

Chute libre et accélération

Galilée jette les bases de la
cinématique

Le mouvement des corps

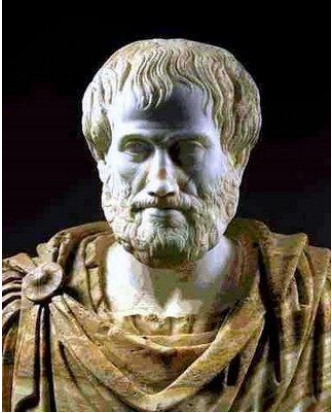
Prévoir la trajectoire d'un projectile



Modéliser le mouvement des astres



La mécanique d'Aristote



Aristote (-384 / -322): philosophe grec, disciple de Platon, il fut le précepteur d'Alexandre le grand.

-Raisonne à partir de la **perception des sens** et sur les **propriétés qualitatives** des corps.

-Ne fait pas confiance à un modèle qui reposerait sur des **atomes hypothétiques** ou des **formules mathématiques complexes**.

-Construction d'un **modèle cohérent de l'univers** qui sera utilisé jusqu'au XV siècle .

La mécanique d'Aristote

Aristote classe les mouvements des corps selon deux catégories

Mouvement « naturel »

Mouvement qui se fait sans l'intervention de l'homme
Exemple : La chute des corps



Mouvement « forcé »

Mouvement qui se fait sous l'impulsion de l'homme (ou de l'animal) et qui nécessite l'application continue d'une force pour être entretenu.



La mécanique d'Aristote

Quel est le « moteur » de la chute des corps?

Les corps se déplacent verticalement de façon à occuper la place qui leur appartient relativement à leur poids.

La nature « trie » et organise dans l'espace les corps relativement à leur densité

La mécanique d'Aristote

Quel est le « moteur » de la chute des corps?

Les corps se déplacent verticalement de façon à occuper la place qui leur appartient relativement à leur poids.

La nature « trie » et organise dans l'espace les corps relativement à leur densité

Conséquence : organisation de l'Univers

Les **éléments lourds** sont au **centre** de la sphère terrestre et les **éléments légers** à la **périphérie**. Les corps sont constitués d'un **mélange des 4 éléments**.

Le **changement** et le **mouvement** naissent de l'**imperfection** et de la **corruption** de la sphère terrestre



Remarques

La mécanique d'Aristote rend compte qualitativement des phénomènes observés et cherche à donner du **sens** au monde physique.

Elle ne prédit cependant **aucun résultat quantitatif** de mesure et ne peut donc être confrontée à l'expérience :

Elle ne peut être réfutée

Galilée



Galilée (Galileo Galilei) : mathématicien, géomètre, physicien et astronome italien (1564 - 1642)

- Il s'affranchit de la pensée d'Aristote

- Conception platonicienne de la physique

« La nature est un livre écrit en langage mathématique »

- Partisan d'un modèle d'Univers Héliocentrique

(complications possibles dans les relations avec le clergé).

- Il introduit une démarche qui confronte **modélisation mathématique** et **résultats expérimentaux**.

- Son ouvrages dont le « **Discours concernant deux sciences nouvelles** » relate ses travaux sur la chute libre et l'accélération.

Discours concernant deux sciences nouvelles



Préface à la troisième journée

« Il n'est peut-être rien dans la nature d'antérieur au mouvement, et les traités que lui ont consacrés les philosophes ne sont petits ni par le nombre ni par le volume. »

« Certaines [propriétés], plus apparentes, ont été remarquées, tel le fait que le mouvement naturel des graves, en chute libre, est continuellement accéléré ; selon quelle proportion, toutefois, se produit cette accélération, on ne l'a pas établi jusqu'ici. »

« On a observé que les corps lancés, ou projectiles, décrivent une courbe d'un certain type ; mais que cette courbe soit une parabole, personne ne l'a mis en évidence. »

Chute libre



Un objet lâché depuis une **position de repos** est mis en mouvement par la gravité: il **chute verticalement**.

Comment est parcourue la distance entre le sommet et le sol?

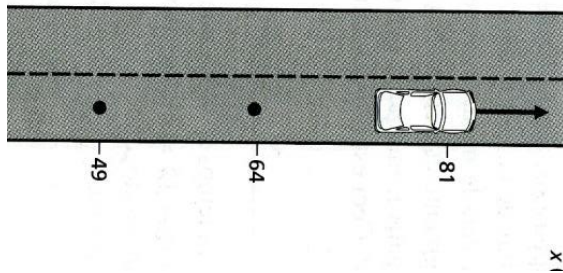
Comment **caractériser** ce mouvement?

Les grandeurs physiques

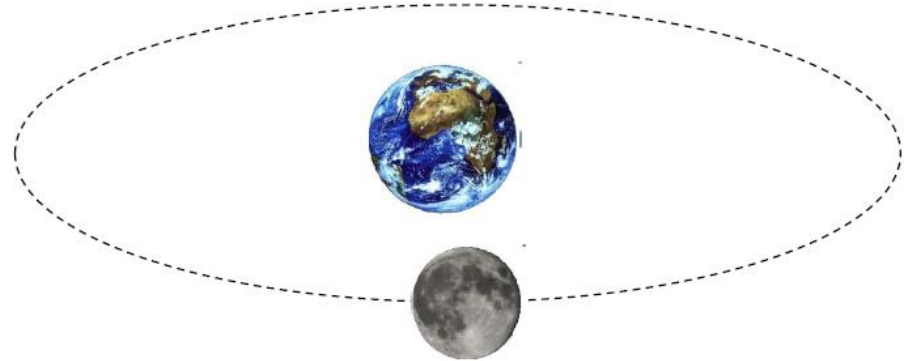
Définition : La trajectoire est **l'ensemble des points géométriques** qui repèrent la position d'un corps au cours de son mouvement. **L'équation de la trajectoire** est une **relation mathématique** qui lie les différentes coordonnées relatives à la position du corps étudié.

Exemple de trajectoires simples

Trajectoire rectiligne : une voiture circule sur une route en ligne droite



Trajectoire circulaire : orbite de la lune autour de la terre



Les grandeurs physiques

La **vitesse** est le rapport d'une distance exprimée en mètre(m) divisée par un temps exprimé en seconde(s).

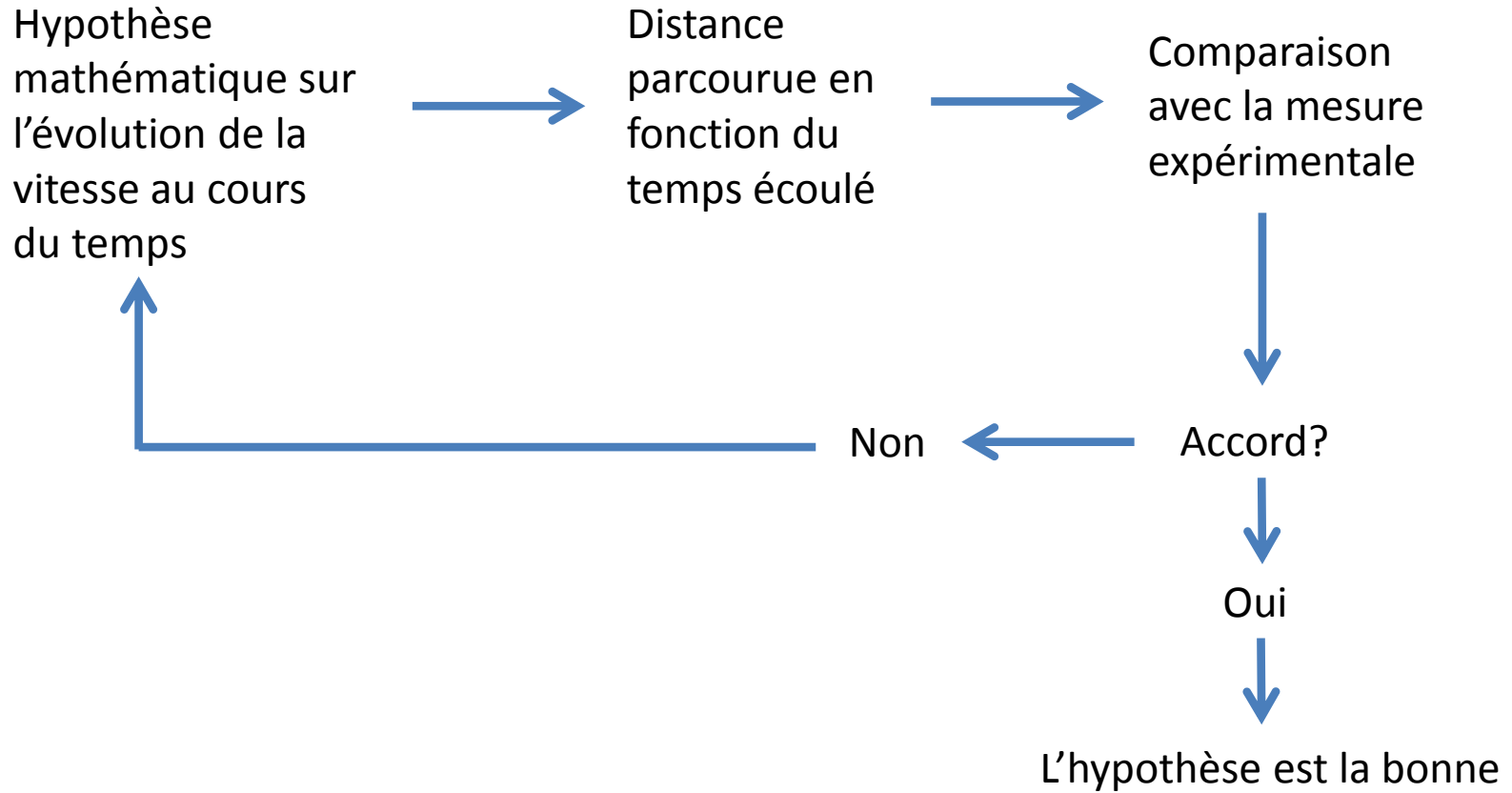
En physique, La vitesse doit exprimer la distance parcourue par unité de temps mais également la **direction du mouvement**.

