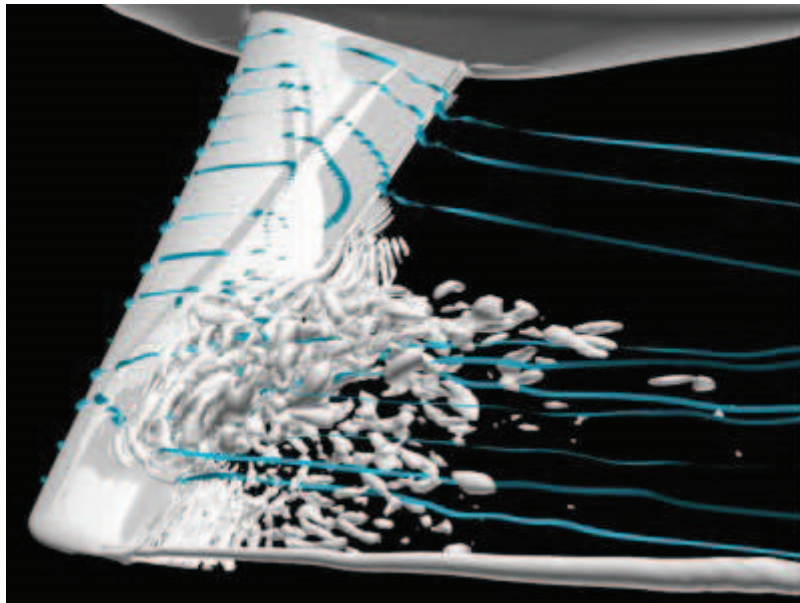


Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2009 – Groupe 3

**Mesure expérimentale de l'expression des forces
de frottements aérodynamiques sur des objets
de différentes tailles**



Etudiants :

Maxime CHAUTRU

Jonathan GARY

Nicolas COTTAREL

Marianna GERVAISE

Matthieu EID

Maxime LECOQ

Enseignant-responsable du projet :

Jérôme YON

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : 22/06/2009

Référence du projet : STPI/P6-3/2009 – Groupe 3

Intitulé du projet: **Mesure expérimentale de l'expression des forces de frottements aérodynamiques sur des objets de différentes tailles.**

Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

Détermination des forces de frottement aérodynamique sur des objet de différentes tailles

Si existant, n° cahier de laboratoire associé :

TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3. Travail réalisé et résultats.....	8
3.1. Approche pratique.....	8
3.2. Approche théorique.....	10
3.2.1. Déplacement relatif entre un objet et un fluide.....	10
3.2.2. Un moyen de déterminer la vitesse d'écoulement du fluide : le Théorème de Bernoulli.....	13
3.3. Croisement théorie/pratique.....	15
3.3.1. Expérience 1	17
3.3.2. Expérience 2	19
4. Conclusions et perspectives.....	24
5. Bibliographie.....	24
6. Annexes (non obligatoire).....	25
6.1. Documentation technique.....	25
6.2. Listings des programmes réalisés.....	27
6.3. Schémas de montages, plans de conception... ..	27
6.4. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé).....	27

NOTATIONS, ACRONYMES

1. INTRODUCTION

Pour la mesure expérimentale des forces de frottements aérodynamiques, nous nous sommes placés dans un modèle simplifié tel que nous considérons notre mobile immergé dans un fluide qui s'écoule à vitesse uniforme. De ce fait, nous devons prendre en compte deux forces de même type qui s'appliquaient sur notre mobile : la force de traînée qui s'oppose au mouvement relatif entre le fluide et le solide, composante dirigée dans le sens de l'écoulement, et la portance qui représente la composante orthogonale à la direction de l'écoulement. Cependant, dans notre étude, la portance ne joue aucun rôle.

Par ailleurs, comme la force de traînée dépend de la géométrie du mobile employé, un coefficient intervient dans l'expression mathématique de cette force. Ce coefficient est appelé coefficient de traînée. Les recherches effectuées dans la littérature nous ont permis de trouver l'expression mathématique de la traînée :

eq 1.
$$F_y = k_x * f(v_\infty^2)$$

où F_y est la traînée,
 k_x le coefficient de traînée,
 v_∞ la vitesse de l'écoulement rectiligne uniforme.

La seule inconnue de l'équation étant k_x , nous n'avons plus qu'à faire autant de mesures nécessaires pour déterminer le coefficient de traînée associée à une forme donnée.

Pour ce faire, il fallait déterminer par quels moyens mesurer toutes les données nécessaires. Après plusieurs tentatives avec différents types de soufflerie, nous avons opté pour le montage schématisé ci-après :

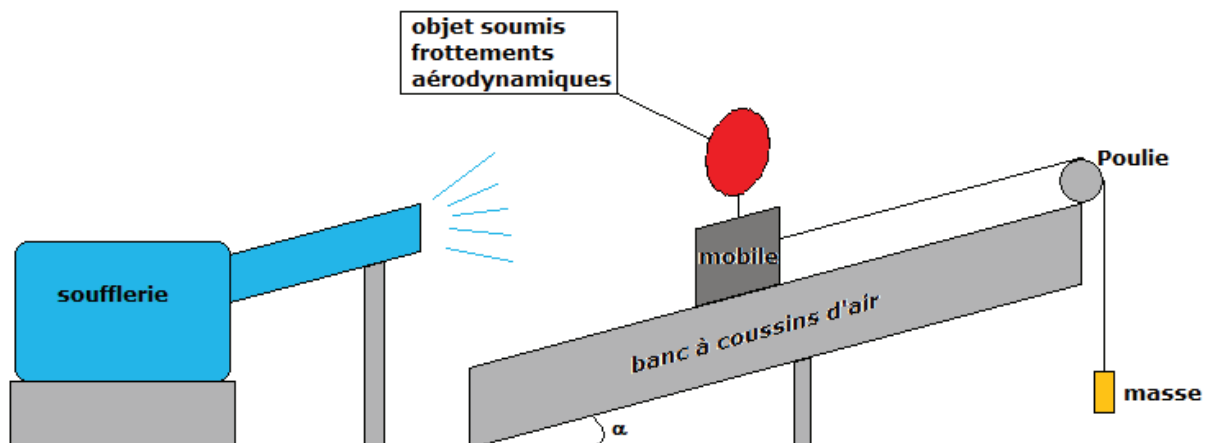


Figure 1 : Schéma de montage.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Cette partie retrace l'évolution de notre projet, les méthodes que nous avons utilisées, et les moyens mis en œuvre pour le mener à bien. Les événements seront traités de façon chronologique.

