La schématisation des interactions en classe de 3e

par Mme Jacqueline MENIGAUX,
L.D.P.E.S., Université Paris VII.

Le programme de Physique de la classe de troisième introduit les notions fondamentales d'interaction entre objets et de force appliquée à un objet. Les instructions précisent :

« l'énoncé sur les actions réciproques est à donner à un moment opportun »

et :

« l'introduction prudente de l'aspect vectoriel de la force tiendra compte du niveau des élèves, en particulier en mathématiques ».

A partir de ces données officielles, un enseignant devrait pouvoir dialoguer avec ses élèves de troisième pendant deux mois, à propos d'interaction entre objets et de force appliquée à un objet, en ne faisant appel que tardivement à la schématisation d'une interaction, plus particulièrement à la schématisation des forces par des vecteurs. Cette performance semble difficile à réaliser ; les manuels scolaires ne s'y sont d'ailleurs pas trompés puisque, une fois la notion de force introduite, ils schématisent tous et systématiquement les forces .

Cet article s'adresse aux enseignants qui ont pris conscience de cette difficulté et ont choisi de schématiser les forces dans l'apprentissage qu'ils offrent à leurs élèves.

LES INTERACTIONS : REFERENCES THEORIQUES ET BIBLIOGRAPHIQUES.

1. Une vérité première : une interaction implique *deux* objets. Les actions des objets l'un sur l'autre se traduisent par l'existence de grandeurs physiques appelées forces. Ainsi, A exerce une force sur B et B exerce une force sur A.

2. Schématisation d'une force : quatre éléments caractérisent une force [1], par exemple la force que A exerce sur B, notée $\vec{F}_B^A$:

— son point d'application : un point de B,
— sa direction,
— son sens,
— sa grandeur.

Les physiciens schématisent une force par un « vecteur lié » (segment fléché ou bipoint). On touche là la difficulté fondamentale sous-jacente aux schématisations des champs de vecteurs en physique : deux espaces sont superposés dans ce type de schématisation, l'espace géométrique et, ici, l'espace des forces, chacun de dimension différente [au sens de la dimension des grandeurs physiques (1)]. L'usage canonique veut que l'on situe le point d'application de la force à l'origine [schéma (1)] et non à l'extrémité [schéma (2)] du vecteur :

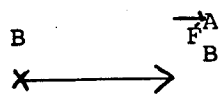


Schéma canonique (1)

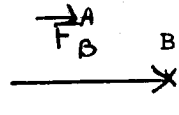


Schéma (2)

Cet usage est cependant souvent transgressé lorsque des forces de poussée, réparties sur un objet (forces de pression, poussée d'Archimède) sont schématisées aussi bien dans les manuels scolaires [2] que dans les manuels universitaires, en particulier anglo-saxons [3].

3. La troisième loi de NEWTON : principe des actions réciproques (loi de l'action et de la réaction). Ce principe peut être énoncé ainsi :

Etant donnés deux objets A et B en interaction, la force $\vec{F}^A_B$ exercée par A sur B et la force $\vec{F}^B_A$ exercée par B sur A, au même instant t quelconque, sont telles que $\vec{F}^A_B = -\vec{F}^B_A$; ces deux forces ont même droite d'action .

Ce principe est vérifié quels que soient :
— l'état de mouvement des objets A et B,
— le type d'interaction (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 stric-

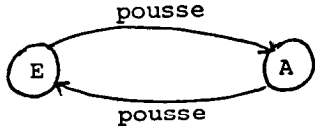
(1) Pour les vecteurs-position, la dimension est celle d'une longueur (L) ; pour les vecteurs-force, la dimension est celle d'une force (MLT^{-2}).

tement nul — sont tout à fait hors du domaine de la mécanique étudiée en troisième.

4. Les manuels scolaires de troisième : ils introduisent plus ou moins rapidement le principe des actions réciproques, généralement sous la forme qui vient d'être énoncée et qui fait appel aux vecteurs.

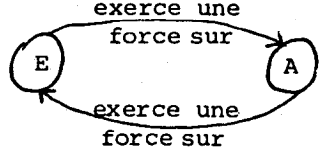
Un seul manuel de Sciences physiques [4] propose une progression dans l'apprentissage de la schématisation d'une interaction. Cette progression peut être illustrée à propos d'un éléphant qui pousse un arbre par les séquences suivantes :

première séquence :

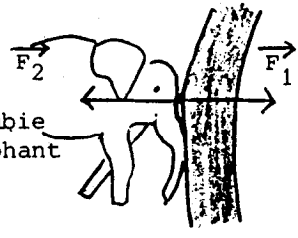


E : éléphant
A : arbre

deuxième séquence :



troisième séquence :



Nous appellerons désormais les deux premières séquences de cette progression schématisation « imagée » d'une interaction car elles ne font pas appel aux vecteurs.

LES OBJECTIFS ET MOYENS D'ETUDE.

