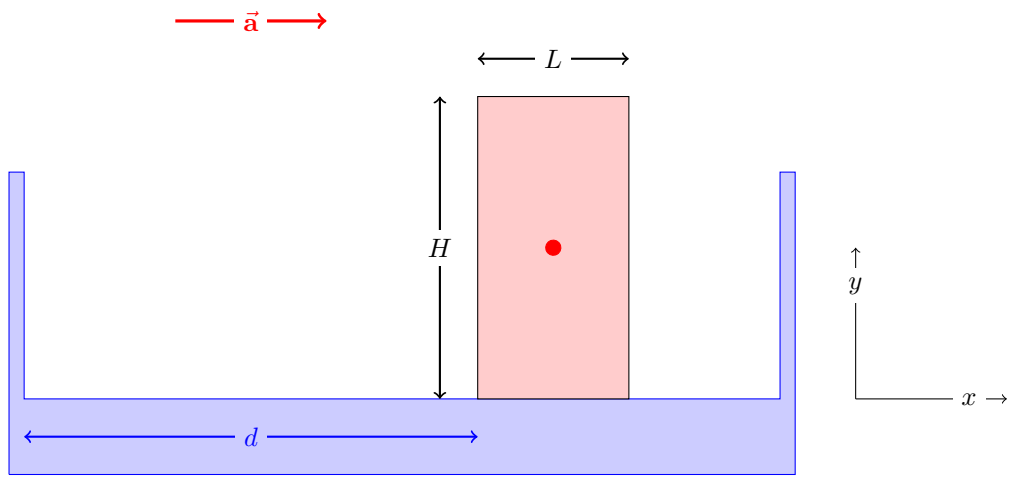
KINE11-EDPH11	
Juin 2025	*Introduction à la mécanique*
LFSM1105 -Bleu-	*Vous pouvez conserver cet énoncé !*

1 Un gros bloc dans un camion...

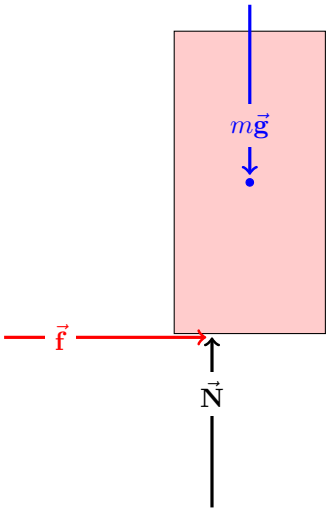
Un bloc de pierre avec une masse $m = 30$ kg est posé sur la benne d'un camion à l'arrêt. Le bloc est situé à une distance $d = 0.60$ m de l'extrémité arrière de la benne. A l'instant $t = 0$, la camion démarre avec une accélération constante $a = 10$ m/s^2. Ensuite, sous l'effet de l'accélération du camion, le bloc va glisser (sans basculer !) sur la benne. Les coefficients de frottement statique entre le bloc et la benne du camion est $\mu_s = 0.8$, tandis que le coefficient dynamique est $\mu_c = 0.7$. La hauteur H et la base L du bloc sont inconnus.



1. Dessiner l'ensemble des forces qui s'appliquent sur le bloc pendant son déplacement sur la benne. Y indiquer clairement le nom et la notation habituelle pour chacune des forces.

Il faut donc citer :

- *Force de gravité :* $m\vec{\mathbf{g}} = \begin{bmatrix} 0 \\ -mg \end{bmatrix}$
- *Force normale du sol :* $\vec{\mathbf{N}} = \begin{bmatrix} 0 \\ mg \end{bmatrix}$
- *Force de frottement dynamique :* $\vec{\mathbf{f}} = \begin{bmatrix} \mu_c mg \\ 0 \end{bmatrix}$