Après avoir pris connaissance de notre sujet, nous avons entrepris de faire des recherches concernant l'expérience que nous allions monter pour modéliser le projet, ainsi chacun a fait des recherches de son côté. Nous nous sommes retrouvés avec un nombre important d'expériences, toutes traitants des frottements, à savoir le tube de Pitot, moulinet, anémomètre, ressort, banc à coussin d'air, etc... Ce nombre s'est vite diminué du fait du manque de matériel et de moyens mis à notre disposition. En effet, nous ne disposions pas d'un tube de Pitot et ce dernier semblait trop difficile à fabriquer soi-même, et d'après les critiques, les résultats du moulinet ne semblaient pas convainquants, le banc à coussins d'air ou du ressort apparaissaient donc comme les dernières possibilités. A ce moment, il s'agissait de mettre au point un protocole expérimental, mais on ne pouvait pas nous fournir un ressort adéquat et les résultats avaient l'air plus durs à interpréter. C'est pourquoi nous nous sommes naturellement dirigés vers le banc à coussin d'air.

C'est à partir de ce moment, que nous nous sommes organisés pour nous répartir le travail :

- Jonathan Gary, Marianna Gervaise et Maxime Chautru se sont chargés du déroulement de l'expérience. A savoir le choix des mobiles, l'adaptation du banc à coussins d'air, acquisition de valeurs...
- Maxime Lecoq a récupéré ces valeurs pour les calculs et l'interprétation de ces derniers.
- Nicolas Cottarel et Matthieu Eid ont traité l'explication de l'origine physique des forces, à savoir la pression, et de la recherche théorique des équations qui allaient nous servir à calculer les différentes forces et les coefficients de frottement.

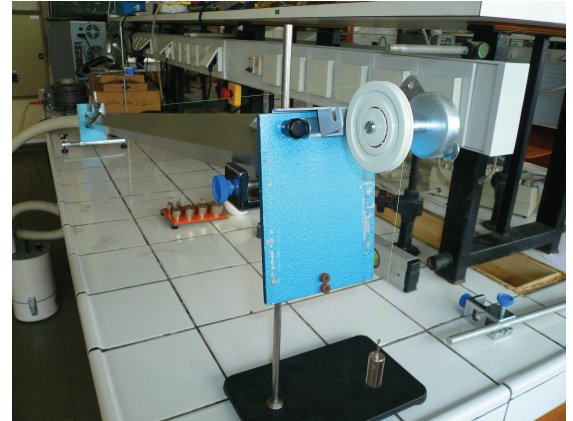
Travail réalisé et résultats

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Approche pratique.

Comme l'indique l'intitulé de ce dossier, notre projet repose essentiellement sur la mise en œuvre d'une expérience permettant de mesurer une force de frottement aérodynamique.

Après recherches et réflexion nous avons décidé d'adopter un système incluant un banc à coussin d'air. Ce dernier nous permet d'éviter les forces de frottements dues au support du mobile.



.Figure 2 : Poulie



.Figure 3 : Ban à coussins d'air et mobile

La force aérodynamique est générée par un appareil insufflant de l'air à une vitesse élevée. Nous avons tout d'abord opté pour un ventilateur mais la puissance n'était pas suffisamment élevée pour conférer un équilibre au mobile utilisé. Nous avons donc choisi d'utiliser une soufflerie.

Après avoir réalisé nos recherches portant sur les différentes lois utilisées pour simuler l'action des forces aérodynamiques, nous avons décidé d'utiliser des mobiles sphériques. En effet, il existe des lois propres à ce type d'objet et sur lesquelles nous pourrions nous concentrer par la suite.



.Figure 4 : Soufflerie du banc



Figure 5 : Mobile

Le but de cette manipulation est d'obtenir un équilibre pour notre mobile (boule de polystyrène) puis mesurer, à l'endroit où l'on obtient l'équilibre, la vitesse de l'air venant de la soufflerie. La vitesse nous permettra ensuite de calculer la force aérodynamique.

Cependant, le mobile étant très léger, il est difficile d'évaluer la position de l'équilibre avec exactitude. Pour plus de précision, le banc est incliné et des masses sont ajoutées, par un système de poulie, au mobile.

Ainsi, quatre forces s'appliquent au mobile :

- la force aérodynamique (à déterminer)
- le poids du mobile
- la réaction du support
- la force de traction due aux masses ajoutées

Schéma du montage :

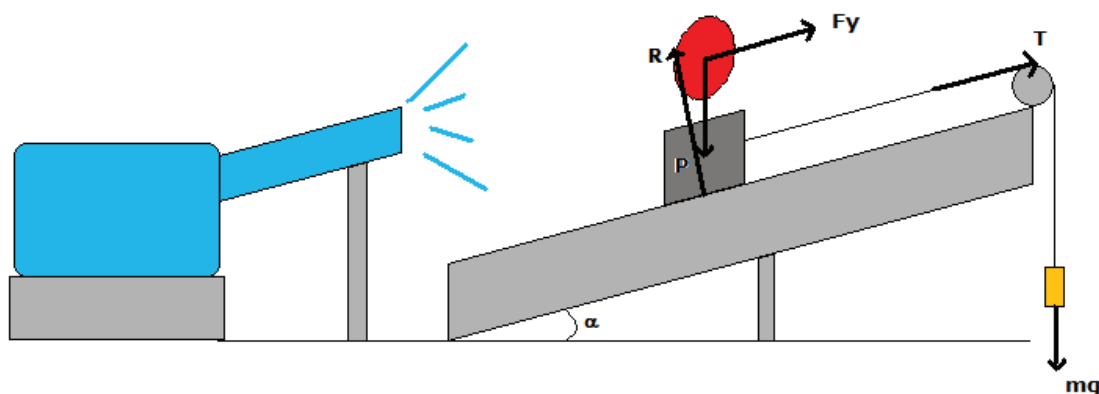


Figure 6 : Schéma des forces

A l'équilibre, les quatre forces se compensent, on peut ainsi déterminer la force aérodynamique qui va donc dépendre des masses ajoutées et de l'inclinaison du banc.

L'expérience consiste donc à faire varier la masse ajoutée et l'inclinaison du banc pour obtenir différents points d'équilibre et mesurer la vitesse de l'air insufflé en

chacun de ces points. Toutes ces données nous permettent donc d'évaluer la force aérodynamique en fonction de sa vitesse.

La vitesse du vent au point d'équilibre du mobile est mesurée grâce à un anémomètre.

