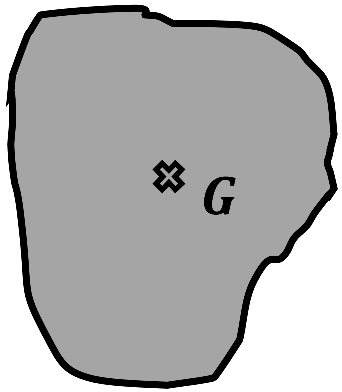
Lois de Newton

Dynamique vs. cinématique

La ***cinématique*** est l'étude des mouvements indépendamment des causes qui les produisent

La ***dynamique*** est une discipline de la mécanique classique qui étudie les corps en mouvement sous l'influence des actions mécaniques qui leur sont appliquées.

Le retour du système



Définition : Le système

Le ***système*** désigne le corps étudié.

Tout ce qui n'est pas le système est qualifié d'extérieur.

Le retour du système

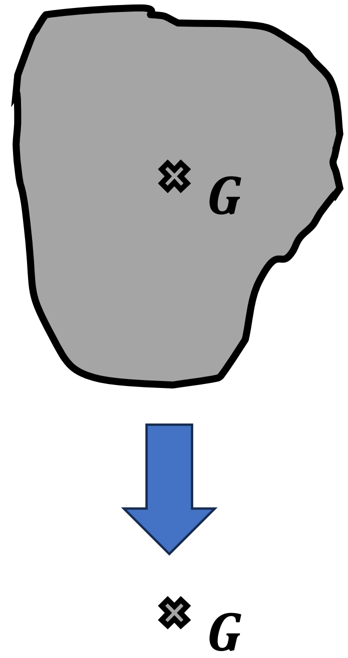
Définition : Le système

Le ***système*** désigne le corps étudié.

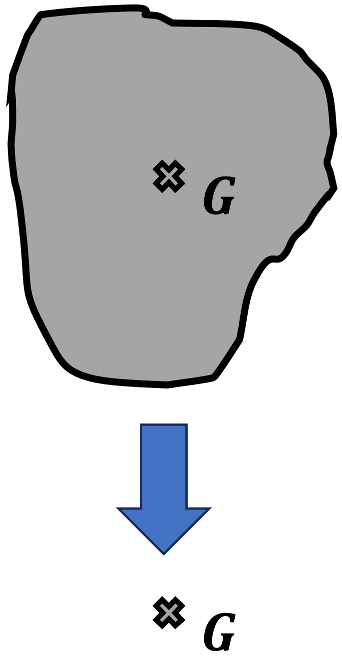
Tout ce qui n'est pas le système est qualifié d'extérieur.

Modèle : Modèle du point matériel

On assimile le système à un ***point matériel*** : son ***centre de masse*** (ou centre d'inertie). La position de ce point dépend de la répartition des masses dans le système.



Le retour du système



Définition : Le système

Le ***système*** désigne le corps étudié.

Tout ce qui n'est pas le système est qualifié d'extérieur.

Modèle : Modèle du point matériel

On assimile le système à un ***point matériel*** : son ***centre de masse*** (ou centre d'inertie). La position de ce point dépend de la répartition des masses dans le système.

Définitions : Vocabulaire relatif au système

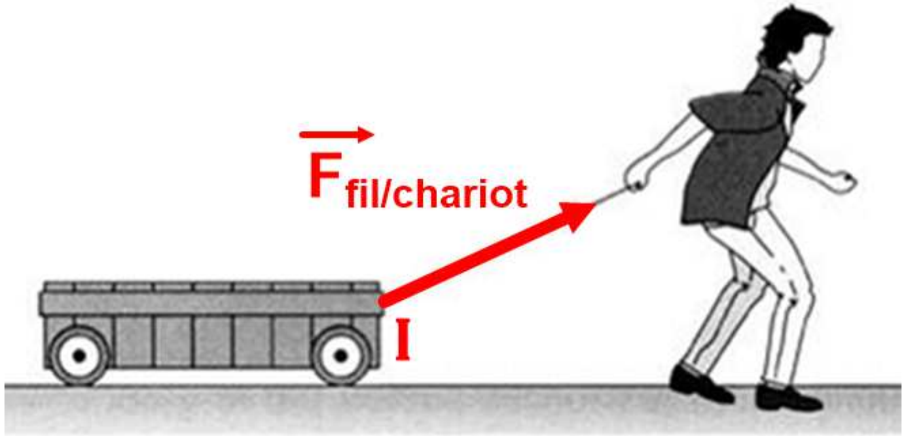
- Un système ***isolé*** ne subit aucune force.
- Un système est dit ***pseudo-isolé*** si la résultante (somme vectorielle) des forces qui lui sont appliquées est nulle.

