

Expériences historiques contestées, problématiques détournées, anachronismes piégeants

Le cas des expériences de Galilée

Pierre LAUGINIE

GHDSO, Université Paris-Saclay, faculté des sciences d'Orsay

« N'est-ce pas une illusion fréquente chez l'homme d'aujourd'hui que de trouver quasi impossibles des entreprises que l'homme d'autrefois a effectivement réalisées ? »

(Jean Mesnard)

Trois exemples chez Galilée

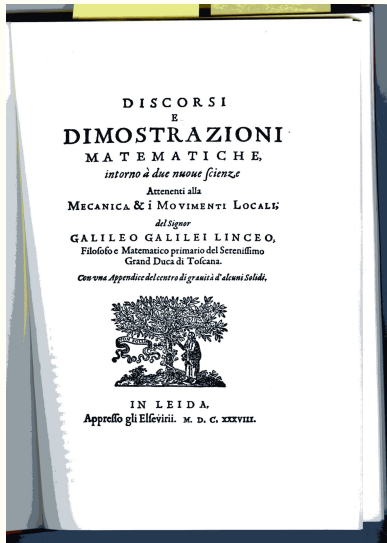
1. Galilée et le « passe-vins » : un détournement flagrant de problématique ;
2. Galilée, le plan incliné et le concept de vitesse ;
3. Galilée et « l'instantanéité » : l'expérience des lanternes.

Tous trois tirés de :

Discours concernant deux sciences nouvelles (Leyde, 1638)

Galilée (1564-1642) : Discours sur deux sciences nouvelles (1638)

(trad. Maurice Clavelin, PUF, Paris, 1995)



1 – Galilée et le « Passe-vins » ou « Remonte-vin »

Le texte de Galilée (trad. M. Clavelin) :

Galilée, in : *Discours sur deux sciences nouvelles* (1638) :

Salviati — [...] on remplit d'eau un globe de cristal muni d'un orifice pas plus large qu'un brin de paille, puis on le retourne, l'ouverture dirigée vers le bas : l'eau, malgré sa gravité considérable et *sa propension à descendre dans l'air*, celui-ci *malgré sa disposition contraire pour s'élever*, refusent l'un comme l'autre de passer par l'orifice, et demeurent tous deux opiniâtrement sur leur position.

*Si en revanche on place l'ouverture dans un récipient contenant du vin rouge, [. . .] on verra aussitôt celui-ci s'élever lentement dans l'eau sous forme de traînées rouges, et cette dernière, avec une égale lenteur, descendre dans le vin, **sans se mélanger**, si bien qu'en fin de compte le globe se remplira complètement de vin et l'eau passera tout entière dans le récipient inférieur.*

La déclaration de Koyré

in : *Métaphysique et mesure (1960)*

Koyré perplexe devant l'expérience rapportée par Salviati :

« [...] si nous la répétons exactement comme elle est décrite, [...] nous ne verrions pas l'eau et le vin simplement se remplaçant mutuellement ; nous verrions la formation d'un mélange.

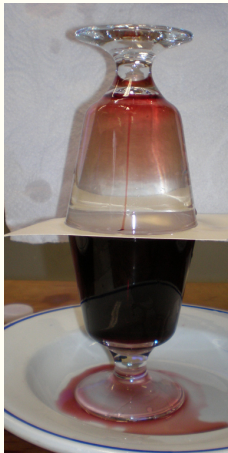
Que conclure ? [...] ou pouvons-nous supposer que Galilée, qui sans aucun doute n'a jamais mélangé d'eau à son vin [...], n'avait jamais fait l'expérience ; mais que, en ayant entendu parler, il la reconstruisit dans son imagination, acceptant la totale et essentielle incompatibilité de l'eau et du vin comme un fait indubitable ?

Personnellement, je présume que [cette] seconde explication est la bonne. »

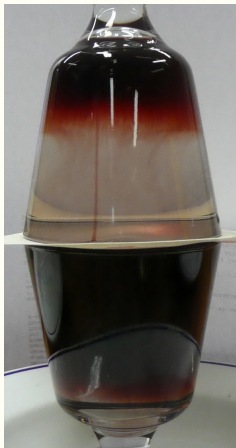
L'expérience réalisée



Préparation



après 2 min



après 15 min

Autres exemples



Un transfert quasi-complet



Deux trous



Deux fioles

Aspects dynamiques

Compétition entre deux phénomènes
de temps caractéristiques très différents :

- ▶ *décantation par gravité*, démarre quasi immédiatement ;
- ▶ *diffusion d'un liquide dans un autre* : le temps caractéristique peut *atteindre des heures* si tout est parfaitement calme ;
- ▶ *échange incomplet* en général avec récipients usuels (verres, flacons) : la diffusion (mélange) prenant le dessus au bout de quelques heures ;
- ▶ mais *échange complet* possible avec de « petits » récipients
⇒ voir image suivante.

