

## Les VENTILATEURS de DÉSENFUMAGE, CAISSONS de VMC et MOTEURS

La sécurité Incendie des bâtiments, et en particulier des établissements recevant du public (ERP) ou des immeubles de grande hauteur (IGH), est basée sur un certain nombre de concepts dont le compartimentage et le désenfumage.

Ces deux fonctions complémentaires sont toutefois interdépendantes quant à leur mise en œuvre sur site. Par ailleurs, les éléments de compartimentage qui visent à rendre étanches des volumes déterminés afin de limiter la propagation du feu, sont malgré tout traversés par des conduits visant à assurer la ventilation ou le désenfumage desdits volumes ou de volumes adjacents, ce qui nuit à leur fonction première de compartimentage.

Le désenfumage est en particulier régi par "l'Instruction Technique n° 246 relative au désenfumage dans les établissements recevant du public". Cette dernière prend en compte les effets d'un désenfumage soit naturel, soit mécanique.

Le désenfumage naturel est généré par la faculté des fumées chaudes à s'élever, tandis que le désenfumage mécanique est généré par l'action des ventilateurs de désenfumage.

Dans le cadre de l'arrêté du 31 janvier 1986 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation, les caissons de ventilation mécanique contrôlée (VMC) peuvent éventuellement participer au désenfumage bien que la performance qui leur est demandée reste inférieure à celle des ventilateurs de désenfumage.

En effet, selon leur capacité à travailler à des températures allant jusqu'à 400°C, ces caissons sont répertoriés selon quatre catégories : C1, C2, C3, et C4.

### Quelques exemples d'exigences réglementaires :

- Pour les IGH (circulaires du 07/06/1974 relatives au désenfumage dans les IGH - JO du 31/07/74), l'exigence réglementaire est de 400°C/2 h.
- Pour les ERP (IT 246 - article 4.7.1), l'exigence réglementaire est de 400°C/1 h.
- Pour les bâtiments d'habitation (arrêté du 31/01/86), les exigences réglementaires sont :
  - 400°C/1 h (article 37)
  - C1 à C4 (article 60 et annexe 2)
- Pour les parcs de stationnement : diverses instructions techniques ou arrêtés, l'exigence réglementaire est de 200°C/1 h.

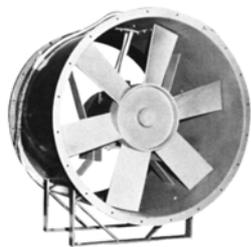
## LES DIFFERENTES FAMILLES DE VENTILATEURS DE DÉSENFUMAGE

On distingue deux grandes familles d'appareils :

- les ventilateurs axiaux ou hélicoïdes, dans lesquels le passage du flux aéraulique se fait sans changement de direction ;
- les ventilateurs centrifuges dans lesquels le flux se fait avec changement de direction.

### VENTILATEURS HÉLICOÏDES

Ces appareils se composent d'une virole en tôle à l'intérieur de laquelle est installé un moteur électrique supportant le plus souvent directement une hélice (voir plan 1 et photo A). Dans quelques cas, l'hélice peut être supportée par un arbre, lui même supporté par des paliers fixés sur une chaise ; cette dernière recevant le moteur.



Plan 1 - Ventilateur hélicoïdal



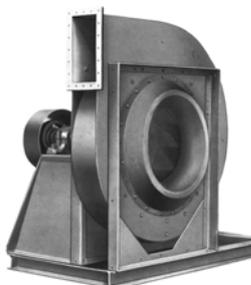
Photo A  
(Doc. CTICM)

Le moteur se trouve, soit dans le flux des gaz chauds, soit protégé par un caissonnage mis à l'air libre ou refroidi par une ventilation extérieure. Dans ce cas, ces appareils sont dits "bifurqués".

### VENTILATEURS CENTRIFUGES

Ils se composent d'une enveloppe contenant une roue ou turbine dite "à action" ou "à réaction" selon l'orientation des aubes par rapport au sens de rotation.

Ces turbines peuvent être portées soit directement en extrémité d'axe moteur, ce dernier étant installé latéralement sur une chaise porteuse extérieure à l'enveloppe, soit par un arbre soutenu par des paliers et entraîné par une transmission par courroie, le moteur étant placé à l'extérieur sur le châssis du ventilateur (voir plan 2 et photo B).



