



Année 2010-2011

L2 Mention Physique.

UE 2L44PC2 : Histoire et épistémologie de la physique

Histoire et épistémologie de la Physique

Examen Partiel du 16 mars 2011

13h15 – 14h15

Amphithéâtre Cotton

Ce sujet contient 4 documents dont 3 écrits par Galilée et sont suivis d'une série de questions auxquelles vous devez répondre en vous appuyant :

- *sur le contenu de ces documents*
- *sur vos connaissances en physique*
- *sur les éléments développés lors des cours d'histoire de la physique jusqu'à ce jour.*

Une attention particulière sera portée à la qualité de rédaction des réponses aux questions

Document 1 :

S'il est une science qui prend son essor au XVII^e siècle, c'est bien celle du mouvement. En publiant en 1638 à Leyde ses *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Galilée ouvre l'ère nouvelle de la science du mouvement. C'est en effet dans ce livre que le savant italien en formulant la loi de chute des graves, donne à la science du mouvement et, plus généralement, en redoublant les efforts archimédiens, à la physique mathématique, un élan qui s'amplifiera au cours de la deuxième partie du siècle pour culminer en 1687 avec les *Principia* de Newton. Nous n'en sommes pas encore là ! Entre ces deux dates, 1638 et 1687, il aura fallu non seulement comprendre le mouvement de chute des graves, mais aussi celui de la pierre qui tourne dans la fronde ; il aura fallu aussi mettre en ordre le savoir sur le mouvement, dégager les premiers principes, clarifier les démarches mathématiques, en un mot donner une existence mathématique à la science du mouvement.

(...)

Galilée, exilé dans sa résidence surveillée de la côte de San Giorgio à Arcetri depuis son deuxième procès en 1633 (le premier date de 1616), y rédige son plus bel ouvrage : les *Discorsi*. Il donne à ces *Discours* la forme d'un dialogue entre trois intervenants : Salviati, l'ami et le porte-parole, Sagredo, l'honnête homme pour qui la démonstration et l'expérience ont la priorité sur le savoir livresque et Simplicio, le représentant des savants officiels et le défenseur des thèses de la scolastique. Les discussions entre ces trois personnages couvrent quatre journées.

Le titre de l'ouvrage galiléen mentionne "deux sciences nouvelles". Si la seconde est bien celle du mouvement, la première dont traite Galilée est celle de la résistance des matériaux. (...) C'est cette deuxième des sciences nouvelles qui assure rapidement à Galilée le succès de son ouvrage. Elle se rapporte à l'étude des mouvements rectilignes uniformes et uniformément (ou naturellement) accélérés, ainsi qu'à la possibilité de leur composition dans l'étude des trajectoires décrites par les projectiles.

(...)

Il ne s'agit pas pour Galilée dans les *Discours* d'aborder le mouvement uniformément accéléré comme un simple exercice de mathématique, mais de résoudre les problèmes ayant trait à ce mouvement en affirmant simultanément que c'est d'un tel mouvement que sont animés tous les corps en chute naturelle libre. Or,

cette affirmation est loin d'aller de soi. En effet, le mouvement naturel libre offre à nos regards une diversité si riche qu'il est difficile d'imaginer qu'une science de ce mouvement puisse être possible. Une même loi du mouvement peut-elle régir à la fois le mouvement de la plume qui virevolte et celui de la bille de plomb qui tombe rapidement ?

C'est précisément dans l'obtention d'une telle loi que réside l'apport essentiel de Galilée à la théorie du mouvement des graves. La démarche galiléenne (...) consiste tout d'abord, dans la « Première Journée » des « Discorsi », à mettre à jour par un passage à la limite ou plutôt à construire, le recours à l'expérience restant fondamental, le fait général de la chute des graves suivant lequel tous les corps tombent, dans un milieu sans résistance, avec une même vitesse :

"C'est alors, considérant ces faits, qu'il me vint à l'esprit que si l'on supprimait totalement la résistance du milieu, tous les corps descendraient avec la même vitesse"

et, un peu plus loin :

"Mon intention, je le répète, est de montrer que les variations de vitesse qu'on observe entre mobiles de poids spécifiques différents n'ont pas pour cause ces poids spécifiques, mais dépendent de facteurs extérieurs et notamment de la résistance du milieu, en sorte que celle-ci supprimée, tous tomberaient avec les mêmes degrés de vitesse".

