

# Les boules qui rendent maboules ou la chute des corps revisitée en classe de seconde

Ludovic ARNAUD et Julien PINEL Enseignants de physique au lycée Doisneau de Vaulx en Velin (69)  
GFEN Groupe Science lyonnais

8

## Préambule

Vous avez peut-être le souvenir des vecteurs forces, sortes de flèches que l'on vous demandait de dessiner sur des objets, ainsi que du principe d'inertie que l'on vous faisait apprendre par cœur sans trop comprendre ce qu'il voulait dire : « si les forces exercées sur un objet se compensent, alors son mouvement est rectiligne uniforme ».

Ces notions relèvent de la mécanique, la branche de la physique qui s'intéresse aux mouvements et à leurs causes. Sa version classique (par opposition à ses développements modernes au XXe siècle avec la mécanique quantique et relativiste) date de plus de 300 ans.

Elles sont traditionnellement au programme de physique du lycée mais sont très généralement l'objet d'apprentissages superficiels, fragiles et peu durables, porteurs de peu de sens pour les élèves, y compris pour les élèves de série scientifique.

Après des années d'enseignement sur cette partie, nous avons cherché à construire notre première démarche d'auto-socio-construction du savoir, pour tenter de remédier à ces difficultés. Ce travail fut pour nous fructueux car il nous a amené à clarifier pour nous mêmes le contenu conceptuel de l'enseignement de mécanique au lycée et à découvrir plus en profondeur l'histoire des sciences dans la période Galilée – Newton.

Une première démarche portant sur la chute des corps a vu le jour, partie la plus aboutie d'une démarche plus longue et complexe, en cours de maturation, allant de la description des mouvements (notion de référentiel) aux phénomènes spatiaux (apesanteur, satellisation). Elle s'est étoffée à partir de séances tests dans plusieurs classes de seconde, sur plusieurs semaines, ainsi qu'au sein du groupe du lyonnais pendant l'année 2010-2011. La

version aboutie a été présentée pour la première fois aux assises nationales du GFEN à Aubagne en juillet 2011. Elle a depuis été utilisée plusieurs fois en formation et continue de vivre en évoluant dans nos enseignements en classe.

Dans cet article nous allons tenter de restituer un déroulement de séquence, pour finir avec des commentaires éclairant des enjeux de portée plus générale sur l'enseignement des sciences expérimentales.

## Déroulé de la séquence

### Étape 1 : chute de 3 balles

Le début de la démarche consiste à s'interroger sur les différents temps de chute de différents objets. Nous avons fabriqué un film vidéo qui permet de voir 3 boules lâchées en même temps d'une même hauteur : une balle de tennis, une boule de pétanque de 800 g et une grosse boule de polystyrène de 80 g. Le travail est de prédire l'ordre d'arrivée et de produire les explications qui vont avec. Les élèves réfléchissent seuls puis en groupe à ce problème.

La situation n'a pas été choisie au hasard : la balle de tennis et la balle de pétanque ont la même taille mais l'une est dix fois plus lourde que l'autre (800 g contre 80 g), la boule de polystyrène a la même masse que celle de tennis (80 g) mais elle est bien plus grande. D'autres éléments sont invoqués par les élèves pour étayer leurs prévisions : la surface rugueuse ou lisse des balles, la hauteur de chute, le vent, la gravité...

Le questionnement des élèves est riche, tout le monde a un avis mais ils doivent trancher et se mettre d'accord sur les effets les plus importants à leurs yeux pour pouvoir prédire l'ordre d'arrivée.

Voici quelques productions des groupes :

- Plus la masse de la boule est importante plus vite elle tombera donc, donc la boule de pétanque sera la 1ère à toucher le sol.
- La boule de polystyrène et de tennis tomberont en même temps car elles sont de masse identique.

Chute de 3 balles  
 - la boule de pétanque tombe la 1ère : masse plus importante  
 - les balles de poly et tennis tombent en dernières : masses moins importantes  
 Est-ce que le volume influence la chute ?

