

L'Action et la Réaction sont-elles bien (égales et) opposées ?

par L. VIENNOT,

Université Paris VII

Laboratoire de didactique de la physique.

Ces quelques lignes ont pour but de rappeler que le principe de l'Action et de la Réaction (dit encore principe des actions réciproques) est l'occasion d'incompréhensions fréquentes liées aux tendances naturelles du raisonnement,

Il me semble en effet que ces difficultés sont largement sous-estimées, en particulier dans certains manuels. De plus, les ambiguïtés qui subsistent sur ces notions sont susceptibles de contaminer en quelque sorte d'autres aspects de la mécanique élémentaire.

LE PRINCIPE DES ACTIONS RECIPROQUES... TEL QU'IL DEVRAIT ETRE.

Ce principe peut s'énoncer ainsi :

Etant donnés :

- deux corps A et B,
- \vec{F}_{AB} la force exercée par A sur B,
- \vec{F}_{BA} la force exercée par B sur A,

au même instant, les forces \vec{F}_{AB} et \vec{F}_{BA} sont telles que :

- $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$,
- ces deux forces ont même ligne d'action.

Ceci est vrai :

- quel que soit le type d'interaction, que celle-ci soit de contact ou à distance. Les seules limitations à ce principe (liées au fait que la propagation des interactions ne se fait pas en un temps strictement nul) sont tout à fait hors du domaine de la mécanique quotidienne ;
- quels que soient les mouvements de A et B. Ce principe en effet, n'est nullement réservé à la statique et n'est pas du tout subordonné aux situations d'équilibre. On voit mal comment

un bilan entre ces forces, *qui ne s'appliquent pas au même corps*, pourrait déterminer une situation d'équilibre, et réciproquement.

C'est sur ce dernier point que je voudrais insister.

LES TENDANCES NATURELLES DU RAISONNEMENT.

Sans rentrer outre mesure dans les détails, rappelons deux tendances très fortement ancrées dans notre intuition :

- l'une consiste à associer à tout mouvement une force dans la même direction et à l'équilibre (ou plutôt à l'immobilité) une absence de forces, ou des forces « qui s'annulent »,
- l'autre consiste à attribuer des forces aux objets (la force de...) plutôt qu'à les leur appliquer (la force sur...). Plus largement, on se soucie moins spontanément, de préciser les points d'application des forces que de savoir quel objet a plus de force, lequel en a moins, et ceci dans une analyse quelque peu anthropomorphe.

Ces tendances sont tout à fait manifestes dans une pratique fréquente du principe évoqué précédemment, qui est la suivante :

- S'il y a mouvement d'ensemble des deux corps,

l'Action (dans le sens du mouvement)...

... est supérieure à...

... l'emporte sur... ... la Réaction.

- A l'équilibre, ou bien si les deux corps se déplacent en sens opposé,

l'Action est égale et opposée à la Réaction.

On notera que dans cette pratique spontanée de la troisième loi de NEWTON, un glissement s'est effectué entre la notion de bilan de forces appliquées à un *même objet* et celle de bilan de forces « de » deux objets (exercées par deux objets différents *sur deux objets différents*).

Ces deux points de vue, celui de NEWTON et celui du raisonnement spontané, sont résumés en tableau 1.