Plan 2 - Ventilateur centrifuge



Photo B  
(Doc. CTICM)

Ces appareils comportent une section circulaire d'admission de gaz située selon l'axe de rotation de la turbine, et une section rectangulaire de refoulement dont l'axe est perpendiculaire à celle d'admission.

### **Caissons de désenfumage et de VMC**

Il s'agit en fait de ventilateurs centrifuges intégrés dans un caisson de protection visant, d'une part à améliorer les performances acoustiques, et d'autre part à permettre les entrées ou sorties multiples de gaz chauds selon différentes directions.

**Remarque :** *Devant l'incertitude de l'état du réseau aéraulique VMC (nombre de bouches ouvertes ou fermées) au moment de l'incendie, les caissons VMC sont généralement équipés de roues à action afin de pouvoir absorber des variations importantes des débits extraits en maintenant une dépression relativement constante.*

### **Tourelles**

Ces appareils de type centrifuge, installés généralement en toiture, se composent d'un pavillon d'aspiration et d'une platine supportant l'ensemble moteur/turbine.

Un capotage assure la protection contre les agressions atmosphériques.

Sur la même base mécanique, le refoulement des tourelles peut être, soit horizontal, soit vertical, grâce à des déflecteurs (voir plan 3 et photo C - prises après essai).

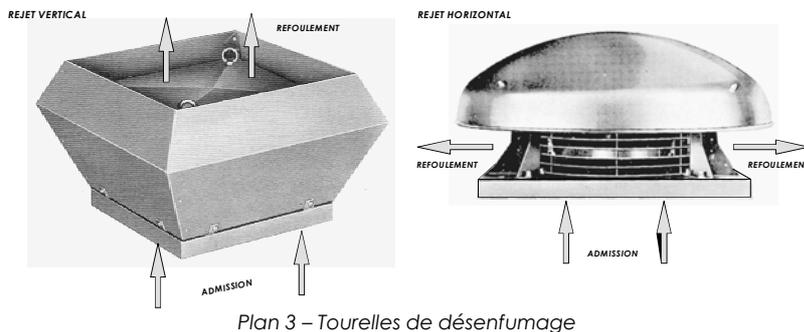


Photo B  
(Doc. CTICM)

### **CARACTERISTIQUES des VENTILATEURS de DÉSENFUMAGE**

Le choix des ventilateurs de désenfumage devra se faire en fonction des applications et des implantations possibles sur site ainsi que des débits demandés pour une pression donnée. C'est pourquoi chaque appareil est défini par sa courbe caractéristique débit/pression sur laquelle peuvent être indiquées des notions de puissance électrique nécessaire pour différents angles de calage de pale (appareils hélicoïdes), des indications de performances acoustiques, etc.

Les débits proposés peuvent varier de quelques dizaines de mètres cubes/heure pour les caissons VMC à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes/heure pour les ventilateurs hélicoïdes.

## ESSAIS DE RESISTANCE AU FEU ET CLASSEMENTS DES VENTILATEURS DE DESENFUMAGE, CAISSONS DE VMC ET MOTEURS

Les essais de résistance au feu de ces appareils sont définis dans l'annexe VII de l'arrêté du 3 août 1999 du Ministère de l'Intérieur.

Ils visent à vérifier que les ventilateurs peuvent assurer pendant une durée de temps déterminée (1/2 h pour les caissons VMC, 1 h ou 2 h pour les autres appareils) une extraction de gaz chauds à une température donnée (200 °C - 400 °C ou autre) et ce, sans diminution de plus de 10 % entre le débit volumique mesuré à froid et le débit mesuré à chaud.

