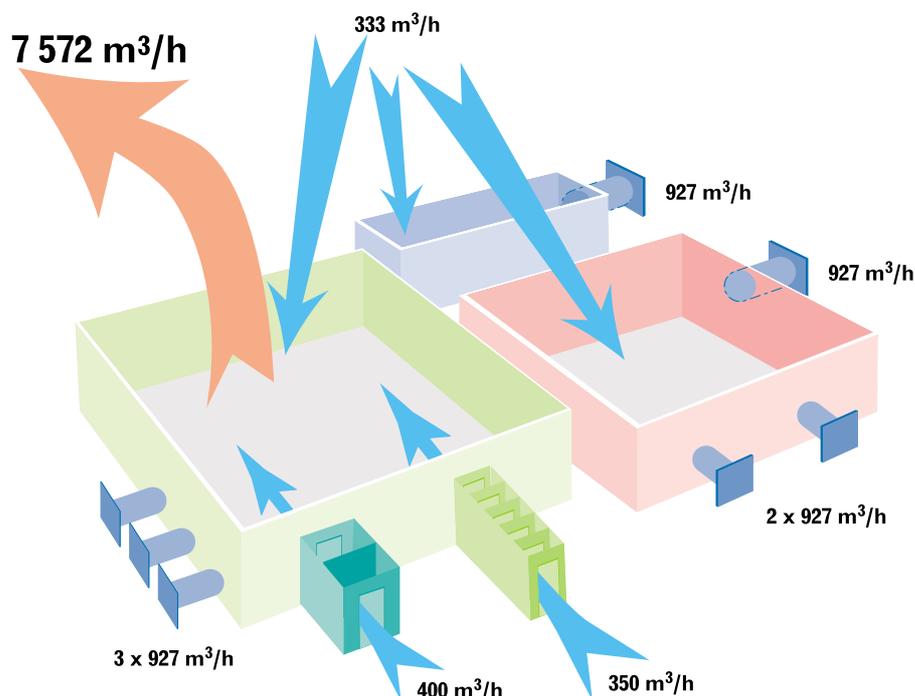
Fig. L. Calcul du débit d'air à extraire en permanence

Bilan aéraulique du chantier :

Entrées d'air maîtrisées + fuites = débit d'air à extraire

$3531 + 2781 + 927 + 333 = 7572 \text{ m}^3/\text{h}$

- Calculation of the flow rate of air to be exhausted permanently



Étape 14 - Choisir le nombre d'extracteurs permettant d'extraire en permanence le débit d'air.

Calculer la capacité minimale totale des extracteurs (appareils de secours non compris).
Calculer la capacité maximale totale des extracteurs (appareil de secours compris, s'il fonctionne en permanence) (fig. M)

L'objectif de cette étape est de choisir un ensemble d'extracteurs de façon à pouvoir extraire en permanence le débit défini à l'étape n° 13, quel que soit l'état d'encrassement des filtres et même en cas d'arrêt d'un des extracteurs.

Pour atteindre cet objectif, il faut tenir compte de l'ensemble des éléments suivants :

- la capacité prise en compte pour un extracteur correspond au débit minimal que celui-ci peut extraire dans les conditions suivantes : encrassement maximal des filtres et longueur de gaine au refoulement (et à l'aspiration, le cas échéant) ;
- le débit d'air maximal d'un appareil est celui qui peut être extrait lorsque l'appareil est équipé de filtres neufs ;
- le nombre d'extracteurs devra être le plus grand possible ;
- la capacité de l'extracteur de secours sera au moins égale à celle de l'extracteur de la plus forte capacité ;
- il est conseillé de faire fonctionner en permanence l'extracteur installé pour le secours.

Les fiches techniques des extracteurs qui mentionnent les caractéristiques, telles que celles définies par la marque NF - épurateurs d'air en milieu amianté - sont appréciables à cette étape [4].

Étape 15 - Évaluer les besoins en entrées d'air de réglage (fig. N)

L'utilisation d'extracteurs équipés de moto-ventilateurs à vitesse de rotation fixe rend nécessaire l'installation d'entrées d'air de réglage. Le réglage de la dépression du confinement à la valeur choisie est obtenu en ajustant la position du clapet des entrées d'air de réglage (cf. *annexe I, fiche 6*).

Pour évaluer ces besoins, il faut prendre en compte la différence entre la capacité maximale totale des extracteurs et le débit d'air à extraire en permanence. Ce débit excédentaire au démarrage du chantier pénétrera dans la zone confinée par une ou plusieurs entrées d'air de réglage.

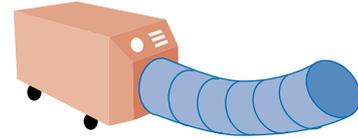
Fig. M. Choix du nombre d'extracteurs ; calcul des capacités minimale et maximale totales

On choisit de faire fonctionner l'extracteur de secours en permanence

- Choice of the number of extractors, calculation of the total minimum and maximum capacities

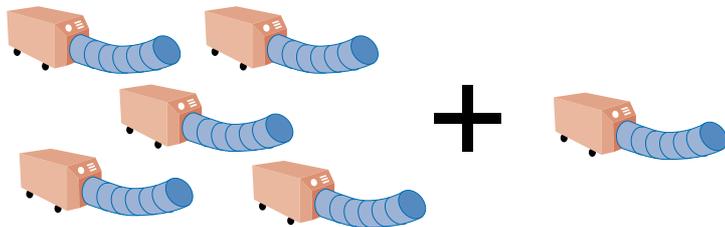
CARACTÉRISTIQUES RETENUES DES EXTRACTEURS DISPONIBLES

- Vitesse de rotation du ventilateur : fixe
- Débit d'air maxi (filtres neufs) : 2 000 m³/h
- Débit d'air mini (filtres usagés) : 1 700 m³/h



$$\frac{7572}{1700} = 4,4 \text{ soit } 5 \text{ extracteurs}$$

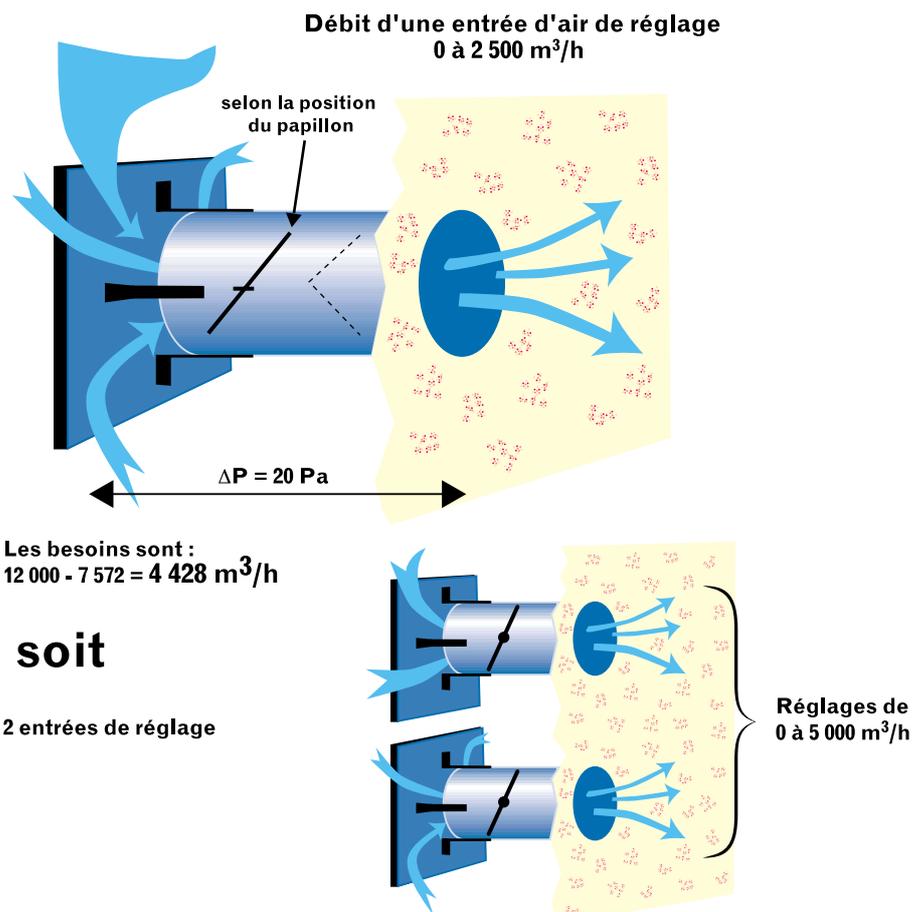
1 extracteur installé en secours



Capacité minimale totale des extracteurs $5 \times 1 700 = 8 500 \text{ m}^3/\text{h}$
Capacité maximale totale des extracteurs $6 \times 2 000 = 12 000 \text{ m}^3/\text{h}$

Fig. N. Évaluation des besoins en entrées d'air de réglage

- Assessment of regulation air input requirements



Ainsi, les entrées d'air de réglage sont dédiées à la maîtrise aéroulque du confinement.

Pour la dépression choisie, le débit maximal d'une entrée d'air de réglage doit être connu par les entreprises qualifiées (données du fabricant, retour d'expérience, calcul).

Le nombre d'entrées d'air de réglage est calculé à partir du débit unitaire d'une entrée, puis arrondi à l'entier supérieur.

Au démarrage du chantier, la valeur de la dépression choisie à l'étape 6 est réglée en modifiant les pertes de charge d'une ou de plusieurs entrées d'air de réglage. En cas de sous-estimation du taux de fuite réel du confinement, il sera éventuellement impossible d'atteindre la dépression fixée. Il sera alors nécessaire :

- 1°) de fermer les entrées d'air de réglage,
- 2°) de rajouter une capacité supplémentaire d'extraction.

En cours de chantier, la valeur de la dépression est maintenue constante en ajustant les positions de réglage des entrées d'air.

Dans le cas d'extracteurs équipés de moto-ventilateurs à vitesse de rotation variable, la capacité maximale totale des extracteurs peut être ajustée au débit d'air à extraire en permanence. La dépression est obtenue simplement en ajustant manuellement ou automatiquement les vitesses de rotation.

