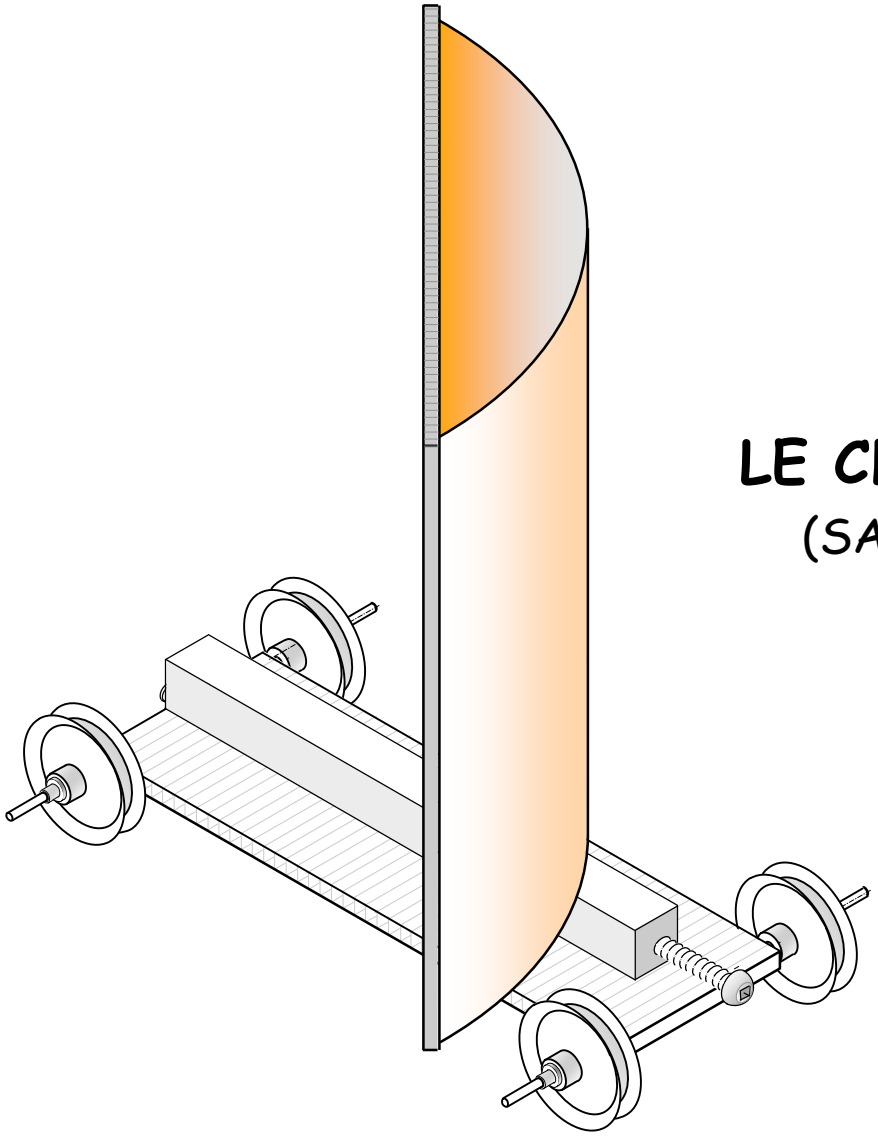
centre de développement pédagogique
pour la formation générale en science et technologie

Document de travail



LE CHAR D'ÉOLE

(SAE simplifiée)

GUIDE DU MAÎTRE ET DU TTP

Janvier 2012

Table des matières

Mouvement uniformément accéléré 3

Laboratoire dirigé (mobile uniformément accéléré) 3

Étalonnage du transducteur piézoélectrique 4

Étude cinématique du mobile uniformément accéléré 8

Étude dynamique du mobile uniformément accéléré 11

Notions de base sur la voile 15

Exercices sur les vents 15

Laboratoire dirigé (dynamique du char d'Éole) 16

Analyse cinématique du char d'Éole 19

Relevé du temps en fonction de la position pour un vent de travers 19

Relevé du temps en fonction de la position pour un vent arrière 20

Analyse graphique pour les deux allures 21

Webographie 23

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.**

Mouvement uniformément accéléré

Laboratoire dirigé (mobile uniformément accéléré)

Exemple pour le tableau de données 1 — **Masse (g) =** 42,39

n°	Distance Éperon - Transducteur (cm)	U(V) #1	U(V) #2	U(V) #3	U(V) Moy.
1	0,9	0,034	0,034	0,033	0,034
2	3,5	0,140	0,140	0,141	0,140
3	6,1	0,229	0,227	0,217	0,224
4	8,6	0,302	0,295	0,293	0,297
5	11,3	0,362	0,349	0,356	0,356
6	13,7	0,457	0,442	0,461	0,453

Analyser les résultats

Traitez vos données.

Question 1

La tension est croissante en fonction de la distance éperon – transducteur.

Question 2

Lorsqu'on laisse aller le mobile à partir d'une position plus élevée, il heurte le transducteur avec une plus grande vitesse. Une plus grande vitesse génère donc une tension plus élevée.

Question 3

Oui, nous aurions obtenu les mêmes résultats. Nous aurions aussi trouvé que la tension est croissante en fonction de la distance éperon – transducteur.

Tirez vos conclusions

Question 4

Il est possible de le faire à partir des tensions mesurées.

Étalonnage du transducteur piézoélectrique

Notes

- Une page « Excel » est disponible pour faciliter cet étalonnage. Elle est disponible sur le site Web du CDP à l'adresse : http://www2.cslaval.qc.ca/cdp/pages/documentation.html
- Le graphique obtenu, lors de cet étalonnage, permet une correspondance entre une tension lue et une énergie mécanique donnée. Bien que cette correspondance puisse être faite directement sur le graphique, un traitement mathématique menant à l'équation apporterait plus de précision.

Précautions à prendre pour plus de fidélité lors de l'étalonnage

- Débuter l'étalonnage avec une hauteur de bille de 3 cm.
- S'assurer que la bille frappe toujours le centre du transducteur.
- S'assurer qu'il n'y a pas de vibrations parasites sur le montage. Une partie de la tension générée serait alors attribuable à cette vibration.
- Éloigner les appareils alimentés par le secteur (120V CA). Une induction électromagnétique peut être captée par le circuit de la boîte de contrôle du transducteur.



- **Utiliser le même multimètre ainsi que la même échelle de mesure tout au long de l'étalonnage et des expérimentations. De plus, comme la fréquence d'échantillonnage des multimètres varie d'un modèle à l'autre, certains modèles peuvent être plus performants. Lors de nos expérimentations, nous avons utilisé le modèle DM-9700 de la compagnie ABRA (voir l'image ci-contre).** http://www.abra-electronics.com/products/DM-9700-Digital-Multimeter.html

Exemple d'analyse de résultats pour l'étalonnage du transducteur

Traitez de vos données.

Question 1

Lorsque la bille est retenue par l'électroaimant, son énergie est sous forme d'énergie potentielle gravitationnelle.

Question 2

Pour le calcul de l'énergie potentielle, voir le tableau ci-dessous.

Résumé des tableaux de données 2 et 3

Éole simplifié (transducteur piézoélectrique)

centre de développement pédagogique

Étalonnage

Entrez vos valeurs expérimentales dans les cadres rouges.

