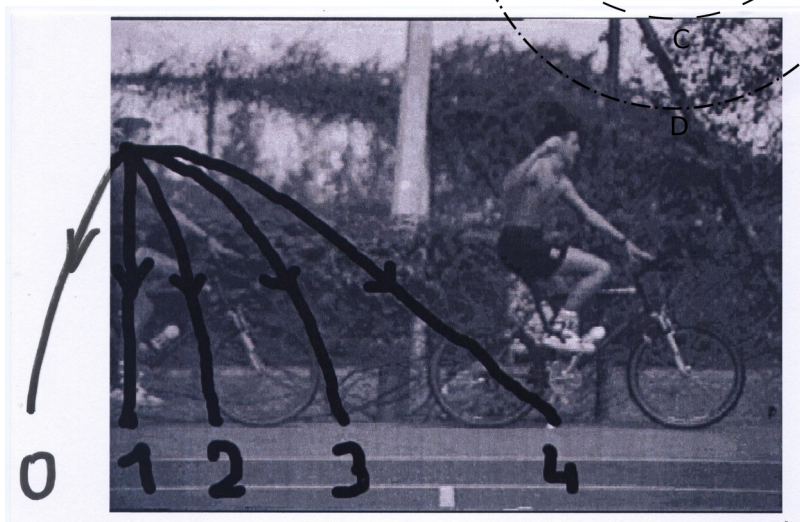
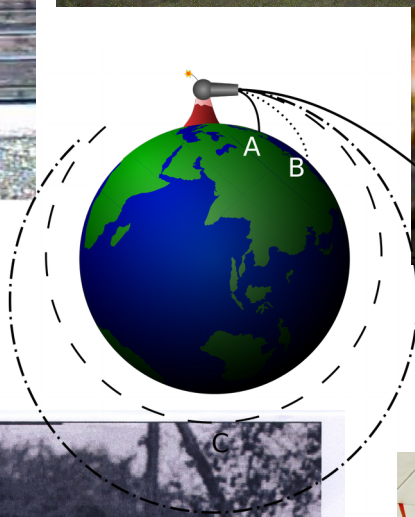
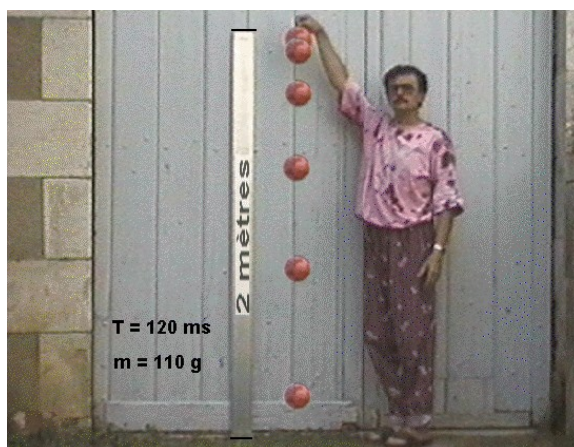
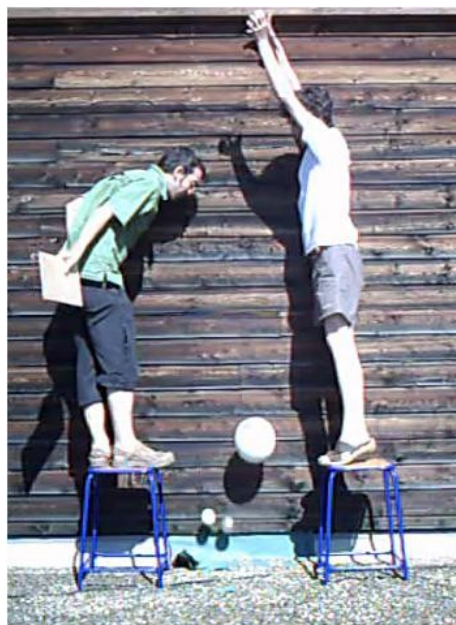


# Livret ressources

## Mouvements et leur cause



**Partie 1 – Démarches de construction de savoir (recherches en classe)**

**Partie 2 – L'essentiel du cours**

**Partie 3 – Exercices d'entraînement**

# Les démarches, activités de recherche en groupes

Voir votre cahier de travail pour les traces de ces travaux et les bilans que vous en avez tiré.

## 1 - Changements de référentiels avec un vélo

### On va réaliser quatre vidéos

Avec une caméra et un vélo. Sur le pneu avant du vélo et sur l'axe de la roue on a fixé un bout de scotch blanc.

- **1ère vidéo** : la roue de vélo est maintenue en l'air et mise en rotation. La caméra est fixe.
- **2ème vidéo** : la caméra est posée sur le sol et on film le passage du vélo avançant en ligne droite.
- **3ème vidéo** : le vélo roule et la caméra l'accompagne dans son mouvement, à la même vitesse.
- **4ème vidéo** : la roue de vélo est maintenue en l'air et mise en rotation. La caméra se déplace horizontalement à vitesse constante.

### Consignes

Sur chacune de ces vidéos, on va relever image par image la position des deux points blancs. On veut deviner la forme des trajectoires que cela va dessiner.

1. Représenter au crayon dans un tableau comme ci-dessous les trajectoires que vous pensez obtenir en exploitant les vidéo

	Trajectoire d'un point situé <u>au centre de la roue</u>	Trajectoire d'un point situé <u>sur le pneu</u>
Vidéo 1		
Vidéo 2		
Vidéo 3		
Vidéo 4		

2. Tenter de réaliser les vidéos et exploitez les pour vérifier vos prévisions. Du matériel est à votre disposition. Voyez si vous voulez l'utiliser (bâton, scotch, transparent, feutre, webcam, smartphone)
3. En quoi cette activité peut illustrer cette notion de « référentiel » ? (**voir définition dans « l'essentiel du cours » partie 1**)

## 2 - Les boules qui rendent maboules

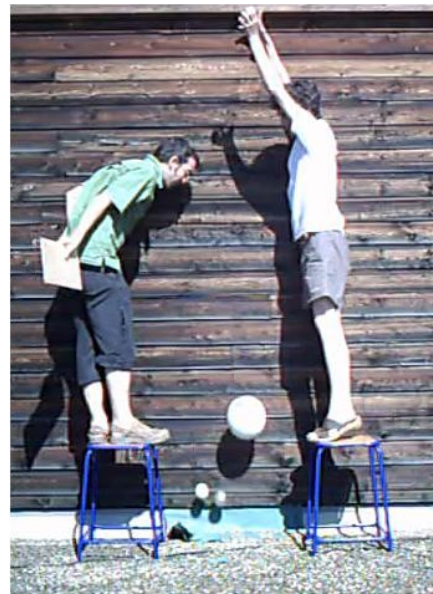
On lâche 3 boules

Tennis	80 g
Pétanque	800 g
Polystyrène	80 g

Prévoir, en argumentant, leur ordre d'arrivée.

Après avoir observé le résultat de l'expérience, rédiger une explication sur l'ordre d'arrivée des boules.

Voilà des exemples d'explications proposés par des élèves.



Des deux plus petites boules (tennis et pétanque) vont d'abord plus vite car elles sont plus petites, elles sont donc moins freinées par le vent, puis pour ensuite départager ces deux boules, il faut prendre compte du poids, la boule de pétanque étant plus lourde (800 g) que la boule de tennis (80 g) elle tombera avant celle de tennis.

Hypothèse: la masse joue

un rôle dans l'expérience ainsi, que la taille de l'objet mais aussi le frottement de l'air et la matière.  
↳ Elle sert à freiner l'objet grâce aux F. de l'air  
↳ la masse est tirée vers le sol.

Pour tester votre explication, prévoir ce qui se passerait si on refaisait la même expérience sans air.

Des expériences complémentaires sont possible pour nous aider à réfléchir (voir le cours).

### 3 - Prolongements mesures de vitesses avec une vidéo

Comment évolue la vitesse de la balle pendant la chute ? Elle augmente régulièrement ? Elle augmente puis stagne ? Elle augmente instantanément et reste constante ? Elle diminue ?

On dispose d'une vidéo montrant une balle tomber. Allons vérifier cela...

#### Comment mesurer la vitesse de cette balle ?



#### Premiers calculs

- Calculer les vitesses de la balle sur la fin de la chute, vers le début de la chute et sur l'ensemble de la chute.
- Vous indiquerez les mesures réalisées, ainsi que vos calculs en vous efforçant de les rendre compréhensibles.
- Vous commenterez votre résultat (est-il logique ...)

#### Tracé de la courbe vitesse fonction du temps

1. Mesurer toutes les vitesses entre deux positions successives de la balles.
2. Placer ces mesures sur un graphique vitesse en fonction du temps. /!\ il y a une subtilité sur le choix de la valeur du temps en abscisse pour chaque vitesse mesurée... Vous pouvez faire ce travail sur une feuille de papier ou en utilisant un tableur.

