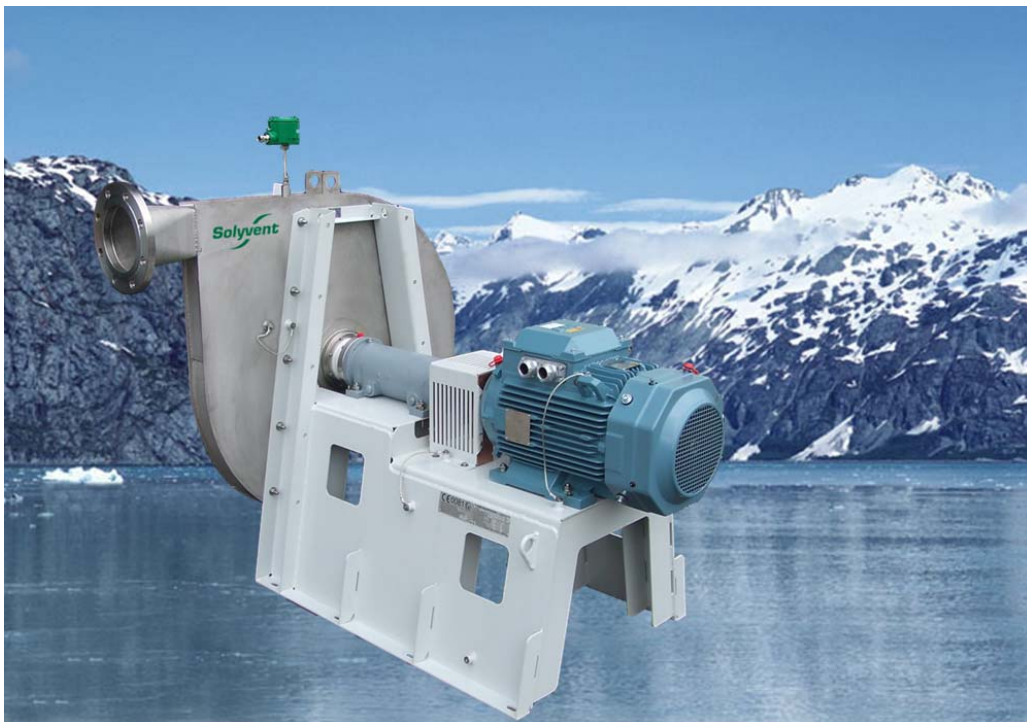


VENTILATEUR TRAVAILLANT AVEC FLUIDE A BASSE TEMPERATURE ET INSTALLE EN ZONE EXPLOSIVE



Dans le cadre du projet où la température extérieure est très basse, entre - 35°C à - 50°C, les ventilateurs se trouvant dans les centrales d'air seront soumis, en phase démarrage d'installation et / ou démarrage de l'unité en secours, à un air dont les conditions seront celles de l'air extérieur.

De ce fait, la préoccupation est de savoir comment l'ensemble ventilateur et moteur supportera les conditions de température, ci-dessus évoquées. En effet, certaines pièces seront soumises à des contraintes thermiques.

De plus, il sera nécessaire d'effectuer cette analyse en prenant en considération la directive ATEX 94/9/CE, donc la norme NF EN 14896 du fait que le ventilateur est installé en zone explosive.

La problématique ci-dessus, nous impose d'examiner, avec plus ou moins d'attention, les points suivants :

- 1) la métallurgie concernant le ventilateur / les doublages anti-étincelle / la peinture,
- 2) la graisse ou l'huile,
- 3) la réglementation **ATEX**,
- 4) le moteur électrique / le câble électrique de raccordement / le démarrage à froid / la carcasse du moteur en fonte / l'instrumentation,
- 5) la fixation du ventilateur et moteur sur le sol de la centrale / les plots antivibratoires du ventilateur,
- 6) les soudures,
- 7) l'équilibrage de la roue,
- 8) la manchette souple de raccordement du ventilateur.

1) Métallurgie concernant le ventilateur / doublages anti-étincelle / peinture :

En présence de température très basse, il est indispensable de prévoir des aciers à forte résilience à froid, dont la limite élastique de rupture est définie en fonction de la température extérieure extrême.

Une température extrême de -50°C impose une résilience de $40\text{J @ }-46^{\circ}\text{C}$.

D'un point de vue pratique, il peut s'avérer difficile de trouver, sur le marché, dans un délai raisonnable, des aciers adéquats offrant des performances satisfaisantes sur une très large plage de températures. En fonction de l'étendue de ladite plage, le recours à des nuances d'inox peut être envisagé avec l'avantage de régler, du même coup, les problématiques de tenue du revêtement pour le doublage anti-étincelle.

