

Vous avez dit "énergie" ?

Une expérience pratique proposée par
Jean-Claude Noverraz

Les séquences décrites ci-dessous ont été réalisées avec une classe comprenant 18 élèves âgés d'environ 14 ans. Ce "cours" sur l'énergie a duré 6 semaines à raison de 2 périodes (consécutives) hebdomadaires. J'ai vécu des séquences très semblables avec des effectifs plus élevés (jusqu'à 26 élèves) mais avec un dédoublement de la classe pour une partie des leçons (une période sur deux considérée comme laboratoire).

Compétences et connaissances attendues de mes élèves:

Extraits du plan d'études - Compétence globale visée : utiliser une approche de type scientifique pour choisir des comportements qui préservent l'environnement et la santé.

Attitudes à développer : confronter ses idées à celles de ses camarades, argumenter ; conduire une expérimentation en vue de vérifier des hypothèses ; rédiger un compte-rendu ; identifier les comportements qui favorisent un usage raisonnable de l'énergie.

Contenus : distinguer les formes d'énergies fournies, consommées et perdues, pour divers transformateurs d'usage courant ; utiliser les concepts de chaîne énergétique, d'énergie calorifique, électrique, mécanique et chimique ; décrire le fonctionnement global du corps humain du point de vue énergétique.

Plus concrètement, sous forme de questions, voici quelques situations dans lesquelles j'aimerais voir mes élèves exercer leurs nouvelles compétences:

- Le radiateur miracle vanté par la pub, et qui chauffe plus avec moins d'énergie est-il possible ?
- Faut-il ou non remplacer du beurre par de la margarine ?
- L'achat d'une ampoule économique coûteuse plutôt qu'une ampoule ordinaire bon marché se justifie-t-il ?
- Etc.

Première séquence: Qu'est-ce que l'énergie pour les élèves ?

Je demande aux élèves de s'organiser autour de quatre flanellographes (panneaux d'affichage revêtus de flanelle) et je distribue à chaque groupe un jeu d'une quarantaine de vignettes adhésives (qui se collent sur les flanellographes). Ces vignettes comportent chacune un dessin. Il y a des animaux, des plantes, des être humains, le Soleil, une centrale électrique, un puits de pétrole, une automobile, une bicyclette, une dynamo, une lampe, une centrale électrique, une bouteille d'alcool, une bougie, des allumettes, une pile électrique, des aliments, des appareils ménagers, etc.

Je donne aux élèves la consigne suivante : vous devez disposer vos vignettes sur le flanellographe de manière à pouvoir raconter quelque chose à propos de l'énergie ; vous pouvez mettre ces vignettes en groupes, en lignes ou comme vous voulez.

Environnement didactique

Observations

Donner du sens au programme, proposer des repères autour d'un concept organisateur, favoriser une attitude citoyenne

Le projet est d'atteindre une conceptualisation pas trop formalisée mais opératoire dans des contextes relativement familiers aux élèves. Il ne s'agit donc pas de définir l'énergie à la manière de ce qui se ferait dans un cours universitaire, à partir du travail de la force par exemple. Il s'agit aussi de repérer, dans les conceptions des élèves, celles qui participent déjà du concept que l'on veut installer et celles qui feront obstacle

**Faire exprimer les conceptions
Fournir des aides à penser.
Diversifier les outils didactiques**

Je choisis parfois d'accéder aux conceptions de mes élèves par des tests papier-crayon, par une discussion, par une activité d'expression en groupe, par des questions posées en situation, etc. Ici, je choisis de les faire s'exprimer au moyen de vignettes à disposer sur des flanellographes. Ce moyen d'expression se révèle une excellente aide à penser et un support à la communication orale.

Communiquer, mettre en commun

Les élèves disposent presque tous leurs vignettes de manière à faire apparaître des groupes qu'ils explicitent ainsi: "il y a tout ce qui est électrique", "tout ce qui est de la nature", "tout ce qui chauffe", "tout ce qui se

Ensuite, je demande à chaque groupe de présenter son histoire à la classe.

Les élèves sont surpris par la diversité des choses exprimées, ils discutent et contestent parfois les choix de leurs camarades.

tu nous as dit que tu mets ensemble tout ce qui donne de l'énergie naturelle; pourquoi t'as pas mis le Soleil, pourquoi t'as pas mis le puits de pétrole, le pétrole c'est fait par la nature ?

Deuxième séquence: Atelier d'immersion

L'atelier d'immersion se passe sur trois périodes (deux périodes consécutives et une période la semaine suivante). J'ai préparé 15 postes. Les élèves travaillent par deux. Ils vont de poste en poste sans ordre particulier. Dans chaque poste, ils sont confrontés à une tâche, voire un défi, et à une question. Ils y répondent par écrit sur de petites fiches que je récolte à la fin de l'activité.

Je précise que ces fiches ne font pas partie d'une évaluation notée. L'activité demandée ne nécessite pas de connaissances particulières des élèves mais les mets en projet.

Description des postes de l'atelier

- 1) Mets le compteur des kcal à zéro et pédale jusqu'à ce que tu aies dépensé 8 kcal c'est-à-dire l'énergie correspondant à 1/2 morceau de sucre. Combien de temps as-tu mis ?



**Argumenter
Communiquer
Se confronter**

mange". Une équipe d'élèves a fait apparaître des groupements plus subtils: "tout ce qui donne de l'énergie", "tout ce qui fonctionne grâce à l'électricité". Dans une autre équipe, on décrit des chaînes causales: "les allumettes allument la bougie qui enflamme le charbon qui chauffe l'homme".

**Identifier les obstacles
Se confronter
Argumenter**

Je ne vois pas apparaître des chaînes énergétiques ni clairement l'idée d'énergie stockée ni celle de transformation d'énergie. Cette activité a suscité beaucoup de questions auxquelles je ne donne pas de réponse. Au vu de ces obstacles, il est inutile d'aborder la notion d'énergie de manière formelle ou abstraite. Il est nécessaire que je conduise mes élèves vers un travail de conceptualisation progressif. Je choisis donc de leur faire vivre ce que j'appelle un atelier d'immersion.

**Interpeller,
questionner, motiver.
Observer et mettre en
relation.**

L'atelier d'immersion amène beaucoup de situations proches du quotidien des élèves. La concernation est obtenue par des mises en situations, des défis, des questions qui interpellent l'élève.

**Créer un climat de
confiance**

Au travers d'un atelier d'immersion, l'élève:

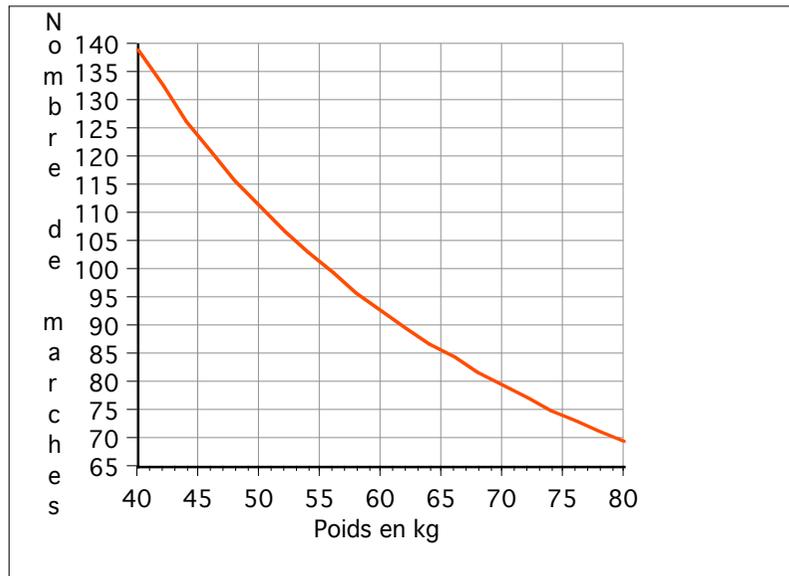
- acquiert certaines compétences,
- mobilise des connaissances antérieures,
- exprime ses conceptions,
- se familiarise avec des phénomènes observables,
- entre dans une phase de conceptualisation globale.

**Confronter
élève-réalité**

Comportement des élèves dans l'atelier d'immersion

Le choix de l'unité kcal est imposé par le constructeur de l'ergomètre mais ne surprend pas les élèves qui savent déjà que l'on utilise des calories ou des joules lorsqu'on parle d'énergie. Le temps mis par les élèves pour dépenser les 8 kcal va de 26 secondes à 5 minutes ! Les élèves sont bien conscients que l'effort consenti leur coûte quelque chose qu'ils devront compenser en mangeant. Ils se rendent compte que ceux qui ont mis le moins de temps on dû pédaler plus "fort".

- 2) Dépense une énergie égale à celle qui est contenue dans 1/2 morceau de sucre en montant des escaliers. Tu peux choisir de te charger ou non du sac à dos. Regarde sur le graphique le nombre de marches que tu dois monter. Ne traîne pas en route et... reviens.



As-tu pris le sac ? Combien de marches as-tu gravi ? Combien pesais-tu avec le sac ?

- 3) Renouvelle l'eau du récipient en aluminium (tube à pilules) et ferme-le avec le bouchon perforé dans lequel est enfilé un thermomètre. En trois minutes (sans tricher!), tu dois chauffer le plus possible l'eau sans utiliser de l'énergie prise ailleurs que dans ton propre corps. Quelle température as-tu obtenue ?