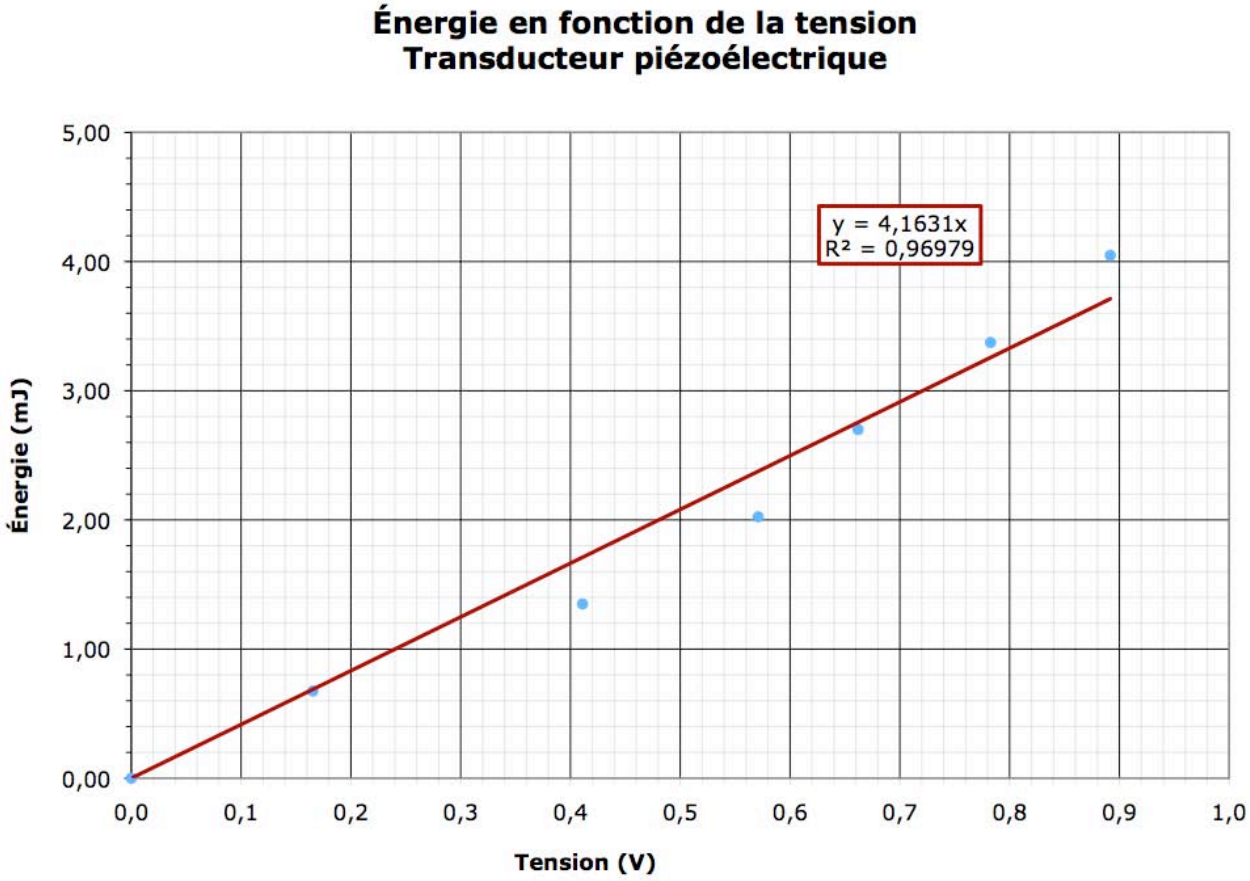
Masse de la bille d'acier :	13,77	*g*
Accélération gravitationnelle :	9,8	m/s2

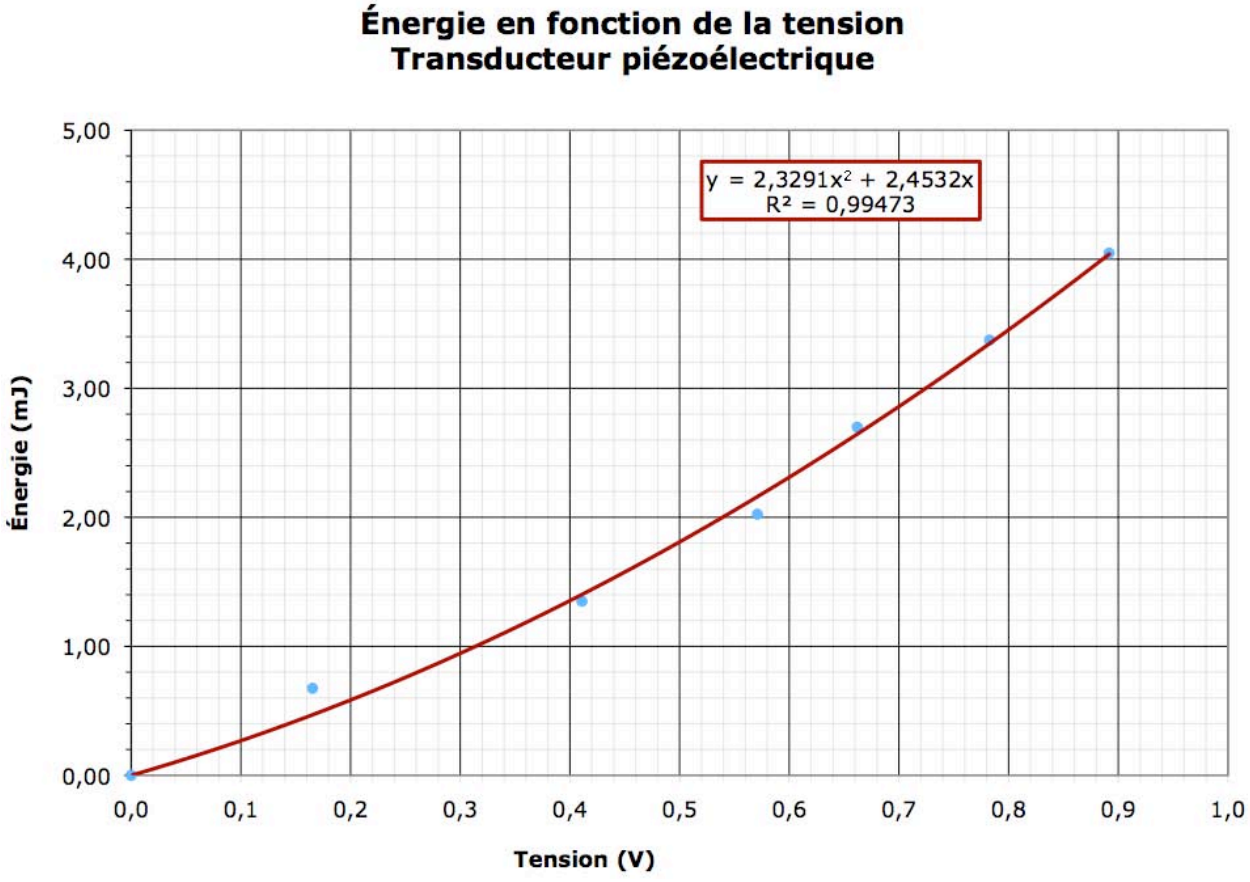
Hauteur (cm)	Tension (V) Essai #1	Tension (V) Essai #2	Tension (V) Essai #3	**Tension (V) Moyenne**	**Énergie (mJ)**
3,00	*0,928*	*0,859*	*0,888*	0,892	**4,048**
2,50	*0,813*	*0,777*	*0,758*	0,783	**3,374**
2,00	*0,674*	*0,643*	*0,669*	0,662	**2,699**
1,50	*0,553*	*0,552*	*0,608*	0,571	**2,024**
1,00	*0,423*	*0,400*	*0,410*	0,411	**1,349**
0,50	*0,154*	*0,168*	*0,174*	0,165	**0,675**
0,00	*0,000*	*0,000*	*0,000*	0,000	**0,000**

Traitez de vos données (suite).

