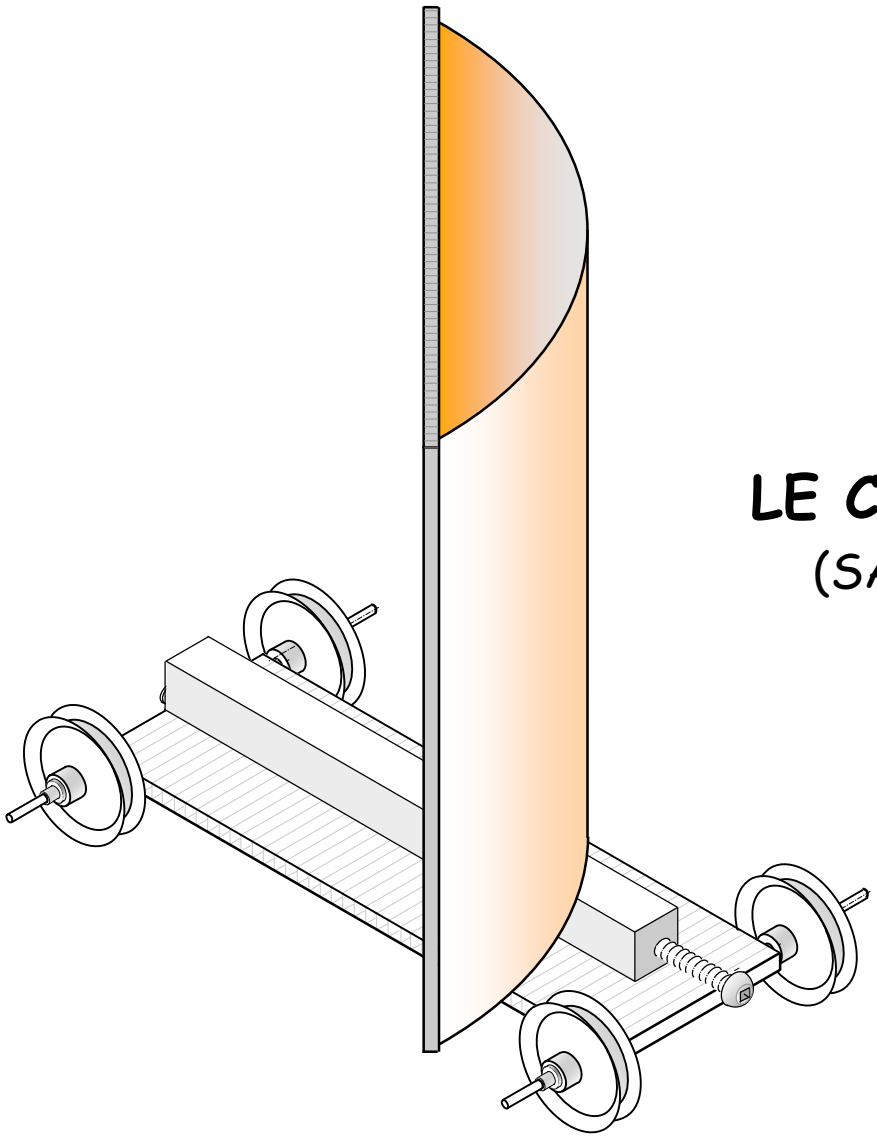
centre de développement pédagogique
pour la formation générale en science et technologie

Document de travail



LE CHAR D'ÉOLE

(SAE simplifiée)

CAHIER DE L'ÉLÈVE

Décembre 2011

Table des matières

La force d'Éole domptée depuis des siècles! 3

Nomenclature du char d'Éole 5

Réchauffons-nous un peu 6

Mouvement uniformément accéléré 7

- Laboratoire dirigé (mobile uniformément accéléré) 8
- Théorie sur le cristal piézoélectrique 11
- Étalonnage du transducteur 12
- Étude cinématique du mobile uniformément accéléré 19
- Étude dynamique du mobile uniformément accéléré 23

Notions de base sur la voile 29

- Les vents 29
- Le principe de Bernoulli appliqué à une voile 31
- Allures (orientation du char par rapport au vent) 33
- Orientation de la voile par rapport au char 34
- Résumé (orientation de la voile et du char) 35
- Laboratoire dirigé (dynamique du char d'Éole) 36

Analyse cinématique du char d'Éole 43

- Relevé du temps en fonction de la position pour un vent de travers 44
- Relevé du temps en fonction de la position pour un vent arrière 45

Cerner le mandat à la suite de la vidéo 46

Intégration et réinvestissement 47

La force d'Éole domptée depuis des siècles!

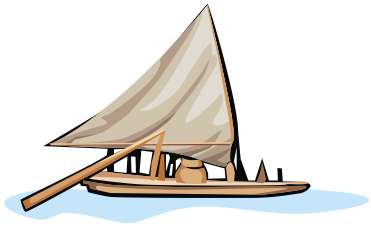
NOTE : Cette SAE a été élaborée dans le cadre de sessions de formation. Elle peut nécessiter des adaptations avant de l'utiliser auprès d'élèves.

Éole, ça vous dit quelque chose? Il s'agit du dieu des vents selon la mythologie grecque. La puissance de ce dieu est intimement liée à la puissance du vent de tempête. Il n'est pas surprenant que les Grecs anciens lui aient décerné une place de choix dans leur mythologie.

Quoi qu'il en soit, il y a fort longtemps que l'humain utilise la force du vent. Aujourd'hui, l'énergie éolienne prend de plus en plus de place dans la production d'énergie électrique. Jadis, les moulins à vent étaient une source d'énergie non négligeable. Par contre, parmi toutes les utilisations, c'est surtout dans les transports sur l'eau que le vent a eu une importance capitale. Pendant longtemps, la navigation à voile fut le seul moyen de voyager sur de longues distances sur l'eau. Les bateaux à voiles permettaient le commerce, l'exploration et la conquête de nouveaux territoires.

Il y a bien longtemps qu'on tend des voiles pour nous propulser sur l'eau. Déjà, plus de 1500 ans av. J.-C., les Égyptiens remontaient le Nil à l'aide du vent du nord. Plus tard, les Vikings, sur leurs drakkars, ont écumé les mers. Même si leurs drakkars étaient équipés de voiles carrées et qui ne pouvaient remonter le vent, ils ont mis le pied en Amérique 500 ans avant Christophe Colomb.





Par la suite, les bateaux se sont perfectionnés et ont pu remonter le vent en louvoyant (en zigzag, face au vent). Les felouques arabes, équipées de leurs voiles triangulaires, pouvaient déjà remonter le vent.



C'est à bord de trois bateaux beaucoup plus gros que Christophe Colomb découvrit l'Amérique en 1492. Il s'agissait de la Pinta, la Nina et de la Santa Maria. Vous pouvez voir ici deux caravelles, la Pinta à gauche et là Nina à droite. Les galions, plus maniables, viendront plus tard au 16^{e} siècle, et seront dotés de sabords (trou dans la coque) pour les canons.



Aujourd'hui, les voiliers n'ont plus cette importance stratégique. Cependant, la voile sportive est encore bien vivante. Faire de la voile, c'est grisant et de plus, c'est respectueux de l'environnement, donc plusieurs qualifient cette activité de « tendance ».



Voici six séquences vidéo qui illustrent l'engouement actuel pour la voile. Les deux premières vous montrent un sport très populaire dans le Nord de la France, le char à voile. La troisième séquence vous montre un véliplanchiste en pleine action. La quatrième, un catamaran qui joue un peu trop avec Éole. La cinquième séquence, un bateau quasiment volant. Et finalement, un géant à voile rigide en pleine course.

Initiation au char à voile (3:15) : http://www.youtube.com/watch?v=_fQ3aJGRyIM

Championnat de char à voile (2 :10) : http://www.youtube.com/watch?v=F85tIPCaGMo&NR=1

Planche à voile (0:37) : http://www.youtube.com/watch?v=TLtCC_D8sL0&feature=related

Catamaran (1:05) : http://www.youtube.com/watch?v=do7nWUgijZs&feature=related

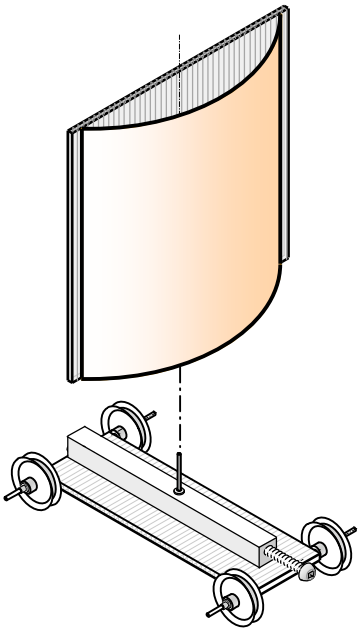
Hydroptère à 95 km/h (1:45) : http://www.youtube.com/watch?v=9eJgsiS3xH8&feature=fvsr

Trimaran à voile rigide (1 :27) : http://www.youtube.com/watch?v=0lK-eICWZY0

À la lumière de cette introduction, plusieurs questions peuvent nous venir à l'esprit.

1. De quelle façon, la force du vent agit sur les voiles pour mettre en mouvement le mobile (bateau, planche ou char)?
2. Comment un mobile, propulsé par le vent, peut remonter vers lui?
3. De quelle façon peut-on atteindre la vitesse la plus grande?
4. Comment rendre ce mobile plus performant?

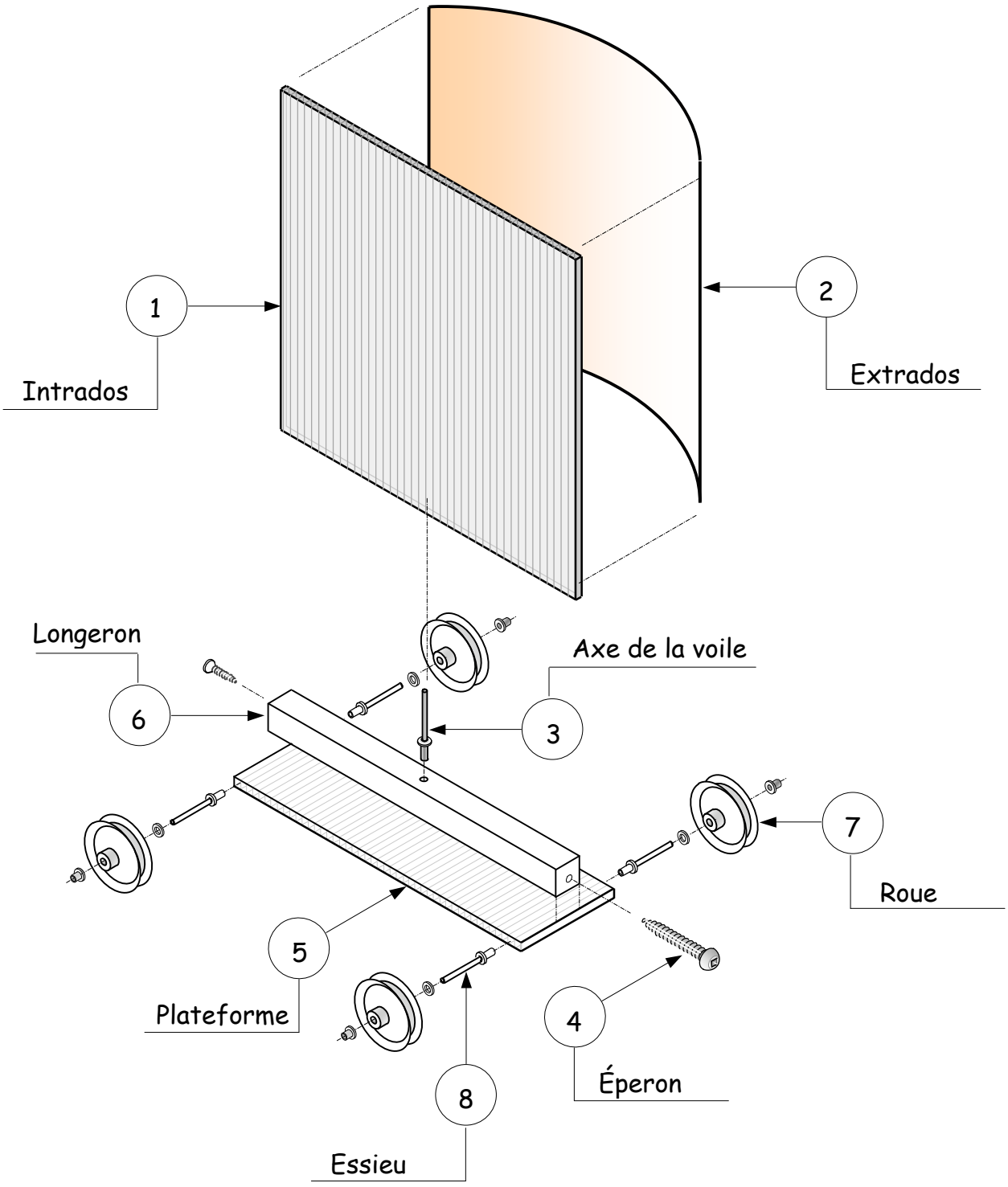
Pour répondre à ces questions, nous avons conçu pour vous un véhicule très spécial ainsi que divers appareillages. Vous aurez donc à analyser le fonctionnement de ce mobile muni d'une voile rigide pivotante. Nous l'avons nommé char d'Éole. Avant d'analyser scientifiquement ce char, il faut se rappeler les notions de mécanique que vous avez vues antérieurement. Il faut aussi se familiariser à de nouveaux concepts et acquérir des savoir-faire.



À la fin de cette SAE, la voile ne devrait plus être un mystère pour vous.