Action mécanique et force associée

Définitions : Force

Une ***force*** ***<u>modélise</u>*** une ***action mécanique*** exercée sur un système. Elle se représente par un ***vecteur***. Elle possède donc :

- une intensité (qui s'exprime en Newton) ;
- une direction ;
- un sens ;
- un point d'application.



Remarque : les forces ne dépendent pas du référentiel.

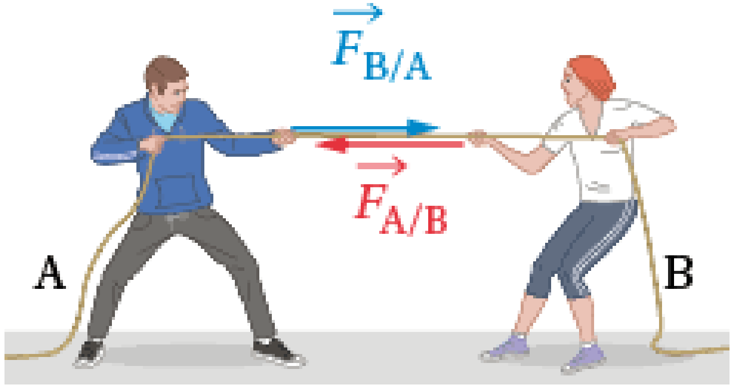
Principe des actions réciproques

Loi : 3ème loi de Newton

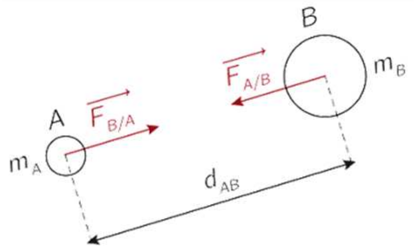
L'action est toujours égale à la réaction ; c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales en norme, de même direction mais de sens contraires.

Soit 2 systèmes A et B en interaction. On a :

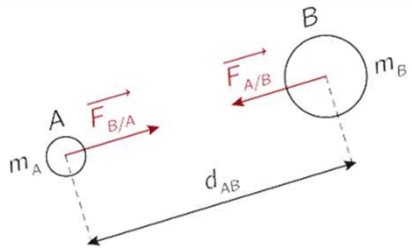
$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$$



Des forces à connaitre

Force	Point d'application	Direction	Sens	Norme
 **Attraction gravitationnelle** force exercée par B sur A	Centre de gravité	Droite AB	De A vers B	$F_{B/A} = G\dfrac{m_A . m_B}{{d_{AB}}^2}$ ***m_A*** : masse de A (en kg) ***m_B*** : masse de B (en kg) ***d_{AB}*** : distance entre A et B (en m). ***G*** : constante gravitationnelle (= 6,67 x 10^{-11} N.m².kg^{-2}).