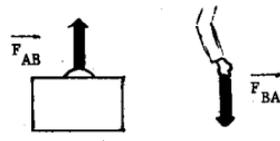
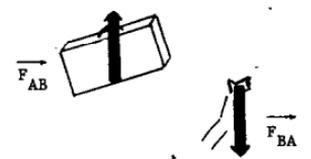
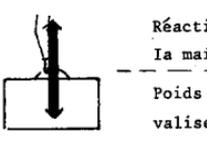
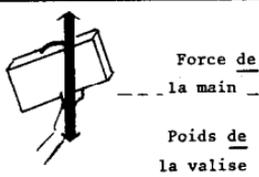
| | Situation d'équilibre | Mouvement d'ensemble des deux corps |
|---|--|---|
| <p>PRINCIPE DES ACTIONS RECIPROQUES (correct)</p> |  <p>Force exercée par la main sur la valise</p> <p>Force exercée par la valise sur la main</p> $\vec{F}_{AB} = - \vec{F}_{BA}$ |  <p>Force exercée par la main sur la valise</p> <p>Force exercée par la valise sur la main</p> $\vec{F}_{AB} = - \vec{F}_{BA}$ |
| <p>RAISONNEMENT SPONTANE</p> |  <p>Réaction de la main</p> <p>Poids de la valise</p> <p>Poids de la valise EGAL ET OPPOSE à la Réaction de la main</p> |  <p>Force de la main</p> <p>Poids de la valise</p> <p>Force de la main > Poids de la valise</p> |

Tableau 1

RISQUES D'INCOMPREHENSION : PREVENTION OU AGGRAVATION ?

Dans ces conditions, il faut absolument ne pas présenter équilibre et troisième loi de NEWTON comme indissolublement associés. En effet, ces deux notions n'ont rien à voir l'une avec l'autre en ce sens que lors d'une rupture d'équilibre, la loi de l'Action et de la Réaction *ne cesse pas de s'appliquer*. Certes, c'est la réaction de la main qui « équilibre » le poids de la valise tenue immobile par un voyageur, mais lorsque la valise doit être montée dans le filet à bagages du train, l'action de la main sur la valise (qui, dans la phase d'accélération, est supérieure en intensité au poids de celle-ci) reste de même intensité que l'action de la valise sur la main (elle-même supérieure au poids).

Pourquoi donc ne présenter dans les livres, comme c'est souvent le cas, que des illustrations statiques de ce principe ? Certains ouvrages signalent ou même démontrent la validité du principe pour les corps en mouvement, mais sans illustrer ceci d'aucun mouvement d'ensemble (1), d'autres se contentent de l'indiquer en une ligne dans le livre du maître, d'autres encore renforcent autant qu'il est possible, sans vraiment l'explicitier, l'idée intuitive rappelée précédemment. Qu'on en juge [1] :

Principe de l'action et de la réaction.

On appelle action toute force s'exerçant sur un corps. Quand ce corps reste en équilibre, c'est qu'une autre force, la réaction, s'oppose à l'action exercée. Action et réaction s'opposent. En s'opposant, elles maintiennent le corps en équilibre.

L'action et la réaction ont des rôles symétriques, il est parfois difficile de dire quelle est l'action, quelle est la réaction, car ces deux forces coexistent simultanément.

A TOUTE FORCE AGISSANT SUR UN SYSTÈME MÉCANIQUE (L'ACTION) S'OPPOSE UNE FORCE QUI TEND A EN ANNULER LES EFFETS (LA RÉACTION).

Ce passage, détaché du texte pour en souligner l'importance, est soutenu par un exemple, lui-même dans le texte principal :

Les deux équipes tirant sur la corde, dans l'observation 7, leçon 12, aucune ne réussit à décrocher l'autre : l'action de chaque équipe est annulée par la réaction de l'autre équipe.

Qui, sinon fort averti, n'en déduirait que si la loi de l'Action et de la Réaction est vraie, aucune équipe ne peut l'emporter sur l'autre, ou bien, plus vraisemblablement, que la loi cesse de s'appliquer dès qu'une équipe tire plus que l'autre ? Quant à la dernière phrase du « résumé » (carrément décourageante), elle n'a en tout cas aucun rapport non plus avec la troisième loi de NEWTON.

Dernier exemple, qui, maintenant, se passe de commentaire : tel manuel [2], à propos d'un éléphant qui pousse un arbre, nous propose le commentaire suivant : « Si l'arbre et l'éléphant sont immobiles, nous en déduisons que : \vec{F} ressentie par l'éléphant et \vec{F} ressentie par l'arbre (sont) opposées (et) portées par une même droite ».