3.2. Approche théorique.

3.2.1. *Déplacement relatif entre un objet et un fluide*

1 Considérations et définitions générales.

Lorsqu'un fluide et un objet immergé sont en mouvement relatif l'un par rapport à l'autre, des forces de pression et de frottement visqueux s'exercent sur l'objet, indépendamment d'autres forces, telles que son poids ou la poussée d'Archimède. L'objet de cette partie est de montrer comment l'on peut déterminer la résultante des forces qui s'opposent au déplacement relatif, pour quelques corps de formes simples.

Considérons un corps solide immobile dans un fluide s'écoulant avec une vitesse uniforme v^∞ . Les raisonnements et les résultats sont exactement les mêmes, si l'on considère le corps en mouvement rectiligne uniforme de vitesse v^∞ dans un liquide en repos. Sur un élément de surface dS s'exercent deux forces : une force de pression dF_p , normale à dS et une force de frottement visqueux, dF_f , parallèle à dS . Dans un système d'axes rectangulaires Ox, Oy où Ox est dirigé dans le même sens que v^∞ , ces forces se décomposent respectivement en dF_{px}, dF_{py} et dF_{fx}, dF_{fy} . La somme des forces qui agissent dans la direction Ox a pour module :

$$dF_{px} = dF_p \sin(\alpha) + dF_f \cos(\alpha) = p \, dS \sin(\alpha) + \tau_p \, dS \cos(\alpha)$$

En projection sur Oy , la somme des forces a pour intensité :

$$dF_y = dF_{py} + dF_{fy} = -p \, dS \cos(\alpha) + \tau_p \, dS \sin(\alpha)$$

Les résultantes respectives des forces parallèles et normales à l'écoulement s'obtiennent en faisant la somme des dF_x et des dF_y sur toute la surface de l'objet :

$$F_x = \int_S p \, dS \sin(\alpha) + \int_S \tau_p \, dS \cos(\alpha) \quad (1)$$

$$F_y = - \int_S p \, dS \cos(\alpha) + \int_S \tau_p \, dS \sin(\alpha) \quad (2)$$

On appelle trainée la force F_x , qui s'oppose au mouvement relatif entre le fluide et le solide. La trainée est donc dirigée dans le sens de l'écoulement. La résultante F_y , qui ne fait pas l'objet de cette étude, porte le nom de portance. Sur un élément de surface de centre A ,

normal au vecteur vitesse, la portance est nulle : la pression en ce point, appelée pression d'arrêt, est égale à $\frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2$.

On comprend aisément que F_x dépend de la géométrie du solide, mais aussi des propriétés et de la vitesse du fluide. Le développement mathématique des équations (1) et (2) peut être évité en admettant qu'il existe une loi globale, pondérée par un coefficient adapté à chaque cas de figure. On peut énoncer cette loi de la façon suivante : la force totale de trainée, F_x , est proportionnelle à la pression d'arrêt et à l'aire de la projection de la surface de l'objet sur un plan perpendiculaire de l'axe Ox . On désigne parfois cette aire projetée, A_p , par « aire du maître couple ».

$$\text{On a donc la relation : } F_x = k_x \frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2 A_p$$

Si l'on remarque que les termes $\frac{F_x}{A_p}$ et $\frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2$ ont les dimensions d'une pression, on voit que le coefficient de proportionnalité k_x , appelé coefficient de trainée, est un nombre sans dimension. Pour prendre en compte les propriétés du fluide et les conditions d'écoulement, on exprime k_x en fonction d'un nombre de Reynolds défini par :

$$Re = \frac{\rho v_{\infty} L}{\mu}, \text{ dans lequel } L \text{ est la longueur particulière, propre à la géométrie de l'objet.}$$

Les valeurs numériques de k_x , sont déterminées, expérimentalement en fonction de Re . Nous nous limitons aux trois formes simples classiques que sont la sphère, le cylindre et le disque.

2 Force de trainée sur une sphère.

Pour un objet sphérique de diamètre D , l'aire projetée A_p est égale à $\pi \frac{D^2}{4}$; la trainée a donc pour expression :

$$F_x = k_x \frac{1}{2} \rho v_{\infty}^2 \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi}{8} k_x \rho v_{\infty}^2 D^2 \Leftrightarrow k_x = \frac{8}{\pi} \cdot \frac{F_x}{\rho v_{\infty}^2 D^2}$$

Dans laquelle les valeurs de $k_x = f(Re)$ sont données soit par un graphe, soit par des relations particulières, dans lesquelles $Re = \frac{\rho v_{\infty} D}{\mu}$. Certaines d'entre elles sont simples et donnent des valeurs approchées sur les domaines suivants, correspondant respectivement aux régimes de STOKES, de ALLEN et de NEWTON :

- $Re < 1$ $k_x = \frac{24}{Re}$
- $1 < Re < 10^3$ $k_x = 18,5 Re^{-0.6}$
- $10^3 < Re < 10^5$ $k_x = 0,45$

Ces trois coefficients de trainée se présentent sous la même forme : $k_x = a Re^{-n}$. D'autres relations existent, plus compliquées mais plus précises. On peut citer par exemple, la relation de BRAUER, valable sur tout le domaine $10^3 < Re < 10^5$:

$$K_x = 0,49 + \frac{24}{Re} + \frac{3,73}{\sqrt{Re}} + \frac{4,83 \cdot 10^{-5} \sqrt{Re}}{1 + 3 \cdot 10^{-6} Re^{(3/2)}}$$

On constate une diminution de k_x , quand la vitesse augmente. Aux très faibles Re , la traînée a pour expression $F_x = \frac{\pi}{8} \frac{24}{Re} \rho v^\infty{}^2 D^2$, soit encore, avec $R = \frac{D}{2}$:

$$F_x = 6 \pi \mu R v^\infty$$

Forme classique de l'équation de STOKES, établie de façon théorique en 1850.

3 Force de traînée sur le cylindre

Pour un objet cylindrique de diamètre D et de longueur $L \gg D$ – longueur théorique infinie –, placé perpendiculairement à la direction de l'écoulement, l'aire projetée a pour valeur $A_p = L \cdot D$, et la traînée a pour expression :

$$F_x = k_x \frac{1}{2} \rho v^\infty{}^2 L D$$

Pour $Re = \frac{\rho v^\infty L}{\mu} < 0,5$, la relation suivante permet de calculer k_x :

$$k_x = \frac{8\pi}{Re (2 - 1,6 Re)}$$

Lorsque le rapport $\frac{L}{D}$ diminue, les valeurs de k_x sont plus faibles.