**Prévisions :**

- la boule de pétanque va tomber la 1ère car c'est la plus lourde
- la boule de tennis va tomber la 2ème car elle est plus aérodynamique
- la boule de poly va tomber la 3ème

**Explications :**

- pétanque : force de gravité supérieure
- tennis même masse que poly mais plus aérodynamique

Un échange rapide est organisé avec toute la classe :  
 - L'ensemble de ces prévisions est assez convergent. Mais certains prévoient un écart entre le temps de chute des boules de tennis et de polystyrène à cause de leur volume alors que d'autres n'ont pris en compte que les différences de masse.

- On constate aussi que certaines explications vont plus loin que d'autres : elles ne se contentent pas d'évoquer les différences de masses et de volumes comme origine des écarts mais les relient à des phénomènes physiques plus généraux. Par exemple la « force de gravité » ou « l'attraction de la terre » (liées à la masse) et « l'aérodynamisme » ou les « frottements » (liés au volume).

On leur montre alors la vidéo, plusieurs fois, image par image. Voici la dernière image de la vidéo avant contact au sol :



Les élèves qui n'avaient pris en compte que les différences de masse constatent que le volume des balles semble également jouer un rôle important. On redemande à chaque élève, puis en groupe, de produire une explication rédigée et complète de ces résultats.

Lors de ce travail, on constate que tous les élèves ne sont pas au même stade : certains viennent juste de dépasser la distinction masse/volume (pour eux au début c'était

le plus gros qui tombe le plus vite, alors que d'autres en sont à se questionner sur les causes profondes des phénomènes.

Après confrontation, se dégage une synthèse collective (mais provisoire) :

- **Énoncé 1** : plus la masse est grande plus c'est attiré par la terre, donc la boule de pétanque arrive avant celle de tennis.

- **Énoncé 2** : plus le volume est grand, plus l'air freine donc la boule de tennis arrive avant celle de polystyrène. L'enseignant souligne bien le fait, qu'avec ces explications, on a relié des caractéristiques propres aux boules (masse, volume) avec des « actions extérieures » qui agissent sur ces boules et expliquent leur mouvement (force de la gravité, frottements avec l'air). Cette façon de penser les choses est présentée ici comme un objectif explicite « pour faire de la physique ». Tous les élèves ne se sont pas encore bien approprié cette façon de penser. La suite du travail leur permettra de se familiariser petit à petit avec elle.

Pour tester la pertinence de ces explications, l'enseignant propose alors de réfléchir à une nouvelle expérience.

## Étape 2 : Questionnement sur les chutes en l'absence d'air

### Une expérience de pensée

« Imaginez qu'on filme la chute des 3 boules lâchées en l'absence totale d'air. Prédire l'ordre d'arrivée et expliquer pourquoi. »

Alors qu'à l'issue de la première phase, les choses semblaient assez claires, le doute s'installe maintenant chez les élèves qui peinent à nouveau à se mettre tous d'accord.

Principales propositions	Commentaires
Sans air, les objets ne tombent pas	Conception fréquente : dans l'espace, où il n'y a pas d'air, « on flotte », c'est bien connu ! Peut-être que c'est ce qui va se passer ici ?
Sans air, la boule de pétanque tombe bien avant les autres. Par contre les boules de tennis et de polystyrène tombent en même temps	Provient d'un réinvestissement rigoureux de ce qui a été dit à la phase précédente sur le rôle de la masse et du volume en lien avec la gravité et les frottements de l'air. Cette hypothèse finit par recueillir l'assentiment de la majorité.
Sans air, les boules tombent en même temps car la masse n'a plus d'influence sur la durée de chute.	Vraiment marginal et n'est proposé que par des élèves qui semblent avoir déjà entendu parler de cette histoire mais sont incapables d'argumenter en faveur de leur intuition.

## Un texte historique et 2 expériences pour aider à réfléchir

On propose, pour aider à réfléchir à ces trois propositions, un détour par un texte historique de Galilée (voir annexe p. 13) qui s'est lui-même interrogé il y a 400 ans sur ces questions : ce texte met en scène deux personnes défendant deux façons d'expliquer que « plus c'est lourd, plus ça tombe vite ».

