



# Mécanique

Réf :  
243 013  
243 024  
243 029  
243 031

Français – p 1

Version : 4105

## Maquette aérodynamisme

## 1 Description de la maquette aérodynamisme

### 1.1 Composition du colis

Le colis est composé de la soufflerie, d'un bloc alimentation : 12V-5A et de 4 formes de profils différents.

Ce pack, réf. 243013, est idéal pour :

- mettre en évidence que la force aérodynamique est proportionnelle à la vitesse au carré de l'écoulement d'air
- estimer les coefficients aérodynamiques de formes particulières choisies pour leurs différents profils.

### 1.2 Aspects mécaniques de la soufflerie

**La soufflerie est composée :**

1. D'un ventilateur soufflant de l'air suivant un axe horizontal, de la gauche vers la droite.  
Le ventilateur est équipé, à sa sortie, d'une mousse de tranquillisation de l'écoulement. Le rôle de cette dernière est de limiter les perturbations afin d'obtenir un écoulement que l'on considérera, par approximation, laminaire.
2. D'une jauge de contrainte avec support permettant d'accueillir différentes formes fournies.  
Le dispositif « jauge + support » est situé dans l'axe de l'écoulement d'air. La résistance de chaque forme à la pression de l'air est ainsi quantifiée dans le but de déduire le coefficient aérodynamique de chaque pièce.
3. La soufflerie est carénée afin de limiter les perturbations venant de l'extérieur. La zone utile est transparente pour permettre la visualisation des formes par l'utilisateur. La prise d'air se fait à l'arrière du boîtier et la sortie d'air est dans l'axe de l'écoulement.



### 1.3 Aspects « mesure » de la soufflerie

La soufflerie est équipée sur sa face avant, d'un encart dédié à la mesure. Les acquisitions sont réalisables par Ex.A.O ou par lecture directe sur l'afficheur.

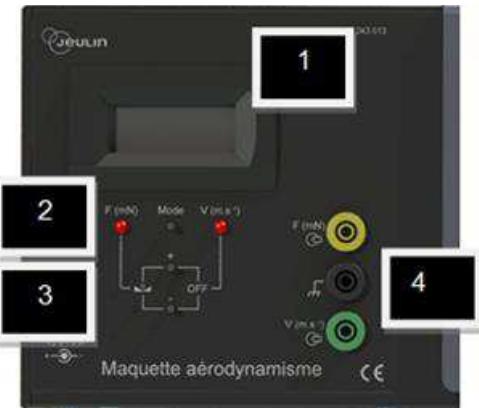
**Description de l'encart :**

1. Afficheur  
L'afficheur permet la lecture directe de la vitesse en m.s<sup>-1</sup> et de la force en mN selon le mode choisi.
2. Choix du mode pour l'affichage  
Mode « vitesse » ou mode « force ». La LED correspondante s'allume.

3. Boutons + et – pour augmenter ou diminuer la vitesse de l'écoulement d'air.

En mode vitesse, l'appui simultané sur les boutons + et – permet d'éteindre la soufflerie.

En mode force, l'appui simultané sur les boutons + et – permet de réaliser une remise à zéro de la jauge de contrainte.

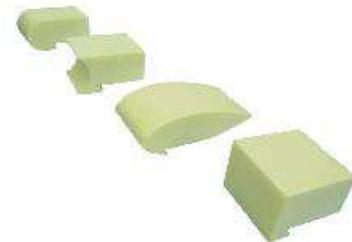


4. Douilles de sécurité

Grâce aux douilles de sécurité, l'appareil permet de réaliser les expériences par Ex.A.O facilitant ainsi l'acquisition et le traitement des données.

#### Description des 4 formes à étudier

Le pack est complété par 4 formes de même maître-couple mais de profils différents.



Pour rappel, le maître-couple correspond à la section transversale maximum de chaque pièce dans l'axe perpendiculaire à l'axe de l'écoulement.

La forme plane est une forme de référence. Son coefficient aérodynamique est de 1 à l'incertitude de mesure près.

Les autres formes seront, au cours de l'expérience, comparées à cette référence. Notons qu'elles peuvent aussi être comparées entre elles.