(1) Entendons par là que les seuls mouvements présentés sont ceux où A et B se déplacent en sens inverse, c'est-à-dire encore un cas sans problème (voir précédemment).

Peut-être, de tels exposés partent-ils du souci de « faire sentir la physique » avant d'en faire un exposé plus complet et rigoureux ? Mais il faut bien être conscient qu'en mécanique élémentaire les sensations sont déjà, depuis longtemps, liées aux plus fortes tendances du raisonnement spontané, dont certaines sont elles-mêmes associées aux erreurs les plus tenaces. Il me semble qu'un aspect de la physique à faire sentir aussi, c'est l'intervention de notions nullement intuitives, et que la cohérence est à ce prix. Il ne faut donc pas hésiter à heurter l'intuition par des exemples qui mettent le doigt sur la difficulté (2) et contraignent à plus de rigueur.

PLUS LARGEMENT...

On pourra arguer que l'importance de ce principe pour la physique du secondaire est bien mince. La conservation de la quantité de mouvement suffit et l'on se passe fort bien, semble-t-il, du principe des actions réciproques. Du principe lui-même, sans doute, mais d'une certaine rigueur de raisonnement, beaucoup moins. S'habituer à parler de Force, d'Action, de Réaction, sans préciser ce qui agit, sur quoi, autorise peut-être des exposés suggestifs, mais prépare des lendemains douloureux. La plupart des auteurs s'attache d'ailleurs à développer la précision de ces dénominations de forces. Mais l'Action et la Réaction constituent l'un des bastions les plus solides du langage et des raisonnements approximatifs.

Par exemple, il est tout à fait courant [4] d'exhiber comme « vérification expérimentale » de la force d'inertie centrifuge le fait que l'extrémité d'une ficelle (3) au bout de laquelle on fait tourner une pierre est soumise à une force centrifuge (tableau 2).

Quel que soit le sort qu'on réserve aux forces agissant *sur la pierre*, que l'on aime ou non changer de référentiel, introduire ou non des forces d'inertie (tableau 3, 2^e ligne), il ne faut pas confondre la réaction centrifuge parfaitement galiléenne de la pierre *sur le fil* (tableau 2, 2^e colonne) avec une force d'inertie, c'est-à-dire avec une force liée au référentiel tournant qui n'apparaîtrait donc pas dans un référentiel galiléen, et qui, de plus, est censée agir *sur la pierre*.

Ce genre de « vérification expérimentale » n'est qu'un exemple de raisonnements qui violent la simple cohérence et devant lesquels on aimerait que les élèves se fâchent. En fait, ils les inven-

(2) Par exemple, le cas présenté en tableau 2, col. 2, ou celui de la corde traitée en annexe, sans oublier l'exemple historique du cheval qui tire une charrette, proposé notamment en [3].

(3) Dans l'ouvrage cité, c'est un ressort qui remplace la ficelle.

