

ON N'A RIEN SANS RIEN ou L'ÉNERGIE, ÇA SE PAYE !

Jean-Loup Canal

L'exploitation d'une situation-problème permet ici à des élèves du cours moyen de découvrir une des propriétés de l'énergie : son caractère conservatif. Les résultats de leur recherche sont contraires à leur représentation immédiate : il y a remise en cause de l'évidence, rupture, et première élaboration du difficile concept d'énergie. Des exercices complémentaires montrent combien ce début d'acquisition est fragile. L'auteur propose enfin une suite possible pour des élèves plus âgés.

Le concept d'énergie est apparu tard dans l'histoire des sciences. Constatons également avec quel acharnement les hommes ont cherché et cherchent encore le moteur perpétuel ! Aussi, ne faut-il pas s'étonner si nous rencontrons des difficultés pour introduire cette grandeur dans l'enseignement.

D'une manière générale, il n'est pas admissible d'introduire une grandeur physique sous forme d'une simple définition. Une grandeur complexe s'impose lentement à l'intelligence des hommes et il est essentiel de pouvoir fournir aux élèves au moins une situation qui leur en donne l'intuition. Le mot "énergie" est connu d'eux mais quel sens y mettent-ils ? Ici, nous avons pris le parti de ne pas utiliser ce mot pendant la recherche expérimentale et de ne l'introduire qu'en conclusion. Toutefois nous l'emploierons dans la description et l'analyse données dans cet article pour ne pas alourdir le texte. Précisons enfin que nous n'avons pas ressenti la nécessité d'un pré-requis. Cet exercice pourrait servir à d'introduction à une étude de l'énergie.

difficultés et
précautions

Si nous voulons nous assurer d'une certaine réussite dans l'acquisition de ce concept scientifique, nous devons nous entourer d'un maximum de précautions : situation prise dans l'environnement scolaire des élèves, situation simple et accessible, adoption d'une démarche pédagogique du type résolution d'une situation-problème. Cette méthode n'est pas nouvelle, même si parfois elle est qualifiée ainsi. On en trouve les fondements chez Montaigne, Rousseau. Freinet, en praticien de l'éducation l'introduit en classe suivant des méthodes très pragmatiques en opposition avec des méthodes oppressives traditionnelles : "l'enfant qui sent un but à son travail et qui peut se donner tout entier à une activité non plus scolaire mais simplement sociale et humaine, cet enfant sent que se libère en lui un besoin puissant d'agir, de chercher, de créer".*

(*) Cité par Élise FREINET dans *Naissance d'une pédagogie populaire*, Petite Collection Maspéro, 1981, p. 83.

La situation expérimentale proposée ici, permet de constater qu'il y a "quelque chose" qui se transforme et non pas création spontanée. Les élèves pourront exprimer leurs représentations, formuler des hypothèses, rechercher des moyens de vérification. C'est en adoptant cette forme de travail que plusieurs classes du cours moyen, de troisième (au moment où l'énergie faisait partie du programme de la classe de troisième) ou d'adultes en stage ont travaillé. Les représentations, les déroulements, les étonnements et les conclusions furent comparables. Nous développerons essentiellement les résultats obtenus dans la classe du CM de Jean-Louis Costes. La dernière partie correspondant aux "nouvelles techniques pour produire de l'électricité sur une bicyclette" n'a pas été testée, elle est proposée comme simple perspective de travail.

1. LE CHOIX D'UNE SITUATION-PROBLÈME

1.1. Le problème à résoudre

"En plein jour, une bicyclette a son alternateur qui est bloqué dans la position de son entraînement. Est-il possible de diminuer l'effort qui est fourni pour entraîner le galet de cet alternateur ?"

Les réponses spontanées vont toujours dans le sens d'une intervention "musclée" sur l'alternateur: "avec un marteau, ou une pierre...", "tordre l'attache...". Voici, par exemple, un dialogue relevé dans un CM2 :

E - *Il faut casser les ampoules !*

M - *Casser les ampoules ? Qu'est-ce que cela va faire de casser les ampoules ?*

E - *Ça va empêcher le courant de passer.*

M - *Tu penses que si le courant ne passe pas on forcera moins ?*

E - *Je le pense; oui !*

E' - *Si on casse l'ampoule, ça tournera quand même la dynamo !*

M - *Tu n'es pas d'accord avec ton camarade ?*

E' - *Le courant ne passera plus mais on forcera quand même, ça fera tout de même tourner !*

Pour la majorité des élèves, jeunes et moins jeunes, leur représentation est la suivante: "l'effort fourni sert à faire tourner la dynamo" (sous-entendu, seule l'énergie mécanique est envisagée), mettre en mouvement et vaincre les forces de frottement pour maintenir la rotation qu'il y ait production ou pas d'électricité.

La tâche des élèves est maintenant définie :

- comment savoir si le fait d'enlever les ampoules va modifier l'effort à fournir ? Leur conviction est déjà faite : "ce n'est pas la peine de chercher, c'est évident, cela ne changera rien !"

la situation de départ conduit à la formulation du problème

- ils savent en outre qu'ils devront, par groupe, présenter les résultats de leur recherche.

1.2. Objectifs possibles

• Les connaissances

Si les objectifs à atteindre aux différents niveaux sont les mêmes, leurs formulations seront fonction de l'âge des élèves.

→ À l'école primaire :

formulation de connaissances qualitatives à l'école primaire et au collège

- . Si le galet de l'alternateur est entraîné et le circuit fermé, l'ampoule brille. Si le galet de l'alternateur est entraîné et le circuit ouvert, l'ampoule ne brille pas, mais l'effort à fournir sur l'alternateur sera moindre.
- . Plus on veut faire briller d'ampoules, plus il faut accroître l'effort pour entraîner l'alternateur (point de vue de l'enfant sur sa bicyclette).
- . Si on veut avoir plus, il faut donner plus.
- . On n'a rien sans rien.

→ **Au collège**, les objectifs précédents seront formulés ; mais il est possible d'accéder à un registre plus élevé :

- . L'énergie mécanique fournie à un alternateur permet de le maintenir en rotation (il faut vaincre les forces de frottements) et de produire de l'électricité.
- . La quantité d'énergie électrique produite dépend de la quantité d'énergie mécanique fournie.
- . Plus la demande d'énergie électrique est grande, plus l'énergie mécanique doit l'être. En extrapolant à une centrale hydraulique, il est évident que cette centrale atteint sa limite de production quand le robinet d'accès de l'eau sur la turbine est totalement ouvert.
- . L'énergie n'est pas gratuite.
- . L'énergie ne se crée pas.
- . L'énergie se transforme.
- . Toute l'énergie mécanique fournie à l'alternateur ne se transforme pas en énergie électrique : il y a des frottements qui se traduisent par des échauffements, c'est-à-dire qu'une partie de l'énergie mécanique s'est transformée en chaleur. Une faible partie a servi à mettre en mouvement le rotor de l'alternateur (énergie cinétique).