Attention, il n'y a pas de force horizontale qui pousse le bloc. Le bloc a une accélération dans la direction du camion, mais de norme plus modeste : il y a une uniquement la force de frottement qui induit le mouvement du bloc pour qu'il reste en contact avec le camion, alors qu'initialement, ce pauvre bloc n'avait aucune envie de bouger. C'est une variante de l'exemple 6.3 du livre de

référence : le frottement entre le bloc et la benne induit le mouvement du bloc et a tendance à ralentir le camion. Faire avancer le camion à vide ou avec le bloc n'est pas équivalent : le frottement s'oppose au mouvement du camion :-) Inclure une force motrice additionnelle est donc une erreur assez impardonnable qui a malheureusement été faite par beaucoup d'étudiants. Finalement, toutes les forces sont constantes et donc il s'agit à nouveau d'un simple MRUA : si, si !

Une option serait de considérer un repère mobile et d'ajouter une pseudo-force s'opposant à l'accélération du camion. C'est la même idée que la pseudo-force centrifuge qui remplace l'accélération centripète. Une telle approche a été admise par le correcteur, même si elle est parfois écrite de manière très maladroite.

Dans la réponse, on peut supposer que le bloc ne glisse pas et indiquer une force de frottement statique. Ou bien ou peut aussi supposer que le bloc glisse et indiquer une force de frottement dynamique : ce qui est bien le cas ici comme cela était indiqué dans l'énoncé. En conséquence, indiquer les deux forces simultanément est aussi une erreur impardonnable : en particulier si on les indique en sens opposé !

Beaucoup d'étudiants se trompent dans le sens du frottement en pensant qu'il doit automatiquement s'opposer au mouvement : ce qui est presque toujours le cas, mais pas ici ! Toutefois, le correcteur a souvent fait preuve d'une indulgence (coupable ?) à l'égard de ces étudiants... surtout si la suite des calculs était cohérent :-)

2. Calculer la valeur maximale possible pour la force de frottement statique entre le bloc et la benne. En déduire que le bloc doit glisser dans la benne du camion.

   D'une part, la force de frottement statique maximale est donnée par :

$$\boxed{\begin{array}{rcl} f_{s,max} & = & \mu_s\, mg \\ & \downarrow & \\ f_{s,max} & = & 240 \text{ N} \end{array}}$$

   D'autre part, si le bloc ne glisse pas dans le camion, l'accélération du bloc doit être égale à celle du camion. La loi de Newton impose que :

$$\boxed{\begin{array}{rcl} ma & = & f_s \\ & \downarrow & \\ 300 \text{ N} & = & f_s \end{array}}$$

   On observe que f_s devrait être supérieure à $f_{s,max}$: ce qui est impossible. Le bloc doit glisser et la force de frottement doit être calculée avec le coefficient dynamique.

   On conclut donc : $\boxed{f \;=\; \mu_c mg = 210 \text{ N}}$

3. Calculer l'accélération (par rapport à un repère fixe) du bloc pendant son déplacement.

   En utilisant les axes définis sur la figure, on obtient immédiatement l'accélération demandée en écrivant la loi de Newton : $ma = \mu_c mg$.

   L'accélération du bloc par rapport à la route est : $\boxed{a = 7 \text{ m/s}^2}$

   Cette accélération du bloc va dans la même direction que celle du camion, mais la norme de cette accélération est inférieure à celle du camion. Bien que cela ne soit pas demandé, on pourrait ensuite déduire l'accélération relative du bloc par rapport au camion vaut : $7 - 10 = -3$ m/s^2 : c'est bien ce qu'on observer le bloc est projeté sur l'arrière du camion et va donc reculer dans la benne :-)

