

Partie 2 : Interaction et force

Pourquoi cette partie ?

Dans la première sous-partie (paragraphe I), par l'intermédiaire de quatre activités, nous introduisons les concepts de système et d'interaction et une première approche du principe des actions réciproques :

1. Introduction de la notion d'action suivie de l'introduction de la première partie du modèle qui permettra à l'élève de faire l'inventaire des interactions dans lesquelles est impliqué un système.
2. Première mise en œuvre du modèle des interactions.
3. Différentes situations d'interactions pour un système choisi.
4. Recherche de situations correspondant à un diagramme donné.

Dans la seconde sous-partie (paragraphe II), nous introduisons, grâce à trois activités, le concept de force et sa représentation vectorielle :

1. Exercice physique permettant aux élèves d'effectuer par eux-mêmes des actions sur un médecine-ball et de décomposer le mouvement en différentes phases.
2. Analyse des interactions lors du mouvement du médecine-ball suivie de l'introduction de la 2^{ème} partie du modèle (force).
3. Utilisation du modèle conduisant à analyser les situations en terme de variation de la vitesse.

Nous reprenons la progression proposée par J.C. Guillaud (thèse de didactique : "Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième" soutenue en 1998 à l'université Joseph Fourier (Grenoble)).

Commentaires sur le savoir à enseigner et information sur le contenu disciplinaire

Le modèle des interactions est introduit en deux parties bien que ce ne soit que dans sa totalité qu'il puisse prendre toute sa signification pour l'élève. On comprend bien la notion d'interaction (première partie) quand on peut lui associer une représentation (seconde partie).

Luc Valentin propose dans 'L'univers mécanique' (1983, seconde édition 1995 Hermann) une réflexion analogue sur les lois de la mécanique :

"Après avoir décrit les mouvements sans souci de ce qui les produit, nous allons maintenant chercher à les interpréter. L'objet de la dynamique est, en effet, de trouver, sinon les causes des mouvements, du moins le " je ne sais quoi " qui les régit. Il existe plusieurs façons d'atteindre ce but. Ici, j'exposerai uniquement la démarche, introduite par Galilée et formalisée par Newton, qui consiste à invoquer des forces dès qu'un objet change de vitesse.

Plus précisément, Newton fonda la mécanique sur trois lois couplées entre elles : la loi d'inertie, la loi des forces en action et la loi des actions réciproques. Ce sont ces lois qu'on préfère appeler aujourd'hui le principe d'inertie, le principe fondamental de la dynamique et le principe de l'action et la réaction".

La première partie, strictement sur les interactions, occupe ici davantage de place que celle que lui réserve le programme. L'utilisation des diagrammes système-interactions, à laquelle nous réservons une large place, ne figure pas dans le programme. Cette étape nous paraît cependant indispensable à une bonne compréhension du concept de force. La recherche d'un tel diagramme contraint l'élève à se centrer sur l'étude d'un système choisi, en interaction avec d'autres systèmes ; le concept de force est alors un élément du modèle de la physique pour rendre compte au mieux des actions exercées sur ce système.

Informations pour la préparation de la séance

La 1^{ère} partie du modèle des interactions est distribuée après la 1^{ère} activité. La 2^e partie du modèle est distribuée après les 2 premières activités du II, qui visent à illustrer sur une situation particulière (lancer et réception d'un médecine-ball) l'insuffisance de la première partie du modèle.

Il est indispensable de respecter cette chronologie dans l'utilisation des modèles.

1^{ère} sous partie : I. Introduction du modèle des interactions (1^{ère} partie)

Pourquoi cette sous-partie ?

Dans ce modèle, on propose "actions réciproques" et non action - réaction pour insister sur la **simultanéité** de l'action et de la réaction : il n'y a pas action puis réaction comme le suggère le sens commun de ces mots. (cf. Thèse de J.C. Guillaud).

Le professeur doit être vigilant sur le sens du mot "action". Le sens physique de ce terme n'est pas souvent celui donné par les élèves pour qui une action est rarement attribuée à un objet (film d'actions par exemple). Pour les élèves action est souvent associée à mouvement.