### **Remarques :**

- *Pour les ventilateurs centrifuges, le débit testé doit être le maximum possible pour l'appareil.*
- *Pour les caissons VMC, le débit testé tient compte des taux de dilution prévus lors de leur installation, ce qui se traduit par sa classe : C1, C2, C3 ou C4.  
Il est communément admis que l'essai d'un appareil classe C4, testé sous 1050 m<sup>3</sup>/h, à 400°C pendant 30 minutes (pour un diamètre de bouche de 160 mm) permet de couvrir toutes les classes inférieures : C1, C2 et C3.*
- *Pour les ventilateurs hélicoïdes, le débit testé est celui pour lequel, selon la courbe débit-pression, la pression totale mesurée à l'essai est de 75 % de la pression totale maximale possible pour l'appareil.  
Cette clause permet, par convention, en un seul essai, de vérifier la tenue mécanique du moyeu et des pales.*

Les appareils sont testés en extrayant des gaz chauds des fours d'essais et, en fonction des débits demandés, soit en les rejetant à l'extérieur, soit en les recyclant afin d'obtenir des débits plus importants.

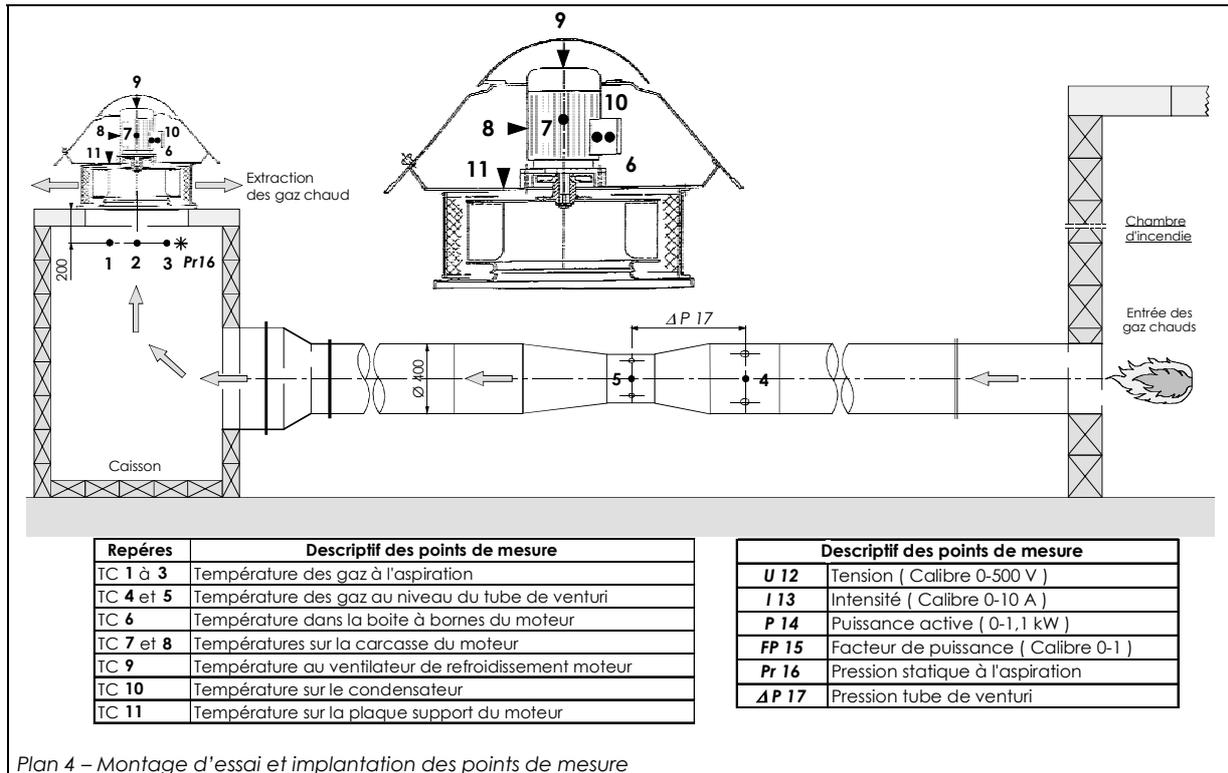
Les plans 4 et 5 montrent des exemples types d'installation d'essai pour des tourelles et pour des ventilateurs hélicoïdes avec recyclage.