La vitesse est représentée en physique par un **vecteur tangent en tout point de la trajectoire**.

L'**accélération** caractérise **l'évolution de la vitesse au cours du temps**.

Le mouvement est accéléré s'il y a changement dans la valeur de la vitesse ou dans la direction du mouvement

Protocole



Hypothèse sur l'accélération

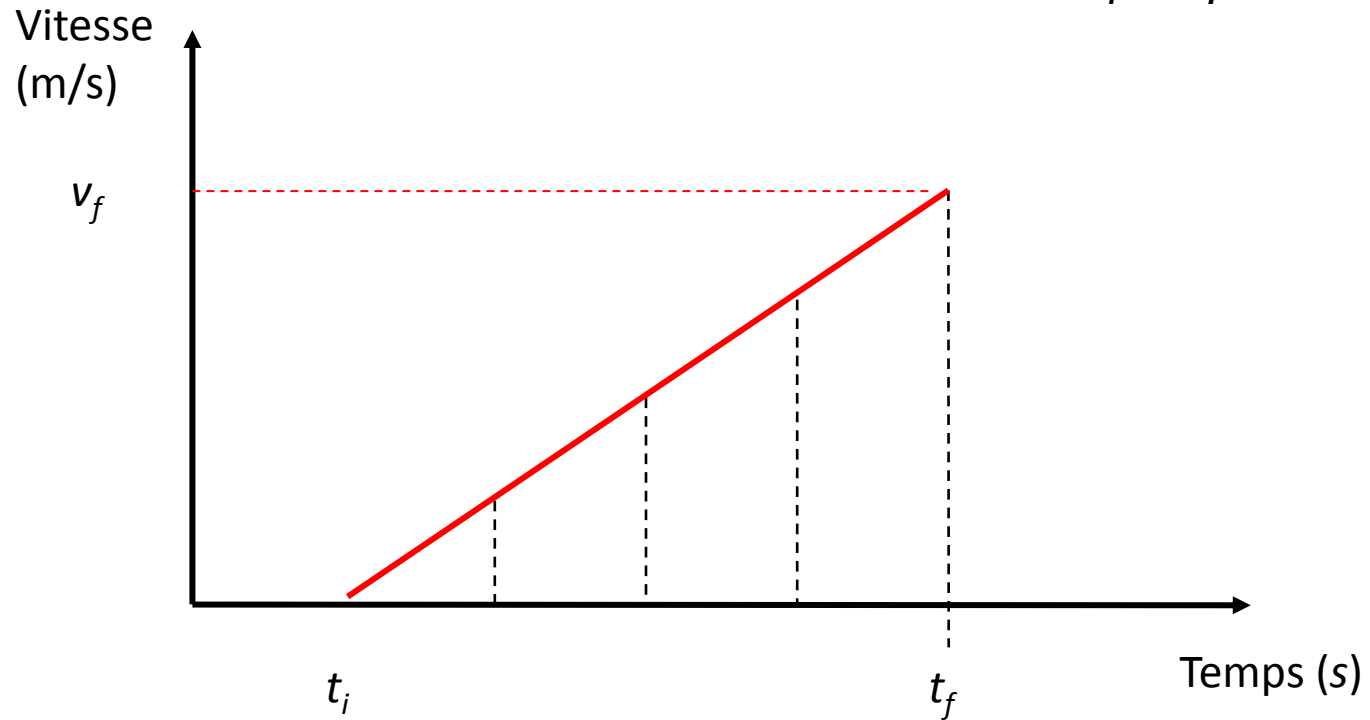


« Quand donc j'observe qu'une pierre tombant d'une certaine hauteur à partir du repos acquiert successivement de nouvelles augmentations de vitesse, pourquoi ne croirais-je pas que ces additions ont lieu selon la **proportion la plus simple et la plus évidente** ? »

« Nous disons qu'est également ou **uniformément accéléré** ce mouvement qui, partant du repos, voit s'ajouter **en des temps égaux des moments égaux de vitesse**. »

Mouvement uniformément accéléré

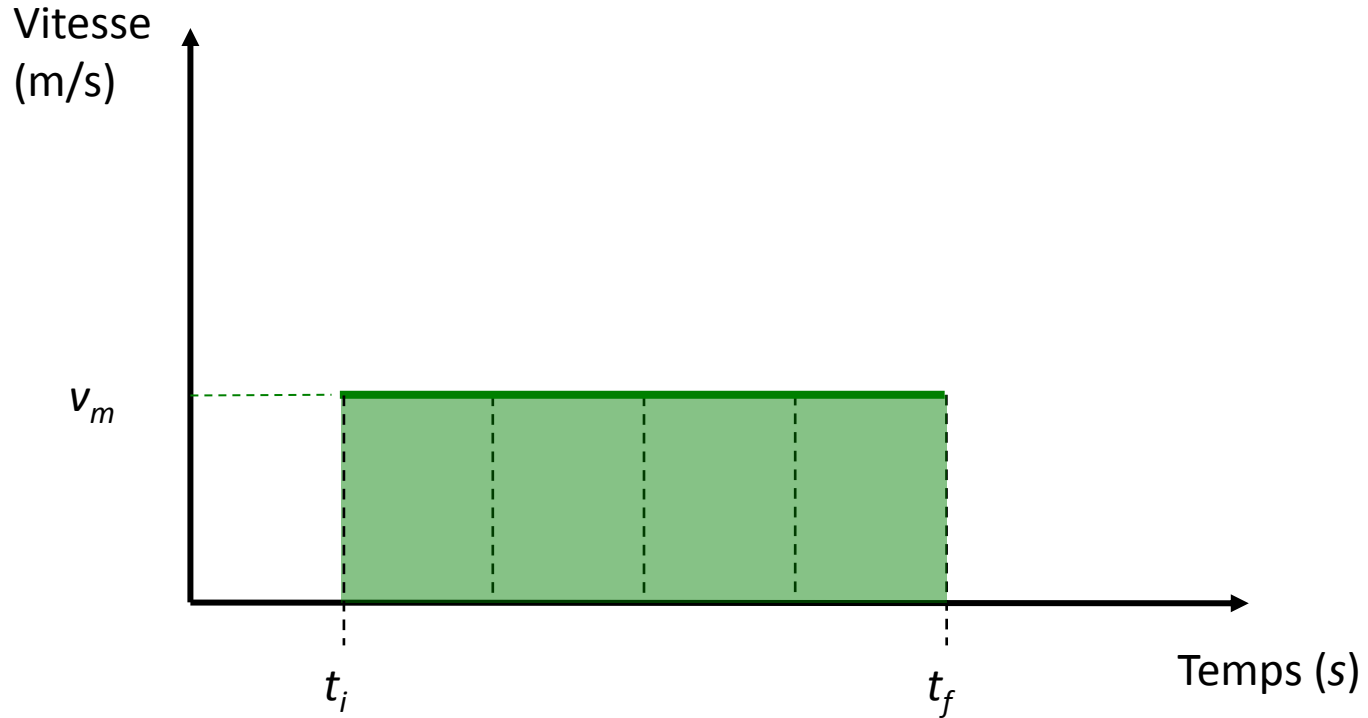
Soit un corps uniformément accéléré alors : $v = a \times (t_f - t_i)$



Comment évolue la distance parcourue en fonction du temps de chute?