**On doit trouver une droite passant par l'origine : la vitesse augmente régulièrement.**

**La pente de cette droite, le rythme auquel augmente la vitesse est appelé « accélération de la pesanteur ». Calculer sa valeur (méthode math : calcul de la pente d'une droite).**

3. Avez vous déjà rencontré cette valeur quelque part au collège ? (indice «  $P=m.g$  »).

#### Refaire le même travail sur la lune

On dispose d'une vidéo de chute sur la lune. On a l'impression que ça tombe plus lentement ...

On voudrais le vérifier en faisant la même démarche que précédemment et vérifier que « sur la lune, la gravité est 6 fois plus faible ».

1. Comment faut-il faire ? (décrivez les opérations, mesures calculs à réaliser)

CORRECTION DANS LA PARTIE COURS

---

## 4 - Histoire des sciences : Galilée et Aristote

---

Aristote est un philosophe de l'antiquité Grecque, dont la physique a marqué la pensée pendant presque deux millénaires. Jusqu'à être remise en cause lors de la renaissance, au XVIIe siècle.

En 1632, Galilée publie à Florence « [Dialogue sur les deux principaux systèmes du monde](#) » qui sera son ouvrage le plus important. Pour un livre scientifique, la forme est très originale : écrit en italien populaire, il met en scène trois personnes qui débattent de physique : un noble florentin qui va défendre le point de vue de Galilée, un personnage simplet qui va défendre le point de vue d'Aristote et un autre noble curieux et ouvert d'esprit qui va mettre en valeur le point de vue de Galilée.

**Voici trois extraits de ce livre concernant la chute des corps.**

### Questions préalables

1. De simplicio, Salviati et Sagredo, qui représente Galilée, Aristote et l'honnête homme qui se laisse convaincre par Galilée ?
2. Sur quoi Aristote et Galilée sont-ils en désaccord ?
3. Par quel raisonnement Galilée parvient-il à comprendre la loi de la chute des corps sans air, alors qu'il n'a pas les moyens techniques de faire cette expérience comme aujourd'hui ?
4. Quel est l'influence de la hauteur de chute sur le phénomène ?

## Extrait 1

*Simplicio* Aristote a démontré que, dans un même milieu, des objets de masses différentes tombent à des vitesses différentes et que ces vitesses sont proportionnelles aux masses des objets. [...] Vous n'avez tout de même pas l'intention de nous prouver qu'une boule de liège tombe à la même vitesse qu'une boule de plomb ? [...]

*Salviati* Je doute fort qu'Aristote se base sur une expérience pour affirmer cela. [...]

*Simplicio* Ses propres paroles montrent pourtant qu'il a observé le phénomène, puisqu'il dit « Nous voyons que le plus lourd... ». Ce « nous voyons » fait allusion à une expérience.

*Sagredo* Mais moi qui en fait l'essai, signor Simplicio, je vous assure qu'un boulet de canon [...] n'aura pas pris l'avance d'une palme, à son arrivée au sol, sur une balle de fusil [...], même si la hauteur de chute est de cent coudées !

*Simplicio* [...] J'ai de la peine à croire qu'une larme de plomb puisse tomber aussi vite qu'un boulet de canon.

*Salviati* [...] Je ne voudrais pas, signor Simplicio, qu'à l'exemple de tant d'autres, vous vous concentriez sur telle chose que j'ai dite et qui s'écarte de la vérité de l'épaisseur d'un cheveu, pour éviter de voir l'erreur aussi grosse qu'une poutre, qu'Aristote a commise. Aristote écrit : « Une boule de fer de cent livres, tombant d'une hauteur de cent coudées, arrive au sol avant qu'une boule d'une livre soit descendue d'une seule coudée ». Je dis, moi, qu'elles arrivent en même temps. Vous n'avez qu'à faire l'expérience, et vous constaterez qu'au moment où la grosse boule touche terre, l'autre en est éloignée de deux doigts seulement. Et vous voudriez maintenant, derrière ces deux doigts, cacher les quatre-vingt dix neuf coudées d'Aristote, et, relevant mon erreur minime, passer sous silence son énorme erreur. [...] Aristote laisse de côté d'autres facteurs tels que la forme des mobiles sur laquelle l'action du milieu peut être forte : l'or, le plus pesant de tous les corps, flotte dans l'air lorsqu'il est transformé en minces feuilles.[...]

## Extrait 2

J'ai commencé à étudier ce qui arrivait à des mobiles de masses différentes placés dans des milieux de résistances différentes : j'ai aperçu alors que les écarts de vitesse était plus grand dans les milieux plus résistants que dans les milieux plus aisés à pénétrer, et cela au point que deux mobiles peuvent descendre dans l'air avec des vitesses très peu différentes alors que dans l'eau, l'un ira dix fois plus vite que l'autre. [...] Considérant ces faits, il me

vint à l'esprit que si l'on supprimait totalement la résistance du milieu, tous les corps descendraient à la même vitesse.

*Simplicio* Voilà une bien grande affirmation. Je ne croirai jamais pour ma part que, même dans le vide, si le mouvement y était possible, un flocon de laine tomberait aussi vite qu'un morceau de plomb.

*Salviati* [...] Ecoutez plutôt ce raisonnement qui vous éclairera. Nous recherchons ce qui arriverait à des objets de masses très différentes dans un milieu de résistance nulle. [...] Seul un espace absolument vide d'air nous permettrait de percevoir une réponse. Comme un tel espace n'existe pas, nous observerons ce qui se produit dans des milieux peu résistants, par comparaison avec des milieux plus résistants ; et si nous trouvons que des objets différents ont des vitesses de moins en moins différentes lorsque les milieux sont de plus en plus faciles à traverser, qu'en fin de compte dans le milieu le moins résistant et pour des masses très différentes, l'écart de vitesse est très petit alors nous pourrions admettre avec une grande probabilité que dans le vide les vitesses seraient toutes égales. [...]

### Extrait 3

*Simplicio* Fort bien. Mais je ne comprends pas pourquoi, dans un milieu comme l'air, les

écarts augmentent avec la taille de la chute alors que le milieu reste le même.

*Salviati* [...] Mon intention est de montrer que les variations de vitesse qu'on observe entre des mobiles de masses différentes n'ont pas pour cause les masses mais dépendent de facteurs extérieurs, et notamment de la résistance du milieu. Il est vrai que les écarts de vitesse entre deux mobiles de masses différentes sont d'autant plus grands que les espaces parcourus sont grands. Quelque soit le milieu, il s'oppose au mouvement qui le traverse avec une résistance dont la grandeur dépend directement de la rapidité avec laquelle il doit s'ouvrir pour céder le passage au mobile. Comme le mobile va de plus en plus vite au cours de sa chute, il rencontre de la part du milieu une résistance sans cesse croissante. [...] L'expérience qui consiste à prendre deux objets de masses très différentes, et à les lâcher d'une certaine hauteur pour observer si leurs vitesses sont égales, comporte quelques difficultés. En effet, si la hauteur est importante, le milieu que l'objet doit ouvrir et repousser en tombant, gênera beaucoup plus l'objet léger que l'objet lourd, et sur une longue distance l'objet léger demeurera alors en arrière. Si en revanche la hauteur est brève, la différence sera imperceptible.



## 5 - Chute en mouvement

On roule à vélo à vitesse constante. On lâche une balle. Quelle est son mouvement ?



Décrire la trajectoire de la balle dans le référentiel lié au sol et dans le référentiel lié au vélo.

Qu'est-ce qui change si la balle est très lourde (pétanque) ou très légère (polystyrène) ?

Qu'est-ce qui changerait si on faisait pareil mais en absence d'air ?

---

## 6 - Définir « l'inertie »

---

### Document

« Pour expliquer les mouvements, Aristote distingue l'état naturel d'immobilité et l'état de mouvement lié à l'existence de force motrice.

Newton distingue lui le mouvement rectiligne uniforme qui est l'état naturel d'un corps et les mouvement freinés, accélérés ou déviés quand une force agit.

En cela, il introduit pour expliquer les mouvement un nouveau principe, appelé principe de **l'inertie**. »

### Questions :

- *Comment définiriez vous cette notion d'inertie avec vos propres mots ?*
- *Qu'est-ce qui fait qu'un objet à une inertie plus ou moins grande ?».*

### Expériences de pensée pour aider à réfléchir

- On imagine une patinoire infiniment glissante et longue. On y lance un palet. Quel serait la suite de son mouvement ?
- On est dans l'espace loin de tout. On lance un objet. Quel est son mouvement ?
- On a deux caddy de supermarché, un vide et l'autre plein. Ils avancent tous les deux à la même vitesse et on veut les arrêter. Quelle différence ?

