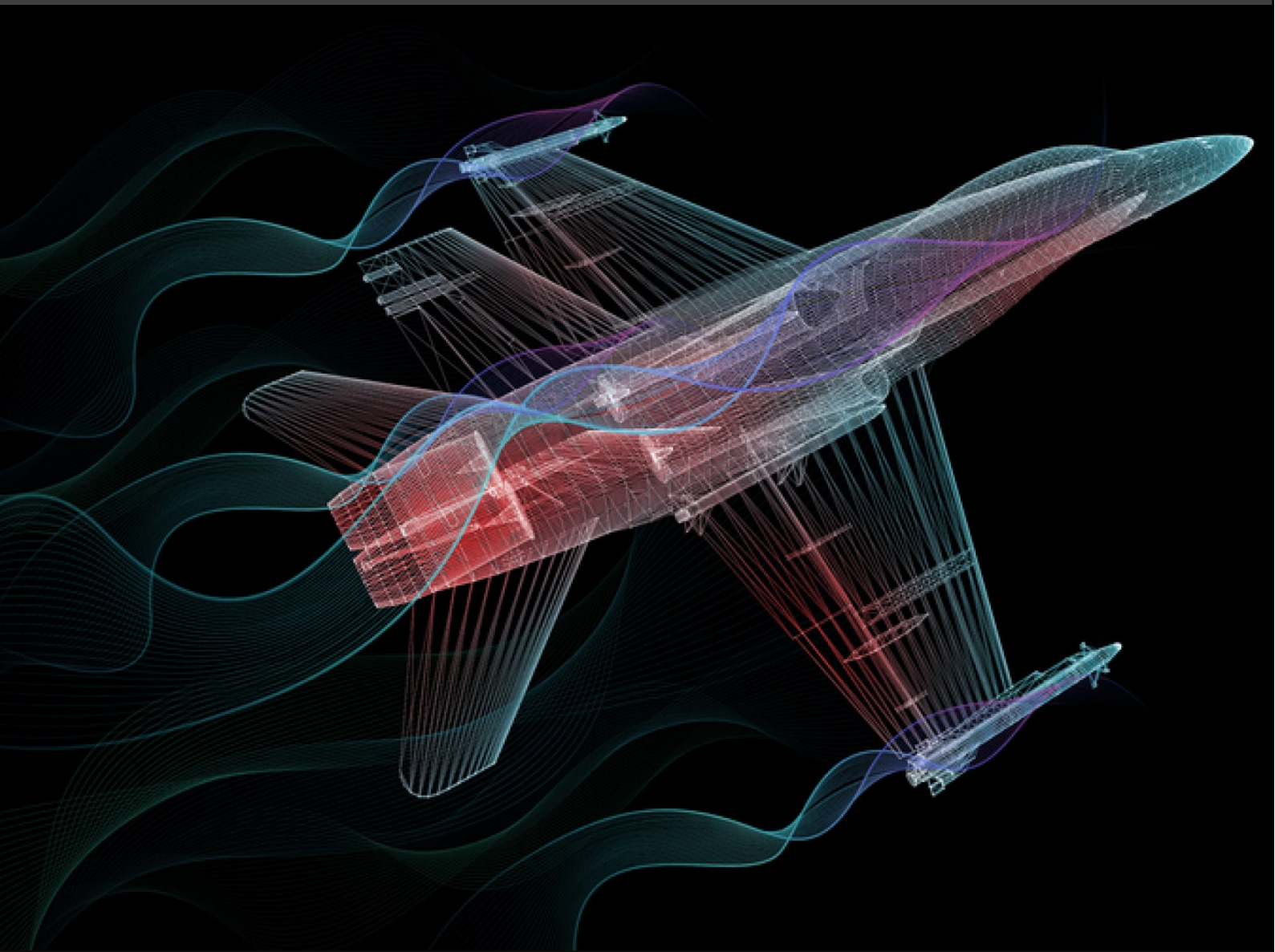




MATRIX | WIND TUNNEL

Aerodynamics



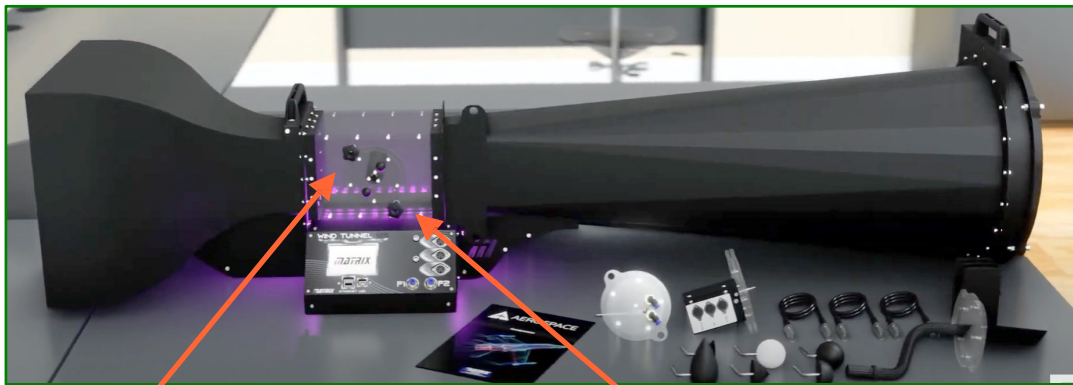
MATRIX
CP0704
www.matrixtsl.co
Copyright 2023-2024 Matrix Technology Solutions Limited

Contenu

Introduction	3
Fiche de travail 1 - Le tube de Pitot	5
Fiche d'activité 2 - Les schémas d'écoulement autour d'un cylindre	7
Fiche d'activité 3 - Les schémas d'écoulement autour d'une voilure	10
Fiche d'activité 4 - La portance et la traînée sur une voilure	13
Fiche de calcul 5 - Coefficient de traînée	15
Fiche de travail 6 - Rationalisé ?	17
Fiche de travail 7 - Quelle est la prochaine étape ?	18
Document de l'élève	19
Notes pour l'instructeur	47

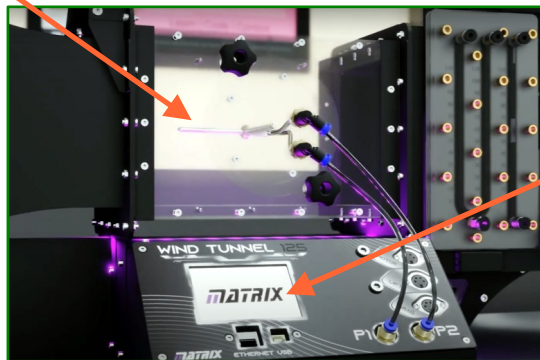
Soufflerie 125

Cette soufflerie de table est conçue pour enseigner l'aérodynamique et les principes de l'écoulement des fluides. Outre les études décrites dans les sections suivantes, elle offre la possibilité d'effectuer des expériences ouvertes et approfondies.

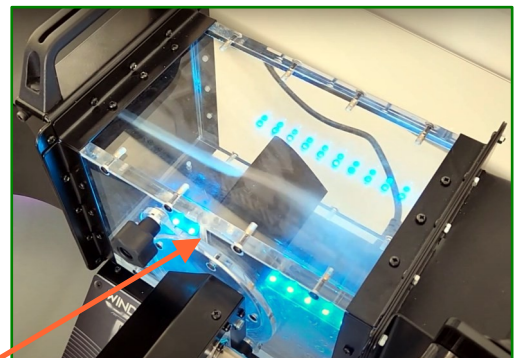


Section d'essai transparente

Des lumières LED mobiles imitent le flux d'air



Le panneau à écran tactile contrôle le débit d'air et le système d'acquisition de données intégré.



Un générateur de fumée montre des schémas d'écoulement autour des objets à tester

Introduction



Support
d'expérience pour
le tube de Pitot
statique (fiche de
travail 1)

Cylindre taraudé fixé à
un rapporteur circulaire
(feuille de travail 2)



Support
d'aérodynamique
(Fiche de travail
3)



Module à deux forces
• connecté au profil
aérodynamique
(Fiche de travail 4)
• connectées pour tester
les formes (fiche
de travail 5)



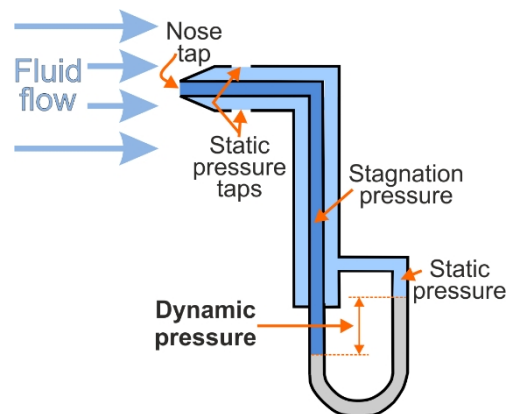
Fiche de travail 1

Tube de Pitot-statique

Les tubes de Pitot sont utilisés dans les véhicules tels que les avions et les voitures de course pour contrôler la vitesse de l'air et, par conséquent, la vitesse du véhicule.