Les installations d'essais du CTICM permettent de réaliser des essais portant sur des caissons VMC de débit faible (quelques dizaines de mètres cubes/heure), mais également des essais sur des ventilateurs hélicoïdes de grandes dimensions et de forte puissance ce qui, dans le cas de recyclage de gaz chauds, permet de n'avoir pratiquement aucune limite de débit à 200 °C ou 400 °C. La seule limite étant l'encombrement physique des appareils et des tubulures de recyclage des gaz chauds.

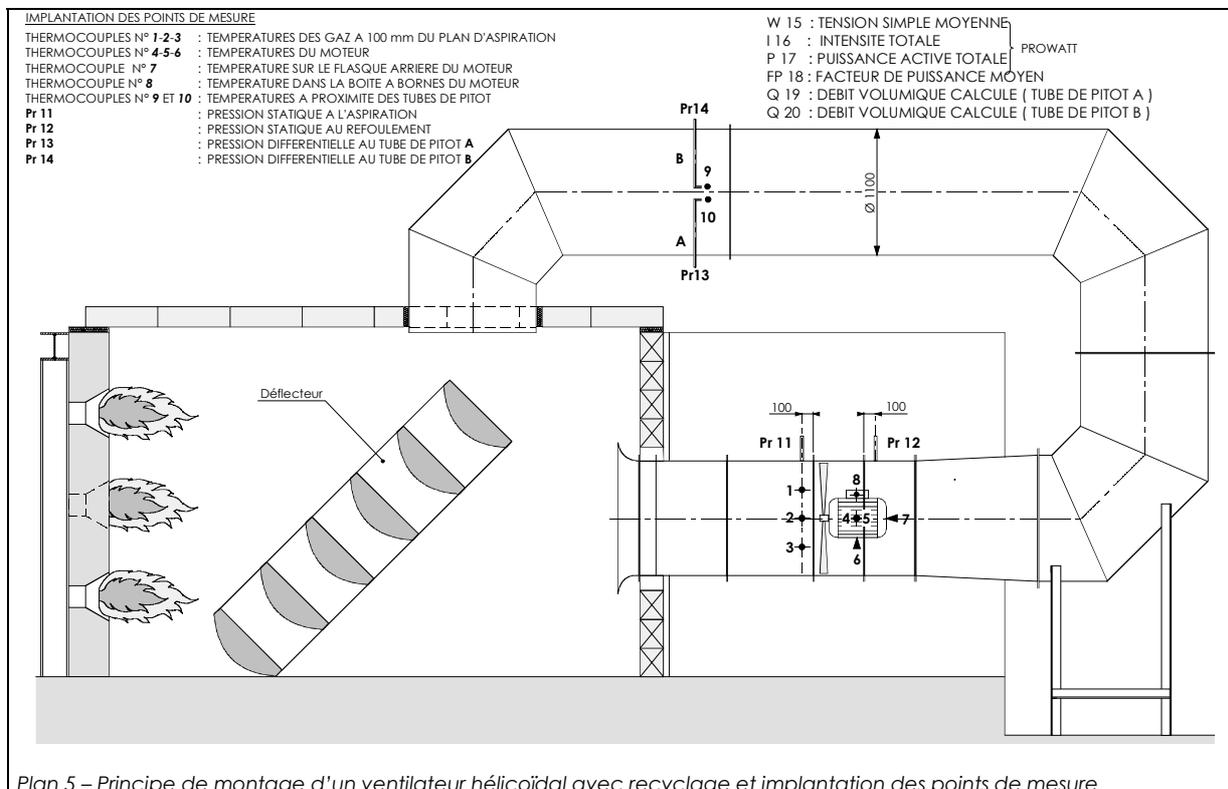
### **Exemple :**

*Essais de ventilateurs de Ø 2100 mm extrayant des gaz à raison de 450 000 m<sup>3</sup>/h à 400°C pour une puissance électrique installée d'environ 400 kW.*

Les classements prononcés pour un appareil donné peuvent être étendus à d'autres appareils de la gamme selon quelques règles précises définies dans l'annexe VII de l'arrêté du 3 août 1999.