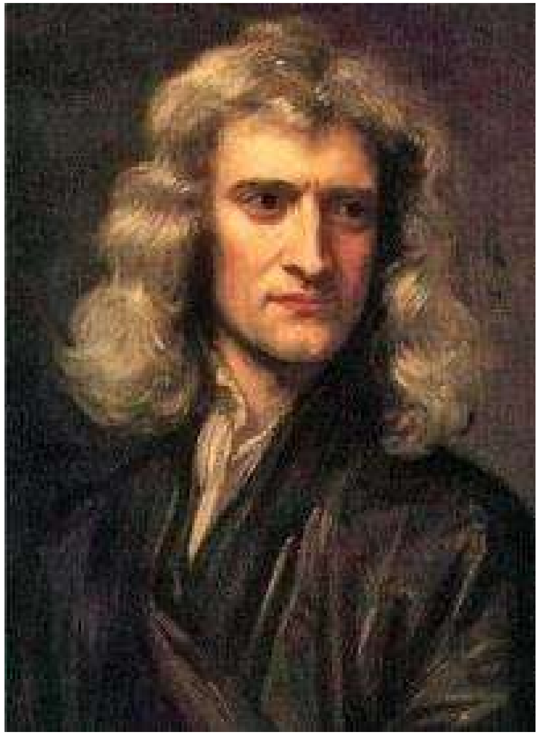
Des forces à connaitre

Force	Point d'application	Direction	Sens	Norme
 **Attraction gravitationnelle** force exercée par B sur A	Centre de gravité	Droite AB	De A vers B	$F_{B/A} = G\frac{m_A.m_B}{{d_{AB}}^2}$ ***m_A*** : masse de A (en kg) ***m_B*** : masse de B (en kg) ***d_{AB}*** : distance entre A et B (en m). ***G*** : constante gravitationnelle (= 6,67 x 10^{-11} N.m².kg^{-2}).
Poids **(force gravitationnelle à la surface d'un astre + pseudo force centrifuge)**	Centre de gravité	Verticale	Vers le bas	$P = m.g$ ***m*** : masse (en kg). ***g*** : intensité du champ de pesanteur (en N.kg^{-1}).

Outils pour expliquer le mouvement: Principe d’inertie

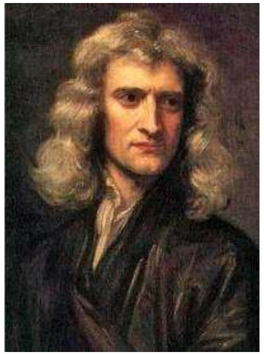
Loi : 1$^{\text{ère}}$ loi de Newton ou **Principe d’inertie**

Dans un ***référentiel galiléen*** $\mathcal{R}_g$, un ***point matériel isolé*** *(ou pseudo-isolé)* en mouvement est en ***translation rectiligne et uniforme***. Si ce point se trouve initialement au repos, il se maintient dans cet état de repos.



Isaac Newton
1643-1727

Outils pour expliquer le mouvement: Principe d'inertie



Isaac Newton
1643-1727

Loi : 1ère loi de Newton ou **Principe d'inertie**

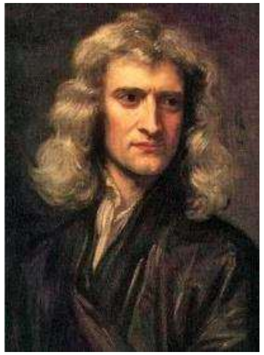
Dans un ***référentiel galiléen*** $\mathcal{R}_g$, un ***point matériel isolé*** *(ou pseudo-isolé)* en mouvement est en ***translation rectiligne et uniforme***. Si ce point se trouve initialement au repos, il se maintient dans cet état de repos.

Définition : Référentiels galiléens

Un ***référentiel galiléen*** (nommé ainsi en hommage à Galilée) se définit comme un référentiel dans lequel le ***principe d'inertie est vérifié***.

Galilée
1564-1642

Outils pour expliquer le mouvement: Principe d'inertie



Isaac Newton
1643-1727

Propriétés : Caractéristiques des référentiels galiléens

- Les ***référentiels galiléens*** forment alors un groupe de référentiels dans lesquels les lois de Newton s'appliquent.
- D'après le principe d'inertie, ***deux référentiels galiléens*** sont en ***translation rectiligne et uniforme l'un par rapport à l'autre***.

Galilée
1564-1642

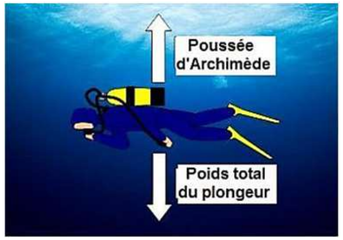
Définition : Référentiels galiléens

Un ***référentiel galiléen*** (nommé ainsi en hommage à Galilée) se définit comme un référentiel dans lequel le ***principe d'inertie est vérifié***.

Savoir-faire 0 – Faire un bilan des forces

On souhaite maintenir immobile sous l'eau un ballon, de rayon $R = 5$ cm, gonflé d'air.