Ils comparent la pression créée dans un tube (le tube de Pitot) orienté directement vers l'écoulement du fluide, à la pression statique qui l'entoure.

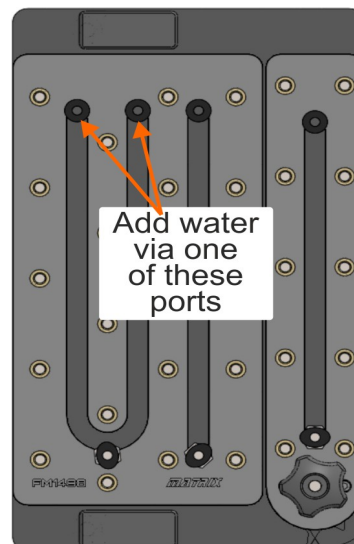
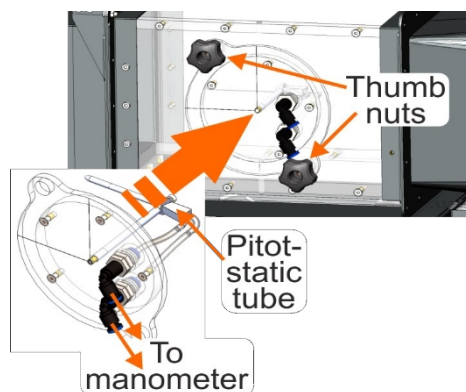
Plus l'écoulement du fluide est rapide, plus cette différence de pression.



À vous de jouer :

1. Utilisation du manomètre à tube en U :

- Placer le support d'expérimentation du tube de Pitot dans la zone d'essai de la soufflerie et le fixer à l'aide des deux écrous à ailettes, comme indiqué sur le schéma. Veillez à ce que le tube soit orienté directement dans le flux d'air.
- Ajoutez de l'eau au manomètre par l'un des orifices identifiés dans le diagramme ci-dessous de manière à ce que le niveau de l'eau soit proche de 50.



- Connectez le support d'expérience au tube en U du manomètre. (Il n'est pas important de savoir quel tube va à quel port. L'important est la *différence de* hauteur des colonnes d'eau).
- Mesurer les hauteurs initiales des colonnes d'eau dans le manomètre (c'est-à-dire à une vitesse de ventilateur de 0 %).
- Inscrivez la mesure dans le tableau de la fiche de l'élève.

Fiche de travail 1

Tube de Pitot-statique

À vous de jouer

- Activez le flux d'air dans la soufflerie en appuyant sur le bouton "speed-up" et réglez la vitesse du ventilateur à 10 %. (Lors de la mise en marche, le ventilateur démarre automatiquement à 10 %).
- Mesurez à nouveau la hauteur des colonnes d'eau.
- Augmentez la vitesse du ventilateur par paliers de 10 % jusqu'à une vitesse de 100 %. Mesurer à chaque fois la hauteur de la colonne d'eau.
- Notez toutes les mesures dans le document de l'élève.

Et alors ?

En utilisant l'équation de Bernoulli, nous prévoyons que :

$$V^2 = \frac{2 (\rho_w \times g \times h)}{\rho_a}$$

où **V** = vitesse de l'air,

ρ_w = densité de l'eau (1000kg.m)⁻³

g = intensité du champ gravitationnel = 9,81N.kg⁻¹

h = différence de hauteur du manomètre en mètres,

ρ_a = densité de l'air (1,20 kg.m⁻³).

- Pour chaque valeur de la vitesse du ventilateur, calculer
 - la différence de hauteur du manomètre, **h, en mètres** ;
 - la vitesse de l'air, **V**, à l'aide de la formule ci-dessus.
- Utilisez ces résultats pour tracer un graphique de la vitesse de l'air en fonction de la différence de hauteur. Tracez une courbe régulière en vous aidant de vos points.

2. Utilisation du pressiomètre numérique :

- Détachez maintenant les tubes du manomètre et connectez-les aux ports de l'unité de contrôle. Là encore, le sens dans lequel vous les connectez n'a pas d'importance. (C'est l'amplitude qui importe, ignorez donc les signes moins ! Dans le meilleur des cas, la valeur est négative, car la pression diminue avec la vitesse.)
- Remettez à zéro les capteurs du panneau de contrôle.
- Effectuez une série de mesures de la vitesse de l'air et de la différence de pression (module) indiquée sur l'écran.
le pressiomètre numérique, comme précédemment, mais pour des vitesses de ventilateur de 10 % à 100 %, .
- Notez toutes les mesures dans le document de l'élève.

Et alors ?

- Tracez un autre graphique de la vitesse de l'air en fonction de la différence de pression, en utilisant cette fois les relevés du pressiomètre numérique. Une fois de plus, tracez une courbe régulière entre les points.
- Calculez le nombre de Reynolds pour chaque pourcentage de vitesse du ventilateur

Fiche de travail 2

Schémas d'écoulement autour d'un cylindre

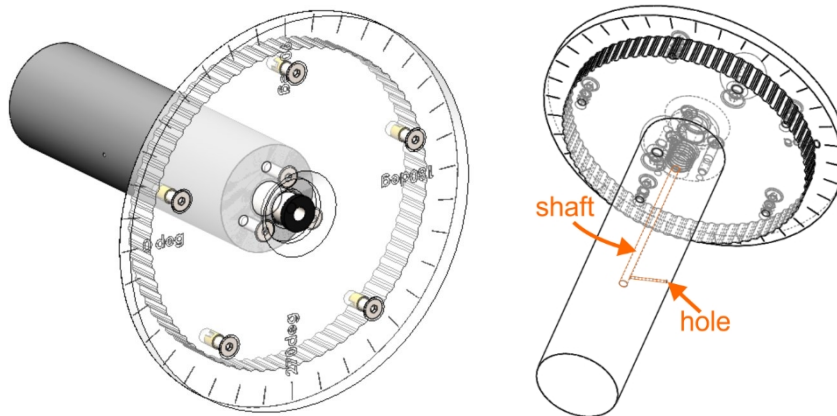
Lors de la conception de navires, d'avions, de voitures, etc., l'objectif est généralement de réduire la traînée et les autres forces de frottement afin d'augmenter la vitesse du véhicule ou de réduire sa consommation d'énergie.

Les facteurs importants à cet égard sont le profil du véhicule par rapport à l'écoulement du fluide et la vitesse de ce dernier.



À vous de jouer :

L'objet est un cylindre dont la surface est percée d'un trou et qui est relié à un arbre en son centre. Le cylindre est fixé à un rapporteur circulaire.



- Placer le porte-cylindre dans la zone d'essai de la soufflerie et le fixer à l'aide des écrous à ailettes.
- Le support est doté d'un mécanisme de rotation qui permet de faire pivoter le cylindre en 5 étapes⁰.
- Tournez-le pour obtenir un angle d'attaque, θ , de 0^0 par rapport à l'écoulement de l'air. (Dans cette position, le repère de l'échelle 90^0 est aligné sur le repère vertical de la fenêtre d'essai).
- Relier l'orifice de pression du support à l'un des orifices de l'unité de contrôle. Laisser l'autre orifice ouvert à la pression ambiante.
- Mettre à zéro le capteur de pression sur le panneau de commande, lorsque la vitesse du ventilateur est nulle.
- Allumez le ventilateur et réglez-le à 20 %.
- Lire la vitesse et la pression de l'air, indiquées sur le pressiomètre numérique.
- Tourner le cylindre dans son support jusqu'à un angle, θ , de 5^0 et répéter la procédure.
- Augmenter l'angle d'attaque par paliers de 5^0 jusqu'à un angle de 180^0 . À chaque fois, observez la pression résultante.
- Notez toutes les mesures dans le document de l'élève.

Schémas d'écoulement autour d'un cylindre

Et alors ?

