Du côté de la recherche en didactique

Actions, interactions et schématisation

par Michelle BRASQUET
Lycée Champlain - 94430 Chennevières-sur-Marne
LDSP Université Paris 7

RÉSUMÉ

Une étude récente, réalisée en terminale à propos de l'application des lois de Newton, montre la persistance de certaines erreurs qui pourraient peut-être être évitées si les élèves étaient familiarisés avec certaines formes de schématisation comme, par exemple, les schémas éclatés. Ceux-ci ont tout leur intérêt, au niveau même du collège, pour installer, sans formalisme mais avec rigueur, l'idée de loi.

1. PROBLÉMATIQUE

Le nouveau programme de mécanique de la classe de troisième [2] prévoit l'étude des actions et leur modélisation par des forces. C'est donc l'occasion d'aborder, sans l'obligation d'introduire le formalisme mathématique du vecteur, la schématisation de forces. Des travaux réalisés par MENIGAUX [4], ont souligné les difficultés rencontrées par les élèves de troisième lors de la schématisation des interactions.

Par ailleurs, la troisième loi de Newton, ou loi des interactions, encore appelée principe de l'action et de la réaction, est explicitement abordée en première et rappelée en terminale. Des études antérieures [5], [6], ont montré qu'il est fréquent de confondre une étude d'interaction entre deux objets avec un bilan de forces s'exerçant sur un seul objet (voir figure 1a). Cette confusion s'accompagne en général de deux erreurs déjà relevées par MENIGAUX [4] :

– la force exercée par un objet A sur un objet B est appliquée à A et non à B (transposition d'une force),

– le poids d'un objet A, action de la terre sur A, devient la force exercée par A sur le support de A (transmission du poids).

2. DES PROPOSITIONS POUR LA SCHÉMATISATION

2.1. Les schémas éclatés

Pour tenter de remédier à ces confusions, VIENNOT a proposé [7], d'avoir recours à des schémas éclatés. Dans ces schémas éclatés, les différents partenaires d'une interaction sont volontairement disjoints même s'ils sont en contact. A chaque interaction doivent obligatoirement correspondre deux flèches de même longueur et de même codage (couleur ou autre), tandis qu'une «bulle» dessinée autour de l'objet précède l'établissement de tout bilan de forces (figure 1b).

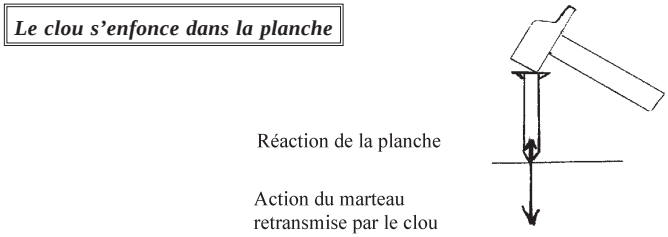


Figure 1a : Schéma et commentaires couramment observés : «l'action du clou est supérieure à la réaction de la planche».

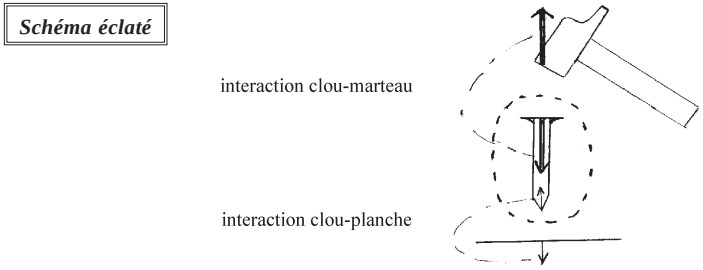


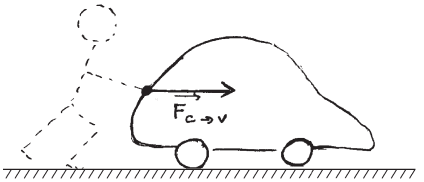
Figure 1b : Les interactions clou-terre (gravité) et clou-air (poussée d'Archimède) ont été négligées devant les interactions clou-planche et clou-marteau.
La loi des interactions est respectée.
L'action du marteau sur le clou est supérieure à l'action de la planche sur le clou : le clou accélère et s'enfonce dans la planche.