Étape 16 - Compléter le plan initial (fig. O)

Il s'agit de :

- s'assurer de la cohérence des choix en fonction des contraintes liées aux locaux à traiter ;
- compléter le plan initial en indiquant et en repérant les matériels à installer (entrées d'air de réglage, etc.) et l'ensemble des flux d'air prévus. Ce plan sera joint au plan de retrait. Il sera utile au responsable du chantier pour implanter l'ensemble des équipements nécessaires pour réaliser le confinement dynamique de la zone de travail.

Fig. O. Plan final prévisionnel

- Final predictive plan

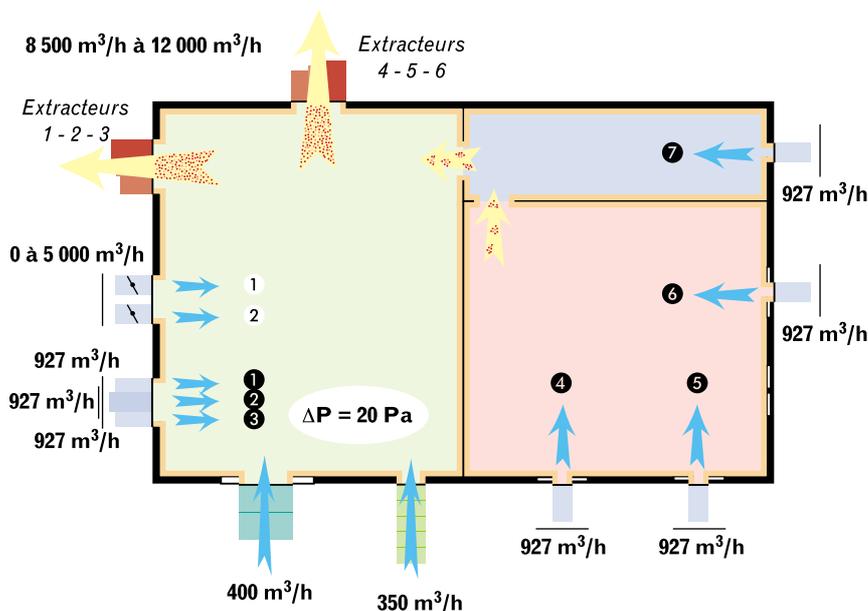
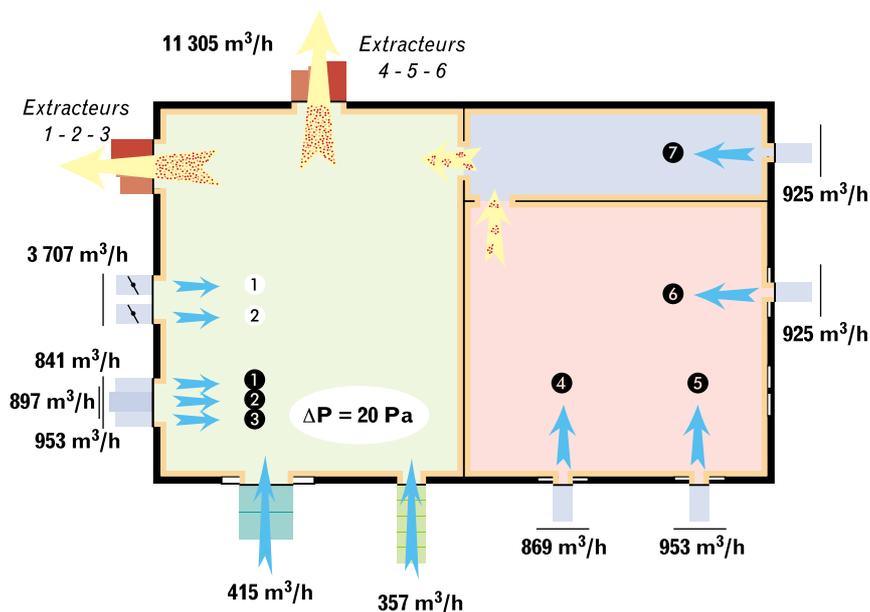


Fig. P. Plan final corrigé (issu des relevés sur chantier, d'après les tableaux I à VI)

- Final corrected plan (from on-site measurements, as per Tables I to VI)



Le bilan aéraulique sur chantier

En complément du test de fumée, les entreprises procèdent au bilan aéraulique sur chantier avant le démarrage des travaux.

Une fois la totalité du matériel en place, ce bilan aéraulique consiste à mesurer à l'aide d'un anémomètre les vitesses moyennes de passage de l'air dans les entrées d'air maîtrisées ainsi qu'au niveau des extracteurs. Les *tableaux I à VI* et la *figure P* donnent les résultats des mesures correspondant à l'application décrite dans les figures A à O ; *l'encadré n° 3* donne des indications utiles concernant les appareils et méthodes de mesure.

Ce relevé initial sera conservé ; il est indispensable pour :

- prouver que le taux de renouvellement en air neuf de la zone de travail est conforme au cahier des charges ;
- vérifier que l'air neuf est réparti de façon homogène dans toutes les zones élémentaires du confinement (répartition des entrées; taux de renouvellement correct) ;
- vérifier que la fonction « secours » entre les extracteurs est bien assurée ;
- valider les hypothèses de calcul, confirmer les débits d'air transitant par les sas personnels et déchets ;
- estimer le débit d'air entrant par les fuites. La connaissance de ce débit permet d'apprécier la qualité de la réalisation du confinement, et sera utile pour les prévisions lors de chantiers ultérieurs.

En procédant à des contrôles réguliers des vitesses d'air, l'entreprise s'assure du maintien des performances du confinement dynamique. Elle enregistre ses résultats et tient à jour le système documentaire lié au suivi du chantier.

TABLEAUX I à VI

MESURES ET ESSAIS SUR CHANTIER - ON-SITE MEASUREMENTS AND TESTS

Date des mesures : 05 juin 2000

Température de l'air : 21 °C

Nom et visa du technicien : xxx

TABLEAU I

MESURE DU DÉBIT D'EXTRACTION (MESURES RÉALISÉES AU DÉBOUCHÉ DES GAINES DE REFOULEMENT DE DIAMÈTRE $\Phi = 400$ mm) - MEASUREMENT OF EXHAUST AIR FLOW RATE (MEASUREMENTS CARRIED OUT AT THE OUTLET OF THE DUCTS, DIAMETER $F = 400$ mm)

Extracteur n°	Section de mesure [m ²] S	Vitesse moyenne relevée [m/s] v	Débit réel calculé [m ³ /h] q = S.v.3600
1	0,1256	4,0	1 809
2	0,1256	4,7	2 125
3	0,1256	4,5	2 035
4	0,1256	3,8	1 718
5	0,1256	3,5	1 583
6	0,1256	4,5	2 035
Débit extrait ① ⇒			11 305

TABLEAU II

MESURE DU DÉBIT DES ENTRÉES D'AIR MAÎTRISÉES DU SAS PERSONNEL (MESURES RÉALISÉES CONTRE LES GRILLES DE LA PORTE 2) MEASUREMENT OF CONTROLLED AIR FLOW RATE AT INLETS OF PERSONNEL LOCK (MEASUREMENTS CARRIED OUT AGAINST THE GRILLES OF DOOR 2)

Grille n°	Section de mesure [m ²] S	Coefficient correcteur choisi K (*)	Vitesse moyenne relevée [m/s] v	Débit réel calculé [m ³ /h] q = K.S.v.3600
1	0,0345	0,7	1,7	148
2	0,0345	0,7	2,4	209
Débit sas personnel 2 ⇒				357

(*) Le coefficient K est défini dans la fiche 8 « Mesures » (annexe I).

TABLEAU III

MESURE DU DÉBIT DES ENTRÉES D'AIR MAÎTRISÉES DU SAS DÉCHETS (MESURES RÉALISÉES CONTRE LES GRILLES DE LA PAROI DE SÉPARATION) - MEASUREMENT OF CONTROLLED AIR FLOW RATE AT INLETS OF WASTE-PRODUCTS LOCK (MEASUREMENTS CARRIED OUT AGAINST THE GRILLES OF SEPARATION PANEL)

Grille n°	Section de mesure [m ²] S	Coefficient correcteur choisi K (*)	Vitesse moyenne relevée [m/s] v	Débit réel calculé [m ³ /h] q = K.S.v.3600
1	0,0240	0,7	2,9	173
2	0,0240	0,7	4,0	242
Débit sas déchets 3 ⇒				415

(*) Le coefficient K est défini dans la fiche 8 (annexe I).

TABLEAU IV

MESURE DU DÉBIT DES ENTRÉES D'AIR DE COMPENSATION

(MESURES RÉALISÉES DANS LE TUBE DES ENTRÉES D'AIR DE DIAMÈTRE $\Phi = 315$ mm)- MEASUREMENT OF THE FLOW RATE OF MAKE-UP AIR INPUTS (MEASUREMENTS CARRIED OUT IN AIR INLET DUCT, DIAMETER $F = 315$ mm)

Zone n°	ΔP [Pa]	Entrée d'air de compensation n°	Section de mesure [m ²] S	Vitesse moyenne relevée [m/s] v	Débit réel calculé [m ³ /h] q = S.v.3600
1	20	1	0,0779	3,0	841
		2	0,0779	3,2	897
		3	0,0779	3,4	953
		Sous-total \Rightarrow			
2	20	4	0,0779	3,1	869
		5	0,0779	3,4	953
		6	0,0779	3,3	925
		Sous-total \Rightarrow			
3	20	7	0,0779	3,3	925
		Sous-total \Rightarrow			
Débit entrées d'air de compensation ④ \Rightarrow					6 363

TABLEAU V

MESURE DU DÉBIT DES ENTRÉES D'AIR DE RÉGLAGE

(MESURES RÉALISÉES DANS LE TUBE DES ENTRÉES D'AIR DE DIAMÈTRE $\Phi = 400$ mm)

- MEASUREMENT OF THE FLOW RATE OF REGULATION AIR INPUTS

(MEASUREMENTS CARRIED OUT IN AIR INLET DUCT, DIAMETER $F = 400$ mm)

ENCADRE 3

APPAREILS ET MÉTHODES DE MESURE -
MEASUREMENT EQUIPMENT AND METHODS

Les vitesses d'air sont mesurées à l'anémomètre. Les appareils les plus fréquemment utilisés sont les anémomètres thermiques (fil chaud) et mécaniques (moulinet).