Allez, maintenant, au travail!

Nomenclature du char d'Éole

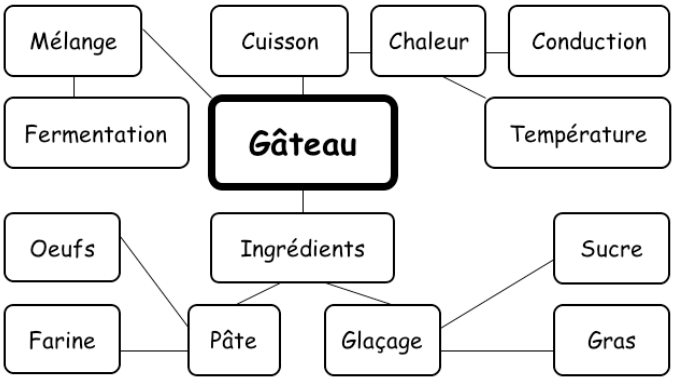


Réchauffons-nous un peu

Construisez maintenant un réseau des concepts vus en quatrième secondaire. Celui-ci vous donnera une bonne idée des stratégies qui vous permettront de mieux comprendre le char d'Éole. Bâtir ce réseau vous permettra d'organiser vos connaissances sous forme d'une carte visuelle.

Banque de mots : travail, force, déplacement, équilibre de deux forces, énergie potentielle gravitationnelle, masse, poids, énergie cinétique, vitesse, accélération.

Exemple d'un réseau de concepts



Réseau de concepts

Énergie

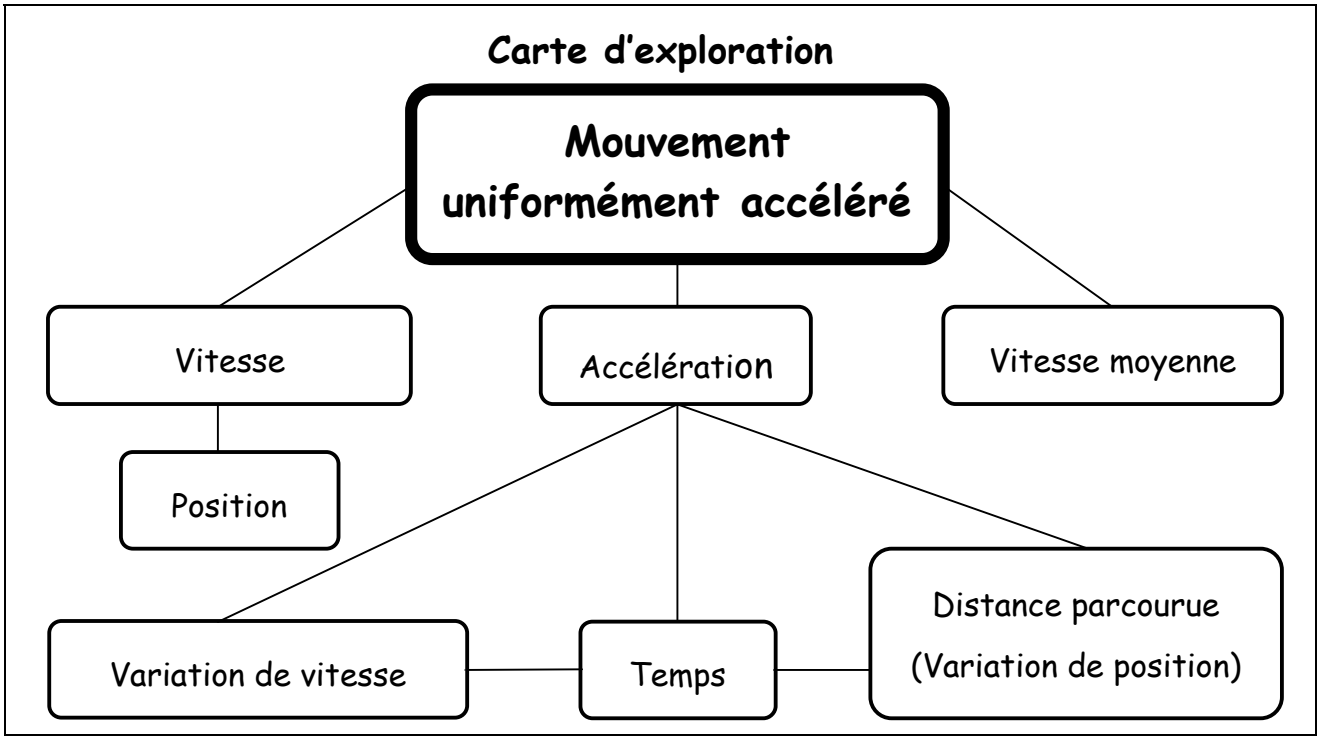
Mouvement uniformément accéléré



Il est temps maintenant de faire de nouveaux apprentissages. L'étude du mouvement rectiligne uniformément accéléré nous fournit l'occasion de bien se préparer à l'étude de la voile. Les questions suivantes y sont en autres touchées :

- **Quelle est la relation entre la position, la vitesse, l'accélération du mobile et le temps écoulé?**
- **Quelle est la relation entre l'accélération, la variation de vitesse et le temps écoulé?**
- **Quelle est la relation entre l'accélération, la distance parcourue et le temps écoulé?**

Quels graphiques peut-on tracer dans chaque cas?

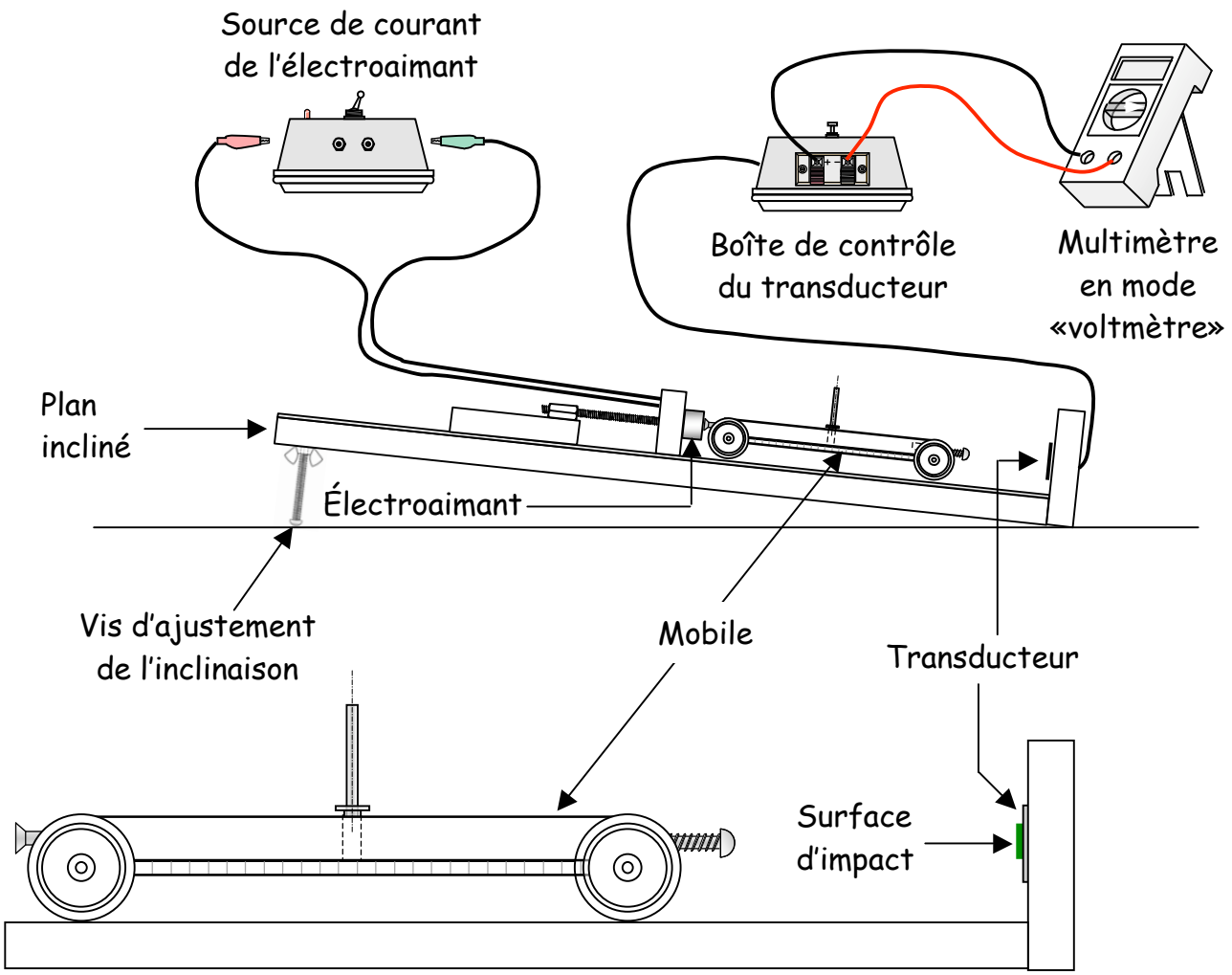


Laboratoire dirigé (mobile uniformément accéléré)

Matériel

- 1 Mobile (char d'Éole sans sa voile rigide)
- 1 Plan incliné (rampe) avec transducteur et boîte de contrôle
- 1 Électroaimant
- 1 source de courant 9 volts pour l'électroaimant
- 1 Multimètre
- 1 Règle
- 1 Balance

Schéma du montage



Manipulations

1. Peser le mobile et inscrire la masse dans le tableau de données 1
2. Brancher la source de courant sur l'électroaimant (en position « Arrêt »).
3. Brancher le multimètre sur la boîte de contrôle du transducteur.
4. Mettre en marche le multimètre en mode tension CC (échelle d'environ 2 V).
5. Incliner le plan en soulevant l'extrémité opposée au transducteur à l'aide de la vis d'ajustement. La distance entre le dessous du plan incliné et la surface de la table doit être de 6,5 cm.
6. Fixer l'électroaimant, face vers le bas, en insérant son goujon à la position la plus basse (une fois le mobile placé, la distance entre l'éperon et le transducteur sera la plus petite possible).
7. Mettre en marche la source de façon à alimenter l'électroaimant.
8. Positionner le mobile, sur le plan incliné, de façon à ce qu'il soit retenu par l'électroaimant et aligné sur la ligne de guidage.
9. Mesurer la distance entre l'éperon du mobile et la surface d'impact du transducteur Noter dans le tableau des données.
10. Appuyer sur l'interrupteur de réinitialisation sur la boîte de contrôle du transducteur (le multimètre devrait alors afficher zéro).
11. Tout de suite après avoir relâché l'interrupteur de réinitialisation, fermer la source de l'électroaimant et lire la plus haute tension apparaissant momentanément sur le multimètre **(l'éperon du mobile doit heurter le centre du transducteur)**.
12. Noter cette tension dans le tableau des données.
13. Recommencer les étapes 7 à 12 deux autres fois, calculer la moyenne et l'inscrire.
14. Recommencer les étapes 7 à 13 cinq autres fois en augmentant progressivement la distance entre l'éperon et le transducteur.

Tableau de données 1				**Masse (g) =**	
n°	**Distance éperon — transducteur (cm)**	**Tension (V) essai n° 1**	**Tension (V) essai n° 2**	**Tension (V) essai n° 3**	**Tension moyenne (V)**
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Analyser les résultats

Traitez vos données.

Question 1

La tension lue sur le multimètre est-elle croissante ou décroissante en fonction de la distance éperon – transducteur?

Question 2

Pourquoi la tension varie-elle de cette façon?

Question 3

Aurions-nous obtenu les mêmes résultats si nous avions gardé l'électroaimant fixe tout en remontant graduellement le transducteur?

Tirez vos conclusions

Question 4

Selon vous, est-il possible de déterminer la vitesse du mobile juste avant qu'il ne heurte le transducteur?

Il est en effet possible de déterminer ces vitesses en procédant à l'étalonnage du transducteur. La section suivante vous décrira sommairement le fonctionnement du transducteur. Par la suite, nous vous guiderons dans la confection d'un graphique d'étalonnage.

Théorie sur le cristal piézoélectrique

Avant d'aller plus loin, il est bon d'en savoir un peu plus sur le transducteur utilisé lors de l'expérimentation précédente.



Un transducteur est un instrument qui transforme l'énergie d'une forme à une autre. Dans notre cas, c'est un minuscule cristal piézoélectrique qui se charge du travail. Nous avons retiré ce cristal d'une carte de fête chantante. Dans le cas de cette carte, le cristal convertit l'énergie électrique provenant d'une petite pile en énergie mécanique de vibration, c'est-à-dire les sons.

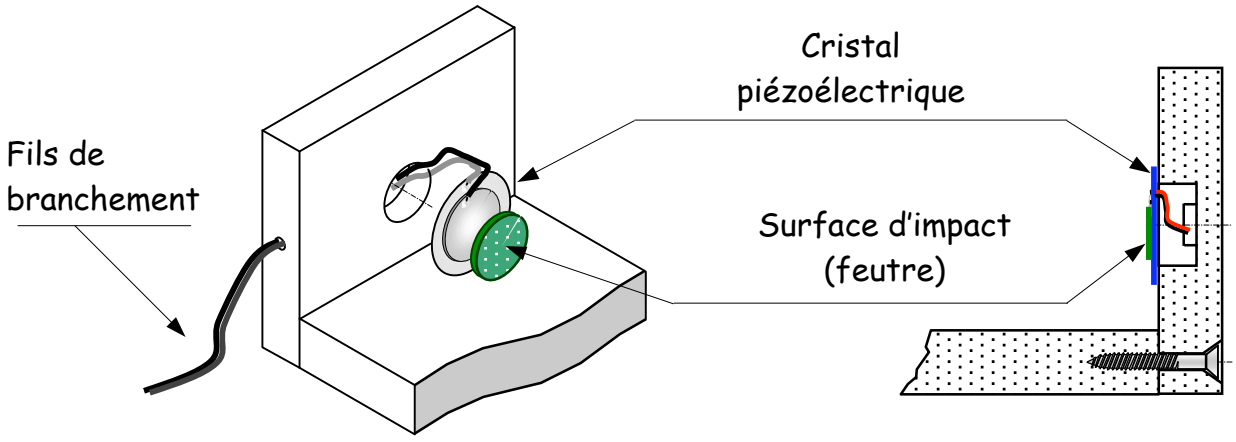
Nous utilisons ici le cristal en sens inverse. Nous lui fournissons de l'énergie mécanique en le heurtant et celui-ci convertit cette énergie en énergie électrique que l'on mesure avec le multimètre.

