

PROJET DECLYC
Lot 6 – Performance Énergétique des Centres de R&D
Rapport d'étude – Lot 6.1 ETAT DE L'ART

Les partenaires de l'étude



Le bureau d'études



Sous la coordination de



Version	Date	Niveau de confidentialité	
0	11/03/2025	Livrable complet	()
		Synthèse non confidentielle pour le consortium	()
		Version publique	(x)

Financé par



1 Table des matières

1	Table des matières	2
1	Enjeux de la ventilation des locaux industriels	8
2	Périmètre de l'état de l'art	9
3	La ventilation des locaux	10
3.1	Généralités	10
3.2	Locaux à pollution non spécifique	10
3.2.1	Contexte réglementaire	10
3.2.2	Confort thermique	12
3.3	Locaux à pollution spécifique	15
3.3.1	Contexte réglementaire	15
3.3.2	Les dispositifs de captage	16
3.3.3	Atmosphères Explosives (ATEX)	29
4	Traitement des effluents / polluants	34
4.1	Réglementation sur traitement des effluents	34
4.2	Les techniques de traitement	35
4.3	Rejet des polluants - règles d'implantation des cheminées d'extraction	36
5	Compensation d'air dans les locaux	38
5.1	Conditions d'apport d'air neuf	38
5.2	Vitesse et diffusion optimale de l'air de compensation	39
5.3	Comparaison des méthodes de diffusion de l'air	39
5.3.1	Diffusion par déplacement	39
5.3.2	Diffusion par mélange	40
5.4	Conclusion sur la compensation d'air	41
6	Maintien en dépression des locaux à pollution spécifiques	41
6.1	Principe de confinement et contrôle des flux d'air	41
6.2	Mesures de confinement pour limiter les contaminations	41

Financé par

6.3	Mise en dépression et contrôle des pressions	42
6.4	Conclusion sur la compensation d'air	43
7	Moyens de contrôle et maintenance	43
7.1	La notice d'instruction	45
7.1.1	Descriptif des installations de ventilation pour locaux à pollution non spécifique	45
7.1.2	Descriptif des installations de ventilation pour locaux à pollution spécifique	46
7.1.3	Le dossier des valeurs de référence	47
7.2	Consignes d'utilisation	48
7.2.1	Dispositions prises pour la ventilation	49
7.2.2	Mesures à prendre en cas de panne	49
7.2.3	Contrôles périodiques et maintenance des installations	50
7.2.4	Point sur les contrôles périodiques et maintenance	51
8	Optimisation de la ventilation – Composants et efficacité énergétique	53
8.1	Généralités	53
8.2	Le dispositif de captage	54
8.2.1	Critères pour un captage efficace	54
8.2.2	Utilisation et choix des sorbonnes de laboratoire	56
8.3	Le réseau de transport aéraulique	60
8.3.1	Fonction et Configuration	60
8.3.2	Bonnes pratiques de conception	61
8.4	Récupération de Chaleur dans les systèmes de Ventilation	63
8.4.1	Principe	63
8.4.2	Les différentes méthodes de récupération de chaleur	64
8.5	Déstratification de l'air	70
8.6	Solutions pour limiter les déperditions thermiques	70

Financé par

8.7	Conclusion sur l'optimisation énergétique	71
9	Le système de régulation	71
9.1	Importance de la régulation	71
9.2	Critères de régulation et fonctionnement	71
9.3	Technologies et capteurs de régulation.....	72
9.3.1	Pilotage de la Ventilation dans les locaux à pollution non spécifique ..	73
9.3.2	Pilotage de la Ventilation dans les locaux à pollution spécifique	74
10	Recyclage d'air	81
10.1	Objectifs et bénéfices du recyclage de l'air	81
10.2	Recyclage dans les locaux à pollution non spécifique	81
10.3	Recyclage dans les locaux à pollution spécifique	82

Financé par



Figure 1: Température ressentie par une personne dans une pièce (Source Ecozimut).....	13
Figure 2 : Plage de confort et d'inconfort (Source Ecozimut)	14
Figure 3 : Schéma général d'une Sorbonne	19
Figure 4 : Armoire de stockage de produits chimiques (Source equipLabo)	23
Figure 5 : Exemple de hotte adaptée à la pesée (Source EnviroSciences)	25
Figure 6 : Exemple de Chapelle d'aspiration (Source ACR Engineering)	26
Figure 7 : Exemple de BOA d'aspiration articulé (Source BioLab)	27
Figure 8 : Exemple d'anneau de Pouyès (Source ASAIR).....	28
Figure 9 - cheminée d'extraction.....	37
Figure 10 : Gaine textile à gauche - plafond diffusant à droite (Sources France Air et Oxygen web)	39
Figure 11 : Compensation d'air : diffusion d'air par mélange ou par déplacement (Source INRS)	41
Figure 12 : Organigramme du dossier d'installation.....	44
Figure 13 : comparaison d'un ventilateur avec deux sens de rotation	53
Figure 14 : Effet de la distance sur le débit d'aspiration (Source INRS)	55
Figure 15 : la tête de l'opérateur ne doit jamais se trouver entre le dispositif de captage et la source de pollution (Source INRS).....	55
Figure 16: Capter les polluants en induisant une vitesse d'air suffisante (Source INRS).....	56
Figure 17 : Différents types de sorbonnes utilisés (Source INRS ED795)	57
Figure 18 : distances minimales pour éviter les perturbations (Source INRS)	60
Figure 19 : Schéma d'un dispositif de captage sur poste de travail (Source INRS)..	61
Figure 20 : Schéma général des installations aérauliques d'un laboratoire (Source Irian technologies).....	61
Figure 21 : exemples de bonnes pratiques de conception des conduits aérauliques (Source INRS)	62
Figure 22 : Exemple d'un local avec et sans recyclage direct d'air	64
Figure 23 : Exemple d'un local sans et avec récupération de chaleur par échangeur thermique	65

Financé par

Figure 24 : Schémas d'un échangeur à plaques (Sources INRS, ABCClim)	66
Figure 25 : Schémas d'un échangeur rotatif (Sources (a) INRS, (b) ABCClim)	67
Figure 26 : Schéma d'échange avec deux batteries et un circuit hydraulique intermédiaire (Sources (a) INRS, (b) ABCClim)	68
Figure 27 : Capteurs et automatismes adaptés.....	73
Figure 28 : Dispositif de régulation de débit installé sur équipement de laboratoire (Source Halton).....	79
Figure 29 : Systèmes communicants pour les laboratoires (Source Proteklabofrance)	80

Financé par

Table des Tableaux

Tableau 1 : Débit minimal d'air neuf à introduire par occupant dans les locaux à pollution spécifique (INRS TJ5)	11
Tableau 2 : Conditions de confort selon NF EN X35-203.....	12
Tableau 3 : Zones qui correspondent au degré de dégagement et efficacité de la ventilation	33
Tableau 4 : Description des dispositions prises pour l'aération (Source INRS)	46
Tableau 5 : Description des dispositions prises pour l'assainissement (Source INRS)	47
Tableau 6 : Paramètres constituant les valeurs de références (Source INRS)	48
Tableau 7 : Principales valeurs de référence de l'installation (Source INRS)	49
Tableau 8 : Principales mesures à prendre en cas de panne ou dysfonctionnement (Source INRS)	50
Tableau 9 : Fréquence et Nature des contrôles périodiques (Source INRS)	51
Tableau 10 : distances minimales conseillées (Source INRS)	59
Tableau 11 : Exemples de capteurs de mesure.....	76
Tableau 12 : Exemple de capteurs de surveillance de gaz.....	77
Tableau 13 : exemples de capteurs de surveillance de débit d'air.....	78

Financé par

1 Enjeux de la ventilation des locaux industriels

Un système de ventilation a pour fonction essentielle d'assurer l'assainissement des atmosphères de travail et le traitement des polluants émis avant rejet à l'atmosphère dans le cadre du respect des réglementations en vigueur.

Pour ce faire, un système de ventilation est constitué de différents composants qui génèrent une consommation énergétique et des émissions de CO2 non négligeables. C'est avec pour objectif de réduire ces consommations énergétiques et de les décarboner que le projet DECLYC a été initié.

Au sein du Lot 8, Performance énergétique des centres des R&D, le CETIAT va concentrer son étude sur les principaux enjeux de consommation énergétique des 3 centres de R&D concernés (ARKEMA, IFP Energies Nouvelles, et SYENSQO) à savoir le conditionnement d'ambiance des bâtiments et les systèmes d'extraction d'air pollué.

Cette analyse va se répartir sur 3 sites différents et par conséquent les règles et pratiques en matière de ventilation peuvent différer d'un site à l'autre. Cet état de l'art se propose de bâtir un socle de travail commun en recensant à la fois toutes les informations réglementaires pertinentes sur le sujet de la ventilation des locaux et des laboratoires. Il sera complété par les bonnes pratiques permettant d'optimiser les consommations d'énergies, tout en assurant la fonction d'assainissement, de confort et de maîtrise des rejets.

Une attention particulière est portée aux émissions de gaz de type COV, au possible recyclage d'air dans les locaux et à la prise en compte des zones ATEX.

Financé par



2 Périmètre de l'état de l'art

Le domaine de la ventilation s'avère très vaste et comprend plusieurs métiers, disciplines et secteurs d'activité, entre autres :

- Transport (ventilation d'espaces restreints et clos : trains, avions, autocars, automobiles...)
- ERP (Ventilation des Établissements Recevant du Public : musées, salles de spectacles, écoles, etc...)
- Résidentiels (VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée).
- **Industries**, pour ce secteur, le système de ventilation se décline en trois familles :
- La ventilation intrinsèque aux procédés de fabrication où le système de ventilation est constitutif au sein du procédé (exemple : séchoir industriel) qui permet d'élaborer le produit.
- La ventilation des locaux tertiaires (bureaux) qui s'apparente à la ventilation des ERP.
- La ventilation des locaux industriels (ateliers de fabrication et laboratoires) qui permet d'assurer l'assainissement du local et maîtriser les rejets atmosphériques de polluants.

Le périmètre de cet état de l'art se focalise donc au secteur industrie et en particulier au périmètre des locaux tertiaires et industriels. Les locaux industriels concernés sont des laboratoires de chimie ou des halls d'essais dans lesquels on retrouve des dispositifs de captage ventilés et de la compensation d'air. Le captage des poussières n'est pas traité dans le rapport, car les polluants rencontrés sont d'origine gazeuse (COV).

Financé par

3 La ventilation des locaux

3.1 Généralités

On distingue deux types de locaux, ceux à pollution spécifique dont les polluants (gaz, poussières) sont émis par des sources au sein du local, et ceux à pollution non spécifique qui s'apparentent à des bureaux ou des zones tertiaires où les polluants sont des conséquences de la présence de personnes (CO₂ par exemple).

Dans ces deux cas, des moyens de captage et de renouvellement peuvent être mis en œuvre afin d'allier la réglementation en vigueur et le confort thermique des personnes travaillant dans ces environnements.

3.2 Locaux à pollution non spécifique

Les locaux à pollution non spécifique sont des espaces où la pollution provient uniquement de la présence humaine et non de procédés industriels ou chimiques. Exemples : bureaux, salles de réunion, commerces, écoles, salles de formation.

3.2.1 Contexte réglementaire

Conformément aux articles R. 4222-3 et R. 4222-4 du Code du travail, l'aération de ces locaux peut être assurée par :

- Ventilation naturelle (ouvrants donnant directement sur l'extérieur).
- Ventilation mécanique (systèmes de renouvellement d'air forcé).

3.2.1.1 Ventilation naturelle

Elle se définit par les éléments suivants :

- Elle est assurée par des fenêtres, portes ou autres ouvertures extérieures.
- Elle fonctionne grâce aux courants d'air naturels ou aux différences de température entre intérieur et extérieur.
- Elle doit garantir un volume d'air suffisant par occupant :
 - 15 m³ pour les bureaux et activités légères.

Financé par

- 24 m³ pour les autres locaux.

Les limites de la ventilation naturelle sont les suivantes :

- Elle dépend fortement des conditions météorologiques.
- Elle peut être insuffisante en période froide, lorsque les fenêtres restent fermées.

3.2.1.2 Ventilation mécanique

Les obligations liées à la ventilation mécanique des locaux à pollution non spécifique sont inscrites dans les articles R. 4222-6 et R. 4222-8 du Code du travail. La circulaire du 9 mai 1985 relative aux commentaires techniques des décrets n° 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concerne l'aération et l'assainissement, elle commente l'article R. 232-5-3 devenu article R. 4222-6 du Code du travail.

La ventilation assure un renouvellement d'air constant et contrôlé. Les débits minimaux de renouvellement par occupant et type de local sont indiqués dans le tableau suivant.

Désignation des locaux	Exemples d'activité	Débit minimal d'air neuf par occupant (en mètres cubes par heure)
Bureaux, locaux sans travail physique	Travail assis de type: écriture, frappe sur ordinateur, dessin, couture, comptabilité	25
Locaux de restauration, locaux de vente, locaux de réunion	Travail assis ou debout de type: assemblage ou tirage de matériaux légers, percement ou fraisage de petites pièces, bobinage, usinage avec outil de faible puissance, déplacement occasionnel	30
Ateliers et locaux avec travail physique léger	Travail soutenu	45
Autres ateliers et locaux	Travail intense	60

Tableau 1 : Débit minimal d'air neuf à introduire par occupant dans les locaux à pollution spécifique (INRS TJ5)

Financé par

Les débits d'air minimaux doivent être assurés par un apport d'air neuf directement prélevé à l'extérieur, sans passer par d'autres locaux. Cet air peut être mélangé à de l'air recyclé, à condition que cela ne diminue pas le volume d'air neuf requis par la réglementation. Elle peut être couplée à un système de filtration pour limiter l'accumulation de polluants intérieurs ainsi que des poussières. Elle peut être arrêtée en cas d'inoccupation des locaux, mais doit être réactivée avant toute occupation.

3.2.2 Confort thermique

Pour garantir un environnement de travail confortable, plusieurs critères doivent être respectés :

- **La température des locaux de travail**

La législation ne fixe pas de température minimale ou maximale à respecter dans les locaux de travail. Toutefois, il existe des normes recommandées, car l'ambiance thermique est un facteur de risque professionnel important, influençant le confort et la santé des travailleurs.

La norme NF EN X35-203 « Ambiances thermiques modérées. Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique » précise les « conditions de confort » suivantes :

Genre d'activité	Température ambiante optimale
Travail intellectuel	18 à 24°C
Travail debout à moyenne sollicitation physique	17 à 22°C
Travail dur à forte sollicitation physique	15 à 18°C
Travail à très forte sollicitation physique	12 à 18°C

Tableau 2 : Conditions de confort selon NF EN X35-203

Les locaux fermés dédiés au travail doivent être chauffés durant la saison froide afin d'assurer un environnement de travail convenable et d'éviter toute gêne thermique excessive.

Financé par

Le système de chauffage doit :

- Maintenir une température adaptée aux conditions de travail.
- Garantir la sécurité des occupants, en évitant toute émission de substances toxiques ou nocives.

Selon le guide INRS ED950 « Conception des lieux et des situations de travail », pour une activité légère (type activité de bureau), la température de confort thermique se situe :

- En période estivale : entre 23 et 26°C.
- En période hivernale : entre 21 et 23°C.

Ce paramètre est en lien avec la température ressentie par l'opérateur.

La température de l'air et la température des parois créent les conditions des échanges thermiques entre le corps humain et l'ambiance. On peut réunir ces 2 températures en un seul paramètre, la température ressentie T_{rs} .

$$T_{rs} = \frac{(T_{air} + T_{paroi})}{2}$$

À titre d'exemple (Figure 1), avec une paroi froide à 12°C et un air ambiant à 20°C, la température ressentie est de 16°C.

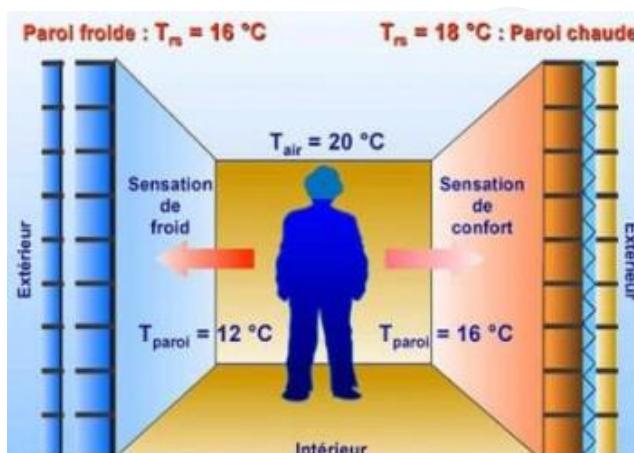


Figure 1 : Température ressentie par une personne dans une pièce (Source Ecozimut)

Financé par

Cette dernière a un impact sur le confort de l'occupant. Pour avoir une même sensation de chaleur, il est nécessaire de surchauffer la paroi froide de 4°C. Ceci a un impact notable sur les dépenses énergétiques.

- **Humidité relative de l'air**

Elle doit être maintenue entre 40 % et 70 % pour assurer un bon niveau de confort et éviter les effets indésirables (air trop sec ou trop humide).

Les plages de confort et d'inconfort sont présentées sur le graphique suivant (Figure 2).

