

ENERGIE ET MOUVEMENT

REPRESENTATIONS A PARTIR DE L'ETUDE DE JOUETS MOBILES

Jacqueline Agabra

L'analyse des comptes rendus de séquences de classe de l'école élémentaire qui visent à introduire la notion d'énergie à partir de jouets mobiles montre que, dans ce contexte, les enfants produisent des représentations pour expliquer. Ils décrivent ainsi préférentiellement les mécanismes à l'aide de chaînes cinématiques, même si parfois ils citent la source d'énergie. Persuadés que la persistance d'un mouvement implique le contact permanent avec l'agent causal, ils construisent un modèle hydraulique qui réduit l'électrique au mécanique. Ils utilisent aussi la notion d'élan qu'ils apparentent à un capital de force ou d'énergie, sans que toutefois les idées d'interaction ou de transfert soient nécessairement présentes.

Les comptes rendus de séquences de classes que nous avons choisi d'analyser - et qui portent sur les niveaux très différents du cycle préparatoire et du cycle moyen - partent d'un matériel pratiquement identique : des jouets mobiles, mécaniques et électriques. Ils visent à préparer, à introduire ou à tenter de réinvestir la notion d'énergie. Il est bien sûr évident que les objectifs ne sont pas les mêmes au CP et au CM. Notre étude ne porte pas sur le choix qui a été fait, ou qu'on aurait pu faire des objectifs. Nous nous sommes intéressés à dégager des réponses des élèves les représentations sous-jacentes (presque toujours implicites), à essayer d'en déceler les origines et ainsi à montrer la difficulté de la construction du concept d'énergie. Car ces représentations sont vivaces et subsistent bien au delà de l'école élémentaire.

1. JOUETS MOBILES AU COURS PREPARATOIRE.

Dans cette séance, les enfants ont pour consigne d'observer par groupes un certain nombre de jouets mobiles et d'essayer de comprendre "comment ça marche". Cette recherche est relativement courte (10 mn) car depuis dix jours, le maître a disposé sur une table les jouets, laissant toute liberté aux enfants pour les manipuler.

Notre analyse porte sur le dialogue maître-élève et plus particulièrement sur les réponses des enfants à propos de trois jouets, les trois premiers de la liste.

Le matériel mis à disposition comprenait :

- une moto électrique
- une moto à ressort
- une voiture à roues libres
- une voiture à friction
- une voiture - "fusée" à roue unique servant de volant lancé par l'intermédiaire d'une languette de plastique dentelée ;
- une voiture à ressort et à clé
- une voiture à ressort qui se "remonte" en faisant faire un va-et-vient à la voiture
- un chariot à hélice et élastique
- un bateau à réaction, à eau
- une locomotive à ressort et à clé.

Dans les comptes rendus des séances, les réponses des enfants sont notées E_1 , E_2 ... sans qu'on puisse les attribuer nominalement, et celles du maître M_1 , M_2 ...

1.1. La moto électrique

- E1 Elle ne veut plus avancer !*
- E2 Ce sont les piles, elles sont mal mises*
- E3 Le courant électrique passe par le tube, il va là, il fait avancer cette petite roue qui fait avancer la grande*
- M1 Pourquoi ?*
- E4 La petite roue va dans l'autre sens. Elle recule.*
- M2 Pourquoi ça change de sens ?*
- E5 Parce que le bouton le fait tourner dans l'autre sens.*
- E6 Un bouton le fait tourner dans un sens et un bouton le fait tourner dans l'autre sens.*
- M3 Elle marche grâce à quoi cette moto ?*
- E7 Grâce au courant*
- M4 Où est-il ce courant ?*
- E8 Dans les piles*
- M5 Que pourrait-on faire pour être sûr qu'elle marche grâce au courant, cette moto ?*
- E9 Il faudrait enlever les piles et après essayer de la faire marcher*
- E10 Elle pourra jamais marcher sans les piles.*

la métaphore
hydraulique du
"courant"

Dès l'entrée les élèves parlent de "courant électrique". Le mot "courant" qui fait partie du vocabulaire scientifique porte la marque de l'analogie à partir de laquelle s'est construite l'électrocinétique. La métaphore hydraulique est si forte qu'elle fonctionne ici totalement, avec un *modèle explicatif de type "irrigation"*, sans aucune notion de circuit (E3). On voit ici émerger une représentation mécaniste des effets du courant électrique provenant de la pile (E8)

REPRESENTATION : Modèle "irrigation" du courant électrique. Le courant électrique est un fluide qui s'écoule dans une "canalisation" et permet d'obtenir des effets à une certaine distance de la "source" (les piles).