Les schémas éclatés permettent de préciser sans ambiguïté quel est l'objet d'application de chaque force. Ils permettent également de distinguer l'étude d'une interaction entre deux objets du bilan de force sur un seul objet. Toutefois, la séparation artificielle

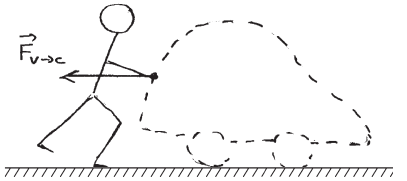
de deux objets en contact correspond à un premier degré d'abstraction qui peut être une source de difficultés pour certains élèves.

2.2. **Les schémas pointillés**

Dans le même ordre d'idée, une autre possibilité serait l'utilisation des schémas pointillés du style de ceux qui avaient été proposés par le GTD dans le document d'accompagnement des programmes de première [1]. Cette technique de schématisation permet d'isoler l'objet d'étude et de bien distinguer l'acteur de la force puisqu'il est représenté en pointillés (voir figure 2).



Le conducteur exerce une force sur la voiture.



La voiture exerce une force sur le conducteur.

Figure 2

Mais cette technique laisse substituer un doute sur l'objet qui subit la force. De plus, elle présente l'inconvénient de multiplier le nombre de schémas lors de l'étude des interactions puisqu'il en faut autant que de parties séparées. Elle pourrait toutefois se révéler utile en troisième où l'on se limite à l'étude des actions s'exerçant sur une seule des parties du système.

2.3. **Les Diagrammes Objets-Interactions (DOI)**

Rappelons enfin les diagrammes objets-interactions proposés par DUMAS-CARRE et GOFFARD [3]

Pour construire un DOI, l'élève doit s'interroger sur la nature de l'interaction, les interactions de contact étant représentées par un trait plein et les interactions à distance par un trait pointillé. Mais il doit également avoir recours à une représentation symbolique des objets décrits par l'énoncé, représentations qui diffèrent suivant que l'objet est déformable (nuage) ou indéformable (rectangle).

Un DOI correspondant au cas d'une bille suspendue à un ressort pourrait se traduire par :

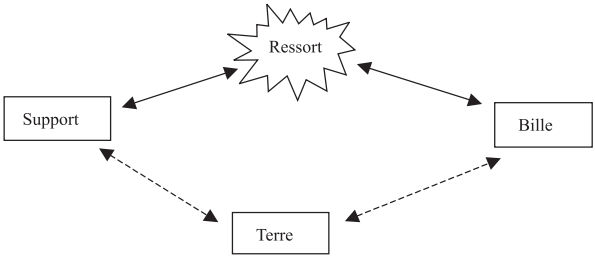


Figure 3

Selon les auteurs [3], c'est un outil qui peut ensuite aider l'élève à faire un bilan correct des forces s'exerçant sur l'un des objets du système, sous réserve qu'il soit introduit suffisamment tôt c'est-à-dire avant la notion de force. Toutefois, ce type de diagramme devient vite peu lisible quand le nombre d'interactions augmente. De plus, l'aspect non figuratif du schéma demande à l'élève un niveau d'abstraction supplémentaire par rapport aux méthodes précédentes. Enfin la question des points d'application des forces représentées reste entière.

L'étude qui suit, portant sur les schémas éclatés, peut éclairer le choix d'une méthode de représentation *en collège* comme *en lycée.*

3. LES DIFFICULTÉS DES ÉLÈVES DE TERMINALE CONCERNANT L'APPLICATION DE LA TROISIÈME LOI DE NEWTON

Nous avons voulu essayer :

– d'une part, d'évaluer l'importance des erreurs mentionnées au paragraphe 1.1.,

– d'autre part, de voir les effets éventuels d'une obligation de s'exprimer en schémas éclatés.

3.1. Méthodologie

L'étude a été menée à partir de questionnaires papier-crayon réalisés dans deux versions différentes, l'une comportant des schémas classiques et l'autre des schémas éclatés. Ces questionnaires ont été posés, en distribution alternée, à cent vingt-quatre

élèves de terminale S, à la suite du cours sur les lois de Newton et avant toute séance d'exercices sur le sujet. Aucun enseignement préalable de la technique des schémas éclatés n'avait été donné.