• Les méthodes

Ces objectifs constituent des points d'appui pour la tâche à accomplir : proposer une expérience pour vérifier une hypothèse, ressentir la nécessité d'une mesure, choisir des repères, choisir des unités, exprimer un résultat sous forme d'encadrement, présenter des résultats dans un tableau, répéter une mesure afin de comparer les résultats obtenus, interpréter les résultats de l'expérience.

Pour les plus jeunes élèves, certaines méthodes seront découvertes en cours d'expérimentation, en particulier celles relatives aux mesures.

2. LE DISPOSITIF DIDACTIQUE CHOISI POUR L'APPRENTISSAGE

2.1. L'organisation de la séquence

- Les modes de groupement des élèves : la classe est divisée en groupes de 4 élèves. La recherche faite dans chacun des groupes est ensuite communiquée à l'ensemble de la classe.
- La gestion du temps : avec des élèves jeunes ou moins jeunes, le temps d'expérimentation, de confrontation et d'interprétation des résultats fut pratiquement le même, deux heures et demie. La trace écrite avec de jeunes élèves se fit ensuite collectivement. Par contre, avec des élèves plus grands (classe de troisième), il fut demandé à chaque groupe, à partir des notes prises en classe, de faire un compte rendu complet de cette recherche.
- Le matériel sélectionné : une bicyclette par groupe et, sur demande, des masses de 1 à 2 kilogrammes, des boîtes de masses marquées avec des crochets et éventuellement le dispositif de la figure 1 : ses liaisons électriques ont été découpées dans du feillard vendu dans le commerce pour l'isolation des portes et fenêtres.

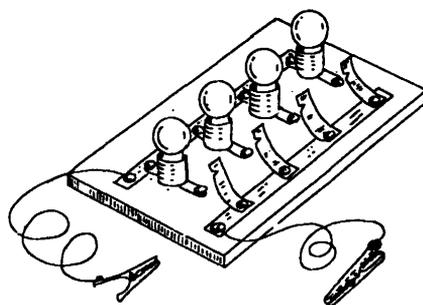


figure 1

- Les modes d'intervention du maître : leurs fonctions sont multiples. Le maître essaye de se cantonner dans des rôles de régulation, d'organisation, d'animation, d'observation et de conseil. Il n'est plus celui qui, *ex cathedra*, distribue son savoir. Les élèves de troisième peu habitués à cette forme de travail adhèrent sans aucune difficulté.

2.2. Les activités expérimentales

- Recherches par comparaison des sensations physiologiques

A partir d'une recherche en groupe et collective, rapidement chaque groupe convient de comparer l'effort fourni pour

des difficultés
pour objectiver
les résultats

entraîner la pédale de la bicyclette renversée, les ampoules branchées ou pas.

Les premiers résultats sont confus : *“tout en tournant, j'ai débranché les fils sans m'arrêter et je n'ai pas trouvé de changement. William non, plus mais Fuech trouve que c'est plus facile quand on a débranché”*. Le maître leur fait remarquer que leurs résultats sont peu objectifs puisque celui qui expérimente en tournant la pédale voit en même temps si les contacts sont effectués ou pas ! Le protocole expérimental est modifié : celui qui pédale ferme les yeux et ce sera un autre élève qui réalisera le branchement ou le débranchement des lampes :

- *Allez vas-y!*
- *Ca fait une impression, là c'est un peu plus dur, là c'est plus léger.*
- *Stop, à moi... C'est plus léger ; oh ! C'est plus dur, là c'est plus dur. Là, c'est plus facile.*
- *Ah tu vois !*

Cependant, même si une tendance se dessine pour ressentir un allègement de la force à exercer quand les fils sont débranchés, les avis ne sont pas unanimes. Le maître les incite à trouver “une démarche moins “pifométrique”, plus rigoureuse et plus scientifique”. Les propositions sont multiples :

- *“Il faut que ce soit la même personne qui essaye sur tous les vélos : peut-être que cela dépend des vélos”*. Le maître récuse cette idée car les autres peuvent toujours contester les sensations de l'expérimentateur et ce dernier sera peut-être plus fatigué au dernier vélo qu'il ne l'était au premier.
- *“Il faudrait faire avec le petit doigt pour tourner la pédale. Là on sentirait parce que notre petit doigt est faible”*. L'élève ressent bien que la différence, si elle existe, est légère. Le maître reprend l'argument précédent et écarte cette proposition.

Le maître intervient à nouveau et les oriente vers des mesures qui seules permettraient de conclure sur des bases objectives.

• Premières propositions de comparaison

Chaque groupe qui dispose de sa bicyclette fait des recherches mais en reste encore à la phase des propositions et non de l'expérimentation. En voici les résultats.

◇ **Premier groupe :**

Les enfants ont voulu appuyer sur la pédale à partir d'une même position de départ jusqu'à une même position d'arrivée :

E - *Et puis après, on a dit qu'il y en avait qui avaient de la force plus que d'autres. Alors pour éviter cela, on a voulu mettre un poids sur une pédale ou entre les rayons (figures 2 et 3).*

M - *Et pourquoi un poids s'il te plaît ?*

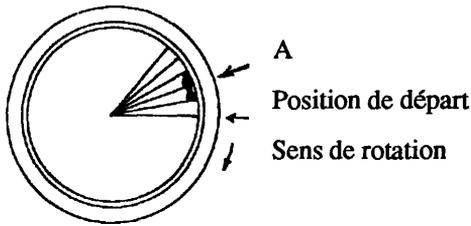


figure 2

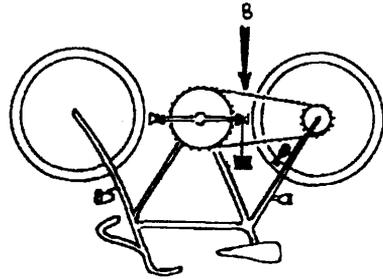


figure 3

propositions pour
fournir une
même énergie et
comparer

E - *Pour que ça tourne pareil !*

M - *Autrement dit tu remplaces la force de chacun par quelque chose qui est uniforme et qui est un poids.*

E - *oui mais il faudrait que ce soit le même partout comme ça, ça..., ça ne sera pas fatigué à force de faire.*

Ce groupe a ainsi trouvé le moyen de fournir toujours la même énergie : il sera possible de comparer les effets avec le circuit fermé ou ouvert.

◇ **Deuxième groupe :**

E - *On a pensé à mettre un papier entre les rayons puis enlever et mettre les fils sur la dynamo et voir le son que donne le papier. Mais il y a un problème : comme on pédale plus ou moins vite (avec la main) alors le papier il peut avoir des sons différents (et il ne sera pas possible de conclure).*

◇ **Troisième groupe :**

E - *On a trouvé de mettre un compteur de vélo (un compteur de vitesse). On pédalerait par exemple à 20 km/h et on débrancherait le fil. On pédalerait à 20 km/h et on verrait si ce serait plus dur ou moins dur sur la pédale !*

M - *On retombe sur le problème du départ ?*

E - *Oui parce que le garçon sera plus fatigué à la fin qu'au début.*

Le quatrième groupe a repris l'idée d'un compteur de vitesse.