Question 3

Voir les graphiques de la page suivante.


Énergie en fonction de la tension
Transducteur piézoélectrique
y = 4,1631x
R² = 0,96979
Énergie (mJ)
Tension (V)
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0


Énergie en fonction de la tension
Transducteur piézoélectrique
y = 2,3291x² + 2,4532x
R² = 0,99473
Énergie (mJ)
Tension (V)
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0,0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1,0

Faites ressortir les tendances.

Question 4

En regardant les graphiques de la page précédente, nous pouvons constater que la parabole épouse mieux les données expérimentales. La somme des distances, entre les points expérimentaux et la courbe, est plus petite dans le cas de la fonction quadratique. Le coefficient de détermination R^2 est aussi plus grand pour la fonction du second degré.

Question 5

Voir les équations présentes sur les graphiques de la page précédente.

Question 6

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

Tirez vos conclusions

Question 7

À chaque fois que le transducteur génère une tension, on peut y associer une quantité d'énergie à l'aide du graphique ou de l'équation du modèle choisi.

Étude cinématique du mobile uniformément accéléré

Question 1

Voir les colonnes 2 et 3 du tableau des résultats 4 ci-dessous.

Question 2

Voir la colonne 4 du tableau des résultats 4 ci-dessous.

Question 3

$\{E_k = \frac{1}{2}\ m \bullet v^2 \Rightarrow v = \sqrt{}\ (2\ E_k / m)\}$
Voir la colonne 5 du tableau des résultats 4 ci-dessous.

Question 4

Voir la colonne 6 du tableau des résultats 4 ci-dessous.

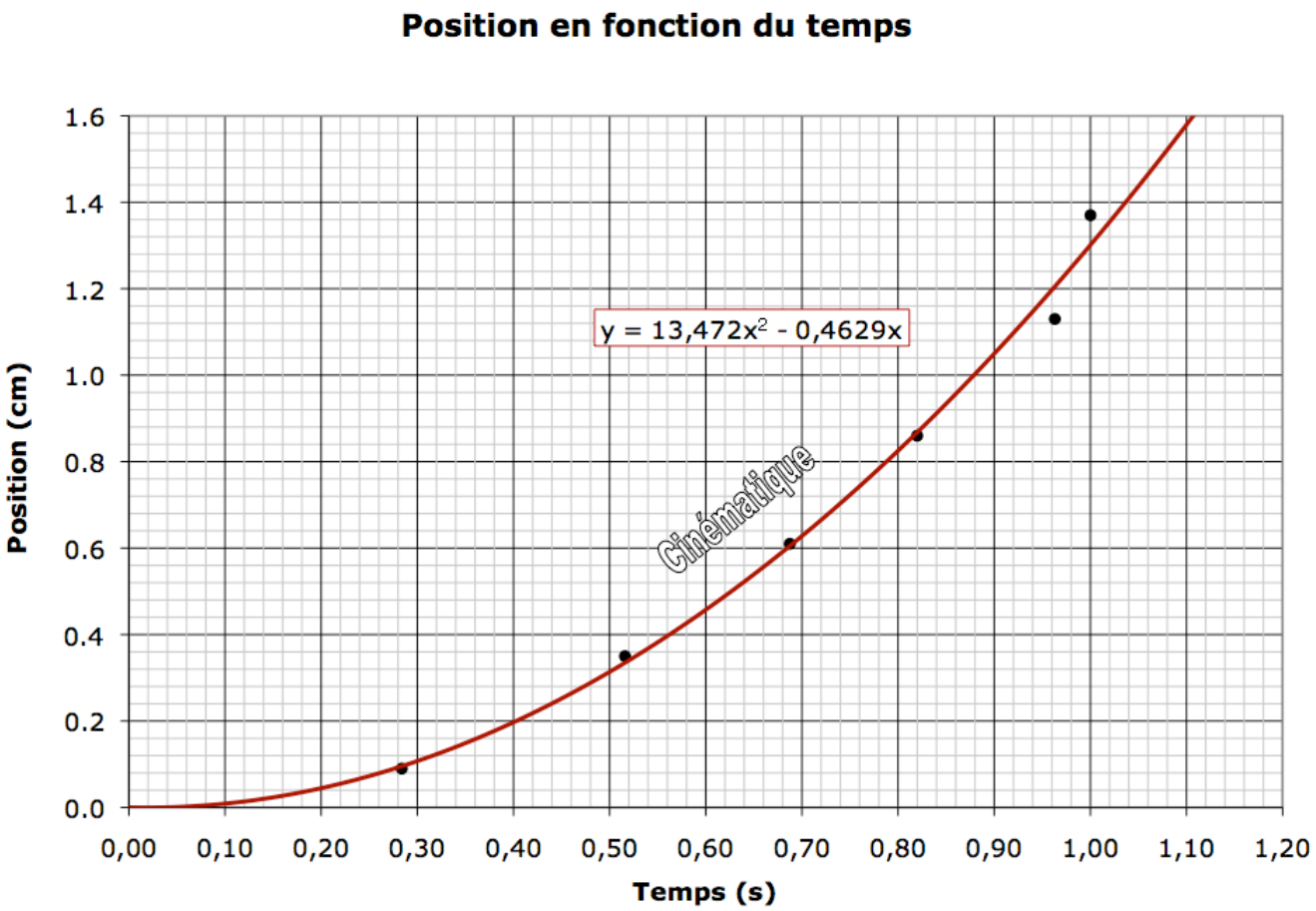
Question 5
Équation simplifiée : $x = \frac{1}{2}\ v \cdot t$

Question 6

Voir la colonne 7 du tableau des résultats 4 ci-dessous.

Exemple pour le 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
n° de la collision	**Distance éperon — transducteur (cm)**	**Tension moyenne (V)**	**Énergie cinétique (mJ)**	**Vitesse v (cm/s)**	**Position x (cm)**	**Temps t (s)**
1	0,9	0,034	0,085	6,3	0,9	0,28
2	3,5	0,140	0,390	13,6	3,5	0,52
3	6,1	0,224	0,668	17,7	6,1	0,69
4	8,6	0,297	0,933	21,0	8,6	0,82
5	11,3	0,356	1,167	23,5	11,3	0,96
6	13,7	0,453	1,591	27,4	13,7	1,00

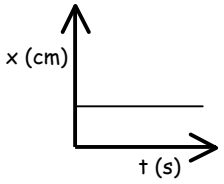
Question 7



Question 8

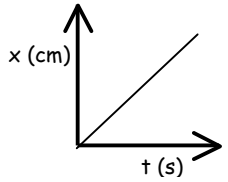
Nous retrouvons une parabole sur le graphique ci-dessus.

Question 9



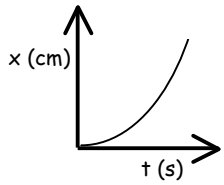
Sur le petit graphique de droite, la position est constante. L'objet observé est donc immobile, sa position ne change pas. Il va sans dire que sa vitesse est nulle.

Question 10



Sur le deuxième graphique de droite, la position change régulièrement en fonction du temps. L'objet observé est donc en mouvement. On peut même affirmer qu'il se déplace à vitesse constante puisque sa position change d'une façon constante.