Plan 4 – Montage d'essai et implantation des points de mesure



Plan 5 – Principe de montage d'un ventilateur hélicoïdal avec recyclage et implantation des points de mesure

Ces règles visent à comparer certaines caractéristiques des appareils de la gamme par rapport aux mêmes caractéristiques de l'appareil testé, de manière à ce que les contraintes estimées restent inférieures et puissent garantir la pérennité des ventilateurs. Elles portent essentiellement sur :

- les caractéristiques dimensionnelles d'hélices ou de turbines ( $\varnothing$  compris entre 0,4 et 1,5 fois le diamètre testé),
- l'homothétie des turbines,
- la comparaison de diverses constantes visant à vérifier le niveau de résistance des aubes ou pales et de leur système d'assemblage (pincement, soudure, rivetage...).

## POINTS PARTICULIERS

Il faut noter que les textes réglementaires relatifs aux extensions possibles aux différents appareils d'une gamme, à partir d'un essai donné, portent essentiellement sur les éléments tournants (hélices ou turbines).

Toutefois, l'expérience du CTICM dans ce type d'essais a mis en évidence, selon le type de ventilateur, un certain nombre d'autres paramètres sensibles, vis à vis du feu, qui doivent être pris en compte par les constructeurs afin que leurs appareils assurent leur fonction de désenfumage pour les températures supposées être atteintes.

Quelques-uns de ces paramètres sont résumés dans les paragraphes ci-après.

### VENTILATEURS HÉLICOÏDES

Les jeux en extrémité de pale doivent être évalués en tenant compte de leur dilatation et éventuellement des phénomènes de fluage liés au matériau constitutif (essentiellement pour les éléments en alliage d'aluminium). De même, le supportage des ensembles moteur/hélice doit être conçu de telle sorte que leurs dilatations ou déformations ne provoquent pas d'ovalisation de la virole susceptible d'engendrer des frottements au niveau des extrémités de pales et donc éventuellement la destruction de l'hélice. Ces considérations entraînent généralement un jeu important en extrémité de pale préjudiciable au rendement des appareils, mais nécessaire pour assurer leur pérennité en cas d'incendie.

Cette évaluation des jeux se pose également lorsque les appareils sont susceptibles d'être isolés thermiquement (protection extérieure de la virole).

Un essai sur un appareil non isolé permet la pose d'une isolation thermique, sans problème particulier (augmentation de la dilatation de la virole et donc augmentation des jeux), l'inverse n'étant pas vrai.

De plus, les câbles d'alimentation électriques doivent pouvoir supporter, outre leur échauffement propre, celui lié à leur position dans le flux de gaz chauds. De même, les planchers des boîtes à bornes ne doivent pas ramollir ou fusionner (risque de court circuit) pour la température d'essai.

## **VENTILATEURS CENTRIFUGES**

Hormis les problèmes de déformations, liés à la force centrifuge et pouvant provoquer un cintrage du bord d'attaque des aubes, il y a lieu de porter une attention particulière au jeu entre la turbine et le pavillon d'aspiration. En effet ce dernier, soumis à échauffement, peut se déformer et venir frotter sur la turbine provoquant ainsi, soit son blocage, soit, pour le moins, son ralentissement et donc une baisse des performances aérauliques et un échauffement anormal du moteur.

Dans le cas des tourelles, les capots de protection en PVC, ABS ou polypropylène peuvent, s'ils sont mal refroidis, ramollir et venir coiffer les moteurs provoquant ainsi un échauffement anormal (voir photo C). Dans cette optique, et pour les tourelles à jet vertical, il y a lieu de porter attention aux phénomènes de réinjection des gaz chauds extraits dans le circuit de refroidissement du moteur.

Un des points faibles des caissons de désenfumage ou de VMC est leur transmission par courroie. Cette dernière n'est généralement pas prévue pour travailler à des températures au-delà de 100 °C, elle doit donc être associée à un système de refroidissement spécifique "courroie-moteur". Là encore, ces systèmes d'apport d'air frais "parasite" portent atteinte au rendement général de l'appareil.

**Remarques :** *L'installation de ces différents caissons étant réalisée très souvent en toiture, est soumise à des règles acoustiques de plus en plus strictes qui conduit à les enrober de panneaux de laine de roche ou autres mousse synthétiques.*

*Cette opération confine les éléments actifs des caissons, turbines, moteurs, courroies, en bloquant les déperditions calorifiques, et donc en surchauffant ces composant. Elle ne peut se faire sans vérification par essai de résistance au feu.*

## **MOTEURS ÉLECTRIQUES**

Tous les ventilateurs de désenfumage sont entraînés par des moteurs électriques qui, dans certains cas, peuvent être soumis à des contraintes importantes.