• Des repérages et des mesures

Reprenant l'idée proposée par le premier, tous les groupes expérimentent. Ils proposent finalement trois types de mesure qu'ils présentent aux autres.

Expérimentation 1 :

E - *On va accrocher un kilo à une pédale (figure 3). On met la pédale à un endroit du cadre (en position horizontale) et on va chronométrer avec une montre combien de temps avec le kilo, elle met pour descendre et s'arrêter avec la dynamo branchée (circuit fermé) ; puis avec la dynamo*

débranchée (circuit ouvert).

Circuit fermé : 3 secondes et un peu plus alors que la pédale n'arrive pas à la position verticale.

Circuit ouvert : 2 secondes et la pédale atteint presque la position verticale.

des résultats
différents à partir
de mesures
différentes

E - *En circuit ouvert, elle a mis moins de temps pour faire un parcours plus long ; alors on prouve bien qu'en débranchant les ampoules, ça aide, ça aide puisque en appuyant avec un kilo, ça part plus vite et plus loin.*

Expérimentation 2

Ce groupe a choisi lui aussi une position de départ pour la pédale (figure 3) et a essayé de déterminer la plus petite charge qui permette l'entraînement de la pédale vers le bas dans les deux situations, circuit ouvert et circuit fermé. Ils ont constaté et montrent aux autres que dans le dernier cas la charge devait être plus forte.

Expérimentation 3

Dans ce groupe, ils ont accroché quatre masses de 500 grammes à la pédale (figure 3). Dans un premier temps ils se sont contentés de repérer la position terminale de la pédale après l'avoir lâchée d'une position déterminée au départ ; puis, sur l'injonction du maître leur faisant remarquer que ce repérage manquait de fiabilité, ils ont suivi et mesuré la rotation de la roue. Ils constatent que sa rotation passe de 1,5 tour en circuit ouvert à 1 tour avec le circuit fermé, ces mesures restèrent approximatives, les élèves ne ressentirent pas le besoin d'une plus grande précision : le résultat était probant.

Conclusion

Les trois méthodes adoptées conduisent à la même conclusion :

- le cycliste se fatiguera moins en débranchant les ampoules ;
- les ampoules ne brillent pas sans rien, "produire du courant exige un effort".

- Des expérimentations en changeant le nombre de lampes

La question avait été posée par un des élèves : "Que se passe-t-il si on change le nombre de lampes ?"

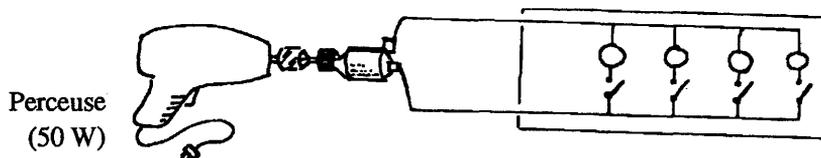


figure 4

les exigences
d'une mesure

Le maître a construit le petit montage de la figure 4, les quatre lampes identiques sont montées en parallèle. Tous les élèves suivent le même dispositif expérimental, mais a priori, fort des premiers résultats obtenus, ils se doutent que l'effort fourni par le cycliste sera plus fort avec plusieurs lampes et les résultats ne les surprendront pas.

Ils ont décidé de charger la pédale et de suivre le déplacement de la roue (figure 3). Ils réalisent que cela exige de prendre des **repères précis** et de donner des **valeurs exactes** de la rotation de la roue.

- Prendre un repère sur la roue, la valve par exemple, et l'amener, à chaque essai, devant un repère fixe du cadre.
- Placer la pédale chargée, à la même position de départ. Dans ce cas, ils avaient placé la pédale verticalement en position haute. Ils auraient pu la placer parallèle à un élément du cadre, cela aurait évité l'obligation de donner au départ une légère impulsion.
- Repérer la position de la valve en fin du déplacement de la pédale ; la mesure de la rotation de la roue est un obstacle facile à surmonter pour des élèves du cours moyen. Ils se rendirent compte qu'il était difficile de communiquer les résultats : *"Ça tourne un peu plus que l'autre fois !"* Ils adoptèrent l'intervalle entre deux rayons comme unité complémentaire.

Voici le tableau de résultats :

Conditions de l'expérience (les lampes sont en parallèle)	Rotation de la roue (en tours de roue et intervalles de rayon)
génératrice en contact : 0 lampe	1 t et 16 i
génératrice en contact : 1 lampe	1 t et 9 i
génératrice en contact : 2 lampes	1 t et 5,5 i
génératrice en contact : 3 lampes	1 t et 4 i
génératrice en contact : 4 lampes	1 t et 3 i

Autre dispositif en classe de troisième

Un groupe d'une classe de troisième a adopté une autre disposition expérimentale : il fixa avec du ruban adhésif deux masses de 500 grammes directement sur la jante :

- à chaque essai, le rayon 1 est ramené devant le repère appartenant au cadre de la bicyclette,
- la position finale de la roue est repérée d'un trait de couleur sur le pneumatique devant le repère du cadre,
- pour avoir la mesure de la rotation, il suffit de compter le nombre d'intervalles.

Conditions de l'expérience (les lampes sont en parallèle)	Rotation de la roue (en intervalles de rayon)
génératrice non en contact	$20 < < 21$
génératrice en contact : 0 lampe	$13 < < 14$
génératrice en contact : 1 lampe	$12 < < 13$
génératrice en contact : 2 lampes	$11 < < 12$
génératrice en contact : 3 lampes	$10 < < 11$
génératrice en contact : 4 lampes	$10 < < 11$
génératrice en contact, 4 lampes en série	$12 < < 13$

On peut remarquer

- Dans les 2 types d'expérimentation, l'éclat des ampoules diminue avec leur nombre.
- Les résultats n'ont pas été obtenus avec la même bicyclette.
- Pour des conditions identiques d'expérimentation, la dispersion des résultats est faible, ce qui ne manque pas de surprendre les élèves.

2.3. Analyse des résultats et traces

• Avec la classe du cours moyen

Avec de jeunes élèves, il n'est pas possible d'utiliser les expressions "énergie potentielle", "énergie cinétique", "travail des forces électriques" etc... En fait, à leur niveau, l'interprétation de ces résultats ne pose pas de problème : c'est toujours la même charge qui chute d'une même différence de hauteur. Elle produit donc ce qu'ils appellent, par analogie avec leur propre action sur les pédales, un même effort, c'est-à-dire en terme scientifique, un même travail (terme non utilisé mais qui aurait été plus approprié que celui d'"effort"). Plus on met de lampes électriques en parallèle, plus le système ralentit et l'énergie fournie initialement se retrouve d'autant moins sur l'avancement du système. "Une partie de l'effort fourni s'est transformée en électricité". Si aucune lampe n'est dans le circuit, il n'y aura aucune "dépense électrique" et donc l'effort à fournir sera plus faible. Nous avons décidé de ne pas utiliser le mot "énergie". A la réflexion nous pensons avoir eu tort : cette étude aurait pu nous permettre de l'introduire d'une manière plus précise en conclusion à la place des expressions "effort" et "dépense électrique".