Le bouton rouge que l'on retrouve sur certains BBQ fonctionne sous le même principe. À l'intérieur de celui-ci, il y a un petit mécanisme qui frappe sur un cristal. Le cristal en se déformant génère un voltage suffisamment grand pour générer l'étincelle nécessaire pour enflammer le gaz.

Pour pouvoir étudier plus à fond la descente du mobile, il faut étalonner le transducteur. Il s'agit donc de relier les tensions électriques mesurées précédemment à différentes quantités d'énergie potentielle gravitationnelle. Cette énergie correspond au travail fait sur le cristal pour le déformer ou à l'énergie cinétique du mobile au moment de la collision.

Voici donc une démarche qui vous permet d'étalonner facilement le transducteur.

Transducteur piézoélectrique



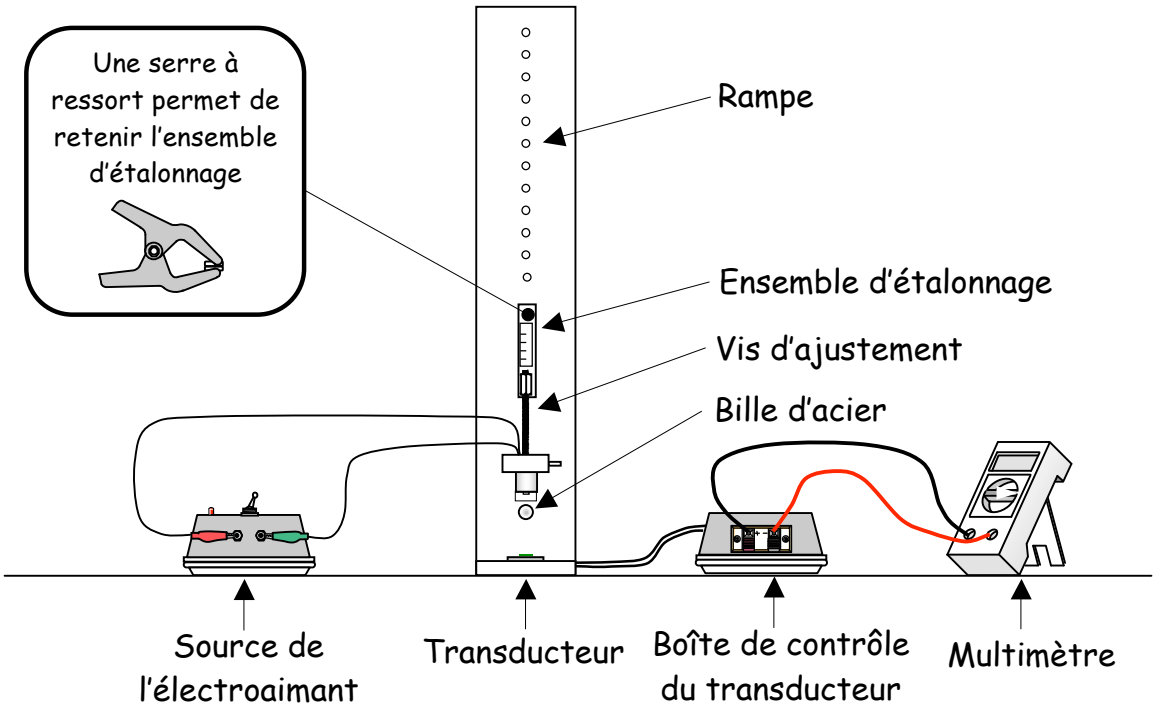
Étalonnage du transducteur

Questions : Quelle relation mathématique relie l'énergie mécanique (travail) à la tension électrique générée par le transducteur? Quelle sorte de courbe peut-on tracer à partir des résultats expérimentaux?

Matériel

- 1 « ensemble d'étalonnage » comportant :
  - 1 électroaimant
  - 1 règle
  - 1 vis d'ajustement de la hauteur de l'électroaimant
- 1 rampe (plan incliné) avec transducteur et boîte de contrôle
- 1 bille d'acier
- 1 multimètre
- 1 source de courant de 9 volts pour l'électroaimant
- 1 balance

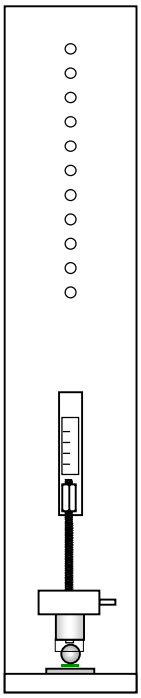
Schéma du montage



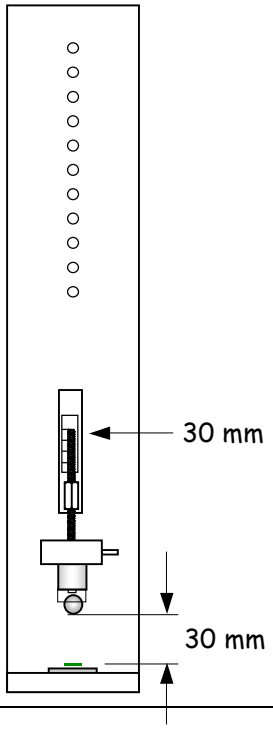
Manipulations

1. Basculer la rampe (plan incliné) verticalement (voir le dessin de la page précédente).
2. Fixer l'ensemble d'étalonnage à l'aide de la serre à ressort.
3. Brancher l'électroaimant sur sa source sans pour autant l'alimenter (interrupteur ouvert).
4. Brancher le multimètre sur la boîte de contrôle du transducteur et l'ajuster en mode tension CC (échelle d'environ 2 V).
5. Peser la bille d'acier et noter sa valeur dans le tableau des données.
6. Déposer la bille sur la surface d'impact (feutre).
7. Mettre à zéro la hauteur de l'électroaimant à l'aide de la vis d'ajustement.
8. Appuyer l'électroaimant sur la bille en glissant l'ensemble d'étalonnage (enlever un peu de pression en pressant la serre à ressort). Assurez-vous que le tout soit bien vertical (voir le dessin 1 ci-joint).
9. Mettre en marche la source de courant de façon à alimenter l'électroaimant.
10. Remonter l'électroaimant jusqu'à une hauteur de 30 mm (3,0 cm) à l'aide de la vis d'ajustement. La bille d'acier devrait être retenue par celui-ci. (voir le dessin 2 ci-joint)
11. Appuyer sur l'interrupteur de réinitialisation sur la boîte de contrôle du transducteur. (Le multimètre devrait alors afficher zéro.)
12. Tout de suite après avoir relâché l'interrupteur de réinitialisation, fermer la source de l'électroaimant et lire la plus haute tension apparaissant momentanément sur le multimètre. **(La bille doit heurter le centre du transducteur.)**

Dessin 1



Dessin 2



Manipulations (suite)

13. Noter cette tension dans le tableau des données.
14. Mettre en marche la source de courant de façon à alimenter l'électroaimant.
15. Remonter la bille manuellement de façon à ce quelle soit à nouveau retenue par l'électroaimant.
16. Appuyer sur l'interrupteur de réinitialisation sur la boîte de contrôle du transducteur. (Le multimètre devrait alors afficher zéro.)
17. Tout de suite après avoir relâché l'interrupteur de réinitialisation, fermer la source de l'électroaimant et lire la plus haute tension apparaissant momentanément sur le multimètre. **(La bille doit heurter le centre du transducteur.)**
18. Noter cette tension dans le tableau des données.
19. Recommencer les étapes 14 à 18 une dernière fois (pour faire une moyenne).
20. Recommencer les étapes 14 à 18 trois fois pour chacune des hauteurs suivantes : 2,5 cm 2,0 cm 1,5 cm 1,0 cm et 0,5 cm.
21. Calculer les tensions moyennes.

Tableau de données 2

Masse de la bille m (g) :					
n°	**Hauteur de la bille (cm)**	**Tension (V) essai n° 1**	**Tension (V) essai n° 2**	**Tension (V) essai n° 3**	**Tension moyenne (V)**
1	**3,0**				
2	**2,5**				
3	**2,0**				
4	**1,5**				
5	**1,0**				
6	**0,5**				

Analyser les résultats

Traitez de vos données.

Question 1

Lors de cette expérimentation, il y a plusieurs transformations d'énergie. En effet, l'énergie change plusieurs fois de forme. **Au début de l'expérience, lorsque la bille est retenue par l'électroaimant, sous quelle forme l'énergie est-elle?**

Question 2

Calculez l'énergie potentielle de la bille (en milli joule) pour chaque hauteur utilisée et indiquez vos résultats dans le tableau ci-dessous.

$E_P = m \bullet g \bullet h$ où E_p $\Rightarrow$ énergie potentielle en J , m $\Rightarrow$ masse en kg, g $\approx$9,8 m/s^2, h $\Rightarrow$ hauteur en m

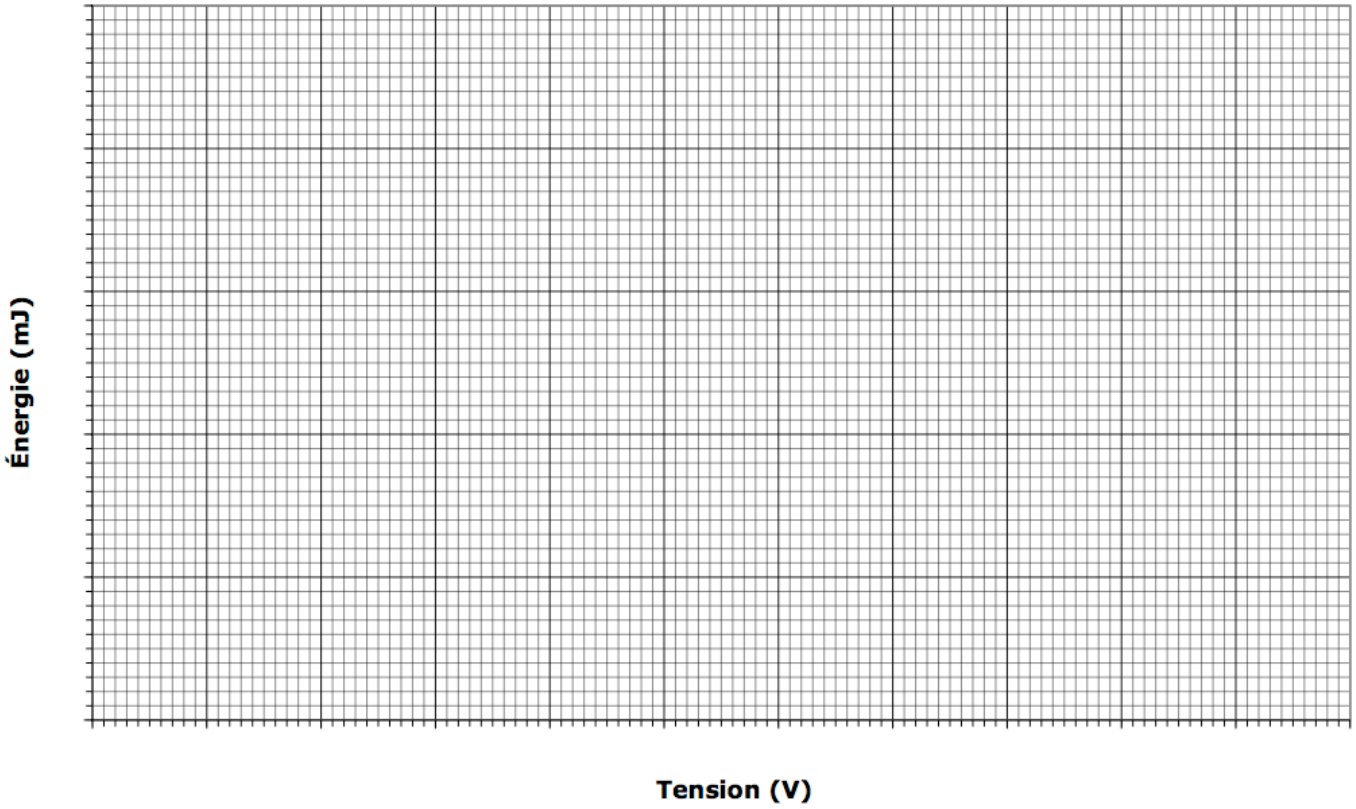
Tableau des résultats 3

n°	Hauteur de la bille (cm)	Énergie potentielle (mJ)	Tension moyenne (V)
1	3,0		
2	2,5		
3	2,0		
4	1,5		
5	1,0		
6	0,5		

Question 3

Tracez le graphique d'étalonnage (énergie en fonction de la tension).

Énergie en fonction de la tension
Transducteur piézoélectrique



Faites ressortir les tendances.

Question 4

Quelle fonction polynomiale (linéaire ou quadratique) modélise le mieux le nuage de points obtenu par les données d'étalonnage? Expliquez votre choix.