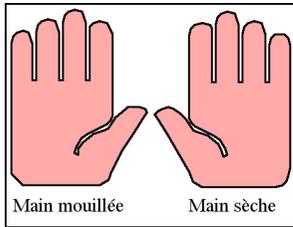


Diversifier les supports de pensée

Tous les élèves qui font l'expérience se chargent du sac à dos. Pas parce que cela leur permet de monter moins de marches d'escaliers mais parce que c'est plus drôle ! Cependant, le fait que plus on est lourd, moins il faut monter pour dépenser l'énergie correspondant au 1/2 morceau de sucre leur semble naturel car "*plus le sac est lourd, plus c'est dur à monter et donc plus on dépense d'énergie*". Cette activité me permet également de voir que l'utilisation du schéma et la lecture de la courbe ne pose pas de problème majeur.

**Imaginer,
Se confronter
Mettre en commun**

Certains élèves pensent a priori qu'ils ne pourront en aucun cas dépasser la température de 36 à 37 degrés (celle de leur corps). Ils placent le tube contre leur peau, ils le serrent dans les mains. D'autres, plus imaginatifs, frottent le tube sur leurs habits. Le groupe le plus "*performant*" travaille en alternance: pendant qu'un élève tient le tube dans ses mains, l'autre frotte vigoureusement ses mains l'une sur l'autre; lorsqu'il les sent bien chaudes, il se saisit du tube et c'est son coéquipier qui chauffe ses mains; dans le temps imparti, ils ont réussi à chauffer l'eau du tube à 40 °C !



- 7) Mouille l'une de tes mains en la trempant dans l'eau. Place ta main sèche et ta main mouillée côte à côte dans le courant d'air du sèche-cheveux.
- Exprime ce que tu ressens en complétant le dessin...
 - Comment t'expliques-tu ce qui se passe ?



- 8) Allume une des lampes et regarde le disque en aluminium dans le compteur. Prévois ce qui changera quand tu allumeras l'autre lampe. Vérifie ! Quand tu as fini, éteins les lampes !

Comment fais-tu pour faire tourner le disque du compteur le plus vite possible? Et pour l'arrêter ?

- 9) Fais fondre un glaçon dans tes mains. Concentre-toi sur les effets que tu ressens. Qu'est-ce que ça te fait ? Est-ce toi ou le glaçon qui perd de l'énergie ?

Interpeller, déstabiliser, rechercher une explication, formuler des hypothèses

Les élèves expriment de diverses manières la sensation de froid intense ressentie par la main mouillée. On voit apparaître des glaçons, des cristaux ou la couleur bleue. Ils sont parfois très surpris de constater qu'ils ont encore une sensation de froid lorsque l'air sortant du sèche-cheveux est chaud.

Quant à l'explication, beaucoup d'élèves se contentent de dire quelque chose du genre "*tout ce qui est mouillé est froid*". D'autres voient dans le mouvement de l'air la cause du refroidissement: "*le vent est froid*", ou "*l'eau se refroidit au contact de l'air*". Mais je trouve des conceptions plus élaborées:

- *l'air accélère l'évaporation*
- *l'évaporation refroidit la main*
- *l'évaporation prend de l'énergie.*

Se familiariser avec une instrumentation Diversifier les outils et les approches didactiques

Ici, il est difficile de dire si les élèves ont anticipé ce qui allait se passer. Par contre, après avoir expérimenté, ils trouvent évident que le compteur tourne plus vite avec deux lampes qu'avec une seule. Pour quelques-uns, le fait que le disque ne tourne pas alors que le compteur est déjà branché sur la prise du réseau provoque un déclic; le disque ne tourne que lorsqu'un appareil qui lui est raccordé fonctionne.

Conceptualiser

Les élèves décrivent la sensation de froid intense qu'ils perçoivent ("*ça me fait mal dans le bras*"; "*ça me fait froid dans tout le corps*". Quant au sens de transfert de l'énergie, pour une petite minorité, si le glaçon provoque une sensation de brûlure, c'est qu'il donne de l'énergie (d'ailleurs "*il a fallu de l'énergie pour le fabriquer*"). Mais pour la majorité, c'est la main ou le corps entier qui donne de l'énergie au glaçon pour le faire fondre.

- 10) Entraîne-toi à deviner la position du bouton de réglage du réchaud en regardant tourner le compteur électrique. Demande à ton camarade de régler le bouton sur une position de son choix que tu ne connais pas et de compléter le tableau ci-dessous d'après tes indications. Durant cette expérience, laisse la casserole d'eau sur le réchaud!

Penses-tu que la température de l'eau dans la casserole a une influence sur la vitesse du compteur ?



Tirer profit de l'aspect ludique d'une situation

Ici le jeu fonctionne à merveille. Les élèves parviennent le plus souvent à mémoriser les vitesses de rotation du disque du compteur et à les associer à la position du bouton de réglage du réchaud.

En ce qui concerne l'influence éventuelle de la température de la casserole sur la vitesse du compteur, seuls les élèves de deux des groupes imaginent une dépendance mais cette dépendance va une fois dans un sens: plus c'est chaud, plus le compteur tourne vite, et une fois dans l'autre sens: plus c'est chaud, moins le compteur tourne vite car *"plus c'est chaud, moins le réchaud arrive à chauffer plus"*. (Remarquons que cette conception est une assez bonne description de ce qui se passe lorsque le réchaud est muni d'un thermostat).



- 11) Branche la lampe ordinaire sur le compteur et allume-la. Chronomètre le temps qu'il faut pour que le disque en aluminium du compteur fasse un tour. Prévois ce qui changera quand tu remplaceras la lampe ordinaire par la lampe économique. Chronomètre le temps qu'il faut pour que le disque en aluminium du compteur fasse un tour avec la lampe économique. Indique le temps qu'il faut pour que le disque fasse un tour avec la lampe ordinaire. Indique le temps qu'il faut pour que le disque fasse un tour avec la lampe économique ?

Contextualiser dans une situation qui se rencontre au quotidien

En général, les élèves sont familiers avec les lampes économiques et ils savent que si elles coûtent cher, elles consomment moins d'énergie. Les chronométrages sont assez corrects en ce qui concerne la lampe ordinaire. Les prévisions des élèves semblent montrer qu'ils ont bien compris que pour la même énergie (tout au moins pour le même nombre de tours de compteur), ils auront droit à s'éclairer plus longtemps avec la lampe économique. Leurs prévisions vont de 2 fois à 8 fois plus (pour les ampoules choisies, c'était environ 5 fois).

- 12) Place les deux petites éprouvettes pleines d'eau à l'envers sur les tiges du bac à électrolyse. Tourne la manivelle de la dynamo dans un sens. Tu vois se dégager de l'hydrogène et de l'oxygène (deux fois plus d'hydrogène). Quand l'éprouvette d'hydrogène est pleine, retire-la doucement en la bouchant avec le doigt et approche-là de la flamme de la bougie. Retire ton doigt et mets l'ouverture dans la flamme. Ça doit faire une petite explosion! D'où vient donc l'énergie produite dans cette explosion ?



**Expérimenter,
manipuler, observer**
**Mobiliser des
connaissances**
Plaisir!

C'est avec beaucoup de plaisir que les élèves font cette manipulation. L'enjeu est d'obtenir la plus forte explosion possible. Certains réinvestissent fort bien des connaissances acquises au cours de chimie et mélangent les deux gaz !

En ce qui concerne la provenance de l'énergie libérée par l'explosion, pratiquement tous les élèves sont catégoriques: "*l'énergie vient de moi*". Pour eux, il est clair qu'ils l'ont fournie en tournant la manivelle de la dynamo. Ils ont donc déjà conceptualisé que de l'énergie fournie par une source peut être momentanément stockée. (Cette idée d'énergie stockée n'avait pas été exprimée dans l'activité sur flanellographes).



- 13) Ici, on peut transformer l'énergie qui nous vient du Soleil (ou d'une ampoule) en mouvement de l'air grâce au capteur à cellules photovoltaïques, au moteur électrique et à l'hélice du ventilateur. Cache une plus ou moins grande partie du capteur solaire, approche et éloigne la lampe, oriente le capteur de manière à ce que la lumière arrive plus ou moins obliquement dessus ! Quand est-ce que le ventilateur tourne le plus vite ?

Expérimenter

Pour les élèves, le problème est d'éclairer le plus possible le capteur photovoltaïque. Ce jour là, il y avait du soleil dans une partie de la classe. Les élèves ont réalisé qu'il fallait mettre le capteur "*bien en face du soleil*" pour que le ventilateur tourne le plus vite.

- 14) Ici, on a deux objets de forme semblable posés sur la table et deux récipients identiques contenant la même quantité d'eau. Dans chaque récipient on a placé un thermomètre. Le premier objet est en métal, le deuxième est en plastique. Est-ce que les indications des thermomètres changeront lorsqu'on plongera les objets chacun dans un récipient ?

Attention: tu peux toucher les objets mais on ne fera l'expérience que lorsque tous tes camarades seront passés par ce poste !