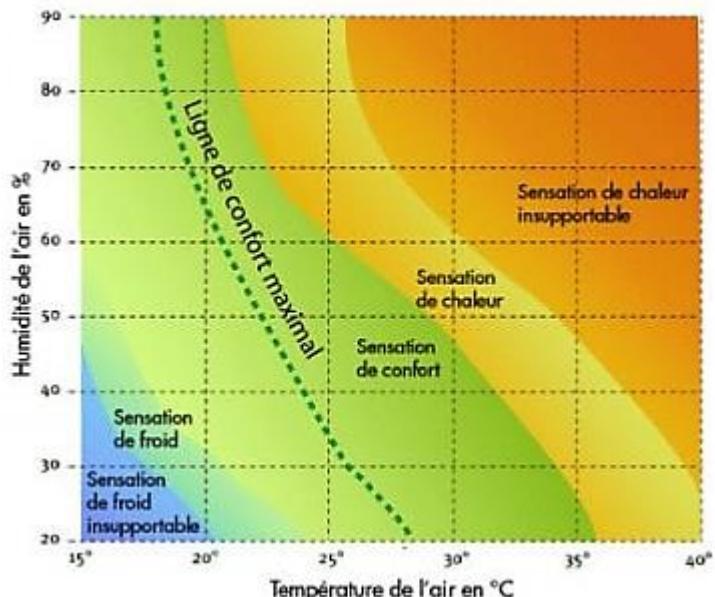


Figure 2 : Plage de confort et d'inconfort (Source Ecozimut)

Financé par

3.3 Locaux à pollution spécifique

3.3.1 Contexte réglementaire

Le système de ventilation est conçu de telle façon à garantir la sécurité des personnes travaillant dans ces locaux dans le respect du Code du travail. Plus précisément (code du travail Article R4222-1), le système de ventilation doit :

Maintenir un état de pureté de l'atmosphère propre à préserver la santé des travailleurs ;

Éviter les élévations exagérées de température, les odeurs désagréables et les condensations.

Assurer la compensation des extractions polluées en quantité égale par apport d'air neuf réchauffé si nécessaire.

Dans le cas d'émanations chimiques, on peut se reporter à l'Article R.4412-149 du Code du travail et l'aide-mémoire de l'INRS ED984 précisent les valeurs limites d'exposition (VLEP) des agents chimiques présents dans les atmosphères des lieux de travail.

Quelques règles de conception adaptées aux rejets simples :

- Les éléments de captage doivent être munis d'un dispositif de vérification rapide de leur fonctionnement comme une prise de pression statique ou un indicateur de vitesse. (Articles R.4212-7, R.4222-20, R.4222-21)
- Les orifices de rejet doivent être disposés de manière à éviter toute réintroduction des gaz pollués dans les locaux en toutes circonstances. Une épuration des gaz entrants permet de limiter le risque de contamination.
- Les débits de ventilation doivent être adaptés en permanence aux conditions de fonctionnement des dispositifs de captages et de la production des polluants (Article R.4222-12).
- Les dispositifs de soufflage doivent être disposés de façon à générer un flux

Financé par

d'air homogène qui ne perturbe pas le fonctionnement des installations de captage (Article R.4222-13).

- L'installation de ventilation ne doit pas produire plus de 2 dB(A) que l'ambiance à moins qu'elle reste inférieure à 50 dB(A) (Article R.4212-2).

Respect de la réglementation sur les rejets atmosphériques :

Les effluents à pollutions spécifiques rejetés à l'atmosphère et issus d'activités industrielles sont soumis à des réglementations environnementales et doivent être traités et neutralisés ou abaissés en dessous de seuils maximaux admissibles.

Plus précisément, on peut citer l'Arrêté du 02/02/98 relatif aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation qui précise les seuils de rejets pour l'ensemble des polluants surveillés.

Références bibliographiques conseillées

- Aide-mémoire technique édité par l'INRS : "ED984 – Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France"
- Guide pratique édité par l'INRS : « ED657 – Guide pratique de ventilation n°1 »
- Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- https://aida.ineris.fr/sites/aida/files/2021-10/BrochureNom_v52public.pdf
- <https://www.georisques.gouv.fr/>

3.3.2 Les dispositifs de captage

3.3.2.1 Généralités sur les dispositifs de captage

Financé par

Les dispositifs de captage sont conçus pour s'adapter au mieux à la source de pollution. Ils s'insèrent au plus proche des équipements de procédés émetteurs de polluants.

Ces systèmes évitent la propagation de la pollution et donc la dilution des polluants dans l'atelier. Ils remplacent (ou viennent compléter) avantageusement les systèmes de ventilation générale qui nécessitent des débits d'air très importants et donc des consommations énergétiques conséquentes. Le gain énergétique lié à la mise en place d'un système de captage est double, car il participe à la fois à une diminution significative des consommations d'énergie du conditionnement de l'air et à la réduction de la consommation électrique des moteurs des ventilateurs.

Il permet le **captage du polluant spécifique émis par le procédé** avant que celui-ci soit diffusé dans l'ambiance du local de travail. Cet équipement doit être conçu géométriquement pour entourer au plus près la zone d'émission. Le principe technique étant de créer un flux d'air aspirant permettant par effet d'aspiration ou effet venturi de capturer le ou les polluants.

Les critères pour un dispositif de captage efficient tant sur sa fonction que du point de vue de son efficacité énergétique sont :

- Captage du polluant au plus près de la source : l'aspiration du polluant dès son émission permet de réduire le débit ventilé et de réduire la consommation du ou des ventilateurs.
- Une vitesse d'aspiration suffisante en fonction des particules à capturer : cette vitesse dépend de la masse des particules à évacuer, elle dépend aussi de la distance entre la zone d'aspiration et la zone d'émission.
- Une géométrie adaptée : le dispositif de captage doit garantir une vitesse minimale d'aspiration sur toutes les surfaces ouvertes vers le local.

Le dimensionnement du dispositif de captage détermine le débit d'air du système de ventilation.

Dans la suite de cette partie, nous traitons les différents types de captage

Financé par

rencontrés dans le périmètre de l'étude, à savoir :

- Les sorbonnes
- Les extractions de paillasses / BOA
- Les chapelles
- Les hôtes aspirantes (de balances par exemple)
- Les armoires ventilées

Références bibliographiques conseillées

- Guide pratique de ventilation édité par l'INRS : "ED695 – Principes généraux de ventilation"
- Guide pratique de ventilation édité par l'INRS : "ED972 – Captage et traitement des aérosols de fluides de coupe"
- Guide pratique de ventilation édité par l'INRS : "ED6146 – Atelier de plasturgie"
- Guide pratique de ventilation édité par l'INRS : "ED6330 – Conception des dispositifs de captage sur machines à bois"
- Diagnostic énergétique des installations de ventilation industrielle édité par l'ADEME
- <http://www.ventilation-industrie.fr/les-differents-dispositifs-de-captage>

3.3.2.2 *Les Sorbonnes*

Définition :

Les sorbonnes sont des enceintes ventilées en dépression qui aspirent l'air dans le local et le rejettent dans l'atmosphère extérieure au moyen d'un ventilateur. Il s'agit d'équipements de protection collective destinés principalement à protéger les opérateurs des risques d'inhalation de produits chimiques dangereux. Les sorbonnes sont les enceintes les plus répandues dans les laboratoires de chimie grâce à leur polyvalence d'usage.

Financé par

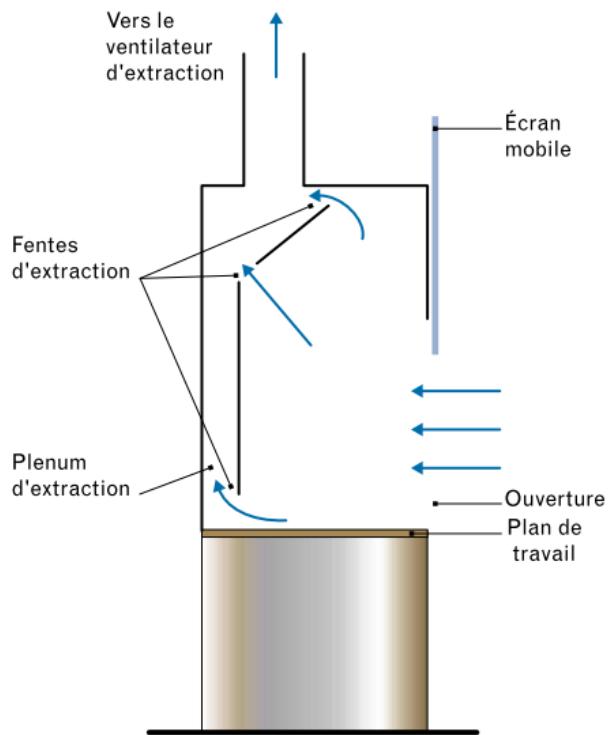


Figure 3: Schéma général d'une Sorbonne

Le volume de travail de la sorbonne est délimité par des parois fixes et un écran composé d'une ou plusieurs parois mobiles et transparentes (Figure 3). Le fonctionnement normal de la sorbonne, pendant les phases de dégagement des polluants, requiert la fermeture partielle, voire maximale, de l'écran. La position de l'écran doit être adaptée à la phase de travail avec pour objectif de réduire au maximum l'ouverture.

On peut distinguer :

- **La position de travail**, appliquée lors des phases de dégagement des polluants, comprise entre les fermetures partielles et maximales de l'écran;
- **La position de maintenance** qui délimite une ouverture plus grande, nécessaire à l'entretien de la sorbonne ou à l'installation de matériel dans

Financé par

le volume de travail ; cette position ne doit pas être utilisée lors de la manipulation de produits dans la sorbonne, car le confinement n'est alors pas suffisant et la protection de l'opérateur en cas de projection est plus faible.

La position de l'écran détermine les dimensions de l'ouverture par laquelle un écoulement d'air caractérisé par sa vitesse, dite **vitesse frontale**, réalise le confinement des polluants générés dans le volume de travail.

Le plénum d'extraction, au dos de la sorbonne, répartit le débit d'air aspiré entre les fentes d'extraction, dont le nombre, la position et la largeur sont variables selon les constructeurs. Le conduit d'extraction est raccordé à un ventilateur.

Pour les sorbonnes d'ancienne génération, le ventilateur délivrait un débit constant, quelle que soit la position de l'écran mobile. Dans le cas d'une telle sorbonne à débit constant, la vitesse frontale de l'air varie en proportion inverse de la surface de l'ouverture. Aujourd'hui, pour des questions **d'économies d'énergie**, de nombreuses sorbonnes sont installées avec 2 vitesses d'aspiration (Petite vitesse qui passe automatiquement en Grande vitesse à partir de 10-15 cm d'ouverture) ou sont à débit variable.

Toutefois, il convient dans tous les cas de minimiser le débit d'air en appliquant des principes de bon sens consistant, par exemple lors de la conception, à éviter des largeurs de sorbonnes excessives ou, en exploitation, à pratiquer l'extraction par intermittence.

Réglementation en vigueur :

La réglementation actuellement en place en France est divisée en deux couches. La norme européenne **NF EN 14175-1 à-6** publiées entre 2003 et 2007 décrit la manière de tester les sorbonnes. Cette norme n'est pas prescriptive et ne permet finalement que de comparer les performances de plusieurs sorbonnes entre elles.

Financé par



Elle laisse le soin aux normes nationales de mettre en vigueur les seuils de performance.

En France, c'est la norme expérimentale **XP X 15-206** de janvier 2005 qui fixe un seuil de 0.1 ppm de SF6 à ne pas dépasser lors de l'essai de confinement dans le plan d'ouverture de la façade mobile pour une ouverture de 400 mm (décris dans la norme NF EN 14175-3). Cette norme a pris le relai de la précédente, à savoir la norme XP X 15-203, en vigueur jusqu'en 2003. Cette dernière fixait le même seuil de confinement que la XP X 15-206 et ajoutait un critère pour la vitesse dans le plan d'ouverture de la façade mobile d'au moins 0.4 m/s. Cette vitesse permettait de suivre une éventuelle dérive des performances lors des essais périodiques.

Détails de la norme européenne **NF EN 14175** :

- **NF EN 14175-1** Vocabulaire, octobre 2003 : définitions utiles au reste de la série et glossaire en sept langues européennes ;
- **NF EN 14175-2** Exigences de sécurité et de performance, octobre 2003 : peu d'exigences, essentiellement sur l'architecture générale, les matériaux, la façade mobile ; aucune exigence aéraulique. Sur ce dernier point, l'article 8.1 prévoit explicitement la possibilité de fixer des seuils au plan national ;
- **NF EN 14175-3** Méthodes d'essai de type, août 2004 : batterie d'essais, assez lourde, à mettre intégralement en œuvre dans une salle spécialement conçue. Sont notamment prévues la mesure de la vitesse d'air ainsi que celle du confinement dans le plan d'ouverture de la façade mobile, selon des modalités pratiquement identiques à celles qui prévalaient dans la norme XP X 15-203 ;
- **NF EN 14175-4** Méthodes d'essai sur site, février 2005 : catalogue d'essais au choix du donneur d'ordres pour tester une sorbonne installée sur le lieu de travail, qu'elle ait ou non subi l'essai de type prévu dans la **NF EN 14175-3** ;
- **NF EN 14175-5** Recommandations pour installation et entretien, août 2006 : Technical Specification (en anglais uniquement), document à valeur normative plus faible qu'une norme donnant essentiellement un certain

Financé par



nombre de conseils d'installation afin d'éviter des dispositions affectant le bon fonctionnement d'une sorbonne (distances entre sorbonnes, distances vis-à-vis d'obstacles, ouvertures ou circulations...);

- **NF EN 14175-6** Sorbonnes à débit d'air variable, août 2006 : batterie d'essais à mettre en œuvre pour tester soit un dispositif variateur de débit d'air adaptable sur sorbonne, soit une sorbonne équipée d'un tel dispositif.

Spécifications d'usage :

Outre la réglementation applicable décrite précédemment, certaines recommandations viennent s'ajouter pour obtenir un bon fonctionnement des sorbonnes. Les principales recommandations sont décrites ci-après :

- Chaque écran mobile doit être manœuvrable indépendamment.
- La sorbonne **ne doit pas pouvoir être totalement fermée** pour assurer un débit minimum de passage d'air. Des butées fixes, hautes et basses doivent être présentes. Les bonnes pratiques recommandent une ouverture minimale de 25 mm.
- Un profilage aéraulique est recommandé au niveau des zones de passage d'air (écran, plan de travail) afin de favoriser l'écoulement d'air.
- Le plenum d'extraction doit être doté d'au moins deux fentes sur toute la largeur de la sorbonne et elles ne doivent pas si situer au ras du plan de travail.
- Un **indicateur de débit minimal** doit déclencher une alarme visuelle et sonore en cas de réduction excessive du débit d'air extrait (article R. 4222-13 du Code du travail). Si le capteur n'est pas placé dans le conduit de rejet, il faut établir un facteur de correction entre la lecture de l'indicateur et le débit extrait. Le capteur doit être également facile d'accès pour inspection.

3.3.2.3 Zones et Armoires de stockage ventilées

Ces équipements de laboratoire (Figure 4) sont destinés au stockage de produits chimiques, potentiellement inflammables ou à risque pour les personnels (Note

Financé par



INRS « ND 2173 »).

La ventilation du local de stockage doit permettre :

- D'éviter la formation d'une atmosphère explosive,
- De maintenir la concentration atmosphérique en polluants dans le local au niveau le plus faible possible,
- D'empêcher les éventuelles émanations des produits de diffuser vers les locaux voisins.



Figure 4 : Armoire de stockage de produits chimiques (Source equipLabo)

Pour atteindre ces objectifs, une ventilation mécanique, résistant à la corrosion et permettant de maintenir en permanence le local de stockage en dépression par rapport aux locaux adjacents, doit être prévue. Les entrées et sorties d'air doivent

Financé par

être disposées de façon à apporter de l'air neuf au niveau des voies respiratoires des salariés dans les zones de circulation (ou de travail de courte durée pour le dépôt ou le retrait des produits stockés) et à évacuer le plus rapidement possible les éventuelles émissions des produits.

Enfin, l'air extrait par l'installation de ventilation doit être rejeté à l'extérieur des bâtiments en tenant compte des règles de protection de l'environnement.

Le débit de ventilation à mettre en œuvre dépend de la nature et de la quantité des produits entreposés, de son organisation et de sa gestion : il est défini en s'appuyant sur les résultats de l'évaluation des risques associés au stockage et l'élaboration de scénarios d'accidents.

Détermination du débit de ventilation :

Le calcul du débit de ventilation pour s'assurer de la salubrité de l'air du local de stockage peut s'appuyer sur les valeurs de référence établies pour la prévention des risques professionnels : débits minimaux d'introduction d'air neuf, valeur limite d'exposition professionnelle, et limite inférieure d'explosivité des agents chimiques stockés.

Lorsque le local est strictement dédié au stockage, le respect des deux objectifs suivants est recherché :

- Débit minimal d'air neuf introduit supérieur à 90 m³/h/personne susceptible d'entrer dans le local,
- Concentration atmosphérique inférieure à la valeur limite d'exposition professionnelle sur 15 minutes et au dixième de la limite inférieure d'explosivité des substances stockées les plus dangereuses.

Le débit calculé sera au besoin majoré pour le réglage de l'installation de ventilation afin d'atteindre un renouvellement d'air minimum du local de l'ordre d'un volume par heure.

Détermination du taux de renouvellement d'air pour une armoire ventilée :

La norme NF EN 14470-1 (2004) Partie 1 : Armoires de stockage de sécurité pour

Financé par



liquides inflammables indique que pour une armoire ventilée, portes fermées, le taux de renouvellement d'air à l'heure doit se faire à un débit au moins égal à 10 fois le volume de l'armoire et que la chute de pression ne doit pas dépasser 150 Pa. Le système de ventilation doit maintenir une pression dans l'armoire inférieure à celle de l'extérieur.