L'enseignant propose également deux expériences complémentaires :

- On utilise un tube transparent dans lequel on peut aspirer l'air avec une pompe à vide (ça s'appelle un « tube de Newton »). Vu le petit diamètre de notre tube, on ne peut pas y lâcher nos 3 boules, mais on peut y lâcher une bille de plomb et un timbre-poste.

où l'écart est très réduit alors que l'essentiel de l'air est enlevé).

- La proposition 3 est retenue : en l'absence totale d'air, les objets tombent de la même façon. Ni la masse, ni le volume, ne semblent avoir d'influence sur la durée de chute.

## Étape 3 - Retour au 3 boules en chute dans l'air

### Un obstacle difficile à surmonter

Chaque groupe est invité à revenir au problème de départ des 3 boules en chute dans l'air et aux explications qui avaient été proposées et qui avaient semblées convaincantes (énoncés 1 et 2 de l'étape 1). Peut-on maintenir, suite à ce travail sur les effets de l'absence d'air, les explications proposées ?

Le rôle des frottements de l'air et le lien avec le volume des objets ne semble pas poser de problème : plus c'est gros plus c'est freiné (énoncé 2). Cela explique l'écart entre la boule de tennis et celle de polystyrène.

Mais l'énoncé 1 pose problème. Si la boule de pétanque tombe plus vite que celle de tennis c'est parce qu'elle est plus lourde avait-on dit. C'est-à-dire : c'est parce qu'elle est plus attirée par la terre ? Mais alors ça devrait encore être le cas en l'absence d'air. Mais ce n'est manifestement pas le cas. Si tout les corps tombent en même temps sans air, pourquoi y a-t-il en présence d'air un écart entre la boule de pétanque et celle de tennis, alors qu'elles ont le même volume ?

L'intensité de l'attraction par la Terre dépendrait de la présence d'air ? C'est bizarre...

À ce stade le rôle de l'enseignant est important pour pointer cette contradiction, ce manque de cohérence et de solidité dans les explications proposées pour les différents cas examinés. Les élèves ne sont plus sûrs de rien et tout s'embrouille...

### Une dernière expérience pour aider à s'en sortir

On lance ensemble, avec une même vitesse, deux boules vers le souffle d'un sèche-cheveux. L'une des boules a une grande masse et l'autre est plus légère mais les deux sont de la même taille. Que va-t-il se passer ?

Tout le monde arrive à prévoir le résultat à partir de son expérience quotidienne : le vent emporte plus facilement une feuille légère qu'un caillou lourd. La même feuille lancée n'ira pas bien loin, freinée par l'air alors que le caillou ira plus loin.

10

Lâcher dans le tube avant de faire le vide	Lâcher dans le tube après avoir fait un vide partiel
<p>En présence d'air, on voit que l'écart entre le temps que met la chute de la bille de plomb et celui que met le timbre-poste est grand.</p>	<p>En enlevant de l'air, on voit que l'écart entre les temps de chute des deux objets s'est réduit.</p>

- Lors des missions Apollo sur la Lune, un cosmonaute a lâché un marteau et une plume. On constate qu'ils atteignent le sol en même temps !

On demande à chaque groupe de reprendre les 3 propositions et de choisir celle qui leur semble la bonne en argumentant à partir des enseignements tirés du texte et des 2 expériences présentées.

Lors de la mise en commun il ressort que :

- La proposition 1 est facilement éliminée : même sans air, on tombe. L'attraction par la terre (ou la lune) continue manifestement d'agir.
- La proposition 2 est écartée car la disparition de l'air semble entraîner un temps de chute identique (pour le marteau et la plume ainsi que dans le tube de Newton

On prévoit (et on constate effectivement) que la boule lourde sera moins freinée que la boule légère.



Cette étape est menée de manière magistrale, en dialogue avec l'ensemble de la classe, avec pour objectif d'obtenir l'adhésion sur l'affirmation suivante :

Quand un objet a une grande masse, son mouvement est moins affecté par l'air autour de lui.