## 7 - TEXTE « LA NAISSANCE DE LA MÉCANIQUE »

Les tentatives de lire le grand roman à mystères [de la nature] sont aussi vieilles que la pensée humaine elle-même. C'est cependant depuis un peu plus de trois cents ans que les savants ont commencé à comprendre le langage du roman. Depuis ce temps, qui est l'âge de Galilée et de Newton, la lecture a fait des progrès rapides. (...)

Un problème fondamental, entièrement obscurci, à cause de ses complications, pendant des milliers d'années, est celui du **mouvement**. Tous les mouvements que nous observons dans la nature, celui d'une pierre lancée en l'air, celui d'un navire voguant sur la mer, celui d'un chariot avançant le long d'une rue, sont en réalité très compliqués. Pour comprendre ces phénomènes, il est sage de commencer par les cas les plus simples possibles et passer graduellement aux plus compliqués.

Considérons un corps au repos, où aucun mouvement n'est constatable. Pour changer la position d'un tel corps, il est nécessaire d'exercer sur lui une certaine influence, de le pousser ou de le soulever ou de faire agir sur lui d'autres corps, tels que des chevaux ou des machines à vapeur. Nous avons l'idée intuitive que le mouvement est en connexion avec les actes de pousser, de soulever ou de tirer. Des expériences répétées nous amèneraient à risquer cette autre affirmation que si nous

voulons que le corps se meuve plus rapidement, nous devons le pousser plus vigoureusement. Il semble naturel de conclure que plus forte est l'action exercée sur un corps et plus grande sera sa vitesse. Une voiture traînée par quatre chevaux avance plus rapidement qu'une voiture traînée par deux chevaux seulement. L'intuition nous dit ainsi que le mouvement est essentiellement lié à l'action.

C'est un fait bien connu des lecteurs de romans policiers qu'une fausse piste trouble le récit et retarde la solution. La méthode de raisonnement dictée par l'intuition était incorrecte et conduisait à des conceptions fausses du mouvement, qui furent soutenues pendant des siècles. La grande autorité d'Aristote dans toute l'Europe fut peut-être la raison principale de la foi persistante qu'on avait en cette idée intuitive. Nous lisons dans les Mécaniques qu'on lui attribuait pendant deux mille ans :

*« Le corps en mouvement s'arrête quand la force qui le pousse ne peut plus agir de façon à le pousser. »*

La découverte et l'emploi du raisonnement scientifique par Galilée est une des conquêtes les plus importantes dans l'histoire de la pensée humaine et marque le début réel de la physique. Cette découverte nous a appris qu'il ne faut pas toujours se fier aux conclusions intuitives basées sur

l'observation, car elles conduisent parfois à des fils conducteur trompeurs.

Mais où l'intuition est-elle trompeuse? Est-il possible qu'il soit erroné de dire qu'une voiture traînée par quatre chevaux doit se déplacer plus rapidement qu'une voiture traînée par deux chevaux seulement?

Examinons de plus près les faits fondamentaux du mouvement, en partant d'expériences journalières (...).

Considérons un homme qui, sur une route unie, pousse devant soi une voiture et qui brusquement cesse de le faire. La voiture continuera à parcourir une certaine distance avant de s'arrêter. Nous demandons: comment pourrait-on allonger cette distance? On peut y arriver de différentes manières, en graissant les roues, par exemple, et en rendant la route plus unie. Plus aisément les roues tournent, plus la route est unie et plus longtemps la voiture continuera à se mouvoir. Et qu'a-t-on obtenu par le graissage et l'aplanissement? Tout simplement ceci : les influences extérieures ont été réduites. L'effet de ce qu'on appelle frottement a été diminué, aussi bien dans les roues qu'entre celles-ci et la route. Ceci est déjà une interprétation théorique d'un fait patent; en réalité, elle est arbitraire. Un pas significatif de plus et nous aurons le véritable fil conducteur. Imaginez une route parfaitement unie et des roues sans aucun frottement. Il n'y aurait alors

rien pour arrêter la voiture et elle continuerait à se mouvoir sans cesse. Cette conclusion est obtenue seulement en imaginant une expérience idéalisée, qui, en fait, ne peut jamais être réalisée, étant donné qu'il est impossible d'éliminer toutes les influences extérieures. L'expérience idéalisée met à nu le fil conducteur qui formait réellement le fondement de la mécanique du mouvement.

En comparant les deux méthodes pour approcher le problème, nous pouvons dire : la conception intuitive nous enseigne que plus grande est l'action et plus grande est la vitesse. La vitesse montre ainsi si, oui ou non, des forces extérieures agissent sur un corps. Le nouveau fil conducteur trouvé par Galilée est: si un corps n'est ni poussé, ni tiré, ni ne subit une action quelconque, ou, plus brièvement, si aucune force extérieure n'agit sur un corps, il se meut uniformément, c'est-à-dire toujours avec la même vitesse le long d'une ligne droite. Ainsi, la vitesse ne montre pas si, oui ou non, des forces extérieures agissent sur un corps. La conclusion de Galilée, qui est correcte, a été formulée une génération plus tard par Newton comme **la loi de l'inertie**. C'est habituellement la première loi physique que nous apprenons par cœur à l'école et certains d'entre nous se la rappellent encore:

*« Tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite, à moins qu'il ne soit déterminé à changer*

*cet état par des forces agissant sur lui. »*

Nous avons vu que cette loi de l'inertie ne peut pas être dérivée directement de l'expérience, mais seulement par la pensée spéculative compatible avec l'observation. L'expérience idéalisée ne peut jamais être effectivement réalisée, bien qu'elle conduise à une intelligence profonde des expériences réelles.

De la variété de mouvements complexes qui se manifestent dans le monde autour de nous, nous choisissons comme premier exemple le mouvement uniforme. C'est le plus simple, parce qu'aucune force extérieure n'agit. Le mouvement uniforme ne peut cependant jamais être réalisé; une pierre qu'on laisse tomber du haut d'une tour, une voiture poussée le long d'une route, ne peuvent jamais se mouvoir de manière rigoureusement uniforme, parce que nous ne pouvons pas éliminer l'influence de forces extérieures.

La pensée humaine crée une image continuellement changeante du monde. La contribution fournie par Galilée a détruit la vue intuitive et l'a remplacée par une vue nouvelle. C'est là la signification de sa découverte.

Mais une autre question concernant le mouvement surgit maintenant. Si la vitesse n'est pas une indication que des forces extérieures agissent sur un corps, qu'est-elle alors? La réponse à cette question fondamentale a été trouvée par Galilée et, d'une manière plus précise, par Newton;

elle forme un nouveau fil conducteur dans notre investigation.

Pour trouver la réponse correcte, nous devons réfléchir un peu plus profondément, sur le cas de la voiture se déplaçant sur une route parfaitement unie. Dans notre expérience idéalisée l'uniformité du mouvement était due à l'absence de toute force extérieure. Supposons maintenant qu'on imprime à la voiture se déplaçant uniformément un choc dans la direction du mouvement. Qu'arrive-t-il alors? Sa vitesse augmente manifestement. Et il est aussi manifeste qu'un choc dans la direction opposée à celle du mouvement diminuera sa vitesse. Dans le premier cas, la voiture est accélérée par le choc; dans le second cas, elle est ralentie. Et cette conclusion s'impose : l'action d'une force extérieure modifie la vitesse. Ainsi, ce n'est pas la vitesse elle-même, mais son changement qui est la conséquence de la poussée ou de la traction. Une telle force augmente ou diminue la vitesse, selon qu'elle agit dans la direction du mouvement ou dans la direction opposée. Galilée l'a vu clairement. (...)

En suivant le bon fil conducteur nous arrivons à une intelligence plus profonde du problème du mouvement. C'est la connexion entre la force et le changement de vitesse et non pas la connexion entre la force et la vitesse même, comme on serait tenté de penser en se conformant à l'intuition, qui est la base de la mécanique classique

telle qu'elle a été formulée par  
Newton.

Einstein et Infeld, l'évolution des idées en physique, 1936

## Questions préalables

**Avant de lire le texte, réfléchir aux questions suivantes. Lire ensuite le texte attentivement puis chercher à répondre aux questions en indiquant les numéro de ligne qui justifient vos réponses.**

1. Par qui, quand et pourquoi ce texte a été écrit ?
2. Quel est le problème posé dans ce texte ?
3. Quels sont les savants évoqués dans ce texte ?
4. Que pense Aristote des causes des mouvements ?
5. Que propose Galilée comme idée nouvelle sur le mouvement ?
6. Que propose Newton sur le lien entre forces et vitesse ?
7. Faut-il toujours se fier à son intuition pour comprendre les lois de la physique ?

# L'essentiel du cours

## 1 - Référentiel et trajectoires

La trajectoire d'un objet en mouvement est l'ensemble des positions de l'objet, formant une courbe.