Calcul de la distance parcourue

Mouvement uniforme $v = \text{constante}$

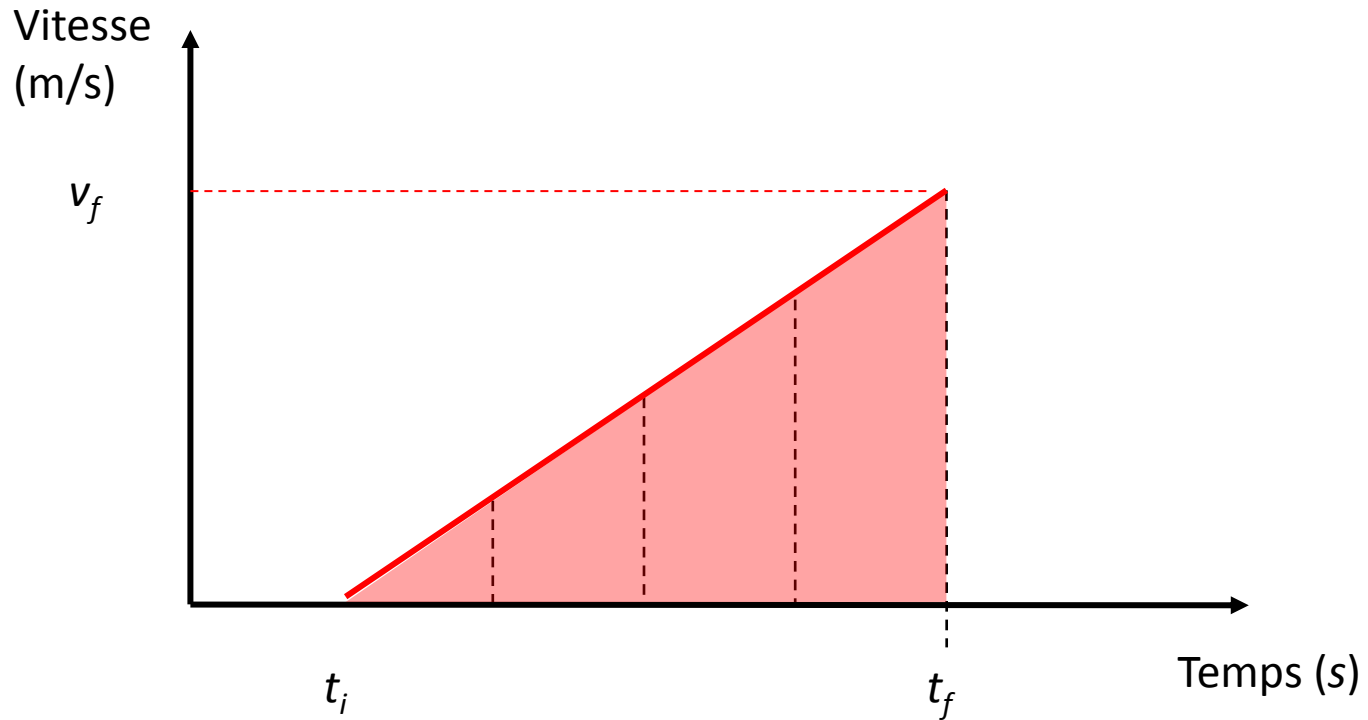


Distance parcourue: $d = v_m \times (t_f - t_i)$

= aire du rectangle

Calcul de la distance parcourue

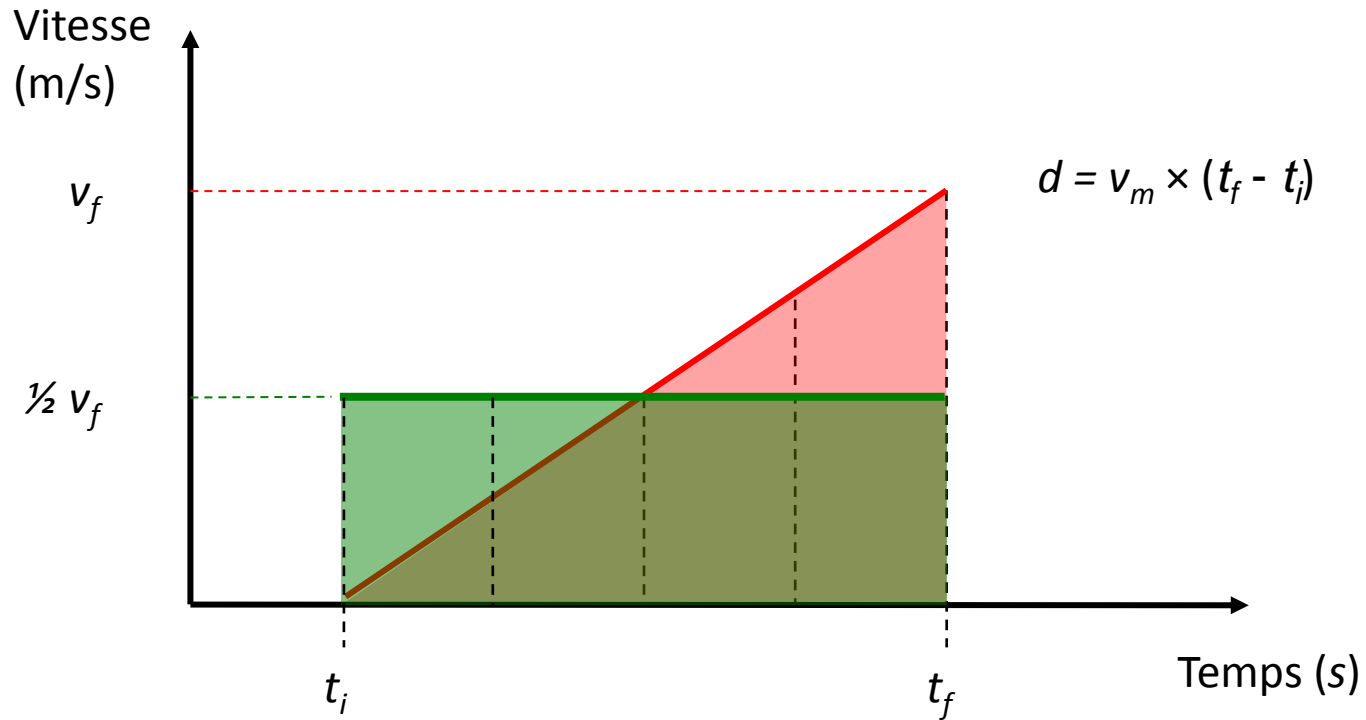
Mouvement uniformément accéléré : $v = a \times (t_f - t_i)$



Distance parcourue: **aire du triangle** $d = [v_f \times (t_f - t_i)]/2$

Calcul de la distance parcourue

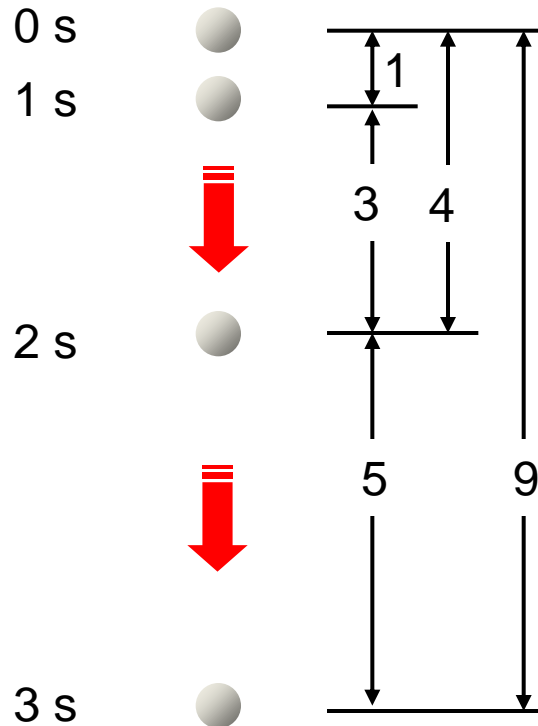
Mouvement uniformément accéléré : $v = a \times (t_f - t_i)$



Distance parcourue: $d = \frac{1}{2} v_f \times (t_f - t_i)$ avec $v_f = a \times (t_f - t_i)$

$$d = \frac{1}{2} a \times (t_f - t_i)^2$$

Calcul de la distance parcourue



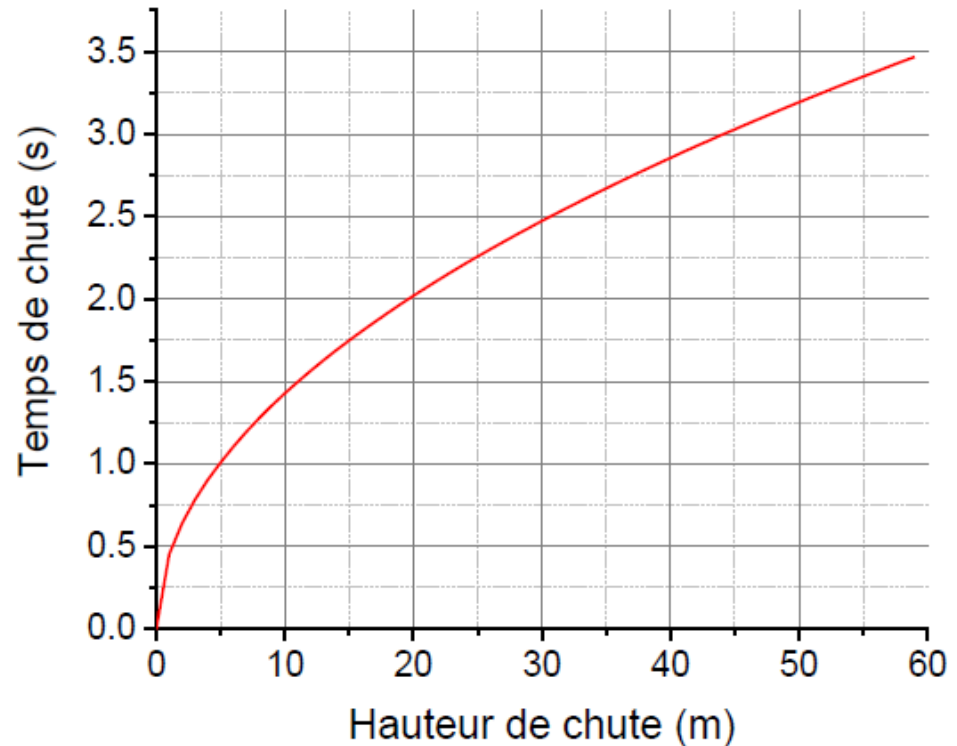
$$d = \frac{1}{2} a \times (t_f - t_i)^2$$