La trace écrite fut traitée d'une manière classique et construite collectivement :

- la situation-problème servit de titre,
- l'ouverture du circuit fut présentée comme une solution éventuelle,

- y figurèrent les schémas des dispositifs expérimentaux avec les résultats,
- en conclusion furent notés les objectifs avancés dans le paragraphe 1.2.

- Avec les élèves de troisième (ancien programme)

Les deux dispositifs furent effectués par les divers groupes de travail. L'analyse fut faite pour le dispositif de la figure 2.

- **Génératrice non en contact**

Les masses remontent pratiquement à la même hauteur de l'autre côté de l'axe de rotation :

énergie potentielle → énergie cinétique → énergie potentielle

Les frottements sont faibles. La petite diminution de hauteur correspond au travail de ces forces de frottement.

- **Génératrice en contact, 0 lampe**

Une partie de l'énergie potentielle est utilisée pour :

- vaincre les forces de frottement au niveau de la molette,
- vaincre les forces de déformation du pneu au niveau de la molette,
- fournir l'énergie cinétique au rotor de la génératrice.

Compte tenu de ces nouvelles utilisations de l'énergie, il est normal que la roue ait une rotation moindre.

- **Génératrice avec 1 lampe**

Visiblement, le système est ralenti. En plus des conversions précédentes, une nouvelle partie de l'énergie potentielle initiale sera utilisée pour le travail des forces électriques : la roue tourne moins.

- **Génératrice avec 2, 3, 4 lampes en parallèle**

Les lampes étant en parallèle, l'énergie nécessaire augmente avec chacune d'elles. Les débutants en physique se contentent du constat. Ceux qui disposent du modèle mathématique, $W = U^2/R$, pourront justifier le résultat expérimental : la résistance équivalente diminuant au fur et à mesure que le nombre de lampes en parallèle augmente, l'énergie électrique nécessaire augmente, mais l'énergie potentielle de gravitation fournie au système au départ étant limitée, la part restant pour l'avancement du système mécanique diminue, la rotation de la roue sera de plus en plus faible.

- **Génératrice avec 4 lampes en série**

Cette configuration n'a pas été proposée aux élèves du primaire. Les autres constatent que l'arrêt de la roue se situe entre la position "0 lampe" et "1 lampe". La part de l'énergie initiale transformée en électricité est inférieure au cas du circuit avec une lampe : l'intensité diminuant du fait de l'augmentation de la résistance équivalente, l'énergie électrique produite, $W=U.I.t$, diminue et la part d'énergie restant à l'entraînement de la roue sera plus grande.

des résultats
prévisibles si
l'étude de
l'électricité est
introduite par
l'énergie

- Génératrice en court-circuit

Où devrait se situer la position d'arrêt ?

La trace écrite fut réalisée conformément à la consigne initiale : devaient figurer le problème posé, les diverses étapes de la recherche avec en particulier les dispositifs expérimentaux, les résultats des mesures et les conclusions. Chaque groupe a rempli son contrat alors que ce travail collectif réalisé en dehors de la classe, était demandé pour le dernier jour de l'année scolaire !

3. COMMENTAIRE SUR L'APPRENTISSAGE PAR SITUATION-PROBLÈME

Dans le déroulement classique d'un apprentissage, l'enseignant commence par écrire au tableau le titre du concept visé : "L'énergie est conservative". L'information n'est pas significative pour l'élève et a priori ne stimule ni son intelligence ni sa curiosité : c'est une donnée inquiétante car inconnue. Il sait, si sa conscience professionnelle d'élève est déjà solidement établie, cas du bon élève, qu'il aura l'obligation d'apprendre ce qui suit. Il s'installe dans une attitude passive d'attention respectueuse, prêt à noter tout ce qui sera dit par le maître et à exécuter toutes les actions qui lui seront proposées. Il est le spectateur d'une pièce de théâtre, parfois figurant, pour l'exécution d'une tâche dont il ne comprend pas le sens. Il est impliqué seulement par l'obligation de devoir la raconter, un jour.

Avec la résolution d'une situation-problème, son rôle est autre. L'élève se doit d'effectuer une tâche dont il comprend la problématique. S'il faut, il a déjà des idées, des représentations qu'il pourra mettre à l'épreuve. Il est l'acteur de son apprentissage. Si le maître voit sa fonction changée, son rôle reste primordial. En particulier pour la recherche et le choix de la situation de départ : pose-t-elle vraiment problème ? Y a-t-il un obstacle ? Cet obstacle est-il accessible ? Les élèves auront-ils les éléments nécessaires pour le franchir ? Quelles seront les consignes ? Quelle organisation ?

Il nous a semblé que la situation simple qui est proposée ici posait problème et présentait réellement un obstacle. Les apprenants sont obligés de modifier la représentation qu'ils se faisaient initialement de la situation ; mais en progressant dans la résolution, en franchissant finalement l'obstacle qui barrait leur chemin, ils construisent le concept d'une énergie qui ne naît pas du néant mais qui se transforme. Cette situation pourra leur servir de référence, de modèle, d'ancrage.

Ne soyons pas naïfs, avec cette seule situation, si leur conviction initiale est ébranlée, ces notions de non création d'énergie et de transformation d'énergie d'un type dans un autre ne sont pas encore acquises. Elles sont très difficiles à

dans un
apprentissage
par situation-
problème,
l'élève travaille,
le maître aussi

des difficultés
demeurent

concevoir et à maîtriser : confier la réponse faite par les adultes placés devant la même situation, "il n'y a aucune modification de l'effort à fournir; on perd notre temps...". Il est donc important de mettre les élèves dans des situations nouvelles qui les impliqueront et qu'ils devront interpréter. En principe, ces situations ne devraient plus présenter d'obstacles fondamentaux puisqu'ils disposent dans leur "bagage" des connaissances et des outils nécessaires. Ces situations de prolongement seront en fait des renforcements de l'acquis.

4. PROLONGEMENTS

Voici de multiples situations qui ont toutes été proposées aux élèves du cours moyen et de la classe de troisième. Initialement les questions étaient plus ouvertes et n'étaient pas présentées sous forme de questions à choix multiples (Q.C.M.). Cela alourdissait leur exploitation. Par exemple, la question 4.3. était la suivante : *"Ton père veut transporter deux pneus cloutés pour le verglas. Où lui conseillerais-tu de les placer, sur la galerie, dans le coffre ?"* Les enfants intégraient d'autres paramètres que ceux que nous souhaitions du genre : sur le toit, les clous vont rouiller, les roues risquent de tomber et de provoquer un accident ; dans le coffre, c'est plus prudent, il ferme à clé et personne ne pourra les voler. Ou bien dans le coffre, les roues vont se déplacer d'un côté et de l'autre, les quatre roues ne rentreront pas. Sur la galerie, c'est plus simple pour les enlever; deux enfants firent remarquer que sur le toit ce serait moins aérodynamique, que la résistance de l'air augmenterait et cela entraînerait une plus grande consommation... D'où cette nouvelle présentation.

d'autres
situations pour un
meilleur ancrage
des
connaissances

4.1. Allumer une ampoule

J'appuie sur l'interrupteur d'une lampe branchée sur le réseau : que se passe-t-il dans la centrale hydraulique qui l'alimente ?