Les facteurs importants qui déterminent le schéma d'écoulement que l'on observe autour des objets placés dans un courant fluide sont les suivants :

- le nombre de Reynolds, R_e , pour l'écoulement, qui dépend des dimensions, telles que le diamètre du cylindre, ainsi que de la vitesse et des propriétés du fluide ;
- le coefficient de pression, C_p , utilisé pour obtenir la distribution de la pression autour d'un objet immergé dans un fluide.

On peut montrer que :
$$C_p = \frac{(P - P_\infty)}{\frac{1}{2}\rho V^2}$$

où P = pression en Pa en un point particulier de la surface du corps

P_∞ = pression du fluide en écoulement libre (c'est-à-dire non perturbé par la présence de l'objet). C'est ce qui ressort des résultats de la première feuille de travail, qui utilisait le tube de Pitot-statique pour mesurer la pression de l'air en écoulement libre (non perturbé) pour une gamme de vitesses de l'air.

ρ = densité du fluide, l'air dans ce cas, prise à $1,20 \text{ kg.m}^{-3}$

V = vitesse du fluide.

- Utilisez cette équation pour calculer les valeurs du coefficient de pression pour chaque angle d'attaque. (les deux valeurs de pression doivent être négatives)
- Tracer un graphique du coefficient de pression en fonction de l'angle d'attaque, θ , pour cette valeur de la vitesse de l'air.

(Si vous utilisez un tableur tel qu'Excel pour obtenir le graphique, vous devrez peut-être convertir les angles de degrés en radians. (1 degré = 0,017 radians.))

- Comparez les résultats à la courbe théorique et expliquez la différence entre les deux.

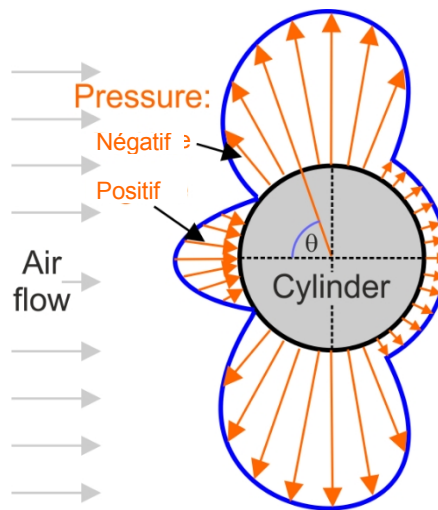
Fiche de travail 2

Schémas d'écoulement autour d'un cylindre

Alors quoi

La distribution de la pression autour d'un objet est souvent présentée sous la forme suivante :

- La pression négative est indiquée par les flèches qui s'éloignent de l'objet.
- Pour une pression positive, les flèches se dirigent vers l'objet.



- Utilisez vos résultats pour créer un diagramme de distribution de pression de ce type.

Un modèle est fourni dans le document de l'élève. Vos mesures ne couvrent que l'intervalle de 0° à 180° . Le modèle est symétrique, vous pouvez donc le compléter si vous le souhaitez.

- Comparez ce diagramme avec le graphique que vous avez tracé plus tôt. Dans la fiche de l'élève, commentez cette comparaison.

Défi !

Obtenir des graphiques de distribution de la pression pour des vitesses de ventilateur de 50 %, 80 % et 100 %.

Fiche de travail 3

Schémas d'écoulement autour d'une voilure

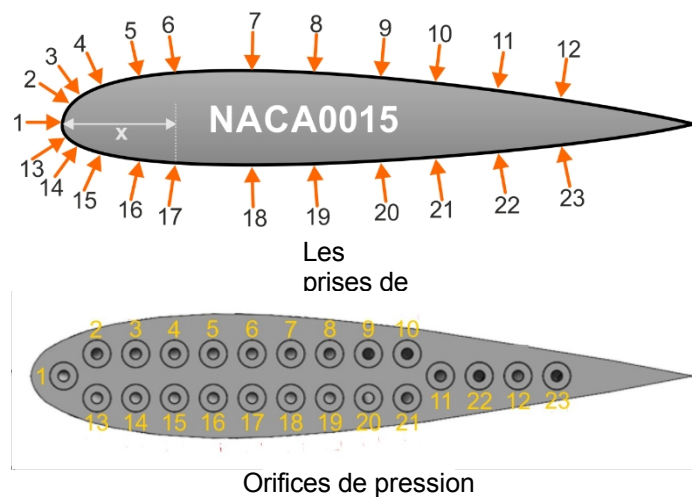
Lorsqu'un fluide s'écoule autour d'un objet, il peut générer des forces nettes qui font monter ou descendre l'objet.

La forme (profil) que présente l'objet détermine l'importance de ces forces.

Une voilure exploite cet effet, ce qui permet aux avions de se soulever, aux éoliennes de tourner et aux hélices des bateaux de pousser.



Cette étude porte sur la distribution de la pression autour d'une maquette de voilure de forme connu sous le nom de NACA0015.



Vingt-trois trous situés à la surface de la voilure mènent, par l'intermédiaire de tubes internes, à des orifices qui peuvent être reliés à un manomètre.

De cette façon, nous pouvons prendre des mesures de la pression statique sur la surface de la voilure.

À vous de jouer :

- Placer le support de la voilure dans la zone d'essai de la soufflerie et le fixer à l'aide d'écrous à ailettes.
- Tourner la voilure pour obtenir un angle d'attaque de 0° (par rapport à l'écoulement de l'air).
- Remettre à zéro les capteurs du panneau de contrôle.
- Allumez le ventilateur et réglez la vitesse à 25 %.
- Connecter la prise "1" à l'orifice 1 du boîtier de contrôle. Laisser l'autre orifice ouvert à la pression ambiante.
- Relevez la vitesse et la pression de l'air, indiquées sur le pressiomètre numérique pour ce point de la voilure.
- Inscrivez-le dans le tableau de la fiche de l'élève.
- Retirez le tube de prélèvement de l'orifice et répétez ce processus pour les autres raccordements du profil aérodynamique .



Fiche de travail 3

Schémas d'écoulement autour d'une voilure

Et alors ?

Pour faciliter l'extrapolation des résultats à d'autres voilures, la distance entre l'avant de la voilure et la prise d'air est enregistrée comme une fraction de la longueur de la corde de la voilure, dans ce cas 60 mm.

Le tableau montre cette distance fractionnelle, x , pour chacun des raccords :

Prise de pression	1	2 13	3 14	4 15	5 16	6 17	7 18	8 19	9 20	10 21	11 22	12 23
Distance le long de la corde en mm	0	0.6	1.6	3.8	7.4	10.8	18.3	24.2	30.7	35.9	41.8	47.7
Distance fractionnaire x le long de la corde	0	0.01	0.03	0.06	0.12	0.18	0.30	0.40	0.51	0.60	0.70	0.80

Remarquez que les raccords 2 et 13, 3 et 14, etc., se trouvent à la même distance le long de la corde, l'un sur l'extrados et l'autre sur l'intrados.

Le paramètre coefficient de pression, C_p , utilisé pour décrire la variation de pression à travers une voilure est calculé à partir de la formule donnée plus haut :

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

où P = pression à la prise d'aile en Pa

P_∞ = pression du fluide en écoulement libre, calculée, là encore, à partir des résultats de la première feuille de calcul.

ρ = densité de l'air, fixée à 1,20 kg.m⁻³

V = vitesse de l'air

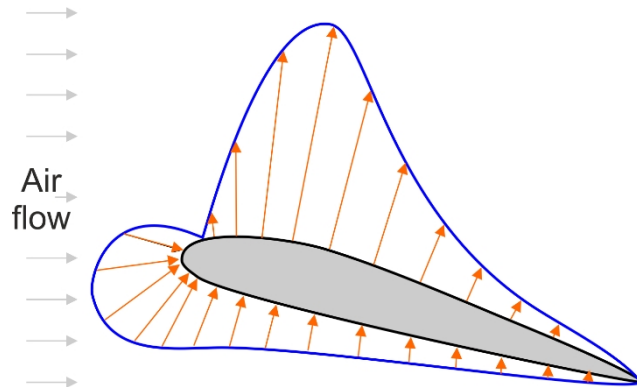
- Utilisez cette formule pour calculer le coefficient de pression à chaque prise et ajoutez le résultat au tableau de la fiche de l'élève.
- Utilisez les résultats pour tracer un graphique de distribution de la pression, C_p en fonction de x , pour l'extrados de la voilure.
- Sur les mêmes axes, tracez un graphique de distribution de la pression pour la surface **inférieure**.
- Commentez ce que montrent ces graphiques.