Question 5

Déterminez l'équation du modèle choisi[1].

- Dans le cas d'une fonction polynomiale du premier degré (fonction linéaire), déterminez le taux de variation à l'aide de deux points éloignés. L'équation trouvée sera de la forme Y = ax.
- Dans le cas d'une fonction polynomiale du second degré (fonction quadratique), prenez deux points éloignés de la courbe tracée et formez deux équations du second degré de la forme $Y = ax^2 + bx$. Par la suite, déterminez les valeurs des paramètres a et b en résolvant le système d'équations. L'équation trouvée sera aussi de la forme $Y = ax^2 + bx$.

[1] L'utilisation d'un outil technologique approprié (calculatrice, tableur) faciliterait l'estimation du coefficient de corrélation.

Question 6

Indiquez toutes les formes d'énergie présentes lors de cette expérimentation en complétant le tableau suivant :

Tableau récapitulatif	
Type d'énergie (ou travail)	À un moment déterminé
	Lorsque la bille est retenue par l'électroaimant
	Juste avant que la bille percute le cristal
	Lorsque le cristal se déforme
	Lorsqu'un courant électrique est généré

Tirez vos conclusions

Question 7

De quelle façon, le graphique d'étalonnage de la question 3 peut-il vous servir?

Étude cinématique du mobile uniformément accéléré

Question 1

Complétez les colonnes 2 et 3 du tableau des résultats 4 ci-après. Recopier simplement les données en vous référant au tableau de données 1.

Question 2

Complétez la colonne 4 du tableau des résultats 4 ci-après. Utilisez le graphique d'étalonnage (ou l'équation du modèle choisi) pour évaluer l'énergie cinétique du mobile juste avant qu'il heurte le transducteur pour chaque collision.

Question 3

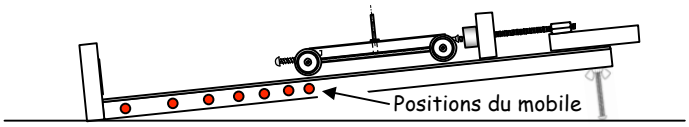
Calculez maintenant la vitesse du mobile juste avant qu'il heurte le transducteur pour chaque essai de collision. Pour y arriver, isolez la vitesse dans l'équation ci-dessous. (Attention aux unités de mesure!) La masse du mobile est inscrite dans le tableau de données 1. Complétez la colonne 5 du tableau des résultats 4 ci-après.

$E_{cinétique} = \frac{1}{2}\ m \bullet v^2$ où $E_{cinétique}$ $\Rightarrow$ énergie en J, m $\Rightarrow$ masse en kg, v $\Rightarrow$ vitesse en m/s

Calculs

Question 4

Lors de cette expérimentation, nous avons mesuré l'énergie libérée lors de plusieurs impacts et pour différentes dénivellations du plan incliné. Ce que nous avons fait équivaut à couper en petits segments une expérience plus longue dans le temps. Si nous faisions cette expérience, nous laisserions descendre le mobile d'un seul trait. Voilà pourquoi les colonnes 2 et 6 du tableau des résultats 4 sont identiques. La colonne 6 représente la position du mobile mesurée à partir du moment où il quitte l'électroaimant. **Recopiez donc la colonne 2 dans la colonne 6.** Les vitesses de la colonne 5 sont celles du mobile aux différentes positions.



Question 5

Finalement, il est nécessaire de calculer le temps correspondant à chaque position et vitesse. Pour ce faire, nous utilisons l'équation suivante.

$$x - x_0 = \frac{1}{2} (v + v_0) t$$

Où x est la position du mobile à un temps donné
x_0 est la position initiale du mobile (dans notre cas, au début de l'expérience)
v est la vitesse du mobile à un temps donné
v_0 est la vitesse initiale du mobile (dans notre cas, au début de l'expérience)
t est le temps qui s'écoule tout au long de l'expérience

Dans notre cas, l'expérience débute lorsque nous coupons la tension sur l'électroaimant. À ce moment précis, la position du véhicule est à 0 cm et sa vitesse est nulle. Les valeurs x_0 et v_0 de l'équation précédente peuvent donc être simplement retranchées. **Écrivez l'équation simplifiée ci-dessous.**

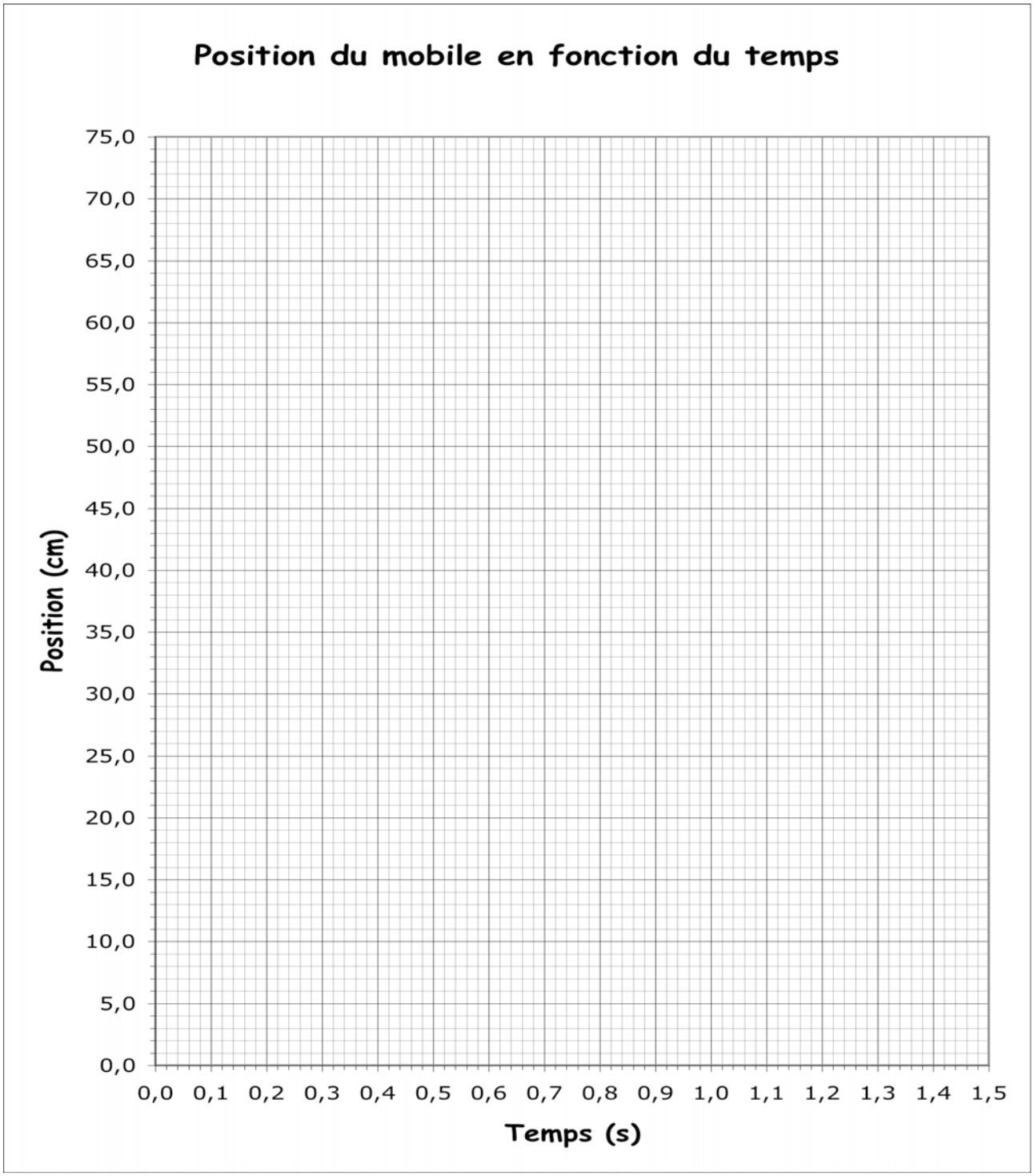
Question 6

Calculez maintenant le temps correspondant à chaque position et vitesse. Pour ce faire, isoler le temps dans l'équation simplifiée ci-dessus. Compléter la colonne 7 du tableau des résultats 4 ci-dessous.

Tableau des résultats 4 (mobile uniformément accéléré — cinématique)						
Cette section du tableau est tirée des six petites collisions effectuées				Dans le cas où l'on simulerait une seule descente du mobile		
Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4	Colonne 5	Colonne 6	Colonne 7
Numéro de la collision	**Distance éperon — transducteur (cm)**	**Tension moyenne (V)**	**Énergie cinétique (mJ)**	**Vitesse v (cm/s)**	**Position x (cm)**	**Temps t (s)**
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Question 7

Bon, c'est fait, le tableau des résultats 4 est enfin complété. Essayons maintenant de faire un peu « parler » ces résultats. Quoi de mieux qu'un graphique pour avoir une vue d'ensemble et pour dégager des tendances. Ainsi, **tracez ci-dessous un graphique de la position en fonction du temps.** Notez bien qu'au temps 0 seconde, le mobile était à la position 0. La courbe devrait donc passer par l'origine.



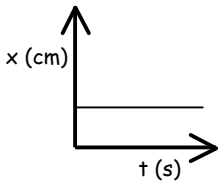
Question 8

Quelle sorte de courbe retrouvez-vous sur votre graphique?

_____

Question 9

De quelle façon interprétez-vous le graphique ci-contre? Est-ce que la position change? Est-ce que la vitesse change?

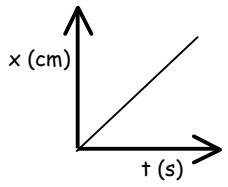


_____

_____

Question 10

De quelle façon interprétez-vous le graphique ci-contre? Est-ce que la position change? Est-ce que la vitesse change?

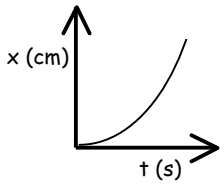


_____

_____

Question 11

De quelle façon interprétez-vous le graphique ci-contre? Est-ce que la position change? Est-ce que la vitesse change?



_____

_____

Question 12

Maintenant, interprétez le graphique de la position du mobile en fonction du temps? Est-ce que sa position change? Est-ce que sa vitesse change? Est-ce qu'il accélère?

_____

_____

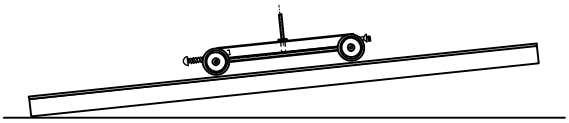
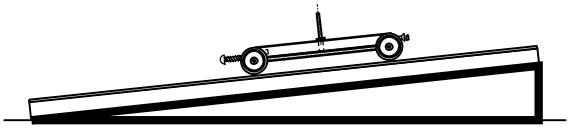
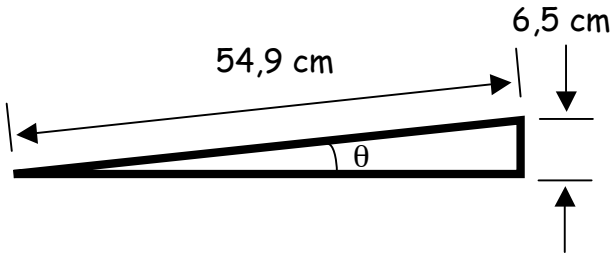
_____

Étude dynamique du mobile uniformément accéléré

Étudions maintenant le phénomène sous un autre angle. Attardons-nous aux forces qui agissent sur le mobile. Pour mener à bien cet exercice, vous aurez besoin de certains concepts étudiés en mathématique. Il serait donc utile de réviser les notions suivantes :

- Addition de vecteurs afin de trouver la résultante (vecteur résultant).
- Trigonométrie

Le but premier de cette étude est de déterminer la force résultante qui pousse le mobile vers le bas. Avec cette information, nous serons capables de calculer l'accélération, la vitesse et la position du mobile à tous les temps. Nous pourrons finalement approfondir l'analyse graphique du phénomène.

Voici notre mobile sur le même plan incliné que dans le laboratoire précédent. L'image a été allégée en gardant l'essentiel.	
L'angle entre la table et le plan incliné forme un triangle rectangle. Il est donc facile de trouver l'angle (avec un peu de trigonométrie.	
Trouver l'angle θ.	

NOTE : Pour simplifier la représentation graphique de droite, nous avons exagéré l'inclinaison du plan incliné. De plus, les longueurs des vecteurs ne sont pas à l'échelle.

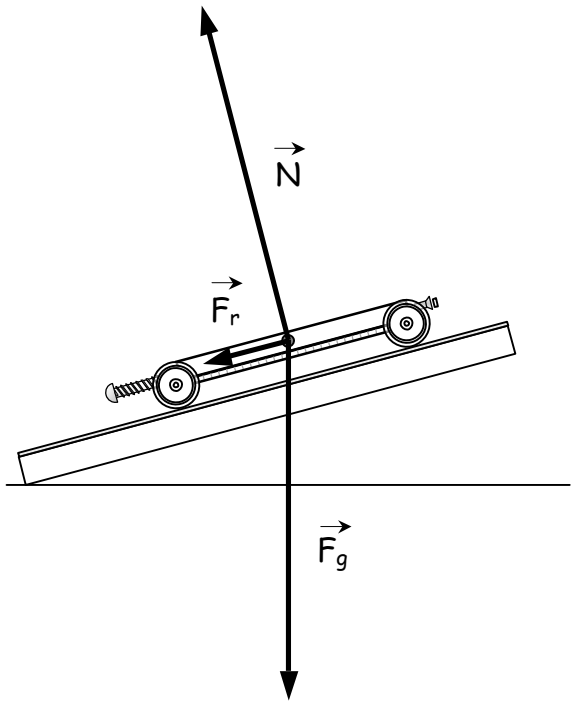
Voici la description des trois vecteurs de force présents.