« Si un mobile, partant du repos, tombe avec un **mouvement uniformément accéléré**, les **espaces parcourus en des temps quelconques** par ce même mobile sont entre eux en raison double des temps, c'est-à-dire comme **les carrés de ces mêmes temps**. »

Problème

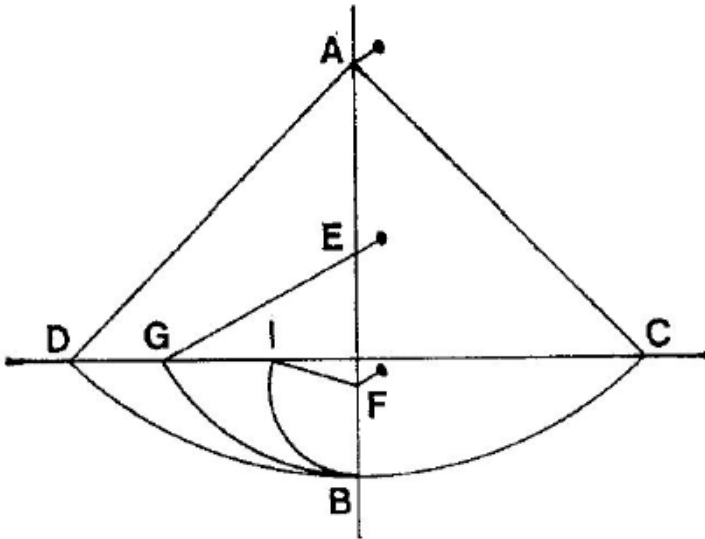
En pratique $a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$

La vitesse augmente très rapidement conduisant à des temps de chute très brefs



Les temps de chute sont trop brefs en regard de la précision des outils de mesure du temps disponibles.

Pendule pesant



Une **sphère de plomb** se balance le long d'un mur vertical à l'extrémité d'un **fil fixé en A**.

La **longueur du pendule** peut être modifiée par des **clous plantés** en E et F.

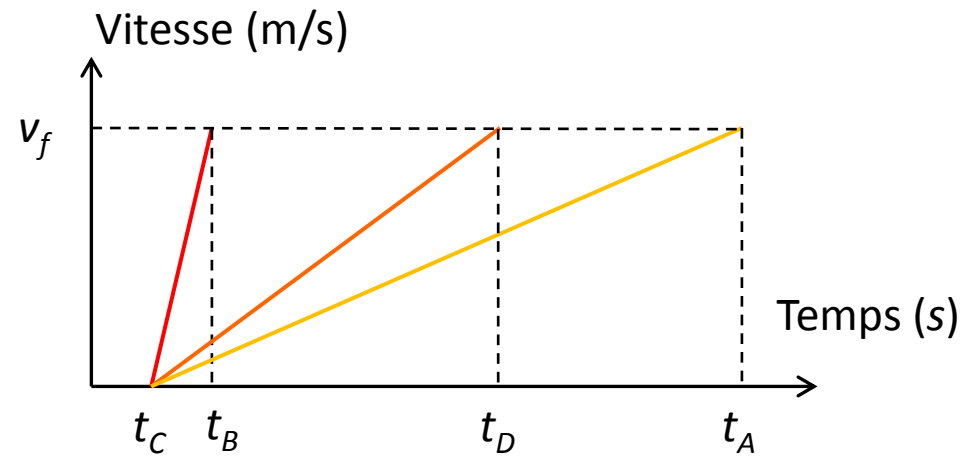
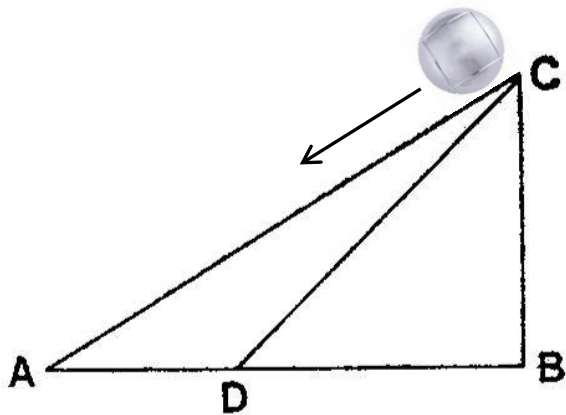
À quelle altitude la masse remonte-t-elle après avoir parcouru un arc de cercle?

Galilée constate que la boule atteint quasiment l'altitude de départ quelque soit le rayon de l'arc de cercle parcouru.

Il généralise cette propriété à tous les systèmes accélérés par la pesanteur.

Plans inclinés : approche qualitative

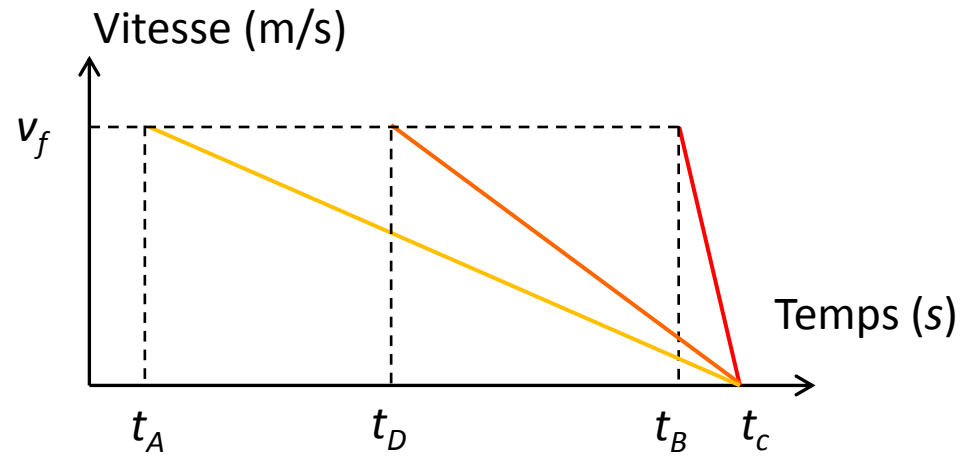
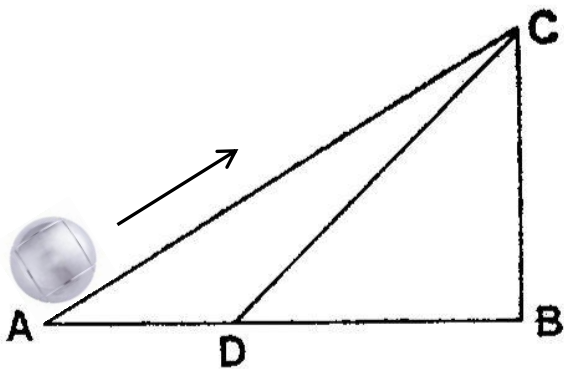
« Les degrés de vitesse qu'un même mobile acquiert sur des plans différemment inclinés sont égaux, pourvu que les hauteurs de ces plans soient égales. »



La **vitesse** au bas du plan inclinée est **la même** dans les trois cas.
Elle n'est pas atteinte au même instant.
L'accélération **diminue** avec l'angle d'inclinaison.