De même, le mot "objet" employé dans la première partie du modèle peut être mal compris par les élèves. Par exemple pour certains, l'interaction peut être un objet alors qu'ils ont du mal à considérer la Terre comme un objet.

Ce que nous appelons "Interactions" est une partie du principe des actions réciproques ou troisième loi de Newton ; on ne peut encore évoquer à ce stade l'égalité des intensités des deux actions.

La direction et le sens de la force sont donnés par l'analyse de l'action que la force modélise.

Activité 1. Introduction de la notion d'action

Pourquoi cette activité?

Le but de cette activité est d'aider les élèves à acquérir le sens adéquat des termes "agir" et "objets" et leur utilisation pour décrire une situation matérielle en terme d'action.

En effet, **les questions posées dans cette activité (voir document élève) sont beaucoup plus difficiles** qu'il n'y paraît pour plusieurs raisons :

- Le sens en physique des mots utilisés est différent de celui que leur donnent les élèves, en particulier dans cette activité : le verbe "agir", le nom "action", le nom "objet".
- Analyser une situation matérielle en tenant compte de l'action à distance de la terre implique de considérer la terre comme un objet, ce qui est bien souvent contraire au sens commun (voir comportement des élèves).

Informations pour la préparation de l'activité (ou de la partie)

Pour qu'ils puissent vraiment analyser la situation en termes d'actions, les élèves doivent nécessairement disposer du matériel. Nous développons ce point dans les informations sur le comportement des élèves.

Il suffit d'accrocher une pierre (assez lourde) à un gros élastique (qu'on trouve facilement en mercerie) lui même accroché à un support. L'élastique et la pierre doivent être tels que l'élastique

soit encore tendu lorsqu'on soulève légèrement la pierre. Ceci sera important pour la suite (activité 3).

En fin d'activité, le professeur distribue la première partie du modèle (document élève) et la lit avec la classe. On ne doit pas forcément s'attendre à une bonne compréhension du modèle par les élèves à ce stade. ; la compréhension d'un tel texte ne peut se faire que via des exemples, donc des activités.

Commentaires sur le savoir à enseigner et information sur le contenu disciplinaire

Les deux questions renvoient à la situation expérimentale et donc au monde des objets et des événements. En physique, le mot " agir " a un sens très différent de celui que lui donnent les élèves. Le mot " agir " est utilisé pour exprimer le fait que l'élastique retient la pierre ou que la Terre l'attire par exemple. Le même mot sera ensuite utilisé pour décrire comment le modèle des interactions rend compte de la situation. Chaque fois qu'un même mot est employé pour des énoncés relatifs à chacun des deux mondes, il y a risque de confusion pour l'élève. Cependant, bien que source de confusion, de tels mots, en suscitant en cours d'apprentissage des énoncés mettant les deux mondes sur un même plan, permettent aux élèves de faire des mises en relation facilitant leur compréhension d'une situation et, au final, de bien différencier les deux mondes. En fin d'apprentissage, le professeur aura dans certains cas intérêt à être très clair en utilisant des formulations comme " le système-élastique agit sur le système-pierre " pour les énoncés relevant du monde des théories et des modèles.

Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Nous avons constaté dans nos classes qu'un élève a besoin d'intervenir sur le montage (pour soulever la pierre, tirer sur l'élastique, etc.) afin de percevoir physiquement des sensations indispensables à l'analyse de la situation en termes d'interactions. Il lui est même nécessaire de revenir à plusieurs reprises sur le montage pour tester son interprétation et l'affiner progressivement. C'est en lui permettant de procéder de cette manière qu'il peut réellement modifier son analyse de la situation qui, bien qu'elle lui soit familière, est étudiée d'un point de vue tout à fait nouveau pour lui.

Les élèves indiquent souvent le support comme agissant sur la pierre (s'il n'était pas là, la pierre tomberait). Certains parlent alors d'actions directes et indirectes (via un objet intermédiaire). Un débat peut s'en suivre, en évoquant alors l'utilité du découpage de la réalité en systèmes et l'importance du choix du système.