1. Quelle force faut-il exercé sur le ballon ?

Force	Point d'application	Direction	Sens	Norme
 **Poussée d'Archimède**	Centre de poussée (Centre du volume de fluide déplacé)	Verticale	Vers le haut	$\left\Vert\vec{\Pi}\right\Vert = \rho . V . g$ ***ρ*** : masse volumique du fluide en ($kg.m^{-3}$). ***V*** : volume de fluide déplacé (en m^3). ***g*** : intensité du champ de pesanteur (en $N.kg^{-1}$).

Outils pour expliquer le mouvement: Principe fondamental de la dynamique

Définition : Quantité de mouvement

Le vecteur ***quantité de mouvement*** $\overrightarrow{\boldsymbol{p_M}}$ d'un point matériel est défini comme étant le produit de la masse $\boldsymbol{m}$ associée à ce point et de son vecteur vitesse $\overrightarrow{\boldsymbol{v_M}}$:

$$\overrightarrow{\boldsymbol{p_M}} = \boldsymbol{m} \,.\, \overrightarrow{\boldsymbol{v_M}}$$

La norme de la quantité de mouvement s'exprime en $kg.m.s^{-1}$.

Outils pour expliquer le mouvement: Principe fondamental de la dynamique

Loi : 2ème loi de Newton ou principe fondamental de la dynamique

Dans un ***référentiel galiléen***, la résultante des forces extérieures appliquées au système $\boldsymbol{\mathcal{S}}$ est égale aux changements de quantité de mouvement par unité de temps :

$$\frac{d\overrightarrow{\boldsymbol{p}_{\mathcal{S}}}}{dt} = \sum \overrightarrow{\mathrm{F}_{\mathrm{ext}}}$$

Outils pour expliquer le mouvement: Principe fondamental de la dynamique

Définition : Système fermé

Un ***système fermé*** est un système qui n'échange pas de matière avec l'extérieur.

Par conséquent, la ***masse d'un système fermé est constante***.

Loi : 2ème loi de Newton ou principe fondamental de la dynamique

Dans un ***référentiel galiléen***, la résultante des forces appliquées au système ponctuel fermé $\mathcal{S}$ est égale à la masse m du système multipliée par son accélération $\vec{a}$:

$$m.\vec{a} = \sum \overrightarrow{\mathrm{F}_{\mathrm{ext}}}$$

Méthodes pour la résolution des exercices

1. ***Schéma*** que l'on complète au fur et à mesure.
2. Définition du **système étudié**.
3. Définition du ***référentiel*** d'étude (*on précise qu'il est galiléen pour utiliser les lois de Newton*).
4. Choix du ***système de coordonnées*** adapté à la symétrie du mouvement étudié, associé à une base (cartésienne, cylindrique, polaire, sphérique).
5. ***Bilan des forces extérieures*** s'exerçant sur le système (on peut utiliser un diagramme interactions/objets). On fait apparaitre ces forces sur le ***schéma*** de la situation. On donne leur décomposition dans la base choisie.
6. *Cinématique* : on exprime l'accélération du point matériel dans le système de coordonnées et la base choisie.
7. Si la masse du système est constante, on applique la 2ème loi de Newton (***principe fondamental de la dynamique***) afin d'obtenir l'expression *vectorielle* de l'accélération.
8. ***Projection*** sur les vecteurs de base : on en déduit les équations différentielles du mouvement.
9. ***Résolution des équations différentielles***, analytiquement ou en utilisant la méthode d'Euler (résolution numérique), pour obtenir les équations horaires du mouvement.
10. *Si nécessaire*, en combinant les équations horaires du mouvement, on obtient l'***équation de la trajectoire***.
11. Utilisation des données du problème pour vérifier telle ou telle condition indiquée dans la question.

Savoir-faire 1 – Déterminer les équations du mouvement d'un point matériel dans un référentiel galiléen

On lâche une balle d'une hauteur h = 5 m. On néglige tout frottement. On se place dans un repère cartésien avec axe z vers le haut et $z = 0$ au niveau du sol.

1. Quelles sont les équations du mouvement, portant sur $\ddot{x}$, $\ddot{y}$ et $\ddot{z}$?
2. En partant des équations précédentes, en déduire les expressions des composantes $\dot{x}$, $\dot{y}$ et $\dot{z}$ de la vitesse $\vec{v}$ de la balle.
3. En déduire les expressions des coordonnées $x(t)$, $y(t)$ et $z(t)$ de la balle.
4. Combien de temps dure la chute ?

