

VELANI - Analyses de détail

Procédure

PRÉPARATION ET MESURAGE DE PRESSIONS

SOMMAIRE

1. Remarques liminaires.....	3
2. Bien préparer les mesurages.....	3
3. Mesurages de pression sur une pompe	4
4. Mesurages de pression sur un ventilateur.....	4
5. Schéma de montage des équipements et mesurages avec tube Pitot.....	5
5.1 Principe de mesurage avec sections d'aspiration et de refoulement identiques...	5
5.2 Principe de mesurage avec des sections d'aspiration et de refoulement différentes	6
6. Quelques difficultés et erreurs fréquentes	7
Annexe 1 : Théorie du différentiel de pression	9
Annexe 2 : Correction de la pression sur les courbes caractéristiques	10
Annexe 3 : Dimensions des connecteurs pour les prises de pression aéraulique	12

1. Remarques liminaires

La procédure présentée ici est une aide à la conduite des mesurages de pression sur des pompes et des ventilateurs à l'aide de capteurs dédiés.

Par contre :

Ce document n'est pas un descriptif exhaustif des différentes techniques de mesurage de pression.

2. Bien préparer les mesurages

Préparer une campagne de mesurages passe d'abord par l'étude et l'analyse approfondie du système ou installation dans lequel est intégré l'entraînement électrique à mesurer (approche système). Une fois le périmètre bien défini, la(es) pompe(s) et/ou ventilateur(s) identifiées, il faut encore préciser :

Thèmes	Tâches
Périmètre d'analyse, système et préparation théorique	Déterminer quelles pressions sont à mesurer, notamment dans le cas où il y a des composants qui cassent la pression entre la production (pompe ou ventilateur) et les utilisateurs. On peut dans ce cas mesurer sur le producteur et sur le consommateur. On peut ainsi déterminer la pression produite et utile. Définir la période de mesurage (début et durée, fréquence d'échantillonnage), afin de couvrir toutes les situations.
Préparation pratique (responsable mesurages)	Etablir les positions des piquages pour les prises de pression Déterminer si l'installation doit être arrêtée. Par exemple, pour des pompes, en absence de robinet sur le manomètre et s'il n'y a pas de redondance de pompes. Préparer la synchronisation des horloges et périodes d'échantillonnage pour les équipements de mesurage du prestataire de mesurage et de l'exploitant (si tel est le cas).
Préparation pratique (exploitant)	Préparer et adapter les installations en vue de l'insertion des différents capteurs (piquage manomètre ou purge pour les pompes, percement et tétons pour les ventilateurs).

Tab. 1 Préparation des mesurages de débit.

3. Mesurages de pression sur une pompe

Pour le mesurage des **pressions à l'aspiration et au refoulement d'une pompe**, on adaptera les prises existantes (purge ou démontage d'un manomètre) afin de pouvoir insérer le capteur de pression.

Idéalement, on place avant le capteur une structure à 3 voies permettant de réaliser une purge lorsque l'on met en pression (élimination de l'air et des saletés).