Un très bel exemple par
Pere Grapí-Vilumara et al
Universitat Autònoma de Barcelona



Voir la vidéo : <http://youtu.be/-B27s1PmPPA>

Problématique de Galilée

versus

problématique moderne

- ▶ « moderne » (Koyré) : pourquoi donc le filet de vin *ne se mélange-t-il pas à l'eau* ?
- ▶ Galilée :
 - ▶ Salv. :
« *Vous voyez donc à quel point se trompent ces philosophes qui attribuent à l'eau une viscosité ou un principe quelconque de liaison, obstacles effectifs à la division et à la pénétration* » ;
 - ▶ Sagr. : mais alors,
« *à supposer qu'il n'y ait entre les parties de l'eau ni ténacité ni cohérence, comment de grosses gouttes d'eau peuvent-elles se maintenir et faire saillie, notamment sur les feuilles des choux, sans s'écouler et s'aplanir ?* »
 - ▶ Réponse : parce qu'il y a *incompatibilité* entre l'eau et son environnement – ici l'air ;
 - ▶ contre-preuve : l'expérience du passe-vins !
si compatibilité eau/vin \implies alors le vin monte dans l'eau.

Salviati — *Et de fait, il existe entre l'air et l'eau un antagonisme très net* comme je l'ai observé [. . .] on remplit d'eau un globe de cristal, [. . .]

l'eau, malgré sa gravité considérable et sa propension à descendre dans l'air, celui-ci malgré sa disposition contraire pour s'élever, refusent l'un comme l'autre de passer par l'orifice, et demeurent tous deux opiniâtrement sur leur position.

Si en revanche on place l'ouverture dans un récipient contenant du vin rouge, dont la gravité est à peine inférieure à celle de l'eau, on verra aussitôt celui-ci s'élever lentement dans l'eau sous forme de traînées rouges, et cette dernière, avec une égale lenteur, descendre dans le vin, sans se mélanger.

Conclusion sur le « passe-vins »

Un détournement de problématique

- ▶ Galilée, loin d'invoquer une « **incompatibilité** » de l'eau et du vin (cf. moqueries de Koyré), utilise au contraire leur **compatibilité** à l'appui de son argumentation ; le « non-mélange » n'est pas son problème (si c'est le nôtre).
- ▶ *problématique de Galilée* complètement différente de celle que lui attribue Koyré ! Problématique détournée – à tout le moins incomprise. Étonnant chez un historien de cette stature.
- ▶ *survivances d'aristotélisme* évidents dans ce passage des *Deux sciences*. Clairement un texte de jeunesse.

2 – Galilée et le plan incliné : texte original

(Discorsi, Troisième journée, 1638)

« Pour mesurer le temps, nous prenions un grand seau rempli d'eau que nous attachions assez haut ; par un orifice étroit pratiqué dans son fond s'échappait un mince filet d'eau que l'on recueillait dans un petit récipient, tout le temps que la boule descendait dans le canal. Les quantités d'eau ainsi recueillies étaient à chaque fois pesées à l'aide d'une balance très sensible , et les différences et proportions entre les poids nous donnaient les différences et proportions entre les temps. »

Galilée et le plan incliné

Une réplique à l'USTHB-Alger (2011)



longueur : 5.23 m (i.e. 12 coudées, conformément au texte de Galilée)

Diamètre de la bille (roulant dans un sillon poli) : 18.6 mm

Clepsydre (horloge à eau) et balance



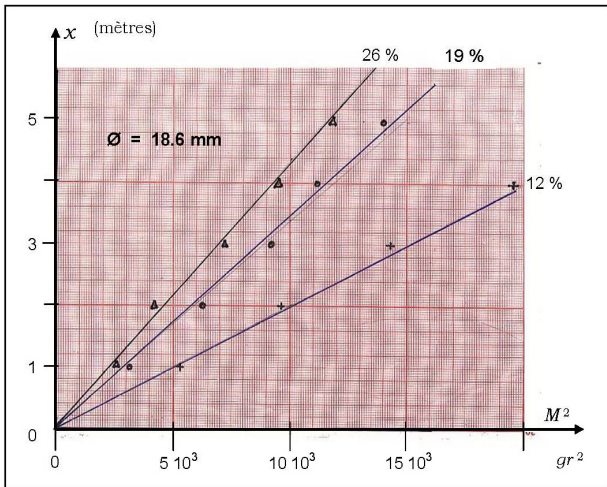
En cours d'expérience



Les étudiants Smail Bouhadda et Christian *Kwissanga* en pleine action.
Direction : Prof. Mohamed Bendaoud
(*USTHB, Alger, 2011*)