Fiche de travail 3

Schémas d'écoulement autour d'une voilure

Alors quoi

Là encore, il est d'usage de présenter ces résultats dans un diagramme de distribution de la pression, comme celui présenté ci-dessous.



- Utilisez vos résultats pour tracer un graphique de distribution de pression, C_p en fonction de x , en utilisant la plaque de température 0° fournie dans le document de l'élève. (Les positions des raccords sont indiquées sur le modèle).
- Modifiez l'angle d'attaque de la voilure à 5° et répétez la procédure. Utilisez les résultats obtenus pour tracer un graphique de distribution de la pression sur le modèle 5° fourni dans la documentation de l'élève.
- Réglez maintenant l'angle d'attaque à 12° et répétez le processus.

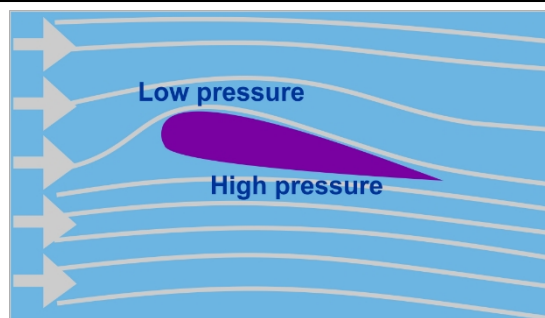
Défi !

De la même manière, obtenez une série de graphiques de distribution de la pression pour des vitesses de ventilateur de 50 %, 80 % et 100 %.

Fiche de travail 4

La portance et la traînée sur une voilure

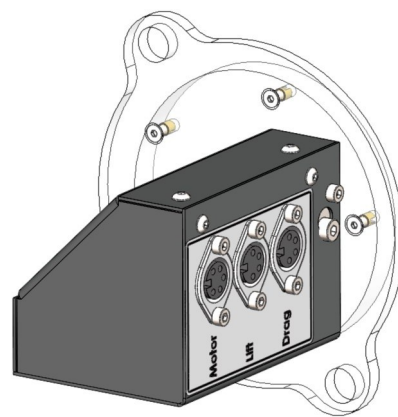
La forme de l'aile entraîne une courbure des lignes d'écoulement de l'air autour d'elle. Cela nécessite un gradient de pression à travers le flux d'air, conduisant à une pression d'air plus faible sur le dessus de l'aile qu'en dessous. Le résultat - une force ascendante sur la voilure - s'appelle la portance.



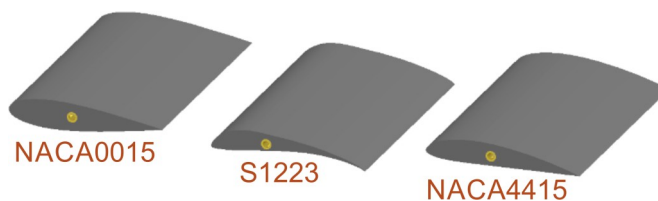
Cette expérience nécessite le porte-module "deux forces", illustré ci-contre.

Il contient

- deux cellules de charge intégrées, l'une pour mesurer les forces de portance et l'autre les forces de traînée ;
- un moteur pas à pas pour régler l'angle d'attaque de la voilure.



Les profils aérodynamiques fournis avec le kit sont également représentés, avec les noms de leurs profils. Chacun d'eux est muni d'un insert fileté. Vissez-le sur l'arbre situé à l'extrémité du support, puis fixez-le à la section d'essai de la soufflerie à l'aide des écrous à ailettes. Utilisez les câbles fournis pour relier les prises du support aux prises correspondantes de l'unité de contrôle.



À vous de jouer :

- Fixez la voilure NACA0015 au support et placez-la dans la soufflerie.
- Tournez la voilure pour obtenir un angle d'attaque de 0° (par rapport à l'écoulement de l'air).
- Le ventilateur étant éteint, mettez à zéro les capteurs du panneau de commande.
- Allumez le ventilateur et réglez-le sur une puissance de 20 %.
- Augmentez l'angle d'attaque par paliers de 5° en passant d'un angle de -25° à $+45^\circ$.
- À chaque fois, lisez les valeurs de portance et de traînée affichées sur le panneau de commande et inscrivez-les dans le tableau de la fiche de l'élève.
- Augmentez la vitesse du ventilateur à 50 % et répétez la procédure.
- Faites ensuite la même chose à une vitesse de ventilation de 80 %.
- Complétez les tableaux appropriés de la fiche de l'élève avec vos résultats.

Fiche de travail 4

La portance et la traînée sur une voilure

Et alors ?

- Sur les mêmes axes, tracez les graphiques de la force de portance en fonction de l'angle d'attaque pour les trois vitesses de l'air et étiquetez chacun d'entre eux. Tracez des courbes lisses en vous basant sur les points expérimentaux.
- Tracez ensuite les graphiques de la force de traînée en fonction de l'angle d'attaque pour les trois vitesses de l'air.
- Commentez ce que montrent ces graphiques.

À vous de jouer :

- Retirer la voilure NACA0015 et la remplacer par la voilure S1223.
- Répétez la procédure pour obtenir les graphiques de portance et de traînée pour des vitesses de ventilateur de 20 %, 50 % et 80 %.
- Faites ensuite la même chose pour la voilure NACA4415.

Et alors ?

- Sur les mêmes axes, tracez maintenant un graphique de la force de portance en fonction de l'angle d'attaque pour les trois voiles aérodynamiques à une vitesse de vent de 20 % afin de comparer leurs performances aérodynamiques.
- Tracez ensuite un second graphique pour comparer les forces de traînée sur chaque voilure à la vitesse du ventilateur de 20 %.
- Commentez ces comparaisons.

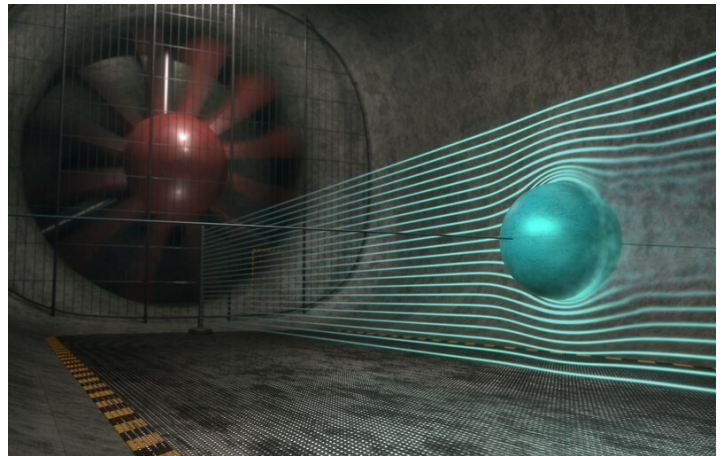
Fiche de travail 5

Coefficient de traînée

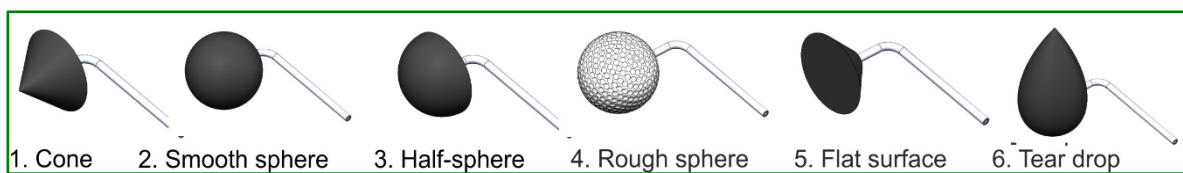
Dans le langage courant, le terme "aérodynamique" désigne une forme qui glisse facilement dans un fluide, tel que l'air, en rencontrant une résistance minimale (traînée).

Cette enquête explore la relation entre la forme d'un objet et les forces de traînée qu'il produit.

Le coefficient de traînée est calculé pour un certain nombre de formes. Il dépend de facteurs tels que la surface et la rugosité de la surface de l'objet, ainsi que de la vitesse de l'air qui le traverse...



Cette expérience utilise également le porte-module "à deux forces", avec chacune des formes de traînée montrées ci-dessous, attachées à tour de rôle.