Anticiper
Imaginer
Mobiliser
Formuler des
hypothèses
Faire émerger les
conceptions

Seul un tiers des élèves pense que la température n'a pas de raison de changer "*car tout est à la même température*". Tous les autres sont persuadés que le métal "*comme il est plus froid, refroidira l'eau*". La moitié des élèves pense de plus que le plastique "*qui est plus chaud quand on le touche*" réchauffera l'eau.

15) Ici, on a trois thermomètres. Le premier est simplement posé sur la table, le deuxième est dans une manche d'anorak, le troisième est à l'intérieur d'une fourrure d'animal. Note ci-dessous ce qu'indique le premier thermomètre. Devine ce qu'indiquent les deux autres et note-le également.

Attention: on ne sortira les thermomètres de leur habillage que lorsque tous tes camarades seront passés par ce poste !



Troisième séquence: débat, clarifications et première institutionnalisation

Au début de la leçon qui suit cet atelier d'immersion, je réunis les élèves autour du matériel des postes 14 et 15 et leur demande d'évoquer en silence ce qu'ils ont pensé à propos des indications des thermomètres. Après quelques instants, je demande à quelques-uns de donner leurs prévisions et de les expliquer. Pour chacune des deux situations, un débat a lieu entre la minorité qui pense que les thermomètres indiquent tous la même chose et ceux qui prévoient des différences. Je me contente d'amener les élèves à bien clarifier leurs pensées.

Après quelques minutes, je désigne deux expérimentateurs qui plongent les objets en métal et en plastique dans l'eau et qui dévoilent les indications cachées des thermomètres emballés dans la manche d'anorak et dans la fourrure d'animal. On constate que l'eau des récipients ne semble pas changer de température et que les thermomètres posés sur la table indiquent pratiquement la même chose.

Plutôt que clore le débat, cette expérimentation le ranime. Deux élèves, partisans des changements de températures ne désarment pas, contestent la lecture des thermomètres et essaient d'interpréter les quelques dixièmes de différences dues aux calibrages des thermomètres en faveur de leur thèse. Je finis par calmer les esprits en déclarant que s'il y a des différences de températures, elles sont en tous cas petites et bien inférieures à celles qui ont été prévues par la majorité de la classe. À noter que pour les élèves qui pensaient que les thermomètres allaient donner les mêmes températures, l'expérience s'avère convaincante et font fi des quelques dixièmes.

J'attire l'attention des élèves sur leurs comportements en leur disant qu'ils font exactement la même chose que des scientifiques professionnels: ils ont tendance à voir dans l'expérience la confirmation de leurs hypothèses quitte à déformer quelque peu leur lecture du réel. Je leur raconte l'histoire de la fusion froide qui a suscité tant de débats chez les physiciens.

Idem

La question est classique du point de vue de la didactique des sciences. Ici, elle est formulée en situation, ce qui coupe court à certaines discussions portant sur la manière dont l'élève s'imagine une situation à partir d'une question écrite.

Les réponses des élèves ne provoquent pas mon étonnement: pratiquement tous sont persuadés que les thermomètres "habillés" indiquent plus que le thermomètre "nu" et, généralement, c'est la fourrure d'animal qui procure le plus de chaleur au thermomètre. On voit bien dans ces exemples la difficulté pour les élèves de différencier température et chaleur.

Argumenter

Cette discussion complète l'information que j'ai recueillie grâce à l'activité d'immersion et me permet d'établir une sorte de bilan de l'état des conceptions de mes élèves.

Vérifier les hypothèses

Bilan

Mes élèves connaissent l'énergie dans la mesure où ils en repèrent des manifestations et en décrivent certaines propriétés. Ils associent l'énergie aussi bien à des phénomènes biologiques (biochimiques), physicochimiques et physiques (évaporation, rayonnement, mouvement, échauffement). Ils ont commencé à se construire une vision globale de l'énergie qui leur sera utile pour en comprendre des aspects plus spécifiques.

Mettre en évidences les limite de l'observation :

savoir sur le savoir Confronter

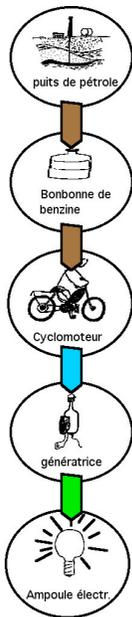
Je peux m'appuyer sur les conceptions suivantes:

- l'énergie revêt des formes diverses et peut passer d'une forme à l'autre,
- l'énergie se mesure et se paie comme une marchandise,
- la même énergie peut être utilisée (dépensée ou produite) plus ou moins rapidement (l'idée de débit d'énergie existe déjà).

Diversifier les approches : épistémologie, savoir sur le savoir

Les conceptions obstacles me semblent tourner autour des points suivants:

- l'énergie des aliments est attachée à des conceptions qui devraient s'ériger en obstacles conceptuels dans des situations de la vie courante,



Quatrième séquence: Installation du concept de chaîne énergétique

Je réunis les élèves devant un flanellographe et leur propose la construction d'une chaîne énergétique que j'établis en la remontant. Je les avertis qu'ils auront à refaire l'exercice et à en inventer d'autres (mise en projet). Je pose les éléments au fur et à mesure de leur énumération. Cette ampoule reçoit son énergie de cette génératrice qui reçoit son énergie du moteur du vélomoteur qui reçoit son énergie du bidon d'essence qui a reçu son essence du puits de pétrole. Entre les vignettes, je place des petites bandes colorées: brune pour l'énergie chimique, bleue pour l'énergie mécanique, verte pour l'énergie électrique. J'ajoute qu'on utilisera le jaune pour l'énergie rayonnante (la lumière) et le rouge pour l'énergie thermique.

La première consigne vise à compléter la chaîne que je leur ai proposée en rajoutant des éléments aux deux bouts.

Quelques-unes des nouvelles chaînes qui apparaissent:

- Soleil - banane - homme - ballon de foot,
- Soleil - végétaux - vache - lait - homme,
- centrale nucléaire - réseau électrique - transformateur - compteur - lampe,
- centrale hydroélectrique - réseau électrique - compteur - réchaud électrique,
- allumettes - bougie - alcool à brûler - réchaud - marmite,
- Soleil - capteur photovoltaïque - moteur électrique.

- les liens entre énergie et changement d'états de l'eau ne sont pas ignorés mais sont confus,
- les conceptions naïves liées aux perceptions de chaud et de froid supplantent le concept d'équilibre énergétique et de stabilisation des températures,
- l'énergie mécanique (mouvement) peut être produite à partir d'une autre forme d'énergie mais ne peut guère se transformer à son tour.

L'atelier d'immersion et cette discussion ne me disent pas grand chose à propos de l'idée que se font mes élèves de la conservation de l'énergie au travers de ses changements de forme et de sa dégradation, deux points évidemment fondamentaux

Organiser les connaissances autour de concepts organisateurs

Le projet de devoir restituer ce qui leur est montré permet d'obtenir des élèves le travail d'observation et de déduction.

Mobiliser des connaissances

Le discours est appuyé par l'action réalisée devant les élèves. C'est une forme d'imitation qui leur sera demandée et un dépassement de cette imitation à l'aide d'un travail de conceptualisation.

Fournir des aides à penser

Sans le dire explicitement, les vignettes précisent les catégories déjà en partie apparues lors de la toute première séquence, et utilisées par les élèves lors de la phase d'immersion. Ce code de couleur n'est qu'une aide à penser pour les différentes formes d'énergie.

**Travailler en groupes
Se confronter
Argumenter**

Les discussions sont nourries au sein des groupes. Le concept de chaîne énergétique se construit dans l'interaction.

Faire émerger les conceptions

Les élèves n'ont pas de difficultés à reproduire la chaîne proposée et les quatre groupes trouvent des prolongations à cette chaîne. En amont on trouve des végétaux "qui ont fait le pétrole" et en amont des végétaux, dans deux groupes, le soleil "qui a fait pousser les végétaux". En aval, on trouve une fois l'homme "qui reçoit la lumière", une fois un miroir parabolique "qui reçoit et renvoie la lumière". D'une manière générale, l'idée de chaîne énergétique me semble bien comprise, sauf pour un groupe qui confond chaîne causale et chaîne énergétique (allumettes - bougie - alcool à brûler).

Les élèves n'éprouvent pas de difficulté majeure avec les liens colorés. Il y a parfois confusion entre les formes d'énergie entrant et sortant. L'énergie mécanique est associée à *"tout ce qui bouge, ce qui tourne, ce qui avance"*, *"on met bleu à la sortie du barrage, c'est l'eau qui fait tourner les turbines, on met bleu à la sortie du moulin à café parce qu'il y a une hélice qui tourne"*.

Après une grande discussion, un groupe finit par placer une bande jaune *"pour la lumière"* et une bande rouge *"pour la chaleur"* à la sortie de la lampe. Dans ce groupe, on fait de même pour la sortie de la bougie. Un groupe a représenté des chaînes qui se croisent à certains maillons. Par exemple, l'homme reçoit de l'énergie de deux chaînes alimentaires et donne de l'énergie à un vélo d'une part, et à un jouet à ressort d'autre part.