4 Force de traînée sur une plaque et plus particulièrement sur un disque

Les forces de pression étant normales à la paroi, seules interviennent les forces de frottement localisé dans la couche limite. Le coefficient k_x , se réduit alors au coefficient de frottement f :

$$F_x = F_f = \tau_p A = f \frac{1}{2} \rho v^\infty{}^2 A$$

Dans le cas d'un disque plat de diamètre D , on a :

$$k_x = \frac{64}{\pi Re} \quad \text{pour } Re < 0,2$$

$$k_x = 1,17 \quad \text{pour } Re > 10^3$$

$$\text{avec } Re = \frac{\rho v^\infty D}{\mu} .$$

5 Remarque sur la forme du corps

Lorsqu'on veut profiler un corps, il faut travailler sa face avant de manière à adoucir la pénétration dans l'air, et sa face arrière de manière à "recoller" proprement les filets d'air, sans perte d'énergie par turbulence. Les valeurs de coefficient de traînée, le fameux k_x (ou C_x), varient à peu près de la façon suivante :

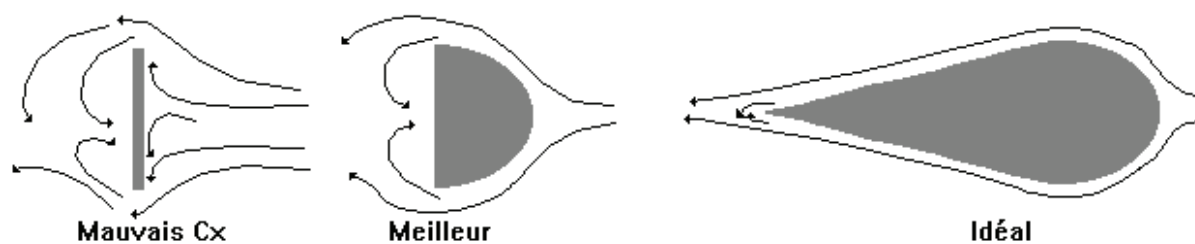


Figure 7 : Variation du coefficient de frottement

Variation de k_x pour des corps de même maître couple mais de formes différentes :

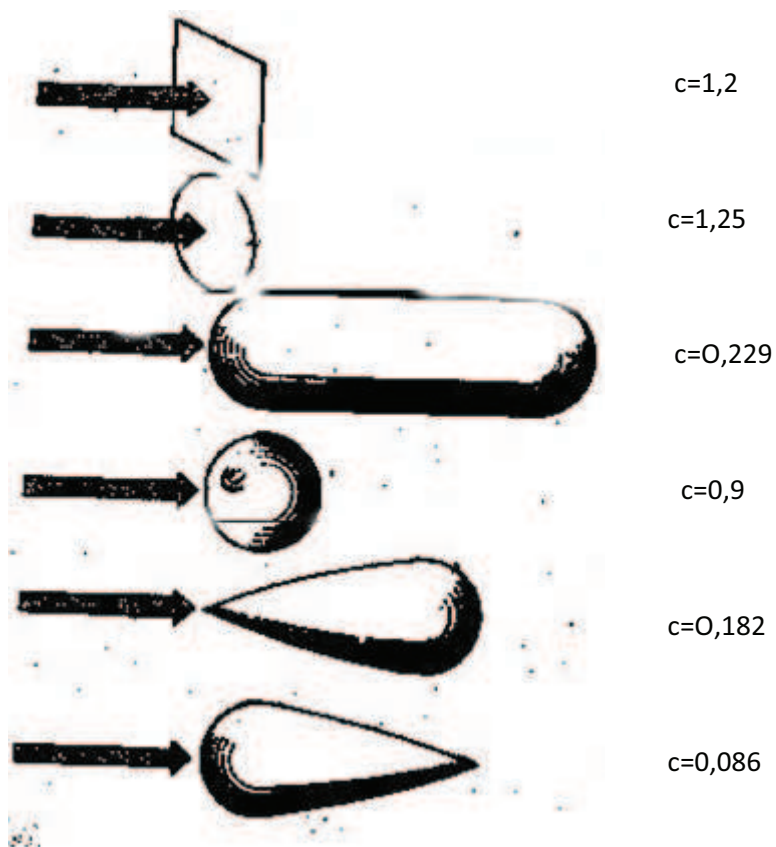


Figure 8 : Valeur numérique de k_x de différentes formes

3.2.2. Un moyen de déterminer la vitesse d'écoulement du fluide : le Théorème de Bernoulli

Pour un écoulement d'un fluide incompressible (on peut considérer que la masse volumique reste constante) irrotationnel (le rotationnel de la vitesse du fluide est nul, ce qui traduit un écoulement non tourbillonnaire, ce qui revient à dire que le champ de vitesse dérive d'un

potentiel) d'un fluide parfait (les effets visqueux sont négligeables et pas de pertes de charges) .

Alors, en régime permanent, le long d'une ligne de courant, et si l'on néglige les transferts de chaleur, on vérifie :

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + p = Cte$$

- . p est la pression en un point (en Pa ou N/m^2)
- . ρ est la masse volumique en un point (en kg/m^3)
- . v est la vitesse du fluide en un point (en m/s)
- . g est l'accélération de la pesanteur (en N/kg ou m/s^2)
- . z est l'altitude (en m)

Exemple d'application le tube de Pitot.