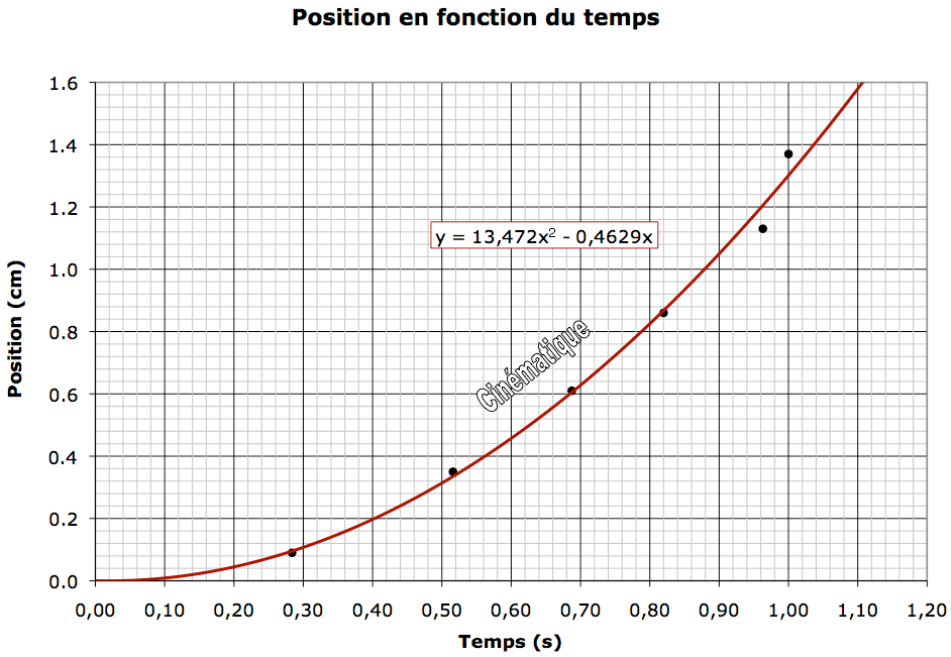
Question 11



Sur le dernier graphique, la position change de plus en plus vite en fonction du temps. L'objet observé se déplace donc à une vitesse de plus en plus grande. On peut donc affirmer que l'objet accélère.

Question 12

Le graphique de la position du mobile en fonction du temps est du même type que celui que l'on retrouve à la question 11. On peut donc affirmer que la position du mobile change en fonction du temps, que sa vitesse augmente et qu'il accélère.



Étude dynamique du mobile uniformément accéléré

Trouver l'angle θ.

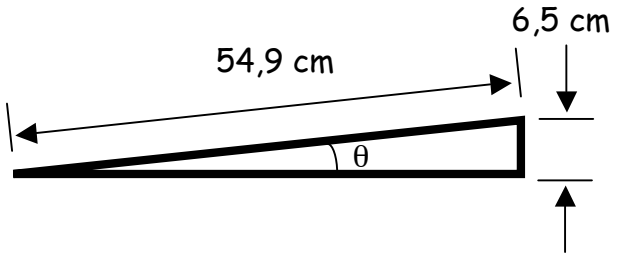
Sin θ = côté opposé / l'hypoténuse

θ = arc Sin (opposé / hypoténuse)

θ = arc Sin (6,5 cm / 54,9 cm)

θ = arc Sin (0,118)

θ = 6,80°



Calculer la force gravitationnelle $\vec{F}_g$

$\vec{F}_g = m \bullet \vec{g}$

$= 0,0424 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$

$= 0,416 \text{ N}$

Calculer $\vec{F}_r$ en considérant le triangle rectangle.

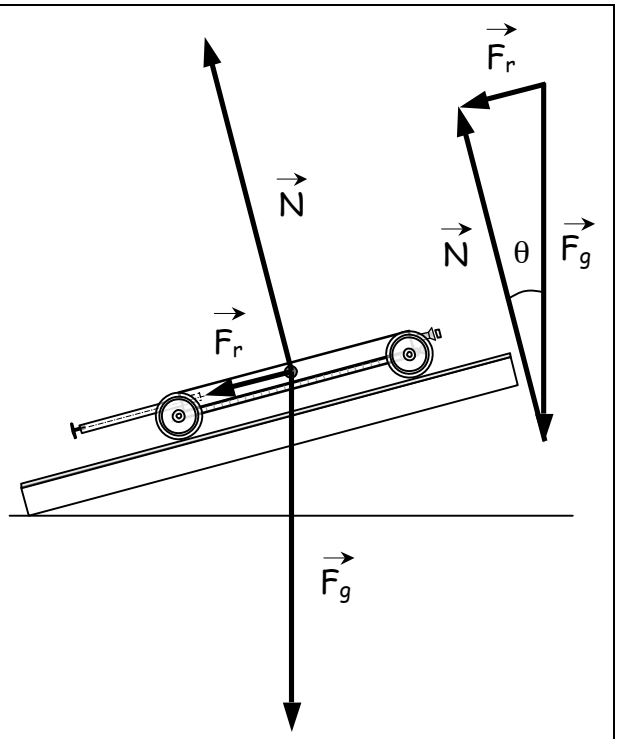
Sin θ = côté opposé / hypoténuse

Sin $\theta = F_r / F_g$

$F_r = F_g \text{ Sin } \theta$

$F_r = 0,416 \text{ N} \cdot \text{Sin } 6,80°$

$F_r = 0,049 \text{ N}$



Question 1

L'accélération théorique du mobile sur le plan incliné est :

$F_r = m \bullet a \Rightarrow a = F_r / m \Rightarrow a = 0,049 \text{ N} / 0,0424 \text{ Kg} \Rightarrow a = 1,16 \text{ m/s}^2$

Question 2

Copiez de la colonne 7 du tableau des résultats 4 dans le tableau des résultats 5.

Tableau des résultats 5 (mobile uniformément accéléré – dynamique)							
n°	**0**	**1**	**2**	**3**	4	5	6
Temps, t (s)	**0**	0,28	0,52	0,69	0,82	0,96	1,00
Vitesse, v (cm/s)	**0**						
Position, x (cm)	**0**						

Question 3

Exemple de calcul de la vitesse du mobile à partir de l'accélération.

$v = v_0 + at \Rightarrow v = at \Rightarrow v = 1{,}16\ m/s^2 \bullet 0{,}28\ s \Rightarrow v = 0{,}362\ m/s \bullet 100\ cm / 1\ m$
$\Rightarrow v = 32\ cm/s$

Tableau des résultats 5 (mobile uniformément accéléré – dynamique)							
n°	**0**	**1**	**2**	**3**	4	5	6
Temps, t (s)	**0**	0,28	0,52	0,69	0,82	0,96	1,00
Vitesse, v (cm/s)	**0**	≈32	≈60	≈80	≈95	≈111	≈116
Position, x (cm)	**0**						