Certains élèves évoquent l'action de l'air sur la pierre. Le professeur pourra engager le débat et certains élèves avanceront des arguments liés à l'immobilité de la pierre pour conclure. La cas d'une pierre en mouvement pourra être rapidement évoqué et, après discussion, le professeur pourra préciser qu'une partie du travail du physicien est justement de décider s'il néglige ou non cette action selon la situation (et si c'est admissible de le faire).

Le professeur peut prévoir que les élèves omettront que l'objet agit sur la Terre et qu'ils auront du mal à admettre cette action. Certains, pour convaincre les plus réticents, avancent parfois les marées comme un effet de l'action de la Lune sur la Terre.

Corrigé

Les objets qui agissent sur la pierre sont la terre et l'élastique. La pierre agit sur ces mêmes objets.

Activité 2. Première mise en œuvre du modèle des interactions.

Pourquoi cette activité?

Cette activité vise à aider les élèves :

- à prendre conscience que le système **est choisi** selon le problème que l'on traite (c'est l'un des aspects importants du fonctionnement de la physique)
- à commencer à utiliser une représentation symbolique des systèmes et des interactions.

Commentaires sur le savoir à enseigner et information sur le contenu disciplinaire

Le professeur pourra préciser, dès cette activité et si l'occasion se présente, que la disposition des systèmes importe peu dans ce type de diagramme. C'est la direction du vecteur force qui permettra d'indiquer la direction de l'action.

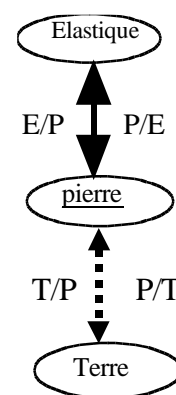
Le professeur peut conclure cette activité de la façon suivante :

- on considère qu'il y a interaction de contact chaque fois que deux systèmes sont en contact l'un avec l'autre.
- les interactions à distance sont de trois types :
 - l'interaction à distance entre la Terre (ou un autre corps céleste comme la Lune, le Soleil...) et un objet (y compris la Lune, le Soleil...) est un exemple d'interaction gravitationnelle ;
 - l'interaction entre un aimant et un objet magnétique (ou un autre aimant) est un exemple d'interaction magnétique ;
 - l'interaction entre un objet de matière plastique que l'on vient de frotter et des objets légers (ou un autre morceau de matière plastique) est un exemple d'interaction électrique.

Corrigé

Les systèmes en interaction avec le système-pierre sont la terre et l'élastique.

Le diagramme est représenté ci-contre.



Exercices : étude des interactions pour des situations variées

Pourquoi ces exercices ?

Ces exercices (voir document élève) peuvent en partie être cherchés à la maison, ils ont pour but :

- de construire le diagramme système-interactions de diverses situations ;
- de faire remarquer aux élèves que, pour une situation donnée, le diagramme système-interactions dépend du système choisi ;
- d'aider les élèves à donner tout son sens au principe des interactions (en particulier, que lorsque deux systèmes interagissent, il y a toujours simultanément deux actions).

Ces exercices peuvent être complétés par des situations servant de support à des exercices du livre.

Informations pour la préparation des exercices

En conclusion de ces exercices, le professeur fait remarquer que, pour une situation donnée, le diagramme système-interactions dépend du système choisi : les systèmes extérieurs peuvent changer, leur nombre également.

Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Le professeur aide les élèves à comprendre que dans toutes les situations où un objet est posé sur un support ou s'y déplace (objet sur une table, véhicule sur une route...), l'objet agit sur le support **et**, simultanément, le support agit sur l'objet. Les élèves, selon les cas, ne prennent en considération que l'un des aspects de l'interaction en privilégiant *l'action* (au sens courant du terme) d'un objet. De même, les élèves admettent difficilement que si la Terre agit sur un objet alors l'objet agit également sur la Terre.

Les élèves ont aussi beaucoup de mal à distinguer l'action de la terre sur un objet de l'action du sol sur ce même objet (lorsqu'il est en contact avec le sol, comme la moto par exemple. Les faire réfléchir sur différents types de sol (goudron, glace ...) pourra alors les aider à sentir la différence entre l'action de la terre et l'action du sol sur l'objet considéré.