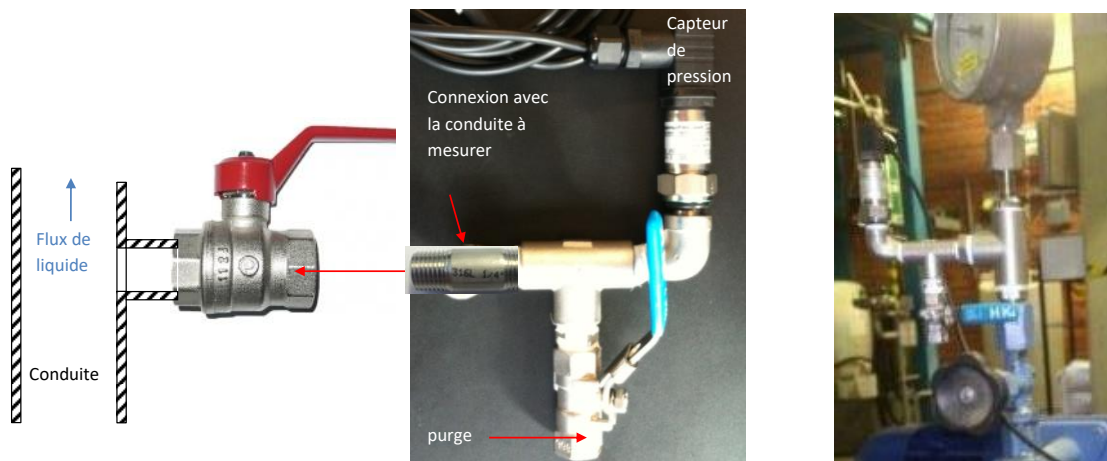


Fig. 1 Piquage en vue d'une prise de pression : préparation (g) et en place (d).

Pour la caractérisation des pompes seules, on cherchera à placer les capteurs aussi proches que possible de l'aspiration et du refoulement. Dans le cas contraire, il faudra intégrer les pertes de charges et les différences de hauteur statique afin de ramener les données de mesurage aux valeurs sur la pompe.

4. Mesurages de pression sur un ventilateur

Le différentiel de pression sur un ventilateur peut être mesuré avec différents appareils, notamment avec un tube de Pitot et/ou des capteurs de pression intégrés à des appareils de mesurage (convertisseur et enregistreur).



Fig. 2 Différents appareils de mesure de pression (de gauche à droite): tube de Pitot, différentiel de pression, capteur de pression/convertisseur pour data logger.

Entre les appareils de mesurage ou les connecteurs/convertisseurs et les prises de pression sur la conduite, il faut une connexion souple jusqu'à conduite aéraulique, typiquement un tuyau flexible (souvent en PVC ou en silicone). Il sera nécessaire d'utiliser une prise existante ou bien d'en créer

Procédure : Préparation et mesurage de pressions

une en perçant un orifice sur la conduite ou le caisson du ventilateur et en ajoutant un téton en plastique pour le raccord avec le flexible (Fig. 3).



Fig. 3 Prise de pression statique (téton) et flexible en pvc ou silicone (sur la conduite d'air).

On trouvera les dimensions de ces tétons de prise de pression en annexe 3. Pour la mesure de pression avec le tube de Pitot, on se référera au chapitre 5.

Dans tous les cas, on cherchera à placer les capteurs aussi proches que possible de l'aspiration et du refoulement. Dans le cas contraire, il faudra intégrer les pertes de charges et les différences de hauteur afin de ramener les données de mesurage aux valeurs sur le ventilateur¹.

En outre, il est recommandé de mesurer la pression absolue à l'extérieur (air neuf/rejeté) ainsi qu'à l'intérieur de la pièce (air pulsé/repris) pour caractériser les pertes de charge en amont et en aval du ventilateur.

5. Schéma de montage des équipements et mesurages avec tube Pitot

La mesure de pression avec des tubes de Pitot permet aussi de déterminer le débit du ventilateur. Ainsi, le ventilateur peut être caractérisé complètement et sa puissance aéraulique déterminée.

Les différents types de montage permettant cette caractérisation de la pression et du débit sont présentés ci-dessous.

Remarque: Le tube de Pitot est de préférence placé à l'aspiration du ventilateur (à l'aspiration, l'écoulement du fluide est usuellement moins perturbé qu'au refoulement)

5.1 Principe de mesurage avec sections d'aspiration et de refoulement identiques

Le schéma ci-dessous montre comment un tube de Pitot et un piquage de pression au refoulement permettent de caractériser complètement un ventilateur dont les sections à l'aspiration et au refoulement sont identiques.