Ainsi formulé, ce qu'on tire de cette expérience peut être réinvesti pour la chute verticale dans l'air.

Rapidement, plusieurs élèves ont le « déclic ». Ils semblent avoir compris comment résoudre notre problème. Un nouveau travail en groupe doit permettre que ce « déclic » soit effectivement partagé et se propage aux autres élèves.

Cette propriété va permettre en effet de surmonter notre contradiction :

- Si la boule de pétanque tombe la première ce n'est pas parce qu'elle est plus attirée par la terre à cause de sa masse mais parce qu'elle résiste mieux aux frottements de l'air.

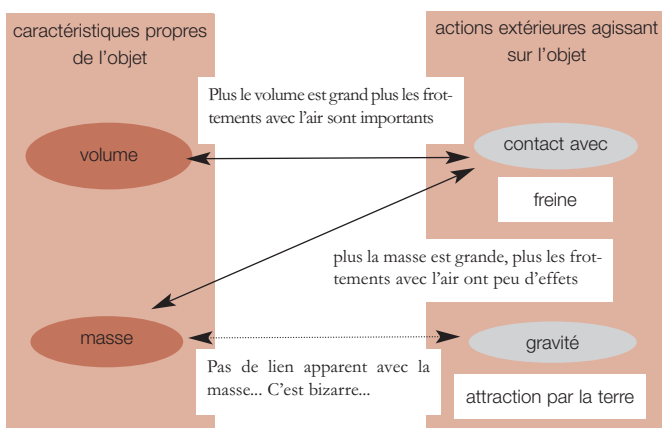
- Et en l'absence d'air, les boules de pétanque et de tennis tomberaient en même temps car aucun frottement ne vient ralentir l'une par rapport à l'autre.

Présentées ainsi les explications semblent plus cohérentes et les élèves qui ont réussi à s'approprier ce raisonnement en ressentent un soulagement certain.

Par ailleurs, certains élèves, tout en acceptant ces explications, continuent à être interpellés par cette propriété étonnante pour eux, à savoir « que tous les corps tombent en même temps en l'absence d'air ». Le plus lourd n'est donc pas plus attiré par la terre ? L'enseignant souligne que cette interrogation est légitime (par un souci de cohérence) et indique qu'elle sera reprise par la suite.

#### Étape 4 : est-ce qu'on a bien compris ?

Toutes les « lois » rencontrées jusqu'à présent sont résumées dans le schéma suivant qui est distribué aux élèves.



On revient au problème initial en demandant aux élèves de rédiger individuellement, de manière détaillée, le plus rigoureusement possible, les explications pour la chute des 3 boules.

Les textes écrits sont ensuite discutés et confrontés en groupes. Cette étape est l'occasion de renforcer les apprentissages et peut servir d'évaluation.

#### Étape 5 - Masse « inerte » et masse « pesante »

Si on semble avoir mieux compris le pourquoi de la chute des 3 boules, tout n'est pas réglé pour autant : le lien entre masse et gravité reste un problème. Voici comment certains élèves arrivent à formuler ce paradoxe, qui a été pointé à la fin de l'étape 3 :

Paradoxe.  
 La boule de pétanque est plus lourde donc la gravité agit plus fort sur elle que sur la boule de tennis\* alors la boule de pétanque devrait tomber en premier. Or elles tombent en même temps.  
 \*Si on tire fort sur un objet, il avance vite. Si on tire doucement, il avance doucement.

11

Pour le résoudre, il sera nécessaire de pousser la réflexion plus loin et ce sera l'objet de la suite du cours, d'une autre démarche.

Pour les curieux, disons juste ici que l'on comprendra que la masse d'un objet est liée

à deux propriétés bien distinctes :

- La masse est la capacité d'un corps à être attiré par une autre masse (la terre par exemple). C'est la « masse gravitationnelle » ou masse grave.

- Elle est aussi la capacité d'un corps à « résister aux actions » exercées sur elle. C'est la masse inerte, que l'on introduit avec le principe d'inertie<sup>1</sup>, évoqué en préambule.