4. A quel instant t_c, la malle va-t-elle entrer en contact avec l'extrémité arrière de la benne ?

   On calcule tout d'abord le temps nécessaire en utilisant l'accélération relative :

$$(a_{bloc} - a_{camion}) \frac{t_c^2}{2} = -d$$

$$\downarrow$$

$$t_c = \sqrt{\frac{2d}{3}}$$

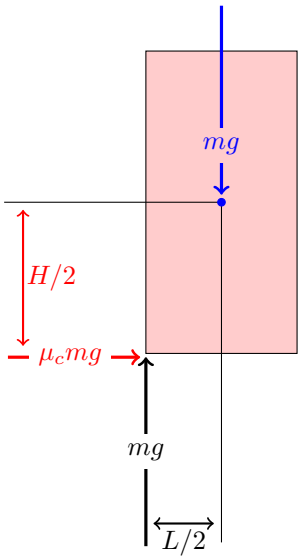
   On conclut : $\boxed{t_c = \sqrt{\frac{12}{30}} = \sqrt{\frac{2}{5}} = 0.63 \text{ s}}$

   Quasiment tous les étudiants ont bêtement et mécaniquement utilisé l'accélération absolue calculée plus haut et n'ont donc pas obtenu le bon résultat !

   Evidemment, les quelques étudiants qui avaient fourni l'accélération relative à la question précédente, fournissent -ici- la bonne réponse... Mais ces étudiants qui semblent avoir mieux compris ce qui se passait, semblent refuser de me fournir l'accélération absolue dans la question précédente. En conclusion, les très rares étudiants qui ont bien répondu aux deux questions provoquaient une grande joie chez le correcteur dans un désespoir persistant qui l'habitait pendant la lecture des nombreuses copies assez surréalistes...

5. Calculer le rapport entre H et L afin que le bloc ne bascule pas sur la benne.
   Justifier votre réponse.

   Pour éviter que le bloc ne bascule, il faut que l'équilibre de rotation soit satisfait et donc calculer le point d'application de la force de réaction du sol (composante frottement et composante normale) afin d'obtenir cet équilibre. Le cas le plus critique avant le basculement se produit lorsque la réaction s'effectue sous le coin gauche du bloc : le frottement a tendance à faire pivoter le bloc autour du centre de masse dans le sens horlogique, tandis que la réaction normale a un effet inverse.



Pour obtenir le résultat en exigeant l'équilibre des moments des deux composantes de la réaction du sol par rapport au centre de gravité du bloc.

$$\mu_c mg\,\frac{H}{2} \;=\; mg\,\frac{L}{2}$$

$$\downarrow$$

$$\mu_c\,H \;=\; L$$

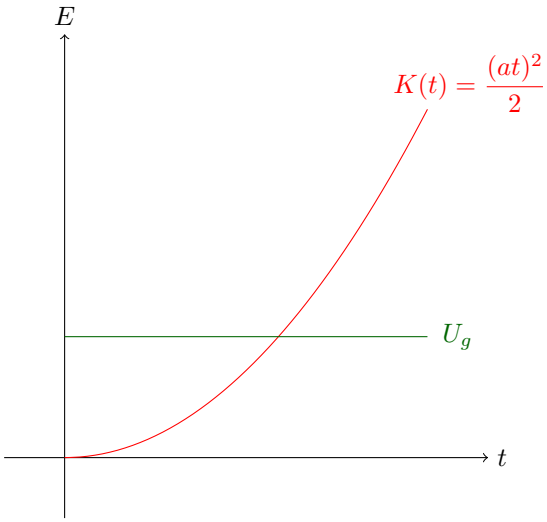
On conclut : $\boxed{\dfrac{H}{L} \;\leq\; \dfrac{1}{0.70} \;=\; 1.43}$

Cela correspond bien à l'intuition :
le bloc ne doit pas être trop haut et il vaut mieux le coucher sur le flanc dans le camion :-)

On pourrait aussi considérer la rotation du bloc autour du coin inférieur gauche et considérer un repère mobile : cette approche plus rigoureuse nécessiterait d'introduire une pseudo-force correspondant à l'accélération du camion et le poids du bloc : l'application de l'équilibre de rotation autour du coin inférieur gauche fournit la même condition.