¹ Dans le cas des monoblocs, on a dans le caisson nombre de composant qui présentent de forte chute de pression comme des filtres, des amortisseurs de bruit ou des batteries

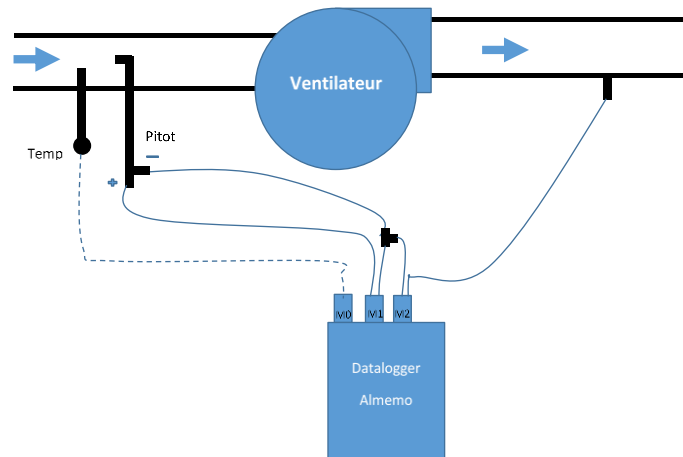


Fig. 4 Utilisation du tube de Pitot (débit et différentiel de pression), sections identiques

Les termes de pression dynamiques sont identiques (même sections et même vitesse de l'air) et s'annulent dans la formule de différentiel de pression totale (voir Annexe 1). Seuls subsistent les termes de pression statique. La configuration ci-dessus enregistre les pressions statiques à l'aspiration (une des sorties du Pitot) et au refoulement (capteur de pression dédié) ainsi que la vitesse de l'air (tube placée dans la position où la vitesse est la moyenne du profil de vitesse de la section). Le débit est alors le produit de la section par la vitesse.

Le calcul de la puissance aéraulique du ventilateur est le produit de la différence de pressions statiques du ventilateur et de son débit :

$$P_{aér} = \Delta p_{st} * Q_v$$

5.2 Principe de mesurage avec des sections d'aspiration et de refoulement différentes

Lorsque les sections à l'aspiration et au refoulement sont différentes, les termes de pressions dynamiques ne s'annulent plus dans la formule de différentiel de pression (voir annexe 1). On doit alors les conserver dans le calcul.

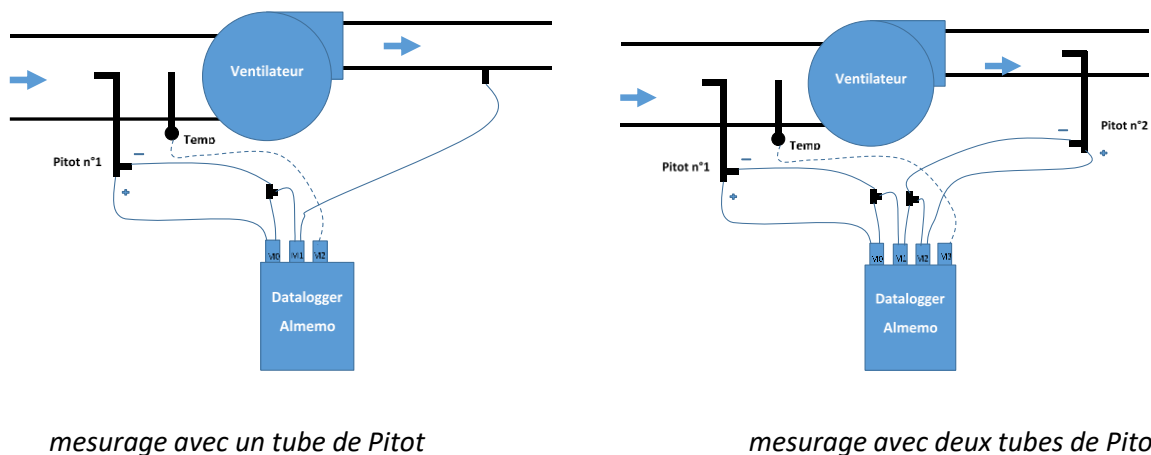


Fig 5 Mesurage avec tube de Pitot dans sections différentes (s1, s2).