Dans la pratique, les appareils et les méthodes de mesures sont à adapter aux dispositifs que l'on souhaite contrôler (cf. annexe I, fiche 8).

Malgré les précautions prises dans l'exécution des mesures et la précision des anémomètres disponibles sur le marché, des erreurs importantes sur les débits mesurés peuvent être commises. Ces erreurs proviennent des fluctuations des débits d'air, des turbulences dues aux longueurs droites insuffisantes, du choix de l'emplacement des points de mesure. Aussi, s'agit-il au mieux d'estimer des débits d'air quand on établit le bilan aéraulique sur chantier.

Entrée d'air de réglage n°	Section de mesure [m ²] S	Vitesse moyenne relevée [m/s] v	Débit réel calculé [m ³ /h] q = S.v.3600
1	0,1256	3,9	1 763
2	0,1256	4,3	1 944
Débit entrées d'air de réglage ⑤ \Rightarrow			3 707

TABLEAU VI

APPRÉCIATION DE LA FONCTION SECOURS

- APPRAISAL OF THE TROUBLE-SHOOTING FUNCTION

Simulation d'incidents	ΔP au moment de l'incident en Pa	Organe de secours	Traitement de l'incident			
Coupure générale du réseau électrique principal	0	Groupe électrogène	Démarrage automatique			
			NON	OUI	Temps [s]	ΔP obtenue [Pa]
			x		6	20
Arrêt de l'extracteur de plus grosse capacité	13	Entrées d'air de réglage	Mode de réglage			
			Manu	Auto	Temps [s]	ΔP obtenue [Pa]
			x		5	20

TABLEAUX VII à X

EXPLOITATION DES RÉSULTATS DU BILAN AÉRAULIQUE -

EVALUATION OF THE RESULTS OF AIR FLOWS BALANCE

Date : 05 juin 2000

Nom et visa du responsable du chantier : xxx

Les *tableaux VII à X* résument l'exploitation des mesures sur chantier, pour l'application étudiée :

- vérification du débit d'extraction,
- vérification du taux de renouvellement d'air neuf,
- estimation du débit des entrées d'air non maîtrisées (fuites),
- validation des objectifs.

TABLEAU VII

VÉRIFICATION DU DÉBIT D'EXTRACTION

- VERIFICATION OF EXHAUST FLOW RATE

Extracteur n°	Débit prévu [m ³ /h]		Débit réel	
	minimal	maximal	[m ³ /h]	[%]
1	1 700	2 000	1 809	16,0
2	1 700	2 000	2 125	18,8
3	1 700	2 000	2 035	18,0
4	1 700	2 000	1 718	15,2
5	1 700	2 000	1 583	14,0
6	1 700	2 000	2 035	18,0
Capacité totale	10 200	12 000	11 305	100,0

TABLEAU VIII

VÉRIFICATION DU TAUX DE RENOUELEMENT D'AIR NEUF

- VERIFICATION OF AIR EXCHANGE RATE

Zone n°	Volume [m ³]	ΔP [Pa]		Entrée d'air n°	Débit d'air [m ³ /h]		Taux de renouvellement [h ⁻¹]	
		Prévue	Réelle		Prévu	Réel	Prévu	Réel
1	832	20	20	1	927	841	4,24	4,16
				2	927	897		
				3	927	953		
				Sas Personnel ②	350	357		
				Sas Déchets ③	400	415		
				Sous-total ⇨	3 531	3 463		
2	624	20	20	4	927	869	4,46	4,40
				5	927	953		
				6	927	925		
				Sous-total ⇨	2 781	2 747		
3	208	20	20	7	927	925	4,46	4,45
				Sous-total ⇨	927	925		
Total	1 664			Total ⑥ ⇨	7 239	7 135	4,35	4,29

Remarque : débit moyen réel d'une entrée d'air de compensation : 909 m³/h.

TABLEAU IX

ESTIMATION DU DÉBIT DES ENTRÉES D'AIR NON MAÎTRISÉES (FUITES)

- ESTIMATION OF FLOW RATE OF UNCONTROLLED AIR INPUTS (LEAKS)

① Débit d'extraction [m ³ /h]		⑥ Débit des entrées d'air de compensation et des sas [m ³ /h]		⑤ Débit des entrées d'air de réglage [m ³ /h]		⑦ Débit des entrées d'air non maîtrisées [m ³ /h] ⑦ = ① - ⑥ - ⑤		Taux de fuite [h ⁻¹]	
Prévu	Réel	Prévu	Réel	Prévu	Réel	Prévu	Réel	Prévu	Réel
7 572	11 305	7 239	7 135	0	3 707	333	463	0,20	0,28
à 12 000				à 4 428					

TABLEAU X

VALIDATION DES OBJECTIFS

- VALIDATION OF OBJECTIVES

Objectif souhaité	Objectif atteint		Observations
	OUI	NON	
Le taux de renouvellement global en air neuf est supérieur à l'objectif fixé	✓		
L'air neuf est réparti de façon homogène dans toutes les zones élémentaires	✓		
La « fonction secours » est assurée	✓		
Le balayage en air neuf du « sas personnel » est correct	✓		
Le balayage en air neuf du « sas déchets » est correct	✓		
Autorisation de démarrage des travaux	✓		La dépression devra être maintenue à 20 Pa pour garantir les objectifs

BIBLIOGRAPHIE

1. Guide pour la conception du système de ventilation pour les travaux d'enlèvement de matériaux friables contenant de l'amiante. Notions de bilan aéraulique. Bordeaux, CRAM Aquitaine, 1999, Document interne, 76 p.
2. Travaux de retrait ou de confinement d'amiante ou de matériaux en contenant. Guide de prévention. Paris, INRS / ministère du Travail / OPPBTP, ED 815, 1998, 100 p.
3. Principes généraux de ventilation. Guide pratique de ventilation n° 0. Paris, INRS, ED 695, 1986, 36 p.
4. Nouvelle marque NF. Epurateurs d'air en milieu amianté. Courbevoie, Association Technique des Industries Thermiques et Aéraulique (ATITA), plaquette, 4 p.

Les auteurs remercient très sincèrement Mme M. Guimon (INRS) et MM. D. Bémer (INRS), F. Bonthoux (INRS), Y. Créau (CRAM de Normandie), J.M. Dessagne (INRS), C. Ducrocq (CRAM d'Ile-de-France) et P. Huré (INRS), pour leur intérêt manifesté pour ce travail et leurs remarques constructives.

ANNEXE I

FICHES TECHNIQUES -
TECHNICAL DATA SHEETS

fiche 1

CONFINEMENT

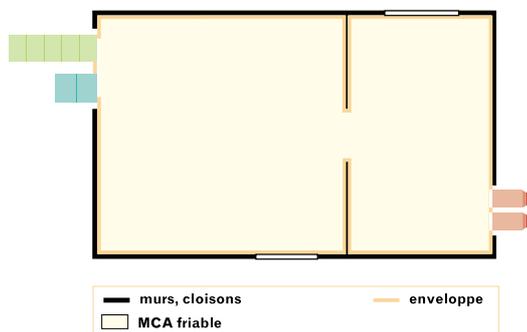
Les opérations de retrait de MCA friables nécessitent au préalable de créer un confinement dynamique :

- en délimitant la zone à confiner ;
- en calfeutrant les entrées d'air ;
- en protégeant après les avoir dépoussiérés, les surfaces et les équipements situés dans la zone à confiner, au moyen d'une enveloppe réalisée à l'aide de films en matière plastique ;
- en mettant en dépression la zone confinée.

I. Délimitation de la zone à confiner

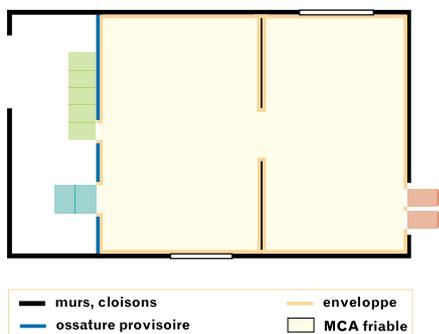
L'isolement de la zone à confiner par rapport aux zones avoisinantes peut se faire de plusieurs manières selon la configuration des locaux :

① les murs et les cloisons intérieures peuvent servir de support à l'enveloppe du confinement :

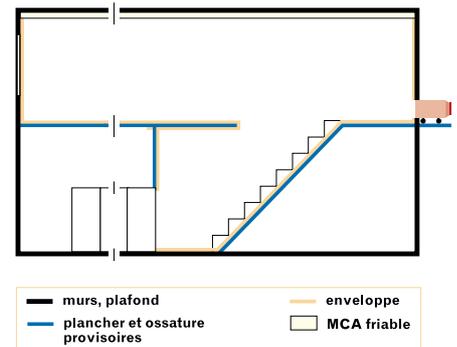


② il est nécessaire de réduire les dimensions de la zone à confiner par rapport à celles des locaux :

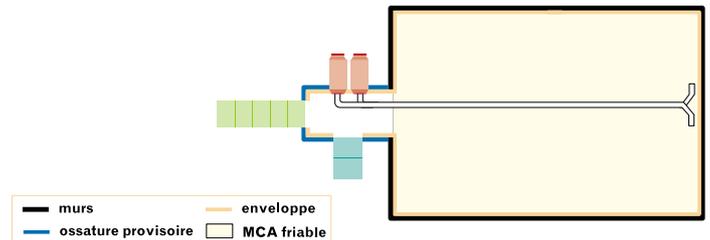
- soit en diminuant la surface au sol en créant, par exemple, une ou plusieurs cloisons provisoires servant de support à l'enveloppe du confinement :



- soit en diminuant la hauteur pour améliorer les conditions de travail, en créant par exemple, un plancher intermédiaire :



③ il est nécessaire de créer un volume supplémentaire de façon à pouvoir implanter certains matériels (tunnels, extracteurs, entrées d'air de compensation...) :



II. Confinement statique

Le confinement statique est la combinaison des deux opérations suivantes :

II.1. Le calfeutrement

L'objectif du calfeutrement est d'obturer toutes les ouvertures pouvant donner lieu à des échanges entre l'intérieur et l'extérieur de la zone de travail, de façon à pouvoir mettre celle-ci en dépression. Le calfeutrement est réalisé en utilisant, selon le cas, un ou plusieurs des moyens suivants : ruban adhésif seul, film plastique et ruban adhésif, mousse expansible...