**Remarque :** Ces formes sont disponibles en réassort sous la référence : 243024.

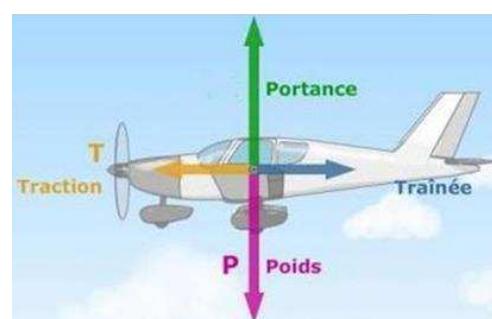
## 2 Études expérimentales

### 2.1 Théorie

#### 2.1.1 Bilan des forces exercées sur la pièce considérée

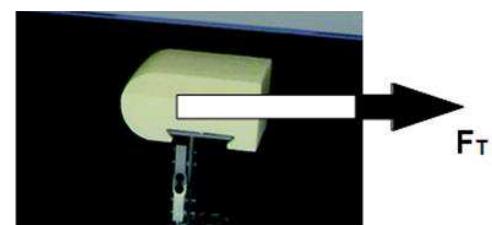
Dans le cas d'un objet en mouvement relatif dans l'air, comme par exemple un avion, les forces s'exerçant sur l'objet considéré sont (voir image) :

- le poids P
- la force de portance FP
- la force de trainée FT
- la traction : T



Dans la maquette aérodynamisme, les pièces sont fixées sur un support, en conséquence :

- le poids est compensé par la force de réaction due à la présence du support
- la portance est compensée par le blocage de la pièce sur le support
- la traction est nulle.



Seule, reste la force de trainée : horizontale et dans le sens de l'écoulement d'air.

### 2.1.2 Force de traînée

La force de traînée, ou Traînée ou force aérodynamique peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$F_T = \frac{1}{2} \times C_x \times \rho \times S \times v^2$$

Avec :

$C_x$  : le coefficient aérodynamique ou coefficient de traînée de l'objet considéré

$\rho$  : la masse volumique du fluide

$S$  : la surface de référence ou maître couple ou encore section transversale de la pièce ou mobile en mouvement relatif.

$v$  : la vitesse du mobile relative du fluide. Dans notre cas, l'objet est immobile, en conséquence, il s'agit de la vitesse réelle du fluide.

Remarque : ici, la force de traînée n'est considérée que suivant l'axe horizontal car l'écoulement est considéré laminaire i.e unidirectionnel et de vitesse constante en tout point de la sortie du ventilateur.

### 2.1.3 Important : prélude à toute étude

- En fonction des contraintes extérieures appliquées à la maquette, il est possible que l'étalonnage d'origine soit modifié.

Il est, en conséquence, indispensable, lors de chaque démarrage de la maquette de positionner sur le support le profil plan afin de calibrer la maquette.

**L'écran situé sur la face avant indique « CAL ».**

Si la calibration n'est pas faite, la maquette interdit toute mesure et indique « Err » pour signifier à l'utilisateur qu'il y a une erreur.

- Toutes les pièces fournies avec la maquette aérodynamisme ont le même maître-couple :  $S = 38 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ .

- De plus, les expériences sont réalisées dans l'air à masse volumique constante.

En conséquence, en traçant la variation de la force de traînée en fonction du carré de la vitesse de l'écoulement, on doit retrouver une droite dont la pente ne dépend que du coefficient aérodynamique :  $C_x$ .

C'est l'objet de la partie 2.3 de ce document.

## 2.2 Mesures

### 2.2.1 Mesure de la vitesse de l'écoulement

Comme vu dans la section 1.2, la maquette est composée d'un ventilateur. La réponse de ce ventilateur est connue. Ainsi, connaissant sa vitesse de rotation en tour par minute, la maquette nous donne la vitesse de l'écoulement.

Pour mesurer cette vitesse au cours de l'expérience, alimenter la maquette à l'aide du bloc alimentation fourni.

Le ventilateur démarre à haute vitesse puis revient à sa vitesse minimum de fonctionnement.

Choisir le mode « vitesse » de façon à ce que la LED correspondante s'allume. La vitesse de l'écoulement ou vitesse du fluide s'affiche en  $\text{m.s}^{-1}$ .

### 2.2.2 Mesure de la force

Afin de mesurer la force exercée par le fluide sur une pièce située dans l'écoulement, un support est inclus dans la maquette. Ce support est composé d'une jauge de contrainte qui mesure la force de traînée.