1.1) Doublages anti-étincelle :

Le ventilateur étant installé en zone classée, la **NF EN 14896** est d'application.

La norme impose de prévoir des doublages anti-étincelle afin d'éviter des échauffements locaux par friction et des étincelles.

Donc, des doublages anti-étincelle doivent être prévus à l'intérieur de la volute. Comment vont se comporter ces doublages en fonction des contraintes thermiques ?

Les doublages anti-étincelle sont réalisés par des pièces en cuivre, fixées sur les pièces en acier par boulonnage, rivetage ou brasage.

Dans tous les cas, le doublage dispose, au moins, d'un degré de liberté dans une direction sans risque de contact afin de compenser les phénomènes d'expansion ou contraction thermique.

Les épaisseurs de ces doublages sont du même ordre de grandeur que celles des pièces en acier de base. Ladite épaisseur des doublages étant définie par la norme **NF EN 14896** en fonction de la puissance motrice de la machine et de la catégorie.

Tous les doublages anti-étincelle sont des pièces non contraintes mécaniquement et installés sur des pièces très faiblement sollicitées. De ce fait, les différentielles d'allongement sous-sollicitations (mécaniques et thermiques) sont donc totalement négligeables.

Malgré cela, dans le cas d'utilisation de cuivre, il est souhaitable de vérifier si l'élasticité du revêtement du cuivre a une élasticité supérieure à celle de l'acier à basse température. Si c'est le cas, alors, il n'y a pas de problème de dilatation à craindre.

Dans le cas du groupe de gaz IIC (hydrogène principalement), le cuivre n'est pas accepté par la norme **NF EN 14896**. Nous devons utiliser, dans ce cas particulier, des doublages en P.T.F.E. Ce dernier enrichi de fibres longues de carbone, afin de limiter les phénomènes de décharges électriques glissantes en garantissant une résistance électrique faible.

1.2) Peinture :

Il faut une peinture qui possède une très grande élasticité à la température de -50°C.

Le revêtement peut, effectivement, être un problème par grand froid. Ce dernier pouvant devenir très sensible aux chocs et rainures. Son adhérence sur support, peut, également, être remise en cause.

La norme **NF EN 14896** nous interdit l'utilisation de revêtements enrichis d'oxydes de fer ou en alumine en raison du risque de génération d'étincelles en cas de détachement de paillettes.

La galvanisation est autorisée et pourrait être un bon compromis vis-à-vis du froid, la sensibilité au fluide véhiculé restant à vérifier afin d'éviter la corrosion galvanique.

L'autre compromis consiste à utiliser une nuance d'inox (voir commentaire concernant métallurgie).

2) Graisse ou huile :

Une graisse ou une huile travaillant à -50°C n'est pas chose aisée. De ce fait, une étude bien spécifique, cas par cas, doit être effectuée. Ci-joint, les paramètres à prendre en considération pour ladite étude - exemple, d'un cas- :

- type d'équipement (ventilateur à double ouïe –ventilateur en centrale d'air-),
- débit : 100.000 m³/h @ -50°C,
- diamètre du rotor : 800 mm,
- diamètre de l'arbre : 60 mm,
- diamètre intérieur roulement : 60 mm,
- vitesse de rotation (entre 1000 et 1500 tr/mn),
- masse (160 kg),
- température de l'air (-50 °C),
- humidité absolue (quantité d'eau par kilo d'air sec) : très faible, l'air est très sec à cette température,

- fonctionnement : 24h/24h ; 365 j/an,
- intervalle de vidange important : 1 an,
- de plus, la graisse ou l'huile doit avoir :
 - une excellente résistance au cisaillement mécanique
 - une très bonne stabilité en service et au stockage
 - une facilité de pompage et d'injection
 - un très bon pouvoir adhésif sur métaux
 - d'excellentes propriétés antirouille et anticorrosion
 - une stabilité thermique associée à une excellente réversibilité
 - pas de plomb, ni aucun autre métal lourd considéré comme nocif pour la santé humaine ou pour l'environnement.

Quelques règles à retenir :

- Des huiles de synthèses sont préférables aux huiles minérales. Les huiles minérales contiennent, généralement, des résidus de paraffine qui peuvent figer à très basse température.
- Une graisse synthétique polyurée extrême-pression peut convenir.
- De même, une graisse au graphite peut, aussi, être une bonne alternative. Mais l'option peut s'avérer onéreuse car, généralement, compatible seulement avec des billes en céramique.

3) ATEX / Réglementation :

De fait du classement en zone explosive, la fabrication du ventilateur est soumise à la directive **ATEX 94/9/CE** et donc, doit être conforme à la norme **NF EN 14896** et aux normes citées dans ce document.

Voir article « **Législation à suivre pour la fabrication d'un ventilateur en zone explosive** ».