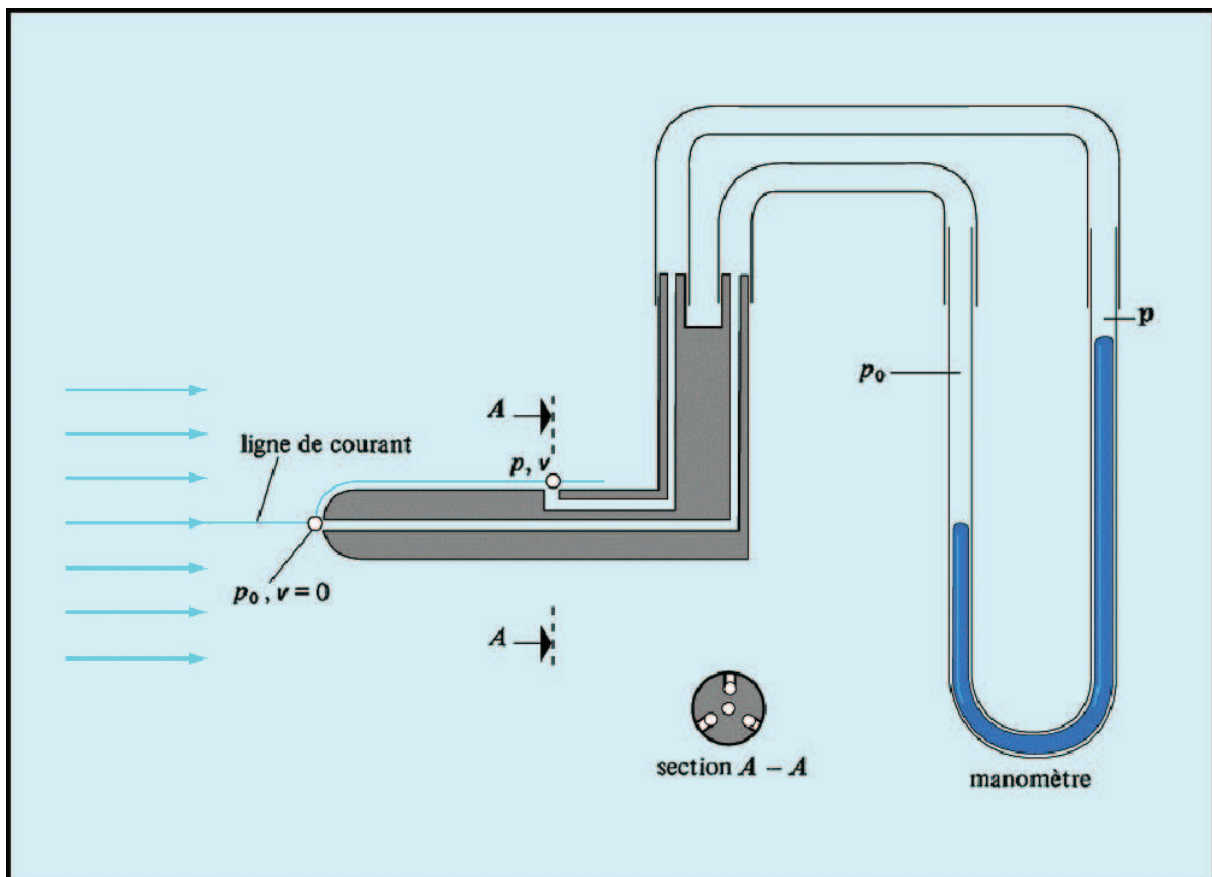


Figure 9 : Tube de Pitot

On considère un liquide en écoulement permanent dans une canalisation et deux tubes plongeant dans le liquide, l'un débouchant en A face au courant, et l'autre en B est le long

des lignes de courant, les deux extrémités étant à la même hauteur. Au point B, le liquide a la même vitesse v que dans la canalisation et la pression est la même que celle du liquide $p_B = p$.

En A, point d'arrêt, la vitesse est nulle et la pression est p_A .

D'après le théorème de Bernoulli, en mesurant la dénivellation h du liquide dans les deux tubes, on peut en déduire la vitesse v d'écoulement du fluide.

3.3. Croisement théorie/pratique.

Selon la figure présentant les différentes forces qui s'exerce sur le système « ensemble boule de polystyrène, tige et mobile », on applique le principe fondamental de la statique pour les différentes positions d'équilibre relevées.

Ainsi nous avons :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F}_y + \vec{T} = \vec{0}$$

On projette suivant \vec{U}_r : $m_1 g - m_2 g (\sin(\alpha)) + F_y = 0$

On obtient donc la relation suivante : $F_y = g(m_2 \sin(\alpha) - m_1)$

Nous pouvons maintenant tenter de comparer le modèle ainsi crée aux équations théoriques régies telles que :

- ✓ $F = k.V$
- ✓ $F = k.V^2$

Le but de cette expérience est donc de déterminer l'évolution de la force qu'exerce le vent sur le système isolé.

Calcul des incertitudes pour la force exercée par le vent :

On prendra :

- m_1 : masse de la poulie
- m_2 : masse du système
- F : force exercée par le vent sur le système
- α : angle d'inclinaison du banc

Ainsi que pour les différentielles :

- dm_1 : différentielle de la masse de la poulie
- dF : différentielle de la force F
- Δm : incertitude sur la mesure des masses ($\Delta m = 0,001$)
- $\Delta \alpha$: incertitude sur la mesure de l'angle d'incidence ($\Delta \alpha = 0,1^\circ$)

D'où le calcul suivant en considérant que $F = g(m_1 \sin(\alpha) - m_2)$:

Différentielle de F : $dF = g(d(\sin(\alpha) m_2) - dm_1)$

$$\rightarrow dF = g \sin(\alpha) dm_2 + gm_2 \left(\frac{\sin(\alpha + \Delta \alpha) - \sin(\alpha - \Delta \alpha)}{2} \right) - g dm_1$$

$$\rightarrow \Delta F = g |\sin(\alpha)| \Delta m_2 + gm_2 \left(\frac{\sin(\alpha + \Delta \alpha) - \sin(\alpha - \Delta \alpha)}{2} \right) - g \Delta m_1$$

Donc au final , nous avons :

$$\rightarrow \Delta F = g \Delta m (1 + \sin(\alpha)) \frac{m}{1000} + gm_2 \left(\frac{\sin(\alpha + \Delta \alpha) - \sin(\alpha - \Delta \alpha)}{2} \right) \quad \text{avec } \Delta m_1 = \Delta m_2 = \Delta m$$

Etant donné les petits résultats de force que nous obtenons, on peut tenter d'analyser comment varie l'angle d'incidence du banc en fonction de la vitesse du vent. Il faut rappeler que par soucis d'exploitation du matériel ils nous a fallu incliné le banc à coussins d'air pour trouver la meilleure position d'équilibre à chaque test.