Après environ 20 minutes, je demande aux élèves d'aller regarder ce que les autres ont produit afin de pouvoir dire s'ils sont d'accord entre eux sur l'idée de chaîne énergétique. Ensuite, je réunis les élèves et demande s'ils ont des questions ou des commentaires à formuler les uns aux autres. Les réactions ne manquent pas:

- *comment le soleil donne son énergie à la banane ?*
- *à la place de "lait", on pourrait mettre "viande", non ?*
- *pourquoi tu peux mettre le compteur électrique dans ta chaîne ?*
- *le compteur, il reçoit et il redonne tout ce qu'il reçoit !*
- *etc*

La fausse chaîne allumettes - bougie - alcool à brûler n'échappe pas à la perspicacité de certains:

- *L'énergie de la bougie, elle vient qu'un tout petit peu de l'allumette, c'est pas parce que tu allumes la bougie avec l'allumette que l'énergie vient de l'allumette !*
- *Mais non, l'énergie de la bougie vient des abeilles qui font la cire !*
- *Mais non, elle vient du pétrole, donc du soleil parce qu'on fait les bougies avec du pétrole !*

Je demande aux élèves: mais finalement comment on reconnaît si c'est une chaîne énergétique ou pas ?

Le besoin d'un critère décisif naît chez les élèves et certains proposent: *"il faut que l'énergie passe d'un maillon à l'autre"*. Mais comme ils se satisfont de cette réponse alors qu'ils ont compris plus profondément les choses, je leur demande s'il suffit qu'un peu d'énergie entrant dans un maillon provienne du maillon précédent ou s'il faut que toute l'énergie entrant dans un maillon provienne du précédent. Par cette question, j'obtiens une discussion passionnée. Les deux thèses sont défendues, exemples à l'appui ! De plus, certains élèves font ressortir que *"il y a des maillons où l'énergie ressort forcément comme le soleil ou la lampe ou si c'est chaud alors que d'autres c'est à nous de faire sortir l'énergie comme la bouteille d'alcool ou de gaz ou la brique de lait"*.

Je rebondis sur cette observation et je renvoie les élèves sur leurs flanellographes en leur demandant de trier les vignettes en deux groupes: celles qui représentent des objets dans lesquels l'énergie se met en réserve ou se stocke et celles qui désignent des objets où l'énergie ne se stocke pas mais ne fait que transiter.

Mettre en relation Les élèves perçoivent l'existence de l'énergie cinétique. C'est pour l'instant la seule forme d'énergie mécanique qu'ils reconnaissent. Je n'aborderai que plus tard le concept d'énergie potentielle.

Confronter Les élèves ne vont pas jusqu'à généraliser et ne voient pas que de l'énergie thermique sort de presque tous les maillons (chaque fois qu'un rendement est en jeu).

Mettre en commun
Argumenter
Confronter
Questionner Alors que la conceptualisation se finalise dans l'action lorsque les élèves disposent les vignettes sur le flanellographe, la verbalisation exige un effort supplémentaire que je dois leur aider à faire. Pour reprendre les catégories de Jean Piaget, je dirais que les élèves possèdent une structure opératoire relative aux chaînes énergétiques. Mais comme le dit Piaget, une structure opératoire n'existe pas forcément dans la conscience du sujet.

Mobiliser
Déduire J'avais prévu de placer cette phase sur l'énergie stockée ultérieurement mais il m'est apparu que les élèves étaient demandeurs d'une clarification qui pouvait les aider dans la construction de leur représentation de l'énergie.

Conceptualiser
Formaliser
Rechercher une
définition commune

Utiliser les idées des
élèves

Au bout de quelques minutes les quatre flanellographes sont assez semblables. Il y a un tas avec la lampe, la loupe, le miroir, le transformateur électrique, le compteur électrique,... et un tas avec la banane, la brique de lait, la bouteille d'alcool, la bonbonne de gaz, la bougie, le puits de pétrole,... Mais quelques vignettes posent problème: le soleil, le fer à repasser, le réchaud électrique, la tasse de boisson chaude... *"on peut pas les empêcher de donner de l'énergie plus loin mais ils en gardent aussi pour eux"*.

Je réunis les élèves et j'institue: l'énergie est quelque chose qui s'écoule le long d'une chaîne énergétique mais qui peut se stocker pour plus ou moins longtemps sous une forme chimique comme dans les combustibles et les aliments, sous une forme thermique dans tout ce qui est chaud, sous une forme nucléaire comme dans la centrale atomique ou dans le soleil.

Je demande aux élèves s'ils savent combien de temps le soleil pourra encore briller avec sa réserve d'énergie. Ils ne s'étonnent pas de la question car ils ont déjà entendu parler de la vie et de la mort des étoiles, mais ils articulent des chiffres tous en dessous de la réalité. D'ailleurs je ne pense pas qu'ils puissent se représenter la différence qu'il y a entre des millions et des milliards d'années. (Il y a là un autre travail à faire).

Je reviens au débat concernant la chaîne énergétique et je rappelle aux élèves qu'il s'agissait de savoir s'il suffit qu'un peu d'énergie entrant dans un maillon provienne du maillon précédent ou s'il faut que toute l'énergie entrant dans un maillon provienne du précédent pour que l'on puisse parler de chaîne énergétique. Je tranche le débat en instituant qu'il y a des chaînes strictes dans lesquelles l'énergie entrant dans chaque maillon provient entièrement du maillon précédent et des chaînes dans lesquelles on trouve des maillons alimentés à plusieurs sources (plusieurs chaînes se rejoignent sur ce maillon). C'est typique des êtres vivants mais c'est aussi vrai d'un vélomoteur quand on pédale pour aider le moteur par exemple.

Je fais constater qu'en général seule une partie de l'énergie sortant d'un maillon entre dans le maillon suivant (une quantité ridicule de l'énergie du soleil fait pousser l'herbe que mange la vache, une très petite quantité de l'énergie fournie par l'herbe mangée se retrouve dans le lait, etc.).

J'insiste sur la différence entre chaîne causale (le cas allumette-bougie-alcool à brûler) et chaîne énergétique.

Institutionnaliser le concept organisateur : énergie

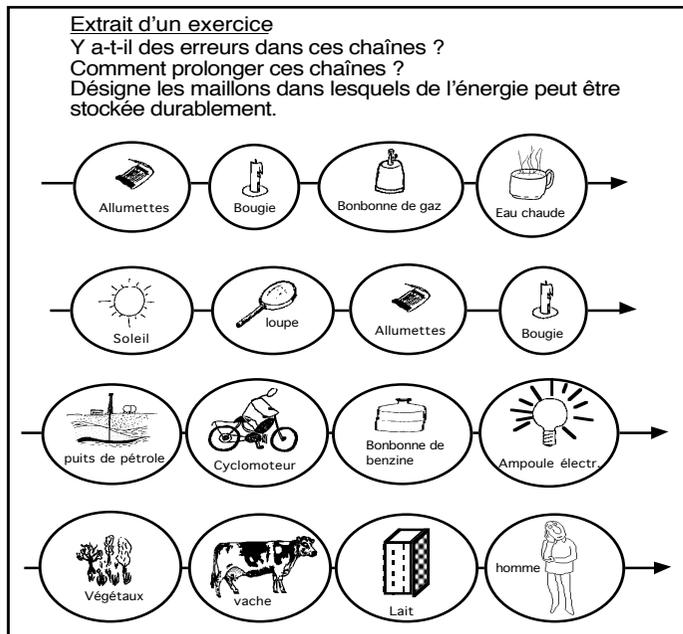
L'institutionnalisation et la formalisation du savoir interviennent lorsque les élèves y ont été préparés, lorsqu'ils se sont posés les questions auxquelles elles répondent.

Mettre en relation avec d'autres "disciplines" Concerner à travers un sujet porteur (étoile, soleil...) Questionner

Pour les élèves, une étoile se consume comme un combustible. Ils ne savent pas ce qu'est une réaction chimique et encore moins ce qu'est une réaction nucléaire. Ils n'associent pas énergie thermique à agitation moléculaire ; d'ailleurs, s'ils ont une représentation particulière de la matière, celle-ci est rudimentaire. Ils n'ont de la lumière qu'une représentation naïve. Mais tout ceci ne doit pas m'empêcher de construire avec eux un îlot de rationalité (au sens de Gérard Fourez) à propos d'une vision globale de l'énergie. Certaines de ces notions seront reprises par la suite, d'autres îlots de rationalité seront construits et des ponts seront établis entre certains d'entre eux.

Concerner à travers un objet de leur quotidien (vélomoteur)

L'apport de l'enseignant intervient au moment où les élèves en ressentent le besoin. Le débat qu'ils ont eu a fait ressortir des différences de points de vue. Dans ce cas, ce n'est pas une expérience qui va aider à trancher. L'arbitrage de l'enseignant et la clarification qu'il apporte sont les bienvenus.



Pour terminer je fais écrire un iepetit résumé dans les cahrs de sciences et je donne à faire individuellement un exercice de contrôle dans lequel les élèves doivent identifier des chaînes énergétiques et déceler des fausses chaînes. L'exercice est à finir à la maison.

Une rapide vérification, au début de la leçon suivante, me permet de constater que cet exercice ne pose aucun problème !

Elaborer des aides à penser

Le cahier personnel a pour moi beaucoup d'importance. C'est dans son cahier que l'élève doit pouvoir retrouver la trace d'un parcours et les résultats standardisés retenus par la "communauté scientifique" de la classe, résultats ici cautionnés par l'nseignant.