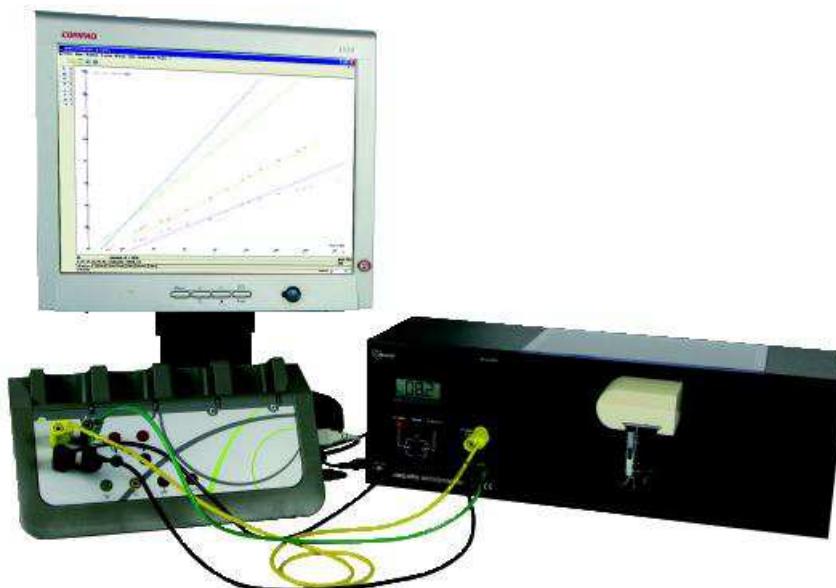
Le flux d'air émis par le ventilateur exerce, sur la pièce positionnée sur le support une pression. Cette pression entraîne une réponse de la jauge de contrainte qui nous renvoie par l'afficheur la valeur de la force aérodynamique en mN.

### 2.3 Mesures par Ex.A.O

Comme nous l'avons vu dans les sections 2.2.1 et 2.2.2, les variables force et vitesse peuvent être obtenues par lecture directe sur l'afficheur.

Afin de semi-automatiser l'expérience, l'acquisition des données est réalisable par Ex.A.O.

#### 2.3.1 Mise en œuvre pour acquisition par Ex.A.O



Comme le montre la figure ci-dessus, le matériel nécessaire pour la réalisation de cette expérience par Ex.A.O est le suivant :

- Maquette aérodynamisme : réf. 243013
- Console Foxy® : réf. 485000
- Logiciel Atelier scientifique : réf. 000107
- 4 Cordons à reprise arrière : réf. 283478 (noir) / 283471 (jaune) / 283499 (vert)

Noter que ces expériences sont réalisables avec d'autres systèmes d'acquisition.

#### 2.3.2 Branchements et paramètres d'acquisition

##### 1. Branchements

Brancher la sortie force de la maquette sur l'entrée directe 1 de la console et la sortie vitesse de la maquette sur l'entrée directe 2.

##### 2. Personnalisation des entrées directes

Dans l'onglet « Personnalisé » de l'atelier scientifique généraliste physique chimie de chaque entrée directe, paramétrier la correspondance entre les tensions de sortie et les variables (vitesse et force).

### Procédure :

- Entrer le nom de la grandeur considérée (F ou v)
- Entrer l'unité de la grandeur considérée (N ou m.s<sup>-1</sup>)
- À vitesse du flux d'air minimum, entrer la valeur de la force (ou vitesse) et cliquer sur douilles rouge et noir pour relever la valeur de la tension correspondantes.
- À vitesse du flux d'air maximum, entrer la valeur de la force (ou vitesse) et cliquer sur les douilles rouge et noir pour relever la valeur de la tension correspondantes.

Voir images ci-dessous.



### 3. Acquisition manuelle



Dans la zone de gauche de l'atelier scientifique généraliste physique chimie, placer l'entrée directe 1 en ordonnée et l'entrée directe 2 en abscisse.

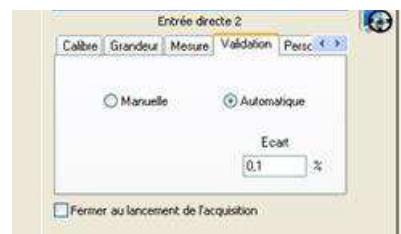
Dans l'onglet validation, choisir : « Manuelle »

Faire varier la vitesse du flux d'air, attendre quelques secondes que l'écoulement soit stable et valider manuellement chaque mesure.

### 4. Acquisition automatisée

Pour réduire le temps de manipulation, la maquette est dotée d'une fonction « escalier » qui fait varier la vitesse du flux d'air tout au long de l'expérience, du minimum 6,5 m.s<sup>-1</sup> au maximum 14,1 m.s<sup>-1</sup>, avec des paliers.