Nous allons préciser ce que l'on peut entendre par "une certaine distance".

la nécessité d'une
action causale

Les enfants ressentent la nécessité d'une explication causale : grâce à une succession d'actions de contact ordonnées spatialement et temporellement, le mouvement d'une pièce, d'un fluide se transmet à une autre pièce (E3).

Pour eux, seul le mouvement peut produire le mouvement, tout au moins, nous le verrons plus loin, dans un mécanisme technologique. On retrouve ici la *conception aristotélicienne du "moteur"* :

- . le repos étant un état ou une privation n'a pas besoin de cause qui en explique la persistance.

- . le mouvement étant un processus, une actualisation continue ne peut se passer de cause. Si on supprime cette cause, le mouvement cesse.

Cette cause est baptisée "moteur" et elle doit être conjointe au mobile mû. Si on supprime le moteur - ou de même si on sépare le "moteur" du mobile - le mobile s'arrête car Aristote n'admet pas d'action à distance. Toute transmission implique un contact : ainsi il n'en existe que deux formes possibles : actions - pression et traction.

Le modèle explicatif proposé (on pourrait le vérifier dans la suite de la séance sur d'autres réponses) est très proche.

REPRESENTATION : Chaîne causale du mouvement.
 - un mouvement non naturel, comme il est perçu dans un mécanisme comme celui de la moto, exige pour sa durée l'action continue d'un "moteur", c'est-à-dire d'un autre mobile - ici le fluide électrique - et conjoint au premier mobile.

le courant est le "moteur" de la roue

C'est ainsi que les enfants expliquent l'entraînement des roues ; toutes les pièces qui bougent, dans le mécanisme de mouvement "non naturel" doivent être mues par quelque chose qui se meut antérieurement et qui est en contact avec la pièce considérée. Le courant est ainsi le "moteur" de la petite roue, qui devient elle-même le "moteur" de la grande roue. L'enfant ne peut concevoir qu'il existe un "espace vide" comme il le trouverait dans un moteur électrique entre le stator et le rotor.

le modèle d'entraînement hydraulique réduit entièrement l'électrique au mécanique

. La chaîne cinématique ainsi décrite est plutôt imaginée à partir d'éléments mécaniques visibles et de la représentation que l'élève se fait du courant, sur la base d'un modèle d'entraînement hydraulique : un fluide en mouvement pousse une roue et la fait tourner (E3). D'ailleurs les élèves ne cherchent pas à affiner leur observation pour voir ce qui se passe réellement entre la pile et les roues. Il est frappant à cet égard, qu'aucun ne parle d'un moteur électrique au sens courant du terme (ni n'en cherche un).

De même un enfant signale bien le rôle du bouton, mais celui-ci est plutôt doté d'un pouvoir que d'une fonction, et il ne cherche pas non plus à savoir comment agit ce bouton.

On peut résumer ainsi la représentation de la production et de l'entretien du mouvement dans un véhicule électrique :

REPRESENTATION : Les effets mécaniques du courant électrique.
 Réduction totale de l'électrique au mécanique.

source de fluide en mouvement → organes de transmission → mouvement recherché
 fluide en mouvement dans des canalisations → en contact avec le fluide.

d'une source sort de l'eau en mouvement

Nous venons de voir qu'en présence d'un mouvement "non naturel" les enfants cherchent un "moteur" (au sens aristotélicien) c'est-à-dire un objet mu antérieurement, et en contact avec le mobile considéré. Par contre, ils ne se posent aucune question en ce qui concerne la cause du "courant" électrique et la métaphore hydraulique fonctionne complètement : d'une source sort de l'eau en mouvement, c'est dans la nature des choses. Comme le disait Aristote, il y a des corps mus *par accident*, qui dépendent pour se mouvoir d'autres êtres qui se meuvent, et il y a les autres qui se meuvent *par essence*, d'un "mouvement naturel".

La recherche de la cause d'un mouvement s'arrête ainsi en présence d'objets ou de corps qui sont perçus comme pouvant avoir un mouvement naturel : la pierre qui tombe, l'eau qui sort de la source et, par analogie directement issue du vocabulaire commun, le "courant électrique".