6. Dessiner l'évolution de l'énergie cinétique et potentielle du bloc en fonction du temps entre les instants $t = 0$ et $t = t_c$.

L'évolution de l'énergie potentielle et cinétique en fonction du temps est donnée par :



L'énergie potentielle reste une constante quelconque puisque le bloc reste à la même hauteur puisque la route est horizontale. L'énergie cinétique est une parabole puisqu'elle s'écrit comme un polynôme du second degré par rapport au temps.

Un nombre vraiment très élevé d'étudiants dessinent vraiment n'importe quoi pour cette question... Finalement, observons qu'après le choc avec l'arrière du camion, le bloc aura exactement la même vitesse que le camion : en d'autres mots, il ira plus vite et donc son énergie cinétique fera un bon pour rejoindre un parabole qui grandit plus vite. Et pourtant, beaucoup d'étudiants disent qu'à ce moment, l'énergie cinétique s'annule car la vitesse relative entre le camion et le bloc s'annule : et beh non :-)

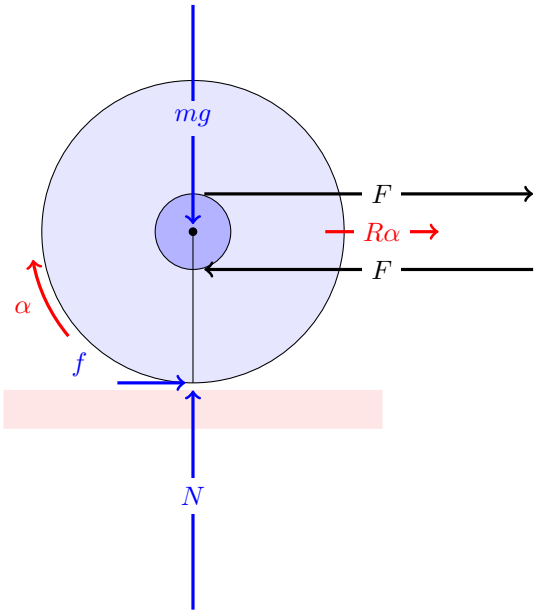
Comme de coutume, un grand nombre d'étudiants dessinent les courbes d'un autre examen des annales qui n'ont aucun rapport avec le problème posé :-)

2 Questions à choix multiples

Attention !
Il y a toujours une et une seule bonne réponse !
Ne pas répondre ou cocher une réponse erronée ne fait rien perdre.
Par contre, il faut répondre correctement à six questions pour réussir cette partie.
Les données des questions sans valeurs numériques sont supposées être dans des unités cohérentes :-)
Remplir la feuille pour lecture optique avec un crayon noir bien taillé !
Gommer pour les corrections !
N'utiliser en aucun cas un correcteur liquide (Typex) pour corriger !

Q1

Considérons une roue de vélo de rayon R entrainée par le mouvement de la chaine avec un pignon de rayon r. Par convention, une valeur positive des accélérations et forces représentées correspond à la donnée telle qu'elle est représentée sur le dessin.

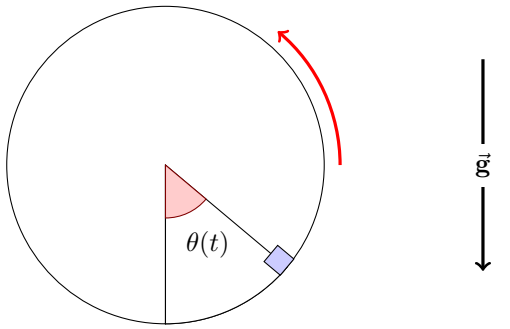


Avec la convention choisie, l'équilibre de rotation s'écrit :

A	$I\alpha = 2rF + Rf$	**A** ☐
B	$I\alpha = 2rF - Rf$	**B** ■
C	$I\alpha = rF - Rf$	**C** ☐
D	$I\alpha = rF + 2Rf$	**D** ☐
E	$I\alpha = 2RF - rf$	**E** ☐

Q2

Un petit bloc est placé à l'intérieur d'un cylindre de rayon R qui tourne avec une vitesse angulaire ω autour d'un axe horizontal. Le coefficient de frottement statique entre le bloc et le cylindre est μ_s.