C'est cette double propriété de la masse, qui se traduit par deux effets qui se compensent, qui permet d'expliquer que fondamentalement tous les corps tombent à la même vitesse en l'absence de frottements avec l'air. Un objet 10 fois plus massif qu'un autre sera 10 fois plus attiré par la terre mais sera 10 fois plus difficile à mettre en mouvement. Au final, les deux objets tomberont à la même vitesse.

#### Les enseignements que nous avons tirés de cette démarche

##### Des enjeux à différents niveaux

Le bilan que nous tirons de l'expérimentation de cette démarche est contrasté. Nous pensons avoir atteint notre objectif principal en produisant un engagement authentique de la quasi totalité des élèves dans le questionnement, la recherche. Ils ont tous des avis, très variés, la confrontation par le débat se fait assez spontanément et le recours à l'expérience pour mettre tout le monde

<sup>1</sup> L'inertie est cette faculté des objets à conserver leur mouvement (vitesse et direction), sauf si une action extérieure les freine, les accélère ou les dévie. Plus la masse d'un corps est élevée plus il résistera aux actions extérieures et tendra à conserver son mouvement. Il sera plus difficile à mettre en mouvement, à être freiné ou dévié.

d'accord s'impose. Chacun se rend compte que la physique n'a rien à voir avec des évidences qui découleraient d'une observation attentive d'expériences mais plutôt d'un laborieux travail de construction de concepts permettant de penser la complexité des choses. La difficulté à penser ces banales expériences est pour beaucoup d'élèves une découverte en soit, bien utile pour mieux saisir le fonctionnement des sciences.

Pour autant la solidité et le niveau de construction des savoirs, des concepts, varie grandement d'un élève à l'autre en fonction de leur outillage préalable. La complexité des choses, y compris pour des phénomènes a priori familiers semble irréductible et trop d'élèves se retrouvent perdus face à cette complexité<sup>2</sup>.

Les enjeux de cette démarche sont donc, pour nous, double (au moins) :

- D'abord, construire un cadre conceptuel assez solide pour arriver à penser le phénomène particulier de la chute des corps. Mais nous nous sommes rendu compte que cet objectif ne pouvait être que partiellement atteint, pour tous les élèves.

- Au travers de l'exemple étudié, montrer comment procède la physique pour appréhender le réel, arriver à en démystifier les processus, pour au final se réconcilier avec cette discipline. C'était pour nous l'enjeu principal.

### Des formes de raisonnements à viser explicitement dans l'enseignement

Certaines formes de raisonnement n'ont rien d'évident et correspondent d'ailleurs à des ruptures épistémologiques historiquement datées. Par exemple il est plus fécond de dire que la masse d'un objet fait qu'il est plus attiré par la terre, que de dire que sa masse le tire vers le bas. Ici on distingue les caractéristiques propres d'un objet et leurs liens avec des influences extérieures plutôt que de les essentialiser. De même l'idée qu'il ne suffit pas d'observer mais qu'il faut questionner les évidences (abandon de l'empirisme naïf) n'est pas toujours allée de soi dans l'histoire.

Nous avons bien vu en classe combien les élèves qui avaient déjà développé ces modes de pensée dans les classes précédentes (et/ou grâce à leur culture familiale) étaient plus performants que les autres pour entrer dans ce genre de problèmes complexes abordés au lycée. L'enjeu d'un curriculum école-collège-lycée en sciences est sans doute avant tout, au-delà des contenus notionnels, de viser explicitement le développement de ces modes de raisonnement complexes (dont il conviendrait de faire un inventaire).

### Le rôle de l'enseignant

Le rôle principal de l'enseignant n'est pas ici de fournir des explications (même s'il est parfois amené à le faire). Il est essentiellement de pousser les élèves à approfondir leur questionnement et les explications qu'ils doivent élaborer eux-mêmes.