II.2. L'enveloppe du confinement

L'enveloppe du confinement, qui doit être étanche au passage de l'air et de l'eau, est obtenue par la pose de films en matière plastique (polyéthylène ou PVC).

Le rôle de cette enveloppe est de :

- protéger les surfaces et équipements situés à l'intérieur de la zone après les avoir préalablement dépoussiérés si nécessaire ;
- faciliter la décontamination finale ;
- améliorer l'étanchéité finale du confinement statique.

L'enveloppe devant résister à l'action de la différence de pression s'exerçant de part et d'autre de celle-ci, le mode de fixation des films est à adapter à la nature du support, au niveau de dépression souhaité à l'intérieur de la zone confinée et aux caractéristiques météorologiques du site (risques de vent).

III. Confinement dynamique

La mise en dépression du confinement statique crée un confinement dynamique. Des extracteurs maintiennent le confinement en dépression. En prélevant l'air du confinement, ils provoquent des arrivées d'air extérieur (air neuf) par les sas, les entrées d'air de compensation et les fuites. Ces extracteurs ont aussi pour rôle de filtrer l'air avant de le rejeter à l'extérieur.

ANNEXE I (suite)

fiche 2

ÉTANCHÉITÉ D'UN CONFINEMENT

Malgré le soin apporté par les opérateurs pour calfeutrer et confiner la zone de travail, un confinement n'est jamais totalement étanche.

L'origine des entrées d'air non maîtrisées résulte généralement :

- Des défauts d'étanchéité d'un ou plusieurs éléments du confinement statique :
 - au niveau des sas : pour les sas préfabriqués, ces défauts peuvent être atténués par la pose de ruban adhésif au niveau de chaque jonction entre panneaux ;
 - au niveau de l'enveloppe : il subsiste, même dans les cas où la pose des lés en matière plastique n'est pas difficile, des micro-fuites dues principalement à des défauts d'étanchéité du ruban adhésif sur les supports.
 Par contre, lorsque la réalisation de l'enveloppe est difficile, notamment dans les locaux comportant de nombreux équipements situés en périphérie du confinement ou traversant le confinement, les défauts d'étanchéité deviennent plus fréquents et l'étanchéité globale du confinement statique devient plus aléatoire.
- Des fuites structurelles non confinables :
 - il peut s'agir de fuites structurelles provenant de la porosité ou de la perméabilité des éléments de structure supportant les MCA. C'est le cas, par exemple, de flocages projetés sur des plaques de fibrociment ou sur des tôles type « bacs acier » servant d'éléments de couverture ou de bardage. Il peut également s'agir de fuites structurelles au niveau des joints de dilatation situés entre deux structures en béton, dont l'une au moins est recouverte d'un flocage ;
 - il peut s'agir également d'éléments de structure qui ne sont pas facilement accessibles lors de la préparation des travaux.
 Ces fuites ne sont pas confinables par l'intérieur de la zone de travail en raison de la présence du MCA à retirer et il n'est pas toujours possible ou judicieux de confiner la zone de travail par l'extérieur de celle-ci.

Dans tous les cas, il est indispensable de pouvoir estimer les flux d'air pénétrant par ces entrées d'air parasites, de façon à dimensionner la capacité des extracteurs. Cette estimation est basée sur les notions :

- de taux de fuite d'un confinement,
- de débit d'air entrant par les fuites.

I. Taux de fuite d'un confinement

Le taux de fuite d'un volume confiné est le nombre de renouvellement par heure de l'atmosphère de ce volume, occasionné par l'apport d'air neuf entrant par les fuites.

Ce taux de fuite dépend de la dépression régnant dans le confinement.

Dans la méthode proposée par cette fiche, le taux de fuite est estimé en fonction des trois critères d'étanchéité suivants :

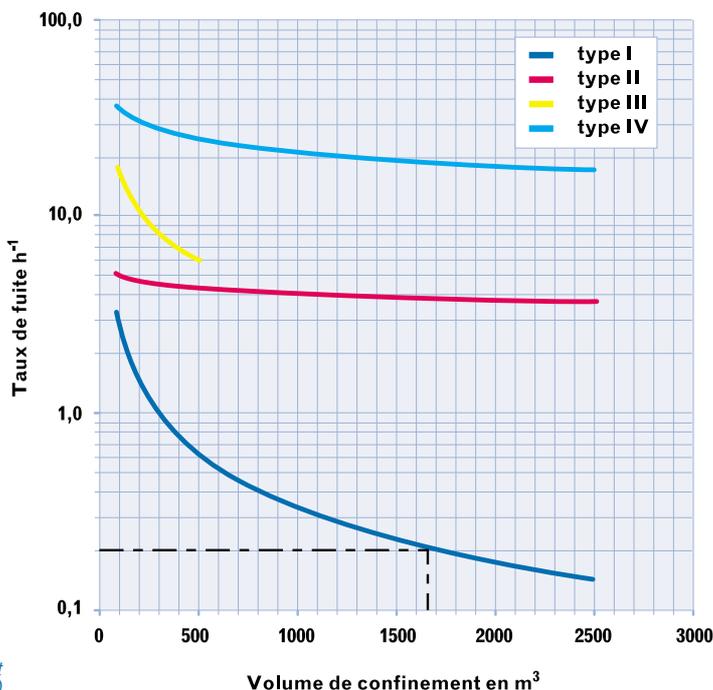
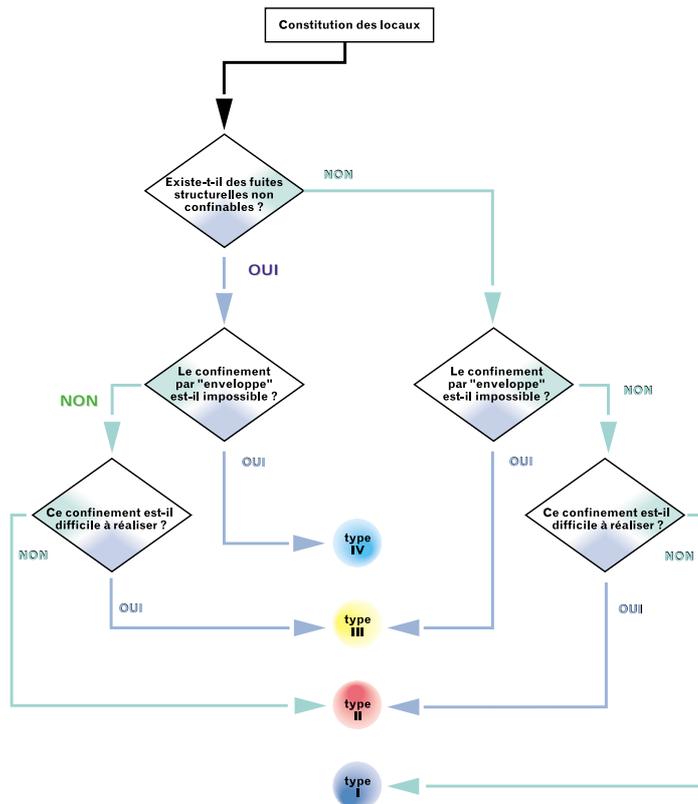
- la présence de fuites structurelles non confinables dans la zone de travail ;
- l'impossibilité de mettre en place les films en matière plastique (enveloppe) ;
- la difficulté pour réaliser l'enveloppe du confinement statique lorsqu'elle existe.

Le logigramme (ci-dessus à droite) permet de classer les confinements en quatre types.

L'abaque (ci-contre), établi à partir de mesures réalisées sur divers chantiers, permet d'estimer le taux de fuite d'un confinement en fonction de son volume et de son type :

Par exemple : un confinement de type I de 1 664 m³ de volume présente un taux de fuite de 0,2 h⁻¹ pour une dépression de 20 Pa.

Recherche du type de confinement



Taux de fuite d'un confinement (pour une dépression de 20 Pa)

ANNEXE I (suite)

Cas des confinements de type IV

La mise en dépression de confinements de type IV de grands volumes a permis d'établir le *graphique* ci-contre.

L'examen de celui-ci montre que le taux de fuite est largement supérieur au taux de renouvellement en air neuf généralement mis en œuvre.

→ En conséquence, si l'on est certain que les entrées d'air non maîtrisées sont réparties de façon homogène dans la zone confinée, on pourra admettre que les entrées d'air neuf maîtrisées seront uniquement amenées par les sas.

II. Débit d'air entrant par les fuites :

La relation entre le taux de fuite τ , le débit d'air entrant par les fuites q et le volume V de la zone confinée est la suivante :

$$\tau = q / V \text{ ou } q = \tau \cdot V$$

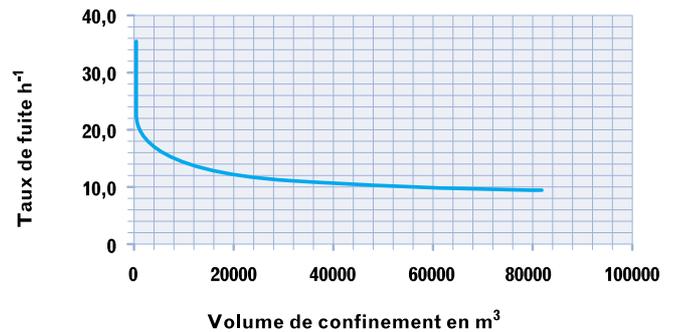
(τ en h^{-1} , V en m^3 et q en m^3/h).

Par exemple :

- Pour un débit d'air de $100 \text{ m}^3/h$ entrant par les fuites dans une zone confinée de $1\,000 \text{ m}^3$ de volume, sous une dépression de 20 Pa , le taux de fuite est de :

$$\tau = 100 / 1\,000 = 0,1 \text{ h}^{-1};$$

- Pour un confinement de type II de $1\,600 \text{ m}^3$ de volume qui présente un taux de fuite de 4 h^{-1} , sous une dépression de 20 Pa , le débit d'air entrant par les fuites est de :

$$q = 4 \times 1\,600 = 6\,400 \text{ m}^3/h.$$


ANNEXE I (suite)

fiche 3

SAS PERSONNEL

Le sas personnel est l'accès unique à la zone contaminée. Il permet la décontamination du personnel sortant de la zone polluée par les trois actions combinées : de l'eau, de l'air, et de l'enlèvement des équipements de protection individuelle.