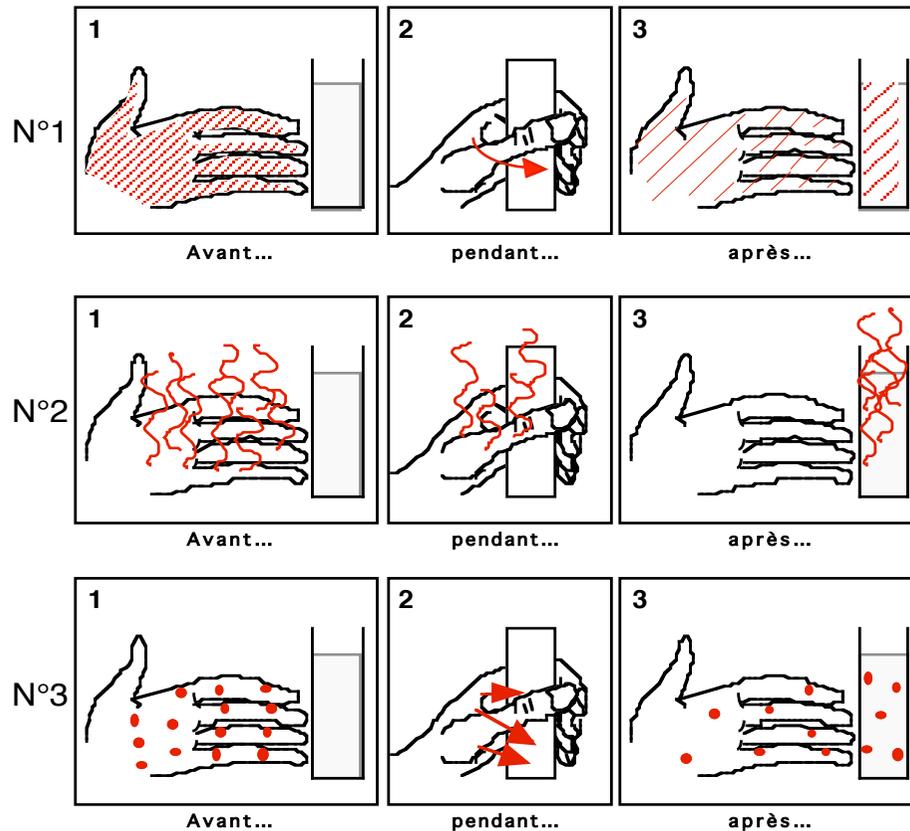
Fournir des outils d'auto-évaluation

Le contrôle sert d'autoévaluation pour l'élève. Il me permet aussi, de m'assurer que je pourrai m'appuyer, par la suite, sur le concept de chaîne énergétique. Au travers de ce travail sur les chaînes énergétique, j'ai induit une certaine représentation de l'énergie: l'énergie existe en soi sous diverses formes, elle se transforme d'une forme à l'autre

Cinquième séquence : Comment représenter l'énergie ?

Voulant amener mes élèves à une forme codifiée de représentation de l'énergie, je leur propose de compléter des dessins qui évoquent une situation de l'atelier d'immersion: le transfert de chaleur de la main à l'eau contenue dans le pilulier. Je leur demande de travailler individuellement et de compléter ces dessins de manière à faire comprendre ce qui se passe. Je leur demande de ne pas utiliser de texte.

Voici les trois productions typiques que j'ai obtenues :



Une mise en commun permet à chaque élève de prendre connaissance des propositions faites par ses camarades.

Modéliser
Schématiser

Les activités qui précèdent induisent une représentation de l'énergie qui se rapproche de celle d'un fluide qui s'écoule le long des chaînes énergétiques, qui change de forme (ce qui se traduit par un changement de couleur selon le code adopté).

Créer
une aide à penser

La quantification de l'énergie va participer de sa conceptualisation. D'une part, je veux amener les élèves à résoudre des problèmes numériques et, d'autre part, je sais que cette quantification permet de préciser et de renforcer leurs représentations.

Confronter
Argumenter

La mise en commun des différentes représentations conduit les élèves à reformuler encore une fois ce qu'ils ont compris de cette expérience. Chaque groupe est obligé d'argumenter pour défendre sa propre manière de représenter l'énergie.

Ainsi, les élèves se montrent critiques face à la représentation N°2, mais en faisant appel à leurs propres connaissances "scientifiques", et cela même si le vocabulaire utilisé ne l'est pas. La première n'est pas critiquable en soi, mais la majorité des élèves admettent que la dernière est la plus facilement décodable.

J'annonce que la représentation en petits points ou "gouttes d'énergie" est celle que l'on adoptera car elle permettra de compter l'énergie en comptant le nombre des "gouttes".

Sixième séquence : Prévoir et comparer

Phase de prévisions

J'explique aux élèves: vous allez travailler en quatre groupes de quatre ou cinq; je vais vous poser 5 questions; d'abord, vous ferez des paris en imaginant les réponses: on affichera (sur des grandes feuilles que j'ai préparées) et on comparera ce que les groupes imaginent puis vous contrôlerez ces réponses au moyen du matériel et des documents que je mettrai à votre disposition; je vous donne les informations que j'ai affichées en grand format contre le mur de la classe; attention: au moment de la présentation des prévisions, je choisirai ceux d'entre vous qui devront expliquer les prévisions du groupe; vous devez donc veiller à ce que chacun de vous puisse répondre au nom du groupe.

Contenu des informations affichées

- 1) Un demi-morceau de sucre (~2 g) contient une énergie de 10 wattheures (10 Wh).
- 2) Une ampoule de 100 watts (100 W) consomme une énergie de 100 wattheures (100 Wh) en une heure de fonctionnement.
- 3) 1 wattheure = 3,60 kilojoules en abrégé : 1 Wh = 3,60 kJ
1 kilocalorie = 4,18 kilojoules en abrégé : 1 kcal = 4,18 kJ
1 wattheure = 0,861 kilocalorie en abrégé : 1 Wh = 0,861 kcal.

Formaliser Institutionnaliser

Même si le spectre du "calorique" est présent à mon esprit et si je sais que cette représentation de l'énergie sous la forme d'un fluide constitue un obstacle de nature épistémologique, je n'hésite pas à renforcer une telle représentation. En fait, c'est parce que je vais l'étendre à toutes les formes d'énergie que cette représentation va être didactiquement pertinente. C'est grâce à elle que s'ancreront l'idée de conservation et celle de dégradation de l'énergie.

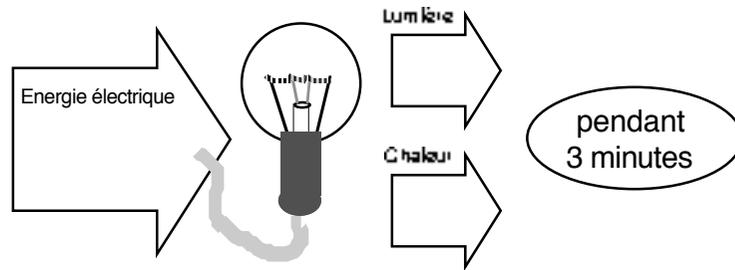
Favoriser la solidarité entre les élèves, stimuler les échanges et les prises de conscience

La phase de prévision des réponses est très importante. Par là, je m'assure que tous mes élèves s'approprient bien les questions. De plus, le travail en groupes permet d'éviter des blocages.

Apporter des informations comme aides à penser

Ces informations vont aider l'élève dans son travail de conceptualisation en lui permettant de quantifier l'énergie. Leur affichage sur les murs de la classe leur confère une grande accessibilité et leur donne un caractère institutionnel. Elles resteront affichées pour la suite.

Les cinq questions



1) Quelle énergie entre et sort de l'ampoule de 100 watts en trois minutes ? Compléter ce dessin avec des gouttes colorées de 1 wattheure à placer dans les flèches.

2) Pendant combien de temps ces appareils peuvent-ils fonctionner avec une énergie de 10 wattheures ? Les appareils sont montrés aux élèves mais ces derniers ne connaissent la puissance que de l'ampoule de 100 W. J'ai masqué les indications de puissance qu'on trouve inscrites sur les autres appareils.

- ampoule ordinaire de 100 watts
- ampoule économique de 20 W (équivalente à 100 watts)
- thermoplongeur (à immerger dans de l'eau)
- réchaud électrique (bouton sur 1 avec une casserole d'eau)
- réchaud électrique (bouton sur 3 avec une casserole d'eau)
- fer à repasser
- sèche-cheveux (air chaud)
- sèche-cheveux (air froid)
- aspirateur
- moniteur TV
- ventilateur de table
- mixer (dans l'eau)
- radiateur électrique

3) Quelle énergie y a-t-il dans chacun des aliments et combustibles placés sur cette table ? Compléter ces dessins avec des gouttes colorées de 1 kilowattheure (on les dessinera carrées pour les distinguer des gouttes rondes de 1 wattheure).



Aliments et combustibles :
sucre fin, alcool à brûler, pétrole, charbon, huile végétale, bougie, gaz (butane)

Formuler les intentions Mes intentions au travers de chacune des cinq questions :

- 1) Voir si les élèves partent ou non du principe de la conservation de l'énergie et ce qu'ils pensent du rendement lumineux de la lampe.