**Michel Blay (1998), *Galilée et la chute des corps*,
in « *La naissance de la science classique au XVII^e siècle* »**

Document 2 :

Salviati : Donc, dites-moi : si vous aviez une surface plane, polie comme un miroir et d'une matière dure comme l'agate, et qui soit, non point parallèle à l'horizon, mais quelque peu inclinée, et que sur cette surface vous posiez une balle parfaitement sphérique et d'une matière extrêmement dure comme, par exemple, du bronze et qu'elle soit lâchée en liberté, que croyez-vous qu'elle fera ? Ne croyez-vous pas (comme je le crois), qu'elle restera immobile ?

Simplicio : Si cette surface était inclinée ?

Salviati : Oui, car c'est ainsi qu'on la suppose être.

Simplicio : Moi je ne crois pas qu'elle s'arrête aucunement, mais je suis sûr qu'elle se mouvra spontanément vers l'inclinaison.

Salviati : Et combien durera le mouvement de cette balle et avec quelle vitesse ? Remarquez bien que j'ai dit une balle parfaitement ronde et sur un plan parfaitement lisse afin d'écarter tous les empêchements externes et accidentels ; et aussi je veux que vous fassiez abstraction de la résistance de l'air, et de tous les autres obstacles accidentels s'il pouvait y en avoir d'autres.

Simplicio : Je l'ai très bien compris ; et, à votre question je réponds que cette balle continuera à se mouvoir "in infinito" pourvu que le plan s'étende ainsi ; elle aura un mouvement continuellement accéléré.

Salviati : Ainsi vous avez expliqué les accidents d'un mobile sur deux plans différents ; et vous dites que, sur un plan incliné le mobile descend spontanément et va en s'accéléralant constamment, et que, pour le retenir au repos il faut user de la force ; mais que sur le plan ascendant on a besoin de force pour le lancer... Vous dites encore que dans l'un et l'autre cas des différences naissent de la plus ou moins grande inclinaison ou élévation du plan... Or dites-moi ce qui arrivera au même mobile sur une surface qui ne serait ni inclinée ni élevée ?

Simplicio : Ici il faut que je pense un peu à la réponse. La surface n'ayant pas de déclivité, il ne peut y avoir d'inclinaison naturelle au mouvement, et n'ayant pas de montée, il ne peut y avoir de résistance naturelle à être mû. Aussi la balle devra-t-elle demeurer indifférente entre la propulsion et la résistance au mouvement ; il me semble qu'elle devra rester naturellement arrêtée ...

Salviati : Je le crois aussi lorsqu'on la pose immobile ; mais si un “ impetus ” vers quelque côté lui était donné, que s'ensuivrait-il ?

Simplicio : Il s'ensuivrait qu'elle se mouvrait vers ce côté.

Salviati : Mais quel sera ce mouvement ? Continuellement accéléré comme sur le plan incliné, ou successivement retardé comme sur l'ascendant ?

Simplicio : Je ne vois aucune cause d'accélération ni de retard pour ce qu'il n'y a ni déclivité ni acclivité.

Salviati : Sans doute ; mais s'il n'y a pas de cause de retard, bien moins encore doit-il y avoir de cause d'immobilité ; combien longtemps donc estimez-vous que le mobile continuera à se mouvoir ?

Simplicio : Aussi longtemps que durera cette surface qui ne s'abaisse ni ne s'élève.

Salviati : Par conséquent, si la surface était sans terme, le mouvement serait éternel ?