Savoir-faire 2 – Etudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement

On étudie dans un référentiel galiléen de repère fixe un coup franc de football tiré à 20 m, face au but de hauteur 2,44 m et dans son plan médian vertical.

L'axe Oy est choisi suivant la verticale ascendante.

Le ballon, de masse $\boldsymbol{m}$ = 1 kg, est assimilé à un point matériel posé sur le sol initialement en O. Le mur, de hauteur 1,90 m, est situé à 9,15 m du ballon. Le ballon est lancé avec une vitesse initiale de norme $\boldsymbol{v_0} = 20$ m.s^{-1} et formant un angle $\boldsymbol{\alpha}$ de 20° avec l'horizontale.

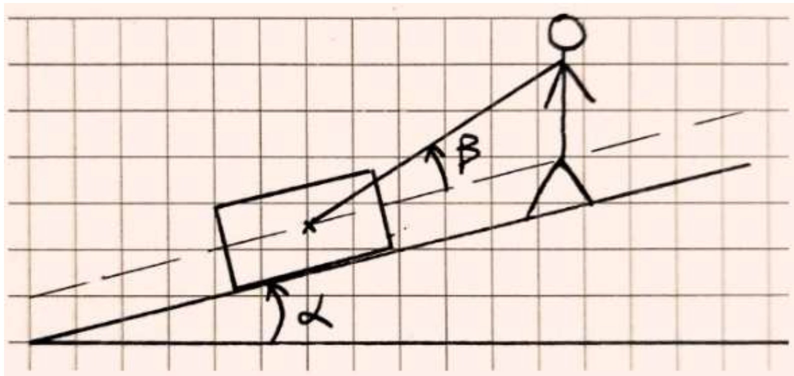
L'origine des dates correspond au départ du ballon. On néglige totalement les frottements.

1. Etablir les lois horaires du mouvement du ballon ainsi que l'équation de la trajectoire. On attend une démarche complète et rigoureuse.
2. Le ballon passe-t-il au-dessus du mur ?
3. Le tir est-il cadré ?

Savoir-faire 3 – Savoir projeter des vecteurs

Un traîneau de masse $\boldsymbol{m}$ est tiré sur un plan incliné (faisant un angle $\boldsymbol{\alpha}$ par rapport à l'horizontale) par un fil faisant un angle $\boldsymbol{\beta}$ par rapport à la ligne de plus grande pente. On suppose qu'il y a des frottements solides entre le traîneau et le sol avec un coefficient de frottement $\boldsymbol{f}$.

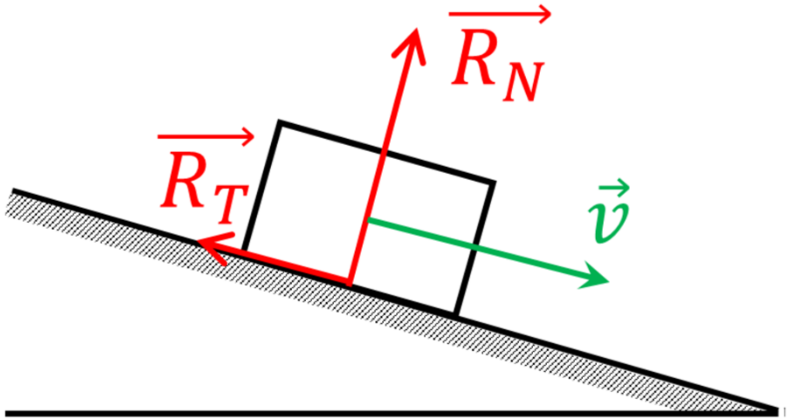
1. Dans le cas où le mouvement est rectiligne uniforme, déterminer en fonction de $\boldsymbol{m}$, $\boldsymbol{g}$, $\boldsymbol{f}$ et les angles $\boldsymbol{\alpha}$ et $\boldsymbol{\beta}$ les expressions des composantes de la réaction du sol et de la force de traction, supposée constante.



Arrivé au sommet de la côte, il est abandonné sans vitesse initiale sur un nouveau plan incliné d'angle $\boldsymbol{\theta}$ par rapport à l'horizontale.