Réaliser l'expérience en validant les mesures par pas de 0,1 % dans l'onglet « validation » accessible en cliquant sur l'abscisse.



### 2.3.3 Résultats expérimentaux

Les courbes présentées ici ont été réalisées en activant la fonction « escalier ». Noter que tous ces résultats peuvent être obtenus en mode manuel ou par lecture directe sur l'afficheur de la maquette aérodynamisme.

#### 1. Profil plan

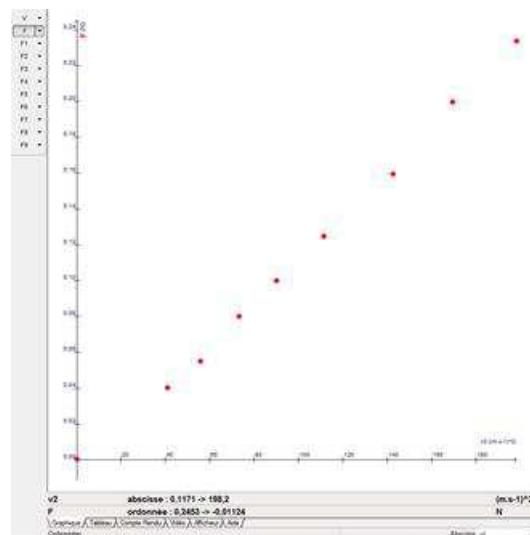
Le profil plan est la forme la plus simple qui permette de mettre en évidence la proportionnalité entre la force aérodynamique et la vitesse de l'écoulement d'air au carré.

Pour réaliser l'expérience de façon automatisée, l'utilisateur devra déclencher la fonction « escalier » en appuyant sur le bouton « mode » tout en branchant l'appareil.

Note : cette expérience est également réalisable par acquisition manuelle ou par lecture sur l'écran (sans système d'acquisition).

À partir du tableur de l'atelier scientifique généraliste PC, éléver au carré la vitesse et représenter la force en fonction de la vitesse au carré (voir courbe ci-dessous).

À l'aide de l'outil « régression linéaire » de l'atelier scientifique généraliste, déterminer la droite la plus proche de ce nuage de points et lire l'équation de la droite. En déduire la pente.



On retrouve ici, dans le cas de la forme plane, une droite de pente égale à  $1,2 \text{ mN.} (\text{m.s}^{-1})^{-2}$  pour une forme plane de section égale à  $21\text{cm}^2$ .

Cette droite témoigne de la proportionnalité entre la force et le carré de la vitesse de l'air.

Pour rappel, la relation entre la force et la vitesse au carré est :

$$F_T = \frac{1}{2} \times C_x \times \rho \times S \times v^2$$

En conséquence, dans le cas de la forme plane, le  $C_x$  est déterminé à partir de la pente de la droite connaissant :  $\rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$  et  $S = 21 \text{ cm}^2$ .

On retrouve donc :

$$\text{pente} = \frac{1}{2} \times C_x \times \rho \times S$$

On en déduit :

$$C_x = \frac{2 \times \text{pente}}{\rho \times S}$$

Application numérique :

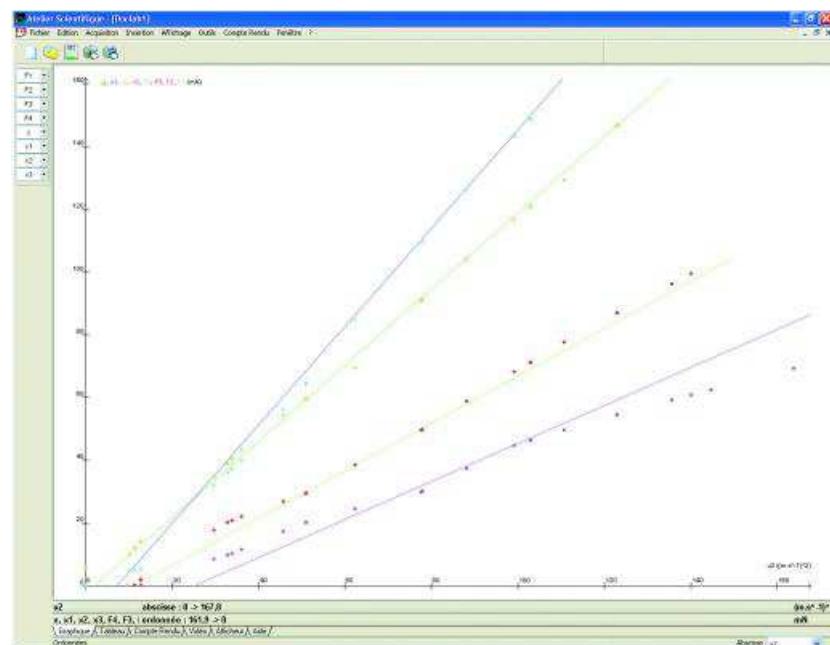
$$C_x = \frac{2 \times 1,2}{1,26 \times (21 \times 10^{-4})} = 1,016$$

On retrouve bien un coefficient aérodynamique pour la forme plane très proche de 1.