Le sas comprend normalement 5 compartiments (donc 6 portes). Les dimensions des compartiments doivent donner un espace suffisant aux utilisateurs pour se décontaminer en respectant les procédures et permettre éventuellement l'évacuation d'une personne blessée par les services de secours. Dans la pratique, les dimensions minimales sont de 1,20 m de largeur, 1,20 m de longueur et 2 m de hauteur.

Le montage des compartiments des sas doit être fait avec une étanchéité parfaite entre les différents éléments, pour pouvoir maîtriser les flux d'air qui assurent la décontamination.

La séparation entre les compartiments se fait par des portes munies d'oculus et de grilles de ventilation. Ces grilles permettent le transfert de l'air de la zone propre vers la zone confinée. Elles sont munies d'ailettes inclinées empêchant l'eau des douches de s'écouler dans les compartiments adjacents.

Pour maintenir l'équilibre aérodynamique du système, il est conseillé de ne pas ouvrir simultanément les deux portes d'un compartiment lors de l'entrée ou de la sortie des opérateurs.

I. Principes de ventilation

Le débit d'air entrant par le sas personnel est comptabilisé dans le bilan aérodynamique.

Deux principes de décontamination par l'air sont utilisés :

- entraînement des fibres avec des vitesses d'air suffisantes ;
- assainissement de l'atmosphère, en cascade, compartiment par compartiment.

Un compromis doit être établi entre une réelle décontamination par le flux d'air et l'inconfort apporté sous la douche d'hygiène par ce même flux d'air.

Dans ce compromis, il est défini que le volume du compartiment de la douche d'hygiène doit être renouvelé au moins 6 fois en 3 minutes (temps passé dans celui-ci en sortie de zone).

La ventilation doit assurer un balayage de l'ensemble des compartiments ; pour cela, suivant le nombre de grilles et leur répartition dans les portes, la circulation de l'air peut se faire de façon homogène sur toute la hauteur ou en chicane en privilégiant un flux d'air de haut en bas sous les douches.

La surface de ces grilles et leur nombre sont déterminés par le débit d'air du sas et les caractéristiques physiques des grilles utilisées (coefficient de perte de charge).

II. Éléments de conception des sas

Un sas peut être construit à partir de panneaux préfabriqués démontables, ou fabriqué sur place, en fonction de l'espace disponible et des besoins du chantier. La plupart des sas rencontrés sur chantier sont constitués d'éléments préfabriqués, dont la mise en œuvre est plus aisée.

Outre les équipements classiques (douche, patères, tablettes, miroirs, sièges,...), les sas devraient intégrer :

- l'arrivée d'air chaud dans le premier compartiment pour la saison froide ;
- un point de contrôle de dépression dans le compartiment central : si le sas est monté correctement (sans fuites), la dépression mesurée est la moitié de celle du confinement ;
- dans les portes, des grilles bien positionnées et de passage suffisant au regard des principes de ventilation.

III. Caractérisation d'un sas

Les caractéristiques aérodynamiques des sas doivent être connues, par exemple :

- La relation entre le débit et la dépression garantissant la décontamination par l'air. La mesure du débit en fonction de la dépression permet d'étudier le comportement du sas. En deçà d'un certain débit, les principes de décontamination par l'air ne sont plus respectés. Ce seuil minimal dépend des dimensions du sas.
- Le taux de dilution des polluants en fonction de la dépression et du temps passé sous la douche.

La procédure de décontamination du personnel doit être rédigée en tenant compte des caractéristiques aérodynamiques du sas.

Les caractéristiques aérodynamiques des sas sont établies :

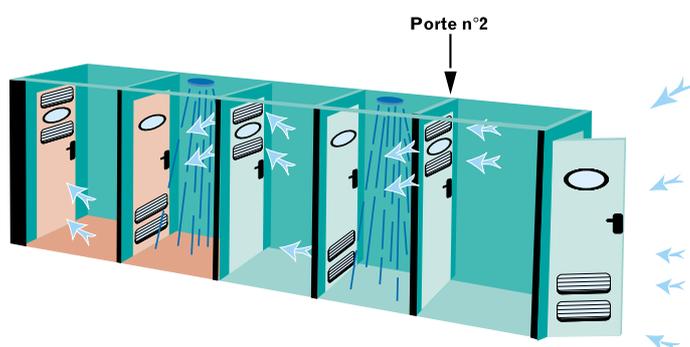
- soit par les fournisseurs, qui précisent dans les fiches techniques les performances aérodynamiques des équipements qu'ils commercialisent ou louent ;
- soit par les entreprises qualifiées, qui étudient elles-mêmes l'aérodynamique des sas qu'elles utilisent sur les chantiers.

IV. Exemple de caractérisation d'un sas

Caractéristiques du sas :

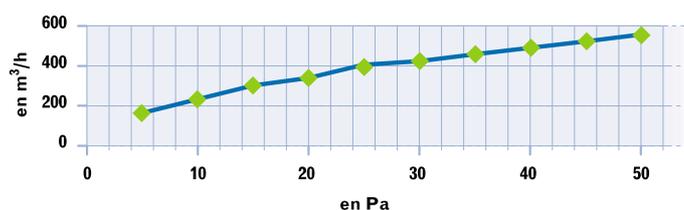
- 5 compartiments de dimensions : l = 1,20 m, L = 1,20 m, H = 2,00 m.
- Le volume du compartiment de la douche d'hygiène doit être renouvelé 6 fois en 3 minutes.
- Chaque porte est dotée de deux grilles, côte à côte, pour le passage de l'air.
- Caractéristiques données par le constructeur :
 - coefficient de perte de charge : 1,5 ;
 - surface de passage de l'air : 250 cm² par grille ;
- Les portes sont montées de façon à assurer une circulation d'air en chicane dans le sas.

Schéma de principe de la circulation de l'air en chicane



Des essais effectués sur le sas ont permis d'établir les courbes suivantes :

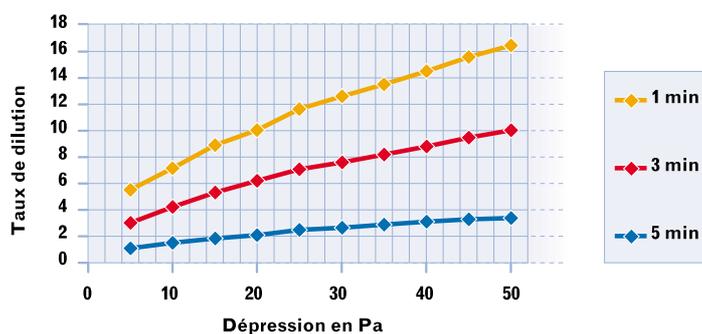
- La variation du débit en fonction de la dépression :



SAS PERSONNEL (suite)

ANNEXE I (suite)

- Le *taux de dilution* suivant le temps passé sous la douche dans le compartiment 2.
Selon le temps passé sous la douche, le taux de dilution du compartiment correspondant en fonction de la dépression est donné par le graphe suivant :



En conclusions :

- Sous une dépression de 20 Pa, avec un renouvellement en air de 6 fois en 3 minutes dans le compartiment douche, le débit d'air au travers du sas est de 350 m³ / h ;
- Pour ce sas, à 10 Pa, le débit n'est plus que de 230 m³/h ;
- Pour respecter un taux de dilution de 6, si la dépression chute à 10 Pa, le temps passé sous la douche devrait être de 5 minutes.

ANNEXE I (suite)

fiche 4

SAS « DÉCHETS »

Le sas déchets permet de conditionner puis d'évacuer, de la zone confinée, tous les déchets produits lors du chantier. En outre, il peut aussi être utilisé pour les mouvements d'outils et de matériels nécessaires aux travaux.

Pendant son utilisation, le sas déchets doit préserver l'environnement du chantier de toute pollution provenant de l'intérieur de la zone de travail.

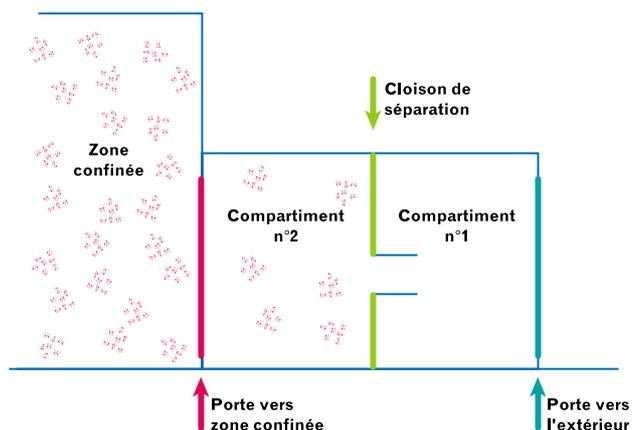
Le sas déchets ne doit pas permettre aux opérateurs d'entrer ou de sortir de la zone confinée, mais un aménagement spécifique, des portes ou des cloisons, peut être fait pour la sortie urgente d'un blessé.

Ce sas peut être préfabriqué ou fabriqué sur chantier.

I. Description et utilisation

Il est constitué au minimum de deux compartiments, avec deux portes et une cloison de séparation munies d'oculus pour la communication visuelle entre les opérateurs.

Les dimensions du sas sont adaptées aux volumes et aux formes des déchets et matériels à transférer par le sas.



La partie centrale, constituée d'une cloison de séparation, est l'élément principal sur lequel repose tout le système d'évacuation des déchets, sans pollution. Un panneau interchangeable permet d'adapter l'ouverture de sortie à la forme du déchet conditionné.

Dans le cas général, on utilise une goulotte de section cylindrique fermée par un sac en attente dans le compartiment n° 1. La goulotte doit être légèrement relevée pour permettre l'écoulement de l'eau restante dans le bac de lavage.

Pour sortir les déchets, on utilise le principe du « double ensachage direct ».

Il faut au moins deux opérateurs pour exécuter l'opération : l'un en zone contaminée et dans le compartiment n° 2 ; l'autre en zone non polluée, dans le compartiment n° 1 et à l'extérieur.