• L'alternateur produit autant d'électricité	VRAI-FAUX
• L'alternateur produit plus d'électricité	VRAI-FAUX
• L'alternateur produit moins d'électricité	VRAI-FAUX
• On envoie autant d'eau sur la turbine	VRAI-FAUX
• On envoie moins d'eau sur la turbine	VRAI-FAUX
• On envoie plus d'eau sur la turbine	VRAI-FAUX

Commentaires

Il n'est pas évident de penser que le débit reçu par la turbine dépend de la demande de courant. Seule une bonne intégration des résultats expérimentaux précédents permet de comprendre cet ajustement. Si la demande augmente sans cesse il advient que le "robinet" d'alimentation de la turbine est grand ouvert : la centrale est au maximum de ses possibilités.

Les enfants qui n'avaient encore aucune information sur le principe d'une centrale hydraulique n'ont pas répondu. Pour les autres, collégiens et adultes, les réponses furent bonnes mais certains ont précisé que leur réponse était guidée par le travail qui précédait.

4.2. Incidents sur la ligne à la sortie d'une centrale

Un arbre tombe sur la ligne électrique à la sortie d'une centrale en pleine production. La ligne est rompue, que se passe-t-il dans la centrale ?

La turbine qui entraîne l'alternateur s'emballé	VRAI-FAUX
et se met à tourner à toute vitesse	VRAI-FAUX
La turbine continue à tourner à la même vitesse	VRAI-FAUX
La turbine ralentit son allure et s'arrête	VRAI-FAUX

Commentaires

Il n'y a plus production d'énergie électrique. Si aucune précaution n'était prise, toute l'énergie mécanique fournie à la turbine se retrouverait en énergie cinétique de l'ensemble turbine-rotor qui pourrait même éclater par centrifugation. Un dispositif automatique de sécurité ferme la vanne d'alimentation de la turbine.

élargissement à des situations extérieures à la classe appartenant à l'environnement des élèves

Cet exercice n'a pas été posé à l'école élémentaire. Au collège, il fut évoqué sous forme de discussion collective. Il a permis d'aborder de nombreux problèmes qui se posent à la société EDF : la nécessité d'ajuster sa production à la demande, les difficultés liées à l'irrégularité de la demande, l'interconnexion et ses limites en cas d'incident (cf l'annexe 2). Pour préparer son plan de production, EDF fait des prévisions en intégrant de nombreux paramètres : la consommation de l'année précédente à la même époque, les prévisions climatiques fournies par la météorologie nationale, le rang du jour dans la semaine (début ou fin de semaine ? jour de repos ?), le programme de la télévision (un match international télévisé crée une pointe de consommation), etc... Ces implications de connaissances théoriques nouvellement acquises dans la vie de tous les jours stimulent l'intérêt des élèves.

4.3. Transport de pneus cloutés

On veut transporter deux pneus cloutés pour pouvoir les utiliser en cas de verglas. On peut les placer sur une galerie fixée sur le toit de la voiture ou dans le coffre. On choisit de les placer sur le toit, à vitesse égale :

La voiture consommera moins d'essence	VRAI-FAUX
La voiture consommera plus d'essence	VRAI-FAUX
La voiture consommera autant d'essence	VRAI-FAUX

Commentaires

Après les remarques qui ont été données précédemment, les enfants ont donné d'autres observations sur la résistance de l'air à l'avancement : mettre la main à l'extérieur d'une voiture, courir avec un parapluie ouvert tenu à l'arrière.

4.4. Trajet entre deux villes

Le même trajet entre deux villes et dans le même sens est effectué par un même véhicule dans les mêmes conditions, une fois de jour et une fois de nuit.

La voiture consomme moins d'essence le jour que la nuit	VRAI-FAUX
La voiture consomme plus d'essence le jour que la nuit	VRAI-FAUX
La voiture consomme autant d'essence le jour que la nuit	VRAI-FAUX

Commentaires

Au CM, quelques élèves ont oublié que la nuit, les phares sont allumés et affirment donc que la consommation d'essence n'est pas modifiée. Si la moitié des élèves donne une réponse, un tiers seulement justifie ses réponses.

4.5. Air chaud dans l'habitacle d'une voiture

Pour se réchauffer, un conducteur laisse entrer l'air chaud provenant du moteur en ouvrant un petit volet (sans mettre en route le ventilateur).

La voiture va consommer moins d'essence	VRAI-FAUX
La voiture va consommer plus d'essence	VRAI-FAUX
La voiture va consommer autant d'essence	VRAI-FAUX

Commentaires

Des élèves de l'école élémentaire compliquent l'énoncé en précisant que l'aérodynamique de la voiture est modifiée avec la circulation d'air. D'autres ignorent d'où vient la chaleur...

4.6. Soulever une voiture

Un pneu est crevé. Pour changer la roue, le conducteur veut soulever la voiture. Ce n'est pas facile ! Mais avec un cric, il va y parvenir.

C'est le cric qui fournit l'énergie nécessaire pour soulever la voiture	VRAI-FAUX
Ce sont les muscles de l'automobiliste qui fournissent l'énergie nécessaire pour soulever la voiture	VRAI-FAUX
Ce sont les muscles de l'automobiliste et le cric qui fournissent l'énergie nécessaire pour soulever la voiture..	VRAI-FAUX

Commentaires

Pour les élèves du primaire, cette question pose problème: "il y a notre énergie et celle des engrenages on en obtient beaucoup, et puis aussi, le cric il relâche pas et nous, on relâcherait !" ; une dizaine d'élèves précisent cependant que l'énergie vient uniquement de l'automobiliste : "les engrenages, ça sert qu'avec dix tours de manivelle on fait monter simplement de 1cm". Pour cette question, il aurait été préférable de présenter un cric en action. Qu'il y ait des difficultés, c'est évident car se pose le problème de travail et de puissance. Les mêmes difficultés sont apparues avec les élèves de troisième et des adultes.

4.7. Un thermomètre et un chiffon de laine

Tu enroules un gros chiffon de laine qui était posé sur une table, autour d'un thermomètre qui donnait la température de la pièce, 19° C.

La température donnée par le thermomètre augmente.	VRAI-FAUX
La température donnée par le thermomètre diminue	VRAI-FAUX
La température donnée par le thermomètre ne change pas	VRAI-FAUX

Commentaires

La situation est totalement différente et les deux tiers des enfants du cours moyen affirment que le thermomètre va indiquer une augmentation de température...

4.8. Le moulin de Fludd

Un physicien anglais, Robert Fludd, avait proposé en 1618 un moulin conçu pour fonctionner avec la même réserve d'eau. L'eau est remontée par la machine elle-même pour assurer un niveau constant.