REPRESENTATION : Le fluide électrique a un mouvement naturel : il s'écoule d'une source (les piles).

Nous allons maintenant essayer de préciser comment est perçu le rôle des piles. Les piles, "sources" de courant dans l'analogie hydraulique, sont peut-être vues comme des réservoirs. Mais on peut se demander aussi si la réponse (E8) n'est pas induite par la question du maître (M4) :

M4 - Où est-il, ce courant ?

E8 - Dans les piles.

La distinction entre source et réservoir repose sur la connaissance courante :

. une source produit indéfiniment (plus ou moins...) ce qu'elle produit : source d'eau, d'électricité (le secteur).

. un réservoir contient un fluide qui s'épuise et il faut remplir le réservoir.

dans la pile, de l'électricité est au repos, comme un réservoir contient de l'eau

Les enfants perçoivent une distinction entre une pile et la prise du secteur. Que contient la pile ? Sans aucun doute pour les enfants, de l'électricité au repos comme un réservoir contient de l'eau.

1.2. La moto à ressort

- E1 *C'est la clé qui la fait fonctionner.*
- M1 *Pourquoi elle avance ?*
- E2 *Parce que la clé fait rouler les roues.*
- M2 *Y a-t-il un autre jouet qui ressemble à cette moto ?*
- E3 *Oui, la locomotive.*
- M3 *Et comment avance-t-elle cette locomotive ?*
- E4 *Grâce à la clé.*
- M4 *L'autre jour quelqu'un m'avait dit que cela marchait grâce à la clé. Qu'est-ce qu'on a fait ?*
- E5 *..... ?*
- M5 *Que peut-on faire ? Si cela marche grâce à la clé, si on enlève la clé normalement ça ne devrait pas marcher.*
- E6 *Oui, Oui.
C'est fait.*
- M6 *Alors ?*
- E7 *(Gilles) - Oui, c'est avec un bouton qu'elle va en avant ou en arrière.*
- M7 *Qu'est-ce qui se passe, écoutez ! (Il tient la locomotive en l'air et les roues s'arrêtent rapidement de tourner). Alors ?*
- E8 *On tourne la clé en arrière, alors quand on l'enlève ça va en avant et quand c'est fini ça s'arrête. Quand le fer ne tourne plus, elle s'arrête.*

Nous avons vu dans l'étude de la moto électrique - c'est-à-dire d'un véhicule qui "marche tout seul" - que l'enfant cherche normalement l'origine du mouvement, la cause dans le véhicule lui-même.

On peut rapprocher les réponses données à propos, d'une part de la moto électrique, d'autre part de la moto à ressort.

Moto électrique

Moto à ressort

- E2 - *Ce sont les piles*
- E7 - *Grâce au courant*

- E1 - *C'est la clé qui la fait fonctionner*
- E4 - *Grâce à la clé.*

Ce type de réponse est naturel et constant.

Il est tout aussi normal que les élèves ne parlent pas du rôle de la main, la discontinuité temporelle induisant une discontinuité dans la chaîne causale.

l'explication du mouvement, c'est la clé...

Aucun ne reprend l'idée d'une chaîne causale, sur le modèle d'une chaîne cinématique de transmission de mouvements dans le mécanisme. Peu de choses sont visibles de l'extérieur de cette voiture... à part la clé. L'explication est toute trouvée : c'est la clé !

... plutôt perçue comme origine que comme cause

Par un jeu de questions-réponses, le maître essaie de susciter une observation plus précise. D'autres organes sont mentionnés, mais sans mise en rapport les uns les autres. On peut dire qu'ils sont à tour de rôle tenus pour plus ou moins "responsables" du mouvement sans trouver pour autant leur place dans une chaîne causale. Dans cette optique, la clé ou le bouton (E7) sont plutôt perçus comme "origines" du mouvement que comme "causes", ou comme éléments d'une chaîne causale (on pourra rapprocher la réponse E7 d'une autre très semblable fournie pour la moto électrique (E5)).

Il apparaît que les enfants ne sont guère préoccupés par le "comment ça marche". Ils se contentent de constater que ça marche, sans doute se satisfaisant de l'idée que "c'est étudié pour". Ceci est peut-être lié au type de travail demandé, un exercice d'observation qui n'est motivé ni par un problème pratique, ni par la résolution d'un problème scientifique. Tout à la fin, l'un d'eux remarque la présence du volant d'inertie, lorsque le maître soulève la voiture (E8). C'est la seule tentative de recherche d'explication. Mais l'enfant ne fait aucune relation entre le fer et la clé.