À vous de jouer :

- Fixez fermement la première forme, le cône, au support "deux forces" à l'aide de la tige filetée.
- Placez-la dans la section d'essai de la soufflerie et fixez-la à l'aide des écrous à ailettes.
- Connecter le support de module à l'unité de contrôle comme précédemment.
- Régler l'angle d'attaque à 0° (par rapport au flux d'air).
- Le ventilateur étant éteint, mettre à zéro les capteurs du panneau de commande.
- Allumez le ventilateur et réglez-le sur une puissance de 10 %.
- Lire les valeurs de la vitesse de l'air et de la force de traînée, affichées sur le panneau de contrôle.
- Augmentez la vitesse de l'air par paliers de 10 % jusqu'à 100 %.
- À chaque fois, lisez les valeurs de la vitesse de l'air et de la traînée et inscrivez-les dans le premier tableau de la fiche de l'élève.

Fiche de travail 5

Coefficient de traînée

Et alors ?

- Pour chaque valeur de la vitesse de l'air, calculer le coefficient de traînée à l'aide de la formule :

$$\text{coefficient de traînée } C_d = \frac{D}{1/2 \rho V^2 \times A}$$

où **D** = force de traînée en N

ρ = densité de l'air, fixée à 1,20 kg.m⁻³

V = vitesse de l'air en m.s⁻¹

d = diamètre de la forme = 44 mm = 0,044 m

- Que remarquez-vous à propos de l'effet de la vitesse de l'air sur le coefficient de traînée ?

À vous de jouer :

- Répétez la même procédure pour les autres formes, en complétant les tableaux appropriés de la fiche de l'élève avec vos résultats.

Et alors ?

Le tableau suivant donne les valeurs théoriques des coefficients de traînée de ces formes.

Forme	Coefficient de traînée
Cône	0.5
Sphère lisse	0.47
Demi-sphère	0.42
Sphère rugueuse	0.2
Surface plane	1.1
Goutte d'eau	0.04

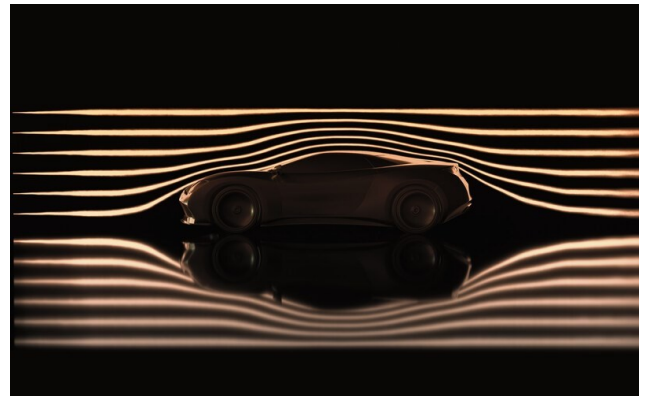
Certaines de ces valeurs varient en fonction de la forme précise de l'objet et des conditions sous laquelle les mesures sont prises.

- Comparez vos résultats avec les valeurs indiquées dans le tableau et commentez-les dans la fiche de l'élève.
- Dans le document de l'élève, répondez à ces questions en utilisant vos résultats le cas échéant :
 - Une voiture moderne a un coefficient de traînée d'environ 0,2 à 0,3. Laquelle de ces formes est la plus susceptible d'être choisie pour une voiture aérodynamique ?
 - Pourquoi les balles de golf sont-elles alvéolées ?

Rationalisé ?

Les souffleries sont souvent utilisées pour obtenir des images de l'écoulement de l'air autour d'objets tels que les voitures, les avions et les bâtiments afin d'améliorer leur conception.

Dans cette enquête, vous utilisez des flux de fumée soufflant autour d'objets placés dans le flux d'air pour créer ces images.



La procédure précise de cette enquête dépend exactement de ce que vous voulez étudier et de l'équipement dont vous disposez ; les instructions données ci-dessous ne sont donc que des lignes directrices générales.

Il est possible de prendre des photos qui montrent les motifs produits par les courants de fumée, mais c'est un peu aléatoire car ils changent rapidement.

Une autre solution consiste à créer un clip vidéo en utilisant la fonction de ralenti disponible sur de nombreux téléphones portables.

À vous de jouer :

- Fixez fermement l'objet qui vous intéresse au module "deux forces".
- Placez-la dans la section d'essai de la soufflerie à l'angle souhaité.
- Allumez le ventilateur à une faible vitesse pour commencer.
- Tenir la sortie du générateur de fumée près du centre de la grille d'entrée de la soufflerie.
- Ajustez sa position pour améliorer l'aspect de la fumée qui s'écoule autour de l'objet.
- Une fois que vous êtes satisfait du motif, utilisez l'appareil photo d'un téléphone portable pour prendre des photos ou, de préférence, une vidéo au ralenti du motif de la fumée.
- Expérimentez d'autres vitesses de ventilation et d'autres angles d'attaque.

Fiche de travail 7

Quelle est la prochaine étape ?

Et maintenant... à vous de jouer !

Quel est votre domaine d'intérêt ?

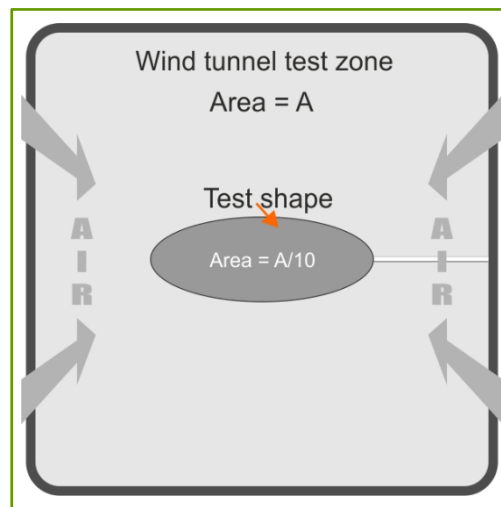
- la forme de la carrosserie de la voiture ;
- l'aéronautique ;
- la conception de la coque des navires ;
- l'efficacité des éoliennes ?

À ce stade, étudiez une forme de votre choix.



Lignes directrices

La taille de la forme que vous produisez est importante. La surface exposée au flux d'air doit être inférieure à 10 % de la section transversale de la zone d'essai de la soufflerie, dont les dimensions sont de 125 mm x 125 mm.



À vous de jouer :

- Si vous l'avez imprimé en 3D, vous avez peut-être inclus une prise pour détecter la pression. Dans ce cas, connectez-le et procédez comme dans la fiche de travail 2.
- Si vous vous intéressez aux forces exercées sur la forme par le flux d'air, procédez comme dans les fiches 4 et 5.
- Vous pourriez être intéressé par le flux d'air autour de la forme, dans ce cas, procédez comme dans la feuille de travail 6.

Document de l'élève

Fiche de travail 1 - Le tube de Pitot

1. Utilisation du manomètre à tube en U :

Ventilateur vitesse %	Hauteur de la colonne gauche en mm	Hauteur de la colonne de droite en mm	Différence de hauteur h en m	Vitesse de l'air V en m.s ⁻¹
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				

2. Utilisation du capteur de pression numérique :

Vitesse du ventilateur %	Valeur de la pression en Pa	Vitesse de l'air V en m.s ⁻¹
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

Document de l'élève

Feuille d'activité 2 - Les schémas d'écoulement autour d'un cylindre

Vitesse du ventilateur = 20

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
00°		
50°		
100°		
150°		
200°		
250°		
300°		
350°		
400°		
450°		
500°		
550°		
600°		
650°		
700°		
750°		
800°		
850°		
900°		

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
95°		
100°		
105°		
110°		
115°		
120°		
125°		
130°		
135°		
140°		
145°		
150°		
155°		
160°		
165°		
170°		
175°		
180°		

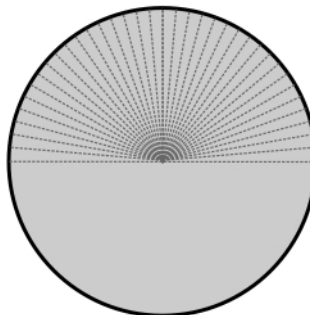


Diagramme de distribution de la pression

Document de l'élève

Feuille d'activité 2 - Les schémas d'écoulement autour d'un cylindre

Comparaison des deux façons de présenter la distribution de la pression :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Document de l'élève

Feuille d'activité 2 - Les schémas d'écoulement autour d'un cylindre =

Défi !