Après l'ensachage en zone des matériaux en vrac, le conditionnement des déchets se résume à trois opérations successives réalisées en partie, dans le compartiment n° 2 :

- Dépoussiérage : à l'aide d'un aspirateur à filtration absolue, les plus gros dépôts de fibres sur la première enveloppe sont enlevés ;
- Lavage : le sac est amené sur une table munie d'un bac de lavage et d'une douche. Cette opération améliore la décontamination de l'enveloppe, mais les gouttes d'eau restantes peuvent être chargées en fibres ;
- Préparation à la mise du sac dans une deuxième enveloppe : le même opérateur positionne le sac dans la goulotte de sortie.

Dans le compartiment n° 1, le sac douché tombe directement dans le deuxième sac qui est en attente à la sortie de la goulotte. Les gouttes d'eau sont ainsi récupérées dans la double enveloppe et ne sont pas en contact avec l'opérateur extérieur.

L'opérateur ligature ce sac ainsi constitué, rééquipe la goulotte d'un nouveau sac puis évacue le sac déchets vers l'extérieur. La goulotte doit toujours être obturée avant l'ouverture de la porte extérieure.

La procédure de sortie des déchets est à préciser dans le plan de retrait.

II. Principes de ventilation

Le débit d'air entrant par le sas déchets est comptabilisé dans le bilan aéraulique. Ce débit doit être suffisant pour protéger le compartiment n° 1 (compartiment propre) de toute pollution en provenance de la zone de travail, ou émise lors de la manipulation des sacs de déchets et des matériels dans le compartiment n° 2. Ceci implique :

- la création d'une barrière dynamique infranchissable par les fibres, dans toutes les sections restées ouvertes de la cloison de séparation, avec des vitesses d'air supérieures à 0,5 m/s ;

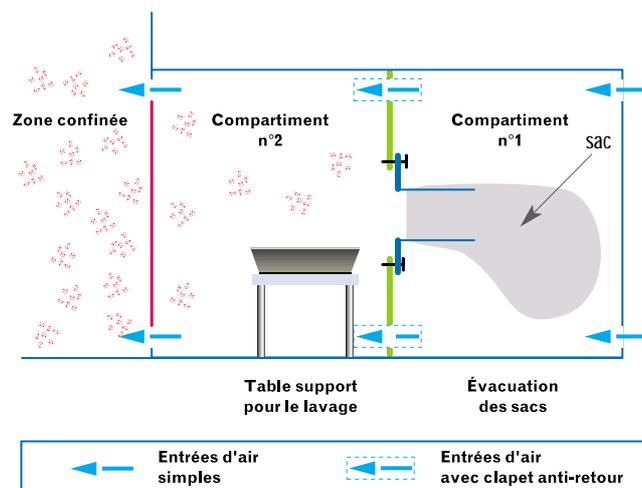
- l'entraînement et la dilution des fibres en suspension dans le compartiment n° 2 par un apport d'air neuf entraînant un taux de renouvellement d'air élevé dans ce compartiment. Des grilles de ventilation, réparties sur les portes ou les cloisons, permettent le passage de l'air lorsque les portes sont fermées. Sur la cloison de séparation centrale, les passages d'air sont munis de clapets anti-retour qui se ferment en cas de chute temporaire de la dépression. Ceci se produit en particulier lors du changement du sac.

Tout l'air passe alors par la goulotte, ainsi la vitesse d'air à l'intérieur de celle-ci crée un couvercle immatériel capable d'arrêter les fibres.

Ces perturbations aérauliques de la zone confinée sont minimisées par le mécanisme et la méthodologie du « double-ensachage » des sacs de déchets et les ouvertures contrôlées des portes du sas.

La différence de pression existante entre les deux compartiments a pour effet d'aplatir la poche formée par le sac en attente sur la goulotte.

Le schéma de principe est le suivant :



III. Exemple d'un sas

Ces compartiments auront chacun pour dimensions minimales 1,50 m X 1,50 m et une hauteur de 2 m.

Avec une dépression de 20 Pa en zone confinée, le débit d'air souhaité est de 400 m³/h.

Pour assurer un débit moyen de 400 m³/h, la surface totale de passage de l'air des grilles hautes et basses dans les portes ou cloisons est de 700 cm², répartie en quatre grilles.

Caractéristiques données par le constructeur :

- coefficient de perte de charge : 1,5 ;
- surface de passage de l'air : 175 cm² par grille.

La cloison de séparation centrale est équipée avec 4 tubes de diamètre 20 cm avec clapet « anti-retour ».

Caractéristiques données par le constructeur :

- coefficient de perte de charge : 18 ;
- surface de passage de l'air : 314 cm² par tube ;

Le diamètre de la goulotte est de 50 cm pour assurer des vitesses d'air de 0,5 m/s.

ANNEXE I (suite)

fiche 5

ENTRÉES D'AIR DE COMPENSATION

Les entrées d'air de compensation permettent de maîtriser le débit d'air neuf entrant dans la zone confinée. L'apport d'air neuf est indispensable, d'une part pour équilibrer le fonctionnement du « système aéraulique » que constitue l'ensemble zone confinée - sas, d'autre part pour renouveler l'air du confinement et assurer la dilution des polluants.

Les entrées d'air de compensation fonctionnent de façon naturelle, le flux d'air est généré grâce à la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du confinement :

- la vitesse du flux d'air dépend à la fois de cette différence de pression et de la résistance au passage de l'air de l'entrée ;
- le débit d'air entrant est calculé en faisant le produit de la vitesse moyenne du flux par la section de passage de l'air de l'entrée.

Les entrées d'air sont disposées et réparties de façon à optimiser le balayage en air neuf de la zone à traiter.

I. Caractéristiques

La maîtrise du flux d'air neuf est assurée, si les entrées d'air de compensation :

- permettent uniquement l'entrée d'air neuf ;
- s'opposent à toute sortie d'air pollué ;
- assurent un flux d'air homogène ;
- permettent la mesure de la vitesse moyenne du flux d'air ;
- possèdent une section de passage de l'air bien définie.

Pour répondre à ces objectifs, les entrées d'air de compensation doivent être :

- Dotées d'un système anti-retour
- L'anti-retour garantit le passage en sens unique du flux d'air, en particulier dans le cas où la pression dans la zone confinée devient nulle, voire positive (effet du vent).

- Munies d'une zone de freinage

Le flux d'air neuf crée une barrière dynamique qui permet d'arrêter des particules venant à contre-courant, qui auraient tendance à s'échapper du confinement. Pour une bonne efficacité, l'action de freinage doit s'exercer :

- suffisamment fort : c'est le rôle de la différence de pression existant de part et d'autre de l'entrée d'air ;
- suffisamment longtemps : c'est le rôle de la distance de freinage.

L'expérience montre que la zone de freinage constitue le système anti-retour idéal, lorsque la dépression dans la zone confinée est suffisante.

Sur chantier, les mesures de vitesse d'air dans les entrées d'air de compensation se font de préférence dans la zone de freinage, car dans cette zone la mesure est plus significative et la précision meilleure sur le calcul du débit d'air.

- Dotées d'un système de contrôle des entrées

Ces systèmes servent à limiter la pénétration d'éléments extérieurs dans la zone confinée et à atténuer les effets du vent.

- Modulaires

Les entrées d'air de compensation constituent des dispositifs parfaitement définis sur le plan dimensionnel et aéraulique : dimensions, encombrement, surface de passage de l'air, résistance au passage de l'air, débit d'air pour une différence de pression donnée... Leurs caractéristiques aérauliques restant sensiblement identiques, il est plus facile d'en prédéterminer le nombre et les emplacements dès l'étude du plan de retrait.

II. Réalisations

Entrée d'air réalisée à partir d'un tube aux dimensions standard

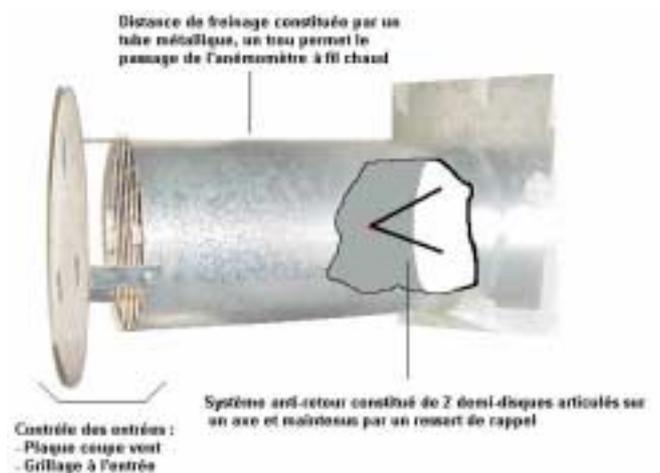
Avantages :

- disponibilité de tubes métalliques au diamètre standard utilisé en ventilation,
- disponibilité de clapets anti-retour dans des diamètres correspondants,
- bonne distance de freinage, vitesse d'air supérieure à 2 m/s (barrière dynamique),

- facilité pour la mesure de la vitesse,
- pouvoir empêcher l'introduction d'éléments extérieurs,
- bonne protection contre les effets du vent,
- matériel réutilisable.

Inconvénients :

- encombrement.



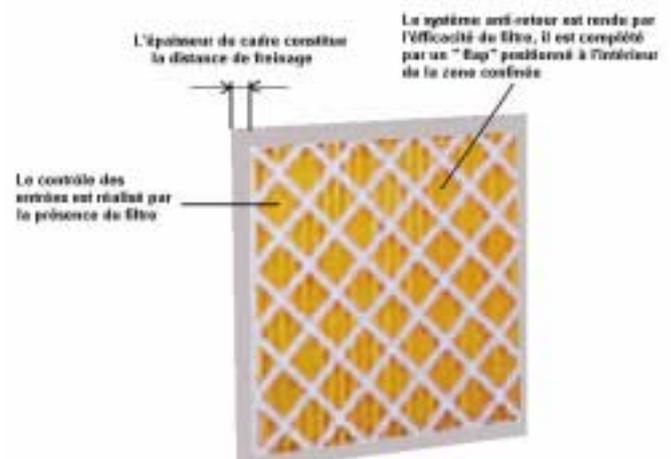
Entrée d'air réalisée à partir d'un préfiltre

Avantages :

- bonne efficacité pour arrêter les fibres voulant sortir (barrière statique),
- rassurant,
- très bonne efficacité pour empêcher l'introduction d'éléments extérieurs,
- bonne protection contre les effets du vent.