Pour cela, la difficulté dans l'animation de la démarche pour l'enseignant est de se creuser la tête pour analyser ce que racontent les élèves, de comprendre leur logique pour trouver les questions pertinentes à leur renvoyer, pour les amener à faire évoluer leur réflexion.

### Le rôle de l'écriture

Passer par l'écriture de textes argumentés est un moment indispensable pour les élèves pour s'obliger à préciser leur pensée, à l'enrichir, à la rendre plus rigoureuse et sophistiquée et à en permettre de mieux la faire circuler, de revenir dessus de manière différée. C'est pour nous en physique une approche nouvelle<sup>3</sup>. Nous n'avons pas pour des raisons de place, publié ici des exemples des nombreux écrits produits par les élèves aux différentes étapes du travail. Mais l'expérimentation de cette démarche a été une occasion stimulante de nous familiariser avec cette forme de travail, peu habituelle pour nous.

### Des questionnements sans fin et des réponses toujours provisoires

Les réponses proposées face à un problème, si elles permettent d'avancer, posent à leur tour de nouvelles questions qui nécessitent de poursuivre la réflexion. Cela est vrai en classe, comme ça l'a été dans l'histoire des idées.

Ainsi, si nous avons réussi - à l'image de l'œuvre de Galilée - à mettre un peu d'ordre dans les histoires de frottements de l'air et de temps de chute en lien avec les caractéristiques d'un corps (masse et volume), de nouveaux problèmes redoutables ont surgi. Comment diable arriver à penser que la gravité fait tomber tout le monde en même temps alors que manifestement les uns sont plus « lourds » que les autres ?

Cette question n'est résolue de manière vraiment satisfaisante que si on arrive à construire des notions d'inertie, de force de pesanteur et de les articuler. Ce fut l'œuvre de Newton.

Et quand bien même, cela sera fait, l'identité de la « masse inerte » et de la « masse pesante » reste une énigme, dont la résolution passe par le développement d'une nouvelle physique du mouvement et de la gravitation, la relativité générale d'Einstein.

En ce sens cette démarche n'est finalement qu'une introduction, qu'une mise en jambe pour une aventure plus ambitieuse qui devra aller chercher d'autres phénomènes à explorer pour enfin être pleinement satisfaits de nos réponses. Ainsi la notion d'inertie n'est touchée du doigt que sous certains de ses aspects (l'air agit plus sur la balle légère que sur la lourde) et demande à être travaillée autrement. Enfin les concepts et raisonnements construits à cette occasion peuvent permettre d'explorer, en étant bien outillés conceptuellement, des phénomènes plus énigmatiques tels que l'apesanteur et la satellisation et donner ainsi toute sa force aux nouveaux savoirs construits. Ce sont les objectifs de la suite, que nous sommes actuellement en train de tester et travailler dans nos classes.

### L'importance de l'histoire des sciences

Se battre contre les fausses évidences est l'une des difficultés de la conceptualisation scientifique. Elle est source d'insécurité pour qui n'en est pas familier. Un des rôles importants de

<sup>2</sup> Et encore, pas mal de choses ont été discrètement mises de côté : la masse et le poids, c'est quoi la différence ? La nature de la surface (rugueuse ou pas), on en a plus parlé ? La hauteur de chute, ça joue quel rôle ? Il y a des effets principaux, d'autres secondaires, négligeables en première approximation, ...

<sup>3</sup> La nouvelle épreuve de physique au bac 213 introduit d'ailleurs « l'écrit de synthèse argumenté »

l'enseignant animateur est donc de rassurer, de mettre en confiance et d'accompagner des élèves pour qui c'est parfois la première occasion d'entrer dans une telle démarche intellectuelle.

Le détour par le texte de Galilée a de ce point de vue un double effet. D'une part il constitue une aide, un étayage pour permettre aux élèves d'avancer. Mais il montre surtout que les questions sur lesquelles butent les élèves sont grosso modo les mêmes sur lesquelles se penchaient d'illustres savants à plusieurs siècles de distance. C'est rassurant. Si on ne se sent pas si à l'aise, c'est pas tant parce qu'on n'est pas assez intelligent que parce qu'il s'agit bien de questions difficiles.