$\vec{F_g}$ est la force que gravité calculée avec la deuxième loi de Newton.

$$\vec{F_g} = m \bullet \vec{g}$$

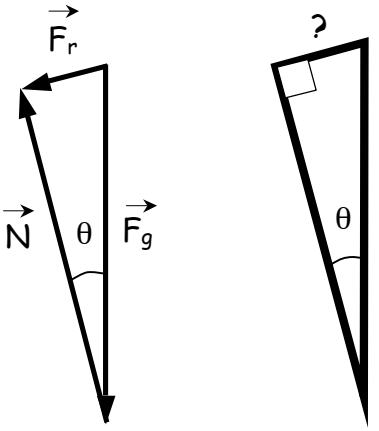
$\vec{N}$ est la force normale de réaction du plan incliné. Ce vecteur force est perpendiculaire au plan incliné. Le tout est conforme à la troisième loi de Newton d'action et réaction.

$\vec{F_r}$ Est la force résultante que nous voulons trouver. Ce vecteur force est parallèle au plan incliné.



Calculer $\vec{F_g}$ la force gravitationnelle

Pour simplifier le tout, les trois vecteurs peuvent être déplacés et placés bout à bout. Il faut cependant conserver leur orientation et leur grandeur. On peut voir ici que la force gravitationnelle tire vers le bas et que la force de réaction du plan pousse vers le haut avec un angle θ. La somme (la résultante) de ces deux forces est $\vec{F_r}$. **Calculer $\vec{F_r}$ en considérant le triangle rectangle.**



Question 1

Maintenant, que nous avons la grandeur de la force qui pousse le mobile vers le bas, calculez l'accélération théorique du mobile à l'aide de la deuxième loi de Newton.

Question 2

Recopiez la colonne 7 (temps) du tableau des résultats 4 dans le tableau des résultats 5 ci-dessous.

Tableau des résultats 5 (mobile uniformément accéléré – dynamique)							
n°	**0**	**1**	**2**	**3**	4	5	6
Temps, t (s)	**0**						
Vitesse, v (cm/s)	**0**						
Position, x (cm)	**0**						

Question 3

Déterminons maintenant la vitesse du mobile à partir de l'accélération trouvée à la question 1 ci-dessus. Pour ce faire, nous utilisons l'équation de cinématique suivante.

$v = v_0 + at$

Où v est la vitesse du mobile à un temps donné (vitesse instantanée)
v_0 est la vitesse initiale du mobile (dans notre cas, au début de la descente)
a est l'accélération du mobile
t est le temps qui s'écoule tout au long de l'expérience

Dans notre cas, la vitesse initiale du véhicule est nulle. La valeur v_0, de l'équation précédente peut donc être retranchée. Calculez maintenant la vitesse pour chaque temps et complétez la ligne correspondante du tableau 5.

Calculs

Question 4

Finalement, déterminons la position qu'occupe le mobile à chaque temps. Pour ce faire, nous utilisons l'équation de cinématique suivante.

$$\mathbf{x - x_0 = \frac{1}{2} (v + v_0) t}$$

Où x est la position du mobile à un temps donné
x_0 est la position initiale du mobile (dans notre cas, au début de l'expérience)
v est la vitesse du mobile à un temps donné
v_0 est la vitesse initiale du mobile (dans notre cas, au début de l'expérience)
t est le temps qui s'écoule tout au long de l'expérience

Ici aussi, les valeurs x_0 et v_0 peuvent être retranchées. Calculez maintenant la position pour chaque temps et complétez la ligne correspondante du tableau 5.

Calculs

Question 5

Bon c'est fait, le tableau des résultats 5 est complété. Essayons maintenant de faire un peu « parler » ces nouveaux résultats. Pour rendre le tout plus parlant, retraçons la nouvelle courbe sur le graphique tracé précédemment. **Tracez donc une nouvelle courbe sur le graphique de la *Position du mobile en fonction du temps* de la section précédente.** Comme la nouvelle courbe est issue de calculs dynamiques, identifions-la : dynamique. L'ancienne courbe est identifiée par le terme : cinématique.

Question 6

Quelle courbe (dynamique ou cinématique) remonte le plus rapidement?

_____

Question 7

Dans quel cas (dynamique ou cinématique), le mobile a-t-il parcouru une plus grande distance pour un temps donné?

_____

Question 8

Dans quel cas (dynamique ou cinématique) le mobile a-t-il obtenu la plus grande vitesse finale? Pour vous aider, regardez le taux de variation du dernier segment droit de la courbe.

Question 9

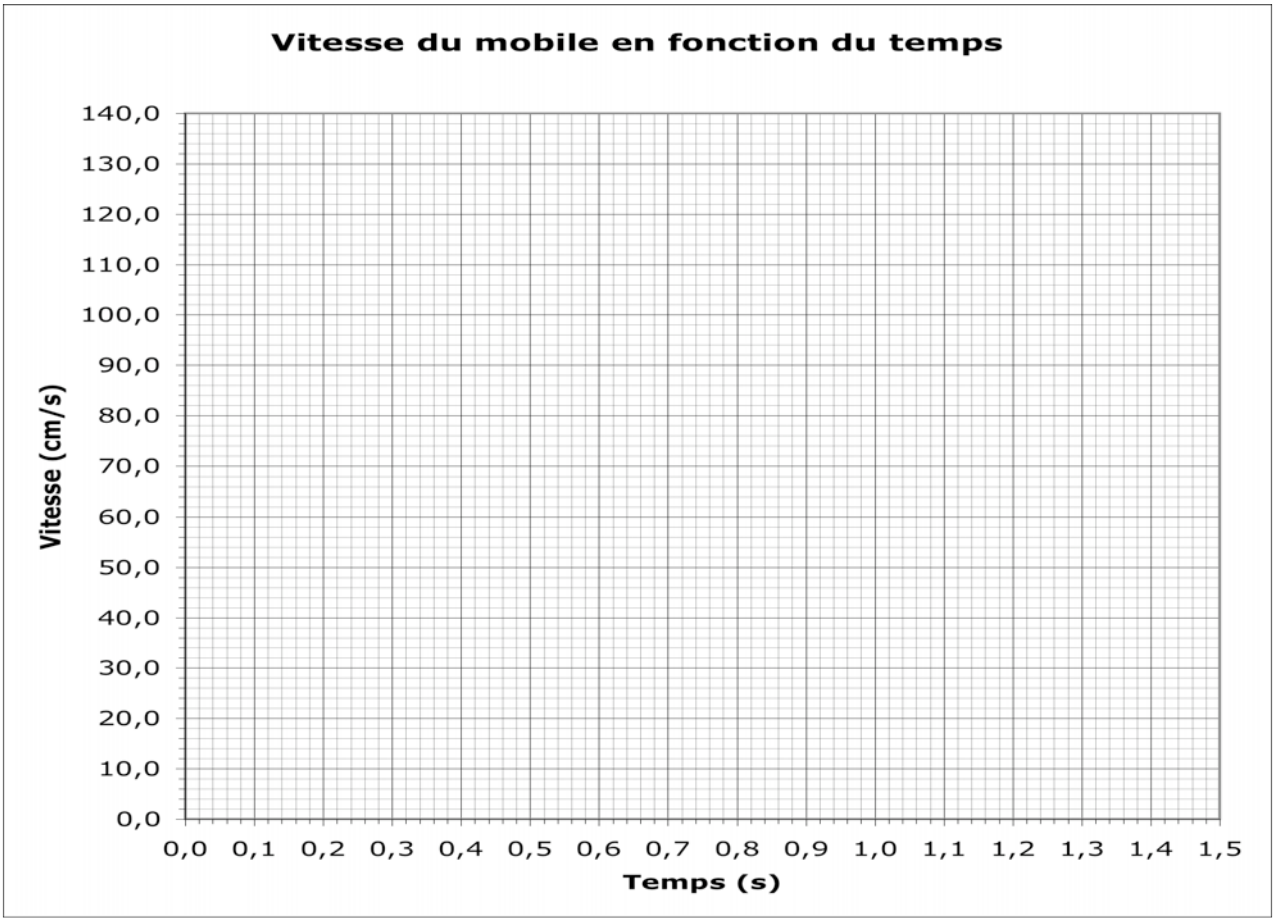
Dans quel cas (dynamique ou cinématique), le mobile accélère-t-il le plus rapidement? Pour vous aider, regardez la courbure de la parabole.

Question 10

Selon vous, à quoi est due une telle différence entre les deux courbes?

Question 11

Attardons-nous maintenant à l'évolution de la vitesse du mobile par rapport au temps. À partir du tableau des résultats 5, tracez le graphique de la vitesse du mobile en fonction du temps.



Question 12

Décrivez l'évolution de la vitesse sur le graphique «*Vitesse du mobile en fonction du temps*».

_____

_____

Question 13

Que pouvez-vous dire à propos de l'accélération?

_____

_____

Question 14

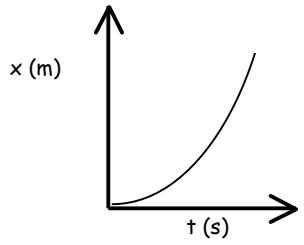
À quoi correspond le taux de variation de la droite sur ce graphique?

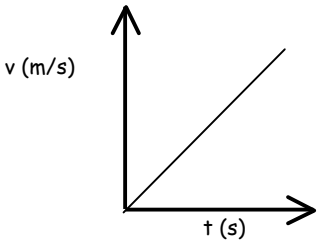
_____

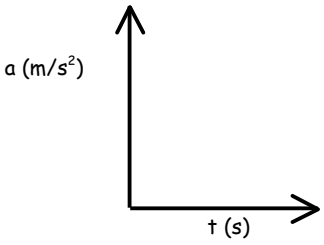
_____

Question 15

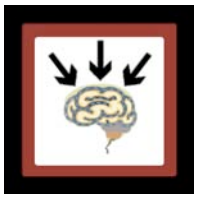
Voici trois graphiques décrivant un mouvement semblable à notre mobile : un mouvement rectiligne uniformément accéléré. Les deux premiers graphiques décrivent la position et la vitesse en fonction du temps. **Complétez le troisième graphique en traçant une courbe adéquate.**







Notions de base sur la voile



Il est maintenant temps d'en apprendre un peu plus sur la voile. Cette section vous donne juste ce qu'il faut pour mettre en marche le char d'Éole afin d'étudier son mouvement. Les sujets suivants y sont traités :

- Les notions de vent réel, de vent vitesse et de vent apparent.
- Le principe de Bernoulli appliqué à une voile.
- Les allures et l'orientation de la voile.
- Un laboratoire dirigé sur la dynamique du char d'Éole.

Les vents



En voile, sentir le vent a une importance capitale. C'est en sentant le vent sur son visage que le véliplanchiste peut apprécier la direction et la force du vent et adapter ses gestes en fonction de ce qu'il perçoit. Même l'intensité du sifflement du vent dans les oreilles peut donner une indication de la provenance du vent. Par un vent de face, on devrait entendre siffler le vent avec la même intensité dans chaque oreille. On appelle ce vent : le **vent réel**.

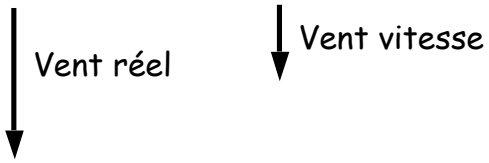
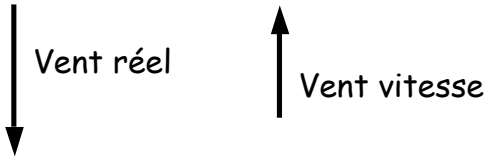
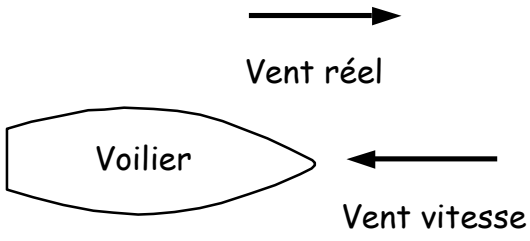
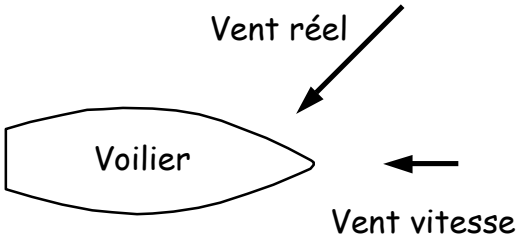
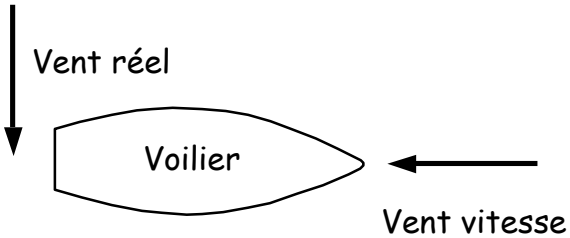
S'il n'y avait que vent réel, tout serait plus simple. Mais notre déplacement ajoute une autre sorte de vent : le **vent vitesse**. Tout est question de référence. Par une belle journée calme, il n'y a pas de vent. On peut alors dire que le vent réel est nul. Par contre, si nous enfourchons un vélo et que nous filons à bonne vitesse, nous percevrons un vent sur nos joues. Ce vent n'est pas réel, il est simplement dû au fait que nous nous déplaçons dans l'air immobile.