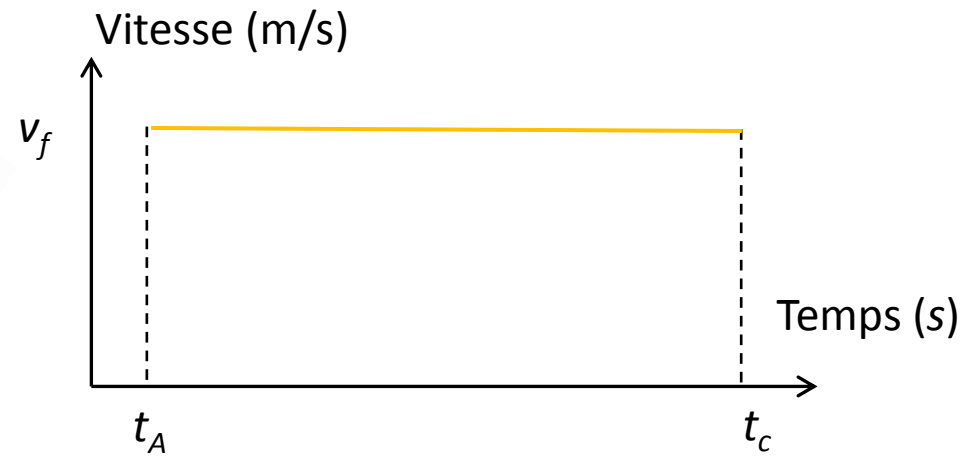
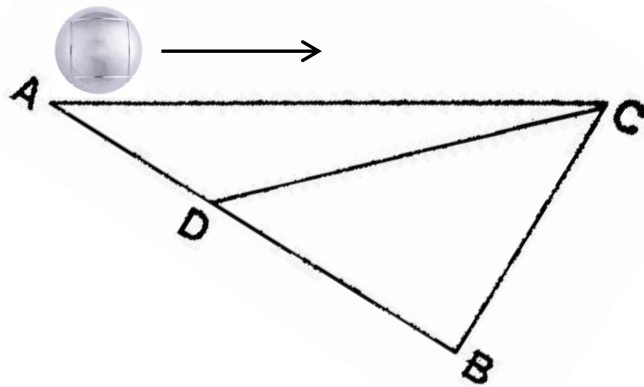
Plans inclinés : approche qualitative

« Les degrés de vitesse qu'un même mobile acquiert sur des plans différemment inclinés sont égaux, pourvu que les hauteurs de ces plans soient égales. »



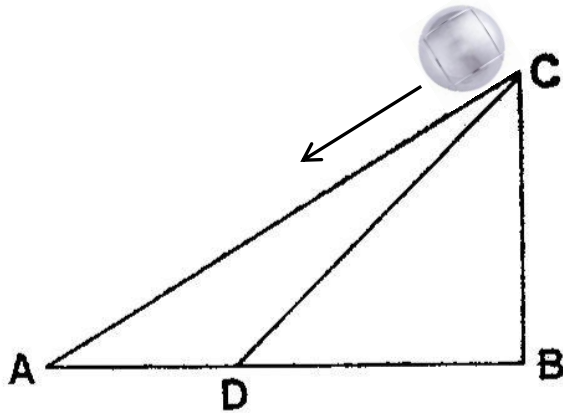
Le processus est **réversible**, la gravité est à l'origine de la **diminution** de la vitesse dans le premier cas et de son **augmentation** dans le deuxième.

Plans inclinés : approche qualitative



Si l'angle d'inclinaison est ramené à zéro, la gravité est « neutralisée » et **la vitesse se conserve**.

Plans inclinés : temps de chute



$$v_A = v_B = v_f$$

La **vitesse moyenne** est la même pour les trajets CA et CD :

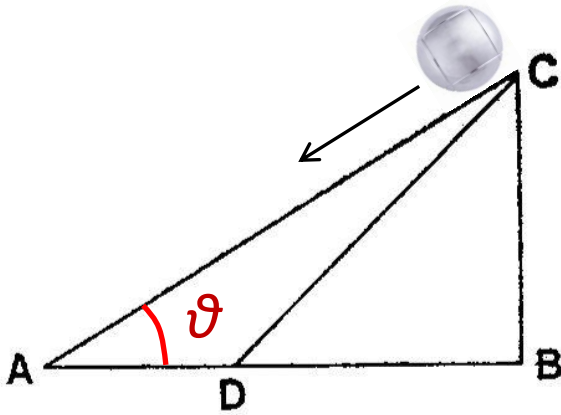
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} v_f \times t_{CA} = AC \\ \frac{1}{2} v_f \times t_{CB} = CB \end{array} \right.$$

$$AC / CB = t_{CA} / t_{CB}$$

« Si un même corps, partant du repos, se meut sur un plan incliné, puis le long d'une verticale, la hauteur étant la même dans les deux cas, les **temps des mouvements** seront entre eux comme les **longueurs respectives du plan incliné et de la verticale.** »

Plans inclinés : accélérations

La **vitesse finale** est la même pour les trajets CA et CB



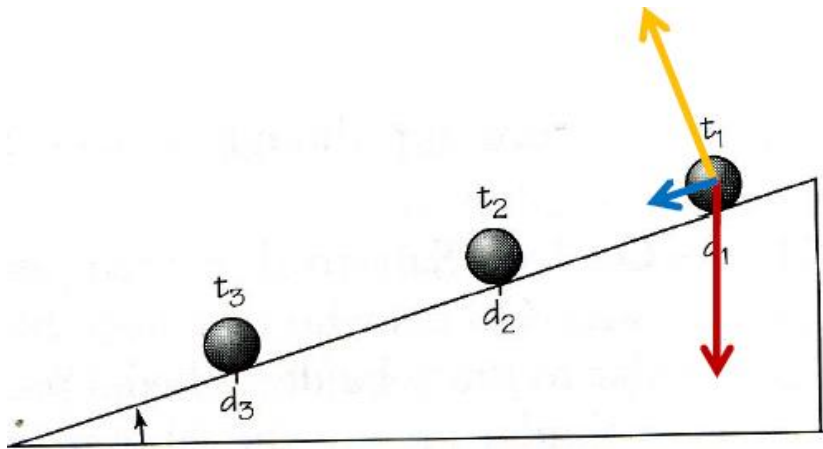
$$v_f = a_{CA} \times t_{CA} = a_{CB} \times t_{CB}$$