3.2. **Les questions**

Les questionnaires sont joints en annexe.

Dans la première question, on considérait une voiture en panne que son conducteur poussait et parvenait à accélérer. C'est une situation connue, sinon vécue des élèves, dans laquelle il n'y a pas d'ambiguïté sur la force motrice : le conducteur pousse, la voiture résiste. Par ailleurs, dans un souci de simplification, afin notamment d'éviter l'intervention du poids, on demandait de se limiter à l'étude des composantes horizontales des forces qui sont alors toutes des forces de contact.

Questionnaire A ***Questionnaire B***

Figure 4

Dans la deuxième question, nous voulions étudier l'intervention du poids d'un objet et sa transposition éventuelle sur le support de l'objet. Nous demandions donc d'étudier les interactions intervenant dans un système comportant une bille accrochée à un ressort. La bille effectuait un mouvement accéléré vers le bas et n'avait pas encore atteint sa position d'équilibre.

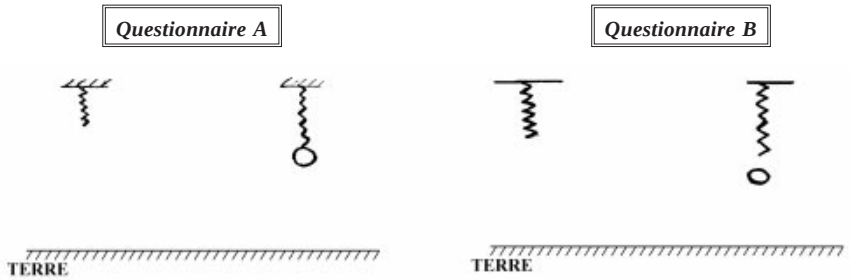


Figure 5

La troisième question était commune aux deux types de questionnaires. Nous voulions mettre l'élève en situation d'analyse et non plus en situation de production comme dans les deux premières questions. Nous avons choisi un schéma déjà proposé au préalable [2], [4], celui d'une valise que le voyageur est en train de hisser sur le filet à bagages. Nous précisions que la valise était accélérée vers le haut.

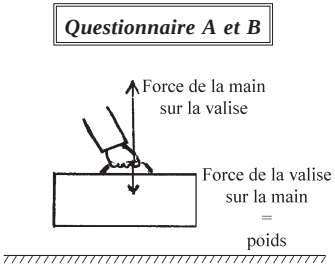


Figure 6

Ce schéma comportait volontairement les erreurs les plus communes :

➢ L'inégalité des deux forces d'une même interaction puisque «l'action» (force exercée par la main sur la valise) était supérieure à la «réaction» (force de la valise sur la main) ; on privilégiait donc la force qui avait le même sens que le mouvement.

➢ L'amalgame entre le poids et la force exercée par la valise sur la main, ce que nous appellerons par la suite la «transmission du poids».

De plus, en proposant le même schéma aux deux groupes, nous voulions voir si l'utilisation des schémas éclatés lors des deux premières questions avait une influence sur les résultats des élèves du groupe B lors de cette analyse.

3.3. Principaux résultats

Comparaison de «l'action» et de la «réaction»

Les termes «action» et «réaction» sont souvent eux-mêmes sources d'erreur et nous leur préférons, pour l'enseignement, les termes «d'actions réciproques». Toutefois ici, par commodité, nous appellerons «action» la force de même sens que l'accélération, c'est-à-dire par exemple la force exercée par le conducteur sur sa voiture ou bien la force exercée par la bille sur le ressort, la «réaction» étant alors la force exercée par la voiture sur le conducteur ou bien la force exercée par le ressort sur la bille. Nous avons regroupé les résultats des trois questions dans le tableau 1. La colonne «autre» regroupe les réponses où il n'a pas été fait d'étude d'interaction et celles, peu nombreuses, pour lesquelles «l'action» était inférieure à la «réaction».