Quelle relation doit être satisfaite à l'instant où le bloc commence à glisser ?

A	$g\sin(\theta) = \mu_s R\omega^2$	**A** ☐
B	$g\sin(\theta) + R\omega^2 = \mu_s g\cos(\theta)$	**B** ☐
C	$\tan(\theta) = \mu_s$	**C** ☐
D	$g\cos(\theta) = \mu_s\left(g\sin(\theta) + R\omega^2\right)$	**D** ☐
E	$\tan(\theta) = \mu_s\left(1 + \dfrac{R\omega^2}{g\cos(\theta)}\right)$	**E** ■

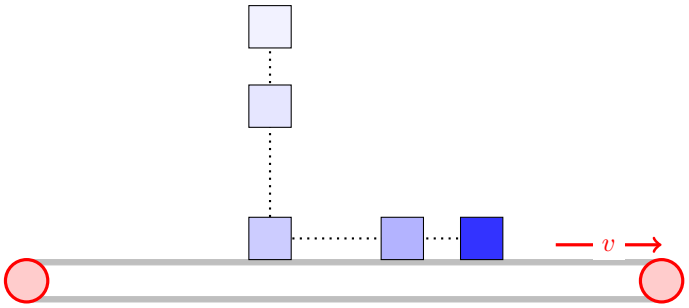
Q3

Quel est l'unique bon classement de l'énergie des ondes éléctromagnétiques ?

A	Infrarouge < Lumière bleue < Ultraviolet < Rayons X.	**A** ■
B	Rayons X < Ultraviolet < Lumière bleue < Infrarouge.	**B** ☐
C	Infrarouge < Ultraviolet < Lumière bleue < Rayons X.	**C** ☐
D	Lumière bleue < Infrarouge < Rayons X < Ultraviolet.	**D** ☐
E	Ultraviolet < Rayons X < Infrarouge < Lumière bleue.	**E** ☐

Q4

Une caisse de masse m tombe verticalement sur un tapis roulant d'un convoyeur qui se déplace à une vitesse constante v. Sous l'effet du frottement, la caisse va acquérir progressivement la vitesse du tapis roulant après un laps de temps t.
Le coefficient de frottement cinétique entre la caisse et le tapis est noté μ_c.



Lorsque la caisse a atteint la vitesse v, elle a parcouru une distance d, tandis que le tapis roulant a avancé d'une distance d^*.
Quelle est l'unique affirmation **inexacte** ?

A	Le travail de la force de frottement exercé sur la caisse est positif.	**A** ☐
B	$d = v\ t$	**B** ■
C	$2d\ \mu_c mg = mv^2$	**C** ☐
D	$2d = \mu_c g\ t^2$	**D** ☐
E	$2d = d^*$	**E** ☐

Q5

Quelles sont les unités d'un travail ?

A	$N\ /\ m$	**A** ☐
B	$kg\ m^2\ /\ s^3$	**B** ☐
C	$J\ s$	**C** ☐
D	$kg\ m^2\ /\ s^2$	**D** ■
E	$J\ m\ s^2$	**E** ☐

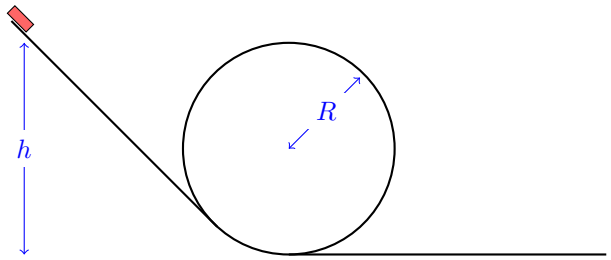
Q6

Une particule chargée se déplace dans un champ magnétique.
Quelle est la direction de la force magnétique qui s'exerce sur elle ?