Tout se complique lorsque nous nous déplaçons par une journée venteuse. Le vent que nous percevrons alors sera le **vent apparent**. Il s'agit de l'addition vectorielle du vent réel et du vent vitesse. On peut facilement imager ce concept à l'aide d'un vélo. Imaginez que vous êtes en vélo, immobile, au sommet d'une côte. Imaginez aussi que vous avez un vent de face qui provient exactement du bas de la pente. Lorsque vous vous élancerez, le vent vous semblera de plus en plus fort tout au long de votre accélération.

Sur un voilier en route, le seul vent que l'on ressent est le vent apparent. C'est lui aussi qui génère la force lors des déplacements. Voici maintenant quelques exercices qui vous permettront de bien comprendre la façon dont se compose le vent apparent.

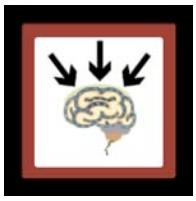
Exercices sur les vents

À partir de ces 2 vecteurs de vent,	trouver le vecteur résultant, vent apparent.
	
	
	
	
	

Le principe de Bernoulli appliqué à une voile

Selon Wikipedia – septembre 2009
(*http://fr.wikipedia.org/wiki/Théorème_de_Bernoulli*)

*Le **théorème de Bernoulli** qui a été établi en 1738 par Daniel Bernoulli exprime le bilan hydraulique simplifié d'un fluide dans une conduite. Il a posé les bases de l'hydrodynamique et, d'une façon plus générale, de la mécanique des fluides.*

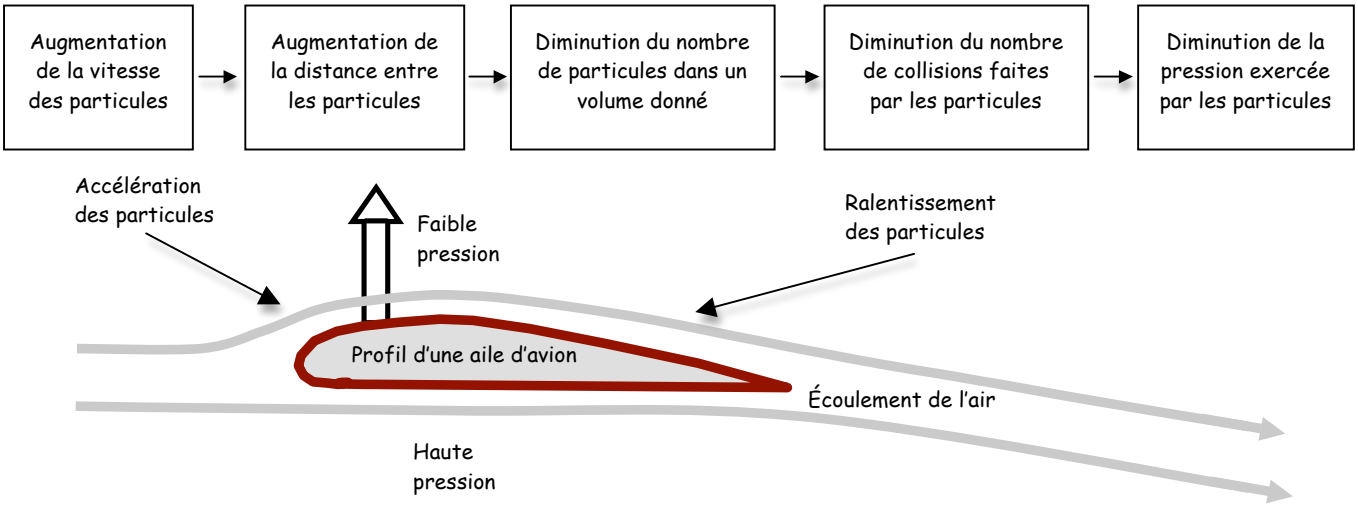


Essentiellement, Bernoulli montra que la vitesse et la pression d'un fluide varient en sens inverse (inversement proportionnel). Ainsi, une grande vitesse du fluide entraîne une faible pression de celui-ci. Inversement, une faible vitesse du fluide entraîne une forte pression de celui-ci.



Daniel Bernoulli (1700 – 1782)
Physicien et mathématicien suisse

Une façon simpliste de comprendre ce phénomène est d'imaginer que lorsque les particules accélèrent, elles se distancent les unes des autres. Dans une zone où le fluide a une grande vitesse, il y a donc moins de particules présentes. Comme on le sait, la pression est générée par la collision des particules avec les objets. On peut donc conclure qu'une diminution du nombre de particules entraîne une diminution de la pression.



En résumé :

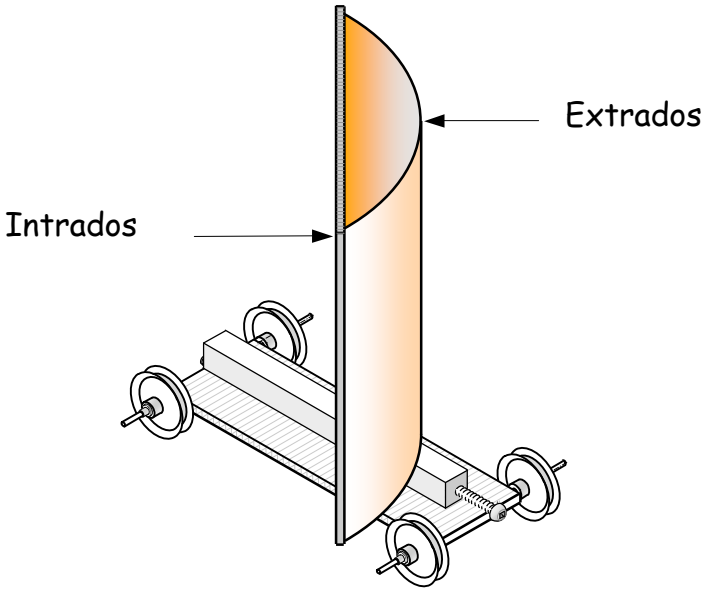
L'écoulement de l'air autour de l'aile génère des zones de haute et de basse pression. Les objets ont toujours tendance à se déplacer d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression. Nous n'avons qu'à penser à une balle dans le canon d'un révolver, une personne qui éternue ou à la simple présence du vent. Une force ascendante apparaît donc et c'est celle-ci qui supporte l'avion lors de son vol.

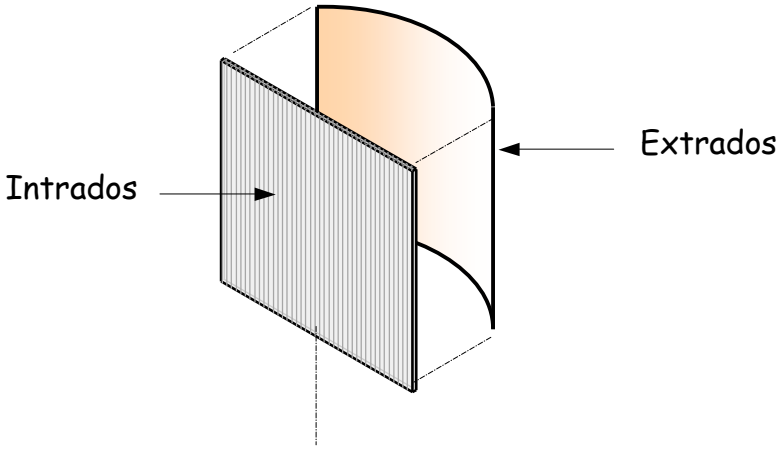
Dans le cas de notre char d'Éole, c'est la voile rigide qui se comporte comme une aile d'avion. Nous avons préféré une voile rigide à une voile flexible en tissus pour simplifier sa forme. Il devient alors plus facile de placer le vecteur de force aérodynamique que la voile engendre.

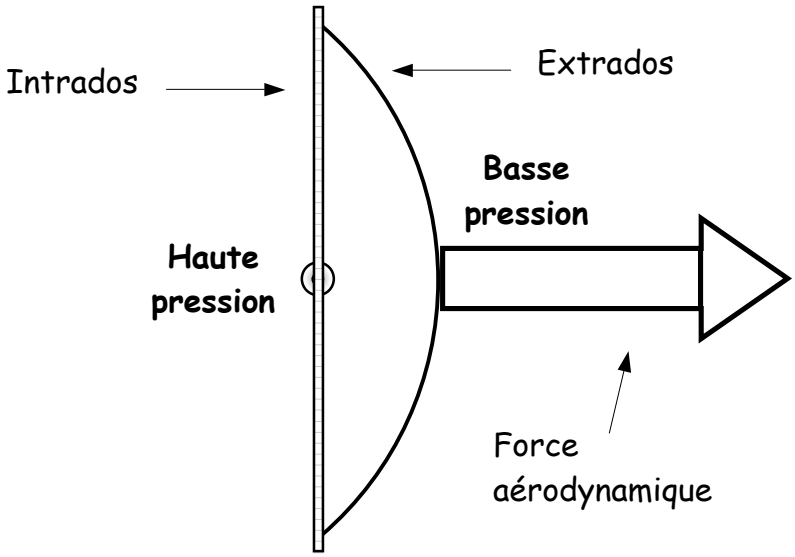
Lorsque le vent passe autour de la voile, il doit se séparer en deux. Une partie du vent passe du côté de l'intrados et une autre sur le côté de l'extrados. Le chemin parcouru par l'air passant du côté de l'extrados est plus long. En accord avec le principe de Bernoulli, une zone de basse pression apparaît sur ce côté. Une zone de haute pression apparaît sur le côté de l'intrados. La voile cherche alors à se déplacer d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression et engendre la force aérodynamique.

Pour simplifier le tout, nous considérons la force aérodynamique comme étant toujours perpendiculaire à la voile.

Il est maintenant temps de mettre tout ça en pratique. Étudions le comportement du char d'Éole lorsqu'il est soumis à des vents provenant de différentes directions.



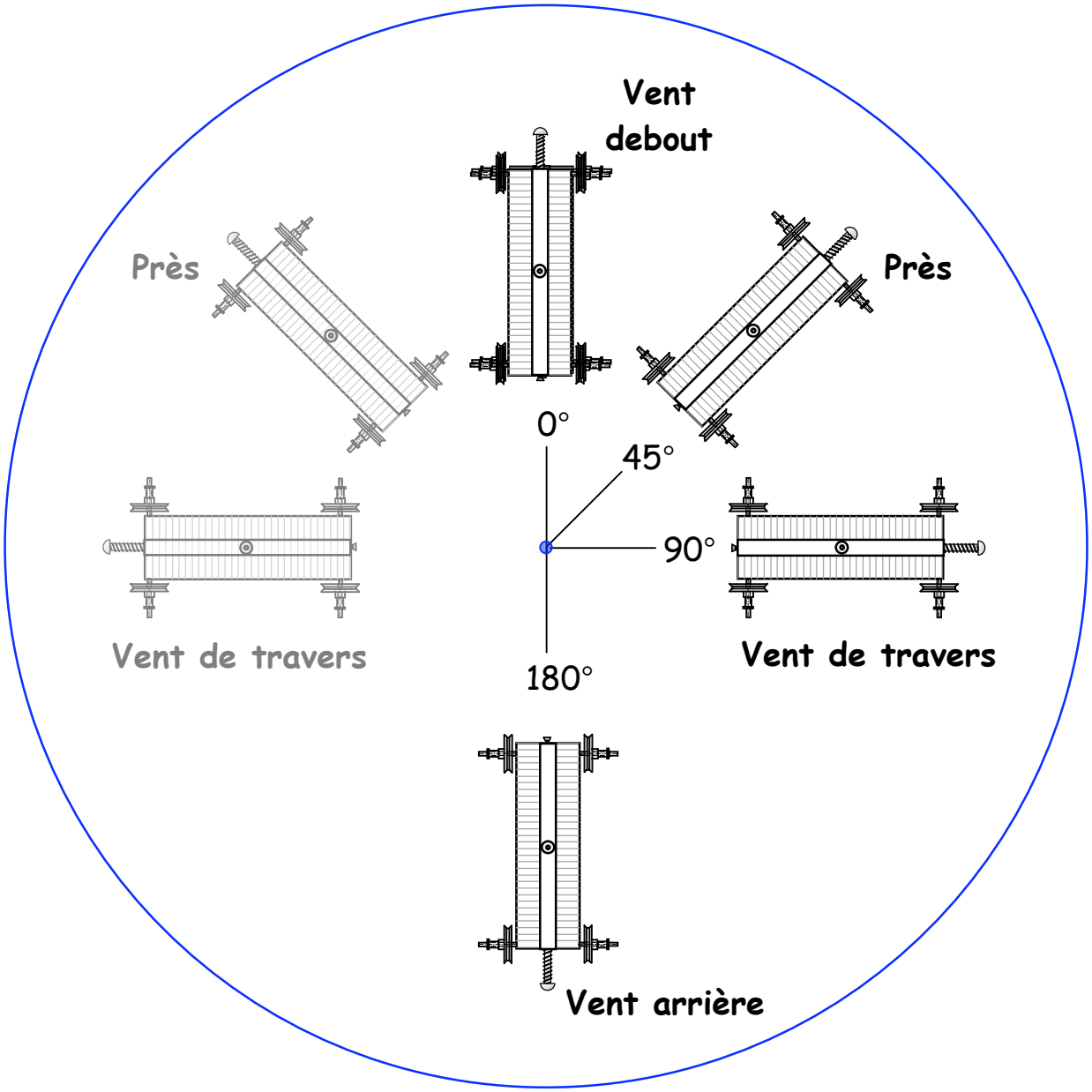




Allures (orientation du char par rapport au vent)

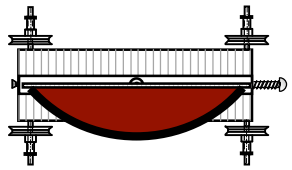
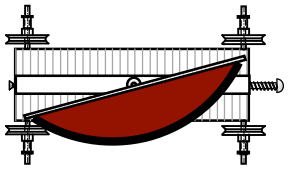
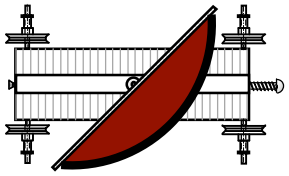
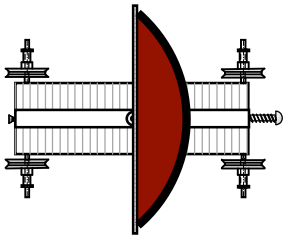
Une allure est la direction vers laquelle un véhicule à voile se déplace par rapport à la direction du vent. Bien qu'il existe au moins six allures différentes, nous simplifierons le tout en n'en retenant que trois : le près (près du vent), le vent de travers et le vent arrière. Au près, le char d'Éole remonte vers le vent à un angle de 45 degrés par rapport à lui. Dans l'illustration ci-dessous, nous représentons le char d'Éole vu du dessus. Il est à noter que lorsque le char est vent debout (face au vent), il n'avance pas. Se placer face au vent est une façon simple de s'immobiliser en voile. Dans notre cas, la force aérodynamique serait parallèle à l'axe des roues (inefficace).