Un référentiel est un objet par rapport auquel on repère les positions successives du point dont on étudie le mouvement.

La trajectoire et la vitesse d'un point d'un objet dépendent du choix du référentiel. **Avant toute étude de mouvement il faut choisir un référentiel. On choisit le référentiel le plus commode selon ce qu'on veut étudier.**

## 2 - « Les boules qui rendent maboule »

### Objectif

- Connaître les résultats de quelques expériences clef de chute des corps :
  - Chute de trois balles de tailles et masses différentes.
  - Chutes sans air
- Construire une explication physique rigoureuse de ces phénomènes.

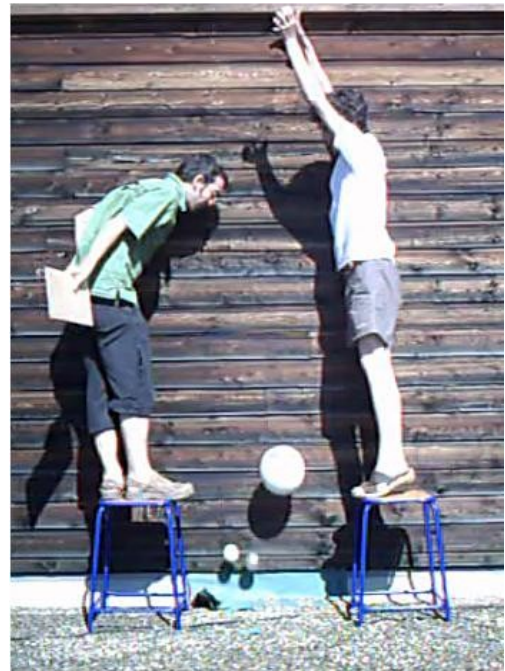
### Phénomènes expérimentaux

#### Exp 1 - Chute de 3 boules

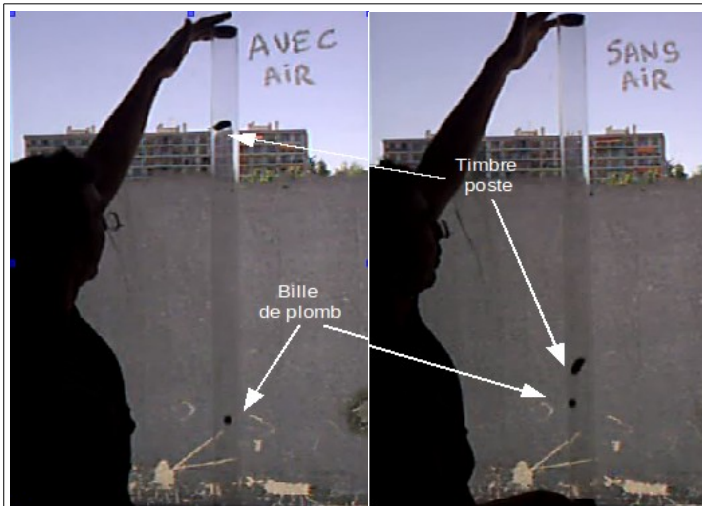
Tennis	80 g
Pétanque	800 g
Polystyrène	80 g

La boule de pétanque précède de peu la balle de tennis.

La balle de polystyrène est loin derrière la balle de tennis



## Exp 2 - Le « tube de newton » et la pompe à vide.



Le timbre poste tombe *presque* aussi vite que la bille de plomb lorsqu'on a enlevé *presque* tout l'air.



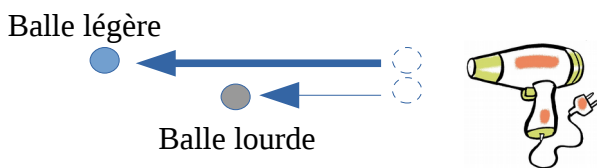
Chute dans la plus grande chambre à vide du monde (NASA)

## Exp 3 - Sur la lune, on lâche un marteau et une plume



Le marteau et la plume, tombent en même temps !

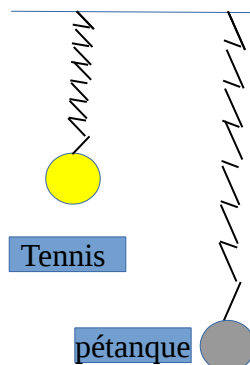
## Exp 4 - Le sèche cheveux



Soumis à un même souffle, la balle lourde va moins vite que la balle légère.

Inversement, si on lance les balles vers le sèche cheveux, la balle légère est plus freinée.

## Exp 5 - Boules au bout d'un ressort

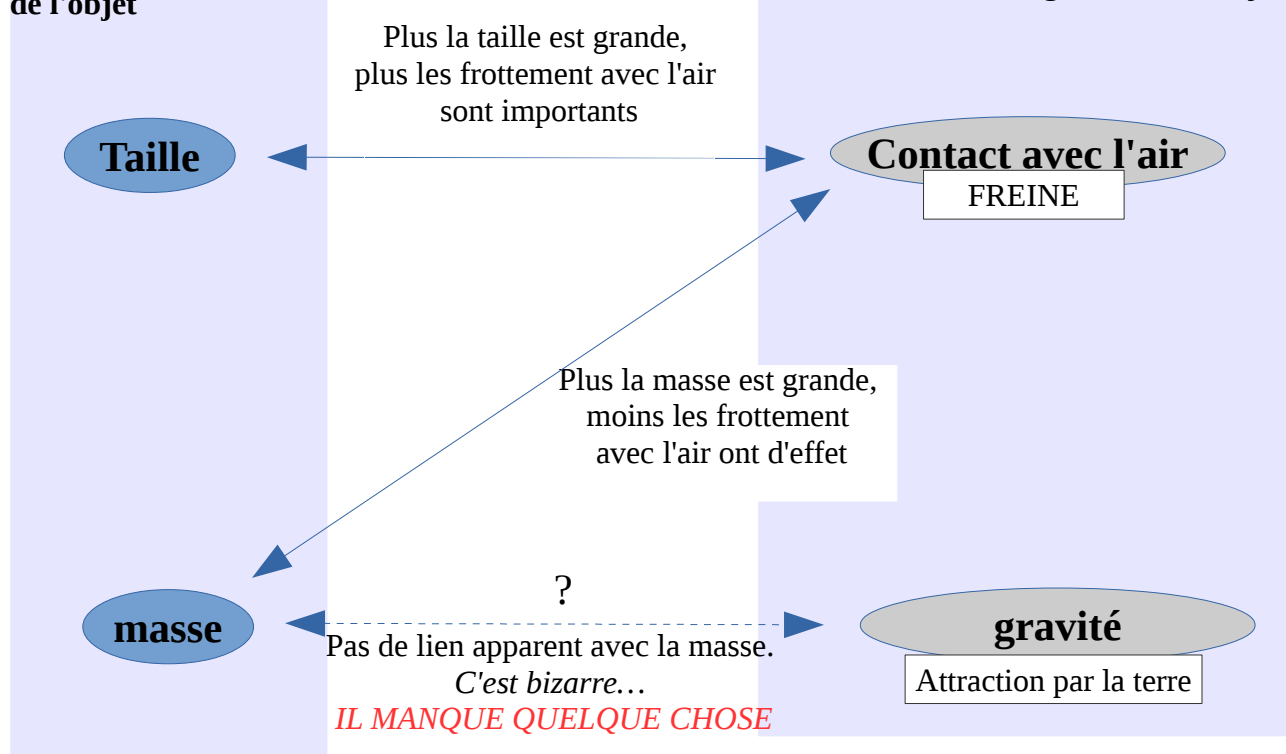


La boule de pétanque est attirée plus fort vers le bas que la balle de tennis

## Modèle théorique pour expliquer toutes ces expériences

Caractéristiques propres de l'objet

Actions extérieures agissant sur l'objet



Expliquez ce que vous arrivez à comprendre grâce à ce diagramme.



# 3 - Correction « mesure vitesse d'une balle »

Comment mesurer la vitesse au cours de la chute de la balle ?