## 2. Comparaison des coefficients aérodynamiques des 4 profils

En suivant le même protocole expérimental que précédemment, remplacer la forme plane successivement par les 3 autres formes fournies avec la maquette. Et représenter la variation de la force aérodynamique en fonction du carré de la vitesse.

En déduire, par régressions linéaires, les pentes de chaque droite. Et, de la même manière que précédemment, conclure sur le coefficient  $C_x$ .



On obtient :

Formes	Plane	Creuse	Arrondie	Piriforme
$C_x$	1,016	1,204	0,572	0,419

La forme la plus aérodynamique est celle qui a le coefficient le plus petit devant 1. C'est donc, la *piriforme*.

En comparaison, la forme arrondie est plus aérodynamique que la forme plane mais moins que la piriforme. Cela s'explique par le fait que les lignes d'émission sont moins déviées de l'axe central.

La forme la moins aérodynamique est celle qui a le coefficient le plus grand devant 1. C'est donc, la forme *creuse*. Avec cette forme, les lignes d'émission sont renvoyées vers le ventilateur d'où une résistance plus grande.

## 2.4 Accessoires pour maquette aérodynamisme : 243029

Le pack d'accessoires portant la référence : 243029 est composé de :

- 1 - 2 véhicules de formes différentes
- 2 - Une bobine de fil et tige de fixation.
- 3 - 1 aile d'avion avec fixation à 1 degré de liberté

Les deux véhicules positionnés, tour à tour, sur le support de formes permettent une comparaison de leurs coefficients aérodynamiques respectifs. Cf. TP en ligne.

La bobine de fil et la tige de fixation vise à mettre en évidence les lignes de courant. Cela permet de « visualiser » la résistance apportée par les formes positionnées dans l'écoulement. On notera que plus une forme est profilée moins elle résiste. Cf. TP en ligne.

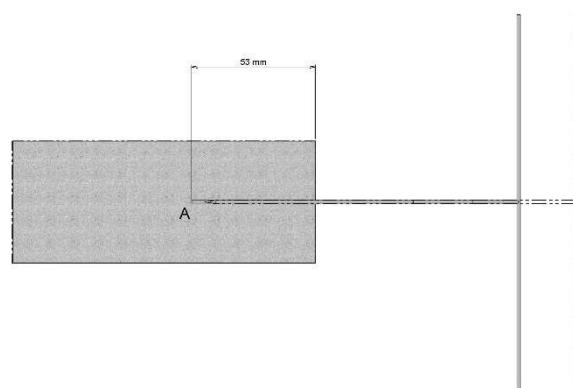
Lors de la première utilisation, l'expérimentateur doit découper des fils de 20cm de long environ et les fixer sur la tige fournie à cet effet. Il est intéressant de positionner les fils à égale distance les uns des autres pour une caractérisation de l'écoulement simplifiée.

L'aile d'avion fournie dans ce pack doit être montée sur la tige en T.

Enlever les embouts protecteurs de la tige en T, et enfoncez la tige dans l'aile en maintenant la partie plane sur la table. Voir image ci-dessous pour plus de détails.



Insérer la pointe de 20mm dans la mousse à partir du point A



Lorsqu' l'extrados est en haut, l'aile est entraînée vers le haut. Inversement, lorsque l'intrados est en haut, l'aile est plaquée sur le support de forme.

Attention lors de l'utilisation en classe d'embouts pointus.

## 2.5 Pack de formes à sculpter : 243 031

Le pack de formes à sculpter – réf. 243 031, peut être utilisé pour créer différentes formes de hauteur fixe dans le but de comparer leurs coefficients aérodynamiques. Cf. TP en ligne.

## 3 Annexe

### 3.1 Flux d'air

Dans le TP, le flux d'air est considéré laminaire ce qui signifie que la vitesse de l'air est considérée égale à une constante quelle que soit la position en vertical en sortie du ventilateur.