Deux méthodes de mesurage sont possibles :

- Mesure avec un tube de Pitot :
 - Grandeurs disponibles lors de la mesure : vitesse d'écoulement à l'aspiration (v_1), pression dynamique à l'aspiration (p_{dyn1}), différentiel pression statique (Δp_{stat}) entre l'aspiration et le refoulement.
 - Grandeurs à calculer : pression dynamique au refoulement (p_{dyn2}), calculée à partir de la vitesse d'écoulement à l'aspiration

$$Q_v = Q_{v1} = Q_{v2} = s_1 v_1 = s_2 v_2 \rightarrow p_{dyn2} = \frac{1}{2} \rho v_2^2 = \frac{1}{2} \rho \left[\left(\frac{s_1}{s_2} \right) v_1 \right]^2$$

Le différentiel de pression totale peut alors être calculé comme suit :

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn} = \Delta p_{stat} + (p_{dyn2} - p_{dyn1})$$

- Mesure avec deux tubes de Pitot : la différence des pertes de charges totales est déterminée directement à partir des pertes statiques et dynamiques mesurées par les tubes de Pitot.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn} = (p_{stat2} - p_{stat1}) + (p_{dyn2} - p_{dyn1})$$

Le calcul de la puissance aéraulique du ventilateur est le produit de la différence des pertes totales du ventilateur et de son débit :

$$P_{aér} = \Delta p_{tot} * Q_v$$

Note : Si les valeurs de pression sont mesurées à une température différente de celle pour laquelle la courbe caractéristique du ventilateur a été établie (20°C), il est nécessaire de les corriger (voir Annexe 2) afin de pouvoir reporter ces valeurs sur la courbe.

6. Quelques difficultés et erreurs fréquentes

Cette section recense quelques exemples de difficultés et d'erreurs classiques auxquelles on peut être confronté lors d'une campagne de mesurages de pression.

Difficultés ou erreurs	Anticipation ou mesure corrective
Valeur du différentiel de pression	Prises de pression refoulement/aspiration trop éloignées de la pompe ou du ventilateur
Valeurs des pressions	Calibrage des sondes : nécessité de relever les pressions de référence avant le début des mesurages
Alarme de pression (et/ou arrêt du ventilateur))	<p>Certaines prises existantes sur les conduites sont utilisées pour mesurer la pression de forme continue et raccordées à une alarme qui peut être déclenché en cas d'anomalie.</p> <p>Pour utiliser ces prises pour la mesure de pression, il faut avoir un raccord en T (double sortie). Pour l'installer il pourrait être nécessaire d'arrêter l'installation volontairement afin d'éviter le déclenchement de l'alarme (si la pression change trop rapidement). Un fois le raccord en place, l'installation est mise en marche à nouveau et la mesure de pression peut se faire par la 2^{ème} sortie sans risque de déclencher l'alarme.</p> <p>Alternativement, un 2^{ème} orifice peut être percé pour ne pas interférer sur la mesure de pression liée à l'alarme.</p>

Tab. 2 Difficultés ou erreurs fréquemment rencontrées.

Annexe 1 : Théorie du différentiel de pression

On définit un ventilateur et les pressions de la façon suivante :