	Question 1			**Question 2**			**Question 3**		
	action > réaction	action = réaction	autres	action > réaction	action = réaction	autres	action > réaction	action = réaction	autres
Questionnaire A	63 %	8 %	29 %	59 %	16 %	25 %	69 %	3 %	28 %
Questionnaire B	56 %	13 %	31 %	60 %	20 %	20 %	53 %	5 %	42 %

Tableau 1

On constate donc que très peu d'élèves appliquent la troisième loi de Newton lors de l'étude de systèmes accélérés. Une forte proportion d'entre eux, dans les deux questionnaires, privilégie la force qui a même sens que le déplacement ici identique au sens de l'accélération.

Transformation d'une étude d'interaction en bilan de forces

Un certain nombre d'élèves (la majeure partie de la colonne «autres» du tableau précédent) n'ont pas fait une étude des interactions comme il le leur était demandé mais ont réalisé un bilan de forces classique sur l'une des parties du système, ce qui leur permettait d'appliquer la deuxième loi de Newton au lieu de la troisième. Ce n'est pas faux mais c'est un détournement de la question posée.

Pour d'autres, c'est l'ensemble action-réaction qui se transforme en bilan de forces sur un même objet. Cela peut s'observer soit sur des schémas (voir figure 4a) soit dans les commentaires du type «La force exercée par le conducteur sur la voiture est supérieure à la force exercée par la voiture sur le conducteur, c'est pour cela que la voiture accélère». Cette erreur a été observée très fréquemment. Pour la première question par exemple, on la retrouve de manière analogue, dans 49 % des questionnaires A et 43 % des questionnaires B.

Transposition d'une force sur l'acteur de cette force

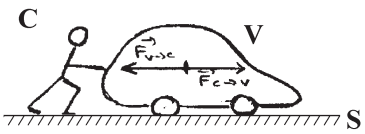


Figure 7a

La force exercée par la voiture sur le conducteur est représentée comme s'exerçant sur la voiture et non sur le conducteur.

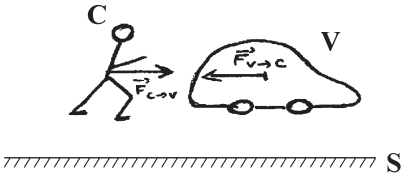


Figure 7b

La force exercée par la voiture sur le conducteur est appliquée sur la voiture et non sur le conducteur. La force exercée par le conducteur sur la voiture est appliquée sur le conducteur et non sur la voiture.

On a relevé un certain nombre de schémas sur lesquels il y avait transposition sur l'acteur lui-même de la force qu'il exerce. Les schémas des figures 7a et 7b illustrent cette transposition à propos de la première question.

Cette transposition se rencontre dans 57 % des questionnaires B pour seulement 29 % des questionnaires A, mais cette différence est trompeuse. En effet, dans les schémas non éclatés, le point de contact entre la voiture et le conducteur est aussi le point d'application commun des deux forces de l'interaction. Dans les schémas éclatés ce point est en quelque sorte dédoublé, ce qui permet de faire apparaître une erreur qui passe inaperçue dans les schémas compacts comme le montre la figure 8c.

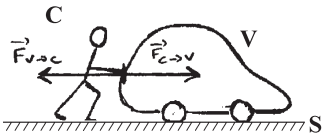


Figure 8a

Schéma non éclaté.
Le point de contact est le point d'application commun des forces ; le schéma ne fait apparaître aucune erreur.

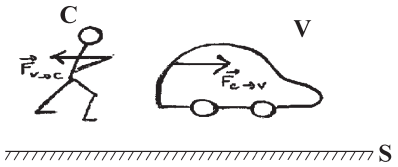


Figure 8b

Schéma éclaté correct.

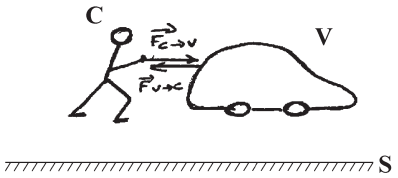


Figure 8c

Schéma éclaté erroné.
Il fait apparaître la transposition des forces.

Le schéma éclaté est donc susceptible de révéler une erreur autrement clandestine.

Transmission du poids

Dans les deuxième et troisième questions, les élèves avaient à prendre en compte le poids de la bille ou de la valise. Or on constate, dans certaines réponses, que le poids, action de la terre sur la bille ou sur la valise, devient l'action de la bille sur le ressort, ou l'action de la valise sur la main. C'est ce que nous appelons la transmission du poids sur le support de l'objet.