- Peux-tu décrire le principe de fonctionnement envisagé par Fludd ?
- Une telle machine est-elle concevable ?

une proposition
ancienne de
moteur perpétuel

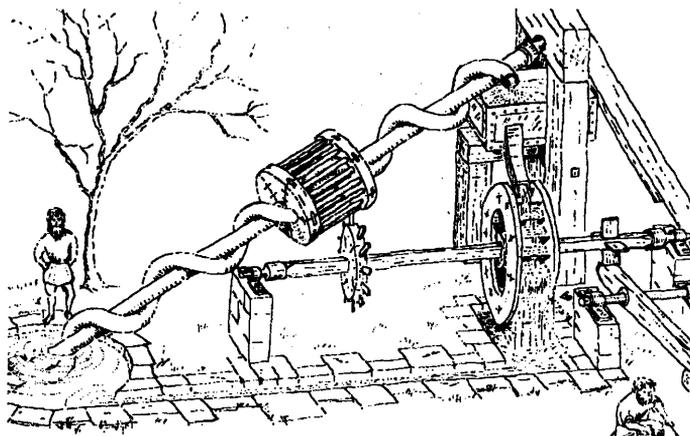


Illustration de l'auteur*

Informations sur le "martinet"

La roue à aubes entraîne, par l'intermédiaire de l'arbre à cames, un martinet qui est un marteau à bascule utilisé autrefois pour battre le métal. Sur un véritable moulin à aubes, le fer du marteau qui pouvait peser cent cinquante kilogrammes retombait jusqu'à cent vingt fois par minute. Le martineur versait le métal en fusion dans un moule de terre réfractaire.

La pastille (le métal démoulé) était placée sous le marteau, sur l'enclume. Peu à peu, elle s'incurvait et prenait la forme d'une coupe. Régulièrement, elle était portée au feu pour retrouver sa malléabilité. Quand la coupe était suffisamment mince, elle était ensuite traitée par le chaudronnier qui lui donnait sa forme définitive.**

Commentaires

Nous aurions dû présenter une vis d'Archimède que les enfants ne connaissaient pas. Au cours moyen, ils s'enthousiasmaient pour le dispositif: "elle est économique", "elle va pouvoir faire gagner de l'énergie", "elle empêche d'utiliser beaucoup d'eau", "cette machine est très utile, elle fait des économies", "je trouve ce moulin ingénieux et économique car il produit lui-même son énergie". Deux élèves seulement sont sceptiques "je pense que ce mécanisme est drôle mais si nous ne faisons pas tourner la roue cela ne fonctionnera pas", "je pense que quelque chose ne peut pas fonctionner". Avec des plus grands, élèves de troisième ou adultes, nous avons retrouvé un enthousiasme équivalent. Nous avons dû reprendre les résultats de l'étude sur la bicyclette pour essayer de conclure.

le mouvement
perpétuel
fascine toujours :
non intégration
de la
conservation de
l'énergie

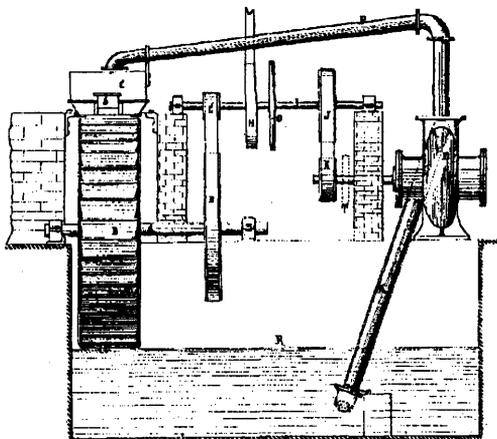
(*) À partir de la reproduction d'une gravure allemande du XVII^e siècle publiée dans «Les infatigables du mouvement perpétuel», par John TURNEY, in *Science et Avenir* n° 438, août 1983.

(**) Cf "Musée du Rouergue", numéro spécial de *Vivre en Rouergue*, 1979, par J. DELMAS.

Un successeur au moulin de Fludd (non proposé)

Le moteur perpétuel fascine : fin XIX^{ème} siècle, soit deux siècles et demi après celui de Fludd, fut déposé, en France un projet d'une filature dont la source d'énergie était due à la chute d'eau sur les aubes d'un moulin (cf la coupe ci-jointe*).

Moteur hydraulique à retour d'eau continu.
Système VINCENT (Victor-Auguste)



Le plan fut présenté aux élèves. Il fut décrit collectivement. Les élèves constatèrent que leurs difficultés étaient celles de leurs prédécesseurs : la roue à aubes B entraîne par l'intermédiaire d'axes, de poulies et de courroies, à la fois la pompe E et un dispositif mécanique quelconque placé au delà de la courroie H. Le dispositif était absolument semblable à celui de Fludd !

4.9. Le moulin d'Escher **

Commente et critique le moulin d'Escher, peintre-graveur hollandais du XX^{ème} siècle.

Commentaire

Les sept-huitièmes de la classe du CM affirment avec plus ou moins de conviction que ce dispositif est irréalisable : "c'est l'image qui donne l'impression que l'eau monte", "je ne comprends pas la perspective", "le moulin ne doit pas fonctionner : on dirait que le chemin est plat alors qu'il devrait monter, et si le chemin montait l'eau ne pourrait pas suivre", "ça ne marchera jamais car l'eau part de la roue qui est en bas et l'eau qui tombe est 5 mètres plus haut ; donc l'eau ne peut pas monter".

(*) Document extrait d'un brevet d'invention déposé en 1886. Archive familiale Hans-Drouin.

(**) Cf. J.-L. LOCHER (dir.), *Le Monde de M. C. Escher*, Paris, Ed. du Chêne, 1972, p. 258