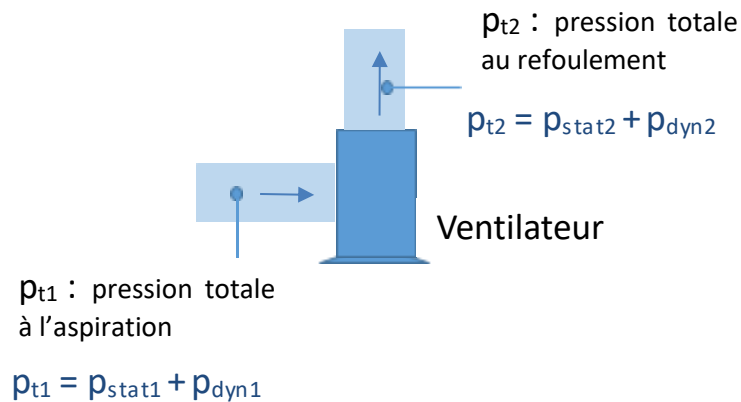


Fig.6 Schéma du ventilateur

Un ventilateur produit une augmentation de la pression totale. Cette augmentation se calcule ainsi :

$$\Delta p_t = p_{t2} - p_{t1} = (p_{stat2} + p_{dyn2}) - (p_{stat1} + p_{dyn1}) = (p_{stat2} - p_{stat1}) + (p_{dyn2} - p_{dyn1}) = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn}$$

Deux cas peuvent se donner :

a) Section des conduites identiques à l'aspiration et au refoulement

La vitesse de l'air demeure inchangée. La pression dynamique est inchangée : le différentiel de pression dynamique s'annule ($p_{dyn2} = p_{dyn1}$).

Le différentiel de pression totale correspond donc au différentiel des pressions statiques :

$$\Delta p_t = (p_{stat2} - p_{stat1})$$

Avec normalement une valeur négative pour p_{stat1} et une valeur positive pour p_{stat2} par rapport à une pression de référence (par exemple p_{atm}).

On peut donc considérer directement les valeurs mesurées des pressions statiques pour le calcul du différentiel de pression totale (Δp_t), qui sera ensuite utilisé pour le calcul de la puissance aéraulique.

b) Section des conduites est différente à l'aspiration et au refoulement, la vitesse de l'air est différente. La pression dynamique n'est donc pas constante et il est nécessaire de travailler avec le différentiel de pression totale.

$$\Delta p_t = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn} = (p_{stat2} - p_{stat1}) + (p_{dyn2} - p_{dyn1})$$

Annexe 2 : Correction de la pression sur les courbes caractéristiques

Si les valeurs de pression sont mesurées à une température différente de celle pour laquelle la courbe caractéristique du ventilateur a été établie (20°C), il est nécessaire de les corriger afin de pouvoir reporter ces valeurs sur la courbe.

Il est nécessaire de calculer les masses volumiques de l'air à l'aspiration et au refoulement. Pour cela faire, il faut connaître la température de l'air à ces deux positions ainsi que la pression atmosphérique.

En ce qui concerne la température, il est possible d'estimer de façon approximative l'augmentation de température provoquée par le ventilateur. Si on considère par exemple des valeurs mesurées de Δp_t de 3600 Pa, et un rendement du ventilateur de l'ordre de 50%, on atteint alors un ΔT de l'ordre de 6°C² ce qui est peu important.

Suivant le même exemple, les masses volumiques de l'air ont les expressions suivantes :

$$\begin{aligned} \rho_1 &= (p_{atm} - p_{stat1} / R * (273.15 + T_1)). \\ \rho_2 &= (p_{atm} + p_{stat2} / R * (273.15 + T_2)). \end{aligned} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Hypothèses :} \\ p_{atm} = 100'000 \text{ Pa} ; R = 287 \text{ J/kg K} \end{array} \right.$$

Pour une situation avec un air de procédé d'une température relativement élevée (200°C), on a par exemple :

$$T_1 = 210^\circ\text{C}, T_2 = 216^\circ\text{C} \quad (\Delta T \text{ de } 6^\circ\text{C} \text{ issue du ventilateur})$$

Ainsi, lorsque nous mesurons directement le Δp_t au travers des prises de p_{stat2} et p_{stat1} et que l'on a une valeur relevée de Δp_{tmes} de 3600 Pa, nous considérons par hypothèse que p_{stat1} vaut -1800 Pa et p_{stat2} vaut +1800 Pa. On a alors les valeurs de masses volumiques à l'aspiration et au refoulement :

- À l'aspiration : $\rho_1 = (100000 - 1800) / (287 * (273,15 + 210)) = 0.708$
- Au refoulement : $\rho_2 = (100000 + 1800) / (287 * (273,15 + 216)) = 0.725$

Note : Ces valeurs sont approximatives. Les fournisseurs indiquent que le changement de densité n'est pas significatif au-dessous d'un Δp_t de 2500 Pa.