$$a_{CA} / a_{CB} = t_{CB} / t_{CA} = CB / CA$$

$$CB / CA = \sin \vartheta$$

Si $a_{CB} = g = 9,81 \text{ m/s}^2$ alors $a_{CA} = g \sin \vartheta$

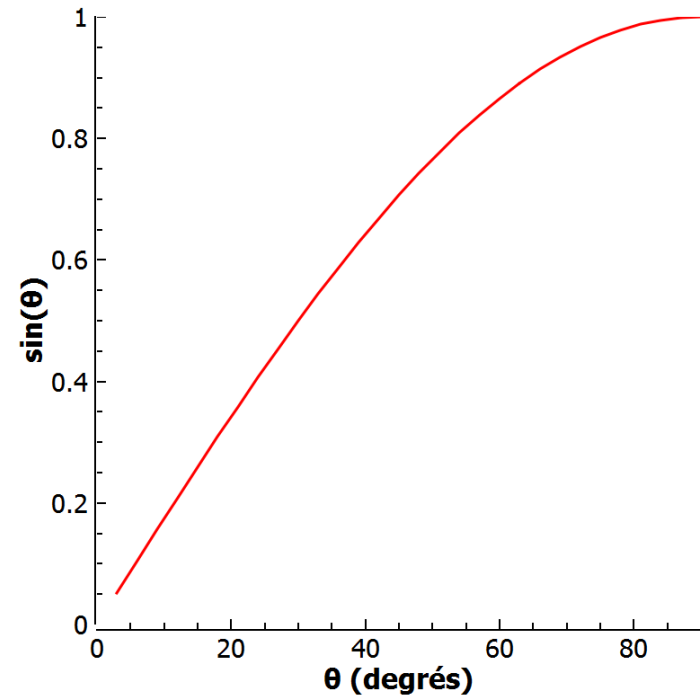
Interprétation en terme de forces



Si ϑ est l'angle d'inclinaison et g l'accélération de la pesanteur alors

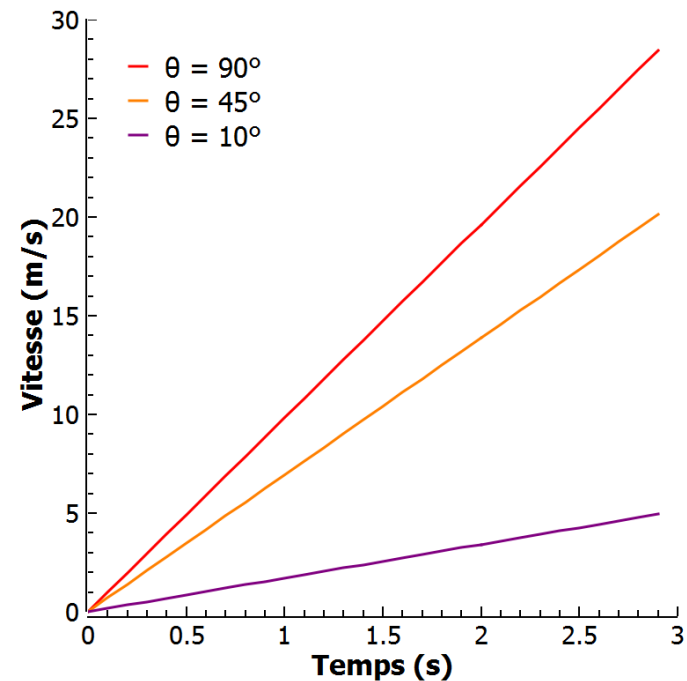
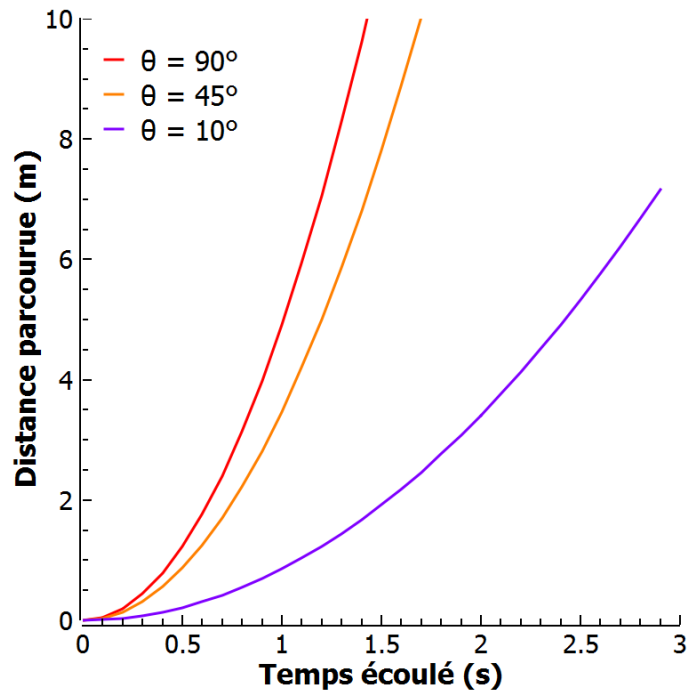
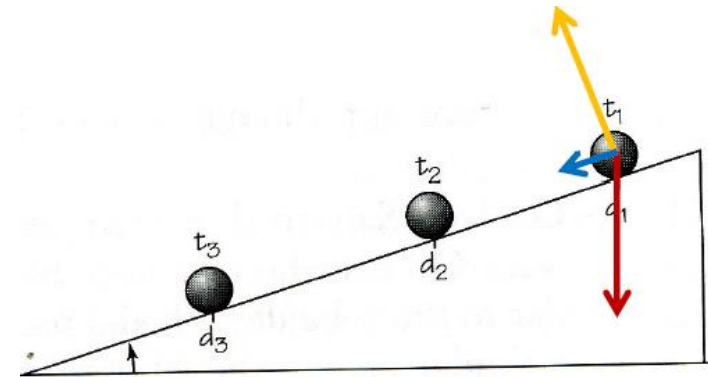
$$a = g \sin \vartheta$$

L'accélération effective résulte du **poids** de la bille et la **réaction du support**



Interprétation en terme de forces

L'accélération effective résulte du **poids** de la bille et la **réaction du support**

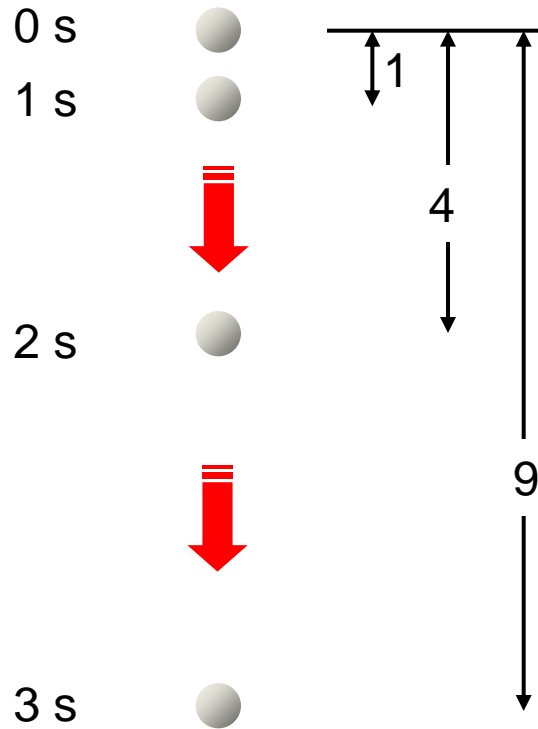


« Dans une règle, ou plus exactement un chevron de bois, long d'environ 12 coudées, large d'une demi-coudée et épais de 3 doigts, nous creusions un petit canal d'une largeur à peine supérieure à un doigt, et parfaitement rectiligne ; après l'avoir garni d'une feuille de parchemin bien lustrée pour le rendre aussi glissant que possible, nous y laissions rouler une boule de bronze très dure, parfaitement arrondie et polie. Plaçant alors l'appareil dans une position inclinée, en élevant l'une de ses extrémités d'une coudée ou deux au-dessus de l'horizon, nous laissions, comme je l'ai dit, descendre la boule dans le canal, en notant, selon une manière que j'exposerai plus loin, le temps nécessaire à une descente complète. »