A	Elle est dirigée vers le pôle Nord du champ magnétique.	**A** ☐
B	Elle est parallèle à la direction du champ magnétique.	**B** ☐
C	Elle dépend uniquement de la masse de la particule.	**C** ☐
D	Elle s'oppose au mouvement de la particule.	**D** ☐
E	Elle est perpendiculaire à la fois au champ et à la vitesse de la particule.	**E** ■

Q7

Dans un parc d'attraction, un wagonnet de masse m dévale une pente d'une hauteur h et effectue ensuite un looping dans cercle de rayon R. Tous les frottements sont supposés négligeables.



Quelle doit être la hauteur minimale h
afin que le wagon ne chute pas dans le looping ?

A	$h > 7R/2$	**A** ☐
B	$h > 6R/2$	**B** ☐
C	$h > 5R/2$	**C** ■
D	$h > 4R/2$	**D** ☐
E	$h > 3R/2$	**E** ☐

Q8

Quelle est l'unique affirmation fausse ?

A	La puissance dissipée dans un cable électrique est le produit de la différence de potentiel à ses extrémités et du courant qui le traverse.	**A** ☐
B	Un radiateur électrique est un gros condensateur qui dissipe de la puissance électrique sous forme de chaleur.	**B** ■
C	Un champ électrique existe uniquement si au moins une charge est présente.	**C** ☐
D	Lorsque deux corps se frottent, des électrons sont transférés entre les corps. Cela crée de l'électricité statique.	**D** ☐
E	Un courant électrique est causé par un mouvement de charges.	**E** ☐

Q9

Quelle est l'unique affirmation fausse ?

A	Un éclair dans le ciel se produit lorsque le champ électrique dans l'air est suffisamment fort pour arracher les électrons des atomes.	**A** ☐
B	Un défibrillateur cardiaque est réalisé à l'aide d'un condensateur qui emmagasine de l'énergie électrique en phase de charge. Lors de la décharge du condensateur, cette énergie électrique est dissipée dans le corps du patient, créant un courant électrique utilisé pour stimuler les muscles cardiaques.	**B** ☐
C	La douleur ressentie lors d'une décharge électrique dans le corps est d'autant plus forte que le courant qui traverse notre corps est élevé.	**C** ☐
D	Une différence de potentiel existe de part et d'autre d'une membrane cellulaire lorsque la cellule n'est pas excitée par un stimulus électrique.	**D** ☐
E	A l'intérieur d'une cage de Faraday, le champ électrique est nul si et seulement si le champ extérieur à cette cage est nul également.	**E** ■

	Un wagon de 10 tonnes avance à une vitesse de 5 m/s lorsqu'il rejoint un autre wagon de 20 tonnes se déplaçant dans le même sens à une vitesse de 2 m/s. La voie ferrée est parfaitement rectiligne et horizontale. On néglige tous les frottements entre la voie ferrée et les wagons. Les deux wagons restent accrochés entre eux après la collision. Est-ce que le choc est élastique ou inélastique ? Quelle est la vitesse v de deux wagons après la collision ?	
Q10	**A** Le choc est inélastique et $v = 3$ m/s. **B** Le choc est élastique et $v = 3$ m/s. **C** Le choc est inélastique et $v = 4$ m/s. **D** Le choc est élastique et $v = 4$ m/s. **E** Pour un choc élastique $v = 3$ m/s et pour un choc inélastique $v = 4$ m/s.	**A** ■ **B** □ **C** □ **D** □ **E** □

N'oubliez pas de reporter vos réponses sur la feuille pour lecture optique.