Inconvénients :

- colmatage du filtre en cours d'utilisation, ce qui modifie le débit d'air entrant,
- perte de charge importante, donc faible vitesse d'air, d'où une surface de filtration plus grande,
- faible distance de freinage, donc efficacité médiocre de la barrière dynamique,
- coût non négligeable, le filtre est jeté,
- difficulté de remplacement en cours de travail, donc réserves à prévoir pour les chantiers de longue durée (> 1 semaine).



ANNEXE I (suite)

fiche 6

ENTRÉES D'AIR DE RÉGLAGE

L'entrée d'air de réglage est une entrée d'air de compensation particulière qui permet de réduire ou d'augmenter les débits d'air entrant par celle-ci.

Le débit d'air mis en jeu par les extracteurs est susceptible de varier :

- en fonction de l'encrassement des filtres,
- en raison de l'arrêt ou du démarrage d'un extracteur.

Il en résulte une variation de la dépression dans la zone confinée, ainsi qu'une variation du taux de renouvellement d'air neuf.

Ces variations sont préjudiciables à la maîtrise du bilan aéraulique ; l'objectif est de garantir une dépression constante à l'intérieur de la zone confinée, de façon à maintenir constant le débit des entrées d'air maîtrisées.

L'utilisation d'entrées d'air de réglage permet d'atteindre cet objectif.

Les entrées d'air de réglage viennent en complément des entrées d'air de compensation déjà installées, mais en aucun cas elles ne peuvent s'y substituer. L'air neuf, entrant par ces entrées d'air de réglage, vient en supplément de l'air nécessaire au maintien du taux de renouvellement fixé.

L'implantation des entrées d'air de réglage sur le chantier n'a pas d'importance ; celles-ci devront néanmoins être les plus accessibles possible.

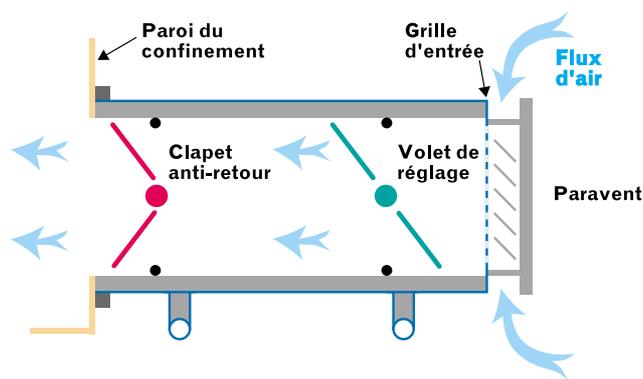
I. Caractéristiques

Les entrées d'air de réglage doivent d'une part, répondre aux mêmes objectifs que les entrées d'air de compensation et d'autre part, être dotées d'un système, volet réglable par exemple, permettant de moduler la section de passage de l'air.

Une entrée d'air de réglage est caractérisée, pour une dépression donnée :

- par son débit d'air minimal, obtenu lorsque le système de réglage est totalement fermé ;
- par son débit d'air maximal, obtenu lorsque ce système est totalement ouvert.

Exemple d'entrée d'air de réglage :



La position du volet détermine le débit d'air admis par l'entrée

II. Principe de fonctionnement

Le réglage de la dépression du confinement à la valeur choisie est obtenu en ajustant la position du volet de réglage :

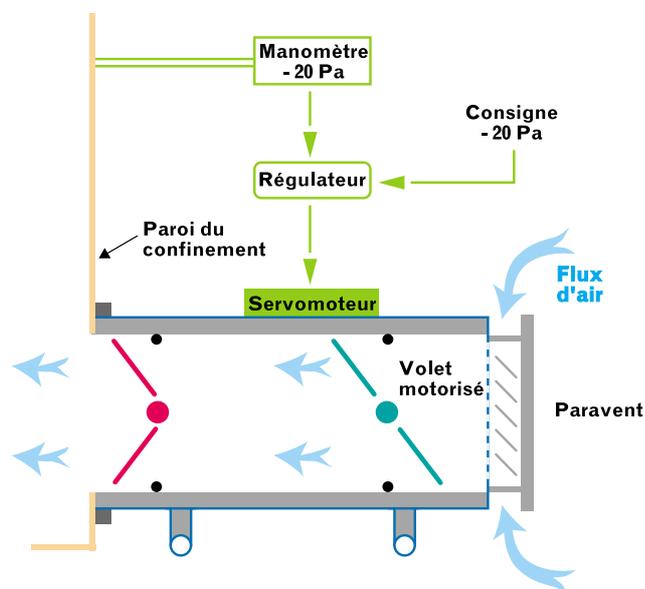
- si le débit d'air extrait dans un confinement diminue, la dépression dans ce confinement chute. La fermeture progressive du volet réglable va entraîner une diminution du débit d'air neuf traversant l'entrée d'air, ceci ayant pour conséquence de faire augmenter la dépression ;
- à l'inverse, une augmentation du débit d'air extrait du confinement provoque une augmentation de la dépression. L'ouverture progressive du volet réglable de l'entrée d'air permet d'augmenter le débit d'air neuf traversant cette entrée d'air et ainsi de diminuer la dépression.

III. Régulation de la dépression

Le pilotage de la position du volet réglable peut se faire de façon automatique au moyen d'une boucle de régulation, constituée :

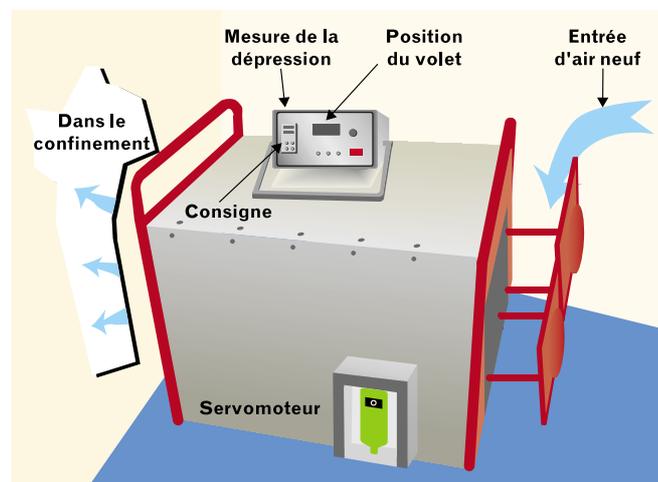
- d'un manomètre, qui mesure la dépression dans la zone confinée ;
- d'un régulateur, qui compare la mesure de la dépression à la valeur que l'on souhaite maintenir constante (consigne) ;
- d'un servomoteur, qui entraîne le volet de réglage.

Schema de principe :



En fonction de l'écart entre la mesure et la consigne, le régulateur transmet au servomoteur un signal électrique proportionnel à cet écart, de façon à modifier la position du volet de réglage et en conséquence, la valeur de la dépression.

Entrée d'air de réglage automatique :



ANNEXE I (suite)

fiche 7

EXTRACTEURS

Les extracteurs remplissent deux fonctions :

- maintien de la dépression et taux de renouvellement en air neuf de la zone de travail,
- filtration à très haute efficacité de l'air avant son rejet à l'extérieur.

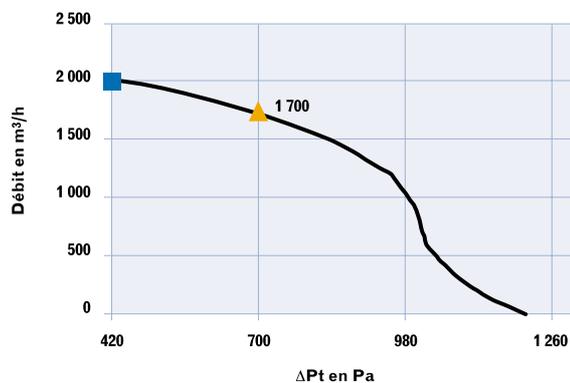
I. Caractéristiques des extracteurs

Le débit d'air est généré par un ventilateur, l'épuration de l'air est réalisée par une succession de trois filtres :

- un préfiltre ou filtre éphémère,
- un filtre secondaire,
- un filtre à très haute efficacité de rendement supérieur à 99,99 % selon la norme NF X 44-013. Certains matériels possèdent un deuxième filtre à très haute efficacité. Le matériel admis à la marque NF exige ce deuxième filtre, dit de sécurité.

D'un point de vue aérodynamique, les caractéristiques principales des extracteurs sont :

- le débit d'air (exprimé en m³/h) ;
- la différence de pression totale entre le refoulement et l'aspiration exprimée en Pa ou en « mm CE » (Colonne d'Eau).



Ici, la capacité maximum de cet extracteur est de 2000 m³/h (filtres neufs), pour une différence de pression de 420 Pa. Cette capacité d'extraction chute jusqu'à 1700 m³/h lorsque la différence de pression atteint 700 Pa. C'est le seuil de changement de l'ensemble des filtres, recommandé par le constructeur.

Le colmatage des filtres fait chuter le débit nominal de l'ensemble. Ce colmatage crée une perte de charge supplémentaire (exprimée en Pa). Elle est mesurée à l'aide d'un manomètre de pression différentielle.

Les limites de fonctionnement d'un extracteur se caractérisent donc par :

- une capacité maximale d'extraction, débit initial, lorsque les filtres sont neufs et lorsque l'appareil n'est pas raccordé à des conduites d'aspiration et de refoulement ;
- une capacité minimale d'extraction, débit de référence, lorsque les filtres sont encrassés. Cette valeur peut encore diminuer, lorsque l'appareil est utilisé avec la, ou les gaines nécessaires à l'exécution d'un chantier donné.

II. Nombres d'extracteurs nécessaires au chantier

C'est le débit de référence qui constitue la capacité à prendre en compte pour caractériser le modèle retenu.

Le nombre d'extracteurs nécessaire au chantier est calculé de la façon suivante :

- Si tous les extracteurs sont de même modèle : le nombre d'extracteurs est le résultat, arrondi à l'entier supérieur, de la division du débit d'air à extraire en permanence par la capacité minimale d'extraction d'un appareil.
- Si les extracteurs sont de modèles différents : le nombre d'extracteurs nécessaire est déterminé en ajoutant les capacités minimales d'extraction des appareils sélectionnés, jusqu'à obtenir ou dépasser, le débit d'air à extraire en permanence.