Exemple :

- a) les moteurs des ventilateurs axiaux sont directement dans le flux des gaz chauds.
- b) les moteurs des caissons de désenfumage sont installés dans l'enceinte confinée du caisson et soumis à des élévations de températures importantes.

Ces moteurs sont donc l'objet d'essais de résistance au feu, eux aussi définis par l'annexe VII de l'arrêté du 3 août 1999 du Ministère de l'Intérieur.

Les essais sont réalisés, soit en association avec des ventilateurs permettant de faire fonctionner ces moteurs dans des conditions de charge nominale (voir photo D), soit associés à des génératrices pilotées simulant les mêmes fonctions qu'une hélice ou une turbine en recréant les baisses de puissances absorbées dues à l'échauffement des gaz (densité plus faible).

Là encore un certain nombre de règles permet de classer soit des moteurs seuls, soit des gammes de moteurs à condition de tester le plus petit et le plus grand en puissance et que tous les appareils de la gamme soient de fabrication identique.



Photo D  
(Doc. CTICM)

Les classements prononcés (durée de fonctionnement et température) sont donc valables pour une certaine classe d'isolation (isolant bobinage), une classe d'échauffement, des limites de puissance et pour une vitesse de rotation donnée, celle-ci pouvant être éventuellement plus faible.

Par ailleurs, un certain nombre d'autres paramètres dont l'influence au niveau de la résistance au feu est difficilement évaluable doit conduire à des essais spécifiques, il s'agit en particulier :

- du passage des moteurs triphasés en moteurs monophasés ou inversement,
- de leur utilisation selon des fréquences différentes (celles-ci jouant sur la puissance des appareils et leur échauffement en fonction de la nature et qualité des variateurs de fréquence),
- de leur position (axe vertical ou horizontal pouvant influencer sur la pérennité des roulements) et le maintien des composants,
- de la nature des câbles d'alimentation électrique (ceux-ci devront être testés),
- de la présence ou non de boîtes à bornes (influence de la nature des matériaux composant les planchers des boîtes à bornes),
- moteurs bi-vitesses,
- etc.

L'expérience du CTICM dans ce type d'essais portant sur les moteurs électriques allant de quelques watts à 600 kW, montre que pour les performances demandées, les difficultés sont surtout à craindre pour les plus petits moteurs. En effet, leur masse étant relativement faible, leur échauffement sera d'autant plus rapide et leurs composants d'autant plus contraints.

**Remarques :** *Les ventilateurs de désenfumage devant par définition fonctionner à des températures "anormales", il y aura lieu de supprimer tous les systèmes de protection internes ou externes des moteurs (thermistance) visant à arrêter leur fonctionnement en cas d'échauffement. Cette considération étant surtout applicable aux appareils assurant une fonction habituelle de ventilation, la fonction désenfumage n'étant sollicitée qu'en cas d'incendie.*

## **MONTAGE et MAINTENANCE**

En résumé, il apparaît que les ventilateurs de désenfumage sous toutes leurs formes, (axiales, tourelles, caissons), bien que faisant appel à des techniques éprouvées tant au point de vue des matériaux (constitution des hélices ou turbines) que des moteurs, se révèlent être des appareils qui, compte tenu de leur utilisation à des températures élevées, doivent faire l'objet d'un certain nombre de précautions et préconisations particulières.

Hormis les règles normales d'installation des différents appareils liés à leur raccordement au réseau aéraulique, il y a lieu de s'assurer que leur environnement permet leur fonctionnement normal, en particulier pour les tourelles ou caissons en toiture, et que les accumulations de débris, feuilles mortes ou neige, ne risquent pas de provoquer l'obstruction des différentes ouïes de refroidissement ou bloquer le fonctionnement de déflecteurs ou ailettes visant à dévier le flux.