La mousse employée vise à tranquilliser l'écoulement et à obtenir un flux le plus maîtrisé possible. Toutefois, dans le cadre de cette expérience, ceci reste une approximation. En effet, les dimensions et le coût de cette maquette ne permettent pas d'obtenir un flux rigoureusement laminaire.

En revanche, la soufflerie a été conçue de façon à s'affranchir de cette approximation. La position et la hauteur des pièces, tout comme le choix de la jauge de contrainte ont été étudiées de façon à ce que la forme plane serve de référence.

On notera que le coefficient aérodynamique de cette forme est très proche de 1.

### 3.2 Lot de 4 formes à étudier

Théoriquement, toutes les pièces doivent avoir le même maître-couple pour pouvoir être comparées de la façon décrite dans cette notice.

Toutefois, quelques écarts peuvent être constatés sur ces dimensions sans pour autant influencer le caractère comparatif de cette étude.

### 3.3 Fonction escalier

La fonction escalier incluse dans cette maquette n'est pas représentée sur le produit. Ainsi, l'utilisation ou non de cette fonction est contrôlée par l'enseignant et respecte sa liberté pédagogique.

Pour l'utiliser, placer la forme « plane » sur la jauge de contrainte, appuyer sur le bouton mode et brancher la maquette. Relever les valeurs de forces en fonction de la vitesse de l'écoulement d'air par Ex.A.O ou manuellement par lecture sur l'afficheur.

Pour étudier une autre forme, remplacer la forme plane par une autre forme et appuyer sur « + ».

Lors de l'acquisition du couple de valeurs ( $F ; v$ ) en mode « escalier », il est possible de noter une moins bonne précision sur la détermination du  $C_x$ .

Cela est dû au fait que l'expérimentateur n'a plus la main pour décider de la stabilisation du flux d'air avant validation de la mesure du couple ( $F ; v$ ).

En revanche, le respect de la validation automatique par pas de 0,1% donne les résultats présentés dans cette notice.

### 3.4 Température et limite de fonctionnement

Pour des raisons liées à la jauge de contrainte, la maquette peut être utilisée entre 15 et 35 °C.

## 4 Service après-vente

La garantie est de 2 ans, le matériel doit être retourné dans nos ateliers.

Pour toutes réparations, réglages ou pièces détachées, veuillez contacter :

Mécanique  
**Maquette aérodynamisme**  
Réf : 243 013 - 243 024  
243 029 - 243 031



**JEULIN - SUPPORT TECHNIQUE**

468 rue Jacques Monod  
CS 21900  
27019 EVREUX CEDEX France

0 825 563 563\*

\* 0,15 € TTC/min. à partir un téléphone fixe

# Assistance technique en direct

Une équipe d'experts  
à votre disposition  
du lundi au vendredi  
de 8h30 à 17h30

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge  
immédiatement votre appel  
pour vous apporter une réponse  
adaptée à votre domaine  
d'expérimentation :  
Sciences de la Vie et de la Terre,  
Physique, Chimie, Technologie.

## Service gratuit\*

**0 825 563 563** choix n°3\*\*

\* Hors coût d'appel. 0,15 € TTC/min à partir d'un poste fixe.

\*\* Numéro valable uniquement pour la France métropolitaine et la Corse. Pour les DOM-TOM et les EEE, composez le +33 2 32 29 40 50.

## Aide en ligne

[FAQ.jeulin.fr](http://FAQ.jeulin.fr)

## Direct connection for technical support

A team of experts  
at your disposal  
from Monday to Friday  
(opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request  
immediately to provide you  
with the right answers regarding  
your activity field : Biology, Physics,  
Chemistry, Technology.

## Free service\*

**+33 2 32 29 40 50\*\***

\* Call cost not included.

\*\* Only for call from foreign countries.



468, rue Jacques-Monod, CS 21900, 27019 Evreux cedex, France

Métropole • Tél : 02 32 29 40 00 - Fax : 02 32 29 43 99 - [www.jeulin.fr](http://www.jeulin.fr) - [support@jeulin.fr](mailto:support@jeulin.fr)

International • Tél : +33 2 32 29 40 23 - Fax : +33 2 32 29 43 24 - [www.jeulin.com](http://www.jeulin.com) - [export@jeulin.fr](mailto:export@jeulin.fr)

SAS au capital de 1 000 000 € - TVA intracommunautaire FR47 344 652 490 - Siren 344 652 490 RCS Evreux