### Le rapport à l'expérience

Nous avons souvent entendu : « Vous avez de la chance vous en physique, vous pouvez faire manipuler les élèves en travaux pratiques et c'est plus intéressant pour eux ».

Pourtant, ce qui est étonnant dans cette démarche qui a obtenu l'engagement enthousiaste des élèves, c'est qu'ils ne manipulent pas des objets, mais se contentent d'observer des vidéos réalisées par les profs. Et pourtant quand on leur demande ce qu'ils ont pensé de cette séquence, ils sont plusieurs à déclarer qu'ils ont bien aimé car ils ont fait des expériences ! En fait, ce qui est important pour la construction de savoir en physique, ce n'est pas tant la manipulation (le « concret ») mais la réflexion théorique qu'elle permet. Et manifestement nous avons réussi à faire que les élèves se prennent au jeu de l'interprétation théorique de faits expérimentaux. Nous ne disons pas que les manipulations concrètes sont sans intérêt, loin de là, mais que leur intérêt se mesure à la richesse du travail de conceptualisation qu'elles permettent.

À cette occasion, rappelons l'importance des « expériences de pensée » (chères à Einstein) dans la progression des idées en physique et que nous avons essayé de réintroduire ici (« Et si les trois boules tombaient en l'absence d'air ? »).

### Faire vivre le « tous capables » en sciences

Dans la présentation que nous en avons faite, pour des raisons de clarté, nous avons passé sous silence de nombreuses difficultés et obstacles rencontrés par les élèves. Les choses sont encore plus complexes que nous avons bien voulu le dire. Et pour aider les élèves à surmonter ces obstacles, notre démarche a assurément de nombreuses faiblesses. Nous cherchons encore maintenant comment les réduire, en la remettant régulièrement en chantier en classe, en variant les dispositifs de travail.

Mais elle a pour nous l'énorme mérite de nous encourager dans la voie d'une plus grande ambition pour tous, sans renoncer malgré les difficultés. Elle nous permet d'espérer restituer à nos élèves l'extraordinaire aventure humaine que fut la lente et laborieuse construction de la mécanique classique et moderne. Et cela dès le lycée, dès la classe de 2de, en refusant l'opinion si souvent défendue, que la transmission de savoir au lycée serait forcément pauvre de sens, lequel ne serait accessible qu'avec des études supérieures, « pour les plus

doués », forcément.

Et là le sens que nous voulons donner à ce « tous capables » : plus qu'un slogan généreux, une boussole pour orienter notre travail au quotidien en nous montrant dans quelle direction faire porter nos efforts. Nous voulons témoigner ici que si ce n'est pas un chemin facile, c'est assurément un chemin praticable. ■

#### Texte de Galilée tiré de « Dialogue sur les deux grands systèmes du monde »

**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 de cent ou deux cents livres, ou plus encore, n'aura pas pris l'avance d'une palme, à son arrivée au sol, sur une balle de fusil d'une demi-livre, même si la hauteur de chute est de cent coudées ! [...]

**Simplicio** J'ai de la peine à croire qu'une lame 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.

**Simplicio** Quoi qu'il en soit, je n'arrive pas à croire que dans le vide, si le mouvement y était possible, un flocon de laine tomberait aussi vite qu'un morceau de plomb.

**Salviati** Doucement, signor Simplicio [...], écoutez 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, [...] alors nous pourrions admettre avec une grande probabilité que dans le vide les vitesses seraient toutes égales. [...] 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 gênera beaucoup l'objet léger, et sur une longue distance l'objet léger demeurera alors en arrière. [...] Cependant, si l'on prend deux objets de même forme et constitués du même matériau, et que l'on diminue la masse de l'un en même temps que sa surface, il ne se produit aucune réduction de vitesse. [...] J'en arrive donc à la conclusion que si l'on éliminait complètement la résistance du milieu, tous les objets tomberaient à vitesse égale.

La lecture du texte ébranle quelques certitudes. L'hypothèse 3 reprend de la crédibilité.