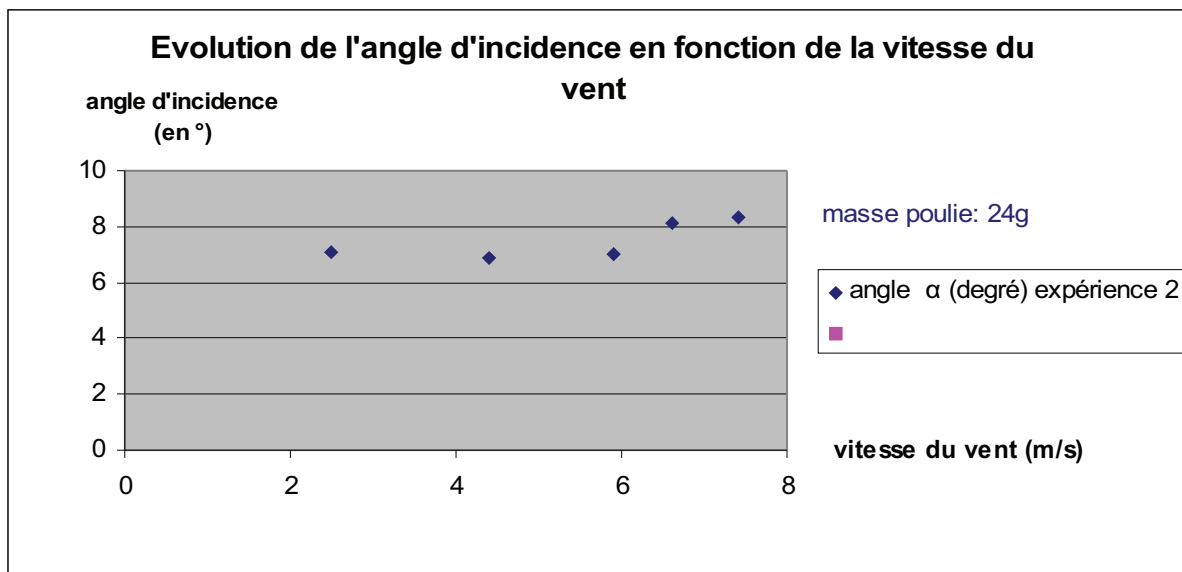


Figure 10 : Evolution de l'angle d'incidence en fonction de la vitesse du vent

On remarque que lorsque la vitesse augmente, l'angle reste constant (très peu de variations) On balaye une plage de faibles vitesses : de 2 m/s à 8m/s. Puisque la vitesse est proportionnelle au carré de la force de frottement, on en déduit que nous sommes sur les faibles pentes de la parabole (proche de 0). Donc, malgré le fait que la vitesse varie, l'inclinaison du banc étant constante, on en déduit que les forces de frottements qui s'exerce sur le mobile ne varient que très peu.

Résultats des manipulations :

A l'aide d'un manomètre à main nous avons pu mesurer la vitesse du vent avec une précision de 2m/s. Ensuite à l'aide d'un niveau équipé d'un laser nous avons mesuré l'angle d'incidence du banc puis à l'aide de masses accrochées avec une ficelle, nous avons créé un surpoids sur le mobile pour trouver les positions d'équilibre plus facilement.

Voici nos résultats :

Angle α (°)	Vitesse vent (m/s)	Distance point équilibre (cm)	m_1 (g)
Expérience 1 avec mobile D=7cm			
9,90	6,55	36.5 / 37	32,00
9,00	3,00	79 / 79.5	30,00
9,20	5,25	60.5	30,00
9,30	2,15	82	31,00
9,50	4,95	62.5	31,00
Expérience 2 avec mobile D=10cm			
7,10	2,50	2.3 / 2.7	24,00
6,90	4,40	4.2 / 4.7	24,00
7,00	5,90	5.5 / 6.3	24,00
8,10	6,60	7.1 / 6.1	24,00
8,30	7,40	7.9 / 6.9	24,00

Figure 11 : Résultats des manipulations

3.3.1. Expérience 1

Réalisée avec une sphère en polystyrène de 7cm de diamètre.

Mesures :

angle α (degré)	m_1 (g)	vitesse du vent (m/s)	Force du vent (N)
9,90	32,00	6,55	0,0234
9,00	30,00	3,00	0,0126
9,20	30,00	5,25	0,0194
9,30	31,00	2,15	0,0130
9,50	31,00	4,95	0,0197

Figure 12 : Résultats expérience 1

m_2 (g)	Incertitude sur F	$kV^2 = g(m_2 \sin(\alpha) - m_1)$	V^2
200,00	0,03736	0,02340	42,90
200,00	0,03718	0,01262	9,00
200,00	0,03717	0,01939	27,56
200,00	0,03728	0,01296	4,62
200,00	0,03727	0,01971	24,50

Graphes :

Force du vent en fonction de V^2 :

Vitesse au carré en fonction de la force du vent :

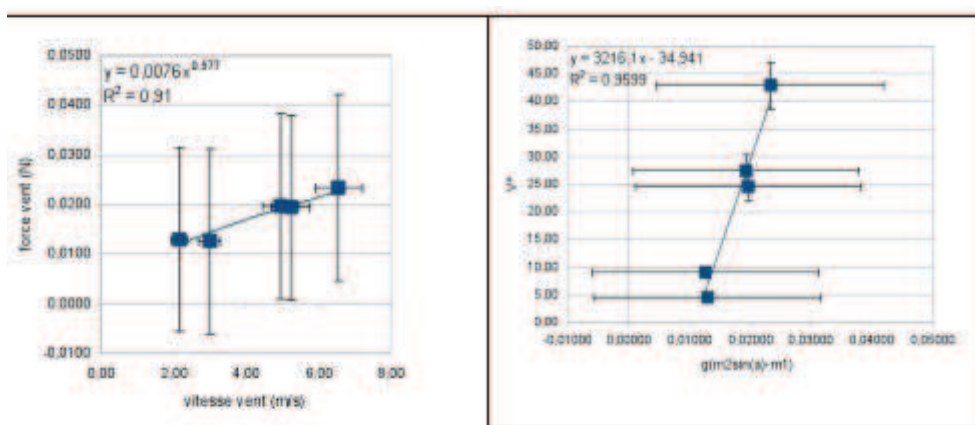


Figure 13 : Graphe expérience 1

L'expérience 1 ne satisfait pas nos attentes car l'évolution de la force du vent n'est pas proportionnelle à la vitesse au carré. Essayons avec la deuxième expérience qui suit.

3.3.2. Expérience 2

Mesures :

angle α (degré)	m_1 (g)	vitesse du vent V (m/s)	Force du vent (N)
7,10	24,00	2,50	0,0071
6,90	24,00	4,40	0,0003
7,00	24,00	5,90	0,0037
8,10	24,00	6,60	0,0410
8,30	24,00	7,40	0,0478

Figure 14 : Résultats expérience 2

m_2 (g)	Incertitude	$kV^2=g(m_2\sin(\alpha)-m_1)$	V^2	kx
200,00	0,0366	0,0071	6,25	2,39
200,00	0,0366	0,0003	19,36	0,03
200,00	0,0366	0,0037	34,81	0,22
200,00	0,0365	0,0410	43,56	1,99
200,00	0,0365	0,0478	54,76	1,85

En effectuant les mesures, nous avons pu nous apercevoir que deux mesures paraissaient complètement aberrantes. Afin de réaliser la meilleure des approches possibles, nous avons décidé d'enlever ces points pour créer nos graphiques après les avoir pris en compte une première fois.

Nous pouvons expliquer ces deux mesures totalement inadéquates par le caractère aléatoire du manomètre lors d'un mouvement de celui-ci dans la main de l'utilisateur.

Graphes :

Avec tous essais.