Corrigé des exercices

Nous n'indiquons ici que la liste des systèmes en interaction avec le système considéré.

1. a) Un objet posé sur une table : *table, terre* b) Une table sur laquelle est posé un objet : *terre, objet, sol*.
2. La Terre, planète du Soleil et qui a elle-même un satellite naturel, la Lune (on néglige les interactions mettant en jeu les autres corps) : *Soleil, Lune*.
3. Un cerf-volant tenu par un fil : *cerf-volant, terre, air (ou vent)*.
4. a) Un motard circulant à vive allure sur sa moto : *terre, moto, air*.
4. b) Une moto conduite à vive allure par un motard : *terre, motard, route, air*.

Activité 3. Différentes situations d'interaction pour un système choisi

Pourquoi cette activité ?

Le but est de permettre de bien analyser des situations d'interaction pour un système choisi et montrer la limite du modèle car les diagrammes correspondant aux situations a et b d'une part et c et d d'autre part sont identiques.

Les élèves ne disposent pas de modèle pour répondre à la dernière question. C'est pourquoi nous avons formulé cette question en leur demandant leur " avis ".

Informations pour la préparation de l'activité

Il est indispensable que cette activité se déroule en classe et que les élèves puissent intervenir sur le dispositif. Les raisons sont les mêmes que celles que nous avons indiquées dans les informations sur le comportement des élèves pour l'activité 1 " pierre suspendue à un élastique ".

Activité 4 (éventuellement à la maison) : recherche de situations correspondant à un diagramme

Pourquoi cette activité ?

Il est important que les élèves puissent être capable de passer d'un diagramme à une situation réelle et de faire à l'aide d'une phrase un premier bilan des actions subies par un système. Ce passage d'une représentation modélisée à une situation effective n'est pas toujours facile mais indispensable pour la compréhension et l'appropriation du modèle.

Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Pour les deux questions, les élèves ont fait preuve de beaucoup d'imagination. De plus, le modèle leur permet d'explicitier les choix effectués pour étudier les situations proposées (négliger les frottements de l'air par exemple).

Le professeur pourra être amené à regrouper les situations proposées par les élèves en catégories (objets posés sur une table, objets qui roulent...).

Corrigé

Par exemple :

Diagramme 1 : toute situation d'un objet posé ou suspendu dans le champ de pesanteur.

Diagramme 2 : toute situation d'un objet en mouvement sur un support (ajout des frottements de l'air) ou du type "cerf-volant".

2^e sous partie : II. Introduction de la notion de force

Cette sous-partie regroupe les activités 5, 6 et 7 (Elle est également reprise de la thèse J.C. Guillaud, annexe p 94).

Pourquoi cette sous-partie?

Les trois premières activités ont permis de mettre en évidence que le modèle *utilisé* est insuffisant pour décrire des situations courantes (le physicien dispose lui d'un modèle beaucoup plus complet :

- même diagramme système-interaction pour deux situations différentes ;
- pas d'indication de la direction, du sens et de l'intensité d'une action.

Une fois les interactions identifiées, il s'agit donc de représenter ces nouveaux éléments de modélisation d'une action (direction, sens, intensité). L'outil mathématique "vecteur" est l'outil des physiciens et convient parfaitement à ce type de description. Une fois ceci fait, le principe des actions réciproques peut être énoncé.

Activité 5. Détermination des phases du mouvement d'un médecine-ball

Pourquoi cette activité ?

Cette activité donne l'occasion aux élèves de décrire des sensations corporelles du point de vue de la physique enseignée. L'objectif est de faire un premier lien entre actions et mouvement.

Informations pour la préparation de l'activité

Il faut que les élèves lancent effectivement le médecine-ball et aient la possibilité de le refaire plusieurs fois. Cela les aide à analyser les actions qui s'exercent sur le médecine-ball, ce qui est beaucoup moins simple qu'il n'y paraît.

Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Certains élèves ont du mal à comprendre que les mains n'exercent plus d'action sur le médecine-ball une fois lancé. En faisant eux-mêmes l'expérience, ils peuvent plus facilement identifier et reconnaître les moments où ils exercent une action (de contact) sur le médecine-ball :

- pendant la phase de lancer (mise en mouvement, augmentation de la vitesse) ;
- pendant la phase de réception (arrêt du mouvement, diminution de la vitesse).