Caractériser par comparaison

- 2) Le but est d'attirer l'attention des élèves sur les grandes quantités d'énergie mise en jeu dans les effets thermiques par opposition aux relativement petites énergies mise en jeu dans les phénomènes mécaniques.

J'ai masqué les puissances qu'on trouve inscrites sur les appareils car je ne tiens pas à ce que mes élèves appliquent une recette de calcul. Je préfère qu'ils recourent au bon sens et qu'ils fassent des comparaisons avec la lampe de 100 W.

Interpeller à propos des conceptions

- 3) On se souvient d'un obstacle précédemment relevé: l'huile, difficile à digérer, pour certains élèves ne donne pas d'énergie. Et, l'énergie contenue dans les aliments n'a a priori rien à voir avec celle que ces aliments libèrent lorsqu'ils brûlent. Cette question permettra d'aborder ces problèmes.

4) Combien de temps faut-il pédaler pour dépenser une énergie de 10 wattheures en faisant un effort moyen sur le vélo (on pédale en veillant à ce que la puissance indiquée sur le compteur du vélo d'appartement soit de 100 watts) ?



5) À quelle température arrivera 1 litre d'eau pris à 20 °C lorsqu'on lui aura apporté 10 wattheures au moyen du thermoplongeur ?

Phase de comparaison des prévisions

Cette phase de mise en commun est rapide (environ 15 minutes). Elle permet aux élèves de faire un inventaire de leurs prévisions et de cerner les points de désaccord qui seront tranchés dans la phase suivante.

Toute la classe se réunit devant les affiches placardées par les quatre groupes. Je demande à quelques élèves d'expliquer la manière dont leur groupe a raisonné pour proposer leurs réponses. Très vite, la discussion se focalise sur les différences.

Voici ce que cela donne pour les cinq questions:

1) Dans les quatre groupes, l'idée de mettre le même nombre de gouttes à la sortie qu'à l'entrée de la lampe s'est imposée. On a su tirer profit (simple proportion) de l'information n° 2 pour trouver que l'énergie consommée par l'ampoule est de 5 Wh . Les élèves ont donc placé 5 gouttes vertes (énergie électrique) dans la flèche d'entrée.

Comme "*la lampe reste chaude au bout des trois minutes*", certains ont dessiné des gouttes sur la lampe elle-même, "*des gouttes rouges car c'est de la chaleur*". D'autre ont considéré que "*c'est symbolique et qu'il faut mettre (conformément à la consigne) ces gouttes qui restent dans la flèche chaleur*".

Mettre en relation le perçu et le mesuré

4) Je veux à nouveau amener mes élèves à réaliser que l'énergie mécanique mise en jeu dans les phénomènes courants est petite devant les énergies thermiques. Mais en plus, ici, on évoque une situation dans laquelle l'énergie mécanique est fournie par leur propre corps, situation qui induit un lien entre l'effort perçu et l'énergie dépensée. Mon projet est d'aborder les problèmes du métabolisme humain.

Rechercher les conceptions

5) Le lien entre température et énergie fera l'objet d'un travail de conceptualisation de la chaleur massique (énergie pour chauffer une unité de masse de 1 degré). Il s'agit ici de voir si un tel lien est pressenti par mes élèves.

Analyser les conceptions

État des conceptions au stade des prévisions :

Définir les obstacles à franchir, dépasser ou contourner

1) Lorsqu'on travaillait sur les chaînes énergétiques, un obstacle s'était manifesté à propos de la forme sous laquelle l'énergie sort de l'ampoule. Certains élèves avaient de la peine à concevoir deux sorties pour l'énergie, une sous forme de chaleur et une sous forme de lumière (rayonnement). Ici, le débat montre que cet obstacle semble dépassé. La question se porte sur la

2) En ce qui concerne l'ampoule de 100 W, pas trop de problèmes: "10 wattheures, c'est 10 fois moins que 100, donc l'ampoule marche 10 fois moins longtemps qu'une heure". Certain élèves ont conclu que ça fait 10 minutes (l'heure a 100 minutes !) mais très vite les autres corrigent.

Pour les autres appareils, les élèves constatent qu'ils ne sont pas d'accord entre eux. Les temps d'utilisation prévus vont du simple au décuple !

3) Les inscriptions, que je n'ai ici pas masquées, figurant sur le paquet de sucre (100 g contiennent 1700 kJ / 406 kcal) et sur la bouteille d'huile (100 g contiennent 3370 kJ / 805 kcal) surprennent les élèves: "c'est beaucoup, ça", "oui mais il faut trouver en wattheures, ça fera sûrement moins", "moi je croyais qu'y avait rien dans l'huile", "mais c'est si tu la brûles, ça chauffe, pas si tu la manges", "non parce que si on met sur l'étiquette, c'est pour savoir les calories quand on fait un régime", "oui plus c'est gras plus c'est calorique ce qu'on mange".

4) Certains élèves ont fait des calculs et sont arrivés au fait que l'information donnée (2 g de sucre contiennent 10 Wh) recoupe celle qu'ils ont trouvée sur l'emballage. Je leur demande d'exposer ces calculs ce qu'ils font de manière assez convaincante pour leurs camarades: "10 wattheures pour 2 grammes ça fait 5 wattheure pour 1 gramme donc 500 wattheures pour 100 g; mais comme 1 wattheure c'est 3,6 kilojoule, ça fait $500 \cdot 3,6 = 1800$ kilojoules; sur le paquet, pour 100 grammes, c'est écrit 1700 kJ". J'interviens pour dire que la différence entre 1700 et 1800 provient d'arrondis sur les 2 grammes et les 10 wattheures.

5) Dans deux des quatre groupes, les élèves ont calculé le nombre de kWh pour le sucre et l'huile végétale (mais en ayant considéré que 1 litre d'huile correspond à 1000 g).

4) Certains élèves ont faits des calculs à partir des informations connues. D'autres ont fait appel à une évocation de ce qui s'est passé dans l'atelier d'immersion: "j'avais mis deux minutes et j'avais dépensé un demi-morceau de sucre c'est-à-dire 10 Wh".

répartition entre les deux formes d'énergie. Pour la majorité des élèves "une lampe ça donne beaucoup de lumière", "c'est fait pour éclairer, pas pour chauffer" mais "ça donne aussi de la chaleur".

Identifier les acquis 2) Les élèves expriment ce qu'ils imaginent en comparaison avec ce qu'ils savent à propos de la lampe de 100 W et parfois à propos d'autres appareils: "chez nous, on a un aspirateur de 1000 watts!". Il y a un débat à propos du réchaud électrique. Certains pensent que c'est un gros consommateur d'énergie, d'autres pensent le contraire; de même à propos du ventilateur, et du mixer. Mais ce qui est important, c'est que pour pratiquement tous les élèves, l'énergie consommée est proportionnelle au temps de fonctionnement. C'est un indice d'une conceptualisation de la puissance comme un débit d'énergie.

Conception obstacle 3) On voit ici comment une conception naïve à propos de l'huile comestible s'érige en conception obstacle. Les indications figurant sur l'étiquette contredisent ce que pensent certains élèves. Le débat sociocognitif fait apparaître des idées contradictoires: pour certains, l'énergie que l'on retire de l'huile est de même nature que celle qu'elle produirait en brûlant. Pour d'autres, ces énergie ne sont pas comparables.

Confronter les conceptions

Identifier les savoirs non encore formalisés 4) Là encore, j'ai l'impression qu'une assez bonne conceptualisation du couple puissance-énergie s'est mise en place. Il semble assez évident, pour mes élèves,

5) Je vois de tout: certains ont fait des estimations, certains ont fait des hypothèses plausibles comme: "*je pense que 1 wattheure, ça doit chauffer un litre de 1 degré*". D'autres font de hypothèses en inversant une proportionnalité: "*10 wattheures pour 10 décilitres, ça doit faire 100 degrés*". Les prévisions pour la température atteinte par l'eau vont de 10 degrés à 100 degrés. les discussions entre les élèves ont montré qu'ils savent que l'eau bout à 98 ou 100 °C et que l'on ne peut pas s'attendre à ce qu'elle chauffe à une température plus élevée (avec des élèves plus jeunes ce fait n'est pas du tout établi !).

Septième séquence : Vérifier et approfondir.

J'indique aux élèves: vous allez pouvoir vérifier vos réponses et tirer au clair les points en suspens; pour chacune des questions, j'ai préparé un poste de travail; à chaque poste, du matériel et de la documentation sont à votre disposition; vous allez travailler en 4 groupes, que j'appelle groupes d'action. Il y aura 2 groupes de 4 et 2 groupes de 5. Vous allez parcourir successivement les 5 postes correspondant aux 5 questions avec pour mission de remplir la fiche-réponses qui figurera dans le cahier de chacun. J'ajoute: dans le premier des postes, vous trouverez un problème supplémentaire et dans les quatre autres postes un défi pour lequel vous devrez vous préparer. Chacun, dans son groupe, doit s'assurer d'avoir une stratégie de résolution pour le problème et les 4 défis.

Problème/défi supplémentaire et matériel relatifs à chaque poste:

Poste 1)

Problème: avec un prix de l'énergie électrique de 25 centimes (de francs suisses) le kilowattheure, combien économise-t-on sur une année, en s'éclairant 5 heures par jour, si on emploie une lampe économique plutôt qu'une lampe à incandescence ?