Vitesse du ventilateur =

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
00		
50		
10 ⁰		
15 ⁰		
20 ⁰		
25 ⁰		
30 ⁰		
35 ⁰		
40 ⁰		
45 ⁰		
50 ⁰		
55 ⁰		
60 ⁰		
65 ⁰		
70 ⁰		
75 ⁰		
80 ⁰		
85 ⁰		
90 ⁰		

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
95 ⁰		
100 ⁰		
105 ⁰		
110 ⁰		
115 ⁰		
120 ⁰		
125 ⁰		
130 ⁰		
135 ⁰		
140 ⁰		
145 ⁰		
150 ⁰		
155 ⁰		
160 ⁰		
165 ⁰		
170 ⁰		
175 ⁰		
180 ⁰		

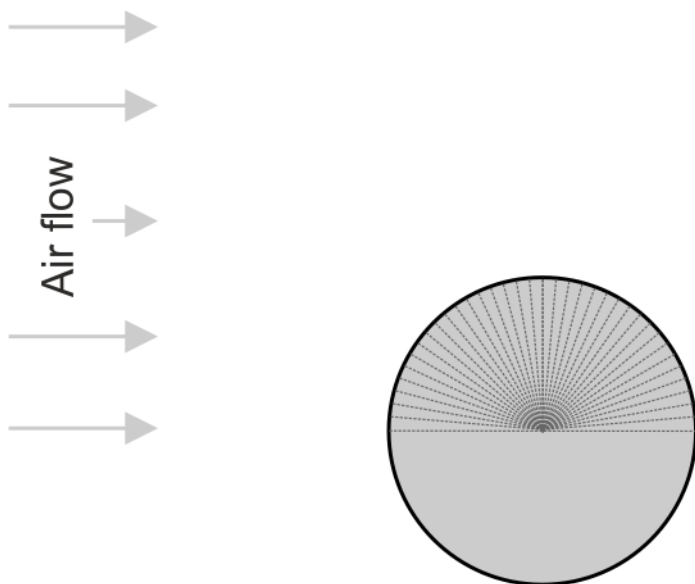


Diagramme de distribution de la pression

Document de l'élève

Feuille d'activité 2 - Les schémas d'écoulement autour d'un cylindre

Défi ! Vitesse du ventilateur =

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
00°		
50°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		
50°		
55°		
60°		
65°		
70°		
75°		
80°		
85°		
90°		

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
95°		
100°		
105°		
110°		
115°		
120°		
125°		
130°		
135°		
140°		
145°		
150°		
155°		
160°		
165°		
170°		
175°		
180°		

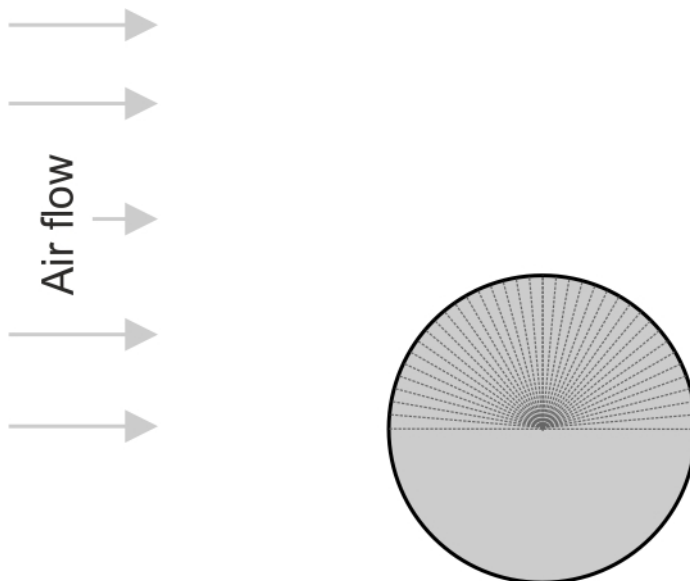


Diagramme de distribution de la pression

Document de l'élève

Feuille d'activité 2 - Les schémas d'écoulement autour d'un cylindre =
 Défi ! Vitesse du ventilateur =

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		
50°		
55°		
60°		
65°		
70°		
75°		
80°		
85°		
90°		

Angle d'attaque	Différence de pression en Pa	Coefficient de pression C_p
95°		
100°		
105°		
110°		
115°		
120°		
125°		
130°		
135°		
140°		
145°		
150°		
155°		
160°		
165°		
170°		
175°		
180°		

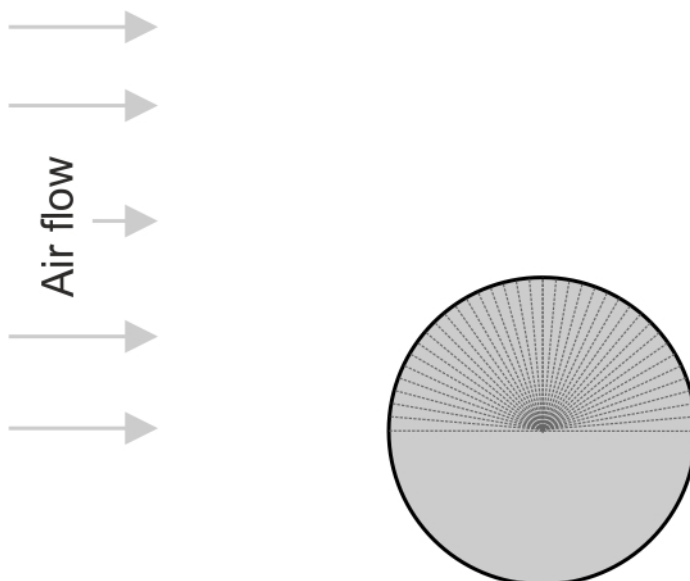


Diagramme de distribution de la pression

Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour d'une voile

Angle d'attaque = 0° Vitesse du ventilateur = 25

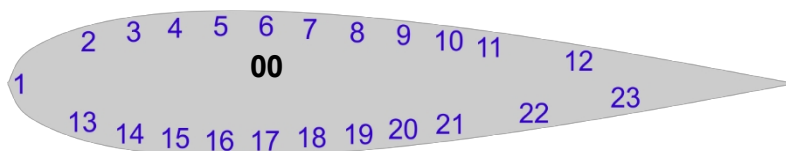
Surface supérieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour d'une voile

Angle d'attaque = 5° Vitesse du ventilateur = 25

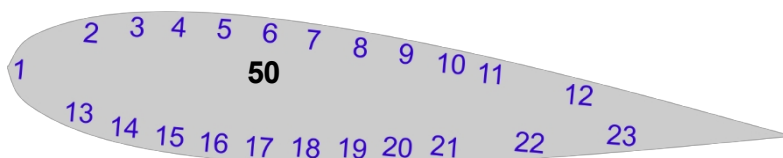
Surface supérieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Document de l'élève

Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour d'une voilure

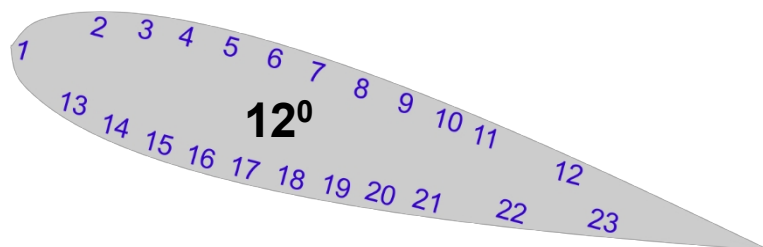
Angle d'attaque = 12° Vitesse du ventilateur = 25 %.

inférieure :
Surface

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C _p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C _p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Document de l'élève

Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour

d'une voilure

Défi

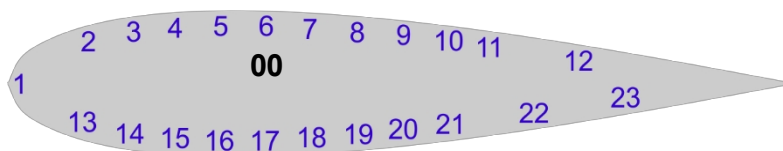
Angle d'attaque = 0° Vitesse du ventilateur = 50

%.