Autre méthode Bleue

$$v = \frac{d}{t}$$

vitesse moyenne de la balle :

distance parcourue à l'échelle de l'image = 10,8 cm

taille réel (cm)	100	147,84	$\frac{10,8 \times 100}{7,3} \approx 147,84$ cm
taille photo (cm)	7,3	10,8	

120 ms = la durée entre deux images

durée totale de la chute = 120 ms x nb d'intervalles entre 2 images.  
= 120 x 5 = 600 ms

147,84 cm = 1,4784 m       $v = \frac{1,4784}{0,6} \approx 2,46$  m/s  
600 ms = 0,6 s

vitesse de la balle entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> image :

distance parcourue à l'échelle de l'image = 0,3 cm

taille réel (cm)	100	4,1	$\frac{0,3 \times 100}{7,3} \approx 4,1$ cm
taille photo (cm)	7,3	0,3	

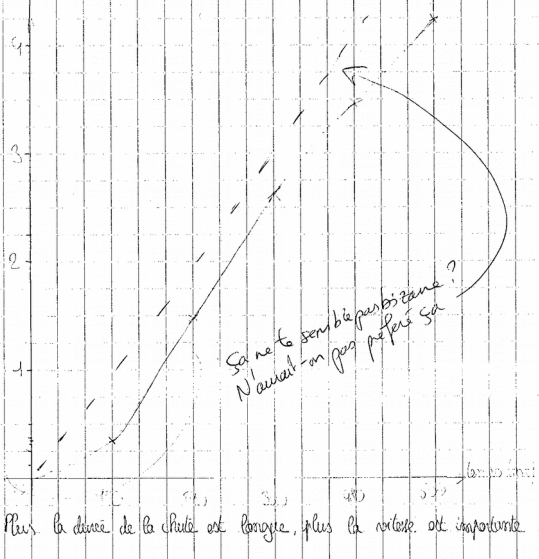
4,1 cm = 0,041 m       $v = \frac{0,041}{0,12} \approx 0,34$  m/s  
120 ms = 0,12 s

vitesse de la balle entre la 5<sup>ème</sup> et la 6<sup>ème</sup> image :

distance parcourue à l'échelle de l'image = 3,9 cm

taille réel (cm)	100	53,42	$\frac{3,9 \times 100}{7,3} = 53,42$ cm
taille photo (cm)	7,3	3,9	

53,42 cm = 0,5342 m       $v = \frac{0,5342}{0,12} \approx 4,45$  m/s  
120 ms = 0,12 s



vitesse de la balle entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> image :

distance parcourue à l'échelle de l'image = 1,3 cm

taille réel (cm)	100	17,8	$\frac{1,3 \times 100}{7,3} \approx 17,8$ cm
taille photo (cm)	7,3	1,3	

17,8 cm = 0,178 m       $v = \frac{0,178}{0,12} \approx 1,483$  m/s  
120 ms = 0,12 s

du genre à mesurer plus

vitesse de la balle entre la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> image :

distance parcourue à l'échelle de l'image = 2,3 cm

taille réel (cm)	100	31,5	$\frac{2,3 \times 100}{7,3} \approx 31,5$ cm
taille photo (cm)	7,3	2,3	

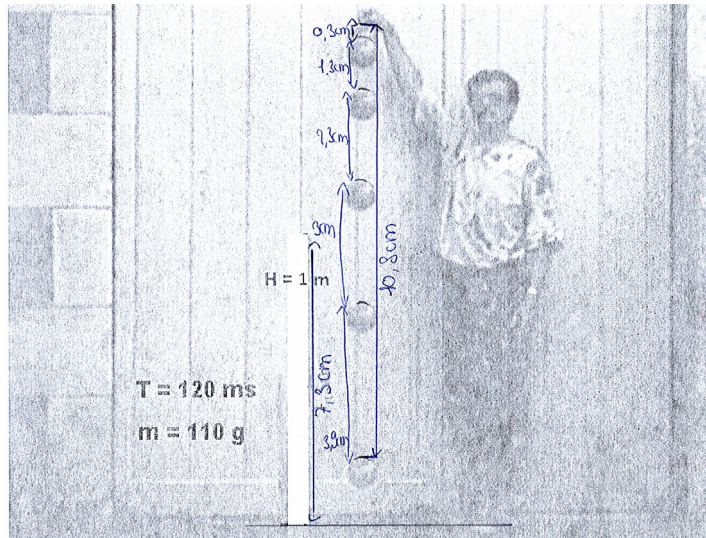
31,5 cm = 0,315 m       $v = \frac{0,315}{0,12} \approx 2,625$  m/s  
120 ms = 0,12 s

vitesse de la balle entre la 4<sup>ème</sup> et la 5<sup>ème</sup> image :

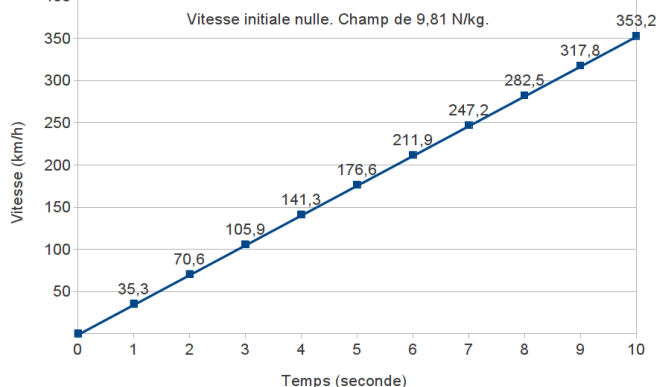
distance parcourue à l'échelle de l'image = 3 cm

taille réel (cm)	100	41	$\frac{3 \times 100}{7,3} \approx 41$ cm
taille photo (cm)	7,3	3	

41 cm = 0,41 m       $v = \frac{0,41}{0,12} \approx 3,42$  m/s  
120 ms = 0,12 s



Évolution de la vitesse d'un point en chute libre dans un champ de pesanteur uniforme



---

## 4 - Lois de la Mécanique de Newton

---

### *Quelques définitions et propriétés*

#### **Mouvement**

Déplacement d'un objet . Caractérisé par sa direction et sa vitesse.

Un « **mouvement constant** » se fait en ligne droite à vitesse constante. Si sa vitesse et/ou sa direction change, on dira qu'il change.

L'immobilité est un cas particulier de mouvement à vitesse nulle ...

#### **Inertie**

Propriété d'un objet ayant une masse de **conserver son mouvement** (direction, vitesse).

Sauf si une force (action extérieure) intervient.

Plus la masse est grande, plus il faudra des forces importantes pour changer son mouvement.

*/!\ ce n'est pas une « force » ! Voir ci dessous.*

#### **Forces**

Action extérieure exercée sur un objet, ayant pour effet de changer la vitesse ou la direction de son mouvement.

Une force est caractérisée par sa direction et son intensité.

Exemple : frottements de l'air, attraction par la terre (poids), action d'une personne sur un objet, ...

Quand plusieurs forces agissent en même temps, leurs effets s'additionnent ou se compensent, selon leurs directions et leurs intensités respectives.

Deux forces importantes :

#### ***Frottements de l'air***

Quand un objet se déplace par rapport à l'air, l'air s'oppose à son mouvement. Il y a une force dans une direction opposée au mouvement.

Plus la vitesse est grande, plus la force est importante.

Plus l'objet est gros, plus la force sera importante (pour une vitesse donnée).

#### ***Gravité***

Un objet ayant une masse est attirée par la terre . La force (poids) est proportionnelle à sa masse.