3.3.2.4 Hottes de balances

Si le pesage ordinaire peut se faire dans le laboratoire, certaines pesées nécessitent un environnement particulier du fait :

- de leur sensibilité aux mouvements ou à la qualité de l'air,
- de la fragilité de l'appareillage,
- des dangers du produit à peser,
- des propriétés physico-chimiques du produit à peser (poudres fines, légères ou se chargeant électrostatiquement, liquides volatils).



Figure 5 : Exemple de hotte adaptée à la pesée (Source EnviroSciences)

Financé par

On prévoira une ventilation générale, éventuellement complétée par des captages localisés sur le capotage des balances. Ces équipements peuvent ne pas fonctionner en permanence, mais seulement en cas de besoin. Pour les produits les plus dangereux (très toxiques, cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction), les balances pourront être placées dans des boîtes à gants.

3.3.2.5 Chapelles

Les chapelles d'aspiration s'apparentent à des hottes aspirantes. Contrairement aux sorbonnes, elles ne sont pas toujours dotées de parois verticales (Figure 6). Elles sont utilisées pour des montages parfois imposants et nécessitant une accessibilité importante.



Figure 6 : Exemple de Chapelle d'aspiration (Source ACR Engineering)

Financé par

La réglementation des locaux à pollution spécifique s'applique à ces équipements. Aucune norme particulière à ces équipements n'est applicable à ce jour. D'un point de vue énergétique, ces équipements peuvent engendrer des consommations importantes si les sections de passage d'air sont grandes.

3.3.2.6 *Extractions de paillasses / BOA d'aspiration*

Ces points d'extraction, souvent articulés, permettent de capter de façon ponctuelle une source d'émission de polluant (Figure 7).



Figure 7 : Exemple de BOA d'aspiration articulé (Source BioLab)

C'est un outil qui apporte de la flexibilité à l'opérateur pour la réalisation d'un montage ou se protéger des émanations d'une bouteille ouverte. Il n'est pas à privilégier sur le long terme en comparaison d'une sorbonne pour les raisons suivantes :

- L'efficacité de la protection est nettement moins bonne et dépend trop de la façon de la positionner.
- Le débit extrait est globalement moins bien maîtrisé et le ratio efficacité de la protection / coût énergétique n'est pas intéressant.

Financé par

- Ce point singulier dans un laboratoire perturbe la compensation d'air dans la pièce et la rend moins efficace.
- Il existe rarement plusieurs modes de fonctionnement sur ces dispositifs qui continuent à fonctionner à pleine charge même lorsqu'ils ne sont pas exploités

3.3.2.7 *Les anneaux de Pouyès*

Les anneaux de Pouyès ou capteurs annulaires (Figure 8) sont adaptés aux opérations de chargement et déchargement de pulvérulents, poudres, poussières fines et même des produits liquides (aspiration des vapeurs dans ce cas).

Ces dispositifs de captage sont très efficaces, car ils captent les polluants à la source avec des vitesses d'aspiration assez faibles (pour ne pas aspirer le flux de matière, mais bien les polluants en suspension) et donc avec des débits à traiter qui sont réduits.



Figure 8 : Exemple d'anneau de Pouyès (Source ASAIR)

Une rangée de perforations ou une fente sur tout le périmètre intérieur permet de générer l'aspiration nécessaire, directement face à la zone de passage du polluant.

La conception de ce type d'aspiration doit tenir compte :

- De la nécessité d'assurer une bonne répartition du débit d'aspiration sur toute la longueur de la fente,

Financé par

- De l'intérêt de mettre en place un écran pour limiter le débit global et rendre le dispositif moins dépendant des courants d'air
- De la vitesse d'aspiration d'air qui doit être au minimum de 0,25 m/s au point d'émission le plus éloigné (au milieu du fut par exemple).

3.3.3 Atmosphères Explosives (ATEX)

3.3.3.1 Aspect réglementaire

L'Union européenne a adopté deux directives relatives aux Atmosphères Explosives (ATEX).

- La première directive 1999/92/CE concerne les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs. En d'autres termes, elle décrit les obligations pour un chef d'entreprise en matière de définition des zones à risque ATEX, des prescriptions à mettre en œuvre pour protéger les salariés, les critères de sélection d'équipements et la signalisation à adopter. Dans le droit français, ces dispositions sont rassemblées dans les articles R.4227-42 à R.4227-54 et R.4216-31 du Code du travail.
- La seconde directive 2014/34/CE concerne les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives. Elle a été transposée en droit français par un décret au sein du Code de l'environnement par les articles R.557-1-1 à R.557-5-5 et R.557-7-1 à R.557-7-9.

3.3.3.2 La définition des Zones ATEX

Outre les principes généraux exposés en introduction de ce chapitre (c.f. Contexte réglementaire), la norme EN 60079-10-1 décrit la façon de classer les

Financé par



emplacements ATEX gazeux.

Il est possible de décider, par un simple examen d'une installation ou par la conception d'une installation, quelles parties de l'installation peuvent être réparties dans les trois définitions de zone (Zone 0, Zone 1 et Zone 2). Une approche plus détaillée est donc nécessaire et elle implique l'analyse de la possibilité fondamentale d'apparition d'une atmosphère explosive gazeuse. À cela s'ajoutent la qualité et la disponibilité du système de ventilation.

- **Influence du degré de la source de dégagement**

Il existe trois degrés de dégagement de base, énumérés ci-dessous dans l'ordre décroissant de fréquence d'occurrence et/ou de durée de dégagement de substance inflammable :

- degré "dégagement continu" ;
- degré "dégagement primaire" ;
- degré "dégagement secondaire".

Une source de dégagement peut donner lieu à n'importe lequel de ces degrés de dégagement ou à une combinaison de deux degrés ou plus.

Le degré de dégagement détermine en général le type de la zone. Dans un emplacement correctement ventilé (une installation à l'air libre, par exemple), un degré "dégagement continu" se traduit en principe par une classification en Zone 0, un degré "dégagement primaire" par une classification en Zone 1 et un degré "dégagement secondaire" par une classification en Zone 2.

Cette règle générale peut être modifiée en prenant en considération le degré de dilution et la disponibilité de la ventilation qui peuvent donner lieu à une classification plus ou moins sévère.

- **Influence de la dilution**

Le degré de dilution est une mesure de l'aptitude des conditions de ventilation ou

Financé par



des conditions atmosphériques à assurer la dilution d'un dégagement à un niveau sûr. Par conséquent, un dégagement plus important correspond à un degré de dilution plus faible pour un ensemble donné de conditions de ventilation ou de conditions atmosphériques, un taux de ventilation plus faible correspondant à un degré de dilution moins élevé pour une quantité de dégagement donnée.

On distingue 3 degrés de dilution :

- Dilution élevée :

La concentration à proximité de la source de dégagement diminue rapidement et la persistance a pratiquement disparu à l'issue du dégagement.

- Dilution moyenne :

La concentration est maîtrisée, ce qui conduit à une limite de zone stable, pendant le dégagement, et l'atmosphère explosive gazeuse ne persiste pas de façon indue à l'issue du dégagement.

- Dilution faible :

Présence d'une concentration significative pendant le dégagement et/ou d'une persistance importante d'une atmosphère explosive gazeuse à l'issue du dégagement.

En règle générale, un degré moyen de dilution donne lieu à des types de zones prédéterminées en fonction des types de sources de dégagement. Un degré élevé de dilution permet une classification moins sévère (Zone 1 au lieu de la Zone 0, Zone 2 au lieu de la Zone 1 et même, dans certains cas, une Zone d'étendue négligeable, par exemple). Par ailleurs, un degré faible de dilution exige une classification plus sévère.

- **Influence de la disponibilité de la ventilation**

La disponibilité de la ventilation a une influence sur la présence ou non de la formation d'une atmosphère explosive gazeuse. De ce fait, il est nécessaire de

Financé par



prendre en considération la disponibilité de la ventilation (aussi bien que le degré de dilution) lors de la détermination du type de zone.

Il convient de prendre en considération trois niveaux de disponibilité de la ventilation :

- *bonne* : la ventilation existe pratiquement en permanence ;
- *assez bonne* : la ventilation est censée être présente pendant le fonctionnement normal. Des interruptions sont permises, pourvu qu'elles se produisent de façon peu fréquente et pendant de courtes périodes ;
- *médiocre* : la ventilation ne satisfait pas aux normes de bonne ou d'assez bonne ventilation ; toutefois, des interruptions prolongées ne sont pas prévues.

Une ventilation dont la disponibilité ne satisfait même pas à l'exigence "médiocre" ne doit pas être considérée comme contribuant à la ventilation de l'emplacement, c'est-à-dire qu'une dilution faible s'applique.

- **Influence de l'efficacité de la ventilation**

L'efficacité de la ventilation à maîtriser la dispersion et la persistance de l'atmosphère explosive dépend du degré de dilution, de la disponibilité de la ventilation et de la conception du système. Par exemple, la ventilation peut ne pas être suffisante pour prévenir la formation d'une atmosphère explosive, mais peut être suffisante pour empêcher sa persistance.

- **Conclusion sur le zonage ATEX pour les centres de R&D**

La prise en compte des facteurs d'influence précisés dans cette partie permet de déterminer un zonage selon le Tableau 3 ci-après.

Financé par



Degré de dégagement	Efficacité de la ventilation						
	Dilution élevée			Dilution moyenne		Dilution faible	
	Disponibilité de la ventilation						
	Bonne	Assez bonne	Médiocre	Bonne	Assez bonne	Médiocre	Bonne, assez bonne ou médiocre
Continu	Non dangereuse (Zone 0 EN) ^a	Zone 2 (Zone 0 EN) ^a	Zone 1 (Zone 0 EN) ^a	Zone 0	Zone 0 + Zone 2 ^c	Zone 0 + Zone 1	Zone 0
Primaire	Non dangereuse (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 2 (Zone 1 EN) ^a	Zone 1	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 + Zone 2	Zone 1 ou zone 0 ^c
Secondaire ^b	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Non dangereuse (Zone 2 EN) ^a	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 2	Zone 1 et même Zone 0 ^d

^a Zone 0 EN, Zone 1 EN ou Zone 2 EN indique une zone théorique dont l'étendue est négligeable dans les conditions normales.
^b L'emplacement en Zone 2 créé par un degré "dégagement secondaire" peut dépasser celui qui correspond à un degré "dégagement primaire" ou à un degré "dégagement continu", auquel cas, il convient de prendre la plus grande distance.
^c La Zone 1 est inutile ici. C'est-à-dire qu'une petite Zone 0 se trouve dans un emplacement où le dégagement n'est pas maîtrisé par la ventilation, et une Zone 2 plus grande en cas de défaillance de la ventilation.
^d correspond à la Zone 0 si la ventilation est très faible et le dégagement tel qu'en pratique une atmosphère explosive gazeuse est présente de façon pratiquement permanente (c'est -à-dire que la situation est proche d'une situation d'absence de ventilation).

Le signe "+" signifie "entouré par".
 La disponibilité de la ventilation dans des espaces clos à ventilation naturelle n'est souvent pas considérée comme étant bonne.

Tableau 3: Zones qui correspondent au degré de dégagement et efficacité de la ventilation

Le constat issu des premiers échanges avec les différents partenaires du programme est l'absence de zones ATEX dans les laboratoires de recherche à l'exception de quelques zones dans les halls d'essais.

L'absence de zonage ATEX résulte de la mise en place d'un système d'aération et d'assainissement mécanique des lieux de travail qui permet de maintenir la concentration des gaz inflammables à la plus faible valeur possible et rester inférieur à 25% de la limite inférieure d'explosivité (LIE) dans l'ensemble des installations concernées et à 10% si des personnes travaillent dans cette

Financé par

atmosphère. Elle permet de diminuer les concentrations, mais ne réduit pas la quantité de polluants libérés dans le laboratoire.

Références bibliographiques conseillées

- Guide méthodologique édité par l'INRS : ED945 – "Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives (ATEX)"
- Rapport édité par l'INERIS : 206351-2723467 – "Principes de ventilation en zone ATEX"
- Norme EN IEC 60079-10-1 :2021

4 Traitement des effluents / polluants

4.1 Réglementation sur traitement des effluents

En France, l'arrêté du 02/02/1998 cadre la gestion des polluants émis par les installations classées. Il traite aussi bien les émissions de particules que les émissions de nature gazeuses et la pollution de l'eau.

Pour un industriel, il convient avant toute chose de réduire les émanations à leur source par des systèmes de traitement qui sont abordés dans la section suivante.

D'un point de vue réglementaire, deux cas peuvent se présenter :

- Le laboratoire est soumis à un classement pour la protection de l'environnement compte tenu de ses activités. Il existe deux seuils de classement donnant lieu soit à déclaration, soit à autorisation. Dans chacun des cas, des arrêtés déterminent éventuellement les valeurs limites de rejet.
- En cas de non-classement du laboratoire, le rejet d'effluents gazeux est soumis au code des communes, au règlement sanitaire départemental, à la

Financé par



législation sur les composés organiques volatils (COV), etc.

Références bibliographiques conseillées

- Guide pratique de ventilation par l'INRS : "ED657 – "l'assainissement de l'air des locaux de travail""
- Note documentaire éditée par l'INRS : "ND2173-188-02 – "La conception des laboratoires de chimie""
- <http://www.ventilation-industrie.fr/les-differents-types-d-epurateurs>

4.2 Les techniques de traitement

Il existe plusieurs techniques de traitement des effluents. Celles-ci sont divisées en deux catégories :

- Polluants particulaires : non concernés par cette étude
- Polluants gazeux

L'épuration des gaz est obtenue soit par absorption chimique ou adsorption.

- **L'absorption** (ou lavage) consiste à faire circuler l'effluent au contact d'un fluide chimique dont les propriétés favorisent le transfert du polluant dans ce même liquide. Cette opération nécessite souvent une colonne pour mettre les constituants en contact et favoriser la surface d'échange. Une installation complète nécessite une étape de régénération du solvant et de récupération du polluant ainsi concentré. Une vigilance particulière doit être portée à la ventilation, car la colonne crée une perte de charge supplémentaire à vaincre.
- **L'adsorption** est généralement plus simple à mettre en œuvre qu'elle s'opère entre une surface solide poreuse et le gaz à traiter. Le mécanisme à venir saturer la surface de l'adsorbant des molécules à capturer. Lorsqu'il est

Financé par



saturé, l'adsorbant doit être remplacé. Dans ce contexte, il est nécessaire d'être très vigilant sur la maintenance et le remplacement de ces « filtres actifs » pour en assurer l'efficacité. En présence de plusieurs polluants, il faut également prendre garde au fait que certains produits légers peuvent remplacer des produits plus lourds qui sont alors réémis.

Quel que soit le système adopté, il doit faire l'objet d'un examen complet comprenant :

- L'adéquation entre les polluants et le système de traitement : efficacité,
- Les débits qui pourront être traités par ce matériel ainsi que les pertes de charge associées,
- L'encombrement total,
- La gestion des modes de défaillance du dispositif (bypass, arrêts...),
- Système de détection d'un mauvais fonctionnement,
- Fiabilité dans le temps,
- Facilité de maintenance,
- Récupération des polluants et exposition des personnels pendant ces phases,
- Modification des caractéristiques de l'air épuré comme la présence d'humidité excessive dans cet air,
- Le coût et l'impact carbone de ce traitement

4.3 Rejet des polluants - règles d'implantation des cheminées d'extraction

Le rejet de l'air pollué à l'extérieur des bâtiments doit être étudié afin d'éviter le possible recyclage des polluants à travers les entrées d'air neuf. Les principales règles à respecter sont décrites ci-dessous ; elles sont basées sur le document de l'ASHRAE Handbook HVAC Applications – Ch.46 :

- La cheminée associée à l'extraction de l'air pollué des hottes de laboratoire :
 - o La cheminée doit être orientée verticalement et non coiffée,

Financé par

- La hauteur minimale de cheminée, H , doit être de 3.05 m au-dessus de la ligne de toit,
- La distance entre la cheminée et une entrée d'air :
 - La distance à respecter est de 15 m minimum
- La vitesse d'évacuation :
 - Selon l'ASHRAE, la vitesse d'évacuation, Ve , recommandée est de 15 m/s afin d'assurer une élévation adéquate du panache et une dilution du jet. Au-delà de 15 m/s (15 à 20 m/s), le bruit, les vibrations et les coûts énergétiques peuvent devenir un problème important.
 - Il est possible d'adapter un cône de réduction de section en sortie de cheminée pour atteindre cette vitesse recommandée.

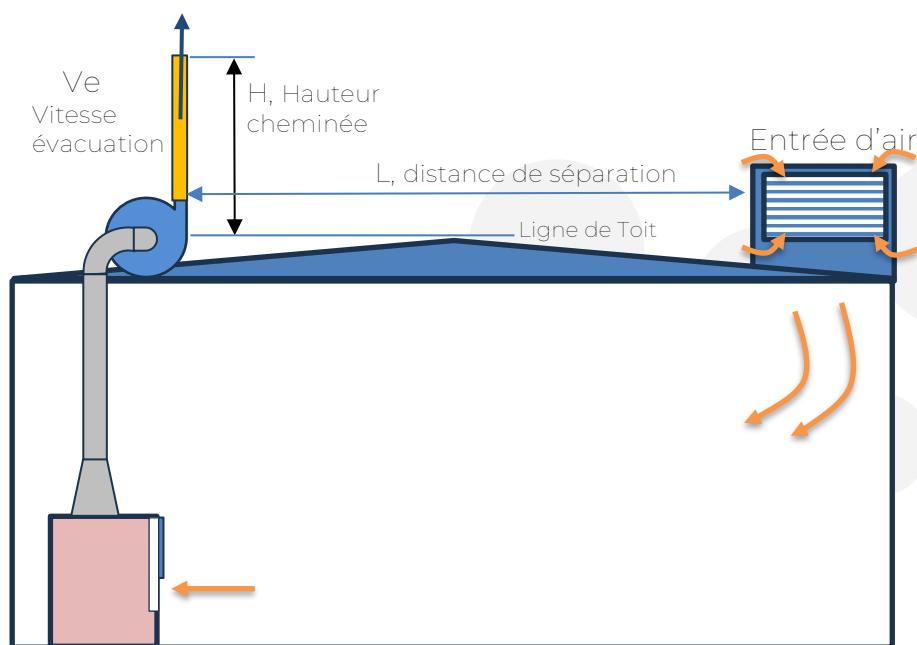


Figure 9 - cheminée d'extraction

Financé par

Références bibliographiques conseillées

- Guide pratique de ventilation par l'INRS : "ED695 – principes généraux de ventilations"
- 2019 ASHRAE Handbook—HVAC Applications – CH.46 "Building Air Intake and Exhaust Design"

5 Compensation d'air dans les locaux

La compensation d'air est un principe essentiel permettant de maintenir l'équilibre des flux d'air dans un local. Lorsqu'un système d'extraction est en place, il est impératif de compenser le volume d'air extrait par un apport équivalent d'air neuf, afin d'assurer un environnement sain et confortable.