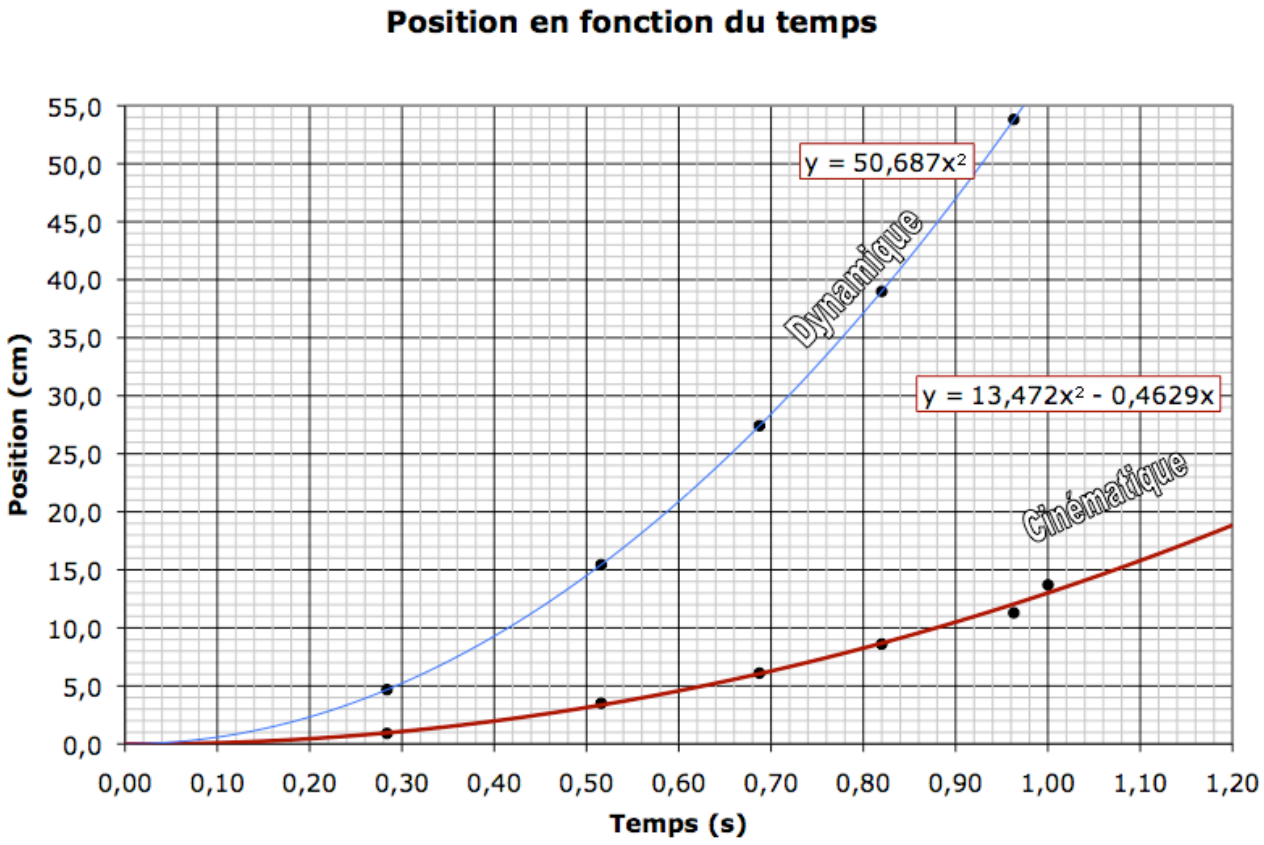
Question 4

Exemple de calcul de la position du mobile pour chaque temps.

$x - x_0 = \frac{1}{2} (v + v_0) t \Rightarrow x = \frac{1}{2} v \bullet t \Rightarrow x = 0{,}5 \bullet 32\ cm/s \bullet 0{,}28\ s \Rightarrow x = 4{,}5\ cm \approx 5\ cm$

Tableau des résultats 5 (mobile uniformément accéléré – dynamique)							
n°	**0**	**1**	**2**	**3**	4	5	6
Temps, t (s)	**0**	0,28	0,52	0,69	0,82	0,96	1,00
Vitesse, v (cm/s)	**0**	≈32	≈60	≈80	≈95	≈111	≈116
Position, x (cm)	**0**	**≈5**	≈16	≈28	≈39	≈53	≈58

Question 5



Question 6

La courbe « dynamique » remonte plus rapidement.

Question 7

Le mobile a parcouru une plus grande distance dans le cas de la courbe « dynamique ». Par exemple, après 0,5 seconde, l'étude cinématique montre une position à ≈3 centimètres comparativement à ≈15 centimètres pour l'étude dynamique.

Question 8

Si nous considérons les deux derniers points des courbes pour calculer un taux de variation, nous trouvons un taux de variation beaucoup plus grand pour la courbe « dynamique ». La vitesse finale est donc plus grande dans l'étude dynamique.

Question 9

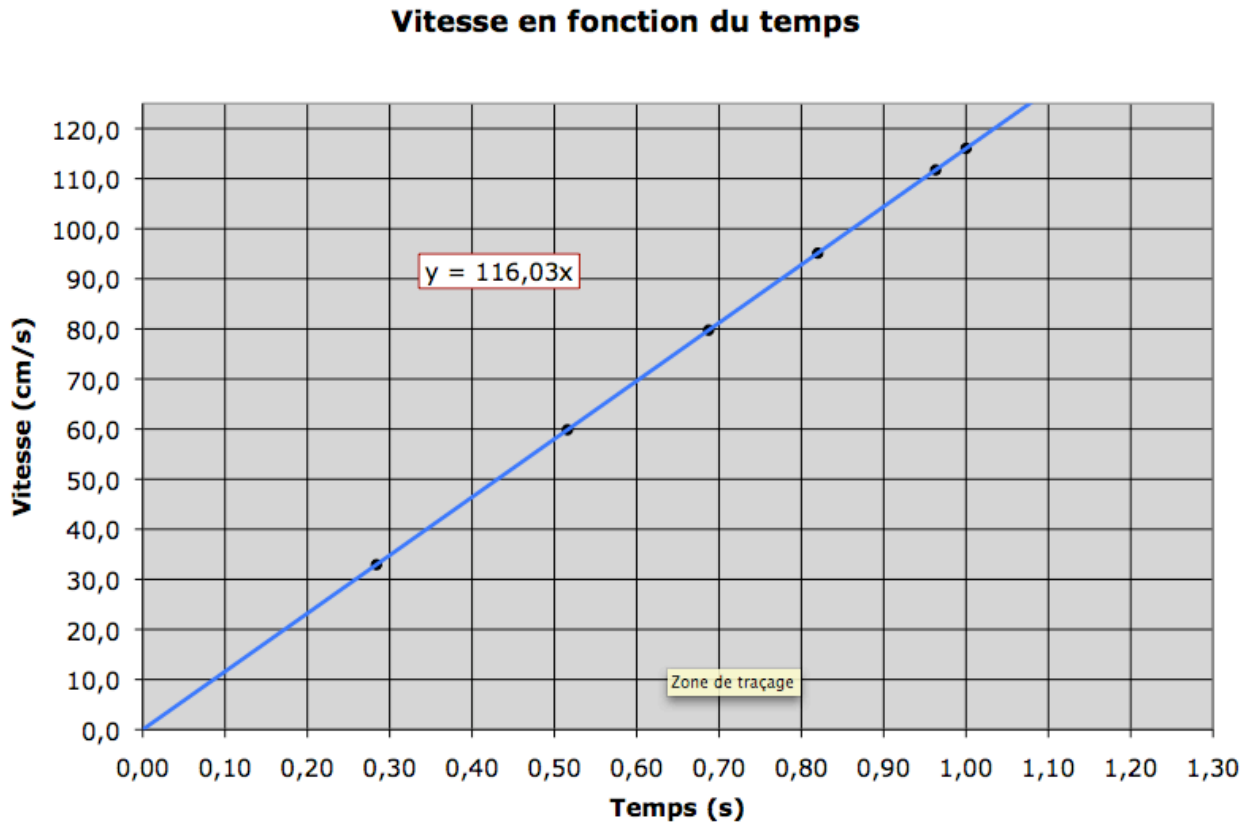
La parabole est nettement plus courbée dans le cas de l'étude dynamique, le mobile y accélère donc plus rapidement.

Question 10

Dans le cas de l'étude dynamique, aucune friction n'est prise en cause. Cette façon de voir les choses est plus théorique.

Question 11

À partir du tableau des résultats 5, voici le graphique de la vitesse du mobile en fonction du temps.



Question 12

La vitesse y augmente régulièrement toujours au même taux, c'est pourquoi nous sommes en présence d'une droite.