Les objectifs de notre étude se résument ainsi :

1. Quelles sont les caractéristiques des schématisations produites spontanément par les élèves de troisième (avant tout apprentissage) ?

2. Parmi ces caractéristiques, lesquelles subsistent après apprentissage ? Y a-t-il des schématisations types, produites seulement après apprentissage ? Quel rôle peut jouer l'apprentissage de la schématisation « imagée » ?

Le moyen d'étude retenu a été celui du questionnaire écrit. Un premier questionnaire a été passé aux élèves de deux classes de troisième d'un collège de la banlieue Sud de Paris avant tout apprentissage de la mécanique (pré-test). Un second questionnaire reprenant en partie les mêmes items que le premier a été passé après apprentissage (post-test) aux élèves d'une de ces classes, ainsi qu'aux élèves de deux autres classes de troisième du même collège (2).

SCHEMATISATION D'UNE INTERACTION AVANT APPRENTISSAGE.

Les résultats présentés portent exclusivement sur la schématisation de l'une, ou des deux, force(s) d'une interaction par des vecteurs. On observe en effet que la schématisation « imagée » n'apparaît jamais spontanément. Les expériences qui suivent ne concernent que les interactions de contact.

1. Schématisation spontanée (avant enseignement) des forces de poussée et des forces de traction.

L'étude fait apparaître que ,spontanément, les élèves de troisième, lorsqu'ils sont incités à utiliser des flèches, schématisent différemment les forces de poussée et les forces de traction. Tous les résultats sont résumés dans le Tableau I.

A) Forces de poussée.

Dans le pré-test, l'item I 1 demandait aux élèves de choisir entre le schéma canonique (1) et le schéma (2) pour illustrer la force exercée par une personne qui pousse une automobile en panne sans que celle-ci avance. 77 % des élèves questionnés choisissent le schéma (2) pour lequel l'extrémité du vecteur (pointe de la flèche) est localisée sur l'automobile contre 21 % pour le schéma (1) respectant l'usage canonique (origine du vecteur : base de la flèche, localisées sur l'automobile).

Un second item I 2, de présentation identique, concernait la force que l'on exerce sur un ballon flottant sur l'eau quand on

(2) Nous remercions pour leur collaboration Mmes H. Berthelot, N. Onno et M. Pierson, professeurs au Collège Juliette Adam de Gif-sur-Yvette.

l'enfonce dans l'eau. De nouveau, 77 % des élèves questionnés choisissent le schéma (2) contre 21 % le schéma (1). Pour ces deux items, la cohérence dans le choix du schéma (2) est importante (84 %).

Ces deux items I 1 et I 2 demandaient aux élèves une explication de leur choix. Parmi les explications fournies par ceux ayant choisi le schéma (2), citons, entre autres :

« on pousse sur la voiture (le ballon), non dedans »,

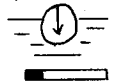
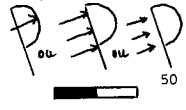
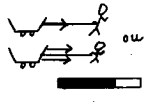
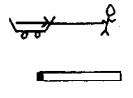
« on pousse du coffre »,

« je ne passe pas à travers » (la voiture, le ballon),

« force que j'exerce sur la voiture à l'arrière ».

Un troisième item I 3 demandait de dessiner la force qu'une balle exerce sur une raquette de tennis lorsque balle et raquette sont en contact. 4 % des élèves questionnés dessinent une flèche correspondant au schéma (1) contre 50 % selon le schéma (2) ou un schéma apparenté.

TABLEAU I

N° item / Résultats / Situation	Schéma canonique Type (1)	Schéma Type (2)	Formulation de la consigne
I 1 Voiture poussée N = 48	 21 %	 77 %	Choix entre schémas (1) et (2)
I 2 Ballon enfoncé N = 48	 21 %	 77 %	Choix entre schémas (1) et (2)
I 3 Raquette poussée N = 48	 4 %	 50 %	Dessin de F balle → raquette
I 4 Jouet tiré N = 48	 70 %	 4 %	Dessin de l'action de l'enfant sur le jouet

Schématisations des élèves avant apprentissage : schéma canonique de type (1) ou schéma de type (2). (N : effectif de l'item).

B) Forces de traction.

L'item I 4 demandait aux élèves de dessiner l'action d'un enfant sur son jouet lorsque l'enfant tire le jouet grâce à une corde, sur un plan horizontal. A cet item,

70 % des élèves questionnés dessinent une (ou plusieurs) flèche(s) au niveau ou sur le fil, selon le schéma type (1),

4 % seulement dessinent une flèche suivant le schéma type (2).

26 % s'abstiennent de répondre.

C) Ces résultats montrent que, spontanément, les élèves ne schématisent pas les forces de poussée et les forces de traction suivant le même critère : s'il s'agit d'une force de poussée (I 1 à I 3), le schéma non canonique (2) est largement choisi, par contre dans le cas d'une force de traction (I 4), le schéma canonique (1) est le plus fréquemment retenu.