5.1 Conditions d'apport d'air neuf

L'air de compensation doit répondre à plusieurs exigences :

- Provenance de l'air neuf :
 - Il doit être prélevé à l'extérieur des locaux, loin des zones de rejet des polluants pour éviter toute contamination.
 - L'orientation du vent dominant doit être prise en compte pour optimiser l'efficacité de l'aération et limiter les perturbations dans le local.
- Température et vitesse d'introduction :
 - L'air introduit doit être tempéré pour éviter des chocs thermiques ou des sensations d'inconfort.
 - Il doit être insufflé à basse vitesse afin de préserver l'homogénéité thermique et réduire les courants d'air. Une vitesse excessive peut perturber le captage des polluants et générer un inconfort thermique pour les occupants.

Financé par

5.2 Vitesse et diffusion optimale de l'air de compensation

Pour garantir un confort optimal et une bonne répartition de l'air, plusieurs précautions doivent être respectées :

- Vitesse d'introduction de l'air :
 - Généralement inférieure à 0,5 m/s afin d'éviter une circulation trop rapide dans le local.
 - Dans la zone d'occupation (espace compris entre le sol et 1,80 m de hauteur), la vitesse de l'air résiduelle doit être inférieure à 0,2 m/s pour ne pas générer de gêne pour les occupants.
- Techniques de diffusion adaptées :
 - Gaines textiles diffusantes : permettent une diffusion uniforme de l'air à faible vitesse, limitant ainsi les turbulences.
 - Plafonds soufflants : permettent d'introduire des volumes d'air importants tout en conservant une basse vitesse de soufflage.



Figure 10 : Gaine textile à gauche - plafond diffusant à droite (Sources France Air et Oxygen web)

5.3 Comparaison des méthodes de diffusion de l'air

5.3.1 Diffusion par déplacement

L'air neuf est introduit lentement au niveau du sol ou des parois, puis il se déplace

Financé par

naturellement vers les zones supérieures, entraînant l'air vicié vers les sorties d'extraction.

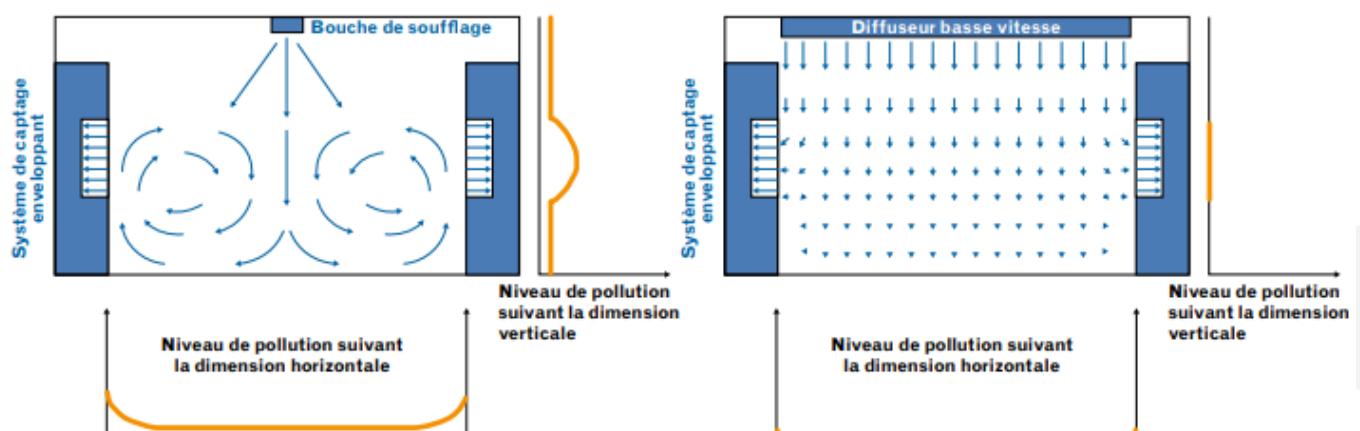
Cette technique améliore la qualité de l'air intérieur en évacuant les polluants plus efficacement. Elle réduit les mélanges d'air entre l'air neuf et l'air vicié et minimise les courants d'air inconfortables.

5.3.2 Diffusion par mélange

L'air neuf est injecté à une vitesse plus élevée et se mélange avec l'air ambiant pour assurer un renouvellement uniforme.

Cette technique (Figure 11) assure une homogénéité thermique rapide dans le local. Elle peut être plus adaptée aux espaces nécessitant une ventilation plus active. Cependant, elle peut générer des courants d'air et favoriser la dispersion des polluants dans certaines configurations.

La diffusion d'air par déplacement est souvent préférable à la diffusion par mélange pour garantir une meilleure qualité de l'air et un confort optimal.



Diffusion d'air par mélange

Une vitesse d'air importante est nécessaire au mélange de l'air neuf avec l'air ambiant du local. La vitesse élevée du flux d'air entraîne un écoulement turbulent qui peut perturber les systèmes de captage localisés et provoquer l'émission de polluants dans l'air ambiant. Par ailleurs, les courants d'air ainsi générés sont souvent une source d'inconfort.

Diffusion d'air par déplacement

La large surface du diffuseur permet l'introduction d'air à faible vitesse. L'écoulement d'air de type « piston » assure un bon fonctionnement des dispositifs de captage localisés et permet de climatiser efficacement la zone d'occupation du local.

Remarque : La longueur des flèches est proportionnelle à la vitesse du flux d'air

Financé par

Figure 11 : Compensation d'air : diffusion d'air par mélange ou par déplacement (Source INRS)

5.4 Conclusion sur la compensation d'air

Un système de compensation d'air bien conçu permet de :

- Maintenir un équilibre entre l'air extrait et l'air introduit.
- Éviter les dépressions ou surpressions dans le local.
- Assurer un renouvellement d'air efficace et confortable.
- Limiter la dispersion des polluants et garantir une meilleure qualité d'air intérieur.

Le choix de la méthode de diffusion dépend de l'usage du local, du niveau de pollution et des besoins en confort thermique des occupants. Une étude préalable des flux d'air est indispensable pour optimiser le bien-être des utilisateurs et garantir la conformité aux normes de ventilation.

6 Maintien en dépression des locaux à pollution spécifiques

6.1 Principe de confinement et contrôle des flux d'air

Dans les laboratoires d'analyse, de contrôle et de production, il est essentiel de prévenir la migration de l'air contenant des polluants spécifiques vers d'autres locaux. Cette mesure permet d'éviter la contamination croisée et de garantir la sécurité des travailleurs.

Il est interdit de transfert d'air d'un local à pollution spécifique vers un autre local. Il est permis de mettre en œuvre de la ventilation par balayage, permettant le passage de l'air d'un local à pollution non spécifique vers un local à pollution spécifique.

6.2 Mesures de confinement pour limiter les contaminations

Pour éviter la propagation des polluants par les fuites d'air ou les ouvertures de portes, et pour assurer le bon fonctionnement des dispositifs de captage,

Financé par

plusieurs mesures doivent être mises en place pour les locaux à pollution spécifique :

- Isolement physique des locaux à pollution spécifique
- Les locaux sont séparés des autres zones par des portes à fermeture automatique.
- L'installation de sas d'accès est recommandée pour renforcer l'étanchéité et mieux contrôler le confinement.
- Maintien en dépression des locaux
- L'air doit être aspiré et évacué de manière contrôlée afin de maintenir une pression inférieure à celle des locaux adjacents. Cela empêche les polluants de s'échapper vers les autres zones en cas d'ouverture de porte ou de fuite.
- Interdiction d'ouverture des fenêtres en période d'activité
- Les fenêtres doivent rester fermées pour éviter toute perturbation du flux d'air et garantir l'efficacité du confinement.

6.3 Mise en dépression et contrôle des pressions

Le maintien en dépression des locaux à pollution spécifique est assuré par deux systèmes complémentaires :

- L'aspiration locale à la source

Chaque poste de travail générant des polluants doit être équipé d'un système de captage à la source (ex. hottes aspirantes, bras d'aspiration). Ces dispositifs permettent d'éliminer les contaminants avant qu'ils ne se dispersent dans l'air ambiant.

- La ventilation générale.

Pour améliorer l'efficacité du confinement :

- Maintien d'une différence de pression d'au moins 10 Pascal entre les zones pour garantir un flux d'air dirigé vers les locaux à pollution spécifique.
- Surveillance de la dépression par manomètres différentiels, permettant un contrôle en temps réel et une alerte en cas d'anomalie.

Financé par



6.4 Conclusion sur la compensation d'air

Le maintien en dépression des locaux à pollution spécifique est une mesure essentielle pour garantir :

- La protection des travailleurs contre l'exposition aux polluants.
- La prévention des contaminations croisées entre différentes zones du laboratoire.
- L'efficacité des systèmes de captage et de ventilation.

En combinant isolement physique, captage local, ventilation contrôlée et surveillance de la pression, il est possible d'assurer un environnement sécurisé et conforme aux réglementations.

7 Moyens de contrôle et maintenance

Références bibliographiques conseillées

- [1] : Guide pratique de ventilation ED 6008 - Le dossier d'installation de ventilation
- [2] : TJ5 -Aide-mémoire juridique – Aération & assainissement
- [3] : Article R. 4212-7 du Code du travail
- [4] : Article R. 4212-21 du Code du travail

Pour garantir le bon fonctionnement des réseaux de ventilation sur le long terme, tant en matière d'assainissement de l'air que d'efficacité énergétique, il est nécessaire de faire un suivi et une maintenance régulière.

Toute modification apportée doit être documentée, et les utilisateurs doivent comprendre son mode de fonctionnement. Parmi les évolutions possibles, on peut

Financé par

citer : l'ajout de nouveaux réseaux ou équipements, le réagencement des postes de travail, l'augmentation des débits d'air, la modification des polluants émis, l'évolution des systèmes de régulation...

La réglementation impose à l'employeur d'établir un dossier d'installation pour toute installation de ventilation. Ce dossier, régulièrement mis à jour, constitue un outil clé pour assurer une bonne compréhension et un fonctionnement optimal de l'installation. Il permet également d'éviter les interventions non contrôlées ou non tracées sur le réseau de ventilation.

Le dossier d'installation est composé de plusieurs éléments comme décrits dans l'organigramme suivant.

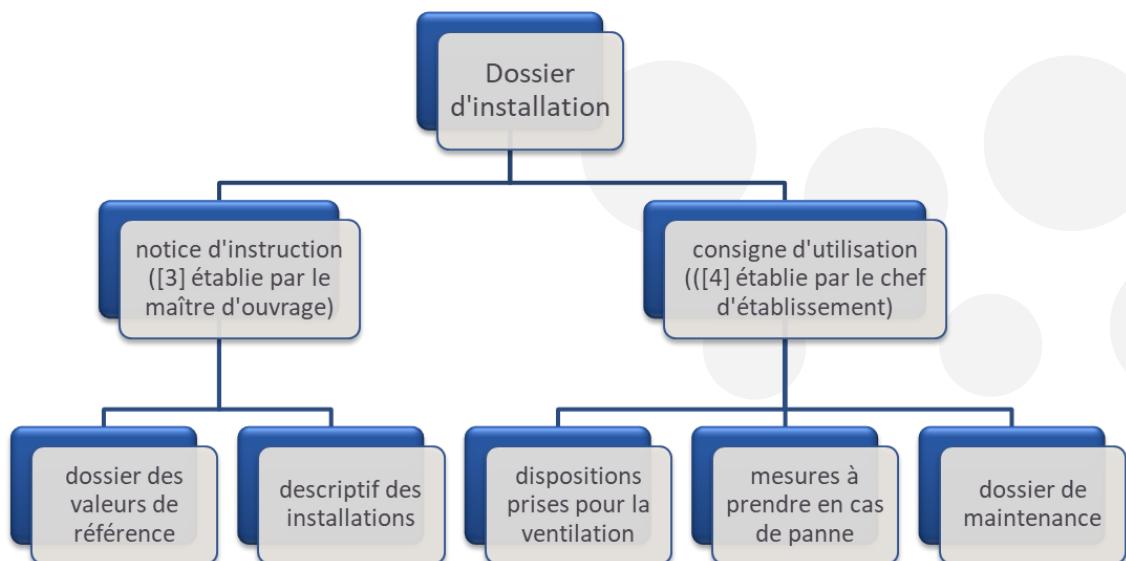


Figure 12 : Organigramme du dossier d'installation

Financé par

Nous détaillons dans les paragraphes suivants les contenus de la notice d'instruction et la consigne d'utilisation.

7.1 La notice d'instruction

L'article R. 4212-7 du Code du travail précise que :

- L'entreprise doit disposer d'une notice d'instruction qui décrit les caractéristiques de base des installations de ventilation pour les locaux à pollution spécifique et non spécifique.
- La notice d'instructions doit mentionner les dispositions prises pour l'aération/l'assainissement et les informations permettant au chef d'établissement d'utiliser et d'entretenir l'installation.

7.1.1 Descriptif des installations de ventilation pour locaux à pollution non spécifique

À titre d'exemple, le tableau suivant (Tableau 4) indique les principales caractéristiques et informations nécessaires à la description d'une installation nouvelle dans ces types de locaux.

Financé par

DESCRIPTION DES DISPOSITIONS PRISES POUR L'AÉRATION

	Ventilation naturelle	Ventilation mécanique
• Description de la nature de l'activité des locaux concernés (n° repères sur plan...) et des installations de ventilation	X	X
• Nombre maximal d'occupants prévus	X	X
• Volume du local (m ³) et volume par occupant (m ³ /occupant)	X	
• Nombre d'ouvrants sur l'extérieur	X	
• Surface approximative des entrées et sorties d'air (position, section)	X	
• Type d'introduction de l'air neuf: mécanique ou naturelle		X
• Type d'extraction de l'air: mécanique ou naturelle		X
• Positions relatives des bouches d'introduction et d'extraction de l'air dans le local		X
• Localisation de la prise d'air neuf par rapport au bâtiment (vents dominants, sources de pollution)		X
• Caractéristiques des filtres d'entrée d'air neuf		X
DONNÉES COMPLÉMENTAIRES POUR LES INSTALLATIONS AVEC SYSTÈME DE RECYCLAGE		
• Local ou locaux de provenance de l'air de recyclage		X
• Localisation du système de filtration ou d'épuration de l'air recyclé		X
• Type et références du système de filtration ou d'épuration de l'air recyclé		X
• Efficacité du système de filtration de l'air recyclé		X
• Perte de charge maximale admissible du système de filtration		X

Tableau 4 : Description des dispositions prises pour l'aération (Source INRS)

7.1.2 Descriptif des installations de ventilation pour locaux à pollution spécifique

Le tableau suivant (Tableau 5) indique les principales caractéristiques et informations nécessaires à la description d'une installation dans des locaux à pollution spécifique.

Financé par



DESCRIPTION DES DISPOSITIONS PRISES POUR L'ASSAINISSEMENT	
1 DISPOSITIFS DE CAPTAGE LOCALISÉ ET DE VENTILATION GÉNÉRALE	<ul style="list-style-type: none"> • Description de la nature de l'activité et des postes de production concernés • Identification des polluants représentatifs de la pollution • Présentation des installations de ventilation • Nombre et caractéristiques des dispositifs de captage • Existence d'un système complémentaire de ventilation générale • Type (mécanique ou naturel) et caractéristiques de l'introduction d'air • Localisation et caractéristiques des filtres dépolluants d'introduction d'air • Localisation des bouches d'air neuf de compensation introduit dans le local • Type et caractéristiques de l'avertisseur de défaillance de l'installation de ventilation par captage • Type, caractéristiques et localisation des filtres dépolluants ou des épurateurs pour le rejet à l'extérieur
2 DONNÉES COMPLÉMENTAIRES POUR LES INSTALLATIONS AVEC SYSTÈME DE RECYCLAGE	<ul style="list-style-type: none"> • Provenance et destination de l'air de recyclage • Localisation de la (des) bouches d'introduction de l'air de recyclage • Type, caractéristiques et localisation des filtres dépolluants ou des épurateurs • Période d'utilisation du dispositif de recyclage • Type du système de surveillance, position et nature des alarmes du système de dépollution

Tableau 5 : Description des dispositions prises pour l'assainissement (Source INRS)

L'entreprise doit également disposer d'un dossier d'installation de ventilation qui comprend :

- Les valeurs de référence nécessaires pour garantir un fonctionnement optimal.
- Les recommandations de maintenance.

7.1.3 Le dossier des valeurs de référence

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

Les valeurs de référence correspondent aux paramètres initiaux d'une installation, considérés comme valeurs optimales et conformes lors de sa mise en service.