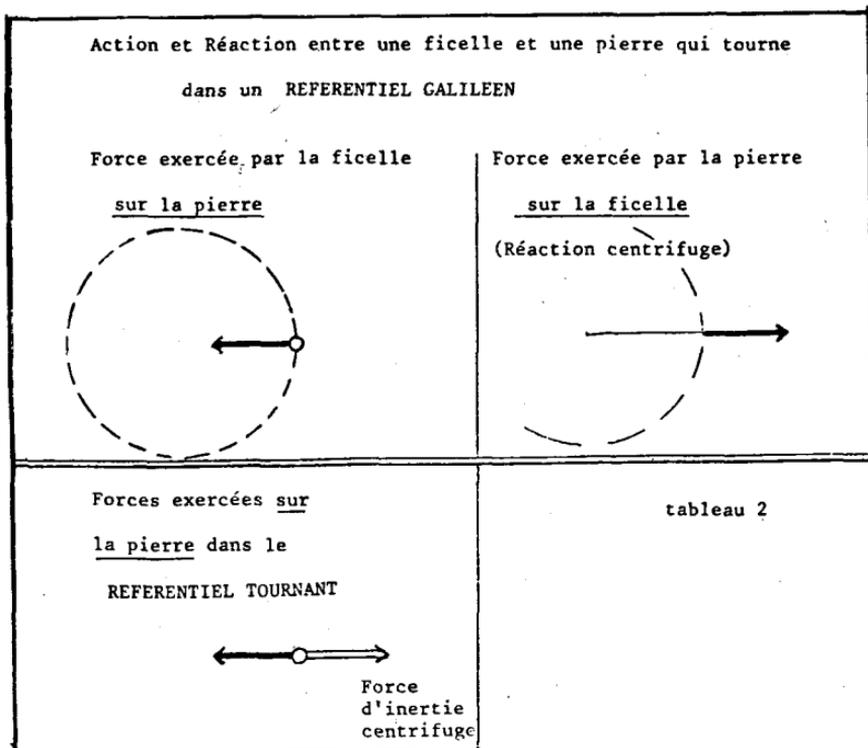


Tableau 2

teraient plutôt, même si leur manuel ne les leur suggérait pas, tant ces glissements de signification, ces ellipses de langage, rejoignent des tendances naturelles chez nous tous. NEWTON lui-même, dans certains passages des Principes, laisse croire à un lien entre l' « équilibre de la lune sur son orbite » et l' « égalité de l'Action et de la Réaction ».

CONCLUSION.

Les réflexions qui précèdent auraient atteint leur but si certains lecteurs en tiraient une circonspection accrue à l'égard des manuels qu'ils utilisent. Qu'on n'aille pas pour autant en déduire qu'il suffit d'exposés complets et rigoureux pour régler les problèmes évoqués ici. La physique n'est pas lisible simplement dans notre expérience courante et cela aussi s'enseigne. Il faut donc susciter dans les activités d'enseignement des occasions de conflit entre les impressions immédiates et les conséquences inexorables de lois physiques réputées simples pourtant. A travers les discus-

sions passionnées qui en résultent, les élèves auront quelques chances d'accéder à plus de rigueur et de trouver plus d'intérêt à la physique dite élémentaire.

- [1] A. HEBERT. — *Sciences physiques, troisième*. Ed. Technique et vulgarisation.
 - [2] A. GEBURTIG, J.-C. MULLER, M. SCHAEFFER, F. SCHNELTZLER. — *Sciences physiques, troisième*. Ed. Istra.
 - [3] A. SAISON, G. ALLAIN, M. BLUMEAU, J. DUBOC, C. HERCHEN, R. MERAT, J. NIARD. — *Sciences physiques, terminale*. Ed. Nathan.
 - [4] R. CHARLOT, J. GOUGEON, C. WALTER. — *Fondements de la physique, terminale*. Ed. Belin.
-

ANNEXE

L'EXEMPLE DE LA CORDE TIRÉE PAR DEUX ÉQUIPES

Cette situation jouit d'une faveur particulière, dans les manuels, parmi les illustrations possibles de la troisième loi de NEWTON. Elle n'est pas toujours, heureusement, présentée sous une forme aussi caricaturale que dans l'exemple cité précédemment.

Mais il reste qu'elle est pratiquement toujours traitée dans le cas statique et comme un problème d'équilibre, ce qui favorise largement les incompréhensions évoquées précédemment. Ainsi, on peut se demander ce qu'apporte l'exercice suivant aux élèves :

« Deux équipes tirent chacune sur les extrémités d'une corde séparée en deux en son milieu par un anneau (voir illustration en tableau 3). Faites le bilan des forces agissant sur l'anneau lorsqu'il est immobile ». La réponse unanime sera sans doute que les forces agissant sur l'anneau sont opposées (en négligeant son poids). Mais une autre idée sera non moins unanimement partagée, implicitement cette fois : si une équipe l'emporte sur l'autre, les forces agissant sur l'anneau cesseront d'être égales en intensité, ce déséquilibre reflétant le déséquilibre des forces des deux équipes.