Si l'on ne tient compte que des réponses où intervient explicitement le poids, les résultats sont les suivants :

	Question 2		**Question 3**	
	Questionnaire A N = 29	Questionnaire B N = 40	Questionnaire A N = 61	Questionnaire B N = 60
Transmission du poids	59 %	35 %	61 %	48 %

Tableau 2

On constate que cette confusion apparaît moins souvent dans les schémas éclatés*.

3.4. **Conclusions de l'enquête**

Cette première étude réalisée avec des élèves de terminale sur les interactions met l'accent sur un certain nombre de problèmes.

On observe la persistance du raisonnement commun selon lequel l'idée «qu'il faut une force pour rompre l'état d'équilibre» conduit à la violation de la troisième loi de Newton pour un système en mouvement [7]. Une mauvaise analyse des situations conduit à confondre «force exercée par» et «force exercée sur» d'où les erreurs du type transformation d'interaction en bilan de forces, transmission de force ou transposition du poids. Le bénéfice des schémas éclatés peut paraître limité mais, si l'on tient compte du fait qu'ils ont été introduits *ex-abrupto*, ce bénéfice n'est pas négligeable. On observe, par exemple, moins de transmission du poids dans les questionnaires B. Les schémas éclatés permettent surtout de mettre en évidence certaines erreurs du type transposition d'une force sur l'acteur, erreur qui ne pourra être corrigée qu'à partir du moment où elle est décelée.

4. **EN TERMINALE COMME EN TROISIÈME : SCHÉMATISER POUR CLARIFIER**

Bien que le nouveau programme de troisième ne parle que d'actions et non d'interactions et qu'il précise bien que la loi des actions réciproques est hors programme, quels enseignements peut-on tirer de l'étude précédente pour cette dernière année du collège ?

Identifier l'objet d'étude sur lequel s'exerce l'action est essentiel (voir d'ailleurs la colonne «compétences» du programme) or cette identification n'est pas aussi facile qu'il y paraît pour l'étude des actions de contact. L'utilisation des schémas éclatés a bien mis en évidence cette difficulté. Les élèves de terminale se sont montrés quelque peu réticents à utiliser cette méthode de schématisation à laquelle ils n'étaient pas habitués. Cela se traduit dans leurs commentaires. Par exemple : «*Le fait que la voiture, l'homme et le sol soient séparés me bloque complètement, je ne sais plus où mettre le point d'application des forces*».

* Pour la question 2 : $\chi^2 = 3{,}79$, $p < 0{,}1$; pour la question 3 : $\chi^2 = 2{,}13$, $p < 0{,}15$.
La différence est notable même si elle n'est pas à proprement parlé significative.

Les schémas éclatés les obligent à se poser le problème de l'identification de l'objet sur lequel s'exerce la force et sans doute est-ce largement la cause de leur malaise. Mais il peut s'agir aussi du problème de la localisation précise du point d'application sur un objet, point que l'éclatement fait disparaître. On pourrait donc proposer de marquer par un signe distinctif, par exemple une croix de couleur, la position du point de contact avant séparation lorsque ce point de contact est aussi le point d'application de la force. Cette croix devrait alors se retrouver sur les deux parties du système après séparation.

L'opération de schématisation procède d'une double tendance : le schéma doit comporter un certain degré d'abstraction par rapport au réel, mais il doit aussi concrétiser le concept abstrait qui lui est attaché. L'équilibre entre ces deux tendances est fonction de l'évolution de l'élève. La difficulté d'abstraction ressentie par les élèves de terminale face aux schémas éclatés incite à penser qu'il n'est pas souhaitable, en classe de troisième, de s'écarter davantage de la réalité observable.

En conclusion, on peut regretter que le nouveau programme de troisième n'aborde pas le concept de force par l'étude des actions réciproques comme le suggéraient différentes études didactiques [3], [6]. Il est possible, par le choix judicieux d'une technique de schématisation, de faciliter chez les élèves une analyse rigoureuse des forces s'exerçant sur un objet. Ce travail de schématisation, formateur en soi au niveau du collège, permet de concilier simplicité du formalisme, éducation à la rigueur et exigence sur l'application des lois.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bulletin Officiel du Ministère de l'Éducation Nationale : *«Nouveaux programmes de physique et chimie pour les classes de seconde, première et terminale des lycées»* - Numéro hors série du 24 septembre 1992, volume 2.