Lors des contrôles périodiques, ces valeurs doivent servir de base de comparaison pour évaluer l'efficacité et la conformité du système au fil du temps.

Financé par

Le tableau suivant (Tableau 6) énumère les paramètres devant constituer les valeurs de référence.

PARAMÈTRES CONSTITUANT LES VALEURS DE RÉFÉRENCE

Locaux à pollution non spécifique

- Débit global minimal d'air neuf
- Débit minimal d'air neuf par local
- Pressions statiques ou vitesses d'air en des points caractéristiques associées à ces débits
- Caractéristiques des filtres installés (classe d'efficacité, perte de charge initiale et maximale admise)

Locaux à pollution spécifique

- Polluants représentatifs de la pollution
- Débits, pressions statiques ou vitesses d'air pour chaque dispositif de captage
- Débit global d'air extrait
- Efficacité de captage minimale des systèmes d'aspiration
- Caractéristiques des systèmes de surveillance et moyens de contrôle

DONNÉES COMPLÉMENTAIRES POUR LES INSTALLATIONS AVEC SYSTÈME DE RECYCLAGE

- Débit global d'air neuf introduit
- Efficacité minimale des systèmes d'épuration et de dépoussiérage. Dans le cas des poussières, indication de l'efficacité par tranche granulométrique
- Concentration en polluants en des points caractéristiques de la pollution de l'atelier et dans les conduits de recyclage
- Caractéristiques des systèmes de surveillance du système de recyclage et moyens de contrôle

Tableau 6 : Paramètres constituant les valeurs de références (Source INRS)

7.2 Consignes d'utilisation

L'employeur indique dans la consigne d'utilisation les dispositions prises pour la ventilation et décrit les principales mesures à prendre en cas de panne ou de

Financé par

dysfonctionnement.

La consigne d'utilisation doit comporter un dossier de maintenance.

7.2.1 Dispositions prises pour la ventilation

Le tableau suivant (Tableau 7) indique les valeurs de référence à prendre en compte pour les contrôles périodiques.

PRINCIPALES VALEURS DE RÉFÉRENCE DE L'INSTALLATION		
Type de pollution	Type d'installation	Valeurs de référence
POLLUTION NON SPÉCIFIQUE	Ventilation naturelle	<ul style="list-style-type: none"> Sans objet
	Ventilation mécanique	<ul style="list-style-type: none"> Pressions statiques ou vitesses d'air par local associées au débit minimal d'air neuf
POLLUTION SPÉCIFIQUE	Dispositifs de captage localisé et ventilation générale	<ul style="list-style-type: none"> Pressions statiques ou vitesses d'air associées au débit d'air extrait pour chaque dispositif de captage Débit global d'air extrait
	Système de recyclage	<ul style="list-style-type: none"> Efficacité minimale des systèmes d'épuration et de dépoussiérage et méthode de contrôle de cette efficacité Concentration en polluants dans les conduits de recyclage

Tableau 7 : Principales valeurs de référence de l'installation (Source INRS)

7.2.2 Mesures à prendre en cas de panne

Le tableau suivant (Tableau 8) indique les principales mesures à prendre en cas de panne ou de dysfonctionnement.

Financé par

PRINCIPALES MESURES À PRENDRE EN CAS DE PANNE OU DE DYSFONCTIONNEMENT

Type de pollution	Type d'installation	Conduite à tenir en cas de panne ou de dysfonctionnement
POLLUTION NON SPÉCIFIQUE	Ventilation naturelle	<ul style="list-style-type: none"> • Sans objet
	Ventilation mécanique	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures permettant la remise en marche de l'installation ou permettant d'établir une ventilation naturelle provisoire • Mesures et délais d'évacuation des locaux si un renouvellement d'air suffisant ne peut être assuré • Mesures permettant l'arrêt du recyclage
POLLUTION SPÉCIFIQUE	Dispositifs de captage localisé et ventilation générale	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures permettant l'arrêt de la production de polluants • Mesure de sauvegarde et d'évacuation en fonction des risques que présentent les polluants si l'arrêt de la production des polluants n'est pas possible immédiatement • Mesures permettant la remise en marche de l'installation ou permettant d'établir une ventilation naturelle provisoire • Mesures et délais d'évacuation des locaux si un renouvellement d'air suffisant ne peut être assuré
	Système de recyclage	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures permettant l'arrêt du recyclage • Mesures permettant l'arrêt de la production des polluants s'ils ne peuvent être rejetés à l'extérieur • Mesures de sauvegarde et d'évacuations si l'arrêt de la production des polluants n'est pas possible immédiatement

Tableau 8 : Principales mesures à prendre en cas de panne ou dysfonctionnement (Source INRS)

7.2.3 Contrôles périodiques et maintenance des installations

L'Article R. 4222-20 du Code du travail stipule que le chef d'entreprise :

- Est tenu d'assurer la réalisation des contrôles périodiques afin de garantir le bon état de fonctionnement de l'ensemble des installations de ventilation dans les locaux à pollution spécifique et non spécifique.
- Doit également veiller à leur entretien régulier et à la réalisation de contrôles périodiques afin d'assurer une qualité d'air optimale et conforme aux normes de sécurité. Le tableau suivant décrit la fréquence et la nature des contrôles périodiques.

Le tableau suivant (Tableau 9) indique la fréquence et la nature des contrôles périodiques.

Financé par

FRÉQUENCE ET NATURE DES CONTRÔLES PÉRIODIQUES

Locaux à pollution non spécifique

TOUS LES ANS

- Examen de l'état des éléments de l'installation (systèmes d'introduction et d'extraction, conduits, ventilateur...)
- Débit global minimal d'air neuf de l'installation
- Conformité des filtres de recharge à la fourniture initiale (caractéristiques, classes d'efficacité, dimensions, pertes de charges)
- Examen de l'état des systèmes de traitement de l'air (humidificateur, batterie d'échangeur)
- Pressions statiques ou vitesses d'air aux points caractéristiques de l'installation

Locaux à pollution spécifique

TOUS LES ANS

- Examen de l'état de tous les éléments de l'installation (systèmes de captage, conduits, dépoussiéreurs, épurateurs et systèmes d'apport d'air de compensation)
- Pressions statiques ou vitesses d'air, associées au débit d'air extrait pour chaque dispositif de captage, aux points caractéristiques de l'installation
- Débit global d'air extrait par l'installation

TOUS LES SIX MOIS SI SYSTÈME DE RECYCLAGE

- Concentrations en polluants (y compris en poussières sans effet spécifique) dans les conduits de recyclage ou à leur sortie dans un écoulement canalisé
- Contrôle de tous les systèmes de surveillance

Tableau 9 : Fréquence et Nature des contrôles périodiques (Source INRS)

7.2.4 Point sur les contrôles périodiques et maintenance

L'examen de l'état des composants de l'installation (systèmes de captage, conduits, filtres, ventilateurs...) est essentiel pour prévenir les dysfonctionnements, anticiper les besoins de maintenance et maintenir la conformité aux

Financé par



réglementations en vigueur. Parmi les composants examinés, certaines configurations peuvent être à l'origine d'une surconsommation d'énergie :

- Une conception inefficace du système de ventilation, comme des conduits mal dimensionnés (avec présence de coudes inutiles ou mal conçus, de changements brusques de diamètre dans les conduits d'aération) ou des pertes de charge élevées de composants, va nécessiter plus de puissance pour déplacer l'air, augmentant ainsi la consommation d'énergie,
- Filtres colmatés : un filtre obstrué réduit l'efficacité du système et entraîne une consommation excessive,
- Conduits colmatés : la résistance du circuit augmente due à la restriction de passage ; cela se traduit par une diminution du débit d'air fourni par le ventilateur. Il sera alors nécessaire d'augmenter la puissance pour déplacer l'air,
- Perte d'efficacité : avec le temps, les ventilateurs peuvent perdre en efficacité en raison de l'usure, de l'accumulation de poussière et de la dégradation des composants (par exemple l'usure des courroies d'entraînement, l'usure des paliers, la corrosion due à la présence de polluants chimiques ...). Cela va entraîner une consommation d'énergie plus élevée pour maintenir les mêmes performances. Les ventilateurs d'extraction doivent être équipés de capteurs d'avertisseur de défaillance.
- Ventilateurs fonctionnant avec un sens de rotation inversé (Figure 13) : cette anomalie est récurrente sur les ventilateurs centrifuges dont le moteur triphasé a été branché à l'envers, car même si la roue du ventilateur tourne dans le mauvais sens, l'air est quand même aspiré, mais dans des conditions très dégradées. Le débit peut chuter de plus de 50% du débit nominal et sa puissance absorbée augmenter jusqu'à 70% par rapport à un ventilateur qui tourne dans le bon sens.

Financé par

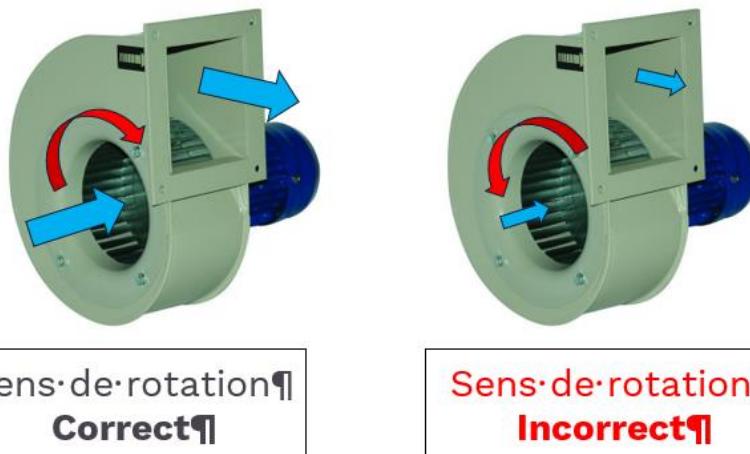


Figure 13 : comparaison d'un ventilateur avec deux sens de rotation

8 Optimisation de la ventilation – Composants et efficacité énergétique

Références bibliographiques conseillées

- [1] : INRS Guide pratique de ventilation ED 695 – Principes généraux de ventilation
- [2] : INRS Guide pratique de ventilation ED 795 – Sorbonnes de Laboratoire
- [3] : Carsat Centre Ouest – Centre de Mesures Physiques – fiche Memo Mars 2021
- [4] : INRS Guide pratique de ventilation ED 657 – l'assainissement de l'air dans les locaux de travail

8.1 Généralités

Dans un environnement industriel ou tertiaire, un système de ventilation performant est essentiel pour assurer la qualité de l'air et la maîtrise des

Financé par

consommations énergétiques.

Une bonne conception et un bon dimensionnement des composants essentiels de ce système de ventilation permettent de réduire la consommation d'énergie tout en garantissant un environnement de travail sain.

Les principaux composants sont :

- Le dispositif de captage : Permet d'aspirer les polluants au plus près de leur source d'émission.
- Le réseau de transport aéraulique : Composé de conduites et accessoires permettant l'acheminement de l'air vicié vers les dispositifs de filtration et d'évacuation.
- Le dispositif de dépollution : Filtration ou traitement des effluents avant rejet dans l'atmosphère.
- Le dispositif de récupération de chaleur : Optimisation énergétique en récupérant l'énergie thermique de l'air extrait.
- Le système de régulation : Gestion intelligente des flux d'air pour adapter la ventilation aux besoins réels.

Chaque composant (mis à part le système de régulation) génère une résistance au passage de l'air (perte de charge) qui influence la puissance des ventilateurs et donc la consommation électrique globale. Un bon agencement et une optimisation des équipements permettent de minimiser cette consommation.

8.2 Le dispositif de captage

8.2.1 Critères pour un captage efficace

Un dispositif de captage bien conçu doit :

- Être positionné au plus près de la source pour minimiser la quantité d'air aspiré. L'exemple suivant (Figure 14) montre que pour induire la même vitesse à une distance double, il faut multiplier le débit par 4 ; ce qui se traduit par une augmentation importante de la consommation énergétique

Financé par



de la ventilation.

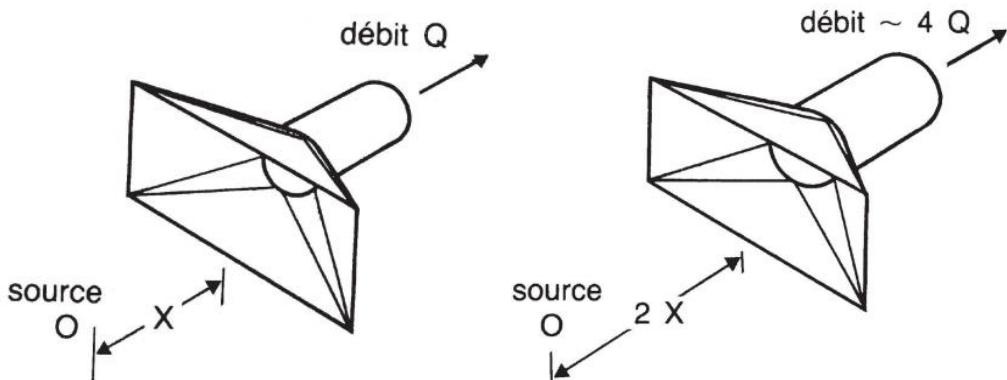


Figure 14 : Effet de la distance sur le débit d'aspiration (Source INRS)

- Avoir une vitesse d'aspiration adaptée à la nature des polluants (gaz, vapeurs ...). L'objectif est d'emporter ou de canaliser le polluant jusqu'à la gaine d'aspiration. Une vitesse de captage minimale de 0,4 à 0,5 m/s est donc recommandée dans un air calme [3].
- Présenter une géométrie optimisée pour garantir une capture efficace et uniforme. Des exemples de dispositifs de captage sont définis ci-dessous :
 - Tables aspirantes : captent les polluants sous l'opérateur pour éviter leur inhalation.

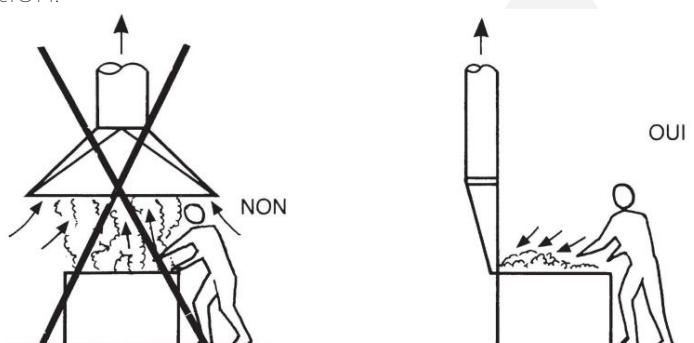


Figure 15 : la tête de l'opérateur ne doit jamais se trouver entre le dispositif de captage et la source de pollution (Source INRS)

Financé par

- Captage par effet Venturi : utilise une vitesse d'air induite pour améliorer l'aspiration

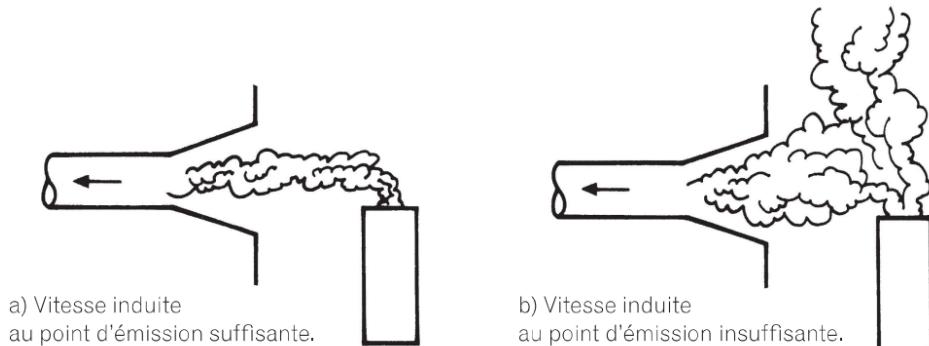


Figure 16 : Capturer les polluants en induisant une vitesse d'air suffisante (Source INRS)

Un captage bien dimensionné peut réduire la consommation énergétique de la ventilation jusqu'à 25 %.

8.2.2 Utilisation et choix des sorbonnes de laboratoire

Les sorbonnes mises en place dans les laboratoires R&D doivent assurer la sécurité des utilisateurs en captant et en évacuant les polluants vers l'extérieur. Leur efficacité repose sur trois éléments clés :

- Un dimensionnement adapté : La sorbonne doit être correctement dimensionnée en fonction des manipulations effectuées et du volume de polluants généré.
- Une utilisation appropriée : Les bonnes pratiques incluent le maintien de la vitre frontale à une hauteur optimale, la limitation des mouvements brusques devant l'ouverture et l'évitement du stockage de matériel encombrant à l'intérieur, ce qui pourrait perturber le flux d'air.
- Un entretien régulier : les sorbonnes nécessitent des contrôles fréquents afin d'assurer leur bon fonctionnement. Cela comprend la vérification des débits d'air, l'entretien des filtres (dans le cas des sorbonnes à recirculation) et l'inspection des systèmes de ventilation associés.

Financé par

Le choix du type de sorbonne dépend des exigences spécifiques du laboratoire, des produits chimiques manipulés et des contraintes énergétiques du bâtiment. Les types généralement trouvés sont les sorbonnes à débit constant et à débit variable, qui présentent chacun des avantages en matière de sécurité et d'efficacité énergétique.