4) Moteur électrique / câble électrique de raccordement / démarrage par grand froid / carcasse du moteur en fonte / instrumentation :

4.1 Moteur électrique

Les moteurs électriques standard sont définis pour une gamme de températures (-15°C / +40°C), voir **IEC 60034**.

Par contre, certains vendeurs proposent des moteurs qui sortent de la plage ci-dessus :

- ABB garantit ses moteurs pour -25°C / +40°C.
- Leroy - Somer a des moteurs certifiés **ATEX** pour une gamme -25°C / +40°C.

Les moteurs installés dans les centrales de ventilation seront soumis à une température extrême de -50°C au moment du démarrage et / ou démarrage de l'unité en stand-by (d'un point de vu calcul, travailler en débit massique et non volumique comme le fait, parfois, la profession HVAC).

La puissance absorbée d'un moteur électrique varie linéairement avec la densité de l'air. Le moteur devra être sélectionné en fonction de **la température la plus basse de service continu.**

La puissance diminuant avec la température, le courant d'appel sera, en théorie, plus fort. Toutefois, l'essentielle de l'impédance d'un bobinage étant liée à son inductance, l'impact de la variation de résistance devrait rester négligeable sur la valeur d'impédance.

Les moteurs électriques sont calculés non pas sur la base de températures absolues, mais sur la base d'une valeur d'échauffement.

Tant que la plage de la température ambiante et la puissance demandée restent conformes aux valeurs des spécifications du vendeur du moteur électrique, ce dernier évoluera au sein de sa plage de température de conception. Donc nous ne devrions pas avoir de risque.

D'autre part, le bobinage ne touche pas directement la carcasse. L'élasticité du vernis d'imprégnation joue un grand rôle dans la compensation des dilatations tout comme dans l'amortissement des vibrations.

4.2) Câble électrique de raccordement :

L'usage de câble à gaine extérieure en tressage métallique raccordé à la masse doit convenir.

Cette approche réglerait, du même coup :

- la tenue au froid de la gaine du câble,
- les problèmes de dilatation différentielle de part la souplesse du tressage,
- les phénomènes de courants circulants et de retour vers la masse en cas d'alimentation par signal échantillonné (variateur de fréquence).

4.3) Démarrage par grand froid :

Pour assurer un démarrage par grand froid, particulièrement pour les unités stand-by, il faut assurer un réchauffage des bobines. Cette option est, éventuellement, pas disponible pour les moteurs classés. Si cela est le cas, les solutions suivantes peuvent être envisagées, (ventilateur à l'arrêt) :

- faire tourner le moteur à 5/6Hz
- soit faire passer un courant continu (tension réduite au niveau du bobinage -tension 200 V phase-phase -).

Faire tourner le moteur à 5/6 Hz requiert quelques précautions. A si basse fréquence, le moteur ne peut plus fonctionner à ratio U/F constant, car le flux magnétique nécessaire à l'entraînement nécessite une saturation plus importante. Le risque est d'avoir un phénomène de pulsation du courant (période de 0.5 à plusieurs secondes) propice à un endommagement des bobinages.

Il faut donc que le variateur :

- soit permette de programmer un point de fonctionnement avec un ratio U/F différent à basse vitesse,
- soit dispose d'une électronique de commande à optimisation de flux mécanique, qui analyse le courant et modifie la valeur de tension jusqu'à obtenir une valeur stable de courant.

4.4) Carcasse du moteur en fonte :

En dessous de -20°C, attention à la fonte. En effet, une leçon doit être tirée d'un problème rencontré en Suède et Norvège, sur des moteurs fonte de 30 kW et travaillant avec un fluide à basse température.

A très basse température, la raideur de la fonte est modifiée et les fréquences propres sont modifiées. Dans le cas évoqué, les fréquences de vibrations des ailettes de carcasse moteur se sont retrouvées en correspondance avec celles de la gage des enroulements. Un simple coup de scie sur les ailettes pour les couper en 2 parties a résolu le problème. Mais il a fallu deux ans pour mettre en évidence le problème !

De ce fait, une certaine préférence irait aux carcasses en acier dans ce cas de température très basse.

Pour information générale, concernant les fontes, il y a rupture fragile à basse température, sauf dans le cas d'utilisation des FGS.

Le ventilateur va avoir une vitesse de rotation plus ou moins importante (entre 1000 et 1500 tr/mn). Donc, il aura une certaine résonance.

Or, la résonance augmente les noeuds de contraintes et les noeuds de déplacements. De ce fait, la résonance et la fatigue font mauvais ménage.

4.5) Instrumentation

Toute l'instrumentation standard est basée sur une température de -20°C / 40°C.

Prendre en considération ce problème.