La nécessité de contact entre le corps en mouvement et son "moteur" qui était apparue à propos de la moto électrique ne se manifeste aucunement ici. La pensée causale est encore très embryonnaire.

1.3. La voiture à roues libres.

M1 Alors comment elle avance celle là ?

E1 Grâce à la main. La main sert de moteur.

Un enfant la pousse et la lance

M2 Regardez bien encore.

M3 Quand la voiture est passée devant moi, la main de William était-elle sur la voiture ?

E2 Non !

M4 La voiture avançait ?

E3 Oui.

M5 Pourquoi ?

E4 C'est le moteur de la voiture la main, on la pousse et puis elle s'en va.

M6 La main était-elle sur la voiture ?

E7 Non, mais on la pousse.

M7 Alors elle avançait grâce à quoi ?

E8 Aux roues. Aux roues qui la fait avancer !

M8 Oui, mais regarde là, elle a bien des roues et elle n'avance plus !

E9 Oui, mais la main... (inaudible).

E10 Oui dans un moment elle s'arrête.

M9 Il y a deux façons pour la faire avancer.

Lesquelles ?

Un enfant la pousse.

Pas d'autre idée des enfants.

Le maître la prend et la pousse en la tenant.

M10 Qu'est-ce qui se passe ?

E11 Tu la tiens tout le temps !

M11 Et là (il lance la voiture).

E12 Tu lances la voiture.

E13 Une fois tu la tiens toujours et une fois tu la lances.

E14 Les roues ralentissent.

E15 Il faut pousser vite pour pas qu'elles s'arrêtent.

E16 Oui elles n'ont plus d'élan.

E17 L'élan de la voiture

- M12 Avec quoi on lui donne l'élan ?
 E18 Avec la main.
 M13 Ne pourrait-on pas la faire avancer sans la main ?
 E19 Si avec le pied !
 M14 Oui mais sans la toucher ?
 E20 Non.
 M15 En soufflant dessus !
 M16 Pourtant vous l'avez fait pendant la récréation.
 -
 M17 Quand est-ce que la voiture de papa peut avancer sans le moteur et sans la pousser bien sûr.
 E21 Avec les roues, avec le volant.
 E22 En la mettant dans une pente.
 C'est fait en posant la voiture sur la table et en l'inclinant.
 M18 Alors qu'est-ce qui se passe là ?
 E23 Ça fait rouler les roues, la pente, ça la fait glisser.
 E24 Ça la pousse.
 E25 Elle prend son élan pour descendre avant de rouler.

Ici, l'origine du mouvement est bien perçue comme extérieure au véhicule, car ce véhicule ne se meut pas seul :

E1 Grâce à la main, elle sert de moteur.

c'est à propos d'un véhicule qui n'en contient pas que les enfants prononcent le mot "moteur"

Curieusement, c'est à propos d'une voiture qui n'en contient pas, qu'est prononcé pour la première fois le mot moteur. Est-ce parce que là, il n'y a rien dans la voiture qui paraisse susceptible de la mettre en mouvement, et qu'au contraire dans le cas d'un véhicule "automobile" il va de soi - donc ce n'est pas la peine d'en parler - qu'il contient un "moteur" ? C'est-à-dire quelque chose "étudié pour, qui a le pouvoir de "la faire avancer et de la maintenir en mouvement. Dans la voiture à roues libres, le "moteur" est sorti du véhicule et les enfants jugent nécessaire d'en parler.

Le mot "moteur" n'a pas la signification précise que nous lui attribuons en technologie : "quelque chose"

ce mot n'a pas le sens
que nous lui attribuons

qui transforme du travail électrique en travail mécanique ou de la chaleur en travail mécanique. C'est "l'automoteur" d'Aristote dont nous avons déjà parlé à propos de la moto électrique. "C'est ce qui se meut soi-même ... et qui constitue la cause et le principe du mouvement". Cette notion chez les enfants inclut plus ou moins la source d'énergie elle-même, particulièrement lorsqu'elle est interne au véhicule. C'est ainsi que pour beaucoup, la condition suffisante pour qu'un véhicule électrique avance est la présence d'une pile.