Matériel: un compteur électrique, un chronomètre, une lampe à incandescence de 100 W, une lampe économique de 20 W, de la documentation fournie par les fabricants d'ampoules dans laquelle on trouve des informations concernant le rendement des deux type de lampes.

Poste 2)

Défi: trouver l'énergie consommée en un temps donné par un appareil électrique en connaissant sa puissance (généralement écrite sur l'appareil).

Matériel: Six compteurs électriques, chronomètres et tous les appareils ménagers montrés aux élèves dans la phase précédente.

Poste 3)

Défi: parmi les aliments et combustibles présentés dans ce poste, chercher lequel a le prix du kilowattheure le plus bas.

sans qu'ils puissent l'exprimer clairement, que l'énergie s'obtient par l'«intégration» d'une puissance et que la puissance est un débit d'énergie.

Interpeler

5) Ici, le problème posé a fait naître l'idée d'un lien existant entre énergie, température, masse et nature de la matière qui chauffe.

Motiver

Je choisis de mêler la phase de validation à la phase suivante qui va nécessiter de conceptualiser plus finement puissance et énergie et d'approcher la conceptualisation de la chaleur massique de l'eau. Je souhaite profiter de la tension produite par les questions en suspens pour amener les élèves à dépasser ces questions.

Cette séquence s'étend sur trois périodes.

Proposer un problème ouvert

Le problème du poste 1 est ici posé dans une formulation qui permet de répondre uniquement en termes d'économie sur l'énergie consommée. Toutefois, cette formulation ne ferme pas la porte à une réflexion plus poussée qui prendrait en compte le prix d'achat et la longévité des deux types de lampes. Ce problème pourra devenir par la suite une étude de cas.

Se documenter

La confrontation des élèves à des documents produits par l'industrie insère leur démarche dans une perspective qui transcende l'école.

Proposer des situations- problèmes

Les défis lancés aux élèves ont souvent le statut de situations-problèmes (au sens donné à cette expression dans la littérature pédagogique).

Matériel: les combustibles et aliments déjà réunis dans la phase précédente avec indication des prix au litre, aux cent grammes ou au kg, des tables numériques, étiquettes d'emballages et livres dans lesquels on trouve des indications concernant les pouvoirs énergétiques des combustibles et des aliments.

Poste 4)

Défi: prévoir l'énergie dépensée en un temps donné si on pédale sur le vélo d'appartement avec une puissance donnée (au compteur).

Matériel: un vélo d'appartement avec compteur affichant l'énergie et la puissance.

Poste 5)

Défi: prévoir la température atteinte par une quantité donnée d'eau recevant une énergie donnée au moyen d'un thermoplongeur.

Matériel: un compteur électrique, un thermoplongeur, un récipient, une mesure de ménage graduée en cl et dl, un thermomètre, de l'eau froide.

Déroulement de la séquence

L'usage des compteurs électriques pour mesurer l'énergie ne pose pas de problème aux élèves. Il suffit que je leur dise que l'inscription figurant sur chaque compteur indique le nombre de tours du disque pour 1 kWh.

Poste 1)

Vérification des prévisions. Les élèves consultent les documents mis à leur disposition et sont très étonnés de découvrir que le rendement de la lampe à incandescence n'est que de 5%. J'entends dire: "mais alors, y a même pas une goutte sur cinq qu'on peut mettre dans la flèche lumière à la sortie de la lampe?", "même pour la lampe économique, ça n'en fait qu'une et quatre en chaleur!".

Résolution du problème. Les élèves calculent et comparent le prix de l'énergie avec les deux types d'ampoules. Les groupes qui peinent un peu dans ces calculs se font aider par ceux qui trouvent que c'est facile. Je suis frappé par les réactions des élèves: une économie de

Les caractéristiques d'une situation-problème

(Extrait de : G. Arzac, G. Germain, M. Mante, Problème ouvert et situation-problème, IREM, Lyon, 1991)

1. *L'élève doit pouvoir s'engager dans la résolution du problème. L'élève peut envisager ce qu'est une réponse possible du problème.*
2. *Les connaissances de l'élève sont en principe insuffisantes pour qu'il résolve immédiatement le problème.*
3. *La situation-problème doit permettre à l'élève de décider si une solution trouvée est convenable ou pas.*
4. *La connaissance que l'on désire voir acquérir par l'élève doit être l'outil le plus adapté pour la résolution du problème au niveau de l'élève.*

Savoir-faire, outil pour conceptualiser

Comme c'est dans l'interaction avec les objets que l'élève construit ses représentations, il est important de lui donner un savoir-faire qui lui permette d'appréhender le comportement de ces objets. Les compteurs électriques (provenant des rebuts des distributeurs d'électricité et obtenus à bas prix) sont très précieux. L'énergie consommée se lit en comptant les tours d'un disque en aluminium dont la vitesse de rotation est directement proportionnelle à la puissance transmise.

Discuter de façon critique

Des élèves sont prêts à approfondir la question et à en faire une étude de cas.

Fr. 36.50 (environ 25 €) par année semble dérisoire à certains et très importante à d'autres. Certains ne manquent pas de souligner que la lampe économique coûte plus cher à l'achat que la lampe ordinaire et qu'il faudrait en tenir compte pour savoir si l'économie est réelle.

Poste 2)

Vérification des prévisions. Les élèves vérifient les durées d'utilisation en branchant les appareils sur les compteurs. Les élèves sont parfois étonnés par les durées plus petites que celles qu'ils avaient prévues particulièrement pour le réchaud électrique et pour le sèche-cheveux avec chauffage. Ils ne font pas spontanément le lien entre durée courte et appareils qui chauffent. Lorsque je les interroge, je réalise que pour eux, chauffer est presque "gratuit": "c'est facile de chauffer", "ça chauffe pour un rien", "dès qu'on frotte un peu, c'est bouillant", "si on met quelque chose au soleil, il est tout de suite chaud". Je crois qu'ils perçoivent le caractère dégradé de l'énergie thermique et le fait que cette forme d'énergie apparaît pratiquement partout. Cette "facilité" à obtenir de la chaleur leur fait croire que les énergies mises en jeu dans la chaleur sont faibles. Il y a bien sûr aussi la confusion entre température atteinte et énergie associée. Il est vrai qu'on peut obtenir des températures élevées avec des petites énergies mais en chauffant des quantités faibles de matière. À ce stade, je me contente de souligner et de valider leur constat: "dès qu'un appareil a pour vocation de chauffer, il consomme beaucoup d'énergie !".

Défi. Le défi concernant l'énergie consommée est relevé par tous les groupes, parfois avec mon aide ou celle des camarades mais j'ai le sentiment que les élèves ont bien suivi la démarche exprimée par l'un d'eux: "les watts de l'appareil ça donne le nombre de wattheures consommés en une heure, alors si on me donne le nombre d'heures, je multiplie [les watts par les heures] et je trouve combien de wattheures il consomme".

Poste 3)

Vérification des prévisions. Les élèves trouvent sur les étiquettes et documents, les informations les indications qui leur permettent d'attribuer une quantité d'énergie à chaque combustible ou aliment proposés. D'une manière générale, par comparaison avec le sucre et l'huile, les élèves ont surestimé l'énergie contenue dans les combustibles et notamment dans le gaz. Par contre, ils ont eu tendance à sous-estimer l'énergie contenue dans la bougie.

Défi. Les élèves classent facilement les aliments et les combustibles par ordre de pouvoir énergétique. Le classement en fonction du prix de l'énergie est plus laborieux. Mais on arrive à des formulations du type: "l'alcool c'est 2 francs 80 le litre; le litre, c'est 0,8 kilo; 1 kilo, c'est 8,3 kilowattheures (selon table) donc 0,8 kilo c'est 6,6 kilowattheures; alors ça coûte 280 centimes pour 6,6 kilowattheures ce qui fait 42 centimes le kilowattheures".

Déstabiliser cognitivement	La validation (ou la "falsification") des hypothèses provient ici de leur confrontation aux résultats des mesures. Il y a déstabilisation cognitive dans la mesure où les hypothèses se trouvent contredites par l'expérience. En règle générale, cette déstabilisation conduit l'apprenant à une remise en question de ses conceptions qui peut déboucher sur la formulation de nouvelles hypothèses puis sur de nouvelles expériences de validation. L'outil privilégié à mettre en oeuvre par l'enseignant est alors la situation-problème.
Mettre en cause les conceptions	
Apports structurants en situation	Lorsque le saut conceptuel n'est pas trop grand, un apport structurant peut être le bienvenu dans une telle situation et perçu comme un "cadeau" grâce auquel l'élève pourra avancer d'un pas. Dans le cas présent, sachant que je reviendrai sur cette question à propos de la chaleur massique et de métabolisme des animaux à sang chaud, je me contente d'instituer ce que les élèves ont découvert.
Les élèves formulent les démarches	Mes élèves font un raisonnement quantitatif et appliquent efficacement une règle de proportionnalité. Certains proposent une explicitation de ce raisonnement que les autres peuvent s'approprier. Le problème et sa solution leur appartient !
Rechercher de l'information	Comme dans le poste 1, la validation des hypothèses se fait ici au travers d'informations tirées de sources non scolaires.
Ordonner, classer, comparer, gérer	On retrouve ici les "structures opératoires" dont Piaget dit qu'elles permettent au sujet de tirer des informations à partir d'une situation vécue.