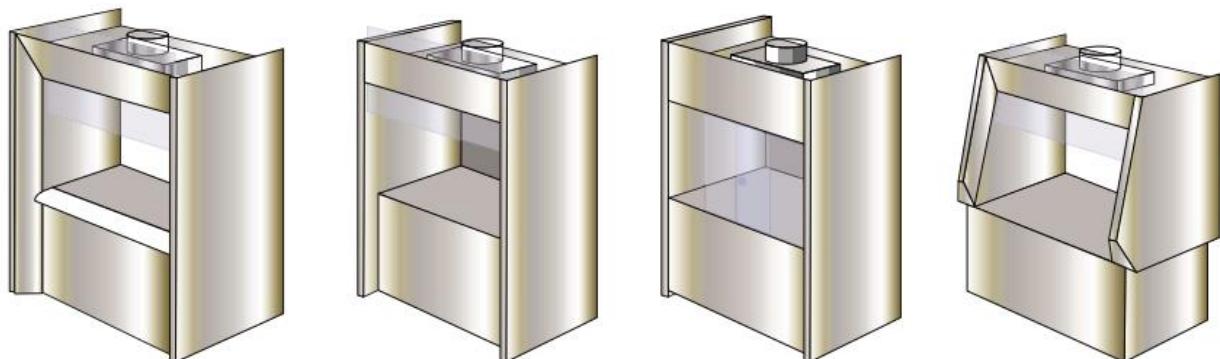


Figure 17 : Différents types de sorbonnes utilisés (Source INRS ED795)

- **Sorbonnes à Débit constant**

Sur les premières générations de sorbonne, le débit délivré par le ventilateur était maintenu constant, quelle que soit la taille d'ouverture frontale. Les conséquences directes étaient :

- Le risque d'une perte de confinement des polluants lorsque la position de l'écran mobile était au-delà de la limite autorisée (non-respect du seuil critique de vitesse frontale de l'air fixé à 0.4 m/s. Pour rappel, la vitesse varie en proportion inverse de la surface d'ouverture pour un fonctionnement à débit constant)
- Une consommation énergétique importante en cas de fonctionnement 24h/24 – 7j/7

- **Sorbonnes à Débit variable**

Ce type de sorbonne permet de réaliser des économies d'énergie. Ces sorbonnes

Financé par

sont conçues pour ajuster automatiquement le débit d'air en fonction de la hauteur d'ouverture de la vitre frontale (limitation de la vitesse d'air frontale).

La variation du débit peut être obtenue de plusieurs manières :

- Soit par paliers : le ventilateur, associé à la hotte, fonctionne avec 2 vitesses d'extraction, petite vitesse et grande vitesse. Le passage à la grande vitesse est déclenché lorsque la hauteur de l'ouverture passe à 10-15 cm. La modulation du débit est commandée par une sonde de vitesse installée dans un orifice percé sur une des parois de la sorbonne. La mesure de la vitesse de l'air passant par l'orifice est assimilée à la vitesse d'air frontale
- soit en continu par le biais des dispositifs suivants (par ordre décroissant d'efficacité) :
- Ventilateur associé à un variateur de vitesse,
- Registre piloté.

La modulation du débit est commandée soit par un capteur qui détecte la position de l'écran mobile :

- Lorsque la vitre est abaissée, le débit d'air est réduit, ce qui permet d'économiser de l'énergie tout en maintenant une extraction minimale de sécurité.
- Lorsque la vitre est levée, le débit augmente pour compenser l'ouverture et garantir une captation efficace des polluants.

La réduction du débit doit être cependant ajustée afin de ne pas créer un défaut de dilution dans la sorbonne (avec risque de dépassement des 25% de la Limite Inférieure d'Explosivité).

- **Emplacement des sorbonnes**

La limitation de la consommation énergétique des sorbonnes par modulation de débit est efficace dans la mesure où le confinement des polluants dans ces enceintes est garanti. Cela implique le respect de certaines règles d'emplacement des sorbonnes telles que définies dans le document INRS ED 795 et rappelées ci-

Financé par



dessous.

Distances minimales conseillées

Emplacements	Distance (m)	voir figure 7
<i>Entre l'écran de la sorbonne et :</i>		
<input type="checkbox"/> une voie de circulation habituelle	1	a
<input type="checkbox"/> une paillasse parallèle à la sorbonne et utilisée par le même opérateur	1,4	b
<input type="checkbox"/> un mur opposé (ou autre obstacle à l'écoulement de l'air)	2	c
<input type="checkbox"/> l'écran d'une autre sorbonne	3	d
<input type="checkbox"/> une porte dans un mur perpendiculaire à la sorbonne	1	e
<i>Entre l'extrémité de la sorbonne et :</i>		
<input type="checkbox"/> un mur ou autre obstacle perpendiculaire à la sorbonne	0,3	f
<input type="checkbox"/> une colonne placée en avant du plan de l'écran	0,3	g
<input type="checkbox"/> une porte dans un mur parallèle à la sorbonne	0,3	h
<input type="checkbox"/> une paillasse adjacente	1	i

Tableau 10 : distances minimales conseillées (Source INRS)

Financé par



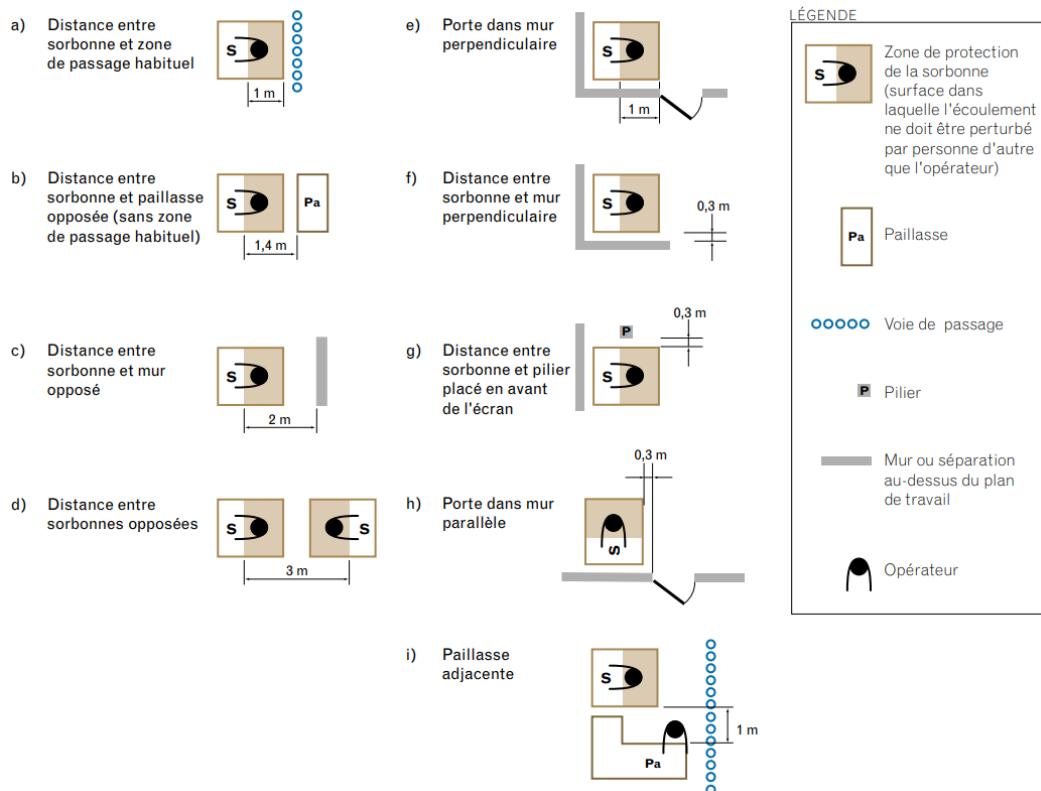


Figure 18 : distances minimales pour éviter les perturbations (Source INRS)

En effet, les activités produites dans le local, telles que la circulation des opérateurs, la proximité d'autres dispositifs de captage..., peuvent générer des courants d'air parasites capables d'influencer le bon fonctionnement des sorbonnes.

8.3 Le réseau de transport aéraulique

8.3.1 Fonction et Configuration

Le réseau de transport aéraulique regroupe les conduites et accessoires (coudes, dérivations, cônes de rétrécissement ou d'élargissement, registres ...) acheminant les effluents pollués depuis les locaux à pollution spécifique vers les dispositifs de filtration et d'évacuation. Il peut être décentralisé (chaque zone dispose de son propre système) ou centralisé (un réseau unique collecte l'air de plusieurs postes).

Financé par

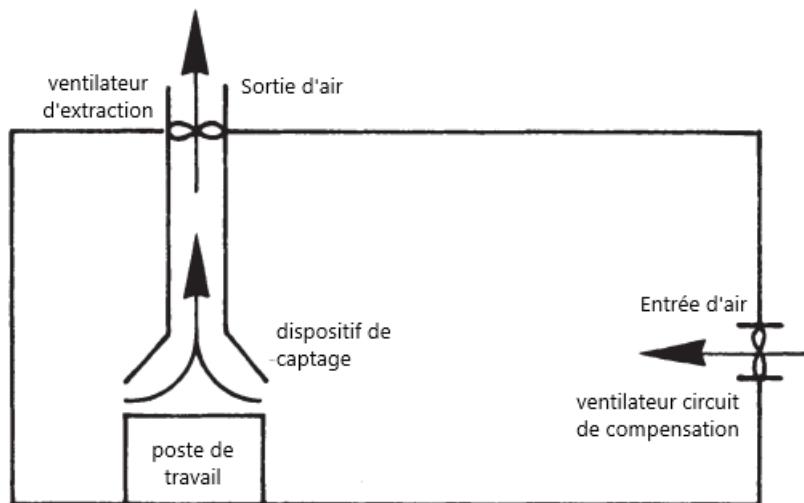


Figure 19 : Schéma d'un dispositif de captage sur poste de travail (Source INRS)

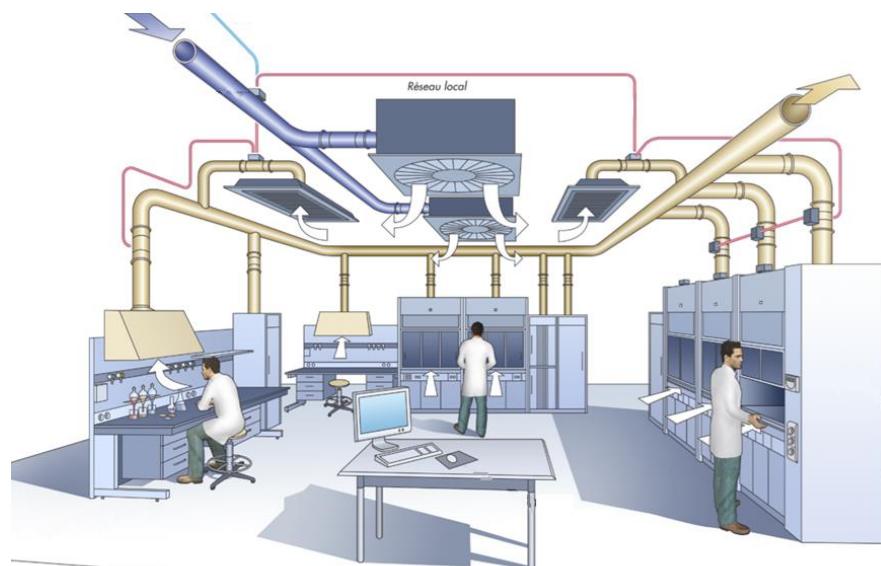


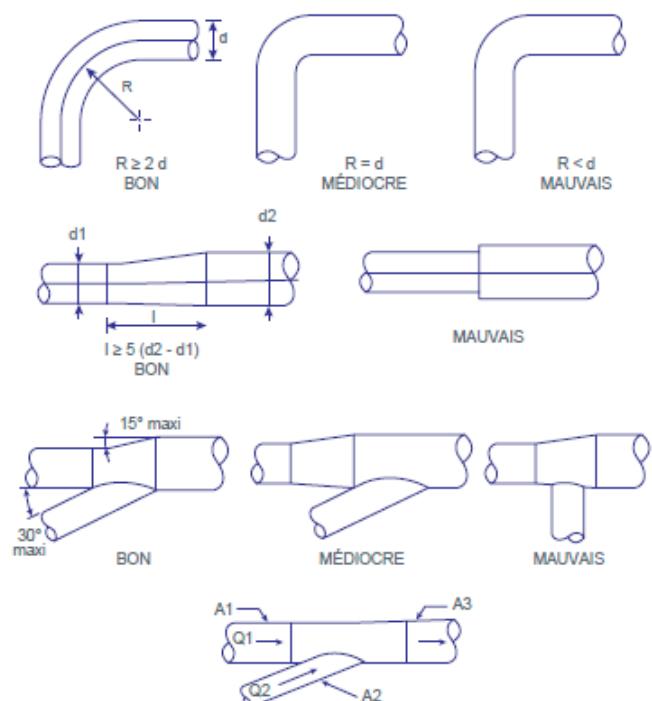
Figure 20 : Schéma général des installations aérauliques d'un laboratoire (Source Irian technologies)

8.3.2 Bonnes pratiques de conception

Pour limiter les pertes de charge et optimiser la consommation d'énergie, il est nécessaire de :

Financé par

- Minimiser la longueur des conduits pour réduire la résistance au passage de l'air,
- Utiliser des matériaux lisses pour diminuer les frottements,
- Limiter les fuites d'air en améliorant l'étanchéité au niveau des raccordements et en remplaçant les gaines percées dues à la corrosion,
- Limiter le nombre de coude et dérivations qui créent des turbulences. Des exemples de composants constituant un réseau aéraulique sont présentés dans la figure suivante (Figure 21). Il est primordial de mettre en place des configurations améliorées de manière à limiter les pertes de charge des circuits aérauliques et par conséquent, optimiser la consommation énergétique des ventilateurs (d'extraction ou de compensation).



$$A3 = \frac{(Q1 + Q2)}{Vt}, \text{ avec } Vt : \text{vitesse minimale de transport}$$

Attention ! ne jamais appliquer une formule du type $A3 = A1 + A2$

Figure 21 : exemples de bonnes pratiques de conception des conduits aérauliques (Source INRS)

Financé par

À titre d'exemple, l'installation d'un coude de très mauvaise conception (coude à 90° sans rayon de courbure) peut représenter l'équivalent d'une perte de charge d'un conduit de longueur 70d (où d, diamètre du conduit). Le remplacement de ce coude brutal à angle droit par un coude de rapport $R/d \geq 2$ représente l'équivalent d'une perte de charge d'un conduit de longueur 10d, soit 7 fois moins.

- Maintenir une vitesse d'air suffisante en gaine pour évacuer correctement les polluants aspirés. Pour des polluants de nature vapeur, gaz, fumées (par exemple des composés organiques volatils), la vitesse de conception en gaine est de 5 à 10 m/s ([3])

Les réseaux de transport peuvent représenter 10 à 30 % de la consommation énergétique du système. Une conception optimisée permet une réduction de 20 % des coûts d'exploitation.

8.4 Récupération de Chaleur dans les systèmes de Ventilation

8.4.1 Principe

Un dispositif de récupération de chaleur est un élément complémentaire d'un système de ventilation, dont l'objectif principal est l'optimisation énergétique. Contrairement aux autres composants d'un réseau de ventilation, il ne vise pas directement l'assainissement de l'air ou l'élimination des polluants, mais plutôt l'efficacité énergétique.

Son principe repose sur l'exploitation de la chaleur contenue dans l'air extrait afin de la réutiliser pour préchauffer ou refroidir l'air neuf entrant dans le bâtiment. Ainsi, il permet de limiter la consommation énergétique associée au chauffage ou au refroidissement des locaux.

Financé par

8.4.2 Les différentes méthodes de récupération de chaleur

8.4.2.1 Le recyclage direct de l'air extrait

Dans cette approche, une partie de l'air extrait du local est réintroduite après épuration, permettant ainsi de récupérer son énergie thermique.

Les avantages sont :

- Une économie d'énergie importante, car l'air réintroduit conserve une température proche de celle du local,
- Une réduction de la puissance de chauffage nécessaire,
- Une solution simple à mettre en œuvre dans certaines installations.

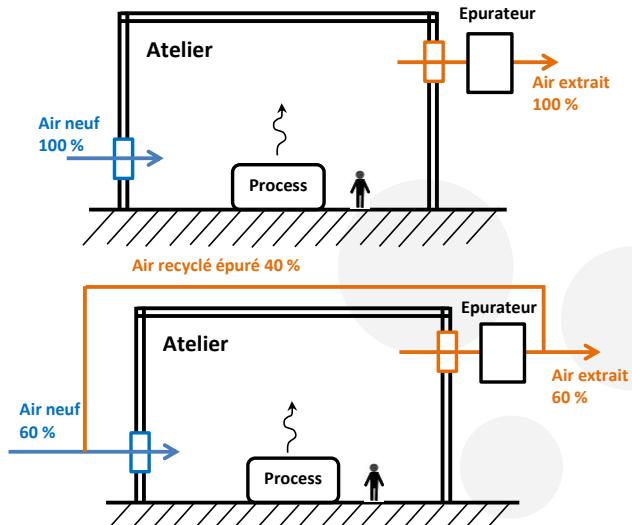


Figure 22 : Exemple d'un local avec et sans recyclage direct d'air

Les contraintes et réglementations :

La réglementation (voir section 10) impose des exigences strictes en matière de qualité de l'air recyclé en fonction du type de local ; local à pollution spécifique ou non spécifique.

Financé par

8.4.2.2 La récupération indirecte via un échangeur thermique

- **Principe et applications**

La récupération de chaleur est une technique permettant de réutiliser l'énergie thermique contenue dans l'air extrait des bâtiments afin d'optimiser les performances énergétiques et de réduire les coûts liés au chauffage.

Dans de nombreux systèmes de ventilation, l'air évacué conserve une part significative de chaleur, qui peut être exploitée pour préchauffer l'air neuf entrant. Cette approche contribue à une meilleure efficacité énergétique tout en limitant les pertes thermiques.