Nous ne discuterons pas du bien-fondé de cette distinction, souvent reprise et jamais clairement explicitée dans les manuels scolaires et universitaires. Nous voulons seulement souligner un état de fait. Remarquons que les élèves, avant apprentissage, sont vraisemblablement influencés par les schématisations des forces rencontrées dans leur scolarité antérieure, principalement en classe de 5e à propos des forces de pression, qui sont toujours du type (2).

On peut se demander si les élèves ne privilégient pas la schématisation non canonique (point d'application coïncidant avec la pointe de la flèche) parce qu'elle situe les flèches, dans le cas des forces de poussée, dans la zone d'interaction, c'est-à-dire dans l'espace compris entre les objets : entre la personne qui pousse et l'automobile, ou le ballon, entre la balle et la raquette. Dans le cas des forces de traction, la représentation canonique satisfait à cette exigence, ce qui expliquerait que, pour ces forces, il n'y ait pas de problème.

Cette pratique spontanée des élèves risque d'être en conflit avec l'apprentissage ultérieur, lorsque celui-ci est fait sous forme canonique.

2. Autre tendance décelée avant enseignement.

L'item I 4, déjà mentionné, demandait aussi aux élèves si, d'après eux, le jouet a une action sur l'enfant. 25 % des élèves questionnés répondent que le jouet n'a pas d'action sur l'enfant, l'explication unanime étant :

« c'est l'enfant qui tire, pas le jouet ».

L'item I 5 demandait de dessiner l'action de la pointe d'une punaise sur un doigt lorsque celui-ci s'y pique. 27 % des élèves

questionnés dessinent une flèche de sens correct, 27 % dessinent une flèche de sens incorrect, c'est-à-dire dans le sens du mouvement du doigt, mais surtout 30 % s'abstiennent de répondre (3). Pour ceux qui ont dessiné une flèche de sens incorrect

« c'est le doigt qui est en action »,

« c'est le doigt qui s'enfonce dans la punaise immobile ».

Ces résultats montrent que, spontanément, les élèves catégorisent les objets d'une interaction en objet « actif » et objet « passif ». Dans les situations physiques des items I 4 et I 5, il est clair qu'il y a un objet « actif » : l'enfant qui tire, le doigt qui se pique, et un objet « passif » : le jouet, la punaise. Pour les élèves, l'objet « actif » a une action sur le jouet « passif » ; c'est l'action de la loi de l'action et de la réaction (loi des actions réciproques). Par contre, la réaction au sens de cette loi, qui est l'action de l'objet « passif » sur l'objet « actif » leur est moins évidente. Dans cette distinction entre objets, faite par les élèves, le mouvement délibéré d'un des objets joue un rôle prépondérant. L'enfant avance, le doigt s'enfonce ; ces objets sont en action car en mouvement. Pourquoi y aurait-il une action sur ces objets puisque ce sont eux qui sont ou peuvent être la cause du mouvement ?

La tendance des élèves à lier la volonté manifeste d'un objet à l'existence de son action sur un autre objet n'est pas surprenante. Pour s'en convaincre, il suffit de lire la définition d'un dictionnaire [5] :

> *Action* : manifestation concrète de la volonté de quelqu'un, d'un groupe ; manière dont agit un corps, une force...

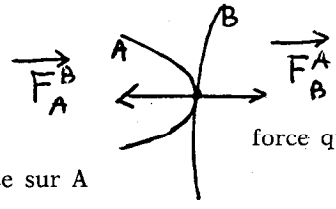
Remarquons toutefois qu'elle conduit à nier le principe des actions réciproques en privilégiant la force dans le sens du mouvement [6].

SCHEMATISATION DES FORCES APRES APPRENTISSAGE.

Nous n'avons en aucune façon influencé l'apprentissage proposé aux élèves interrogés. Alors que les items du pré-test n'utilisaient que rarement le mot « force » au profit du mot « action », la formulation des items du post-test a fait amplement appel au mot « force ». On y a par ailleurs fait une large place à l'utilisation de schémas « éclatés », c'est-à-dire faisant figurer

(3) Les résultats de cet item ne figurent pas dans le tableau I ; en effet, sur le dessin proposé aux élèves, les objets étaient en contact ; de ce fait, il est impossible de catégoriser les flèches dessinées en schéma (1) et schéma (2).

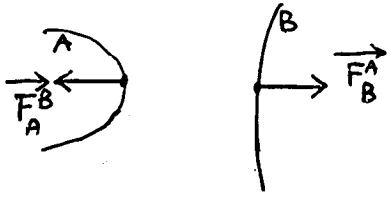
les objets en contact à une certaine distance l'un de l'autre. En effet, au schéma traditionnel des forces de l'interaction de contact entre les objets A et B :



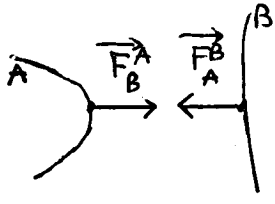
force que A exerce sur B

force que B exerce sur A

peut correspondre, pour l'élève, soit le schéma éclaté correct :



soit le schéma éclaté incorrect :



L'utilisation du schéma éclaté permet donc de localiser précisément (sur l'un ou l'autre objet) les points d'application des forces dessinées par les élèves et de faire ainsi disparaître l'ambiguïté associée, de ce point de vue, à la surface de contact.