[2] Bulletin Officiel du Ministère de l'Éducation Nationale. Numéro 10 hors série du 15 octobre 1998, volume 2.

[3] Andrée DUMAS-CARRE et Monique GOFFARD : *«Rénover les activités de résolution de problèmes en physique. Concepts et démarches»* - Armand Colin, Paris (1997).

[4] Jacqueline MENIGAUX : *«La schématisation des interactions en classe de troisième»* - Bulletin de l'Union des Physiciens, n° 683, pp. 761-778 (1986).

[5] Laurence VIENNOT : *«L'action est-elle bien égale à la réaction ?»* - Bulletin de l'Union des Physiciens, n° 640, pp. 479-488 (1982).

[6] Laurence VIENNOT : *«Bilans de forces et loi des actions réciproques»* - Bulletin de l'Union des Physiciens, n° 716, pp. 951-970 (1989).

[7] Laurence VIENNOT : *«Raisonner en physique. La part du sens commun»* - De Boeck université Paris Bruxelles (1996).

Annexe

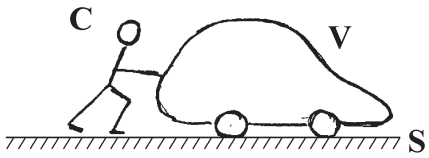
QUESTIONNAIRE A

Préambule

Vous pouvez indiquer, dans les cadres prévus à cet effet, toutes les remarques ou suggestions que vous jugez utiles concernant les questions et/ou leur formulation.

Question 1

Un conducteur pousse sa voiture en panne et parvient à l'accélérer. On s'interroge sur les interactions entre le conducteur, la voiture et le sol pendant cette phase d'accélération.



Dessiner les composantes horizontales de ces interactions en précisant bien quel objet agit sur quel autre

Spécifier si certaines forces sont supérieures ou égales à d'autres et pourquoi.

Vous représenterez les forces par des flèches de longueurs nettement égales ou nettement inégales sans autre souci d'échelle.

Justifications

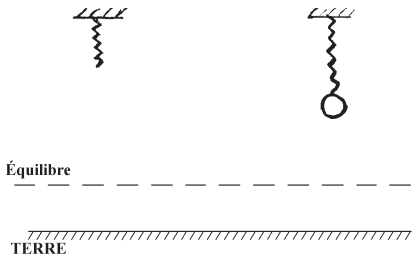
.....
.....
.....
.....

Remarques et suggestions

.....
.....
.....
.....

Question 2

A un ressort au repos, on accroche une bille d'acier que l'on lâche sans vitesse initiale. On considère un instant, juste un peu après qu'on l'ait lâchée, où elle accélère vers le bas et on s'interroge sur les interactions, à cet instant, entre l'extrémité du ressort, la bille et la terre.



Représenter ces forces sur le schéma.

Soit $\vec{F}_{R \to B}$ la force exercée par le ressort sur la bille et $\vec{F}_{B \to R}$ la force exercée par la bille sur le ressort.

On a *(cocher la case correspondante)* :

❑ $\vec{F}_{R \to B} > \vec{F}_{B \to R}$ ❑ $\vec{F}_{R \to B} = \vec{F}_{B \to R}$ ❑ $\vec{F}_{R \to B} < \vec{F}_{B \to R}$ ❑ Je ne sais pas

Justifications

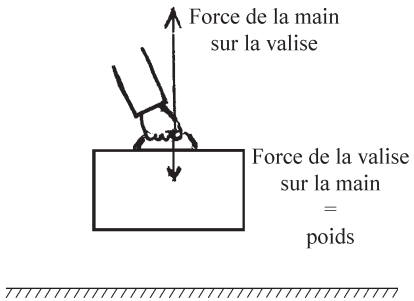
.....
.....
.....
.....

Remarques et suggestions

.....
.....
.....
.....

Question 3

Une valise est accélérée vers le haut par un voyageur qui veut la ranger en haut du compartiment à bagages d'un train.