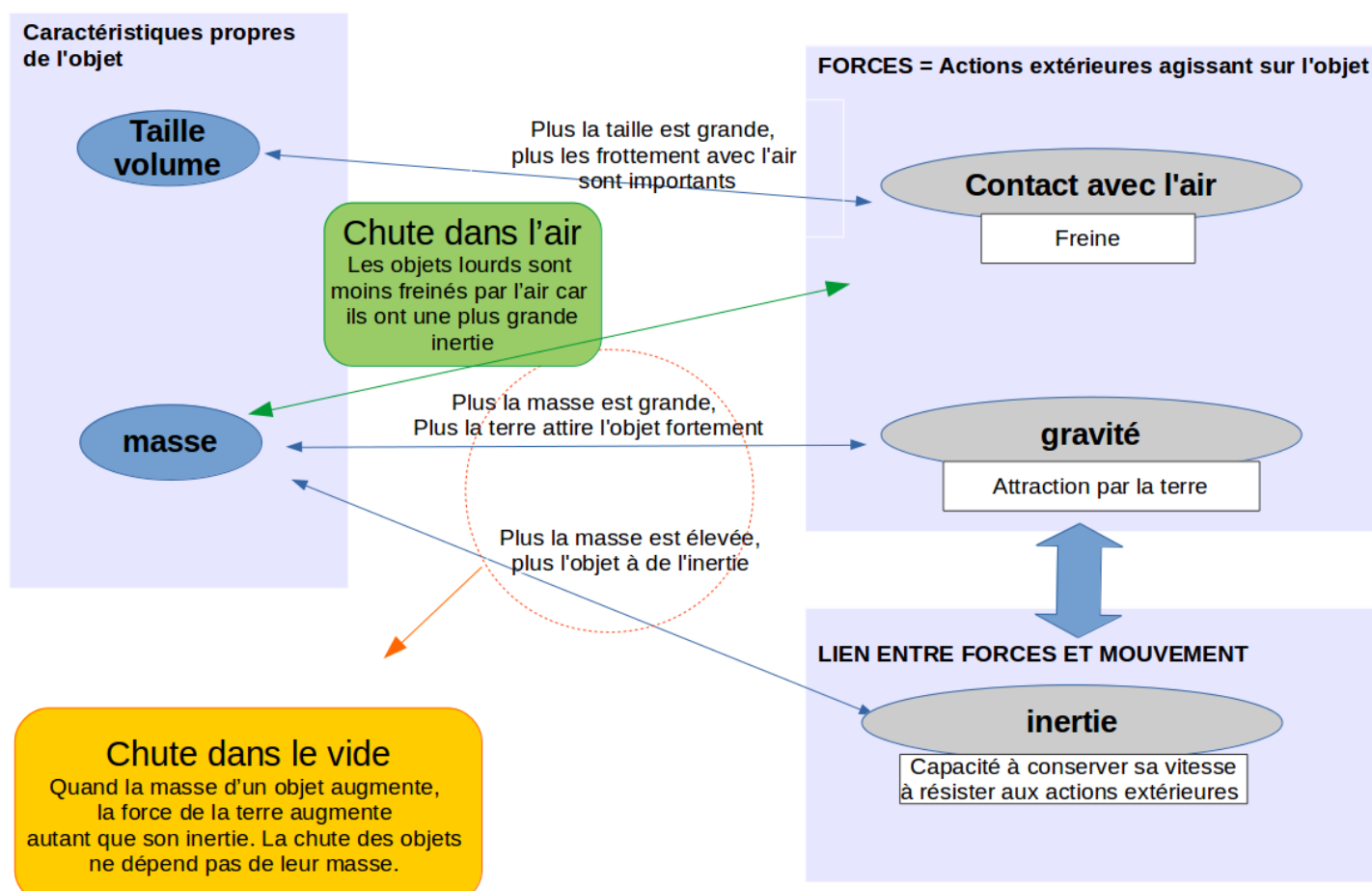
$$P = m.g$$

Sur la Lune, la gravité est plus faible. Pour une même masse, l'attraction est plus faible.

$$g_{\text{terre}} = 9,8 \quad g_{\text{lune}} = 1,6$$

# 5 - Modèle théorique chute des corps Version 2 - AVEC L'INERTIE

Voici un schéma qui reprend l'explication de la chute des corps en y introduisant l'inertie. Cela permet de comprendre le lien entre masse et gravité qui posait problème.



Expliquez ce que vous arrivez à comprendre grâce à ce diagramme.

## 6 - Gravitation et mouvement céleste

### Interaction gravitationnelle

Dans cette partie on explique le lien entre la force qui nous attire sur terre, **le poids** des corps et la force qui lie la lune à la terre et les planètes au soleil, la force d'interaction gravitationnelle.

### Cinquième loi, dite de « la gravitation universelle ».

Un corps de masse  $M$  exercera sur un autre corps de masse  $m$  situé à une distance  $D$ , une force dirigée de  $m$  vers  $M$  et de valeur

$$F_g = G \frac{m.M}{D^2}$$

Cette force explique aussi bien la chute des corps sur terre que les mouvements célestes.

A la surface de la terre (de rayon  $R_T$ ), la valeur  $G \frac{M}{R_T^2}$  est appelée gravité  $g$  et la force de gravité  $F_g$  est appelée poids et notée  $P$ . On écrira donc :

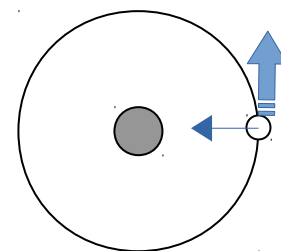
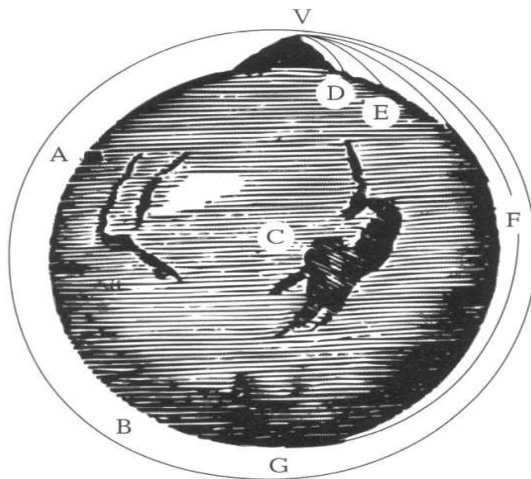
$$P = m \cdot g$$

Sur la lune la gravité est 6 fois plus faible. Donc les objets sur la lune apparaissent 6 fois moins lourds. Ils conservent la même masse<sup>1</sup> mais un poids plus faible.

### Mouvements des satellites

base

Si on imagine lancer une balle du haut d'une montagne dépassant l'atmosphère (pour qu'il n'y ait pas de frottement avec l'air). La balle retombera sur le sol en allant d'autant plus loin que la vitesse de lancement est élevée. Normalement, une certaine vitesse doit permettre de faire à la balle de faire un tour complet.



Un satellite autour de la terre à une grande vitesse « horizontale ». Il est en permanence attiré par la terre. L'effet de la force est de dévier son mouvement. Si la vitesse est suffisante, la déviation sera juste suffisante pour lui faire décrire une trajectoire circulaire.

<sup>1</sup>Il contiennent toujours autant de matière et sont toujours aussi difficile (ou faciles) à mettre en mouvement.

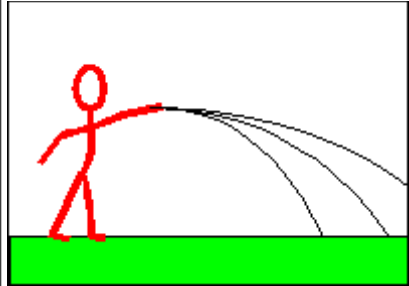
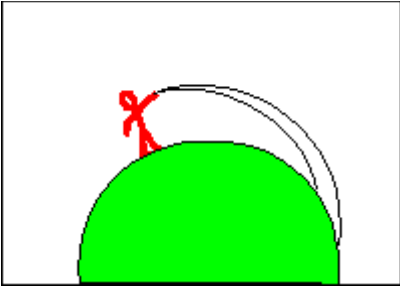
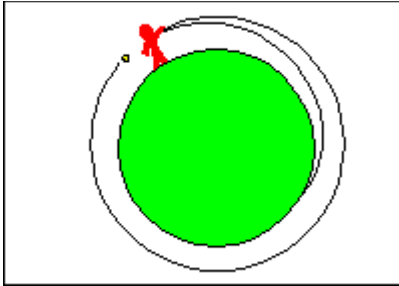
## 7 - Le phénomène d'apesanteur

Les explications qui suivent sont tirées de l'excellent site « Robert In Space »

<http://pagesperso-orange.fr/philippe.boeuf/robert/index.htm>

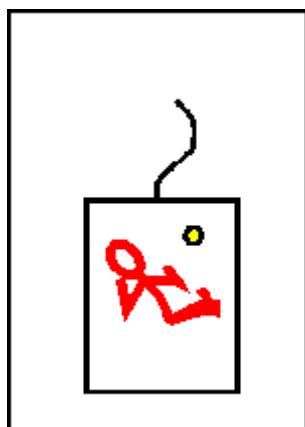
« Pourquoi les astronautes flottent-ils dans leur navette? N'ont-ils vraiment plus de poids? »

La navette, comme tous les satellites artificiels de la Terre, est en orbite autour de celle-ci. Essayons d'abord de comprendre ce que cela signifie avant de répondre à la question.

<p>A la surface de la Terre, lorsqu'on jette un caillou devant soi, il tombe d'autant plus loin qu'on l'a lancé fort</p>	<p>Mais la Terre n'est pas plate. Si Robert était vraiment très costaud, le caillou pourrait tomber derrière l'horizon.</p>	<p>Et s'il l'était encore plus, il aurait intérêt de se baisser...</p>
		

Bien sûr, à la main, ce serait difficile, et les frottements de l'air feraient tomber le caillou trop vite. Mais si on dépasse l'atmosphère, et qu'une fusée lance le caillou, il sera bel et bien satellisé. Traduction: un satellite est un objet qui tombe vers la Terre en ratant sans arrêt sa surface, car elle est ronde...

Donc, une navette elle aussi, lorsqu'elle est en orbite tombe vers la Terre en la ratant. Dans un tel engin, tout se passe alors comme si on était dans une cage d'ascenseur en chute libre: Tous les objets de la cabine, et la cabine elle-même accélèrent vers le sol en même temps, et ont en permanence la même vitesse. Ils sont en impesanteur, du moins tant que la cabine tombe... Ainsi, tous les objets que contient notre navette sont en chute libre, ils flottent les uns par rapport aux autres.