Galilée démontrant à Pise ses expériences sur la chute des corps

Le mouvement des projectiles



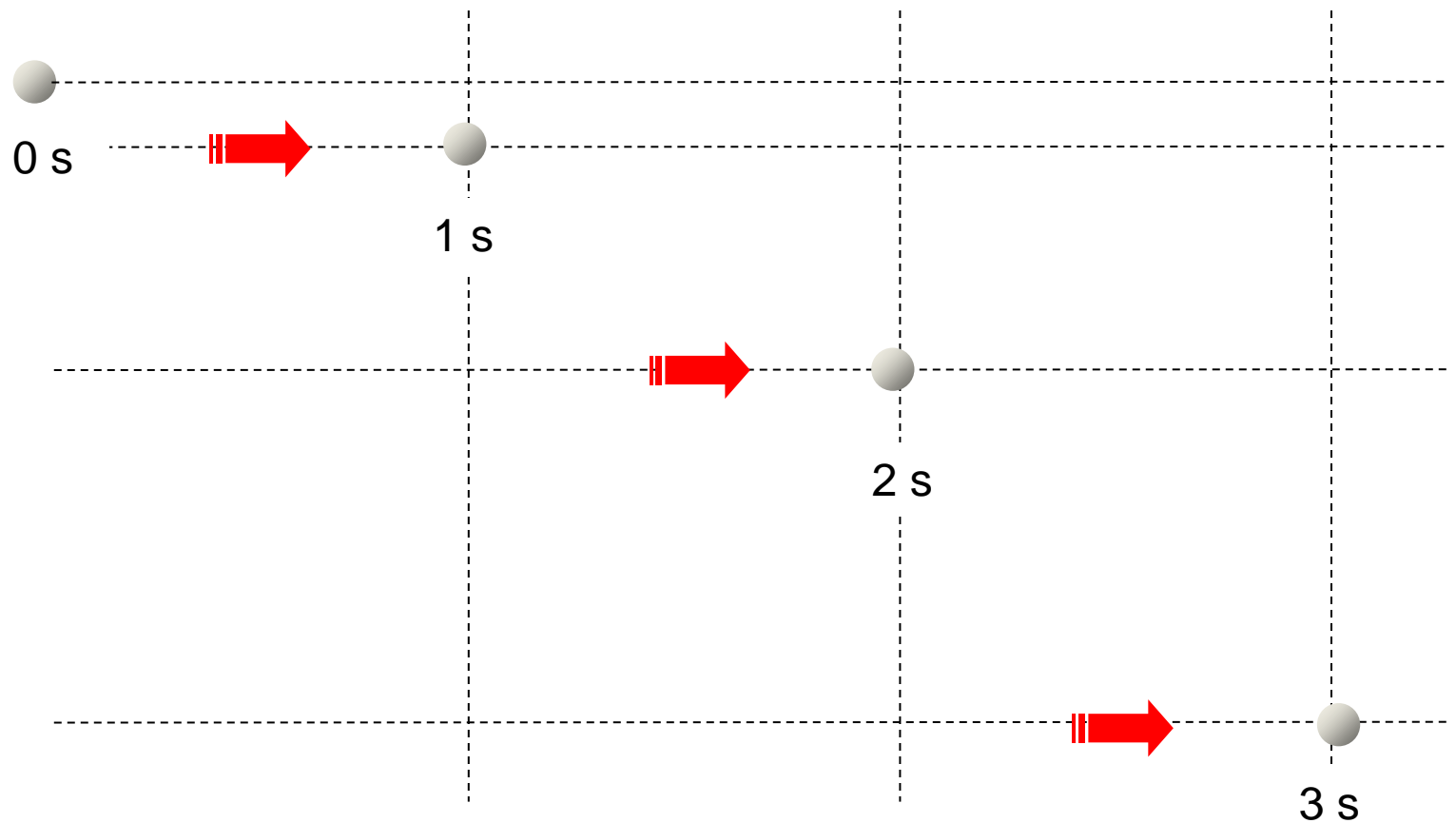
Le mouvement des projectiles



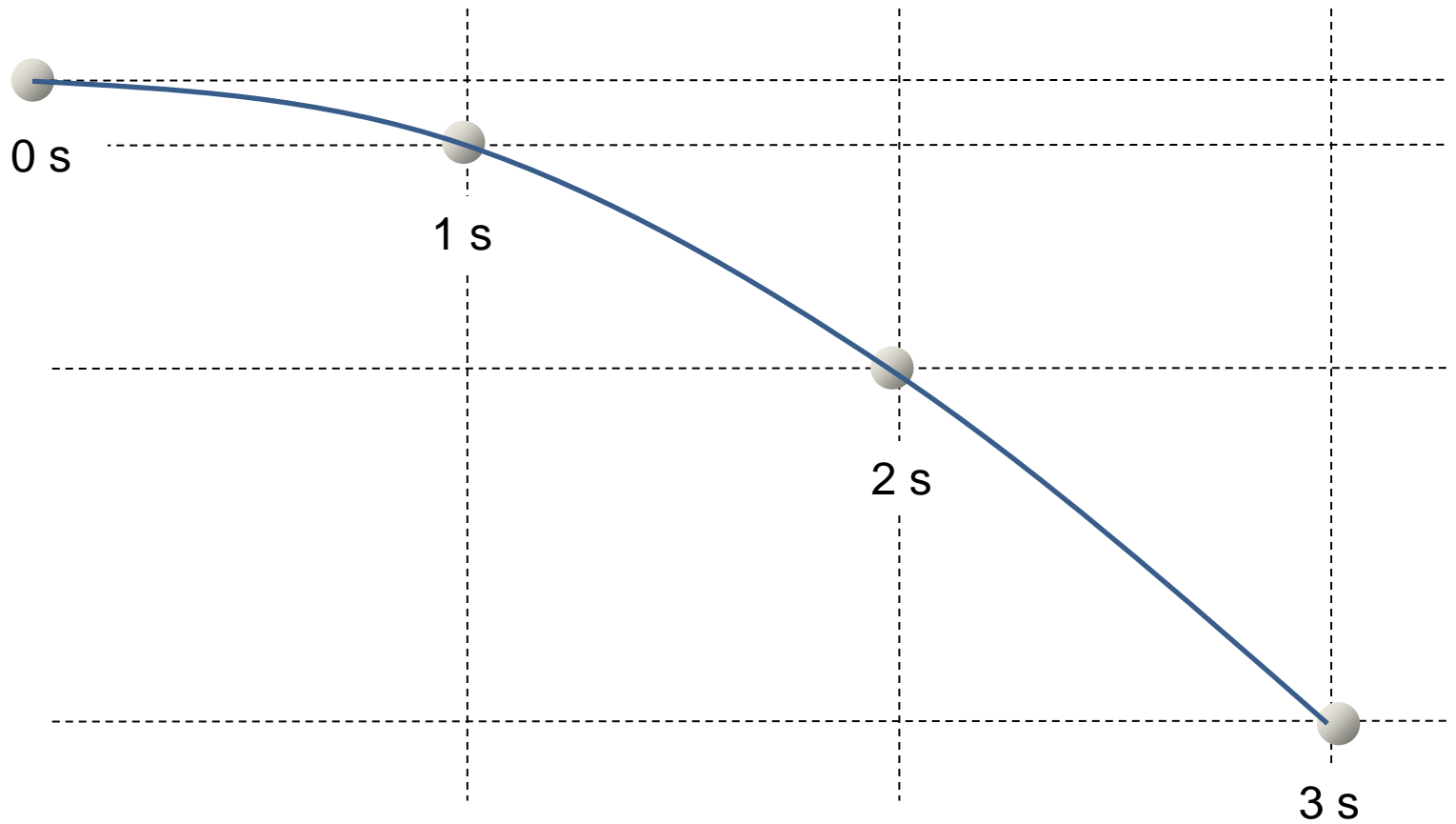
Le mouvement des projectiles



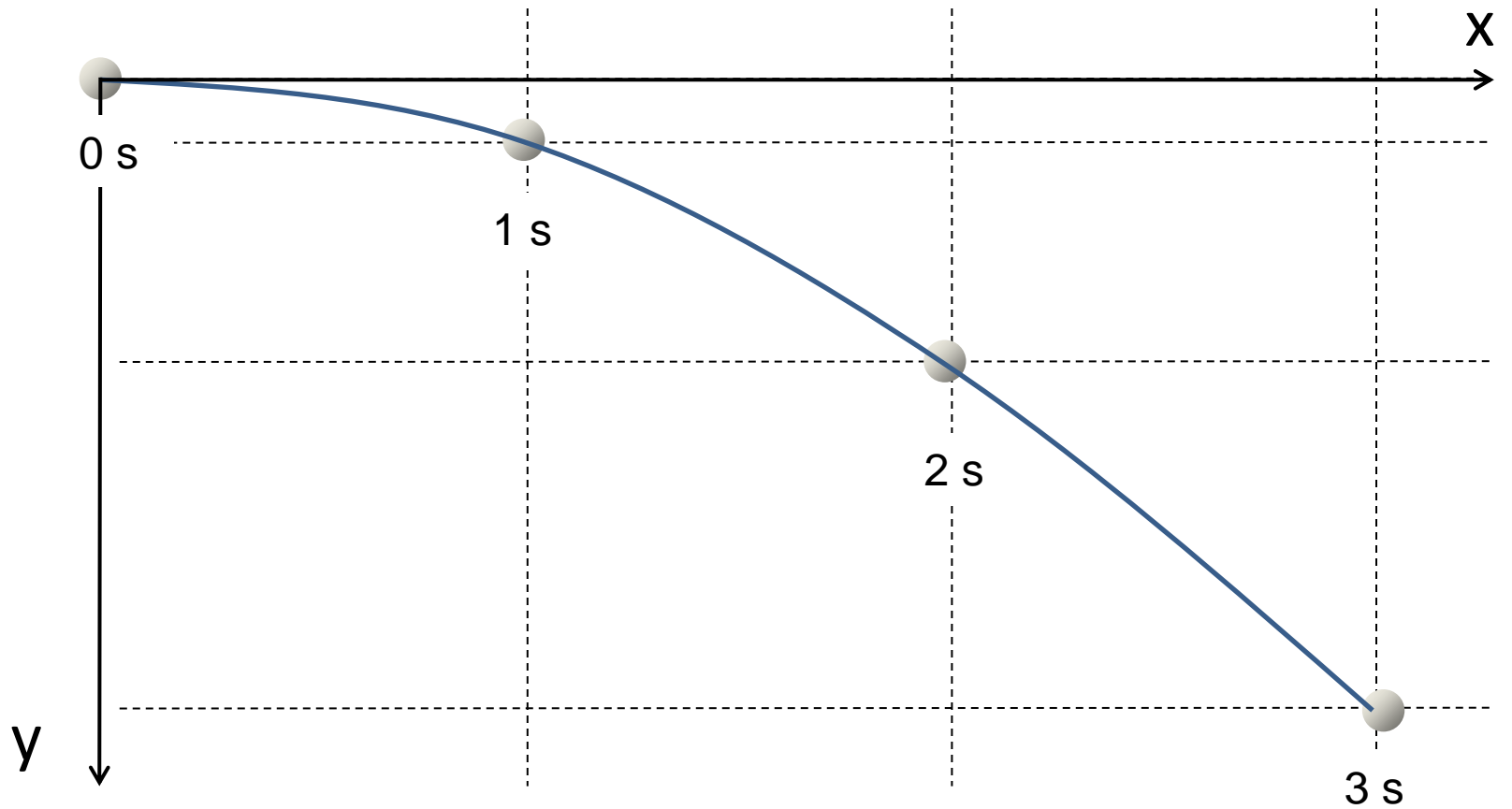
Le mouvement des projectiles



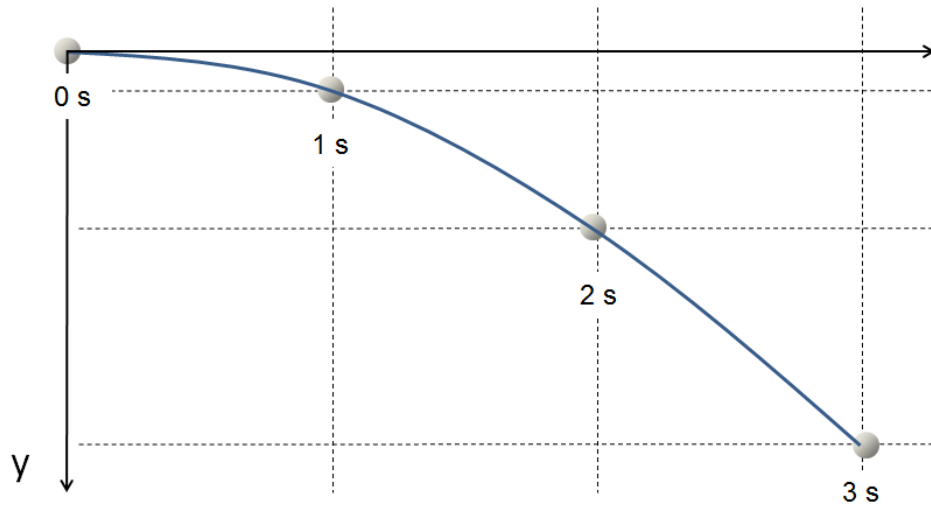
Le mouvement des projectiles



Le mouvement des projectiles



Le mouvement des projectiles

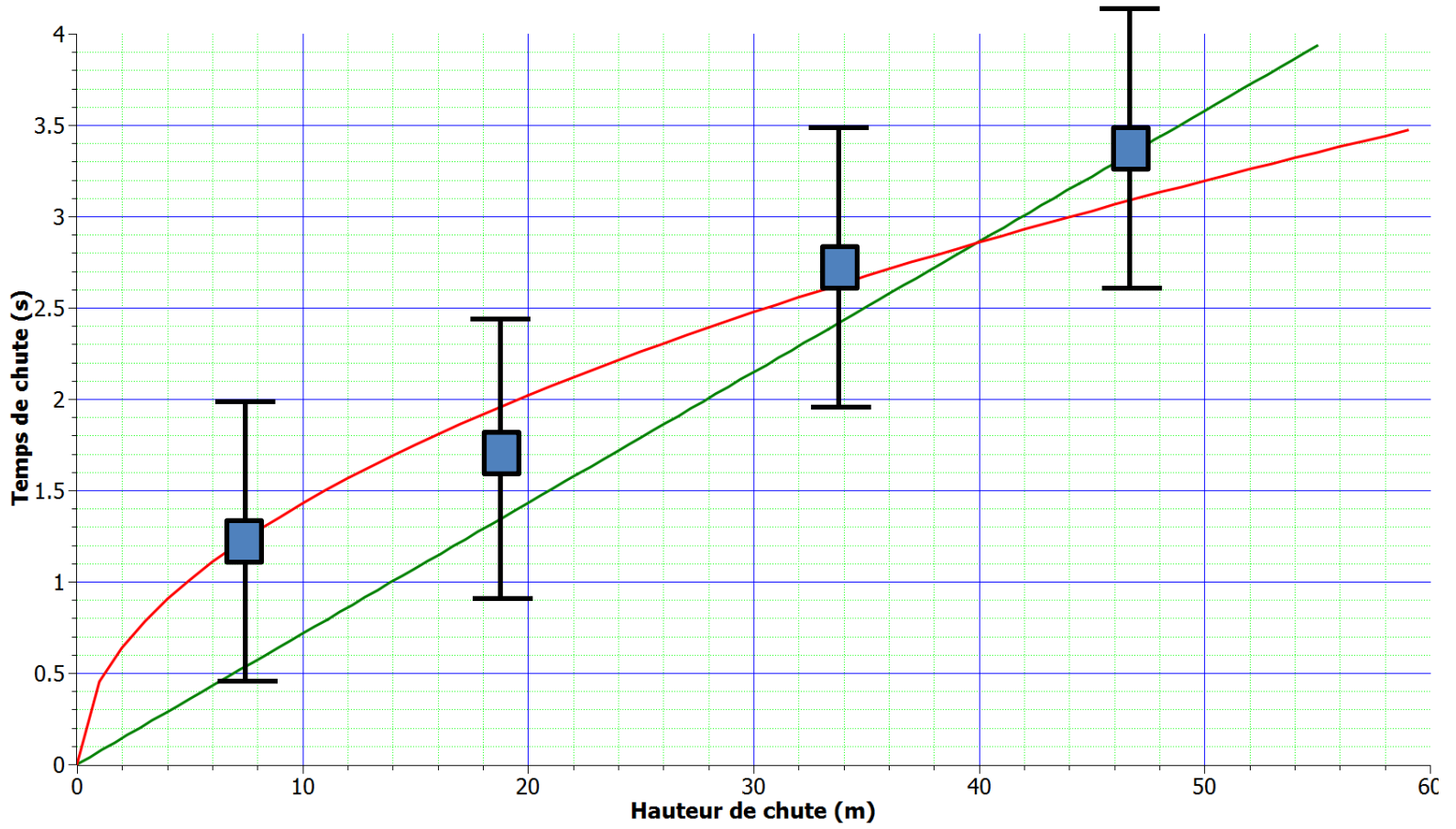


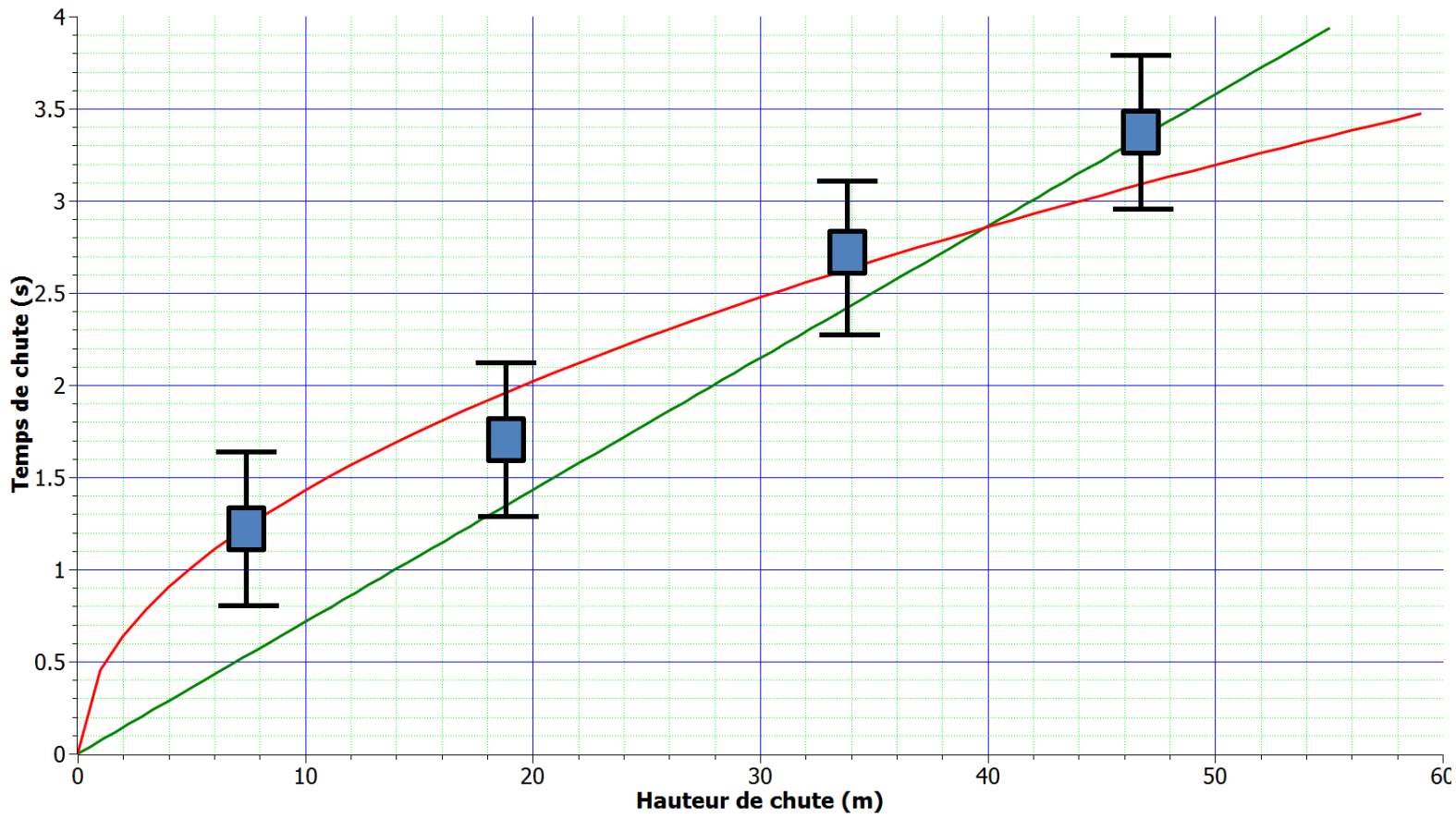
$$\begin{cases} x = v_x \times t \\ y = \frac{1}{2} g \times t^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} t = x / v_x \\ y = \frac{1}{2} g \times (x / v_x)^2 \end{cases}$$

Conclusion

- Les travaux de Galilée sur la vitesse, l'accélération et la chute des corps constituent une **étape essentielle du développement de la physique**.
- Il met en place une méthode scientifique rigoureuse et procède par comparaison entre **expériences** et **modélisation mathématiques**.
- Il explique **comment** les objets chutent mais pas pourquoi. Il établit les bases de la **cinématique**.
- Son travail prendra encore plus d'importance lorsqu'il sera combiné à l'étude des causes du mouvement (forces) par Newton.





Principe d'inertie

Un corps isolé est :

- soit au repos
- soit en mouvement rectiligne uniforme

L'application continue d'une force n'est pas nécessaire à la perpétuation du mouvement.