Force du vent en fonction de V^2 :

Vitesse au carré en fonction de la force du vent :

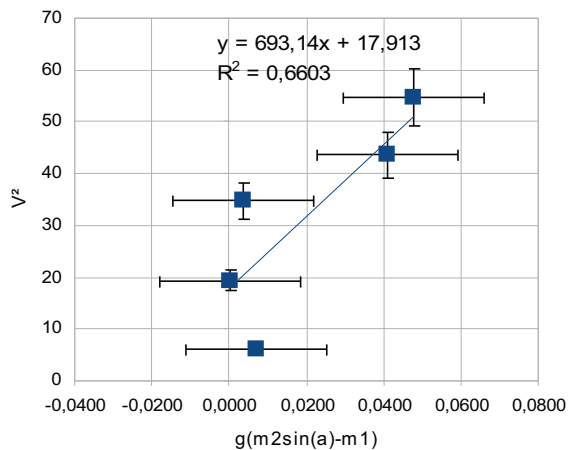
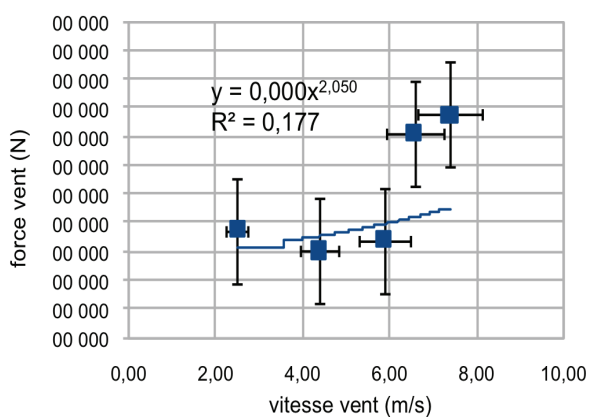
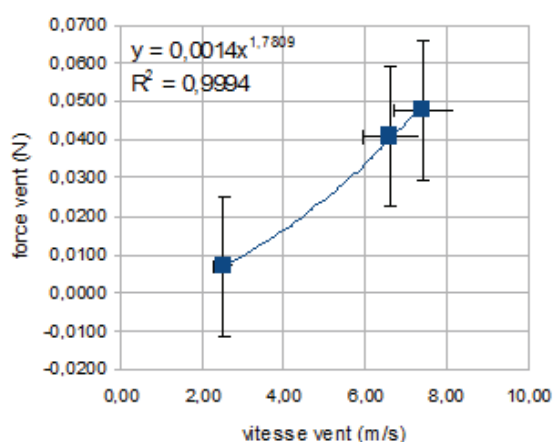


Figure 15 : Graphes expérience 2 (5 essais)

Afin d'obtenir de meilleurs résultats, nous avons envisagé de supprimer les deux points inappropriés dans les séries suivantes.

Sans les deux essais inappropriés.

Vitesse en fonction du vent :



Force du vent en fonction de V^2 :

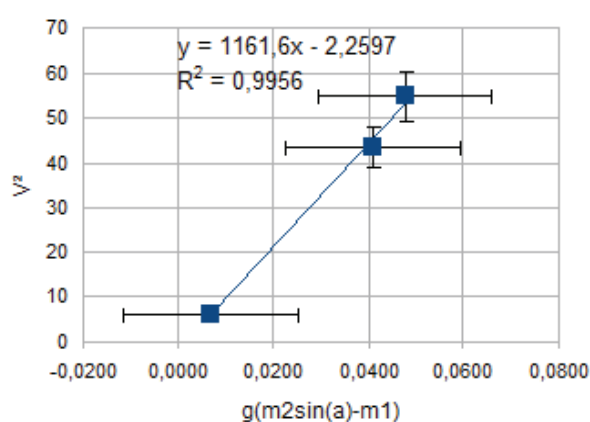


Figure 16 : Graphe expérience 2 (3 essais)

Sur ces deux graphes nous pouvons constater que la force suit enfin la loi $F=kV^2$. D'un autre côté le problème de la non linéarité de la vitesse carré est toujours présent selon le deuxième graphe. En effet, nous obtenons une équation de la forme $V^2=aX+b$.

Or nous savons que $F=g(m_1\sin(\alpha)-m_1)$ et $F=kV^2$ donc nous obtenons par analogie : $g(m_1\sin(\alpha)-m_1)=kV^2$ d'où $V^2(X)=(gm_1/k)X - m_2/k$ avec $X=\sin(a)$, $b=-m_2/k$ et $a=gm_1/k$

Ce résultat soulève une nouvelle fois le problème de la non linéarité de V^2 si l'on compare nos équations trouvées pour F par expérience à celle de la théorie.

Nous pouvons ainsi conclure, que la vitesse évolue bien selon la vitesse au carré, mais avec un problème de non linéarité de la vitesse pour chaque expérience contrairement à ce qui était attendu lors de la théorie. De même, il est important de souligner que nos incertitudes correspondent bien à la modélisation de nos courbes validant ainsi nos modèles d'expériences.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion nous pouvons affirmer que les résultats obtenus sont loin d'être convaincants. Nous devons d'abord reconnaître que l'expérience a été réalisée avec du matériel peut être peu adapté. L'anémomètre utilisé par exemple, nous donnait des mesures différentes selon l'inclinaison qu'on lui donnait. Par conséquent, beaucoup de nos mesures ont été faites avec un manque non négligeable de précision. D'autre part, il faut souligner que l'écoulement de l'air à la sortie de la soufflerie n'était sans doute pas laminaire. Le banc à coussin d'air lui, créait des perturbations. Ces différents facteurs sont probablement des erreurs constatées.

Nous pensons que cette expérience serait un succès si elle était réalisée avec des gammes de forces plus importantes. En effet, avec un vent beaucoup plus fort et des mobiles plus lourds les imprécisions seraient réduites.

Au vu des difficultés rencontrées quant à l'ajustement de l'angle et de la masse, il est raisonnable de penser qu'un autre dispositif expérimental peut être envisagé. L'influence de l'angle étant la plus importante des deux, un dispositif basé sur un équilibre ne nécessitant pas un ajustement de ce dernier a sûrement plus de chances de fonctionner. Un système vertical avec un mobile lesté par une masse variable sur lequel un vent constant exerce une force a été envisagé. Il pose cependant un problème de stabilité ce qui nous a contraints à y renoncer. Avec une soufflerie adaptée, cette expérience est envisageable.

D'un point de vue personnel, nous pensons que la mise en œuvre de ce projet nous a permis de constater l'importance de l'organisation au sein d'une équipe (puisque nous étions cinq) et la répartition des tâches. Nous avons du faire face à beaucoup de difficultés expérimentales et donc faire preuve d'autonomie. Pour finir, ce projet nous a surtout permis de réaliser qu'il est parfois très difficile de se rapprocher de la théorie.