REPRESENTATION : Il y a *indistinction* entre *moteur* et *source d'énergie*.

Dans le cas où, volontairement, on retire la main et on lance la voiture, les enfants, pressés de répondre par le maître, cherchent, comme pour tous les autres véhicules "automobiles", la cause du mouvement à l'intérieur du véhicule. Ils citent n'importe lequel des organes qui bougent, qui tournent et qui pourraient jouer le rôle de "moteur".

M7 Alors, elle avançait grâce à quoi ?

E8 Aux roues, aux roues qui la font avancer.

M17 Quand est-ce que la voiture de papa peut avancer sans moteur et sans la pousser bien sûr ?

E21 Avec les roues, avec le volant.

La demande "grâce à quoi" est ambiguë. Tous les organes cités sont bien sûr nécessaires et c'est aussi grâce à eux que le mouvement est possible. Mais le maître comme on va le voir, voudrait que le rôle de la main, source d'énergie, soit mis en avant.

Pour cela, il fait marcher successivement la voiture de 2 façons :

- . en la poussant avec la main posée dessus,
- . en la lançant, la main abandonnant le véhicule.

la notion d'élan
apparaît ...

La notion d'élan apparaît (E16 - E17). Et un dialogue au cours d'une deuxième séance fournit des indications complémentaires.

M - Que fait la main ?

E - elle pousse la voiture.

M - et pourquoi elle s'arrête ?

E - parce qu'elle a plus la main qui pousse

E - elle s'arrête parce qu'elle a plus d'élan.

On voit s'exprimer une représentation qui a prévalu jusqu'au XVII^e siècle chez les scientifiques eux-mêmes.

REPRESENTATION : *Mise en mouvement et entretien d'un mouvement.*

Il faut une force pour créer et entretenir un mouvement. Il ne peut y avoir de mouvement qui dure sans une force appliquée de manière permanente au véhicule et le mouvement dure aussi longtemps que dure la force.

Cette force peut être produite de deux façons

- soit par un agent visible, de manière continue : c'est le cas de la main qui tient la voiture et le fait avancer.

- soit par une action concentrée dans le temps mais passagère qui permet de stocker un "capital de force" : c'est le cas où la main lance la voiture.

De cette façon, l'action *permanente et en quantité juste suffisante pour faire avancer* est remplacée par une action *brève mais plus intense* qui se trouve en quelque sorte stockée dans le véhicule, lorsque l'action a cessé, sous forme d'un "capital de force" (voir le raisonnement spontané en dynamique élémentaire, de L. Viennot pour l'usage de ce terme). Ce capital est utilisé peu à peu pour avancer jusqu'à ce que le véhicule ait utilisé tout le capital de force disponible.

Cette notion, baptisée "élan" par les enfants, tient tout à la fois de la force et de l'énergie. On peut penser toutefois, compte tenu des expériences premières de poussée et de traction de jouets et d'objets, que cette notion est au départ beaucoup plus enracinée dans celle de force, intuitivement construite à partir de l'idée d'effort, d'action de la main.

... qui peut être vue comme un "capital de force" stockée quand on lance un véhicule

Mais examinons la suite du dialogue. A la question du maître :

M12 Avec quoi on lui donne de l'élan ?

Un enfant répond :

E18 Avec la main.

Il désigne l'organe agissant. Pour le maître, est certainement sous-jacente l'idée d'un transfert de quelque chose de la main à la voiture, et la question est très inductrice de ce transfert par l'emploi du verbe "donne". Si l'enfant a effectivement l'idée d'un transfert l'élan s'apparentera plus nettement alors à l'énergie.

Nous allons essayer de préciser les diverses origines et par suite les divers sens que peut avoir le mot élan pour les enfants, à partir de quelques exemples.

A propos de la voiture en haut d'une pente, un élève dit :

E15 Elle prend son élan pour descendre avant de rouler.

De même dans un autre dialogue relatif à la construction du concept d'énergie au CE1, on obtient les réponses suivantes à propos d'un pistolet à ressort :

E1 Le ressort prend son élan et pousse la flèche quand on appuie sur la détente.

E2 Quand je le charge, le ressort prend de l'élan.

E3 Quand il est serré, il ne peut plus rien faire. Il a pris de l'élan. C'est comme si tu tenais avec une force. C'est comme une force qui tient le ressort. Le ressort c'est comme s'il voulait se débattre et redevenir grand.