Faire l'expérience leur permet également de bien différencier la situation expérimentale - dont ils font partie - de sa modélisation.

Corrigé

A la fin de l'activité, l'enseignant, après avoir fait un bref bilan ou en s'appuyant sur les réponses des élèves, retient 4 phases dans la description du mouvement :

- Le lancer (on exerce une action vers le haut, il y a augmentation de la vitesse)
- La montée (diminution de la vitesse)
- La descente (augmentation de la vitesse)
- La réception (on exerce une action vers le haut, il y a diminution de la vitesse)

Ce découpage temporel est un choix relié à des phases de variations de la vitesse (en vue d'une explication ultérieure en termes de force).

Certains élèves proposent une "5^{ème} phase" : le moment où le médecine-ball s'arrête au sommet de la trajectoire. L'enseignant reconnaît que ce "découpage" du mouvement du médecine-ball est possible.

Activité 6. Analyse des interactions lors du mouvement d'un médecine-ball

Pourquoi cette activité ?

L'objectif est de formaliser une observation déjà faite (de façon annexe) dans l'activité 3 : à des situations différentes correspond le même diagramme système-interaction. On fait de plus préciser ici ce qui diffère effectivement d'une situation à une autre de même diagramme, à savoir le sens et la variation de la vitesse ; ceci sera complété par l'activité 7.

Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Les élèves ont beaucoup de mal à comprendre que les mains n'exercent plus d'action sur le médecine-ball une fois lancé. Certains élèves pensent que lorsque les mains ne sont plus en contact avec le médecine-ball, elles exercent une action à distance sur celui-ci.

Corrigé

Pendant le lancer	Pendant la montée	Pendant la descente	Pendant la réception
		Idem montée	idem lancer
La vitesse augmente	La vitesse diminue	La vitesse augmente	La vitesse diminue

L'enseignant constate avec les élèves que les diagrammes correspondant au lancer et à la réception sont identiques, de même que les diagrammes de montée et de descente. Des situations différentes se traduisent donc parfois par des diagrammes identiques. Cela avait déjà été constaté dans l'activité 3 du premier paragraphe. Ces premiers éléments de modélisation sont donc insuffisants pour connaître les caractéristiques du mouvement. Les diagrammes, du lancer et de la réception par exemple, ne rendent pas compte du sens du mouvement. Cela justifie l'introduction de la deuxième partie du modèle (document élève).

Activité 7. Mise en œuvre de l'ensemble du modèle des interactions**Pourquoi cette activité ?**

Le but de cette activité 7 est de préparer les élèves à l'introduction des lois de la mécanique (partie suivante) : forces qui se compensent ou non, variation de la vitesse, direction et sens du mouvement.

Commentaires sur le savoir à enseigner et information sur le contenu disciplinaire

Dans la partie "mouvement et force" du programme de troisième figure "Équilibre ou non équilibre d'un objet soumis à deux forces colinéaires". Les élèves ont donc théoriquement déjà rencontré ce type de situation. Cependant, le physicien considère que cette situation est une situation d'équilibre parce qu'il dispose du modèle de la physique. Pour l'élève, la similitude avec des situation d'équilibre rencontrée antérieurement ne sera pas forcément évidente. Le regroupement de toutes les situations d'équilibre en une seule catégorie relève justement d'une démarche de physicien.

Informations sur le comportement des élèves et sur la façon de prendre en compte leurs difficultés

Le professeur peut prévoir que les erreurs des élèves ont principalement deux origines

- leurs conceptions, celle en particulier consistant à supposer qu'il y a nécessairement une force dans le sens du mouvement pour "expliquer" ce dernier ;

- leur tendance, lorsqu'ils ont à représenter des forces, à donner trop d'importance au respect des conventions et à oublier la signification de leurs schémas.