Un de vos camarades a fait le schéma ci-contre pour expliquer comment les lois de Newton s'appliquent à cette situation.

Voyez-vous à ce schéma :

– des avantages ? lesquels ?

– des inconvénients ? lesquels ?

A sa place auriez-vous fait le même schéma ?

❑ Oui ❑ Non

Si non, quel schéma proposez-vous et pourquoi ?

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

QUESTIONNAIRE B

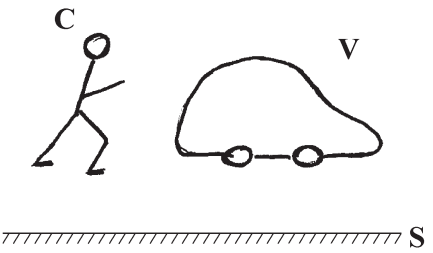
Préambule

Vous pouvez indiquer, dans les cadres prévus à cet effet, toutes les remarques ou suggestions que vous jugez utiles concernant les questions et/ou leur formulation.

Question 1

Un conducteur pousse sa voiture en panne et parvient à l'accélérer. On s'interroge sur les interactions entre le conducteur, la voiture et le sol pendant cette phase d'accélération.

Sur le dessin, les trois parties, conducteur, voiture et sol ont été séparées pour faciliter votre schéma alors qu'en fait elles sont en contact.



Dessiner les composantes horizontales des forces subies par chaque partie. Pour deux forces impliquées dans une interaction donnée, utiliser la même couleur.

Vous représenterez les forces par des flèches de longueur nettement égales ou nettement inégales sans autre souci d'échelle.

Justifications

.....
.....
.....

Remarques et suggestions

.....
.....
.....

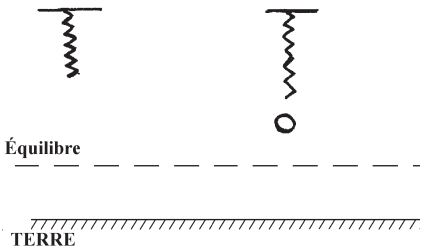
COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Question 2

A un ressort au repos, on accroche une bille d'acier que l'on lâche sans vitesse initiale.

On considère un instant, juste un peu après qu'on l'ait lâchée, où elle accélère vers le bas et on s'interroge sur les interactions, à cet instant, entre l'extrémité du ressort, la bille et la terre.

Sur le dessin, les parties ressort et bille ont été séparées alors qu'en fait elles sont en contact.



Représenter les forces subies par chaque partie du dispositif. Pour deux forces impliquées dans une interaction donnée, utiliser la même couleur.

Soit $\vec{F}_{R \to B}$ la force exercée par le ressort sur la bille et $\vec{F}_{B \to R}$ la force exercée par la bille sur le ressort.

On a *(cocher la case correspondante)* :

❑ $\vec{F}_{R \to B} > \vec{F}_{B \to R}$ ❑ $\vec{F}_{R \to B} = \vec{F}_{B \to R}$ ❑ $\vec{F}_{R \to B} < \vec{F}_{B \to R}$ ❑ Je ne sais pas

Justifications

.....
.....
.....
.....

Remarques et suggestions

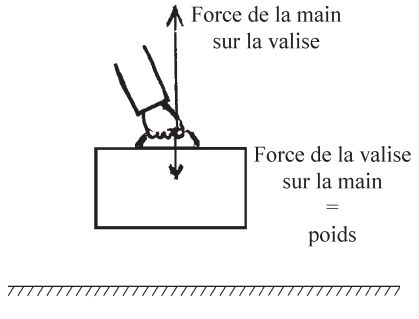
.....
.....
.....
.....

COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME – COLLÈGE : AUTOUR D'UN THÈME

Question 3

Une valise est accélérée vers le haut par un voyageur qui veut la ranger en haut du compartiment à bagages d'un train.

Un de vos camarades a fait le schéma ci-contre pour expliquer comment les lois de Newton s'appliquent à cette situation.



Voyez-vous à ce schéma :

– des avantages ? lesquels ?

– des inconvénients ? lesquels ?

A sa place auriez-vous fait le même schéma ?

❑ Oui ❑ Non

Si non, quel schéma proposez-vous et pourquoi ?