Pour ce post-test, trois types d'items ont été retenus.

L'item I 6 tableau II fournissait aux élèves le schéma des forces proposé par le manuel déjà cité [4], lorsqu'un éléphant pousse un arbre. Il demandait de reproduire ces forces sur un schéma éclaté où l'arbre et l'éléphant étaient spatialement séparés.

Un groupe d'items demandait de dessiner sur un schéma éclaté les deux forces d'une interaction de contact :

* lorsque les objets sont en interaction de poussée : cas où
  - une personne pousse une automobile en panne sans que celle-ci avance (I 7),
  - un camion pousse la même automobile et la fait avancer (I 8),
  - une balle frappe une raquette de tennis (I 9 : I 3 modifié du pré-test),
  - une personne hisse une valise dans le filet d'un compartiment de train (I 10) ;

* lorsque les objets sont en interaction de traction : cas où :
  - un enfant tire un jouet sur un plan horizontal (item I 4 du pré-test),
  - une automobile en panne est tirée par un tracteur au moyen d'une corde arrimée à l'arrière de la voiture, sans avancer (I 11),
  - un archer tire sur la corde de son arc (I 12),
  - une personne immobile tient une valise à la main (I 13).

Enfin, un troisième groupe d'items demandait aux élèves de choisir entre :

* le schéma canonique (1) et le schéma (2) pour illustrer la force qu'une personne exerce sur une automobile en panne lorsqu'elle la pousse (item I 1 du pré-test),

* deux dessins éclatés d'objets en interaction de contact sur lesquels figuraient des schématisations différentes des deux forces de poussée de l'interaction :

— shoot d'un joueur dans un ballon (I 14),

— livre posé sur une table (I 15).

1. Schématisation d'une force de poussée : schéma canonique ou non ?

Après enseignement, 63 % des élèves questionnés choisissent, pour l'item I 1, le schéma canonique (1) contre 37 % le schéma (2). 20 % des élèves choisissent d'abord le schéma (2) avant de se décider définitivement pour le schéma (1). La notion de point d'application de la force apparaît dans toutes les explications du choix effectué, que les élèves aient opté pour le schéma (1) ou pour le schéma (2). Dans ce dernier cas, il est clairement précisé que le point d'application de la force est situé à la pointe de la flèche.

La comparaison de ce résultat, confirmé par l'ensemble des schématisations produites par les élèves après enseignement,

avec ceux obtenus avant l'enseignement, permet de dégager deux points :

a) Avant enseignement, moins de 10 % des élèves ont spontanément la notion de point d'application d'une force, comme l'indiquent les dessins de flèches dont les extrémités ne se situent sur aucun objet. Après enseignement, cette notion semble acquise par les élèves, non seulement en théorie, mais aussi en pratique, dans 90 - 95 % des cas.

b) Plus d'un tiers des élèves continuent de choisir, après enseignement, le schéma non canonique pour schématiser une force de poussée. Le chiffre correspondant est seulement de 10 - 15 % lorsque l'item demande de dessiner les forces de l'interaction et non de faire un choix entre deux schémas. C'est donc relativement peu. Il nous semble néanmoins que l'apprentissage doit insister non seulement sur le fait qu'une force a un point d'application mais aussi sur le fait que ce point d'application correspond à l'origine du vecteur et non à son extrémité.

2. Schématisation des deux forces d'une interaction sur le même dessin.

Les schématisations produites ou choisies par les élèves vont être d'abord analysées suivant le principal critère décelé avant enseignement : schématisations dans la zone d'interaction. Puis nous analyserons ces schématisations selon une caractéristique non décelée avant enseignement : l'attribution incorrecte des forces aux objets. De ces deux points de vue, l'utilisation de schémas éclatés se révèle très utile.

A) SCHÉMATISATIONS DANS LA ZONE D'INTERACTION.