Si maintenant la navette était brutalement arrêtée sur son orbite puis laissée livrée à elle-même, elle retomberait vers le centre de la Terre, de la même façon que le caillou de Robert, qui, arrêté par un mur, chuterait vers le sol... Pour qu'une navette puisse rentrer sur Terre, il faut donc quelle freine sur son orbite, ce qui la fait retomber. »

## 8 - Un peu d'histoire des sciences

<p><b>ARISTOTE</b> Antiquité grecque – IVe av JC</p>		<p><i>« un objet s'arrête quand la force qui le pousse ne peut plus agir de façon à le pousser »</i></p>
<p><b>GALILEE</b> Renaissance Début XVIIe</p>		<p><i>« un objet continue d'avancer en ligne droite et à vitesse constante à moins qu'une force vienne l'en empêcher »</i></p>
<p><b>NEWTON</b> Fin XVII début XVIII</p>		<p></p> <p>Sa théorie nous permet encore aujourd'hui de lancer des satellites autour de la terre</p>
<p><b>EINSTEIN</b> Début XXe</p>		<p></p> <p>GPS et théorie du « Big-Bang »</p>

## 9 - Notion de vecteurs forces (Orientation Scientifique)

### Force de A sur B

Une force est toujours exercée par quelque chose (un objet A) sur quelque chose (un autre objet B).

On la notera  $F_{A/B}$ .

### Force résultante

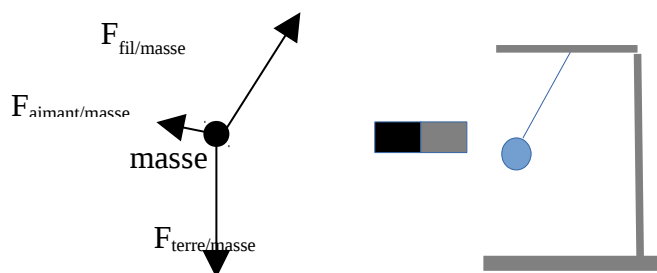
Comme des vecteurs, les vecteurs-forces peuvent s'additionner.

La somme des forces exercées à un instant sur un objet s'appelle **force résultante**.



### Vecteur

Une action d'un objet sur un autre semble pouvoir être caractérisée par sa *direction/sens* et son *intensité*. On peut donc la décrire (modéliser) par un vecteur mathématique appelé **vecteur force** exercée.



Ce vecteur force est définie comme tous les vecteurs par :

- sa direction et son sens
- sa valeur exprimée en Newton (N).

### La force résultante

L'effet sur le mouvement de plusieurs forces appliquées simultanément est équivalent à celui de la *force résultante* appliquée seule (loi).

Si la force résultante est nulle, on dit que *les forces se compensent*.

### Force et mise en mouvement

**Si les forces exercées sur un objet initialement immobile se compensent, alors l'objet reste immobile. Si la force résultante n'est pas nulle, l'objet se met en mouvement dans sa direction.**

→ Voir activité « forces et mise en mouvement » dans la partie approfondissement

# Exercices d'entraînement

## 1 - Exercices référentiel et trajectoire

### En mouvement dans un train.

« Je suis immobile dans un train qui avance à grande vitesse. Je marche dans le train dans le sens contraire à la marche. C'est quand je suis immobile que je bouge à la plus grande vitesse »

Commentez cette phrase.

Essayer de la reformuler de manière plus rigoureuse avec la notion de « référentiel »

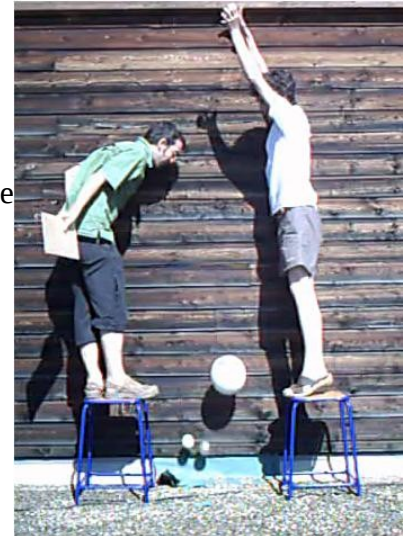
### Trajectoire

Proposer plusieurs trajectoires pour le mouvement d'une personne qui se déplace sur un manège (vue d'en haut), en allant du centre vers le bord dans différents référentiels.

## 2 - Evaluation sur la chute des corps

Masses : pétanque = 600 g, polystyrène = 60 g, tennis = 60 g

1. (facile) Pourquoi la grosse balle de polystyrène tombe moins vite que la balle de tennis (ayant la même masse) ?
2. (moyen) Pourquoi la boule de pétanque tombe après la balle de tennis (de même volume)
3. (difficile) Pourquoi, sans air donc sans frottements, la balle de pétanque tombe en même temps que la balle de tennis, alors que l'attraction de la terre est plus forte pour la boule de pétanque ?

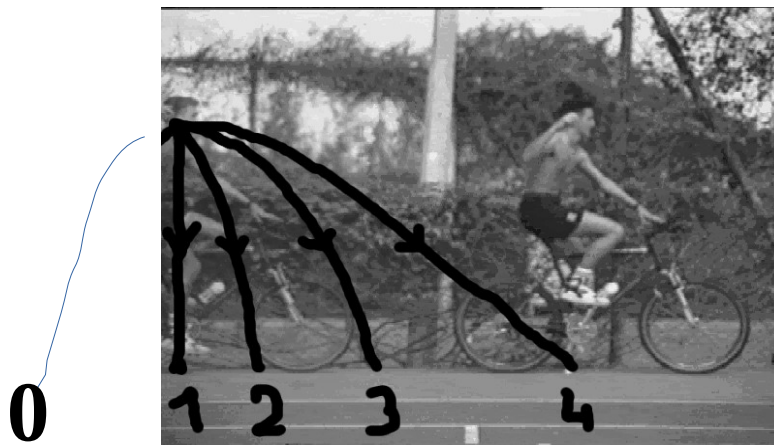




### 3 - Lâcher de balle à vélo

Vous êtes sur un vélo et avancez à vitesse constante. Vous lâchez une boule de pétanque et une balle de polystyrène, simplement en ouvrant votre main.

Sur l'illustration ci dessous sont représentés un cycliste à deux instants : au moment où il lâche la balle (image de gauche) et au moment où la balle touche le sol (image de droite).



Indiquer le N° de la trajectoire effectivement suivie par la boule de pétanque et justifier votre choix :

<b>Boule de pétanque</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>?</b>
<b>Balle de polystyrène</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>?</b>
Justification						

Si on était dans un espace sans air, comment serait changé le résultat de l'expérience ?

<b>Boule de pétanque</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>?</b>
<b>Balle de polystyrène</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>?</b>
Justification						

## 4 - Calculs avec la loi de gravitation universelle

A partir des données ci dessous, montrer que :

1. La gravité vaut 9,8 N/kg à la surface de la terrestre
2. Quelle vaut encore 80 % de cela à 400 km d'altitude (station spatiale internationale)
3. Que sur la Lune elle vaut 6 fois moins que sur terre.

Données à récupérer sur Internet : masse de la terre, de la lune, rayon de la terre, de la lune.

## 5 - Saut en parachute

Regardez la vidéo d'un saut en parachute

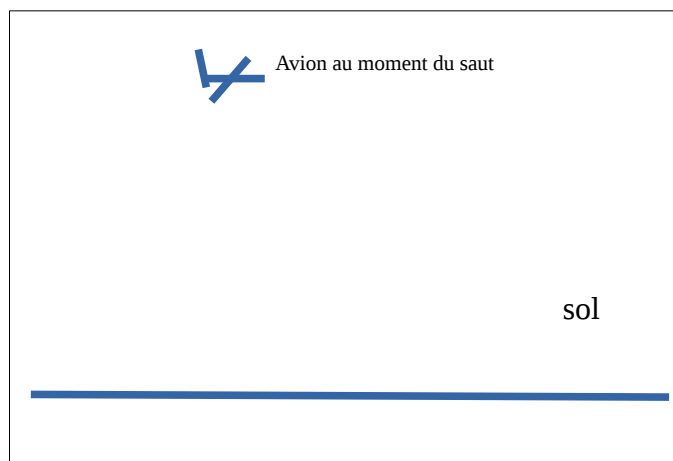
[http://www.dailymotion.com/video/xaylhx\\_saut-parachute-yo-25-10-09-bis\\_sport#.UNHZl3f0cwc](http://www.dailymotion.com/video/xaylhx_saut-parachute-yo-25-10-09-bis_sport#.UNHZl3f0cwc)

### Premières prévisions

Ci contre un dessin vue de coté montrant l'avion au moment du saut.