Poste 4)

Vérification des prévisions. Quelques élèves montent sur le vélo et mesurent le temps pendant lequel il faut pédaler pour dépenser les 10 Wh qu'ils convertissent en 8,6 kcal lisibles sur l'affichage. J'interroge les élèves à propos des différences de temps constatées: d'où proviennent-elles ? Les élèves ont constaté que la puissance de 100 W est très difficile à maintenir pendant qu'ils pédalent et sont bien conscients de l'incidence de ces variations sur le temps nécessaire à dépenser l'énergie donnée.

Défi. Pour répondre à la question d'approfondissement, ils trouvent empiriquement une règle de proportionnalité entre l'énergie, la puissance et le temps: "*en pédalant à 100 watts, il faut 1, 5 minutes pour faire 10 wattheures, alors si je pédale à 200 watts 1, 5 minutes, ça fera 20 wattheures et si c'est 3 minutes, ça fera 40 wattheures et ainsi de suite...*" (l'ergomètre indique la puissance mécanique fournie à la roue mais l'énergie qu'il affiche est celle qui est dépensée par la personne qui pédale; elle est calculée avec un rendement standard de 1/4).

Poste 5)

Vérification des prévisions. Les élèves commencent par faire l'expérience pour répondre à la question. Ils trouvent tous que la température de l'eau s'élève d'environ 8°C. Ils constatent que ceux qui avaient fait l'hypothèse selon laquelle 1 Wh d'énergie chauffe un 1 l d'eau de 1 degré avaient eu la meilleure prévision. Cette hypothèse (simpliste) se trouve validée aux yeux de quelques élèves. Pour les autres, l'expérience contredit cette hypothèse: "*8 degrés pour 10 wattheures, c'est pas 10 !*".

Défi. Certains groupes font des expériences en changeant les quantités d'eau et les énergies dans le but d'établir un lien entre ces deux grandeurs. Quelques élèves cherchent des informations dans leur livre de physique-chimie. D'autres se contentent du constat précédent et donnent des formulations du genre: "*chaque wattheure, ça chauffe 1 litre d'eau de 0,8 degré; pour trouver de combien ça chauffe, je fais 0,8 fois le nombre de wattheures mais si j'ai deux fois plus d'eau, ça chauffe deux fois moins, donc de diviser par les kilos*". Finalement, tous les élèves ont une stratégie efficace leur permettant de relever le défi.

Interroger, mettre en évidence les incertitudes des mesures

Ma question oblige les élèves à prendre en compte les différences constatées et à les expliquer. La question déjà rencontrée des incertitudes et de leurs prise en compte dans la démarche scientifique réapparaît ici.

Valoriser une démarche empirique

Ce raisonnement empirique montre comment les élèves réinvestissent les savoirs déjà constitués.

Discuter à propos de la validation expérimentale d'une hypothèse

Là encore, il y a débat sociocognitif. Je laisse les élèves dans le doute pour ne pas couper court à la démarche que j'attends d'eux au travers du défi que je leur ai lancé dans ce poste. Mais je décide de clarifier ce point au début de la séquence suivante.

Absence nécessaire et provisoire de formules

À ce stade, pas besoin de formules ! Mes élèves relèvent les défis auxquels ils sont confrontés en faisant des raisonnements quantitatifs. Ils appliquent efficacement des règles de proportionnalités directe ou inverse. Ils maîtrisent ce dont ils parlent. Leur proposer d'utiliser des formules serait prématuré et les inciteraient à substituer à leur raisonnement, des moyens de trouver des réponses sans comprendre. Les formules viendront dans une étape ultérieure lorsque la complexification des situations engendrera un besoin d'efficacité qui rendra nécessaire la modélisation mathématique. Un tel travail pourra se faire avec profit dans des leçons de mathématiques.

Huitième séquence : Institutionnaliser le savoir

Mon intention est d'amener les élèves à rédiger eux-mêmes la solution du problème du poste 1 et les stratégies permettant de relever les défis des poste 2 à 5. Je donne à mes élèves un nouveau projet en leur expliquant que cette activité aboutira à quatre textes pour chaque problème ou défi et que chacun choisira le texte qui lui conviendra le mieux.

Mais avant cela, j'évoque avec eux le défi consistant à dire de combien chauffe une quantité d'eau recevant une énergie donnée et les débats qui ont lieu à ce propos. Je déclare que la règle en usage et reconnue par les techniciens, ingénieurs, chercheurs et autres scientifiques est la suivante : "1 wattheure chauffe 1 kilogramme d'eau de 0,861 degré; il est aussi utile de savoir que pour chauffer 1 kilogramme d'eau de 1 degré, il faut 1,16 wattheures ou 4,18 kilojoules". J'ajoute que ces règles méritent de rejoindre les informations déjà affichées contre les murs de la classe pour qu'on en dispose désormais et je placarde sur le champ un panneau que j'avais préparé à cet effet.

Pour la suite, je demande à mes élèves de se placer en quatre groupes de rédaction comportant chacun au moins un élève provenant de chacun des 4 groupes d'action précédents.

Déroulement de la séquence

- Dans chaque groupe de rédaction, les élèves échangent sur la manière dont ils ont résolu le problème et relevé les défis au sein de leur groupe d'action.
- Ils choisissent pour le problème et chaque défi la solution qui leur semble la plus pertinente et l'écrivent sur une grande feuille (A3). Je veille à ce que les élèves n'écrivent pas des textes qui puissent être compris d'une manière qui trahissent leurs idées mais je n'effectue aucune rédaction à leur place.

Les quatre groupes de rédaction produisent donc en tout 20 feuilles qui sont numérotées et affichées dans la classe

- Tous les élèves vont ensuite comparer les textes affichés et choisir ceux qu'ils préfèrent (une feuille pour le problème et une pour chaque défi). Ils notent les cinq numéros choisis et me les communiquent sur un billet portant leur nom.
- Je photocopie, pour la leçon qui suit, les feuilles voulues (en les réduisant au format A4) et les distribue aux élèves qui les collent dans leurs cahiers de sciences.

Prendre du recul par l'expression écrite

Je trouve important de donner du temps aux élèves pour qu'ils formalisent eux-même les savoirs construits au cours des séquences précédentes.

Projet de production

Le projet de fournir des textes qui seront rendus "publics" et parmi lesquels chacun pourra faire son choix est en soi très porteur.

Institutionnaliser un savoir standardisé

Cette phase d'institutionnalisation est l'une des phases clé de l'approche socioconstructiviste. Elle intervient après un travail de conceptualisation mené par les élèves, pour clarifier et trancher un débat, pour relier le savoir produit par la classe au savoir standardisé. En quelque sorte, elle jette un pont entre la communauté de la classe et la communauté scientifique.

Échanger en vue d'une rédaction concertée

Pour moi, le passage à l'écrit et l'effort de formalisation qu'il nécessite font encore partie du travail de conceptualisation. Les interactions sociocognitives au sein des groupes sont ici tout aussi importantes que lorsqu'il s'agit de travailler sur les conceptions premières, les hypothèses ou les résultats expérimentaux.

Élaborer des repères notionnels

Message à propos du savoir

Le fait d'instituer le savoir par des textes différents est aussi porteur de sens pour les élèves. Il y a là un message : le savoir n'est pas un alignement conforme de mots; le sens est à chercher au travers et au-delà des mots.

Des suites possibles...

Elles servent autant à donner aux élèves l'occasion de mettre en œuvre les compétences acquises jusqu'ici que d'aborder des thèmes pouvant impliquer de nouveaux efforts de conceptualisation.

Énergie et biologie

- Une petite étude de cas sur le métabolisme des animaux: de quelle énergie, rapportée à leur masse corporelle ont besoin les animaux ou l'homme pour maintenir leur température ? Approche expérimentale avec des boîtes de conserve et des bidons remplis d'eau dont on maintient la température (compensation du refroidissement).
- Le pouvoir énergétique des aliments. Les besoins de l'organisme.
- Une découverte à faire faire aux élèves: sur le compteur de l'ergomètre dont je dispose, l'énergie affichée (en kcal) est 4 fois plus grande que celle que l'on calcule à partir de la puissance affichée (en W) car un rendement musculaire de 1/4 est pris en considération (valeur standard des physiologistes).

Énergie et vie quotidienne

- Une petite étude de cas sur l'ampoule économique: jusqu'à quel prix peut-on accepter de payer une lampe économique pour qu'elle nous fasse vraiment faire des économies ?
- Une petite étude de cas sur un geste quotidien: combien coûte la préparation d'une tasse de thé en chauffant l'eau par divers moyens (chauffages électriques ou à combustion) ? Le problème du rendement.

Énergie et physique-chimie

- Poursuite du travail de conceptualisation de la chaleur massique avec notamment celle des métaux; retour au problème d'équilibre des températures et travail autour de la conception des objets qui chauffent parce qu'ils semblent chauds. Approche par situations-problèmes.
- Comparaison expérimentale à propos de pouvoirs énergétiques - Le pouvoir énergétique des combustibles.
- L'énergie mécanique, cinétique et potentielle. Une première approche au moyen d'un atelier d'immersion spécifique.