Direction du vent

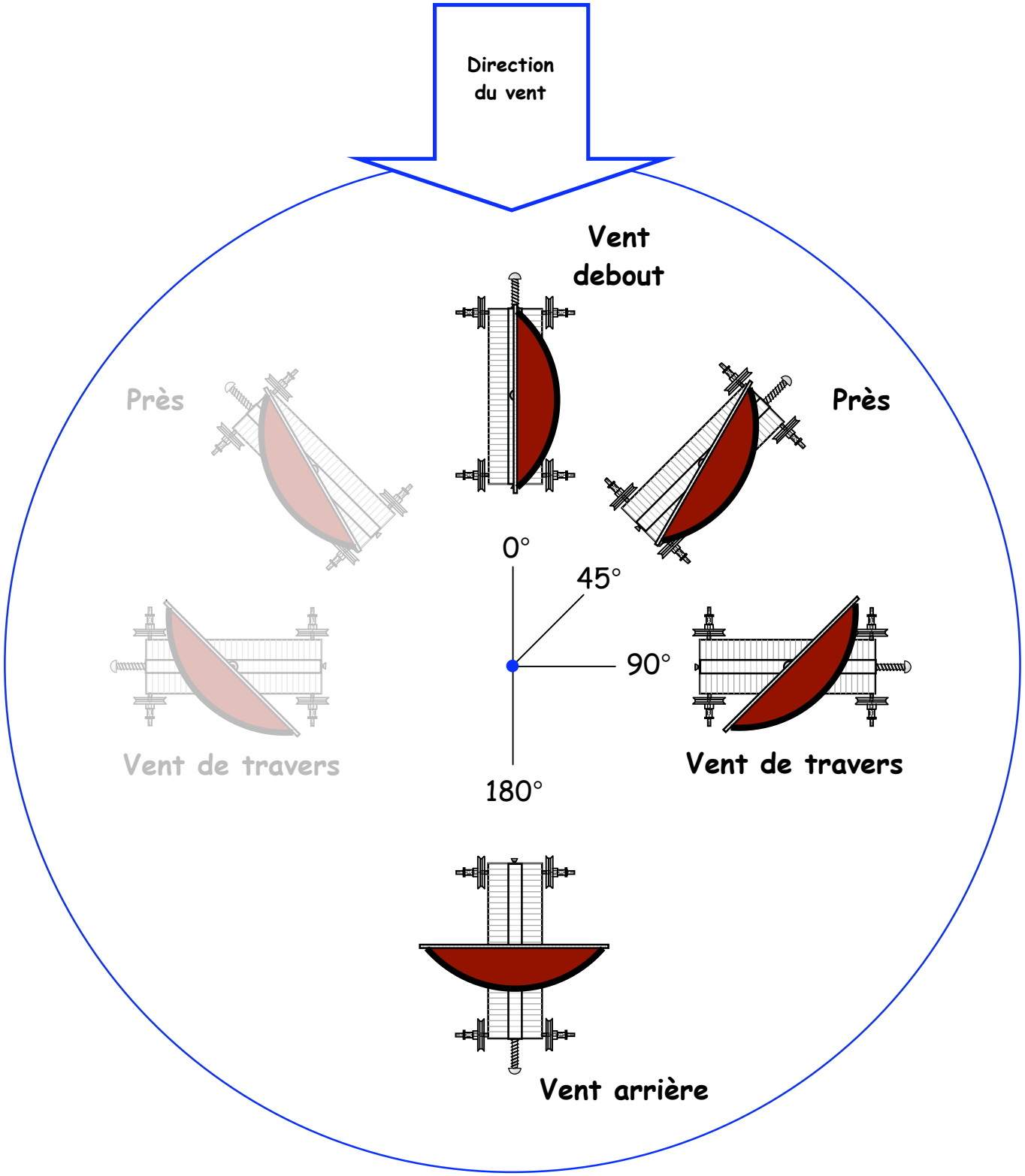


Orientation de la voile par rapport au char

Remarquez bien l'angle de la voile par rapport à l'axe du char pour chaque allure.

Vent debout Le char n'avance pas. Dans le cas de notre voile rigide, il y a une force aérodynamique, mais elle est parallèle à l'axe des roues. Elle est donc inefficace. Si nous avions une voile en textile, elle faseillerait.	 0°
Près Voici la façon dont on doit orienter la voile lorsqu'on remonte le vent au près.	 15°
Vent de travers Voici la façon dont on doit orienter la voile lorsqu'on se déplace perpendiculairement au vent.	 45°
Vent arrière Voici la façon dont on doit orienter la voile lorsqu'on se déplace avec le vent.	 90°

Résumé (orientation de la voile et du char)



Laboratoire dirigé (dynamique du char d'Éole)

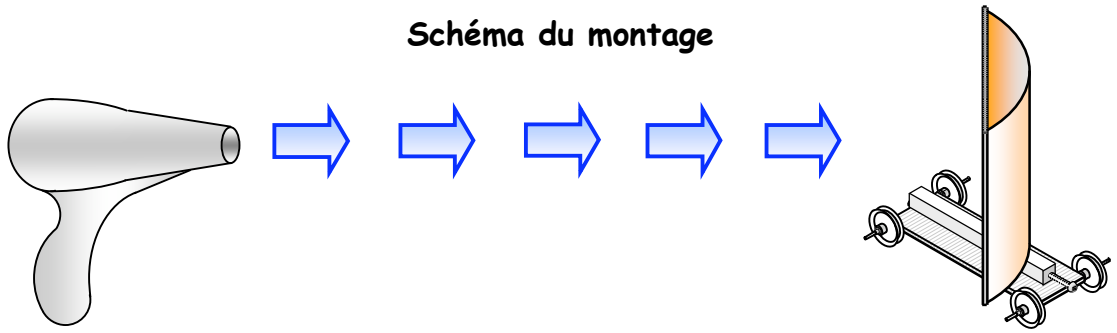
Ce laboratoire vous donne l'occasion de mieux comprendre les forces qui sont en cause lors du déplacement du char d'Éole. Il y a la force aérodynamique de la voile, la force d'antidérive des roues et la force propulsive. Dans un premier temps, vous mettrez en marche le char d'Éole à différentes allures de façon intuitive. Vous étudierez ensuite les forces qui permettent d'amorcer un mouvement pour chaque allure.

Première partie (mise en marche du char d'Éole)

Matériel

- 1 char d'Éole équipé de sa voile
- 1 séchoir à cheveux
- 1 surface bien lisse

Schéma du montage



Manipulations

1. Ajuster l'angle de la voile du char d'Éole pour une allure de vent arrière.
2. Déposer le char sur la surface lisse en le situant de façon à permettre un bon déplacement.
3. Brancher le séchoir et le maintenir à une distance d'environ un mètre de façon à pouvoir simuler un vent arrière.
4. Démarrer le séchoir et observer le déplacement du char.
5. Recommencer les étapes 1 à 5 pour les allures du vent de travers et du près.

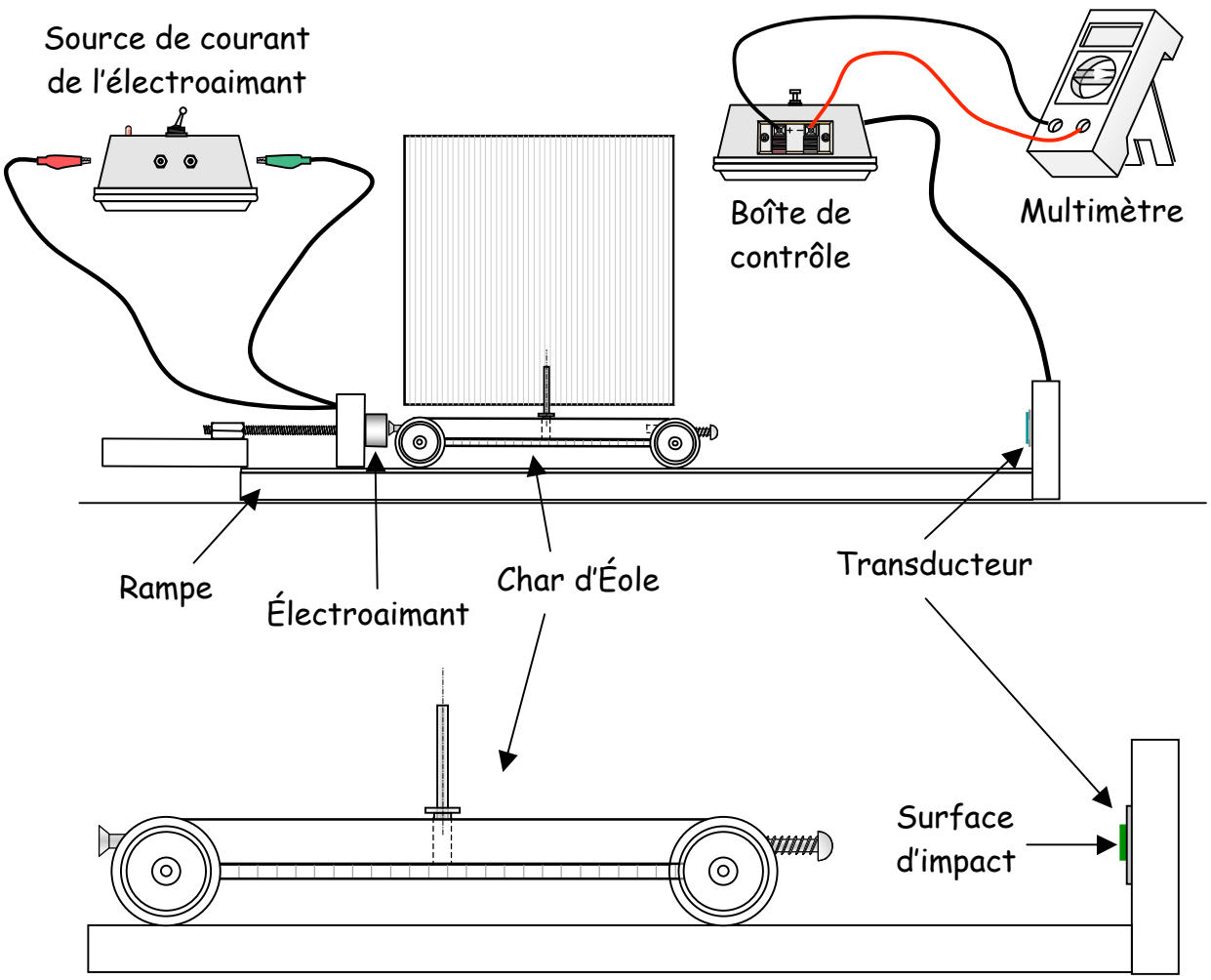
Note : Pour le près, il est possible de devoir placer le char à un angle plus grand que 45° par rapport au vent (possiblement 60°). Placer le char plus près de la perpendiculaire au vent vous rendra la tâche plus facile. (Il faut tout de même que le char remonte vers le vent.)

Deuxième partie (Forces initiales pour chaque allure)

Matériel

- 1 char d'Éole équipé de sa voile rigide
- 1 rampe (identique au plan incliné) avec transducteur et boîte de contrôle
- 1 séchoir à cheveux
- 1 Électroaimant
- 1 Source de courant 9 volts
- 1 Multimètre
- 1 Règle
- 1 Balance
- 1 bande de papier

Schéma du montage



Manipulations

1. Peser le char avec sa voile et inscrire la masse dans le tableau de données 6.
2. Ajuster l'angle de la voile du char d'Éole pour une allure de vent arrière.
3. Déposer la rampe, équipée de son transducteur, sur une surface bien plane.
4. Fixer l'électroaimant sur la rampe de façon à permettre **le plus petit déplacement possible du char** (plus proche du transducteur).
5. Déposer le char sur la rampe entre l'électroaimant et le transducteur comme sur le schéma du montage.
6. Fixer le séchoir à un support universel à l'aide d'une pince universelle.
7. Placer le séchoir à une distance d'environ un mètre de façon à pouvoir simuler un vent arrière (le séchoir doit être utilisé loin du transducteur pour ne pas créer d'interférences).
8. Démarrer le séchoir et ajuster la trajectoire de l'écoulement de l'air de façon à ce que l'air atteigne le centre de la voile. (Vous pouvez détecter ce « vent » à l'aide d'une bande de papier.)
9. Arrêter le séchoir.
10. Brancher la source de courant en position « Arrêt » sur l'électroaimant.
11. Brancher le multimètre sur la boîte de contrôle du transducteur.
12. Mettre en marche le multimètre en mode tension CC (échelle d'environ 2 V).
13. Mettre en marche la source de façon à alimenter l'électroaimant.
14. Appuyer le char contre l'électroaimant de façon à ce qu'il soit retenu par celui-ci.
15. Aligner le char sur la ligne de guidage.
16. Mesurer la distance entre l'éperon du mobile et la surface d'impact du transducteur et noter cette mesure dans le tableau des données.
17. Démarrer à nouveau le séchoir en prenant bien soin de ne pas changer son orientation.
18. Appuyer sur l'interrupteur de réinitialisation sur la boîte de contrôle du transducteur. (Le multimètre devrait alors afficher zéro.)
19. Tout de suite après avoir relâché l'interrupteur de réinitialisation, fermer la source de l'électroaimant et lire la plus haute tension apparaissant momentanément sur le multimètre. (Le char devrait heurter le centre du transducteur.)
20. Noter cette tension dans le tableau des données.
21. Recommencer les étapes 13 à 20 deux autres fois et calculer la moyenne.
22. Recommencer les étapes 2 à 21 avec deux autres allures : vent de travers et près. (Pour le près, il est possible que vous deviez placer le char à un angle plus grand que 45° par rapport au vent (possiblement 60°).