Résultats

Distance versus carré du temps, pour diverses inclinaisons



*M est la masse d'eau écoulée, proportionnelle au temps.
Les pentes en % expriment le sinus de l'inclinaison.*

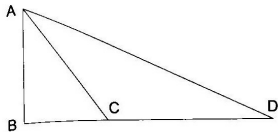
Galilée et le plan incliné

Erreur ou anachronisme ?

Galilée :

« vitesse (*celeritas*) proportionnelle au sinus de l'inclinaison »

Vrai ? Faux ?



La proposition est la suivante²:

sicut celeritas in AC ad celeritatem in AD, ita linea AD ad linea AC

- que je noterai conventionnellement comme suit :

$$\text{celeritas sur } AC / \text{celeritas sur } AD = AD / AC$$

Le texte atteste que « celeritas » est strictement synonyme de « velocitas »³, et cette proposition, entendue comme la proportionnalité entre la vitesse sur un plan et la pente de ce plan, est récusée par la critique moderne sur la base du fait, bien connu, que ce sont les accélérations, et non les vitesses, qui sont proportionnelles à la pente⁴.

Extrait de :

Souffrin, P., 2012 : Écrits choisis d'Histoire des sciences, Paris, Les Belles Lettres, p.277.

Galilée et le plan incliné

Erreur ou anachronisme ?

L'interprétation de Pierre Souffrin

- ▶ « Vitesse standard préclassique » (définition encore en cours 1^{re} moitié XVII^e) :

« distance parcourue en un temps donné »

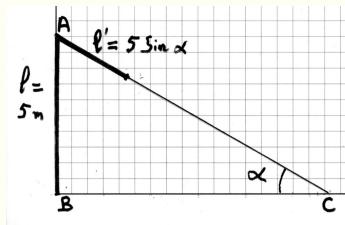
(personne n'a dit que c'était limité aux mouvements uniformes !)

- ▶ dans ce cadre, Galilée a raison !

Exemple, avec $g \sim 10 \text{ m.s}^{-2}$ et t (fixé) = 1s

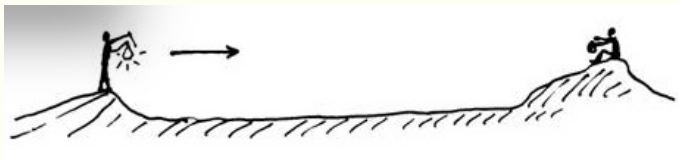
- ▶ selon AB : $l = \frac{1}{2}gt^2 = 5$

- ▶ selon AC : $l' = \frac{1}{2}(g \sin \alpha)t^2 = 5 \sin \alpha$



3. Galilée, Descartes et propagation de la lumière « dans l'instant »

Galileo, dans « *Deux sciences nouvelles* » (1638) :



<- 1 mille max ->

Expérience non concluante! Mais...
(dessin dû à G. Paturel, Observatoire de Lyon)

... , mais Galilée ajoute, « *si, en s'éloignant sur des distances de deux ou trois milles, aucun délai supplémentaire n'est observé* », alors :

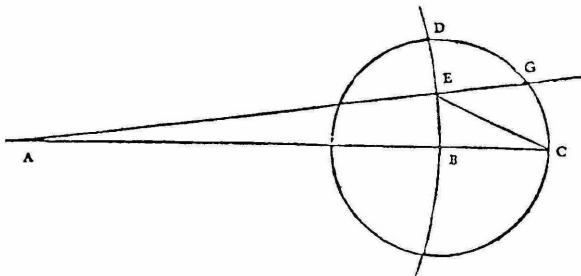
« *... on pourra conclure avec certitude que la propagation de la lumière est instantanée : car si elle exigeait un certain temps, à une distance de trois milles, qui en font en réalité six [en AR] le délai devrait être parfaitement observable.* »

Galilée a-t-il raison ?