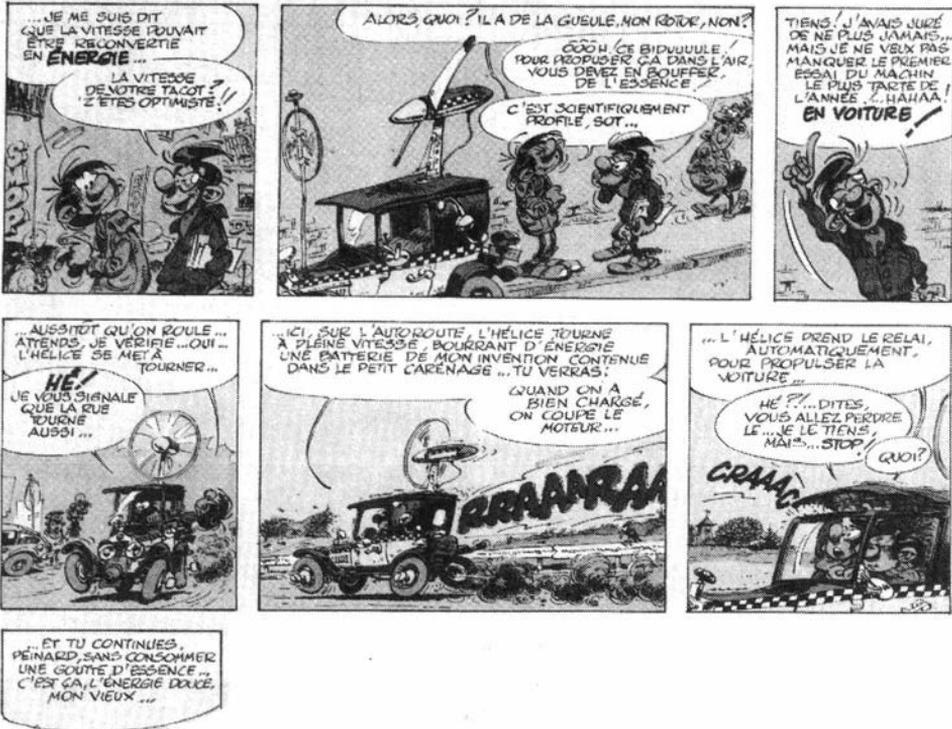
4.10. La voiture de Gaston Lagaffe*

Commente et donne ton point de vue sur la nouvelle invention de Gaston. (Voir extrait de la B.D. ci dessous).

Commentaire

La voiture de Lagaffe est l'objet d'un enthousiasme certain : "c'est économique", "ça permet d'aller plus loin". A la discussion, la voiture de Gaston est rapprochée du moulin de Fludd : accepter le résultat de l'un, c'est accepter l'autre. Mais nombreux, enfants ou adultes, voudraient bien que des essais soient faits pour plus de certitude !

dans chacun d'entre nous sommeille l'idée du moteur perpétuel



Extraits de l'album Gaston LAGAFFE n° 14 (La saga des gaffes)
© 1992 Franquin S.A./DUPUIS

5. DE NOUVELLES TECHNIQUES POUR PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ SUR UNE BICYCLETTE

Nous proposons ce qui suit comme suggestion et prolongement à cette étude sur l'énergie. Cela permettrait de conforter l'acquis précédent et d'introduire d'une façon plus systématique les transformations successives d'énergie, le principe de dégradation de l'énergie (augmentation de l'entropie).

des propositions à essayer

On pourrait demander aux élèves, sous forme de question ouverte, d'imaginer d'autres chaînes de transformations énergétiques que celle utilisée communément sur une bicyclette pour éclairer les lampes. S'ils ne sont pas "inspirés", on pourrait leur demander d'analyser et de commenter les divers procédés proposés sur les dessins joints en annexe.

La discussion devrait conduire à de **multiples constats**.

- Ces dispositifs ne sont pas les seuls, il est possible d'en envisager d'autres : avec une machine électrostatique par exemple.
- Différents critères de classement peuvent être adoptés, dispositifs statiques ou dynamiques, dispositifs où l'homme est à l'origine de l'énergie initiale, ceux qui stockent l'énergie, ceux qui sont autonomes, ceux qui sont utilisés sur le plan industriel..
- Dans chaque situation, il y a quelque chose qui a dû être fourni au départ du dispositif et qui s'est transformé en électricité. Ce quelque chose qui se transforme et qui nous coûte, soit en effort physique, soit en argent, est l'énergie.
- Dans un cas, le coût est nul : c'est celui de la pile solaire. Mais "quelqu'un" paye : le Soleil. La remontée de la chaîne énergétique des autres situations permettrait d'aboutir au même "payeur"! Parmi les situations proposées, seule, la microcentrale nucléaire, ferait exception.
- L'énergie initiale ne produit-elle que l'énergie électrique ? Chaque fois qu'il y aura du mouvement, des forces de frottements produiront de la chaleur à l'air ambiant au détriment de la production d'électricité. Ce sont des pertes.
- Une partie de l'énergie électrique est convertie en chaleur dans chacun des éléments du circuit, c'est l'effet Joule. Cette chaleur se dissipe dans l'air ambiant ; ainsi, dans la lampe, une partie de l'énergie est perdue, l'autre, l'énergie utile, sera convertie en lumière. Mais cette lumière, en interaction avec la matière, sera finalement convertie en chaleur.
- Globalement, il semble que toute l'énergie initiale nécessaire à la production de lumière soit transférée, à un moment ou à un autre, à la Terre sous forme d'un échauffement. L'étude d'une nouvelle chaîne énergétique, celle d'un déplacement d'une voiture à essence par exemple, permettra de généraliser ce résultat.

6. CONCLUSION

Une bonne appréhension du principe de conservation de l'énergie passe préférentiellement par une suite de confrontations avec des situations vécues. Ces situations doivent permettre aux élèves de développer leur esprit critique, leur curiosité, leur ingéniosité. Les élèves vont suivre un enseignement de découvertes avec un apprentissage de connaissances par remise en cause de leur propre représentation du phénomène étudié.

Avec de très jeunes élèves (CP), il est intéressant de les confronter avec des dispositifs transformant l'énergie d'un type à un autre. Par exemple, à cet âge, ils sont convaincus de réaliser une voiture électrique avec une simple voiture et une pile en mettant en contact les languettes de la pile avec les roues (*).

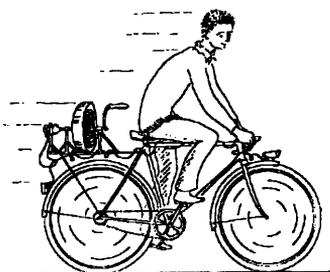
Nous venons de voir que certaines notions plus complexes sont envisageables et peuvent se prêter à une approche expérimentale : la manipulation est simple mais significative, le matériel, connu des élèves, est facile à se procurer. En outre, la situation se prête très bien à une pratique de résolution de problème. A partir de cette exploitation, chacun prend conscience du prix de l'énergie. Si par extraordinaire, les résultats expérimentaux avaient montré qu'il n'existait aucune variation de l'effort à fournir, la grande quête de l'énergie serait terminée : une petite chute d'eau pourrait produire l'électricité à tout un village et pourquoi pas à toute une ville ! L'étonnement et la prise de conscience de cette impossibilité sont bénéfiques ; ils conduisent à une meilleure perception d'une des caractéristiques de l'énergie : l'énergie ne se crée pas, elle se transforme.

Il n'en reste pas moins que beaucoup d'humilité est indispensable aux enseignants : les commentaires des enfants sur les situations qui leur furent proposées le montrent : ces notions ne sont pas encore solidement acquises. L'objet d'étude repose sur un concept difficile à maîtriser et à construire : l'exploitation d'une seule situation ne saurait suffire. Mais les nouvelles situations doivent être étudiées en faisant appel, plus systématiquement que nous ne l'avons fait, aux résultats de la première situation : *"sans modifier le moteur et donc son rendement, avec une même énergie au départ, Gaston Lagaffe aurait doublé son trajet ; c'est faux car nous avons montré que pour avoir plus il faut donner plus !"*

Jean-Loup CANAL
IUFM de Toulouse
Centre départemental de Rodez

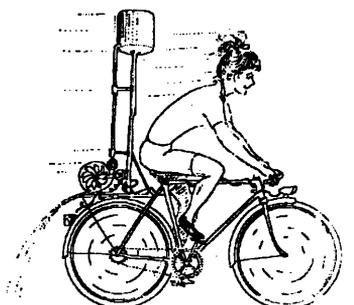
(*) *Jouets, mobiles, mouvement, énergie*, J-L CANAL, rapport interne, mars 1978.