→ **Proposer une trajectoire pour le sauteur en parachute. En indiquant où à lieu l'ouverture, et l'endroit où il touche le sol.**

→ **Confronter cette prévision à celles des autres élèves. Argumenter en utilisant ce que vous savez des lois de la mécanique et les phénomènes étudiés en cours sur la chute des corps.**



### Confrontation avec une autre vidéo

Visionner maintenant une vidéo avec un autre point de vue (saut en « base jump »). Qu'est-ce que cela peut confirmer ou vous amener à modifier dans vos prévisions.

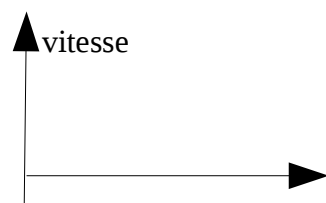
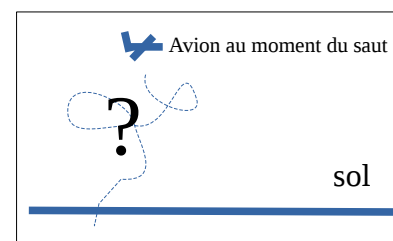
[http://www.dailymotion.com/video/x2kc9ce\\_terceira-ponte-base-jump\\_news](http://www.dailymotion.com/video/x2kc9ce_terceira-ponte-base-jump_news)

### Proposition finale

Proposer deux graphiques décrivant la chute du parachutisme pendant tout le vol, avec la phase parachute fermé et parachute ouvert.

- Graphique 1 : La trajectoire, vu de coté du saut.
- Graphique 2 : la vitesse fonction du temps.

Et un texte expliquant l'allure de ces courbe à l'aide des lois de la mécanique.


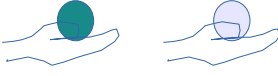
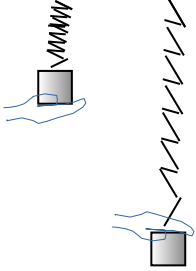



# Pistes d'approfondissement (Orientation Scientifique)

Lire le cours p 19

## 1 - Comment modéliser différentes situations d'immobilité avec des forces ?

On étudie plusieurs situations d'équilibre d'un objet soumis à plusieurs forces. Compléter le tableau suivant en représentant dans la dernière lignes les forces exercées (le premier cas est un exemple).

Expérience	<u>Ressort</u> + masse	<u>Boule</u> sur le sol	<u>Balle</u> sur l'eau
Actions exercées <u>sur</u>	La masse	La boule de pétanque ou la balle de tennis	La masse
Actions exercées <u>par</u>	La terre le ressort	La main la terre	La terre Le ressort La main
Schéma de l'expérience			
Vecteurs forces	$F_{\text{ressort/masse}}$  masse $F_{\text{terre/masse}}$		

### Règles :

- On représente toutes les actions.
- les flèches partent de l'objet
- elles sont orienté dans le sens de l'action
- elles sont d'autant plus grande que l'action est forte.

## 2 - Modélisation avec des forces de quelques situations avec des mouvements.

On considère trois situations de mouvement. Pour chaque situation proposer des schémas avec des forces qui permette d'expliquer le mouvement. Rédiger une phrase d'explication qui « fait parler le schéma ».

N'oubliez pas la notion d'inertie ...

Situation	Modélisation		
<p><i>On lance une masse sur une table bien savonnée. Elle glisse loin, bien plus loin que si il n'y avait pas eu de savon.</i></p>	Sans savon	Avec savon	
<p><i>On fait rouler une balle vers un sèche-cheveux. La balle avance vers le sèche cheveux en ralentissant (elle finira par s'arrêter et repartira en arrière)</i></p>	Avance en ralentissant		
<p><i>On lance une balle vers le haut. Elle monte de plus en plus lentement et va finir par s'arrêter et retomber.</i></p>	Monte	En haut	redescend

---

## 3 - Texte Histoire de la « révolution copernicienne »

---

### La réunification du ciel et de la terre

Depuis 3000 ans, les humains observent le ciel et la régularité des mouvements qu'ils y voient. L'étude de ces mouvements relèvent de ce qu'on appellera la « mécanique céleste ».

Dans le même temps, on s'interroge sur les mouvement ici-bas, sur terre. Les objets tombes, se déplacent sous les effets de différentes actions, certains montent spontanément, ... L'étude ce ces phénomènes relève de ce qu'on pourrait appeler la « mécanique terrestre ».

Aux commencement des études rationnelles du monde depuis l'antiquité, l'univers est pensé comme constitué de « deux mondes » bien distincts, « la-haut » et « ici-bas ». On est confronté à deux champs expérimentaux différents a priori sans relations.

La fin du XVIe siècle et le début du XVIIe vont être le théâtre d'une « révolution scientifique » majeure, appelle communément révolution copernicienne, qui aboutira à la réunification de ces deux mondes dans un seul. La terre n'est qu'une planète parmi les autres et les lois de la physique sont les mêmes dans tout le système solaire !

Cette histoire mêle Astronomie (une autre partie du cours) et Mécanique (cette partie). Voici

### Les grandes étapes

#### *Aristote et Ptolémé, le modèle antique*

Système géocentrique, avec terre ronde au centre du monde. Distinction entre « Monde des cieux », domaine de la perfection et le « monde terrestre », corruptible.

En bas (monde terrestre) : Mouvement naturel de chute et mouvement non naturels forcés = force dans le sens du mouvement.

En haut (monde des cieux) : mouvement « parfaits » circulaires uniformes.

#### *La révolution théorique de copernic et l'astronomie de précision des lois de Kepler*

Copernic : imagine que le soleil est le centre et que les planètes tournent autour.

Nombreuses mesures précises des positions des planètes dans le ciel au cours du temps par Tycho Brahé. En les exploitant Kepler montre qu'elles collent très bien avec un modèle où les planètes tournent autour du soleil sur des cercles légèrement aplatis (ellipses).

#### *Les observations et la physique de Galilée*

Galilée est partisan de Copernic et correspond avec Kepler. Il répond aux arguments sur la nécessaire immobilité de la terre grace à une nouvelle approche des lois de la physique. Il utilise aussi une lunette astronomique et fait des observations qui vont dans le sens de modèle de copernic. Il subira les foudres de l'inquisition pour ses prises de positions.

#### *La synthèse newtonienne*

Un siècle plus tard, Newton parachève l'oeuvre commencée par ses prédécesseurs en élaborant que qu'on appelle aujourd'hui la mécanique newtonienne. En développant les idées de Galilée et en inventant une théorie de la gravitation, il arrive à donner un cadre théorique cohérent pour comprendre tous les mouvements dans le système solaire.

Prolongée par mécanique quantique et relativité générale. Toujours d'actualité pour très nombreuses applications.



## Et maintenant ?

Mais l'histoire ne s'est bien sûr pas arrêtée là. Une nouvelle révolution scientifique majeure en physique au début du vingtième siècle est venue bouleverser le paysage. Le comble est que cette révolution est venu introduire une nouvelle fracture en « deux mondes » dans notre compréhension de l'univers physique. La physique de Newton qui avait unifié notre vision du monde à évolué pour donner naissance à deux théories physiques distinctes.

En « découvrant » le monde de l'infiniment petit, les physiciens ont du inventer les lois étrange de la « mécanique quantique ». Dans le même temps, le reste de l'univers regardé à une autre échelle obéit lui merveilleusement à la complexe « relativité générale ». Mais ces deux théories sont fondamentalement incompatibles... C'est un problème certe, mais du moment qu'elles marchent merveilleusement bien dans leur domaines respectifs, on peut faire avec. Sauf que dans certains cas, on aurait bien besoin des deux à la fois ... Mais avant d'en arriver là arrêtons nous sur ces deux théories.

## La mécanique quantique

Au niveau des particules élémentaires : comportement étrange des particules.

Dualité onde corpuscule : lumière = une onde (spectres) + un photo. Electron = particule + onde (Cf niveau électroniques KLM).

Monde étrange fait de « fonctions d'ondes », de probabilité de présence, de « sauts quantiques », et bien d'autres encore posant de sérieux problèmes philosophiques ...

Très difficile !!!

## La relativité générale

Tout aussi redoutable !

Une nouvelle théorie de la gravitation et des mouvements

Notions « d'espace temps élastique qui peut se déformer », écoulement local du temps et paradoxes temporels, déviation de la lumière par la gravité et espaces courbes, ...

Indispensable pour les calculs des GPS et permet même de mettre en équation la dynamique de l'univers dans son ensemble !

## Conclusion

Mais ces deux théories à l'immense prestige posent encore plus de questions qu'elles n'en résolvent, à commencer par la nécessité de trouver un moyen de les rendre compatibles entre elles pour pouvoir se pencher sur les premiers instants de l'univers. Une nouvelle physique nous fait défaut et elle reste à inventer.