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C _p	Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C _p
1	0						
2	0.01			13	0.01		
3	0.03			14	0.03		
4	0.06			15	0.06		
5	0.12			16	0.12		
6	0.18			17	0.18		
7	0.30			18	0.30		
8	0.40			19	0.40		
9	0.51			20	0.51		
10	0.60			21	0.60		
11	0.70			22	0.70		
12	0.80			23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour

d'une voile

Défi

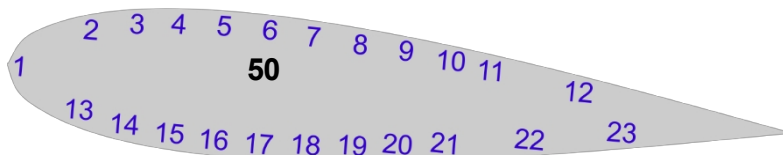
Angle d'attaque = 5° Vitesse du ventilateur = 50

Surface

inférieure :

Surface supérieure :				Surface inférieure :			
Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p	Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0						
2	0.01			13	0.01		
3	0.03			14	0.03		
4	0.06			15	0.06		
5	0.12			16	0.12		
6	0.18			17	0.18		
7	0.30			18	0.30		
8	0.40			19	0.40		
9	0.51			20	0.51		
10	0.60			21	0.60		
11	0.70			22	0.70		
12	0.80			23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour d'une voilure

Défi

Angle d'attaque = 12° Vitesse du ventilateur = 50 %.

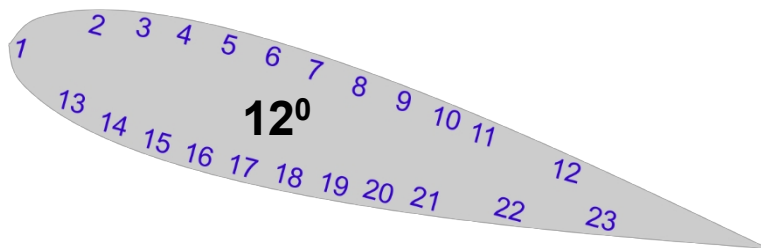
Surface supérieure :

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour

d'une voilure

Défi

Angle d'attaque = 0° Vitesse du ventilateur = 80

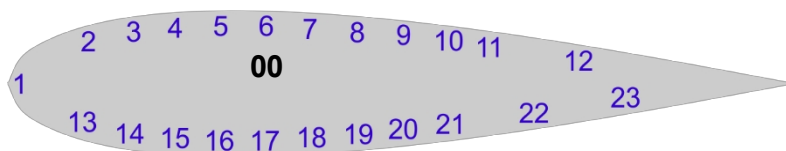
%.

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Surface supérieure Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour

d'une voile

Défi

Angle d'attaque = 5° Vitesse du

ventilateur =

Surface

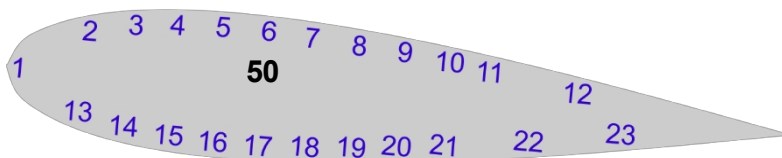
inférieure :

80% Surface supérieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de l'accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de l'accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour d'une voilure

Défi

Angle d'attaque = 12° Vitesse du ventilateur = 80 %.

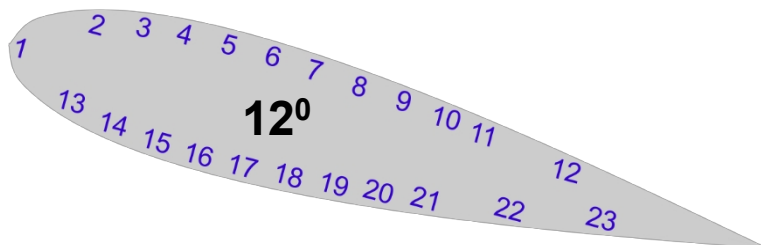
Surface supérieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour

d'une voile

Défi

Angle d'attaque = 0° Vitesse du ventilateur = 100

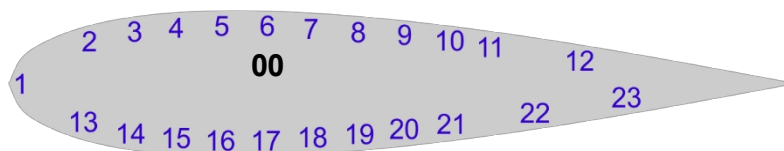
Surface supérieure :

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour d'une voile

Défi

Angle d'attaque = 5° Vitesse du

ventilateur = 100

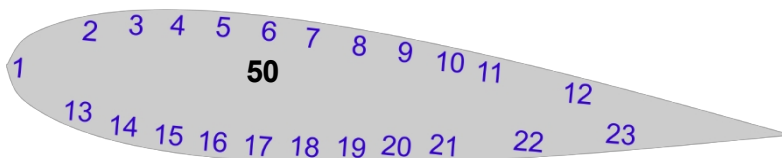
Surface supérieure :

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de l'accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de l'accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille d'activité 3 - Les écoulements autour

d'une voilure

Défi

Angle d'attaque = 12° Vitesse du ventilateur = 100

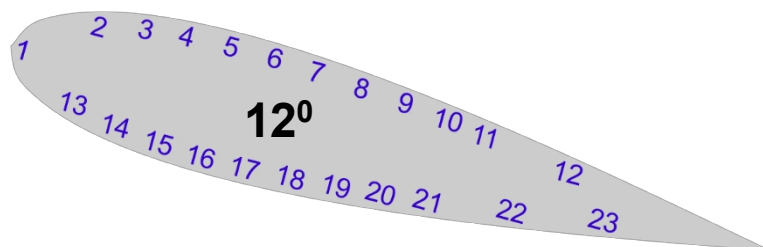
Surface supérieure :

Surface inférieure :

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
1	0		
2	0.01		
3	0.03		
4	0.06		
5	0.12		
6	0.18		
7	0.30		
8	0.40		
9	0.51		
10	0.60		
11	0.70		
12	0.80		

Numéro de prise de pression	Distance fractionnelle x le long de accord	Pression p en Pa	Coefficient de pression C_p
13	0.01		
14	0.03		
15	0.06		
16	0.12		
17	0.18		
18	0.30		
19	0.40		
20	0.51		
21	0.60		
22	0.70		
23	0.80		

Diagramme de distribution de la pression :



Feuille de travail 4 - La portance et la traînée sur une voilure NACA0015

Vitesse du ventilateur = 20

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Vitesse du ventilateur = 50

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Vitesse du ventilateur = 80

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Feuille d'activité 4 - La portance et la traînée sur une voileure S1223

Vitesse du ventilateur = 20

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Vitesse du ventilateur = 50

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Vitesse du ventilateur = 80

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Feuille de travail 4 - La portance et la traînée sur une voilure NACA4415

Vitesse du ventilateur =

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

20 % Vitesse du ventilateur = 50

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Vitesse du ventilateur = 80

Angle d'attaque	Force de levage en N	Force de traînée en N
-25°		
-20°		
-15°		
-10°		
-5°		
0°		
5°		
10°		
15°		
20°		
25°		
30°		
35°		
40°		
45°		

Feuille d'activité 4 - La portance et la traînée sur une voileure

Que déduisez-vous des graphiques de la portance et de la traînée en fonction de l'angle d'attaque aux différentes vitesses de l'air ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Comment les différentes voiles se comparent-elles en termes de portance et de traînée à une vitesse de ventilation de 20 % ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Feuille de travail 5 - Coefficient de traînée

1. Le cône

Vitesse du ventilateur %	Vitesse de l'air en m.s ⁻¹	Force de traînée en N	Coefficient de traînée
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

2 La sphère lisse

Vitesse du ventilateur %	Vitesse de l'air en m.s ⁻¹	Force de traînée en N	Coefficient de traînée
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

Feuille de travail 5 -
Coefficient de traînée
3. la demi-sphère

Vitesse du ventilateur %	Vitesse de l'air en m.s ⁻¹	Force de traînée en N	Coefficient de traînée
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

4La sphère rugueuse

Vitesse du ventilateur %	Vitesse de l'air en m.s ⁻¹	Force de traînée en N	Coefficient de traînée
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

Feuille de travail 5 - Coefficient de traînée 5. la surface plane

Vitesse du ventilateur %	Vitesse de l'air en m.s ⁻¹	Force de traînée en N	Coefficient de traînée
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

6 La goutte d'eau

Vitesse du ventilateur %	Vitesse de l'air en m.s ⁻¹	Force de traînée en N	Coefficient de traînée
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			

Feuille de travail 5 - Coefficient de traînée

Que déduisez-vous de ces résultats ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Laquelle de ces formes est choisie par de nombreux concepteurs automobiles pour la forme générale d'une voiture ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Pourquoi les balles de golf sont-elles alvéolées ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Notes pour le Instructeur

A propos de ce cours

Objectifs et introduction

Le module "Soufflerie 125" vise à initier les étudiants aux concepts liés à l'aérodynamique et à l'écoulement des fluides.