Annexe : exemples de situations*...



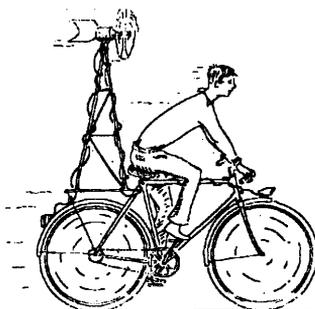
“Des lampes qui ne manquent pas de ressort !”

Dessin A



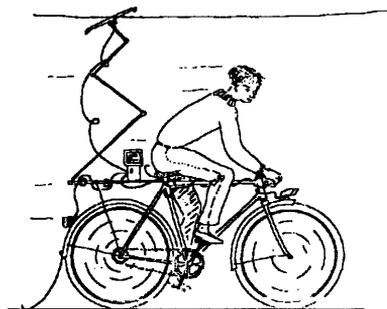
“Vive l'eau !
vive l'eau, qui...”

Dessin B



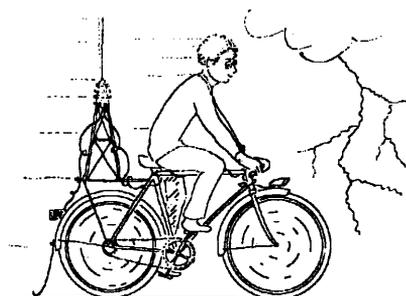
“C'est l'air qui travaille pour moi !”

Dessin C



“J'ai quelques contraintes...”
Réponse d'EDF : “Oui, peut-être, mais au
tarif-nuit, c'est moins cher”

Dessin D



“Première tentative de récupération de
l'énergie céleste...”
...et sûrement la dernière !

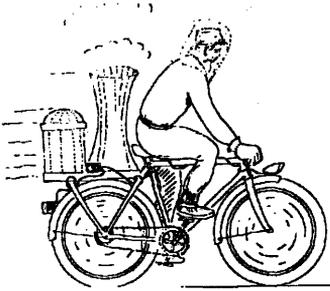
Dessin E



“Ma soupe ne manque pas de panache !”
... ou comment faire des économies
d'énergie...”

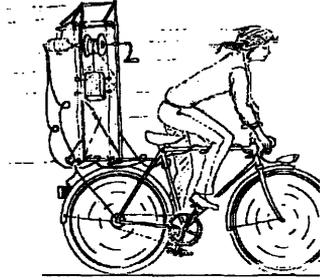
Dessin F

(*) Dessins de l'auteur.



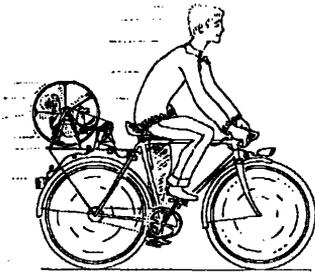
“Bien sûr, il y a quelques précautions
à prendre...”
mais la technologie suit-elle ?

Dessin G



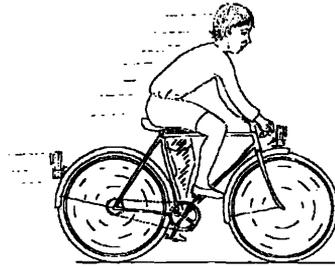
Une énergie de poids !

Dessin H



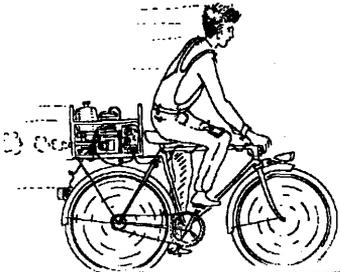
“Je roule pour lui...”
Une nouvelle énergie primaire : la noisette

Dessin I



“Pour moi, la lumière est reposante”
...et c'est gratuit ?

Dessin J



“ Il faudra que j'utilise mon groupe
pour autre chose...”

Dessin K



“C'est de tout repos”

Dessin L

OUVRAGES POUR LES ENSEIGNANTS

Eclairage sur l'énergie, Aster n° 2, INRP, Paris, 1986.

Sciences physiques, 3ème, collection Libre Parcours, livre élève et livre du professeur, Hachette, Paris, 1979.

Collection Tavernier, Bordas, Paris :

- *Sciences et technologie, livre du maître CM*, p. 98.
- *Sciences et technologie CM, livre de l'élève*.
- *Matrices CM physique et technologie*.
- *Le feu, la lumière, le temps qui passe, guide du maître*.
- *Piles, ampoules, boussoles, guide du maître*.
- *Moteurs de jouets, mouvements, énergie, guide du maître*.

Série HPP : *Le triomphe de la mécanique T3*, et *La lumière et l'électromagnétisme T4*, Québec, diffusion Vuibert, Paris, 1972.

Histoire des machines, bibliothèque "Pour la science", Belin, Paris, 1985.

Moteurs, recherche de la puissance, E.P.A., Paris, 1985.

La technologie, des origines à l'an 2000, Solar, Paris, 1977.

La conquête de l'énergie, VASSILIEV, Editions de Moscou.

Chaleur et désordre, ATKINS, "Pour la Science", Belin, Paris, 1988.

La nature de la physique, R. P. FEYNMANN, "Point Science", Seuil, Paris, 1978.

Carnot et la machine à vapeur, J.-P. MAURY, Puf, Paris, 1986.

OUVRAGES POUR LES ÉLÈVES

L'histoire des grandes inventions, B. GILLE, Nathan, Paris, 1968.

Une voiture, comment ça marche ? BRADLEY, MARSHALL, Nathan, Paris, 1975.

Le train, comment ça marche ? BRADLEY, MARSHALL, Nathan, Paris, 1975.

Un avion, comment ça marche ? BRADLEY, MARSHALL, Nathan, Paris, 1975.

Vive le nucléaire ! Petite histoire de l'énergie, KONK, Albin-Michel, Paris, 1978.

Petites histoires des inventions qui ont changé le monde, BESSON, Gallimard, Paris, 1975.

Petites histoires des inventions de la vie de tous les jours, BESSON, Gallimard, Paris, 1975.

Les aventures de l'électricité, BESSON, SODEL, Paris, 1975.

L'électricité en questions, A. GRÉE, Casterman, Paris, 1973.

Moteurs à faire soi-même, KINKAJOU, Gallimard, Paris, 1978.

Jouets à construire pour comprendre les énergies, Spécial Jeunes Années, Paris, 1983.

Solaire, Spécial Jeunes Années, Paris, 1985.