5. BIBLIOGRAPHIE

[1] R. JOULIE, "Mécanique des fluides appliquée", *Ellipses*, 1998.

[2] D. DESJARDINS, "Mécanique des fluides", *Sciences Sup*, 2002.

[3] lien internet : http://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique_des_fluides (valide à la date du 15/04/2009).

6. ANNEXES (NON OBLIGATOIRE)

6.1. Documentation technique

KIMO
INSTRUMENTS

Fiche de Données Techniques
Pression • Température • Humidité • Vitesse d'air • Débit d'air • Combustion

Nouveau CE

APPAREILS MULTIFONCTIONS INTELLIGENTS

AMI 301 et 301 PRO

LIVRE
Certificat
d'étalonnage
AVEC

Capteur de pression
de 0 à 1000 Pa





1222 m³/h
4.8 m/s
DIAMETRE: 38.2 mm
UNITES

AMI 301 PRO

AMI 301

- Menu intuitif avec molette de navigation -----
- Boîtier ergonomique avec protection élastomère -----
- Affichage jusqu'à 5 paramètres -----
- Indication du niveau de la pile -----
- Sondes de mesure interchangeables -----
- Reconnaissance automatique des sondes -----
- Affichage de la date d'étalonnage -----
- Thermomètre 4 voies -----
- Enregistrement de plusieurs paramètres -----
- Liaison PC et imprimante -----
- Choix des langues -----

KIMO
HÉLICE
N° SERIE : 02.01.0007
ETALONNÉE LE
30.01.2002
APPRUVÉ SUR OK



SPECIFICATIONS :

L'AMI 301 est un appareil multifonctions capable de recevoir toutes les sondes munies du système SMART PRO, ainsi qu'un large choix de sondes de température thermocouple K. Les sondes SMART PRO sont livrées avec certificat d'étalonnage ou d'ajustage (date affichée par les appareils lors de la connexion). Elles sont automatiquement reconnues par les instruments et sont ainsi complètement interchangeables.

		Unités de mesure	Plages de mesure	Exactitudes*	Résolutions
MICROMANOMETRE	Pression	mmH ₂ O, Pa, Wg	0 à ±1000Pa	Exactitudes*	Résolutions
	Vitesse au Pitot	m/s, fpm	2 à 40m/s	±0,5% de la lecture ±1Pa	1Pa
	Vitesse Débimo	m/s, fpm	2 à 40m/s	±3% de la lecture ±0,1m/s	0,1m/s
	Débit au Pitot	m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	0 à 6500m ³ /h	±3% de la lecture ±0,1m ³ /h	0,1m ³ /h
	Débit Débimo	m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	0 à 6500m ³ /h	±3% de la lecture ±10m ³ /h	1m ³ /h
THERMO ANEMO A HELICE	Vitesse hélice Ø100 mm	m/s, fpm	0,20 à 3m/s	±2% de la lecture ±0,06m/s	0,01m/s
	Vitesse hélice Ø70 mm	m/s, fpm	3,1 à 35m/s	±2% de la lecture ±0,2m/s	0,1m/s
	Vitesse hélice Ø16 mm	m/s, fpm	0,6 à 40m/s	±2% de la lecture ±0,1m/s	0,1m/s
	Température ambiante (sauf hélice Ø 16 mm)	°C, °F, K	-20 à +80°C	±2% de la lecture ±0,1°C	0,1°C
	Débit	m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	0 à 6500m ³ /h	±3% de la lecture ±10m ³ /h	1m ³ /h
THERMO ANEMO A FIL CHAUD	Vitesse fil chaud	m/s, fpm	0 à 3m/s 3,1 à 30m/s	±3% de la lecture ±0,03m/s ±3% de la lecture ±0,1m/s	0,01m/s 0,1m/s
	Vitesse fil chaud télescopique	m/s, fpm	0 à 3m/s 3,1 à 30m/s	±3% de la lecture ±0,03m/s ±3% de la lecture ±0,1m/s	0,01m/s 0,1m/s
	Température ambiante	°C, °F, K	-20 à +80°C	±2% de la lecture ±0,1°C	0,1°C
	Débit	m ³ /h, cfm, l/s, m ³ /s	0 à 6500m ³ /h	±3% de la lecture ±10m ³ /h	1m ³ /h
THERMO HYGRO	Humidité	%HR, g/kg	3 à 98%HR	±1% de la lecture ±1,5%HR	0,1%HR
	Point de rosée	°C, °F, K	-20 à +80°C	±2% de la lecture ±0,1°C	0,1°C
	Température ambiante	°C, °F, K	-20 à +80°C	±2% de la lecture ±0,1°C	0,1°C
THERMOMETRE	Température Pt 100 (2 voies)	°C, °F, K	-100 à +400°C	±2% de la lecture ±0,1°C	0,1°C
	Thermocouple K** (2 voies)	°C, °F, K	-200 à -40°C -39 à +999°C +1000 à +1300°C	±1% de la lecture ±1,2°C ±0,5% de la lecture ±0,8°C ±1% de la lecture ±1,2°C	0,1°C 0,1°C 1°C
TACHY	Optique	tr/min, rpm, m/min,	60 à 50000tr/min	±0,5% de la lecture ±1tr/min	1tr/min
	Contact	ft/min, ln/min	4 à 2500m/min 30 à 20000tr/min	±2% de la lecture ±1m/min	0,1m/min 1 tr/min

* Etablies dans des conditions de laboratoire, les exactitudes présentées dans ce document seront maintenues sous réserve d'appliquer les compensations d'étalonnage ou de se ramener à des conditions identiques.

** Les sondes thermocouple K ne disposent pas du système SMART PRO.

SONDE D'HYGROMETRIE :

Ecart maximum garanti* :

EMG (GAL) = ±2,70 %HR entre 18 et 28°C (domaine standard)

Etendue de mesure : 3 à 98%HR
Dérive à court terme : meilleure que 1%HR / an
Temps de réponse : 10 secondes

$$* EMG = Et + ENI + k (uet^2 + ur^2 + ud^2 + us^2)^{1/2}$$

Selon la charte 2000/2001 Hygromètres avec :

uet : incertitude d'étalonnage = ± 0,55%HR
ur : incertitude de résolution = ± 0,003%HR
ud : incertitude de fabrication = ± 0,17%HR
us : répétabilité de comparaison = 0,11%HR
Et : écart dû à la dérive thermique = ± 0,28%HR
Ehl : écart dû à l'hystérésis et à la linéarité = ± 1,25%HR
k : facteur d'élargissement = 2%HR