On détermine sur cette base les grandeurs rapportées à 20°C, via le rapport des densités :

- Au refoulement, p_{stat2} à 20°C serait :

$$p_{stat2-20} = p_{stat2-mes} \cdot 1.205 / 0.725 = 1800 \cdot 1.205 / 0.725 = 2991 \text{ Pa}$$

- À l'aspiration, p_{stat1} à 20°C serait :

$$p_{stat1-20} = p_{stat1-mes} \cdot 1.205 / 0.708 = -1800 \cdot 1.205 / 0.708 = -3063 \text{ Pa}$$

Le différentiel de pression à 20°C serait donc :

$$\Delta p_{t-20} = 2991 - (-3063) = 6054 \text{ Pa}$$

On voit que la correction de pression est donc très importante dans ce cas (6054 Pa à 20°C contre 3600 Pa mesurés à 200 °C). Par contre, la part associée au différentiel de température entre l'aspiration et le refoulement reste très modeste (2.5%). Dans ce sens, pour un ventilateur usuel

² Source: fig. PB19, Handbook Radial Fans List 17_1, Reitz Group

Procédure : Préparation et mesurage de pressions

(rendement de 70%), la prise en compte de l'échauffement provoqué par le ventilateur ne fait sens qu'à partir d'un différentiel de pression totale de l'ordre de 3000 Pa.

En conclusion, **la température réelle de l'air doit être prise en compte pour un report sur les courbes caractéristiques (établies pour une température de 20°C).**

Annexe 3 : Dimensions des connecteurs pour les prises de pression aéraulique

Différents type de connecteurs sont utilisés pour prendre les pressions statiques sur les conduite de ventilation.

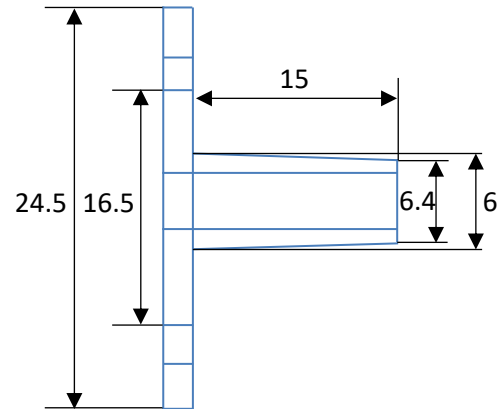


Fig.7 Dimensions d'un téton usuel

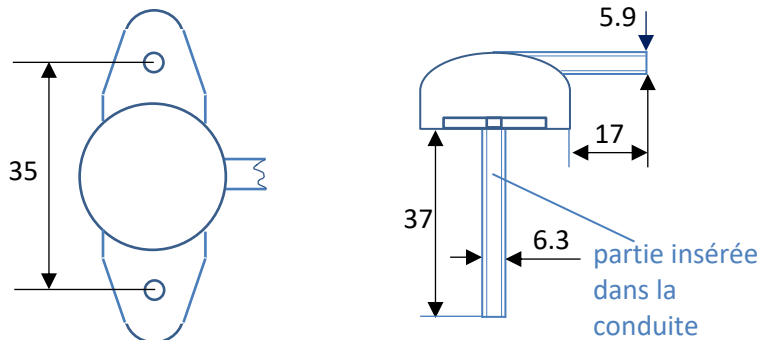


Fig.8 Dimension d'une prise de pression entrant dans la conduite