Les ventilateurs doivent être installés dans des locaux suffisamment ventilés et aérés afin de ne pas créer de perte de charge nuisible à leur bon fonctionnement. Des entrées d'air des locaux relativement confinés devront être dimensionnées en fonction du débit à extraire.

Par ailleurs, il faut s'assurer qu'un certain nombre d'appareillages liés à leur fonctionnement, tels que condensateurs (monophasé), pressostat, interrupteur de sécurité, coupe-circuit, ne soient pas fixés directement sur la paroi des divers appareils mais soient tout au moins protégés du rayonnement thermique en cas d'extraction des gaz chauds, à moins que le contraire ne soit prouvé par des essais.

## ACCESSOIRES

L'intégration des ventilateurs de désenfumage dans des réseaux aérauliques, soumis eux-mêmes à des conditions particulières d'exploitation, liées au sens du flux, à la poussière ou aux bruits, conduit de plus en plus à équiper ces appareils de systèmes divers tels que clapets anti-retours, volets redresseurs de flux, baffles acoustiques et surtout manchettes de liaisons avec les réseaux aérauliques.

Tous ces accessoires ne devant pas perturber le flux normal de désenfumage, doivent être soumis à l'évaluation d'un laboratoire d'essais et éventuellement testés en combinaison avec des ventilateurs.

Exemple :

- a) les lames métalliques des clapets anti-retours peuvent, par leur déformation, obturer partiellement la section de sortie du ventilateur auquel ils sont accolés ;
- b) les baffles acoustiques constitués généralement de laine minérale peuvent, en fonction de leur position par rapport aux ventilateurs, et en cas de dégradation du produit, obstruer ou réduire par bourrage l'espace entre les aubes d'une turbine ;
- c) les manchettes de raccordement qui garantissent la continuité du réseau entre ventilateurs et conduits, doivent pouvoir justifier, au minimum, de leur tenue mécanique pour les pressions ou les températures auxquelles elles sont supposées être soumises. Là encore, les essais de ces manchettes doivent être associés à des essais de ventilateurs de désenfumage.

## AVIS DE CHANTIER EN RÉSISTANCE AU FEU

Pour les ventilateurs de désenfumage, l'installation du chantier ne pose pas de problèmes particuliers, dans la mesure où ces appareils sont clairement définis dans les procès-verbaux de classement par leur référence et leurs dimensions. Toute variation dimensionnelle passe obligatoirement par un calcul selon l'arrêté du 3 août 1999, dont la rigueur empêche, en principe, toutes dérives.

L'étude d'un avis de chantier ne devrait se limiter qu'à des adaptations mineures liées à l'installation ou à des modifications constructives allant dans le sens de la sécurité : augmentation des épaisseurs de tôles ou des systèmes de fixation (rivets, soudures, etc.), augmentation du volume des caissons, etc.

## EVOLUTION EUROPEENNE

Les essais de ventilateurs de désenfumage et moteurs sont l'objet de la norme européenne EN 12101-3.

Quelles sont les variantes des modalités d'essais par rapport à celles des essais français actuellement pratiqués ?

### Ventilateurs de désenfumage

L'installation des appareils à tester sur les fours d'essais reste identique ; il est demandé aux appareils d'extraire des gaz chauds. Toutefois, les variantes apparaissent au niveau des classements possibles ainsi que du nombre d'appareils à tester pour homologuer une gamme (2 essais minimum par gamme) et détermination des roues géométriquement semblables ou non. La vérification des niveaux de contraintes des pales et aubes est sensiblement identique.

Les formules de calculs sont toutefois sensiblement différentes, et on s'intéresse également aux contraintes subies par le moyeu des ventilateurs axiaux. De plus, la norme européenne EN 12101-3 prend en compte les conditions de refroidissement des moteurs associés lorsqu'ils sont montés dans des carters pouvant limiter ce refroidissement (touvelles, ventilateurs bifurqués).

Par ailleurs, lors de l'essai, il faut noter après quinze minutes d'essai à haute température, un arrêt demandé du ventilateur pendant deux minutes, puis redémarrage. De plus, si la réduction du débit volumique est également limitée comme pour le système français à 10 %, il faut prendre en compte, en plus, une limitation de l'augmentation du débit volumique de 10 %, ainsi qu'une élévation ponctuelle de température de + 180 °C en cas d'appareils isolés thermiquement (voir tableau A, ci-après, comparant les grandes lignes des essais de ventilateur de désenfumage selon arrêté du 3 août 1999 et EN 12101-3).