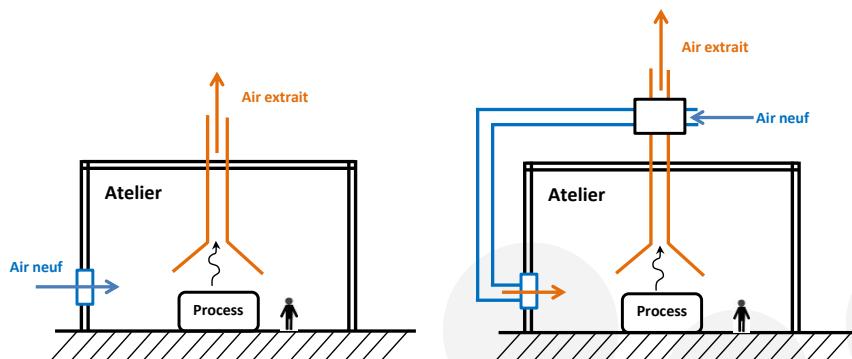


Figure 23 : Exemple d'un local sans et avec récupération de chaleur par échangeur thermique

- **Les différents systèmes de Récupération de Chaleur**

Il existe plusieurs technologies permettant de récupérer et de valoriser la chaleur de l'air extrait :

- a. Échangeurs air-air :

Ces dispositifs permettent un transfert direct de chaleur entre l'air extrait et l'air neuf sans mélange des flux. On distingue :

- **Les échangeurs à plaques** : Composés de parois conductrices étanches, ils permettent un échange thermique efficace sans contact entre les flux d'air. La circulation croisée de l'air ainsi qu'un taux de brassage important permet une récupération de l'ordre de 40 à 60%. Plusieurs configurations existent :

Financé par

- à courants croisés : les fluides sont positionnés perpendiculairement l'un à l'autre.
- À contre-courant : les fluides sont disposés parallèlement l'un à l'autre et circulent dans une direction opposée.
- À co-courant : les fluides sont disposés parallèlement l'un à l'autre et circulent dans le même sens.

Ces échangeurs présentent les caractéristiques suivantes :

- Températures d'emploi : jusqu'à 200°C à 300°C
- Avantages : bon rendement, simplicité, aucune dépense énergétique pour le fonctionnement, réversibilité
- Désavantages : sensible à l'encrassement, faible rendement en été. Pas de sécurisation dans le cas de fluide à caractère corrosif susceptible de percer la paroi de séparation entre le fluide primaire et secondaire.

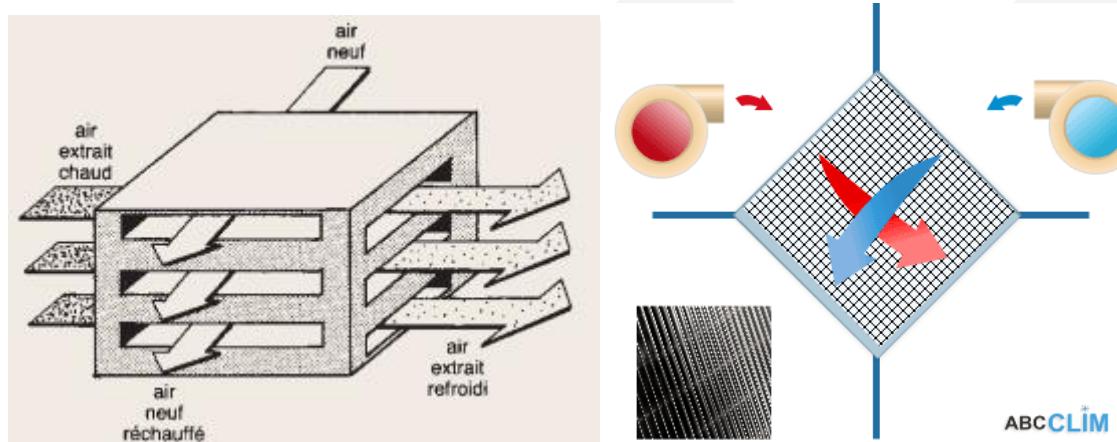


Figure 24 : Schémas d'un échangeur à plaques (Sources INRS, ABCclim)

- Les échangeurs rotatifs (ou roues thermiques) : il s'agit d'échangeurs de type air/air. Un tambour en matériau accumulant la chaleur tourne entre les

Financé par

deux flux d'air, transférant progressivement la chaleur de l'air vicié vers l'air frais. Ces échangeurs présentent les caractéristiques suivantes :

- L'efficacité de ce dispositif est de 70 à 80% (source INRS ED657).
- Températures d'emploi : jusqu'à 350°C
- Avantages : très bon rendement, faible dépense énergétique pour le fonctionnement, réversibilité, régulation facile, possibilité de transfert de masse d'eau avec média hygroscopique
- Désavantages : Assez encombrant, sensible à l'encrassement, nécessite un entretien régulier. Étanchéité parfaite non garantie dans le cas d'effluent pollué (non adapté aux effluents de type COV).

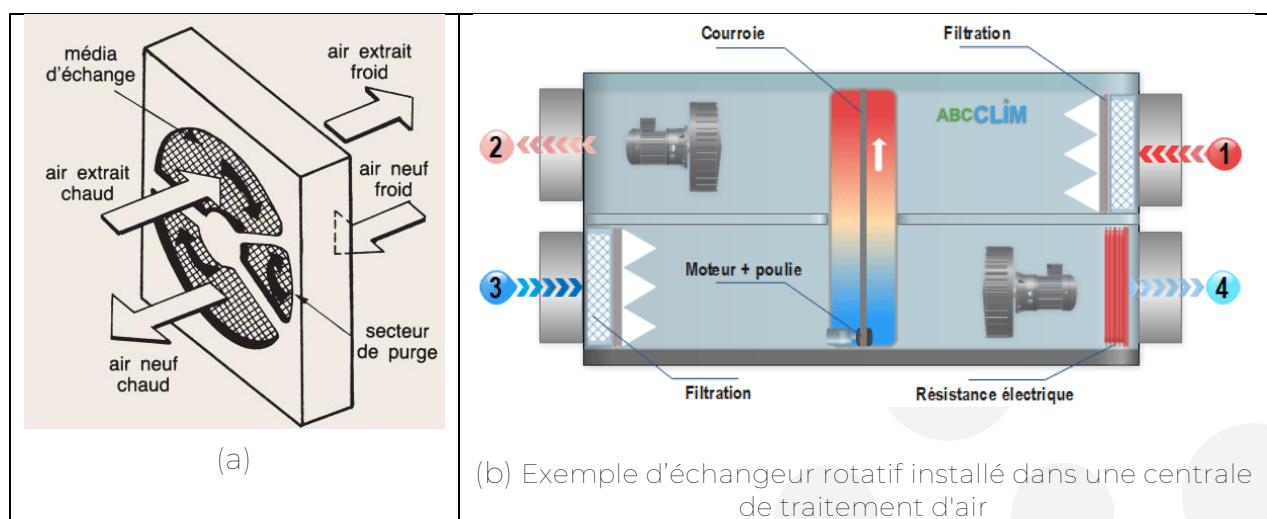


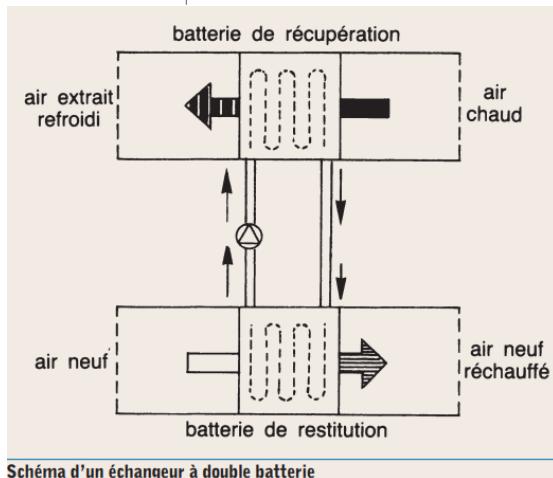
Figure 25 : Schémas d'un échangeur rotatif (Sources (a) INRS, (b) ABCCLIM)

b. Batteries de récupération de chaleur :

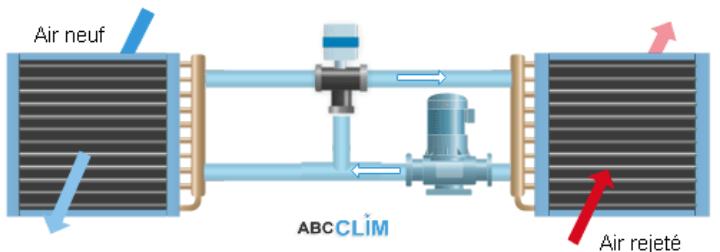
La figure suivante (Figure 26) présente un circuit hydraulique comportant deux batteries à ailettes ; l'une sur l'air extracté, l'autre sur l'air neuf. Dans ce circuit, on fait circuler, grâce à une pompe, un fluide caloporteur (comme l'eau ou un fluide frigorigène) pour capter la chaleur de l'air extracté et la transporter vers un autre point du système de ventilation. Une vanne trois voies est utilisée pour assurer la régulation. Ce dispositif présente les avantages et désavantages suivants :

Financé par

- Avantages : les caissons d'air peuvent être distants permettant d'acheminer la chaleur sur de grandes distances
- Désavantages : rendement plus faible 50% maximum



(a)



(b)

Figure 26 : Schéma d'échange avec deux batteries et un circuit hydraulique intermédiaire
(Sources (a) INRS, (b) ABCCLIM)

c. Pompes à chaleur (PAC) sur air extrait :

À l'image du cas précédent, ce système capte les calories contenues dans l'air évacué et les valorise pour produire du chauffage ou de l'eau chaude sanitaire. Les pompes à chaleur ont la capacité de rehausser la température du fluide récupéré en utilisant les calories disponibles dans l'air. Ces PAC peuvent être réversibles et produire du froid en été.

Le principal avantage de cette solution est son rendement énergétique qui est

Financé par

compris entre 3 et 5 usuellement. La solution est en contrepartie plus onéreuse en termes de CAPEX (équipement coûteux) et d'OPEX (maintenance et consommation électrique auxiliaire).

- **Les bénéfices de la récupération de chaleur**

L'intégration d'un dispositif de récupération de chaleur présente plusieurs avantages majeurs :

- Une réduction de la consommation énergétique : En limitant les pertes de chaleur et en réutilisant l'énergie déjà présente dans le bâtiment, la demande en chauffage diminue, ce qui permet de réaliser des économies significatives.
- Une amélioration du confort thermique : Grâce à un meilleur contrôle de la température intérieure, la sensation de bien-être des occupants est renforcée, évitant les variations brusques de température.
- Une diminution des émissions de gaz à effet de serre : En consommant moins d'énergie pour le chauffage, les bâtiments équipés d'un tel système participent à une réduction des émissions de CO₂, contribuant ainsi à une approche plus durable. Par exemple, un système de récupération par PAC permet d'électrifier la part chauffage du conditionnement des locaux tout en garantissant une efficacité énergétique maximale.
- Une optimisation des coûts d'exploitation : En réduisant la facture énergétique, la récupération de chaleur représente une solution économiquement rentable sur le long terme, mais qui nécessite toutefois un investissement initial significatif.

Un exemple concret avec la mise en place d'un système de récupération de chaleur sur un site industriel pharmaceutique est présenté sur le lien suivant :

<http://www.ventilation-industrie.fr/realisation-2>

L'étude a montré :

- Une réduction de 13 % de la consommation de gaz.
- Une diminution des émissions de CO₂ d'environ 1 000 tonnes/an.

Financé par



D'une manière générale, chaque situation de récupération de chaleur est particulière. Il est conseillé de réaliser une étude préalable pour choisir la technologie d'échangeur et le mode de transfert de chaleur le plus adaptée.

8.5 Déstratification de l'air

Dans les locaux avec une grande hauteur sous plafond, l'air chaud a tendance à s'accumuler en hauteur, créant un déséquilibre thermique (le gradient de température entre le plafond et le sol est important). Pour y remédier, l'installation de déstratificateurs permet de :

- Rediriger l'air chaud vers le bas, assurant une température homogène et une limitation des pertes de chaleur par le toit.
- Limiter les pertes énergétiques, réduisant ainsi la consommation de chauffage
 - jusqu'à 30 % d'économies sur le coût du chauffage (selon EDF R&D)

(Source : https://www.edf.fr/entreprises/le-mag/le-mag_entreprises/conseils-energie-competitivite/pourquoi-s-equiper-d-un-destratificateur-d-air)

Cependant, leur usage doit être bien maîtrisé :

- Si des polluants sont présents, ces ventilateurs risquent de rabattre les substances nocives vers les salariés.
- Ils ne doivent pas perturber les systèmes de captage, car une circulation d'air trop forte pourrait réduire l'efficacité d'extraction des polluants.

8.6 Solutions pour limiter les déperditions thermiques

D'autres techniques peuvent être mises en place pour optimiser la gestion de la chaleur, à savoir, l'installation de :

- Faux plafonds et cloisonnements : ils permettent de réduire le volume à chauffer.
- Sas thermiques : ils limitent les échanges d'air entre différentes zones et réduisent les pertes d'énergie.

Financé par

8.7 Conclusion sur l'optimisation énergétique

L'amélioration de l'efficacité énergétique des locaux à pollution spécifique repose sur une combinaison de solutions :

1. Récupération de chaleur via des échangeurs thermiques.
2. Déstratification de l'air pour homogénéiser la température.
3. Optimisation des volumes chauffés grâce aux cloisonnements et faux plafonds.
4. Ventilation au plus juste. Les volumes ventilés seront définis en fonction des besoins et des usages.

Ces stratégies permettent de réduire la consommation énergétique, d'améliorer le confort thermique et de garantir un environnement de travail sécurisé.

9 Le système de régulation

9.1 Importance de la régulation

La régulation d'un système de ventilation vise à ajuster le débit d'air en fonction des besoins réels, garantissant ainsi :

- Un air sain et conforme aux réglementations pour le personnel.
- Une réduction de la consommation énergétique en limitant le chauffage et l'alimentation des ventilateurs.
- Un fonctionnement optimisé en s'adaptant aux variations de production et aux conditions environnementales.

Sans régulation, les systèmes fonctionnent souvent en débit constant, entraînant des gaspillages énergétiques.

9.2 Critères de régulation et fonctionnement

Un système de régulation performant doit assurer un équilibre entre :

Financé par

- Sécurité sanitaire : le but est d'assurer une ventilation suffisante pour l'élimination des polluants.
- Efficacité énergétique : le but est d'optimiser les débits d'air pour limiter la consommation électrique et thermique.

Deux types d'installations existent :

- Installation Non Régulée (fonctionnement à Débit fixe)
 - L'installation fonctionne avec un débit constant, défini selon les pires conditions d'émission de polluants.
 - Elle assure la sécurité sanitaire, mais ne prend pas en compte les variations de production, entraînant une surconsommation d'énergie.
- Installation Régulée (fonctionnement à Débit Variable)
 - Le débit est ajusté en temps réel grâce à des capteurs mesurant les besoins réels en ventilation.
 - Priorité à la sécurité sanitaire, tout en optimisant la consommation d'énergie.
 - Intégration d'un système de supervision pour surveiller les performances et les économies d'énergie réalisées ainsi que le respect des exigences sanitaires. Des dispositifs de sécurité redondants devront être prévus.

Un système régulé permet des économies de 30 à 60 % par rapport à une installation non régulée.

9.3 Technologies et capteurs de régulation

Pour adapter le débit d'air, différents capteurs et automatismes sont utilisés comme décrit le tableau suivant.

Ces capteurs permettent une régulation automatique qui réduit le fonctionnement des ventilateurs lorsque la ventilation maximale n'est pas

Financé par

nécessaire.

Paramètre surveillé	Type de capteur	Utilité
Température extérieure et intérieure	Thermomètres, sondes	Ajustement du confort thermique
Qualité de l'air	Capteurs de CO ₂ , poussières, gaz	Détection des polluants et ajustement du débit
Activité et horaires	Mesure électrique, horloges	Ventilation adaptée aux heures de production
Charge de production	Détecteurs de tonnage produit	Ajustement du débit en fonction de l'intensité du procédé

Figure 27 : Capteurs et automatismes adaptés

9.3.1 Pilotage de la Ventilation dans les locaux à pollution non spécifique

Le pilotage des installations de ventilation dans les locaux à pollution non spécifique (bureaux, salles de réunion...) doit permettre d'adapter l'apport d'air neuf en fonction des besoins réels des occupants. L'objectif est d'optimiser la qualité de l'air tout en réduisant la consommation énergétique.

Le pilotage de la ventilation peut être réalisé sur la base des deux paramètres suivants :

- Une programmation horaire : la ventilation fonctionne selon des plages horaires prédéfinies.
- L'utilisation de capteurs associés à des automates « intelligents » : des capteurs filaires ou connectés (voir capteurs décrits dans le paragraphe ci-dessus) mesurent en temps réel des paramètres comme la concentration en dioxyde de carbone (CO₂), la température ambiante, l'hygrométrie liés à la présence des occupants. Ces informations permettraient un ajustement automatique du débit d'air neuf.

Cette gestion par pilotage de la ventilation permettrait d'obtenir une réduction

Financé par

significative des besoins en renouvellement d'air.

Par exemple, pour des laboratoires de R&D fonctionnant aux horaires de bureau classiques, la ventilation à plein régime (7j/7 - 24h/24) peut être réduite de 168 heures par semaine à seulement 42 heures, soit une diminution d'un facteur 4 (cas idéal).