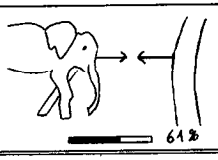
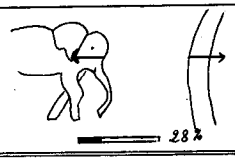
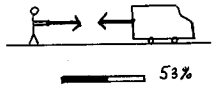
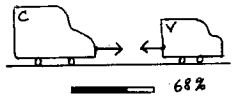
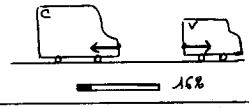
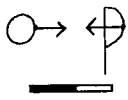
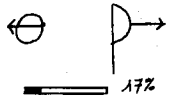
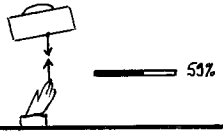
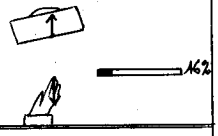
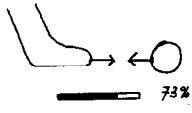
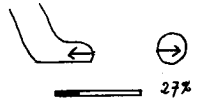
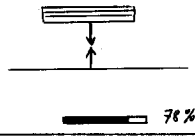
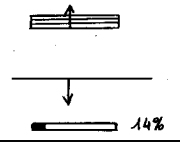
Les résultats obtenus pour les forces de poussée d'une interaction de contact figurent dans le Tableau II. Dans ce tableau, les items sont classés suivant la formulation de la consigne : reproduction des forces sur un schéma éclaté (I 6), dessin des deux forces sur un schéma éclaté (I 7 à I 10), choix entre deux schématisations différentes des forces (I 14 et I 15).

Les schématisations produites ou choisies par les élèves sont groupées en deux catégories :

— celles se situant dans la zone d'interaction, c'est-à-dire entre les objets, incorrectes,

— celles se situant en dehors de la zone d'interaction, qu'elles soient correctes (sens et objet d'application des forces exacts) ou non (sens et objet d'application faux).

TABLEAU II

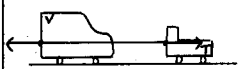
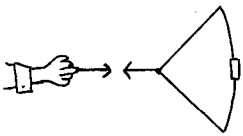
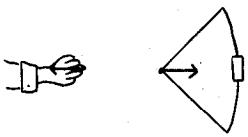
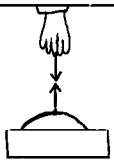
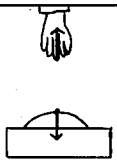
N° item / Résultats / Situation / Consigne	Schématisation des forces dans la zone d'interaction (incorrect)	Schématisation des forces en dehors de la zone d'interaction (correct ou incorrect)
I 6 Eléphant poussant un arbre Tracer sur un schéma éclaté les forces dessinées sur un schéma normal N = 75		
I 7 Personne poussant une voiture Dessiner les forces sur un schéma éclaté N = 38		
I 8 Camion poussant une voiture Dessiner les forces sur un schéma éclaté N = 38		
I 9 (I 3 modifié) Balle frappant une raquette Dessiner les forces sur un schéma éclaté N = 75		
I 10 Personne hissant une valise dans un filet Dessiner les forces sur un schéma éclaté N = 37		
I 14 Shoot d'un joueur dans un ballon Choisir entre deux schémas N = 37		
I 15 Livre posé sur une table Choisir entre deux schémas N = 37		

Forces de poussée. Schématisations des élèves après apprentissage : forces dessinées dans ou en dehors de la zone d'interaction.

Des pourcentages figurant sur ce tableau, il ressort qu'en moyenne 60 % des élèves questionnés schématisent les forces de poussée dans la zone d'interaction. Cette tendance, cohérente avec le choix du schéma (2) non canonique, persiste donc après enseignement.

Les résultats obtenus pour les forces de traction figurent dans le Tableau III. Ils concernent les items I 11 à I 13 pour lesquels la consigne était de dessiner les deux forces de l'in-

TABLEAU III

N° item / Situation / Consigne — Résultats	Schématisation des forces dans la zone d'interaction (correct ou incorrect)	Schématisation des forces en dehors de la zone d'interaction (incorrect)
I 11 Voiture tirée par un tracteur Dessiner les forces sur un schéma éclaté N = 38	63 %	 24 %
I 12 Archer tirant sur son arc Dessiner les forces sur un schéma éclaté N = 37	 36 %	 37 %
I 13 Personne immobile tenant une valise à la main Dessiner les forces sur un schéma éclaté N = 37	 38 %	 35 %

Forces de traction. Schématisations des élèves après enseignement : forces dessinées dans ou en dehors de la zone d'interaction.

teraction (4). Les schématisations produites par les élèves sont regroupées suivant les mêmes catégories que pour le Tableau II : celles dans la zone d'interaction, correctes ou non, celles en dehors de la zone d'interaction, incorrectes.

De ce tableau, il ressort que la catégorie « flèches dans la zone d'interaction » n'apparaît plus nettement comme pertinente. Sans doute, une autre tendance est-elle ici à l'œuvre qui perturbe les résultats dans le cas des forces de traction.

B) L'ATTRIBUTION DE LA FORCE A L'OBJET « ÉMETTEUR » (5).

L'analyse plus approfondie des schématisations produites ou choisies par les élèves nous a amenés à comparer systématiquement les données de l'item avec les dénominations des forces fournies par les élèves. En effet, pour chaque item, la consigne était de préciser par écrit, soit à côté de chaque force dessinée, soit par une phrase, sa dénomination par référence aux données de l'item ($\vec{F}_1$ ou $\vec{F}_2$ ou « force subie par... », « force exercée par... sur... »).