Corrigé

1) Les élèves doivent utiliser le principe des actions réciproques pour la situation pierre-élastique. et ne garder au final que les forces qui s'exercent sur la pierre. On accepte tout schéma, que la pierre soit en mouvement ou non (à ce stade, les élèves n'ont pas les moyens de savoir que les forces se compensent si le système est en équilibre). On n'impose donc pas aux deux vecteurs d'avoir la même longueur. Le professeur, au cours de la correction, précise que si la pierre est immobile les deux vecteurs doivent avoir la même longueur et que ceci sera justifié dans la partie suivante.

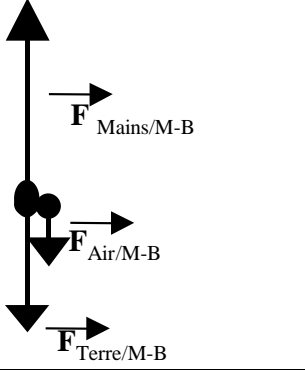
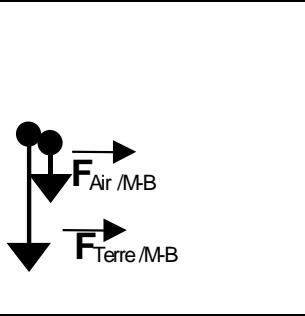
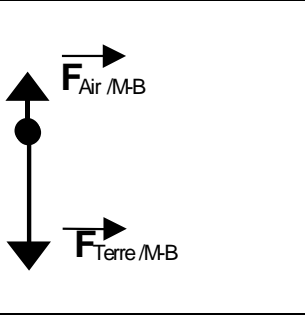
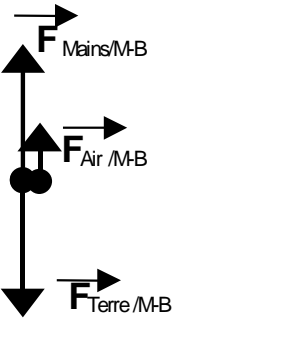
Diagramme pierre-interaction (voir activité 2)	Représentation des forces modélisant l'interaction pierre-terre.	Représentation des forces modélisant l'interaction pierre-élastique.	Représentation des forces qui s'exercent sur la pierre

Il est important de faire remarquer aux élèves que les deux forces qui représentent une interaction entre deux systèmes s'exercent sur des systèmes différents et non pas sur le même système et que la direction de la force exercée par la Terre sur un système est présentée comme étant par définition verticale.

2) Pour chaque phase du mouvement, l'enseignant insiste sur le fait que les forces sont reliées aux variations de vitesse du médecine-ball.

Le texte en italique de la dernière colonne peut être une information supplémentaire donnée par l'enseignant pour renforcer l'introduction à la partie suivante de la progression, donnant des lois de la mécanique.

Faire la liste des forces qui s'exercent sur le médecine-ball	Représenter les forces qui s'exercent sur le médecine-ball	Représente le sens du mouvement et rappeler la façon dont varie la vitesse du médecine-ball (activité 1 ci-dessus)	<i>A votre avis, les forces qui s'exercent sur le médecine-ball se compensent-elles ?</i>
---	--	--	---

<p>Pendant le lancer</p>			<p style="text-align: center;">↑</p> <p>La vitesse du médecine-ball augmente et la balle va le haut.</p>	<p>Les forces ne se compensent pas. La forces vers le haut l'emporte, elle est dans le même sens que le mouvement.</p>
<p>Pendant la montée</p>			<p style="text-align: center;">↑</p> <p>La vitesse du médecine-ball diminue et la balle va vers le haut.</p>	<p>Les forces ne se compensent pas. Les forces sont dirigées vers le bas, elles sont en sens inverse du mouvement.</p>
<p>Pendant la descente</p>			<p style="text-align: center;">↓</p> <p>La vitesse du médecine-ball augmente et la balle va vers le bas.</p>	<p>Les forces ne se compensent pas. Le force vers le bas l'emporte, elle est dans le même sens que le mouvement.</p>
<p>Pendant la réception</p>			<p style="text-align: center;">↓</p> <p>La vitesse du médecine-ball diminue et la balle va vers le bas.</p>	<p>Les forces ne se compensent pas. Les forces vers le haut l'emportent, elles sont dans le sens opposé à celui du mouvement.</p>