Descartes et les éclipses de Lune

L'argument de Descartes tel que rapporté par Huygens dans son
Traité de la lumière, 1690

Soit A le lieu du Soleil BD une partie de l'orbite ou chemin annuel de la Terre. ABC une ligne droite, que je suppose rencontrer le chemin de la Lune, représenté par le cercle CD, en C.



Or si la lumière demande du temps, par exemple une heure, pour traverser l'espace qui est entre la Terre et la Lune ; il s'ensuivra que la Terre étant parvenue en B, l'ombre qu'elle cause, ou l'interruption de la lumière, ne sera pas encore parvenue au point C, mais qu'elle n'y arrivera qu'une heure après. Ce sera donc une heure

▶ **pour Galilée :**

ne rien détecter sur une distance d'environ 10 km, et admettant un temps de réflexe de l'ordre du 1/10 seconde, cela signifie *pour nous* une vitesse de la lumière supérieure à 100 km/s. Mais ce n'est pas ce que dit Galilée !

▶ **pour Descartes :**

environ 360 000 km en « au plus » 3600 s, cela correspond aussi à ~ 100 km/s !

Même ordre de grandeur pour Galilée et pour Descartes !

Des conceptions similaires de « l'instantanéité » chez Galilée et chez Descartes

- ▶ « Propagation dans l'instant » \iff trop rapide pour être détectable par nos sens sur des distances usuelles (deux ou trois lieues) ;
- ▶ des vitesses aussi considérables que celle (réelle) de la lumière **clairement inconcevables** à l'époque ;
- ▶ « l'instantanéité » est relative à l'état des techniques de mesure des temps ;
- ▶ Descartes : « *Je déclare contradictoire qu'il puisse exister une vitesse infinie dans la nature* » (in : Lettre à Mydorge).

« Propagation dans l'instant » **n'est pas** vitesse infinie !

Conclusion générale

- ▶ Ne pas déclarer « impossibles » des expériences rapportées par nos anciens, y compris si échec des réplifications ;
- ▶ lire très soigneusement les textes originaux ;
- ▶ replacer les concepts et les problématiques dans le contexte historique. Pas facile, effort d'imagination !

Références pour le « passe-vins » (1)

- [1] Galilei, G. : 1638, *Discours concernant deux sciences nouvelles* ; 1972, traduction française M. Clavelin, 1994 : nouvelle édition, PUF, Paris, p. 60.
- [2] MacLachlan, J. : 1973, A test of an 'Imaginary' Experiment of Galileo's *ISIS*, **64**, 374-379.
- [3] MacLachlan, J. : 1998, Experimenting in the History of Science' *ISIS*, **89**, 90-92.
- [4] Koyré, A. : 1960, *Revue d'Histoire des Sciences*, **13**, 240–241.
- [5] Koyré, A. : 1960, *Metaphysics and measurement* ; 1968, English translation, Harvard Univ. Press, p. 84.
- [6] Koyré, A. : 1960, *Metaphysics and measurement* ; 1968, English translation, Harvard Univ. Press, p. 84n. ; *Revue d'Histoire des Sciences*, **13**, 241n.

Références pour le « passe-vins » (2)

- [7] Thuillier, P. : 1983, 'Galilée et l'expérimentation', *La Recherche*, **14**, n° 143, 142-154.
- [8] Blondel, C. : 1994, 'L'improbable transmission du savoir-faire expérimental', *Pour la Science*, n° 202, 10-12.
- [9] Clavelin, M. : 1972, in *Galilée, Discours concernant deux sciences nouvelles, traduction française M. Clavelin* ; 1994 nouvelle édition PUF, Paris, note 34, p. 60 and 252.
- [10] Colnor-Bodet, S. : 1975, 'Un distillateur français précurseur de Galilée?', *Veröfentlichtungen der Internationalen Gesellschaft für Geschichte der Pharmacie*, Stuttgart, **42**, 11-20.
- [11] Paré, A. : 1573-1584, 'Des monstres et des Prodiges' in : *Les Œuvres d'Ambroise Paré*.

Mais qu'est-ce qui passe à travers le trou ?

- ▶ *du vin complet*, i.e. eau, alcool, esters et colorants ?
Noter que l'eau et l'alcool ne sont pas colorés.
- ▶ *test du contenu du récipient supérieur* : aspect et goût du vin, plus ou moins alcoolisé.
- ▶ *conjecture* :
 - ▶ transférés seulement alcool, plus esters et colorants ?
 - ▶ avec éventuellement des molécules d'eau liées par liaisons hydrogène ?
 - ▶ pas nécessaire que le volume échangé soit égal au volume initial du vin complet !