Tableau de données 6 (dynamique du char d'Éole)				
Allure	**U (V) essai n° 1**	**U (V) essai n° 2**	**U (V) essai n° 3**	**Tension moyenne (V)**
Vent arrière				
Vent de travers				
Près				
Distance éperon — transducteur Δs (cm)				
Masse du char d'Éole (g)				

Analyser les résultats

Traitez vos données.

Question 1

Complétez la colonne 2 du tableau des résultats 7 ci-après. Utilisez le même graphique d'étalonnage (ou l'équation du modèle) que pour le mobile uniformément accéléré. Ceci vous permet d'évaluer l'énergie cinétique du char juste avant qu'il heurte le transducteur pour chaque allure. Inscrivez ces énergies dans la colonne 3.

Question 2

Cette quantité d'énergie correspond au travail fait par le vent pour accélérer le char sur cette courte distance. Recopiez la colonne 3 dans la colonne 4.

Question 3

Calculez maintenant la force efficace, en newton (dans le même sens que le déplacement du char) pour chaque allure. Isolez donc la force dans l'équation suivante. Utilisez la distance éperon – transducteur comme déplacement du tableau 6. Complétez la colonne 5

$W=F \cdot \Delta s$ où W ⇒ travail en J (Joule), F ⇒ force en N, Δs ⇒ déplacement en m (dans la même direction que la force)

Question 4

Calculez finalement l'accélération du char pour chaque allure. Isolez l'accélération dans l'équation suivante. Utilisez la masse du char du tableau 6. Complétez la colonne 6.

$F=m \cdot a$ où F ⇒ force en N (newton), m ⇒ masse en kg, a ⇒ accélération du char en m/s^2 ou N/kg

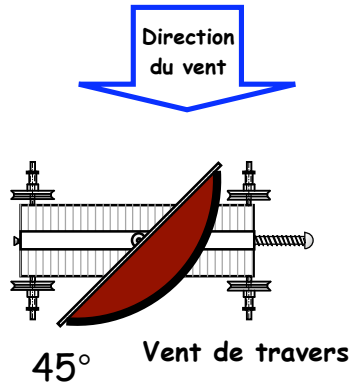
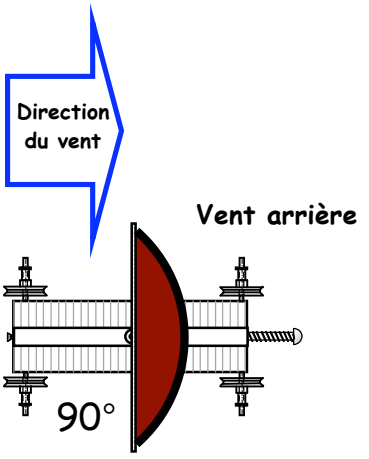
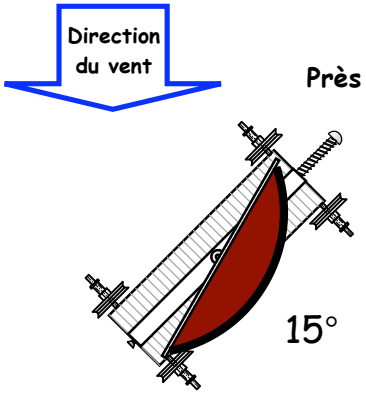
Tableau des résultats 7 (dynamique du char d'Éole)					
Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3	Colonne 4	Colonne 5	Colonne 6
Allure	**Tension moyenne (V)**	**Énergie (mJ)**	**Travail (mJ)**	**Force efficace (N) (propulsive)**	**Accélération (m/s^2)**
Vent arrière					
Vent de travers					
Près					

Traitez vos données (suite).

Question 5

La **force propulsive** que vous venez de trouver est essentiellement, la composante de deux autres forces. La première force est la **force aérodynamique** de la voile qui agit perpendiculairement à celle-ci. La deuxième force est la **force d'antidérive** qui agit parallèlement à l'axe des roues. La force antidérive empêche le char de se déplacer de côté sous l'effet de la poussée du vent.

Comme vous connaissez l'orientation de ces trois forces et la grandeur de la force propulsive (grandeur du vecteur résultant), déterminez graphiquement la grandeur des deux autres forces.

Illustration de la situation	Addition vectorielle (graphiquement)
	
	
	

Tirez vos conclusions

Question 6

Décrivez l'évolution de chaque force, du vent arrière jusqu'au près.

_____

_____

_____

_____

Question 7

Selon vous, à quelle allure peut-on atteindre la plus grande vitesse? Pourquoi?

_____

_____

_____

_____

Question 8

Quelles forces agissent sur notre char lorsqu'il est face au vent et que sa voile rigide est dans l'axe du bateau?

_____

_____

_____

_____

Analyse cinématique du char d'Éole



Dans l'expérience précédente, nous avons étudié les forces qui agissent sur le char lorsqu'il était quasiment au repos. En effet, la distance entre l'électroaimant et le transducteur était très petite. Dans la suite du document, nous qualifions ces forces de forces statiques.

Il est maintenant temps d'approfondir notre étude en regardant ce qui se passe lorsqu'un char d'Éole atteint une plus grande vitesse. Pour ce faire, nous avons mis au point une soufflerie dans laquelle nous avons fait évoluer un char d'Éole. Pour simplifier le tout, nous avons limité notre expérimentation aux allures les plus rapides (vent arrière et vent de travers). Comme il est très difficile d'étudier un phénomène si rapide, nous l'avons filmé. Votre travail consistera donc à faire l'analyse cinématique de cette séquence vidéo.



Un char d'Éole qui atteint une plus grande vitesse se comporte peut-être différemment qu'à très faible vitesse. Plusieurs questions peuvent être soulevées :

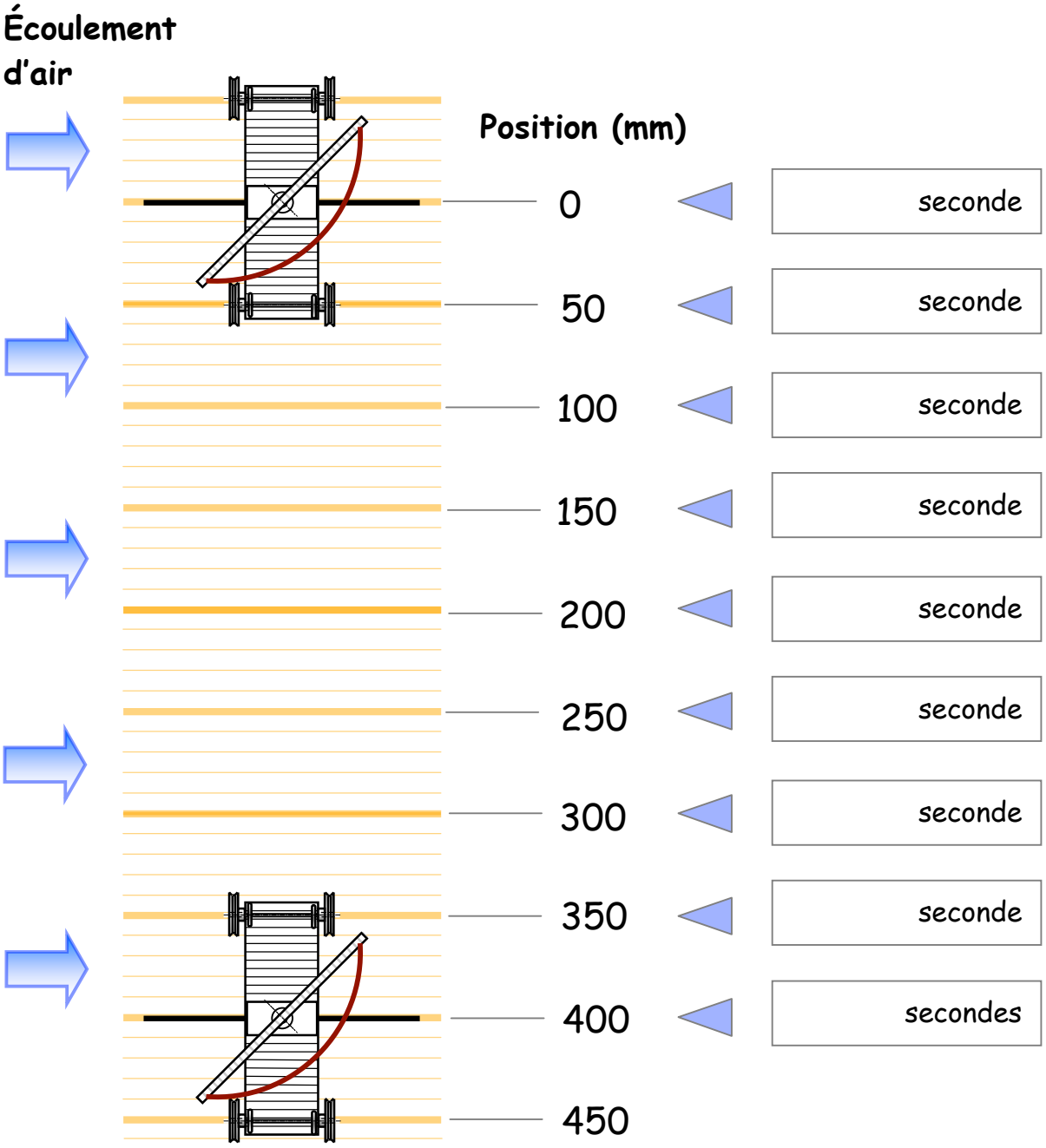
- **Est-ce que les forces initiales trouvées précédemment pour chaque allure sont encore valables à une plus grande vitesse?**
- **Quelle accélération subira le char pour chaque allure?**
- **Quelle allure (vent arrière, vent de travers) permettra d'atteindre la plus grande vitesse?**

Regardez bien la vidéo suivante en prenant en note les temps de passage du char pour chaque allure. Vous devrez ensuite représenter graphiquement les données recueillies.

Comme les dimensions de la soufflerie étaient limitées, une extrapolation jusqu'à 3 secondes sera nécessaire pour mener à bien votre analyse cinématique.

En effet, si la soufflerie avait été plus grande nous aurions constaté que le char atteint une vitesse constante. À ce moment, la force propulsive est égale à la force de friction si bien que la force résultante sur le char est nulle. Il cesse donc d'accélérer pour maintenir une vitesse constante. **L'extrapolation demandée devrait ainsi être linéaire.**

Relevé du temps en fonction de la position pour un vent de travers



Relevé du temps en fonction de la position pour un vent arrière

Écoulement d'air





Position (mm)		
0		seconde
50		seconde
100		seconde
150		seconde
200		seconde
250		seconde
300		seconde
350		seconde
400		secondes
450		

Cerner le mandat à la suite de la vidéo

Que devez-vous faire pour répondre à ce mandat?
(Analyser cinématique du char d'Éole)

Votre analyse cinématique doit être remise dans un document distinct. Elle doit répondre aux questions suivantes :

- **Quelle allure permet la plus grande accélération?**
- **Quelle allure permet d'atteindre la plus grande vitesse?**

Toutes vos observations ou déductions doivent être justifiées par des explications scientifiques ou des calculs.



Intégration et réinvestissement

À la lumière de l'étude du char d'Éole, construisez un réseau des concepts reliés à la cinématique. Cet exercice vous permettra d'apprécier le chemin parcouru en étudiant le merveilleux monde de la voile.	**Banque de mots :** vitesse instantanée, mètre, position, mètre par seconde, variation de vitesse, temps, accélération, vitesse moyenne, mètre par seconde carrée, variation de position, distance parcourue, seconde, etc.

Réseau de concepts

Cinématique

À la lumière de l'étude du char d'Éole, construisez un réseau des concepts reliés à la dynamique. Cet exercice vous permettra aussi d'apprécier le chemin parcouru depuis le début de cette SAE.	**Banque de mots :** force, trigonométrie, composante, angle, sinus, normale, newton, vecteur, résultante, tangente, accélération, cosinus, vitesse, position, etc.

Réseau de concepts

Dynamique

Réflexion

Nous vous invitons maintenant à vous servir des compétences et des connaissances acquises pour pousser un peu plus loin votre réflexion. Pour ce faire, vous devez produire un document qui peut prendre la forme d'une présentation PowerPoint, d'une affiche ou simplement d'un texte.

Ce document doit comporter une description cinématique et dynamique d'une situation de la vie courante.

Plan de travail