En complément de la ventilation, il serait utile de gérer de manière anticipée le chauffage et la climatisation pour garantir un confort optimal dès l'arrivée du personnel. Cette gestion optimisée devra prendre en compte :

- Les conditions extérieures ; la température et l'hygrométrie,
- L'inertie thermique du bâtiment (sa capacité à retenir ou à dissiper la chaleur). Ce type de dispositif intègre des modèles de bâtiment très élaborés ainsi que des capteurs judicieusement distribués. Dans le cas de locaux à fort renouvellement d'air, l'inertie du bâtiment est généralement moins prépondérante.

La mise en place d'un système intelligent qui tient compte de ces paramètres permettrait d'optimiser le démarrage des installations et limiter la consommation excessive d'énergie.

9.3.2 Pilotage de la Ventilation dans les locaux à pollution spécifique

Dans les locaux à pollution spécifique (laboratoires, industries, ateliers de fabrication, etc.), les installations de ventilation doivent être adaptées en fonction des émissions de polluants générées par les procédés en cours.

Un pilotage intelligent permettrait d'ajuster la consommation d'air en fonction de l'utilisation des équipements, optimisant ainsi l'efficacité du captage des polluants.

Le pilotage nécessite la mise en place de capteurs étalonnés capables de mesurer en continu ou périodiquement plusieurs paramètres tels que :

- La température de l'air,
- L'hygrométrie,

Financé par

-
- La pression atmosphérique,
 - La concentration en dioxyde de carbone (CO₂),
 - La présence de gaz dangereux tels que le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniac (NH₃) ou le sulfure d'hydrogène (H₂S)
 - La dépression des locaux
 - Les débits d'extraction et de compensation...

Des exemples de capteurs sont présentés dans les tableaux suivants (liste non exhaustive) :

Financé par



Paramètres à mesurer	Exemples de capteurs
Pression différentielle Température Hygrométrie CO ₂	<p>Exemples de capteurs</p>  <p>① : Capteur-transmetteur multifonction avec module de pression différentielle incluse (Sauermann) ② : Sonde chauffée d'hygrométrie/température (Sauermann) ③ : Sonde CO₂ (Sauermann)</p>
Pression différentielle pour salles blanches	 <p>④ : CP 210-R (Sauermann) ⑤ : FCO342 (Furness Controls)</p>

Tableau 11 : Exemples de capteurs de mesure

Financé par

<p>O₂ Et Gaz toxiques H₂S, CO, NH₃, CH₄, NO₂</p>	 <p>⑥</p>	 <p>⑦</p>
	 <p>⑧</p>	 <p>⑨</p>

Tableau 12 : Exemple de capteurs de surveillance de gaz

Financé par

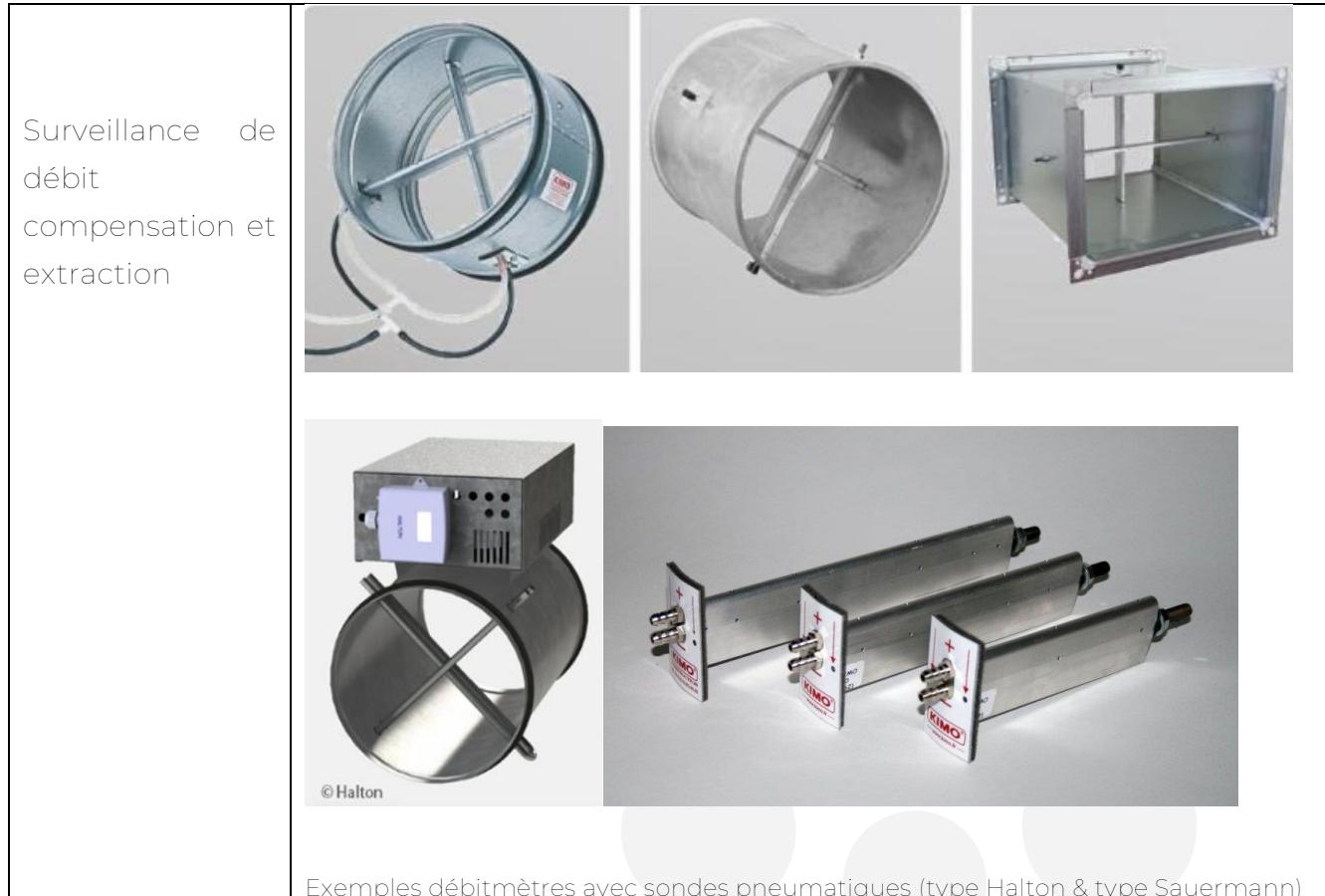


Tableau 13 : exemples de capteurs de surveillance de débit d'air

9.3.2.1 Application sur les sorbonnes

La figure suivante présente un exemple de système de régulation de débit (www.halton.com) adapté à un équipement de laboratoire.

Financé par

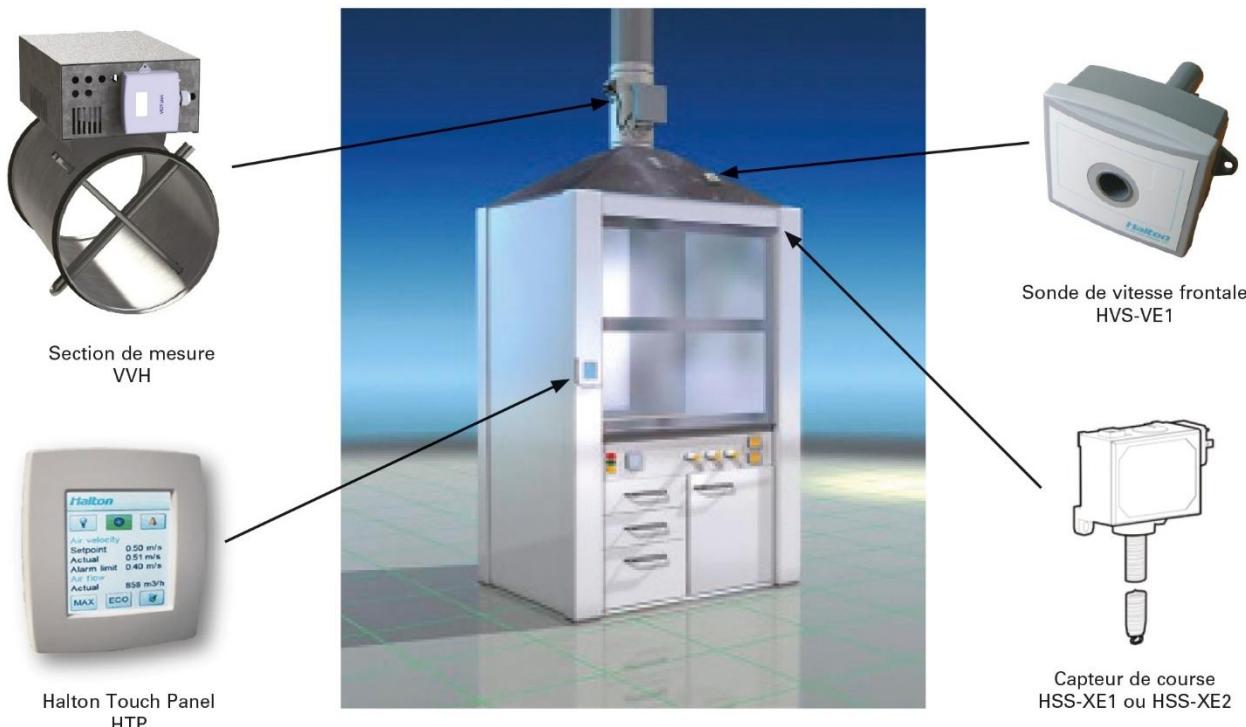


Figure 28 : Dispositif de régulation de débit installé sur équipement de laboratoire (Source Halton)

La sorbonne est équipée des instruments suivants :

- Un régulateur permettant la régulation de vitesse/débit raccordé à une électronique,
- Un capteur de course de la vitre frontale,
- Une sonde de vitesse frontale.

En fonction de l'application (course de la vitre frontale), le débit d'extraction est ajusté par action sur le variateur de fréquence du ventilateur.

La figure suivante présente de manière plus globale, un exemple de systèmes communicants pouvant être adaptés aux laboratoires pour :

- La gestion des sorbonnes, des hottes et bras avec des exemples de régulateurs,

Financé par

- La gestion de la ventilation du laboratoire en termes de compensation et le renouvellement d'air minimum.

LES SYSTÈMES COMMUNICANTS POUR LE LABORATOIRE

Principe de fonctionnement de la GDA :

La GDA (Gestion des débits d'air) est un concept électronique permettant la gestion des différents flux d'air présents dans un laboratoire ou plus généralement dans une pièce. Le but final étant de maintenir un équilibre aéronautique permettant un fonctionnement optimal des différents matériels et mobiliers du laboratoire.

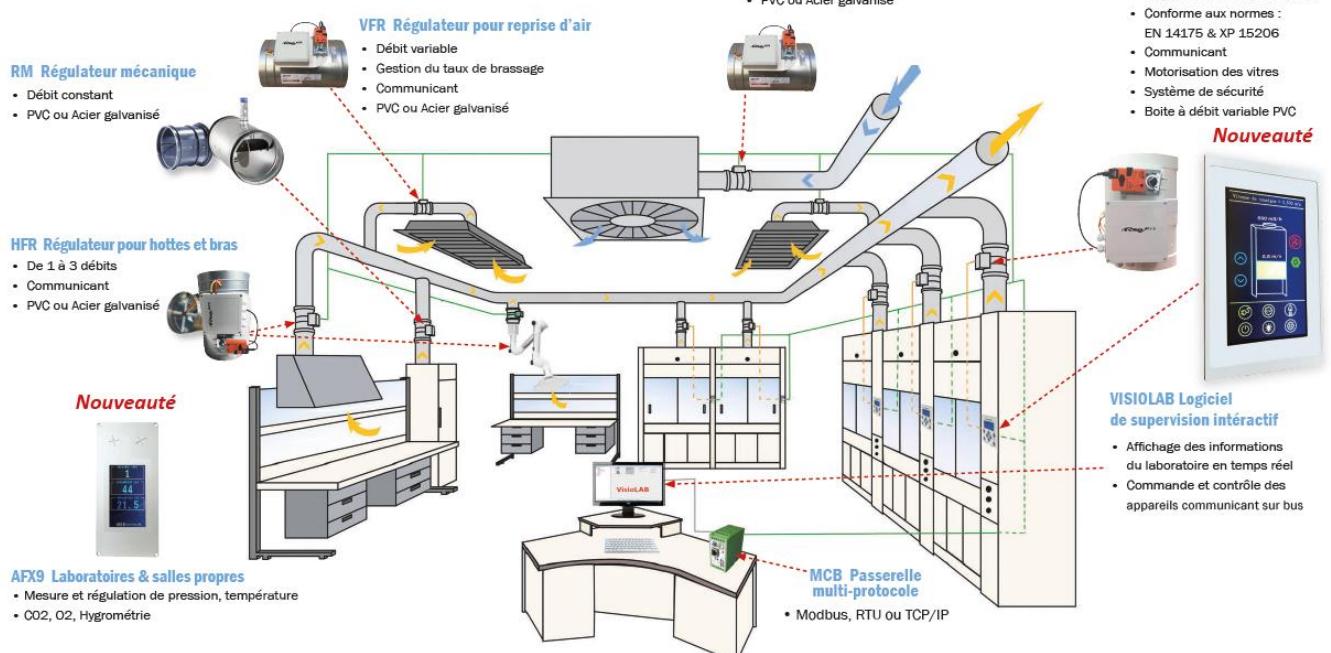


Figure 29 : Systèmes communicants pour les laboratoires (Source Proteklabofrance)

9.3.2.2 Recommandations et perspectives

Pour obtenir une régulation efficace, il est conseillé de :

- Intégrer des capteurs de surveillance pour ajuster le débit en temps réel.
- Utiliser un variateur électronique de vitesse (VEV) pour moduler la puissance des ventilateurs.
- Mettre en place un système de supervision pour suivre les performances et garantir les économies d'énergie.
- Former les opérateurs pour assurer une bonne compréhension et pérennité du système.

Financé par

10 Recyclage d'air

10.1 Objectifs et bénéfices du recyclage de l'air

Le recyclage de l'air consiste à épurer l'air extrait d'un local avant de le réintroduire dans ce même espace ou dans un local voisin. Cette technique présente plusieurs avantages :

- Réduction des pertes énergétiques liées au renouvellement de l'air, limitant ainsi la consommation énergétique,
- Amélioration du confort thermique en limitant les variations de température,
- Optimisation de la consommation d'énergie des systèmes de ventilation et de chauffage
- Coût d'investissement plus faible qu'un échangeur thermique.

Avertissement : Cependant, son utilisation est soumise à des contraintes réglementaires strictes, visant à assurer la sécurité des occupants et à prévenir les risques liés à la qualité de l'air intérieur.

10.2 Recyclage dans les locaux à pollution non spécifique

La réglementation repose sur :

- Les Articles R. 4222-3, R. 4222-8 et R. 4222-9 du Code du travail,
- La Circulaire du 9 mai 1985 relative aux commentaires techniques des décrets n° 84-1093 et 84-1094 du 7 décembre 1984 concernant l'aération et l'assainissement, commentaires de l'article R. 232-5-4 devenu article R. 4222-8 du Code du travail.

Dans les locaux à pollution non spécifique (bureaux, salles de réunion, établissements scolaires, commerces, etc.), le recyclage de l'air est soumis à des conditions strictes :

- L'air recyclé doit être filtré pour éliminer les impuretés et assurer un

Financé par



environnement sain.

- En cas de panne du système de filtration ou d'épuration, le recyclage doit être immédiatement arrêté afin d'éviter la contamination de l'air ambiant.
- Le recyclage de l'air ne doit en aucun cas dégrader la qualité de l'air intérieur et doit respecter les réglementations en vigueur sur la concentration des polluants.
- Il est interdit d'envoyer après recyclage l'air provenant d'un local à pollution spécifique dans un local à pollution non spécifique. Cette interdiction empêche la propagation de polluants dangereux (gaz toxiques, micro-organismes pathogènes, poussières, etc.) vers des espaces où la ventilation n'est pas conçue pour traiter ces contaminants.

10.3 Recyclage dans les locaux à pollution spécifique

Les conditions applicables aux installations de recyclage sont définies par les articles R. 4222-14 à R. 4222-17 du Code du travail et le document INRS TJ5. Les installations de recyclage ne doivent pas fonctionner hors des périodes de climatisation ou de chauffage.

Pour mettre en place une installation de recyclage conforme, plusieurs conditions doivent être remplies :

- Identification précise des polluants : Tous les contaminants présents dans l'atmosphère de travail doivent être connus avec exactitude.
- Évaluation de l'efficacité du système d'épuration : Il est nécessaire de mesurer la performance du dispositif pour chaque polluant traité.
- Détection des dysfonctionnements : Un système de surveillance doit être installé pour signaler toute anomalie du dispositif d'épuration.
- Mise en place d'un bypass : Un dispositif permettant d'évacuer directement l'air à l'extérieur sans recyclage doit être prévu en cas de défaillance du système.

Cette mise en conformité est particulièrement complexe, sauf dans des cas très

Financé par

spécifiques où un seul polluant est présent et peut être surveillé en continu grâce à un détecteur fiable.

En plus de ces conditions, les systèmes de recyclage nécessitent un entretien strict et un suivi régulier, incluant :

- Un contrôle obligatoire tous les 6 mois pour vérifier leur bon fonctionnement.
- Une maintenance rigoureuse de l'installation afin d'éviter tout risque d'exposition des occupants aux substances dangereuses.

Cependant, en pratique, ces exigences sont souvent mal appliquées dans les entreprises, ce qui peut compromettre à la fois l'efficacité du recyclage et la sécurité des travailleurs. C'est pour cette raison que le recyclage de l'air dans les locaux à pollution spécifique est proscrit.

Financé par