$$\begin{aligned}
\frac{d}{dt}\left(m\ \vec{\mathbf{v}}\right) &= \sum \vec{\mathbf{F}}_i \\
\frac{d}{dt}\left(\tfrac{1}{2}m\ v^2 + \tfrac{1}{2}I\ \omega^2\right) &= \sum \vec{\mathbf{F}}_i \cdot \vec{\mathbf{v}}_i \\
\frac{d}{dt}\left(I\ \omega\right) &= \sum M_i
\end{aligned}$$

Formulaire

Lorsque les forces sont constantes,

$$\begin{aligned}
\Delta\left(m\ \vec{\mathbf{v}}\right) &= \sum \vec{\mathbf{F}} \Delta t \\
\Delta\left(\tfrac{1}{2}m\ v^2\right) &= \sum \vec{\mathbf{F}} \cdot \Delta \vec{\mathbf{x}}
\end{aligned}$$

Mouvement d'un projectile

$$\begin{aligned}
\vec{\mathbf{x}}(t) &= \begin{bmatrix} u_0 t + x_0 \\ -gt^2/2 + v_0 t + y_0 \end{bmatrix} \\
\vec{\mathbf{v}}(t) &= \begin{bmatrix} u_0 \\ -gt + v_0 \end{bmatrix} \\
\vec{\mathbf{a}}(t) &= \begin{bmatrix} 0 \\ -g \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Mouvement horizontal = MRU (vitesse constante)
Mouvement vertical = MRUA (accélération constante)

Mouvement circulaire uniformément accéléré : $\theta(t) = \theta_0 + \omega_0 t + \dfrac{\alpha\ t^2}{2}$

$$\begin{aligned}
\vec{\mathbf{v}}(t) &= \begin{bmatrix} v_r \\ v_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ r\omega \end{bmatrix} \\
\vec{\mathbf{a}}(t) &= \begin{bmatrix} a_r \\ a_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r\omega^2 \\ r\alpha \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Vitesse : $v = r\omega$

Accélération : $a = \sqrt{(r\omega^2)^2 + (r\alpha)^2}$

Vitesse angulaire ω et accélération angulaire α

Bilan d'énergie

$$\begin{aligned} \Delta\overbrace{\left(\tfrac{1}{2}m\ v^2\right)}^{K} &= \sum\overbrace{\vec{\mathbf{F}}\cdot\Delta\vec{\mathbf{x}}}^{W} \\ &= \sum\underbrace{\vec{\mathbf{F}_{nc}}\cdot\Delta\vec{\mathbf{x}}}_{W_{nc}} - \Delta\Big(\underbrace{mg\ h}_{U_g}+\underbrace{\tfrac{1}{2}\ k\ x^2}_{U_r}\Big) \end{aligned}$$

Moment d'une force dans le plan

$$\underbrace{\vec{\mathbf{r}}\times\vec{\mathbf{F}}}_{\vec{\mathbf{M}}} = \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ r_xF_y - r_yF_x \end{bmatrix}$$

$$M = r_xF_y - r_yF_x = F\ r_\perp = F_\perp\ r = Fr\sin(\theta)$$

Ensemble de particules : un corps !

$$\begin{aligned} m &= \sum m_i \\ m\ \vec{\mathbf{x}}(t) &= \sum\Big(m_i\ \vec{\mathbf{x}}_i(t)\Big) \\ m\ \vec{\mathbf{v}}(t) &= \sum\Big(m_i\ \vec{\mathbf{v}}_i(t)\Big) \end{aligned}$$

Moment d'inertie

$$I = \sum m_i\ r_i^2$$

Rayon de giration

$$m\ k^2 = \sum m_i\ r_i^2$$

Théorème des axes parallèles

$$I_h = m\ h^2 + I$$

Moments d'inertie de corps rigides homogènes

Cylindre creux tournant autour de l'axe de révolution	$I = m\ R^2$
Cylindre plein tournant autour de l'axe de révolution	$I = m\ \frac{R^2}{2}$
Barre tournant autour d'un axe perpendiculaire central	$I = m\ \frac{L^2}{12}$