1. Déterminer l'accélération du traîneau dans la descente.
2. Quelle condition doit vérifier $\boldsymbol{\theta}$ pour que le traîneau se mette en mouvement ?

Loi de Coulomb (frottement solide)



S'il y a des frottements, la réaction du support se décompose en :

- une composante normale $\overrightarrow{R_N}$;
- une composante tangentielle $\overrightarrow{R_T} = R_T.\overrightarrow{u_t}$, parallèle au support et s'opposant au mouvement.

> - Tant qu'il y a mouvement, les deux composantes sont liées par le coefficient de frottement $\boldsymbol{f}$, caractéristique du contact :
>
> $$R_T = \boldsymbol{f}.R_N$$
>
> - Dans le cas contraire : $R_T < \boldsymbol{f}.R_N$

Savoir-faire 4 – Etudier le mouvement d'un système soumis à un frottement fluide

On lâche une bille de masse m sans vitesse initiale. La bille est initialement à l'origine du repère. Le champ de pesanteur $\vec{g}$ est uniforme, de norme g = 9,8 m.s^{-2}. La bille subit une force de frottement du type $\vec{f} = -\lambda.\vec{v}$ avec λ > 0. Le référentiel est galiléen. On choisit un axe Oz orienté vers le bas. On admet que le mouvement de la bille est selon l'axe Oz tout au long du mouvement.

1. Quelle est l'unité de λ ?
2. Etablir une équation du mouvement sur la vitesse v.
3. Quelle est l'expression de la vitesse limite ? Quel est l'expression du temps caractéristique au bout duquel cette vitesse est atteinte ?
4. Mettre l'équation différentielle sous forme adimensionnée.
5. Résoudre l'équation précédente pour obtenir l'évolution de $v(t)$. Tracer l'allure de la solution.

Application du PFD à un système de points matériels isolé

Pour un système de points matériels $\mathcal{S}$, la quantité de mouvement du système est simplement la somme des quantités de mouvements de chacun des points du système :

$$\overrightarrow{\boldsymbol{p}_{\mathcal{S}}} = \sum_{i} \overrightarrow{\boldsymbol{p}_{M_i}}$$

Application du PFD à un système de points matériels isolé

Savoir-faire 5 – Exploiter la conservation de la quantité de mouvement pour un système pseudo-isolé

Le biathlon est une épreuve combinant ski de fond et tir à la carabine.
On étudie un aspect du parcours d'un athlète de masse $\boldsymbol{M}$ = 75,0 kg portant une carabine de masse $\boldsymbol{m}_c$ = 4,0 kg.
Lors du tir, une balle de masse $\boldsymbol{m}_b$ = 5,0 g est expulsée de la carabine avec une vitesse $\boldsymbol{v}_b$ = 310 m.s^{-1}.
La balle doit atteindre l'une des cinq cibles disposées sur un support.

1. Calculer la quantité de mouvement de la balle à la sortie du canon.

On souhaite déterminer la vitesse de recul $\overrightarrow{v_c}$ de la carabine. On ne tiendra pas compte des gaz éjectés.

1. Calculer sa valeur dans le cas où le système étudié est constitué de la carabine et de la balle, système supposé isolé avant et après le tir.
2. Montrer que le centre de gravité du système reste immobile.
3. En réalité, l'athlète tient fermement la carabine en appui sur son épaule. Comment est modifié le raisonnement précédent dans ce cas ? Comment évolue alors la vitesse de recul par rapport au cas précédent ?

Savoir-faire 6 – Etablir l'équation du mouvement du pendule simple

On considère un pendule dont toute la masse m est localisée au point M. Le fil reliant O à M est supposé inextensible et de masse négligeable. On note L sa longueur. On néglige tout frottement.
On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.
Le champ de pesanteur est $\vec{g} = g.\overrightarrow{u_z}$ avec Oz axe vers le bas.

1. Exprimer le vecteur position $\overrightarrow{OM}$ en coordonnées polaires. Faire de même pour la vitesse et l'accélération du point M.
2. Faire un bilan des forces. À l'aide du PFD, en déduire une équation différentielle portant sur $\theta(t)$ uniquement.
3. Que devient cette équation avec l'approximation des petits angles ?