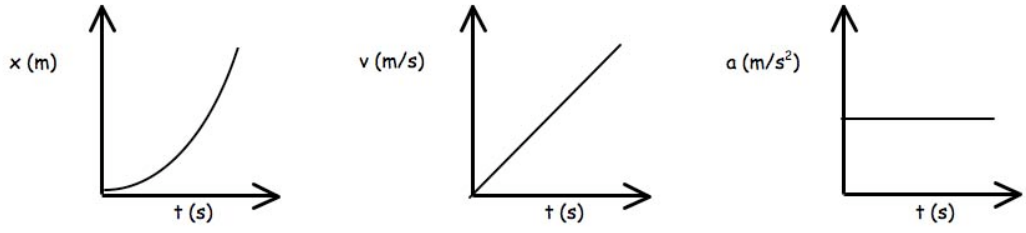
Question 13

Nous sommes ici en présence d'un mouvement uniformément accéléré. Si l'accélération avait changé, nous aurions vu des courbes apparaître sur la droite.

Question 14

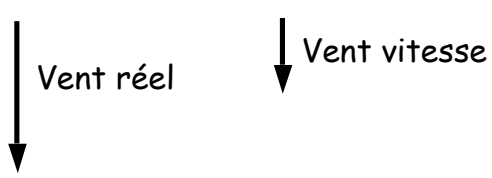
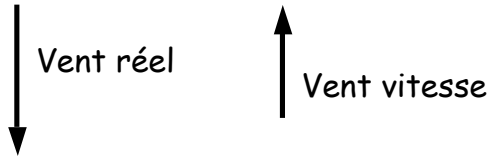
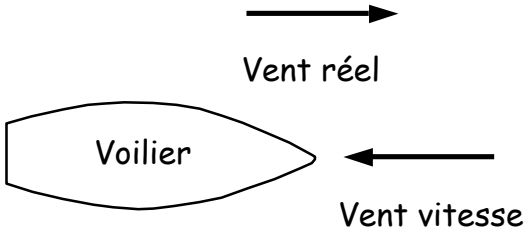
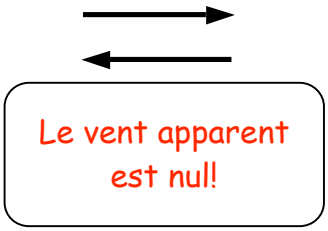
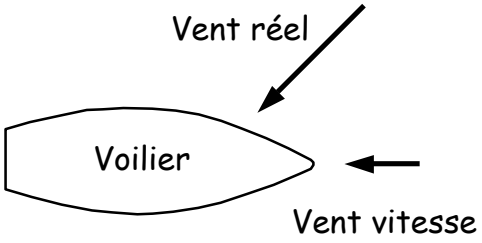
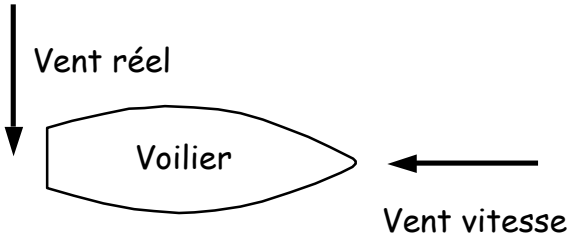
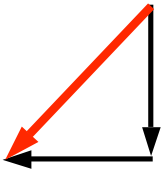
Le taux de variation de la droite sur ce graphique correspond à l'accélération du mobile. Ici, l'accélération est d'environ 116 cm/s^2 soit 1,16 m/s^2.

Question 15



Notions de base sur la voile

Exercices sur les vents

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

Laboratoire dirigé (dynamique du char d'Éole)

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	0,220	0,265	0,237	0,241
Vent de travers	0,176	0,157	0,141	0,158
Près	0,019	0,012	0,013	0,015
Distance éperon — transducteur Δs (cm)			3,7	
Masse du char d'Éole (g)			71,26	

Questions 1 et 2 (voir le tableau des résultats 7 ci-dessous)

Question 3 Exemple de calcul pour le vent arrière.

$W = F \cdot \Delta s \Rightarrow F = W/\Delta s \Rightarrow F = 0{,}725$ mJ / 3,7 cm $\Rightarrow F = 0{,}000725$ J / 0,037 m

$\Rightarrow F = 0{,}020$ N

Question 4 Exemple de calcul pour le vent arrière.

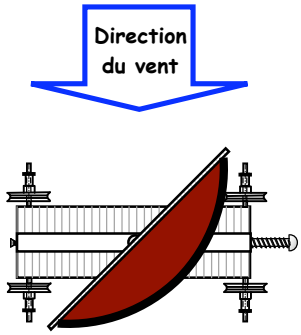
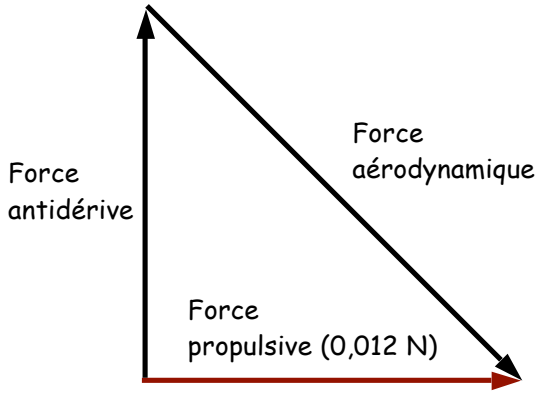
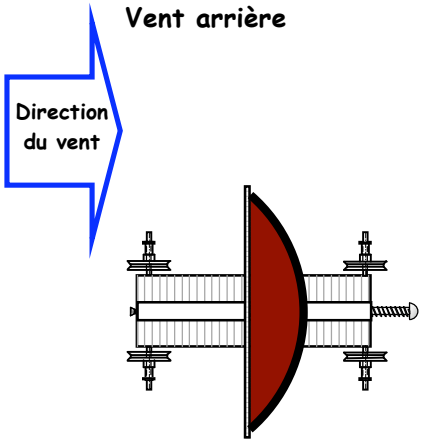
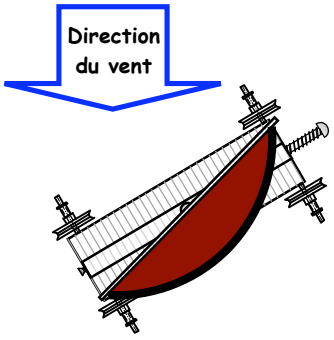
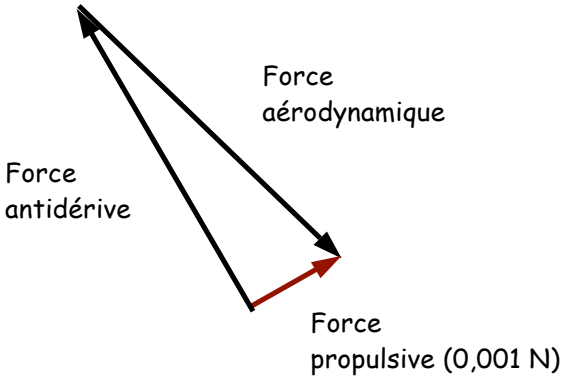
$F = m \cdot a \Rightarrow a = F/m \Rightarrow a = 0{,}020$ N / 71,26 g $\Rightarrow a = 0{,}020$ N / 0,07126 kg

$\Rightarrow a = 0{,}28$ m/s^2

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	0,241	0,725	0,725	0,020	0,28
Vent de travers	0,158	0,446	0,446	0,012	0,17
Près	0,015	0,036	0,036	0,001	0,01

Question 5

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
Vent de travers 	
Vent arrière 	Force d'antidérive est nulle Force propulsive (0,020 N) = Force aérodynamique 
Près (60°) 	

Question 6

La force propulsive est la plus grande lorsqu'on est en présence d'un vent arrière. Elle est plus petite lorsqu'on est au près.