III. Intégration dans le choix de la « fonction secours entre extracteurs »

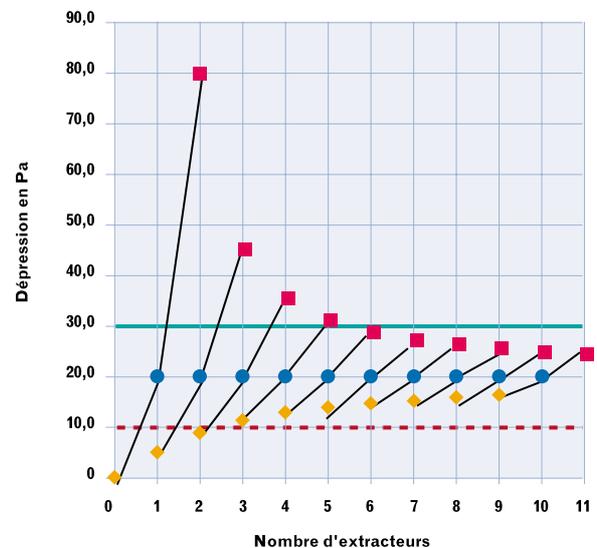
Pour pallier la défaillance d'un élément constituant le système d'extraction, il y a lieu d'équiper le confinement d'un extracteur supplémentaire de secours. On appelle « fonction secours entre extracteurs », le mode d'installation et de fonctionnement des appareils qui garantit provisoirement :

- un taux de renouvellement d'air minimal,
- une dépression acceptable pour la sécurité.

Ce fonctionnement dégradé du système aérodynamique ne permet plus de travailler normalement. On doit alors appliquer la procédure définissant la conduite à tenir.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution théorique de la dépression suite à la survenue de deux types d'incident :

- l'arrêt accidentel ou volontaire d'un extracteur,
- le démarrage intempestif d'un extracteur resté à l'arrêt.



- ◆ Dépression obtenue après arrêt accidentel d'un extracteur (N-1 extracteurs)
- Dépression obtenue après démarrage intempestif d'un extracteur de secours (N+1 extracteurs)
- Limite dépression haute acceptable
- Dépression obtenue avec N extracteurs en fonctionnement : marche normale
- - - Limite dépression basse acceptable

Afin d'obtenir la capacité d'extraction nécessaire pour assurer le taux de renouvellement souhaité à la dépression visée, il est préférable d'installer plusieurs extracteurs identiques de capacité moindre, plutôt qu'un seul de capacité suffisante.

- Les variations de la dépression en cas d'arrêt ou marche d'un appareil seront plus faibles ;
- Une dépression minimale, non nulle, sera garantie. A partir de 4 appareils identiques installés, la dépression sera supérieure à 10 Pa.

ANNEXE I (suite)

IV. Analyse des modes de fonctionnement

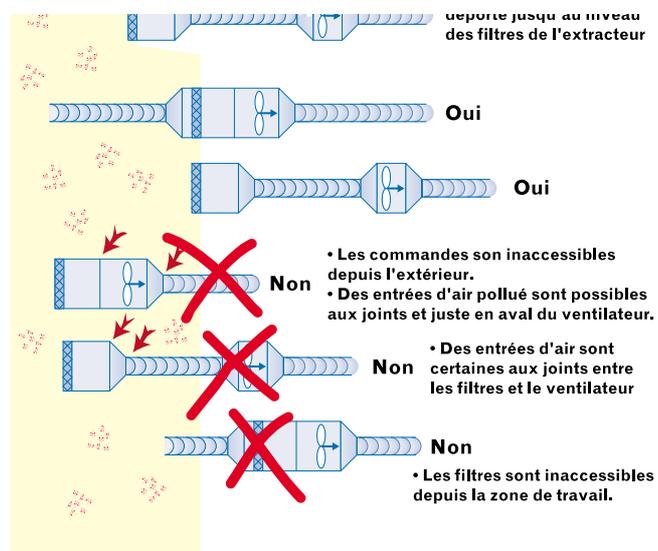
L'analyse du mode de fonctionnement de l'extracteur supplémentaire installé pour la fonction secours, résumée dans le tableau ci-dessous, fait apparaître qu'il est préférable de faire fonctionner l'extracteur de secours en même temps que les extracteurs principaux.

Mode de fonctionnement de l'extracteur supplémentaire installé pour la fonction « secours »			
Mode « marche intermittente »		Mode « marche continue »	
Le démarrage de l'extracteur est obtenu par un autocommutateur électrique, après temporisation, lorsque le seuil bas de dépression fixé est atteint.		L'extracteur installé en secours fonctionne en permanence. Il contribue, comme les autres extracteurs, au maintien de la dépression et du renouvellement d'air.	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
Pas d'encrassement des filtres si la fonction n'est pas sollicitée.	Aléas de fonctionnement liés aux fluctuations de la mesure. Panne de l'appareil de mesure, qui donnera ou ne donnera pas un ordre de démarrage. Passage à zéro de la dépression si seulement deux extracteurs sont installés. Retour d'air possible par l'extracteur à l'arrêt. Non-démarrage possible de l'extracteur. Augmentation brutale de dépression en cas de démarrage intempestif, pouvant rompre le confinement. Temporisation inexistante sur certains appareils de mesure de dépression.	Fonctionnement sûr. La dépression ne passe pas par zéro. Possibilité de réajuster la dépression, manuellement ou automatiquement.	Baisse provisoire de la dépression. Adjonction de matériel pour l'entrée d'air de compensation supplémentaire. Mise en place d'une boucle de régulation pour un fonctionnement automatique. Encrassement des filtres de l'extracteur installé.

V. Installation des extracteurs

Il est possible de fixer des conseils généraux pour l'implantation des extracteurs :

- situer les extracteurs à l'opposé des entrées d'air ;
- placer les extracteurs de façon à créer des flux d'air convergents ;
- les commandes électriques de l'extracteur doivent être accessibles depuis l'extérieur de la zone ;
- les filtres des extracteurs doivent être accessibles depuis l'intérieur de la zone ;
- le rejet de l'air se fait à l'extérieur du bâtiment, à défaut dans une zone inoccupée à condition d'utiliser des extracteurs avec deux filtres THE. Dans ce cas, cette zone doit disposer d'ouvertures vers l'extérieur ;
- le caisson filtrant est installé en limite de confinement, pour garantir un rejet d'air épuré suivant les caractéristiques des filtres installés.



ANNEXE I (fin)

fiche 8

MESURES

Sur chantier, les mesures de vitesse d'air se font à l'anémomètre. Ces mesures peuvent se faire dans les conduits ou les ouvertures.

Les méthodes proposées donnent un ordre de grandeur des vitesses d'air qui permettent d'estimer les débits.

Une vitesse moyenne est calculée à partir des vitesses locales mesurées en plusieurs points définis.

I. Mesures dans les conduits

Dans un conduit où s'écoule de l'air, le débit est déterminé par la relation :

$$Q = S \cdot v \cdot 3\,600$$

Q : débit d'air [m^3/h],

S : section où s'effectue les mesures [m^2],

v : vitesse moyenne de l'air dans cette section [m/s].

Exemple : mesures dans la « zone de freinage » d'une entrée d'air



Vitesses locales :

3,1 m/s

3,4 m/s

3,8 m/s

3,0 m/s

3,2 m/s

Vitesse moyenne calculée :
3,3 m/s

Diamètre : 315 mm,
soit $S = 0,078 \text{ m}^2$

$$Q = S \cdot v \cdot 3\,600$$

$$Q = 0,078 \times 3,3 \times 3\,600$$

$$Q = 927 \text{ m}^3/\text{h}$$

Exemple : mesures en sortie de conduit souple au refoulement d'un extracteur



Vitesses locales :

4,2 m/s

3,7 m/s

4,1 m/s

4,6 m/s

3,4 m/s

Vitesse moyenne calculée :
4 m/s

Diamètre : 400 mm,
soit $S = 0,125 \text{ m}^2$

$$Q = S \cdot v \cdot 3\,600$$

$$Q = 0,125 \times 4 \times 3\,600$$

$$Q = 1\,800 \text{ m}^3/\text{h}$$

II. Mesures dans les ouvertures

Un débit peut être déterminé à partir d'une exploration du champ de vitesse dans une ouverture à l'aide d'un anémomètre.

Le débit est déterminé par la relation : $Q = K \cdot S \cdot v \cdot 3\,600$

Q : débit d'air [m^3/h];

S : section où s'effectue les mesures [m^2];

v : vitesse moyenne de l'air dans cette section [m/s];

K : coefficient de correction.

Le coefficient de correction K tient compte du type d'ouverture (grille, tôle perforée...), du mode de passage de l'air (tirage ou soufflage), du type d'anémomètre (thermique, mécanique)... En pratique, prendre $K = 0,7$.

Exemple : mesures à l'entrée de la grille d'air d'une porte de compartiment de sas



Vitesses locales :

1,9 m/s

2,2 m/s

1,6 m/s

1,9 m/s

1,7 m/s

Vitesse moyenne calculée :
1,85 m/s

Dimensions : 18,5 cm x 18,5 cm,
soit $S = 0,034 \text{ m}^2$

$$Q = K \cdot S \cdot v \cdot 3\,600$$

$$K = 0,7$$

$$Q = 0,7 \times 0,034 \times 1,85 \times 3\,600$$

$$Q = 161 \text{ m}^3/\text{h}$$

Exemple : mesures en amont du préfiltre d'un extracteur



Vitesses locales :

5,5 m/s

5,0 m/s

3,9 m/s

4,5 m/s

4,6 m/s

Vitesse moyenne calculée :
4,7 m/s

Dimensions : 25 cm x 25 cm,
soit $S = 0,0625 \text{ m}^2$

$$Q = K \cdot S \cdot v \cdot 3\,600$$

$$K = 0,7$$

$$Q = 0,7 \times 0,0625 \times 4,7 \times 3\,600$$

$$Q = 740 \text{ m}^3/\text{h}$$

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14

Tiré à part des Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail, 4^e trimestre 2000, n° 181 - ND 2137 - 1 200 ex.
N° CPPAP 804 AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-0872-1