Simplicio : Il me semble, à condition que le mobile soit d'une matière pouvant durer. ”

Galileo Galilei (1564-1642), *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, 1632

Document 3 :

Les propriétés du mouvement uniforme ayant été examinées dans le livre précédent, il nous faut maintenant traiter du mouvement accéléré. Et il convient en premier lieu de trouver et d'expliquer une définition qui se rapporte avec précision à ce mouvement, tel que la nature l'utilise. Rien en effet ne s'oppose à ce que l'on imagine un type arbitraire de mouvement dont on considérerait ensuite les traits caractéristiques (...) ; cependant, puisque la nature se sert d'une forme déterminée d'accélération dans la chute des graves, c'est celle-ci que nous avons décidé de discuter, si toutefois notre définition du mouvement accéléré rejoint bien l'essence du mouvement naturellement accéléré. Nous croyons fermement, après de longs efforts, y être parvenu ; notre conviction s'appuie avant tout sur la correspondance et l'accord rigoureux qui semblent exister entre les propriétés que nous avons successivement démontrées, et les résultats de l'expérience. Enfin, dans cette étude du mouvement naturellement accéléré, nous avons été conduit comme par la main en observant la règle que suit habituellement la nature dans toutes ses autres opérations où elle a coutume d'agir en employant les moyens les plus ordinaires, les plus simples, les plus faciles. Car il n'est personne, je pense, pour admettre qu'il soit possible de nager ou de voler d'une manière plus simple ou plus facile que celle dont les poissons et les oiseaux se servent instinctivement.

Quand donc j'observe une pierre tombant d'une certaine hauteur à partir du repos et recevant continuellement de nouveaux accroissements de vitesse, pourquoi ne croirais-je pas que ces additions ont lieu selon la proportion la plus simple et la plus évidente ? Or, tout bien considéré, nous ne trouverons aucune addition, aucun accroissement plus simple que celui qui toujours se répète de la même façon. Ce que nous comprendrons aisément en réfléchissant sur l'étroite affinité entre le temps et le mouvement : de même en effet que l'uniformité du mouvement se définit et se conçoit grâce à l'égalité des temps et des espaces (nous appelons un mouvement uniforme quand des espaces égaux sont franchis en des temps égaux), de même nous pouvons concevoir que dans un intervalle de temps semblablement divisé en parties égales des accroissements de vitesse aient lieu simplement ; ce qui sera le cas si par "uniformément", et, du même coup, "continuellement accéléré" nous entendons un mouvement où en des fractions de temps égales quelconques se produisent des additions égales de vitesse. Ainsi, et quel que soit le nombre des parties égales de temps qui se sont écoulées depuis l'instant où le mobile, abandonnant le repos, a commencé de descendre, le degré de vitesse acquis au terme des deux premières parties du temps sera le double du degré acquis durant la première partie ; ainsi encore, après la troisième partie le degré atteint sera le triple, et, après la quatrième, le quadruple du degré gagné dans la première partie (...). Nous ne nous écarterons pas de la droite raison, si nous admettons que l'intensification de la vitesse est proportionnelle à l'extension du temps ; aussi la définition du mouvement dont nous allons traiter peut-elle se formuler comme suit : je dis qu'un mouvement est également ou uniformément accéléré quand, partant du repos, il reçoit en des temps égaux des moments égaux de vitesse.

Document 4 :

Dans une règle, ou plus exactement un chevron de bois, long d'environ douze coudées, large d'une demi-coudée et épais de trois 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 laissions rouler une boule de bronze très dure, parfaitement arrondie et polie. Plaçant alors l'appareil dans une position inclinée, en élevant une de ses extrémités d'une coudée ou deux au-dessus de l'horizon, nous laissions, comme je l'ai déjà dit, descendre la boule dans le canal, en notant, selon une manière que j'explorerai plus loin, le temps nécessaire à une descente complète : l'expérience était recommencée plusieurs fois afin de déterminer exactement la durée du temps, mais sans que nous découvrîmes jamais de différence supérieure au dixième d'un battement de pouls. La mise en place et cette mesure étant accomplie, nous faisons descendre la boule sur le quart du canal seulement : le temps mesuré était toujours rigoureusement égal à la moitié du temps précédent. Nous faisons ensuite varier l'expérience, en comparant le temps requis pour parcourir la longueur entière du canal avec le temps requis pour parcourir sa moitié, ou les deux tiers, ou les trois quarts, ou toute autre fraction ; dans ces expériences répétées une bonne centaine de fois, nous avons toujours trouvé que les espaces parcourus étaient entre eux comme les carrés des temps, et cela quelle que soit l'inclinaison du plan, c'est à dire du canal, dans lequel on faisait descendre la boule. Nous avons aussi observé que les temps de descente, pour les différentes inclinaisons du plan, avaient exactement la proportion que l'Auteur, comme nous le verrons plus loin, avait prédite et démontrée.