Cette précision apportée par les élèves permet de constater que la majorité des schématisations des forces dans la zone d'interaction du Tableau II correspondent aussi à une attribution incorrecte des forces aux deux objets. Par exemple, la flèche dessinée sur l'éléphant, dans l'item I 6, est dénommée « force subie par l'arbre », celle dessinée sur l'arbre est dénommée « force subie par l'éléphant ».

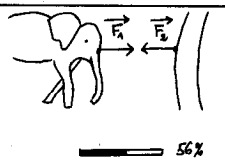
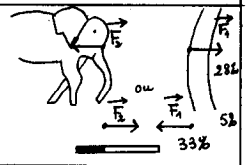
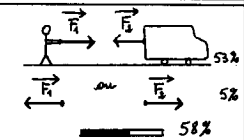
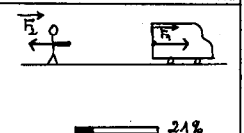
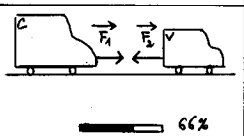
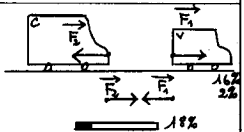
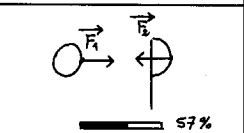
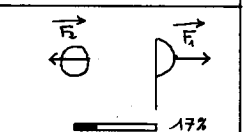
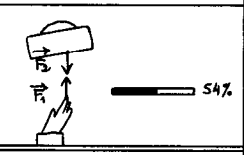
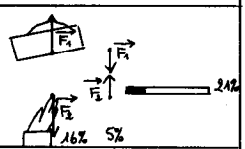
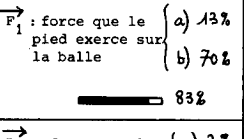
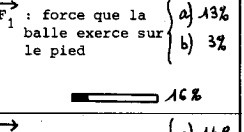
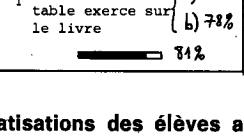
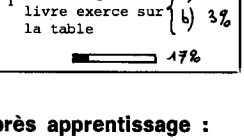
Le Tableau IV regroupe les résultats obtenus pour les forces de poussée lorsque le critère de catégorisation des réponses est le suivant : la force est dessinée soit sur l'objet « émetteur » (incorrect), soit sur l'objet « récepteur » (correct si le sens de la force est correct, sinon incorrect).

---

(4) Dans le tableau III, ne figurent pas les résultats de l'item I 4. En effet, 37 % des élèves questionnés ont identifié, pour cet item, la force que le jouet exerce sur l'enfant à la force de frottement que le sol exerce sur le jouet. Cette confusion des interactions dans lequel le jouet est impliqué fausse les pourcentages obtenus.

(5) On nous pardonnera cette dénomination imagée pour désigner l'objet qui exerce la force ; de même, l'objet « récepteur » sera, dans la suite, celui qui subit la force. On n'entend pas pour autant suggérer l'usage de ces termes en classe. Signalons aussi que le sens de ces dénominations est pour nous différent de celui des termes objet « actif » et objet « passif » utilisés précédemment.

TABLEAU IV

N° item / Situation / Données — Résultats	Forces dessinées sur l'objet "émetteur" (incorrect)	Forces dessinées sur l'objet "récepteur" (correct ou non)
I 6 Eléphant poussant un arbre $\vec{F_1}$: force subie par l'arbre $\vec{F_2}$: force subie par l'éléphant N = 75		
I 7 Personne poussant une voiture $\vec{F_1}$: force que la personne exerce sur la voiture $\vec{F_2}$: force que la voiture exerce sur la personne N = 38		
I 8 Camion poussant une voiture $\vec{F_1}$: force que le camion exerce sur la voiture $\vec{F_2}$: force que la voiture exerce sur le camion. N = 38		
I 9 Balle frappant une raquette $\vec{F_1}$: force que la balle exerce sur la raquette $\vec{F_2}$: force que la raquette exerce sur la balle N = 75		
I 10 Personne hissant une valise dans un filet $\vec{F_1}$: force que la main exerce sur la valise $\vec{F_2}$: force que la valise exerce sur la main N = 37		
I 14 Shoot d'un joueur dans un ballon Schéma a) Schéma b)	$\vec{F_1}$: force que le pied exerce sur la balle { a) 13% b) 70%	$\vec{F_1}$: force que la balle exerce sur le pied { a) 13% b) 3%
		
I 15 Livre posé sur une table Schéma a) Schéma b)	$\vec{F_1}$: force que la table exerce sur le livre { a) 3% b) 78%	$\vec{F_1}$: force que le livre exerce sur la table { a) 14% b) 3%
		

Forces de poussée. Schématisations des élèves après apprentissage : forces dessinées sur l'objet « émetteur » ou sur l'objet « récepteur ».