Question 7

Selon ce que l'on peut voir ici, il semblerait que c'est par vent arrière que l'on pourrait atteindre la plus grande vitesse, car le vent pousse exactement dans le même sens que le déplacement.

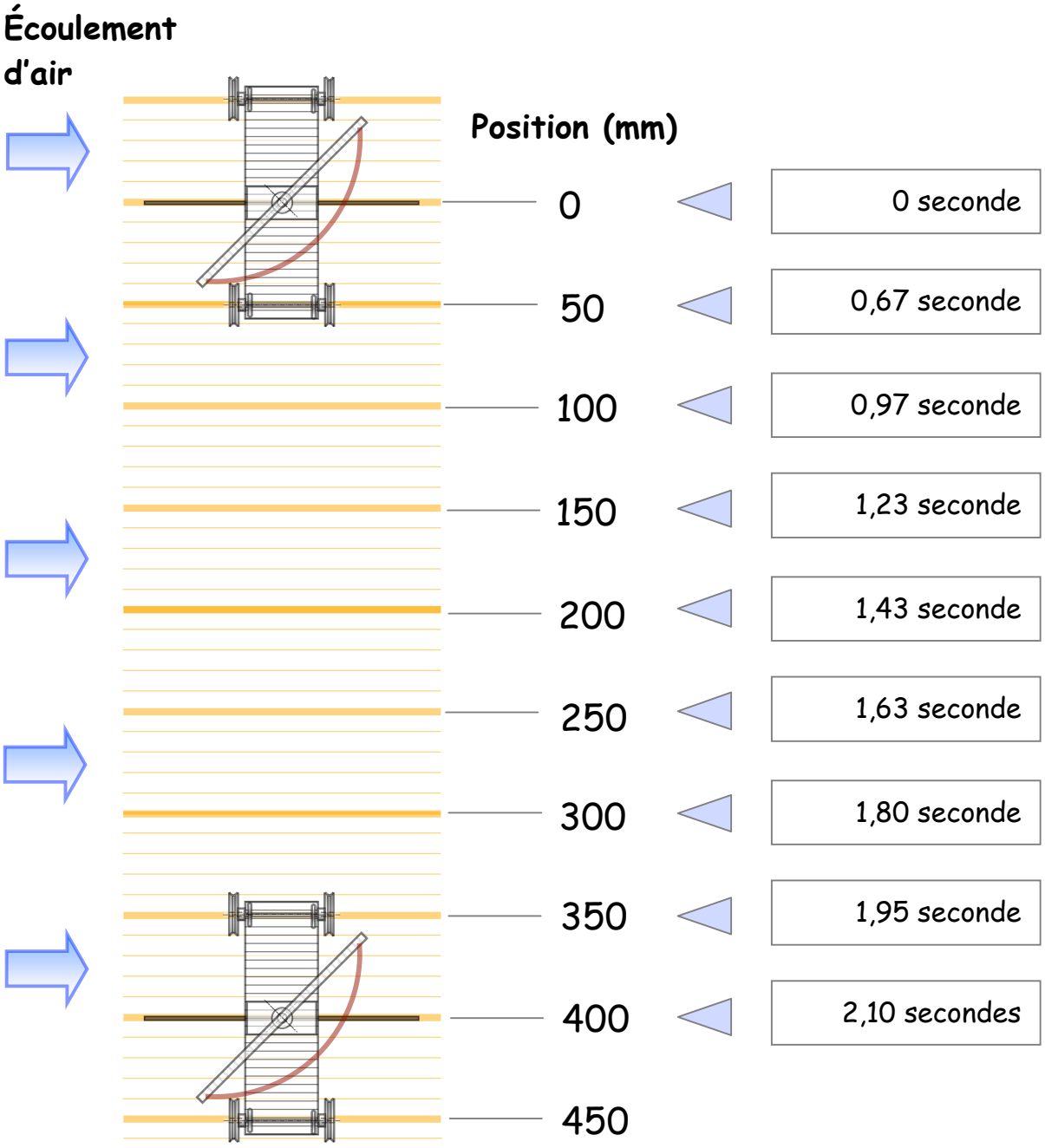
Question 8

Lorsque notre char est face au vent et que sa voile rigide est dans l'axe du bateau, il y a encore une force aérodynamique perpendiculaire à la voile. En effet, comme notre voile est rigide, le principe de Bernoulli s'applique toujours. Une force antidérive est aussi présente et elle est orientée exactement dans le sens contraire de la force aérodynamique. Dans ce cas, on peut voir qu'il n'y aura pas de force résultante poussant le char vers l'avant.

Analyse cinématique du char d'Éole

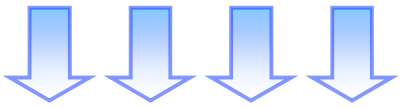
La vidéo est disponible à l'adresse suivante :http://www2.cslaval.qc.ca/star/Char-d-eole

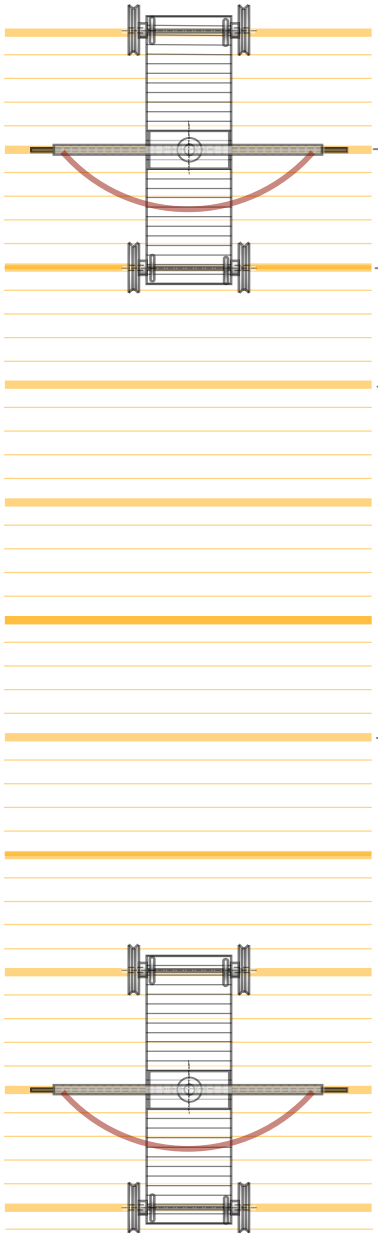
Relevé du temps en fonction de la position pour un vent de travers