Or, qu'en est-il exactement ?

Admettons que les données du problème soient les suivantes :

- masse totale des deux équipes A et B : $m_{A+B} = 500$ kg,
- masse de la corde C : $m_C = 500$ g,
- masse de l'anneau a : $m_a = 5$ g,
- accélération de l'ensemble (A + B + corde + anneau) : $= 1$ m/s².

Les bilans des forces appliquées à divers systèmes sont les suivants :

système A + B + corde + anneau :

$$\|\vec{F}_{sol \text{ sur } A}\| - \|\vec{F}_{sol \text{ sur } B}\| = m_{totale} \gamma = 500 \text{ N},$$

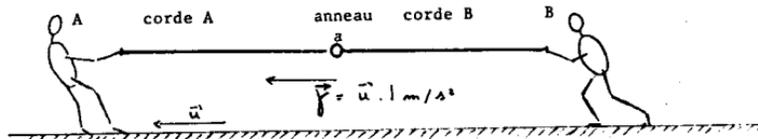
système corde + anneau :

$$\|\vec{F}_A \text{ sur corde}\| - \|\vec{F}_B \text{ sur corde}\| = (m_C + m_a) \gamma = 0,5 \text{ N},$$

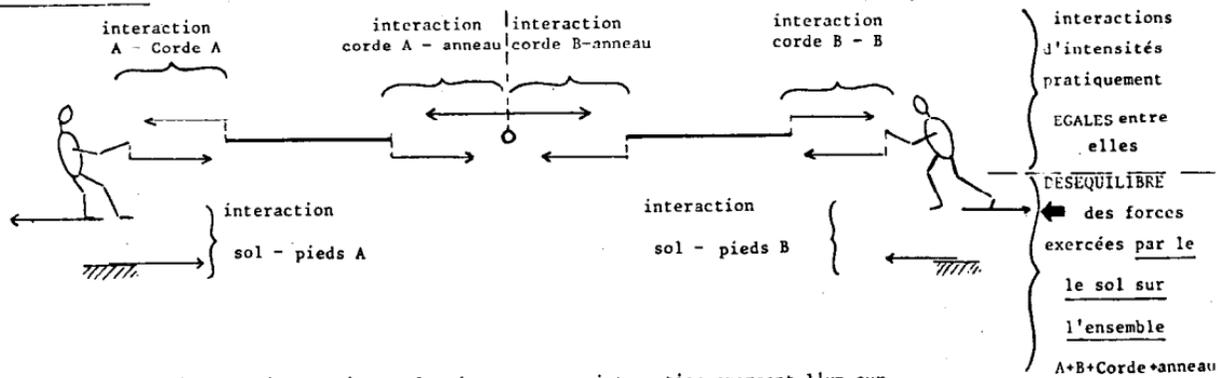
système anneau :

$$\|\vec{F}_{corde \text{ A sur anneau}}\| - \|\vec{F}_{corde \text{ B sur anneau}}\| = m_a \gamma = 5 \cdot 10^{-3} \text{ N}.$$

Données schématisées :



Analyse des forces :



Pour toutes ces interactions, les deux corps en interaction exercent l'un sur l'autre des forces opposées et donc EGALES EN INTENSITE

Tableau 3

Le déséquilibre des forces agissant sur l'anneau n'est donc pas du tout à l'échelle du déséquilibre « des forces en présence », celles « des deux équipes », celles plus précisément qui interviennent dans leurs interactions respectives avec le sol. Plus la masse de l'anneau est négligeable devant la masse totale, plus la différence des forces agissant sur l'anneau est elle-même négligeable. On rejoint là la définition de la tension d'une corde.