Des pourcentages figurant sur le tableau IV, il ressort qu'environ 50 % des élèves schématisent les forces d'une interaction de contact, lorsqu'il s'agit d'une poussée des objets, en inversant les objets d'application des forces. Ainsi la force que subit l'arbre, que la personne ou le camion exerce sur l'automobile est dessinée sur l'éléphant, sur la personne ou sur le camion. De même, la force que la balle exerce sur la raquette ou que la personne exerce sur la valise quand elle la pousse est dessinée sur la balle, sur la personne.

Notons que, lorsque la formulation de l'item comporte un choix (I 14 et I 15), les pourcentages obtenus sont plus nettement différenciés : les absences de réponses, n'apparaissant pas dans les tableaux présentés, sont faibles voire inexistantes.

Le tableau V regroupe les résultats obtenus pour les forces de traction lorsque le critère de catégorisation des réponses des élèves est le même que celui du tableau IV (6).

Il ressort du tableau V qu'environ 50 % des élèves schématisent les forces d'une interaction de contact, lorsqu'il s'agit d'une traction des objets, en inversant les objets d'application des forces. Ainsi, la force que l'enfant exerce sur le jouet, le tracteur sur la voiture, l'archer sur son arc, la main sur la valise est dessinée par un élève sur deux sur l'enfant, le tracteur, l'archer, la main.

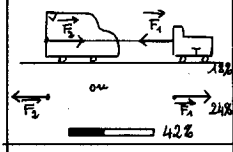
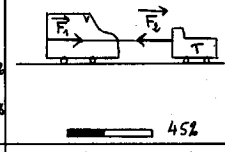
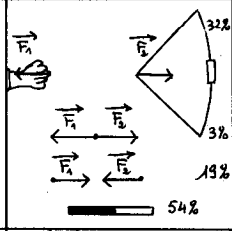
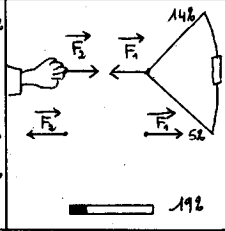
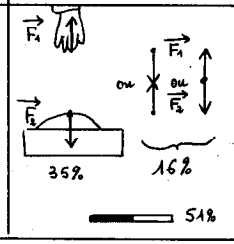
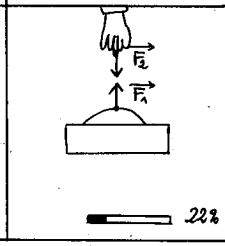
On observe donc qu'aussi bien pour les forces de poussée que pour les forces de traction un pourcentage important des élèves (50 %) schématise les forces d'une interaction en inversant les objets d'application des forces.

Nous pensons que cette tendance révèle une idée profondément ancrée dans l'esprit des élèves : les objets possèdent de la force [6]. Venant renforcer cette idée, soulignons qu'un enseignant utilise des expressions telles que « force exercée par X sur Y », «force que X exerce sur Y », « force de X sur Y », en les illustrant d'un dessin de flèche sur Y ; or, on constate que les élèves dessinent, eux, une flèche non sur Y mais sur X ; tout se passe donc comme si les élèves oblitéraient le « sur Y » pour ne retenir que le début des expressions « force exercée par X », « force que X exerce », « force de X ». Cette dernière expression, « force de X sur Y », relativement en faveur chez les élèves (7), est sans doute celle qui se prête le mieux à l'oubli

(6) Dans le tableau V, ne figurent pas les résultats de l'item I 4 pour la raison déjà invoquée dans la note (4).

(7) Un tiers d'entre eux retient en deuxième choix l'expression « $\vec{F}_1$ est la force de l'éléphant sur l'arbre » lorsqu'on demande aux élèves de classer par ordre de préférence cinq expressions relatant l'existence de la force $\vec{F}_1$ de l'item I 6.

TABLEAU V

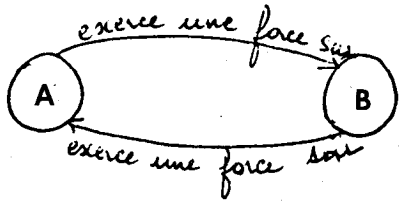
N° item — Résultats / Situation / Données	Forces dessinées sur l'objet "émetteur" (incorrect)	Forces dessinées sur l'objet "récepteur" (correct ou non)
I 11 Voiture tirée par un tracteur $\vec{F_1}$: force que le tracteur exerce sur la voiture $\vec{F_2}$: force que la voiture exerce sur le tracteur N = 38		
I 12 Archer tirant sur son arc $\vec{F_1}$: force que la main exerce sur l'arc $\vec{F_2}$: force que l'arc exerce sur la main N = 37		
I 13 Personne immobile tenant une valise à la main $\vec{F_1}$: force que la main exerce sur la valise $\vec{F_2}$: force que la valise exerce sur la main N = 37		

Forces de traction. Schématisations des élèves après apprentissage : forces dessinées sur l'objet « émetteur » ou sur l'objet « récepteur ».

des termes « sur Y » ; c'est en effet celle qui traduit le mieux l'attribution de la force à l'objet ; en ce sens, il ne nous paraît pas indiqué de l'utiliser en classe. Enfin, remarquons que, en hydrostatique, seul domaine où l'élève de troisième a auparavant entendu parler et vu représenter des forces, celles-ci sont souvent comprises indépendamment de l'objet Y qui subit la force : forces de pression, force de l'eau. Quoi qu'il en soit, il est clair que le verbal seul ne suffit pas : l'apprentissage des interactions doit associer systématiquement l'expression verbale d'une force au dessin de cette force, de préférence sur un schéma éclaté pour éviter toute ambiguïté.