M Quand le ressort a-t-il de l'élan ?

E4 Quand la flèche est dedans (ressort serré).

On peut essayer de comprendre l'origine de ces utilisations diverses de la notion d'élan par l'origine tout à fait anthropomorphique de l'expression "prendre son élan" et qui ne sous-entend aucune idée de transfert, ni d'interaction.

- "Prendre son élan" c'est courir pendant un certain temps pour, par exemple, sauter ensuite. C'est accumuler un capital de "quelque chose" qui n'est pas donné par l'extérieur mais qui provient du "sujet" lui-même : il prend en quelque sorte son élan sur lui-même (il y a transformation d'Énergie cinétique en Énergie potentielle au moment du saut) et il l'utilise ensuite en un temps très bref.

courir pour "prendre son élan"...

La notion de transfert n'est pas manifeste.

- C'est aussi se ramasser comme un chat, au pied du mur qu'on veut franchir. C'est sans doute cette image qui colle le mieux avec le ressort tendu ou la voiture en haut de la côte.

... ou se ramasser comme un chat ?

La configuration tassée, ramassée, permet de stocker une quantité de "quelque chose" qui servira soit à acquérir de la vitesse, soit à franchir un obstacle (il y a ici transformation inverse d'énergie potentielle en énergie cinétique).

Dans ce cas non plus la notion d'un transfert de quelque chose n'est pas évidente.

Pour résumer :

- dans le premier cas : l'élan croît comme $\int v dt$ sans qu'aucune question soit soulevée sur la durée de l'action la cause du mouvement,

- dans le second cas : l'élan n'est guère formalisable. On peut seulement dire que plus on est ramassé, comprimé ou "plus la pente est haute", plus l'élan pris sera grand.

Ni dans l'un, ni dans l'autre, on ne voit apparaître l'élan comme produit par un transfert.

En conclusion, on peut répéter que la pensée causale est encore embryonnaire. Pour certains, elle se réduit à un principe actif, résidant dans les choses. Par décentration, l'activité du sujet, premier principe causal, se trouve déléguée sous une forme plus ou moins anthropomorphique aux objets eux-mêmes. Les mises en relation causales sont incomplètes, sauf pour certains enfants qui élaborent des chaînes causales complexes.

D'autre part, nous avons vu qu'il y a totale réduction des phénomènes électromécaniques à des phénomènes mécaniques. De ce fait, la nécessité d'un moteur électrique ne s'impose pas, la pile ayant un rôle double de moteur - source d'énergie.

L'utilisation de la notion d'élan, polysémantique, est courante.

2. JOUETS MOBILES AU COURS MOYEN

Les élèves de la classe que nous allons maintenant envisager, avaient abordé l'année précédente la notion d'énergie, à partir d'une petite centrale hydraulique.

Matériel mis à disposition

- le girojet mis en mouvement en tirant sur une tige de plastique dentée
- le turbojet mis en mouvement grâce à de l'air comprimé par une pompe
- la voiture à réaction (avec un ballon que l'on gonfle)
- la voiture électrique à ultra sons
- le tank radioguidé.

2.1. Jouets purement mécaniques :

Ce sont le girojet, le turbojet et la voiture à réaction.

Pour le girojet, la majorité des réponses sont de type :

- E1 *L'énergie vient de la main. La main tire la tige qui a des dents. Les dents font rouler la roue dentée.*
- E2 *Quand on tire la tige souple, la main fournit de l'énergie. Les dents de la tige entraînent les dents de la roue à dents qui est attachée à la roue motrice, donc qui la fait tourner.*
- E3 *On prend la tige dentée dans la main. On l'enfonce dans un carré exprès qui rejoint la roue motrice et quand on tire dessus, la tige dentée rejoint les dents de la roue motrice. Alors l'engrenage se ferme et la moto ou la voiture part. Cette énergie provient de la force de la main et non de la tige dentée car si on la laisse dans le carré il ne se passe rien.*

Pour le turbojet, les réponses sont de ce type, sauf une qui parle d'énergie :

- E1 *Quand on pompe, l'air passe par un tuyau qui sort dessous la voiture et fait tourner une turbine qui fait tourner les deux roues avant.*
- E2 *C'est une pompe qui fait passer l'air dans le tuyau qui passe par le trou et qui fait tourner*

la turbine et les roues avant,

- E3 Sébastien pompe et l'air passe dans un tuyau. Ce tuyau envole l'air dans la turbine qui fait tourner les roues avant, puis la voiture part.