Une série d'études pratiques illustre une série de sujets relatifs à la dynamique des fluides, à l'aide d'un équipement qui peut être utilisé avec un minimum de supervision. Cet équipement ouvre la voie à un large éventail d'investigations conçues par les élèves et explorant les facteurs impliqués dans la conception des pales d'éoliennes, des ailes d'avion ou des véhicules.

Connaissances préalables

On attend des étudiants qu'ils aient une formation suffisante en sciences ou en ingénierie pour leur permettre de concevoir des enquêtes, de prendre, d'enregistrer et d'analyser des mesures et de gérer les erreurs d'observation. Une certaine capacité mathématique est souhaitable, y compris la capacité d'utiliser des feuilles de calcul pour analyser les observations.

Utiliser ce cours :

Un guide de l'équipement est disponible et décrit les caractéristiques de l'équipement et la manière dont il peut être utilisé.

Le kit Soufflerie 125 comprend un logiciel de saisie automatique des données. L'avantage pour les étudiants de l'utiliser est qu'il accélère la progression dans le module. Cependant, l'instructeur peut avoir l'impression de perdre le contact avec les détails des recherches. Cependant, il s'agit d'un outil puissant qui permet à l'instructeur de démontrer certains aspects du travail lors des séances plénières.

Les feuilles de travail et le document de l'élève doivent être imprimés ou photocopiés, de préférence en couleur, pour l'usage des élèves.

Les feuilles de travail ont :

- une introduction au sujet étudié ;
- des instructions étape par étape pour l'enquête qui suit
- un guide d'analyse des résultats.

Ce format encourage l'auto-apprentissage, les étudiants travaillant à un rythme adapté à leurs capacités. La fiche de l'élève est un enregistrement des mesures prises dans chaque feuille de travail et des questions qui s'y rapportent. Les élèves n'ont pas besoin d'une copie permanente des fiches de travail, mais peuvent avoir besoin de leur propre copie de la fiche de l'élève.

C'est à l'instructeur de s'assurer que la compréhension de l'élève progresse au même rythme que les feuilles de travail. L'un des moyens d'y parvenir consiste à "signer" chaque feuille de travail au fur et à mesure que l'élève la remplit et, ce faisant, à discuter brièvement avec lui pour évaluer sa compréhension des idées impliquées dans les exercices qu'elle contient.

	Notes
Introduction	<p>La soufflerie est conçue pour faciliter un large éventail d'expériences autour de l'aérodynamique et de l'écoulement des fluides. Les fiches de travail suivantes constituent une introduction à ces études et illustrent ce qui est possible.</p> <p>Une vue d'ensemble de la structure et du fonctionnement de la soufflerie et de ses composants est un point de départ nécessaire. Les élèves ont besoin d'une visite guidée de l'équipement pour en apprécier les capacités. En particulier, la configuration des menus proposés par l'unité de commande doit être expliquée.</p>
Fiche de travail 1 Tube de Pitot statique	<p>Concepts concernés :</p> <p>fluide incompressible écoulement en ligne droite écoulement turbulent théorème de Bernouilli manomètre tube de Pitot pression statique pression de stagnation pression dynamique</p> <p>Les élèves doivent comprendre l'importance d'un alignement correct du tube de Pitot dans le flux d'air.</p> <p>L'objectif de cette étude est d'établir un lien entre la vitesse de l'air dans la soufflerie et la pression atmosphérique qui en résulte. Dans les études ultérieures, cela nous permettra d'utiliser la pression atmosphérique mesurée pour en déduire la vitesse de l'air.</p> <p>Il compare également les performances du manomètre à tube en U avec celles d'un capteur de pression numérique, validant ainsi l'utilisation de ce dernier dans les feuilles de travail ultérieures.</p>
Feuille de travail 2 Schémas d'écoulement autour d'un cylindre	<p>Concepts concernés :</p> <p>Nombre de Reynolds Coefficient de pression Diagramme de distribution de la pression</p> <p>Cette étude porte sur la distribution de la pression autour d'un objet immergé dans un fluide, en l'occurrence un cylindre placé dans un courant d'air.</p> <p>Les élèves utilisent leurs mesures pour calculer le coefficient de pression résultant et génèrent un diagramme de distribution de la pression à partir de leurs résultats.</p> <p>Chaque étape de cette étude consiste à prendre des mesures à trente-sept angles d'attaque différents. Ces mesures sont ensuite répétées pour trois autres vitesses de l'air.</p> <p>Il peut être souhaitable de répartir ces tâches entre plusieurs groupes d'étudiants, avec une session plénière finale pour mettre en commun les résultats.</p> <p>Veuillez noter et conseiller aux étudiants qui utilisent des feuilles de calcul pour obtenir les graphiques que beaucoup d'entre eux requièrent des angles mesurés en radians. Cette conversion peut faire partie de la feuille de calcul.</p>

	Notes
<p>Fiche de travail 3 Schémas d'écoulement autour d'une voilure</p>	<p>Concepts concernés : aérodynamique angle d'attaque</p> <p>La difficulté de cette enquête réside dans la manipulation de l'équipement - vingt-trois pressions, vingt-trois lectures à chaque vitesse de l'air, quatre vitesses de l'air.</p> <p>Une fois encore, pour une gestion efficace de la classe, il peut être préférable de répartir les tâches entre les groupes d'étudiants, en utilisant une session plénière finale pour mettre en commun les résultats.</p>
<p>Fiche de travail 4 La portance et la traînée sur une voilure</p>	<p>Concepts concernés : lever traînée</p> <p>L'instructeur peut souhaiter présenter la controverse sur la cause de la portance d'une voilure.</p> <p>L'explication conventionnelle fait appel à l'équation de Bernoulli. L'implication était que la vitesse de l'air sur la surface supérieure de la voilure est supérieure à celle sur la surface inférieure, ce qui entraîne une différence de pression et une portance.</p> <p>L'autre explication fait appel aux lois du mouvement de Newton pour expliquer que cette différence de pression est due à la courbure des lignes de courant sur les surfaces.</p> <p>L'instructeur peut souhaiter utiliser le réglage d'angle contrôlé par le logiciel et la collecte de données automatisée. Cela permettrait d'accélérer l'étude. Cela permettrait également aux élèves les plus faibles d'élargir l'étude à d'autres angles et à d'autres vitesses de vent.</p>
<p>Feuille de travail 5 Coefficient de traînée</p>	<p>Concepts concernés : coefficient de traînée</p> <p>La formule du coefficient de traînée introduit une quantité connue sous le nom de "surface caractéristique" de la carrosserie, importante pour la conception du véhicule. Il ne s'agit pas nécessairement de la surface totale de la section transversale de la carrosserie, mais elle dépend de la surface de la carrosserie qui fait face au flux d'air. Cela pourrait donner lieu à une discussion et à un projet de recherche sur les implications pour la conception des véhicules.</p> <p>L'instructeur peut attribuer deux formes différentes à trois groupes d'élèves et organiser une présentation en classe pour comparer et combiner les résultats.</p>

	Notes
<p>Feuille de travail 6 Rationalisé ?</p>	<p>Il s'agit d'une enquête ouverte au cours de laquelle les élèves observent l'écoulement de l'air autour d'objets en observant les traînées de fumée autour d'eux.</p> <p>L'idéal est d'utiliser la fonction de ralenti, désormais disponible sur la plupart des téléphones portables. Il faut un peu d'entraînement pour positionner la buse du générateur de fumée, mais les résultats en valent la peine !</p> <p>Les groupes d'élèves peuvent se voir confier différentes formes à étudier, en examinant l'effet d'une modification de la vitesse de l'air ou de l'angle d'attaque. Les résultats peuvent faire l'objet d'une présentation en classe.</p>
<p>Fiche de travail 7 Quelle est la prochaine étape ?</p>	<p>Il s'agit d'une enquête très ouverte ! Elle encourage les élèves à se concentrer sur leur domaine d'intérêt particulier.</p> <p>Les élèves peuvent concevoir leurs propres formes, en suivant les indications de taille données dans la feuille de travail, et planifier une série d'investigations à l'aide de ces formes.</p> <p>Diverses méthodes de fabrication peuvent être utilisées, mais il est important de reconnaître que des forces considérables sont exercées sur l'objet par le flux d'air et que les matériaux utilisés doivent donc être suffisamment solides pour y résister.</p>