En dernier lieu, nous voudrions discuter du rôle de l'apprentissage de la schématisation « imagée » dans la persistance des

difficultés des élèves à schématiser les forces d'une interaction. Une des classes testées ayant eu un apprentissage systématique de la schématisation « imagée », nous avons pu vérifier qu'un tel apprentissage est efficace : la schématisation « imagée » est acquise par la totalité des élèves de cette classe. Or, qu'apprend-elle implicitement aux élèves du point de vue du graphisme ? Que les flèches dessinées sont toujours situées entre les objets X et Y en interaction, d'une part, et que, d'autre part, l'origine de la flèche part toujours de l'objet « émetteur » de la force, son extrémité étant toujours localisée sur l'objet subissant la force.



Il est vrai que les flèches dessinées sont incurvées et qu'elles ne peuvent en aucune façon traduire une force en termes de vecteurs. Mais cette remarque ne fait-elle pas partie de l'implicite, du non-dit aux élèves ? Alors qu'y a-t-il de surprenant à ce que les élèves passent naturellement du schéma précédent au schéma suivant ?

{ Force exercée par A
{ Force *de* A

{ Force exercée par B
{ Force *de* B

Une schématisation semi-formelle d'une interaction devrait être une étape facilitant l'apprentissage de la schématisation des forces de l'interaction par des vecteurs. Or, la schématisation « imagée » proposée par le manuel cité [4] va dans le sens des difficultés persistantes des élèves après enseignement. Cause ou renforcement de ces difficultés ? Nous optons pour la seconde hypothèse car nous avons observé ces difficultés chez des enfants qui n'avaient eu aucun apprentissage de la schématisation « imagée » (l'une des trois classes du post-test pour laquelle les résultats sont identiques à ceux des deux autres classes).

CONCLUSIONS DE L'ETUDE.

Cette étude a eu pour but d'informer les enseignants sur les caractéristiques des schématisations des interactions produites par les élèves de troisième avant, puis après apprentissage.

Si un enseignant se fixe comme objectifs d'enseignement les références théoriques 1., 2. et 3. développées en début d'article, il doit être amené, compte tenu des résultats de cette étude, à considérer avec particulièrement d'attention les points suivants :

* différenciation explicite entre la schématisation « imagée » d'une interaction, si celle-ci est enseignée, et la schématisation des deux forces de l'interaction par des vecteurs ;

* articulation systématique du verbal, explicitant l'objet exerçant la force et l'objet subissant la force, avec le dessin (schématisation de la force par un vecteur, sur schéma éclaté s'il s'agit d'interactions de contact).

Nous laisserons à Marie et Sophie le mot de la fin. Marie, à la question : « Le jouet a-t-il une action sur l'enfant ? » a répondu dans le post-test :

« Je ne sais pas ; on m'a dit que oui, mais je n'en suis pas persuadée ».

Sophie, visant vraisemblablement l'ensemble du post-test, mais à propos de l'interaction livre-table pour laquelle elle a choisi le schéma incorrect, a écrit :

« Pourquoi ne posez-vous pas la question à des sixièmes ? Vous nous sous-estimez ?! »

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] G. BRUHAT. — *Mécanique,* Masson et C^ie^, p. 40-41.

[2] Par exemple :

Y. MICHAUD, Y. LE MOAL. — *Sciences physiques 5^e^*, Ed. Magnard, p. 9.

P.-J. CHIROUZE, M. BERENGER, R. VENTO. — *Sciences physiques 5^e^*, Ed. Colin, p. 14.

[3] Par exemple :

MURRAY, R. SPIEGEL. — *Théorie et Applications de la Mécanique Générale,* Série Schaum, Ediscience S.A., Paris, p. 80.

R. RESNICK, D. HALLIDAY. — *Mécanique - Physique 1,* Ed. du Renouveau Pédagogique, p. 293.

[4] A. GEBURTIG, J.-C. MULLER, M. SCHAEFFER, F. SCHNETZLER. — *Sciences Physiques 3^e^*, Ed. Istra, Chapitres 1 et 6.

[5] *Petit Larousse Illustré,* 1984.

[6] L. VIENNOT. — *Raisonnement spontané en dynamique élémentaire,* Collection Hermann, 1977.