Pour la voiture à réaction, toutes les réponses sont de ce type, sauf également une qui parle d'énergie:

- E1 On gonfle le ballon. Après on lâche la voiture. Le ballon se dégonfle et entraîne la voiture.
 E2 On gonfle le ballon placé sur la voiture et quand le ballon se dégonfle, l'air qui s'échappe sert à faire avancer la voiture.
 E3 Quand on souffle dans le ballon ça le gonfle. On lâche la voiture, on enlève son doigt. L'air sort et ça fait avancer la voiture.

pour les jouets
mécaniques ...

Nous observons d'abord que pour expliquer le fonctionnement de ces jouets, les enfants ne parlent pratiquement jamais de la source d'énergie dans les exemples 2 et 3, bien qu'ayant déjà approché cette notion l'année précédente. A l'inverse, la main comme source d'énergie est presque toujours citée dans l'exemple 1.

Pourquoi de façon si tranchée, deux catégories de réponses ? Examinons de plus près les principes de fonctionnement de ces véhicules et surtout ce que les enfants en perçoivent par l'observation superficielle des mécanismes.

... l'enfant peut percevoir
sa main ...

. Pour mettre en mouvement le girojet, on lance un volant, en tirant rapidement sur une bande de plastique dentelée qui engrène sur une roue dentée, solidaire du volant. Il y a bien évidemment transfert d'énergie de l'utilisateur au volant sous forme de travail exercé par la main et stockage d'énergie dans le volant sous forme d'énergie cinétique.

... comme source
d'énergie initiale

Mais aucun élève, et pas seulement dans les réponses que nous avons reproduites n'a remarqué le volant. Une fois lancée, la voiture paraît "livrée" à elle-même, comme le serait une simple voiture à roues libres ! C'est donc dans les mêmes termes qu'ils décrivent son fonctionnement ! (voir à ce sujet l'analyse des réponses au CP - paragraphe 1.3). Le rôle de la main y est perçu comme essentiel, comme étant à l'origine du mouvement et elle est citée comme source d'énergie. Là où les enfants du CP employaient le mot élan,

ils réinvestissent simplement le terme énergie vu l'année précédente.

. les deux autres véhicules : *le turbojet et la voiture à réaction*, utilisent de l'air comprimé. Il est évident pour les enfants que ces voitures se servent du mouvement de l'air pour avancer et c'est en ces termes qu'ils décrivent leur fonctionnement. Le rôle initial de l'utilisateur qui doit comprimer cet air ignoré, la voiture trouvant "en elle-même", lorsqu'on la lâche, sa source de mouvement.

Dans tous les cas, pour ces jouets mécaniques, les enfants se limitent à une tentative de description de la chaîne de transmission de mouvement, comme une succession d'actions orientées suivant la chaîne causale (comme par exemple, pour le turbojet la réponse E2).

mais il n'a jamais conscience de l'existence d'une chaîne énergétique

Revenons sur les réponses concernant le premier véhicule, le girojet. Nous pouvons dire que même dans ce cas, où les enfants parlent de la main comme source d'énergie, il n'y a aucune conscience de l'existence d'une chaîne énergétique. La source d'énergie est "à part". Elle doit être là, mais elle ne s'intègre pas au reste :

E - *L'énergie vient de la main. La main tire la tige qui a des dents ; les dents font rouler la roue dentée.*

On a donc une description qui place en tête la source d'énergie, puis poursuit avec une chaîne cinématique comme le font dans certains cas des élèves plus jeunes.

Que devient l'énergie ? Est-elle consommée quelque part pour obtenir un effet ? Est-ce même une quantité ? Il faudrait davantage d'informations pour saisir la représentation sous-jacente.

Dans la suite de la séance, le maître en est arrivé à poser des questions sur les voitures à roues libres, comparons les réponses données au CM à celles du CP sur le rôle de la pente dans le mouvement de ces voitures.

Élan ou énergie : les mots font-ils la différence ?