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 proportions entre les temps ; la précision était telle que, comme je l'ai dit, aucune discordance significative n'apparut jamais entre ces opérations, maintes et maintes fois répétées.

Galileo Galilei, 1638. Discours concernant deux sciences nouvelles, Troisième Journée.

- 1 Quels sont les sujets développés dans chacun des 4 documents ? (réponse souhaitée la plus précise et la plus synthétique possible pour présenter chaque texte (3 lignes maximum))
- 2 Analyse du document 1 :
 - 2.1 Quelle est l'idée dont Salviati souhaite convaincre Simplicio ?
 - 2.2 Quelle est la logique du discours que Salviati utilise pour amener Simplicio à accepter l'idée de l'existence pour les corps d'un mouvement « éternel » ?
 - 2.3 Quelles sont, pour Salviati, les conditions qui permettraient d'observer un mouvement « éternel » ?
 - 2.4 Salviati : « *Je le crois aussi lorsqu'on la pose immobile ; mais si un " impetus " vers quelque côté lui était donné, que s'ensuivrait-il ?* »
 - 2.4.1 Qu'est-ce que cette phrase permet de comprendre de la manière dont Salviati conçoit le mouvement des corps ?
 - 2.4.2 Pourquoi Galilée utilise cet argument alors qu'il développe dans le même ouvrage qu'il n'y a de mouvement d'un corps que respectivement à un autre corps ?
 - 2.5 A quoi renvoie cette idée de mouvement éternel dans la théorie de la mécanique de Newton ?
- 3 Analyse du document 2 :
 - 3.1 Commentez la phrase : « *puisque la nature se sert d'une forme déterminée d'accélération dans la chute des graves, c'est celle-ci que nous avons décidé de discuter, si toutefois notre définition du mouvement accéléré rejoint bien l'essence du mouvement naturellement accéléré* » ?
 - 3.2 Quel est l'idée sur la nature que Galilée considère de bon sens, et qui est préalable à son étude du « mouvement naturellement accéléré » ?

- 3.3 Comment Galilée caractérise-t-il quantitativement un mouvement « *uniformément accéléré* »?
- 3.4 Quelle est l'analogie que Galilée introduit entre le mouvement uniforme et le mouvement accéléré ?
- 3.5 Expliquez la phrase : « *le degré de vitesse acquis au terme des deux premières parties du temps sera le double du degré acquis durant la première partie; ainsi encore, après la troisième partie le degré atteint sera le triple, et, après la quatrième, le quadruple du degré gagné dans la première partie* »
- 3.6 Quelle est l'expression mathématique qui peut traduire la phrase : « *l'intensification de la vitesse est proportionnelle à l'extension du temps* ». (Vous préciserez la signification des symboles utilisés dans cette expression.)

- 4 Analyse du document 4 :
 - 4.1 Réalisez un schéma de l'expérience décrite par Galilée
 - 4.2 Quelles sont les différentes grandeurs physiques mesurées par Galilée dans cette expérience ?
 - 4.3 Quels sont les différents résultats de l'expérience décrite dans ce document ? Donnez les expressions mathématiques qui peuvent les traduire ?
 - 4.4 Les expériences conduites par Galilée sur le banc incliné confirment-elles son hypothèse du mouvement accéléré ? Que pensez-vous du rôle des erreurs expérimentales ?

- 5 Synthèse :
 - 5.1 Quel est selon vous le lien entre les différents documents proposés en rapport avec la compréhension du mouvement des corps ?
 - 5.2 En quoi les travaux de Galilée sur le mouvement des corps peuvent ou non contribuer à étayer la thèse cosmologique de Copernic ?