5) Fixation du ventilateur et moteur sur le sol de la centrale / plots antivibratoires du ventilateur

5.1) Fixation du ventilateur et moteur sur le sol de la centrale:

Normalement, il est utilisé de la visserie de classe 8.8, mais en appliquant des couples de serrage correspondant à la classe 6.8.

De ce fait, nous ne faisons donc travailler qu'à 480 MPa des vis prévues pour 640 MPa, ce qui devrait nous laisser suffisamment de marge vis-à-vis des évolutions des caractéristiques avec la température.

Nous pouvons envisager d'utiliser de la visserie de classe 10.9 ou 12.9 pour augmenter cette sécurité.

En revanche, le freinage par rondelle élastique est à proscrire. Il est préférable d'utiliser des freins de vis tôle (triangle dont on rabat une pointe sur un plan d'écrou).

5.2) Plots antivibratoires du ventilateur :

Nous pouvons avoir les deux types de plots antivibratoires :

- suspension élastique,
- suspension métallique (100% ferreux).

En suspension élastique, nous avons les possibilités suivantes :

- caoutchouc noir : utilisable pour une plage de températures -40°C / 70°C ,
- caoutchouc silicone : utilisable pour une plage de températures -50°C / 150°C .

Pour les élastomères, la raideur est définie pour une plage de températures de $0^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$.

Les caoutchoucs des plots ont une dureté garantie à ± 5 shores, ce qui correspond à $\pm 40\%$ sur la valeur de fréquence de suspension, ceci à 20°C .

Nous n'avons aucune donnée concernant la variance de ces grandeurs avec la température.

Le comportement sur plots à basse fréquence est donc, imprévisible.

Par contre, ce que nous pouvons dire, c'est qu'en fonctionnement, nous allons apporter une certaine énergie à l'élastomère. De ce fait, nous allons "le chauffer". Est - ce que cette échauffement est significatif ou non ?

Concernant l'échauffement de ces plots, l'énergie dissipée par vibration devrait être minimale en regard des capacités d'échange thermique que représente la surface de caoutchouc dans l'air ambiant. De ce fait, l'échauffement sera, suffisamment faible pour ne pas être mesurable.

Du fait de la situation ci-dessus, nous recommandons :

- soit, un montage rigide sur dalle béton,
- soit, si la solution ci-dessus n'est pas possible, prévoir une fixation rigide du ventilateur sur une dalle béton, ou sur un châssis lourd, lui même monté sur plots (métalliques). L'inertie de la dalle flottante et sa raideur permettront de descendre les fréquences de suspension très loin du domaine de rotation, de limiter les débattements et, de réduire les effets des dispersions naturelles des performances des plots.

6) Soudures :

La norme **NF EN 14896** nous impose :

- soit un calcul démontrant qu'aucune zone de la roue ne dépasse les $2/3$ de la limite élastique du matériau à la température de fonctionnement,
- soit un essai de survitesse à $+15\%$ de la vitesse maximale, à 20°C , sans aucune déformation plastique.

Dans les deux cas cela signifie que nous gardons au minima 30% de marge de sécurité vis-à-vis de la limite élastique (les contraintes sont uniquement centrifuges, la charge aérodynamique est négligeable. Il suffit donc de s'assurer :

- que la limite élastique à -50°C est au moins égale à celle de l'acier usuel à 20°C ,
- que les soudures sont saines via un ressuage pour les soudures en angle et une radiographie pour les soudures de raboutage).

7) Équilibrage de la roue :

Une roue d'un ventilateur est équilibrée, normalement, en usine. Dans un cas particulier de température basse qui peut générer des contraintes bien

spécifiques dans la matière, doit-on refaire l'équilibrage in situ ? Dit autrement, est-ce qu'une température très basse peut avoir un impact sur l'équilibrage de la roue ?

La roue est une pièce offrant une symétrie par rapport à son centre.

Sa température est, en tous points, uniforme.

Les phénomènes de dilatation présentent donc cette même symétrie. De ce fait, aucune perte d'équilibrage n'est à craindre.

Seule une variation très brutale de la température du fluide véhiculé pourrait générer une phase transitoire pendant laquelle l'équilibre se trouverait dégradé.

Pour des rotors supérieurs à 1400/1600mm, le montage final se réalise sur site (encombrements trop importants nécessitant un convoi exceptionnel). Dans ce cas, prévoir une supervision au montage qui comprend un essai de mise en route avec mise à niveau de l'équilibre si besoin.

8) Manchette souple de raccordement du ventilateur :

Voir article « **Manchette souple pour ventilateur** ».

Conclusion :

On s'aperçoit qu'installer un ventilateur véhiculant un fluide à basse température, de plus installé en zone explosive, présente de nombreux pièges.

Cet article a proposé des solutions basées sur une analyse précise de la problématique ainsi que sur une certaine expérience.