Au CP, les réponses sont de ce type :

- E1 *C'est la pente qui lui donne de l'élan*
 E2 *La pente fait de l'élan à la voiture*

Au CM (après une première approche de l'énergie l'année précédente):

- E1 *en la plaçant en haut d'une pente, l'homme fournit de l'énergie.*
 E2 *Plus la pente est raide, plus la voiture va vite, plus elle a d'énergie.*

Il apparaît que le mot énergie a remplacé le mot élan. Mais peut-on dire pour cela que la notion d'énergie, dans ce cas précis, est correctement sinon construite, du moins amorcée ?

énergie et mouvement sont liés dans l'esprit des enfants ...

Comme nous l'avons remarqué par ailleurs dans l'analyse d'une séance relative à la visite d'une petite centrale, pour les enfants, énergie et mouvement sont liés et, au repos, les enfants ont du mal à imaginer qu'un système puisse posséder de l'énergie. La voiture en haut de la pente (en réalité le système terre-objet) ne leur semble pas avoir d'énergie, mais elle en acquiert en tombant. En tout cas, celle-ci augmente. Ce sont les termes mêmes des enfants. La réponse du CM "*en plaçant (la voiture) en haut d'une pente, l'homme fournit de l'énergie*", ne contredit pas ce que nous affirmons. Dans la logique décrite, il est normal que l'homme fournisse - dépense (?) - de l'énergie pour placer la voiture en haut de la pente. Cela ne dit pas que, dans cette configuration, la voiture (ou plutôt le système terre-objet) a de l'énergie. De même l'air comprimé dans le réservoir ou le ballon n'a pas d'énergie ; il fait du mouvement en sortant, donc de l'énergie.

Citons encore un autre travail effectué en classe de cinquième :

"Les enfants ont construit des maquettes et ont essayé de voir ce que devenaient les véhicules plus ou moins chargés. Ils ont été surpris de voir qu'ils ne remontaient jamais plus haut que leur point de départ.

A une autre séance nous nous sommes posés le problème de savoir si au démarrage, en haut de la côte le véhicule possédait de l'énergie ? La discussion a été longue, houleuse et certains n'ont jamais pu admettre qu'il en possédait".

... ce qui rend la notion d'énergie potentielle très difficile à comprendre

La notion d'énergie potentielle est donc particulièrement hors du champ de représentations des enfants, tout au moins en apparence. Encore que l'élan, comme nous l'avons signalé, soit tantôt plus ou moins proche de la notion d'énergie cinétique (course avant un saut), tantôt de la notion d'énergie potentielle (chat au pied d'un mur) et que ce soit plutôt le mot énergie lui-même qui fasse obstacle.

2.2. Véhicules électriques

Voiture télécommandée :

- E1 *Si on enlève les piles de la boîte-antenne on ne peut plus la guider.*
- E2 *Si on enlève les piles du tank, il n'avance plus.*
- E3 *Le moteur et les piles s'associent pour faire avancer le tank.*
- ... *Puis plus tard dans la séance.*
- E4 *L'énergie électrique fait tourner le moteur.*

la différenciation du rôle de la pile-source d'énergie et du moteur s'amorce

Comme nous l'avions remarqué au CP, pratiquement tous s'arrêtent à la seule présence des piles pour expliquer le fonctionnement. Un seul signale (E3) la nécessité de l'association piles-moteur. Cette idée se précise par différenciation des rôles (E4). Les piles sont alors considérées comme source "d'énergie" ou peut-être seulement comme source de "courant". Déjà au CP, on peut voir se dessiner cette idée :

- M - *Quand est-ce que ce moteur électrique va s'arrêter de tourner ?*
- E - *Quand ça touchera plus.*
- M - *Et si je laisse toujours la pile ?*
- E - *Quand il n'y aura plus de courant dans la pile.*

EN CONCLUSION

. Au CM, même après avoir amorcé l'année précédente la notion d'énergie, les enfants continuent à décrire préférentiellement des mécanismes à l'aide de chaînes cinématiques de transmission du mouvement.

- . La source d'énergie, si elle est citée, a un statut "à part" et n'induit pas la notion de chaîne énergétique.
- . La discrimination entre les rôles de la pile, source d'énergie (ou de courant) s'amorce.
- . La notion d'énergie potentielle est totalement hors de portée des élèves de cet âge, par suite du lien très fort qu'ils établissent entre énergie et mouvement.

Jacqueline AGABRA

Ecole Normale de Bonneuil
Equipe de didactique des sciences
expérimentales - INRP