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

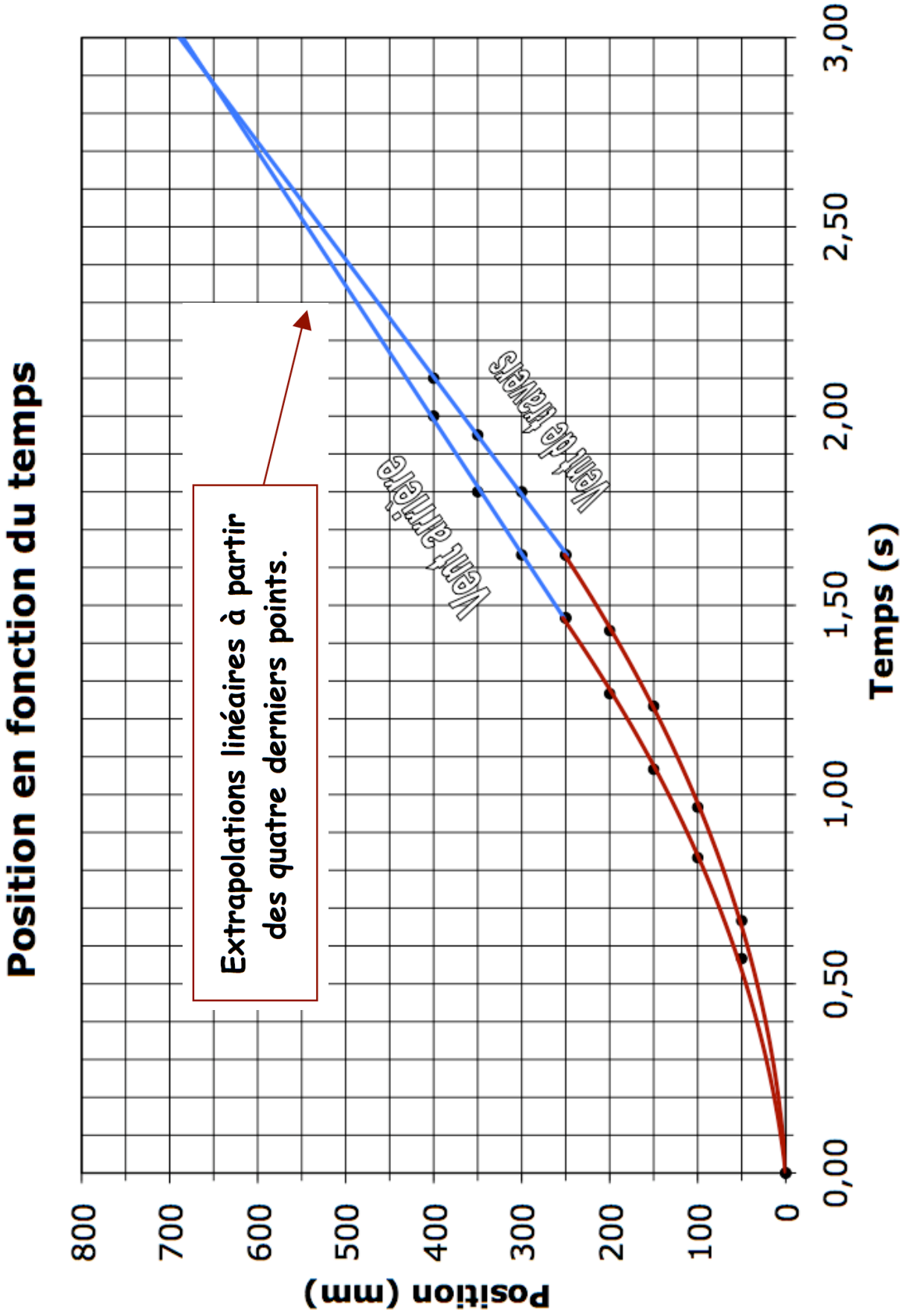
Écoulement d'air



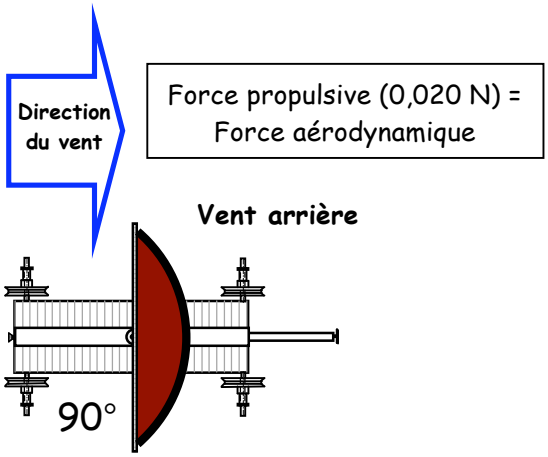


Position (mm)	
0	0 seconde
50	0,57 seconde
100	0,83 seconde
150	1,07 seconde
200	1,27 seconde
250	1,47 seconde
300	1,63 seconde
350	1,80 seconde
400	2,00 secondes
450	

Analyse graphique pour les deux allures

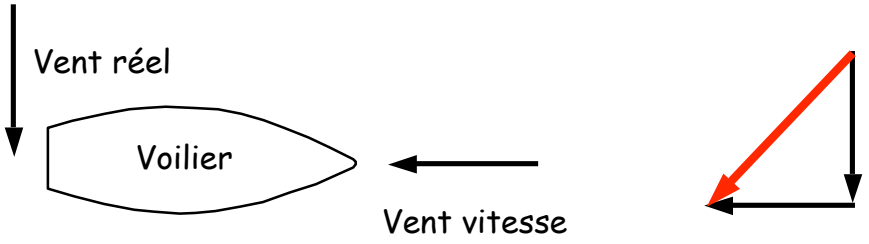


Quelle allure permet la plus grande accélération?
La section parabolique de la courbe (en rouge) est plus courbée dans le cas du **vent arrière**. Ceci indique que l'accélération est plus grande à cette allure. Ceci vient corroborer les mesures faites lors de l'étude dynamique du char d'Éole. Nous avions alors constaté que la force efficace (propulsive) était plus grande dans le cas où nous avions un vent arrière.

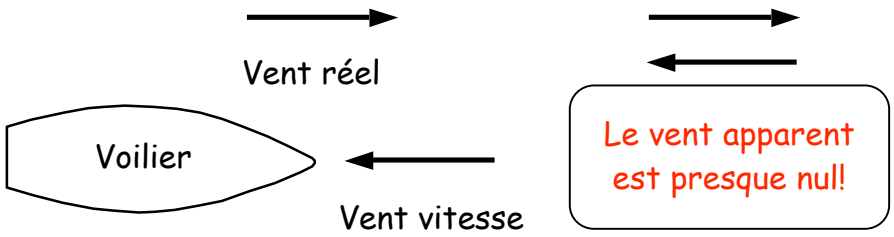


Quelle allure permet d'atteindre la plus grande vitesse?
Après quelques secondes, le char atteint une vitesse constante. À ce moment, la force propulsive égale la force de friction des roues. La force résultante étant nulle, il n'y a plus d'accélération. C'est la raison pour laquelle une extrapolation linéaire est effectuée à partir des trois dernières données expérimentales de chaque courbe (voir la section de courbe en bleu sur le graphique). En observant ces extrapolations, nous constatons un plus grand taux de variation dans le cas du vent de travers. Ceci indique que la vitesse finale est plus grande à cette allure. Cette observation n'a pas été mise en évidence lors de l'étude dynamique du char d'Éole puisque le char n'avait pas eu le temps d'accélérer suffisamment. En effet, on se souvient que la distance éperon – transducteur n'était que d'environ trois centimètres.

La raison pour laquelle on atteint une plus grande vitesse au vent de travers est que le vent apparent garde sa vigueur à cette allure. La force propulsive générée à cette allure reste donc bien vigoureuse.



Au vent arrière, le char accélère et atteint pratiquement la vitesse du vent. À ce moment, le vent apparent devient pratiquement nul et la force propulsive infime.



Webographie

Images de bateaux

http://www.gettyimages.ca/detail/75491338/Dorling-Kindersley-RF

http://www.gettyimages.ca/detail/85594808/Dorling-Kindersley-RF

http://www.gettyimages.ca/detail/88663220/De-Agostini-Picture-Library

http://www.gettyimages.ca/detail/84500604/De-Agostini-Picture-Library

Historique

http://fr.wikipedia.org/wiki/Caravelle_%28navire%29

Trimaran à voile rigide

http://www.youtube.com/watch?v=6zQYatrcqPY

http://bmworacleracing.com/en/yacht/index.html