### Moteurs

Là encore, les essais sont comparables à ceux actuellement pratiqués selon les systèmes français, les essais pouvant se pratiquer, soit à partir d'un ventilateur de désenfumage, soit à partir d'une génératrice pilotée. Toutefois, dans ce dernier cas, il est prévu de recréer mécaniquement des charges axiales et radiales sur l'arbre moteur.

### Exigence de performances et classement

La norme européenne EN 12101-3 définit six catégories correspondant chacune à une température et une durée minimum de fonctionnement (voir tableau ci-dessous).

Catégories	Température (°C)	Durée minimum de fonctionnement (minutes)
F200	200	120
F300	300	60
F400	400	120
F600	600	60
F842	842	30
non classé	donnée par le fournisseur	donnée par le fournisseur

### Particularités

Hormis le fait de demander un arrêt du moteur ou du ventilateur pendant deux minutes après quinze minutes d'essai à haute température, cette norme introduit, pour des appareils devant être installés en extrémité de réseau ou à l'extérieur, des notions de charges dues au vent ou à la neige et de fonctionnement à basse température qui visent à vérifier l'ouverture des différents systèmes d'obturation en moins de 30 secondes sous des contraintes variables qui seront fonction de la classe de charge visée.

Par ailleurs, une exigence propre à la norme européenne procure aux moteurs une certaine réserve thermique en limitant leur puissance nominale à la puissance utile maximale correspondant à une classe d'échauffement inférieure à la classe d'isolation de ces moteurs.

### **Réflexions sur la norme européenne EN 12101-3**

Bien que les grandes lignes de cette norme (votée et approuvée le 9 juin 2001) soient claires et bien comprises par tous, il apparaît qu'une lecture plus fine des différents chapitres peut conduire à des interprétations différentes.

Dans le cadre des diverses actions interlaboratoires européens, le CTICM est depuis septembre 1999, suite à sa demande, nommé « Centre de Contrôle de ventilateurs de désenfumage » par le DIBT (Deutsches Institut für Bautechnik) qui est l'organisme certificateur allemand délivrant l'homologation, entre autres, des ventilateurs de désenfumage.

Cette reconnaissance place le CTICM dans une position privilégiée quant à l'application de la EN 12101-3.

**COMPARAISON SOMMAIRE DES ESSAIS DE VENTILATEURS DE DÉSENFUMAGE**

	<i>Arrêté 1999 - Annexe VII</i>	<i>EN 12101-3</i>
Classement	400°C/2 ou 1 h 200°C/2 ou 1 h autres	200°C/2 h F200 300°C/1 h F300 400°C/2 h F400 600°C/1 h F600 842°C/30 min F842 autres
Choix de l'appareil dans la gamme (diamètre roue)	1 ou 2 appareils pour une gamme $0,4 \leq D \leq 1,5$  - roue homothétique - contrôle des contraintes dans les pales/aubes et dans leurs fixations	- $\geq 2$ appareils pour 1 gamme - si roues homothétiques gamme 0,8 à 1,26 D - si roues non semblables gamme 0,63 à 1,26 D - contrôle des contraintes dans les pales/aubes et dans leurs fixations, ainsi que dans le moyeu pour les hélicoïdes
Essai à froid :  Essai haute température :  - échauffement  - essai   Critères : - débit volumique	1 h avant essai à chaud   - courbe linéaire $\leq 10$ min  - température de consigne constante   réduction $\leq 10$ % par rapport valeur à froid	$\geq 60$ min jusqu'à stabilisation de la température sur la carcasse du moteur  - entre 5 et 10 min  - température de consigne constante - après 15 min arrêt du ventilateur pendant 2 min  Pour classe F842 : Essai à haute température = courbe ISO 834 pendant 30 min, puis arrêt 2 min et redémarrage.  variation $\leq 10$ % par rapport valeur à froid
Température sur appareil	néant	+ 180°C ponctuelle (si appareil isolé thermiquement)