

Quelle démarche expérimentale en classe de physique ?

Notion de situation problème

par Guy ROBARDET

*Membre du groupe d'experts de physique
sur les programmes scolaires (GEPS)*

LIDSET - IUFM de Grenoble et Université Joseph-Fourier

Qu'est-ce que la science ? En quoi consiste la démarche scientifique et peut-on, par ailleurs, en parler au singulier ?

Sur cette question, les points de vues des épistémologues contemporains divergent sensiblement. Entre les rationalistes les plus durs qui considèrent qu'il existe une méthodologie de cette démarche et qu'il convient d'en retrouver les critères, et les relativistes extrêmes qui pensent que « tout est bon » et qu'il est vain de rechercher une méthode quelconque, il y a place pour tout un continuum d'opinions. Pour CHALMERS [5], qui en rapporte l'essentiel dans un ouvrage célèbre, un point important du débat concerne les places relatives accordées aux faits d'observation et aux théories.

Selon une première option, qualifiée d'empiriste, les théories résulteraient de l'observation et de l'expérience première. La démarche scientifique serait, par conséquent, d'abord centrée sur la recherche et l'établissement de faits: tout commencerait par l'observation et les théories scientifiques seraient déduites des faits. Cette approche de la démarche scientifique est à peu près abandonnée par tous les courants épistémologiques contemporains en raison du primat à accordé à l'observation.

Une deuxième position considère au contraire que le fait scientifique ne s'impose pas comme une donnée naturelle et immédiate, mais résulte d'un découpage du réel en fonction d'une problématique.

«L'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions cible nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement. Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et, quoi qu'on dise, dans la vie scientifique les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une

question. S'il n'y a pas eu de question, il ne petit y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. » ([2], p. 14.).

Ces mots, que le célèbre philosophe place tout au début de son ouvrage consacré à la formation de l'esprit scientifique, illustrent bien cette deuxième option qui est celle de la physique moderne. Elle s'appuie sur le primat du théorique sur l'expérimental ce qui signifie que la construction de l'expérience et la conduite de celle-ci se font à partir d'un questionnement et à l'intérieur d'un cadre théorique initial. La notion de problème scientifique est au centre de cette démarche.

Mais pour comprendre le monde et son extraordinaire complexité, la physique doit, en quelque sorte, reconstruire le réel par la pensée. Elle le fait en élaborant ce qu'on appelle des modèles physiques. Ainsi, pour étudier le rôle de la pesanteur dans la chute des corps, le physicien imagine un objet placé dans le vide et soumis à un champ constant de gravitation. C'est cette « reconstruction » du réel qui lui permet, par exemple, d'affirmer que dans le cadre de cette modélisation, tous les corps tombent exactement avec la même loi de chute indépendamment de leur masse. La réalité est, bien sûr, plus complexe et les choses se passent effectivement un peu différemment, mais le modèle sera d'autant plus crédible qu'il permettra de prédire avec plus de précision le comportement réel des *objets* dans leur chute.

Peut-on prendre en compte, dans l'enseignement scientifique, les considérations précédentes, et dans l'affirmative, comment le faire ? La réponse mérite quelques nuances dans la mesure où l'enseignement est soumis à des contraintes difficilement contournables (le temps, le matériel, l'évaluation, l'examen, etc.). Et même s'il est possible d'envisager d'agir sur ces contraintes, il reste qu'une classe de physique n'est pas un laboratoire de recherche. Cela condamne-t-il, pour autant, l'enseignement à construire un rapport à l'expérimental se situant aux antipodes de celui de la démarche de recherche ? Doit-on, dans un souci d'efficacité et de rapidité, privilégier en classe l'observation et la mise en évidence, plus que le questionnement, l'hypothèse, et la résolution des problèmes expérimentaux ? Nous ne le pensons pas car nous connaissons bien les limites d'un tel enseignement qui conduit à réduire *in fine* ses ambitions à la mémorisation, à la simple reproduction de connaissances apprises et à l'application de formules.

Comment alors concilier le souci de promouvoir à l'école un rapport acceptable à la démarche scientifique avec les contraintes de la classe ? Un instrument, qui paraît bien adapté, est ce qu'on désigne parfois sous le terme de situation-problème. Voyons de quoi il s'agit sur un exemple construit au départ pour le collège, puis adapté ensuite pour le futur programme de première scientifique.

« AVEC DEUX LAMPES » : UN EXEMPLE DE SITUATION-PROBLÈME EN ÉLECTRICITÉ

Lorsqu'ils arrivent au lycée, les élèves qui ont déjà eu l'occasion de manipuler et de raisonner au collège sur des circuits électriques simples, ont appris que les phénomènes électriques pouvaient s'interpréter par un modèle circulatoire dit « du courant électrique ». Ils savent généralement que, dans un circuit série, le courant circule en sortant du générateur par le pôle plus et y retourne par le pôle moins après avoir traversé les différents récepteurs. Cependant ce modèle, qui n'explique pas le transfert de l'énergie du générateur aux récepteurs, n'est pas opératoire pour les élèves qui savent avant toute chose que, par exemple, pour faire fonctionner une simple lampe de poche, il est nécessaire d'avoir une pile en bon état et que la pile s'use lorsqu'on utilise la lampe. On constate très souvent qu'ils tentent de concilier le modèle circulatoire qu'on leur a enseigné avec le schéma, opératoire chez eux, d'un transfert d'énergie. Ils imaginent alors différentes explications qui s'appuient généralement à ce niveau sur une représentation circulatoire avec « épuisement » du courant [7]. L'objectif principal de la situation-problème que nous allons décrire ci-dessous est de tenter d'attaquer cette conception en montrant aux élèves que le modèle circulatoire enseigné n'est pas incompatible avec le transfert d'énergie électrique.

Première partie : avec deux lampes montées en série

On présente aux élèves le circuit schématisé ci-dessous dans lequel deux lampes L1 et L2 sont montées en série sur une pile. La lampe L1 éclaire bien plus que L2. Le professeur pose alors la question aux élèves.

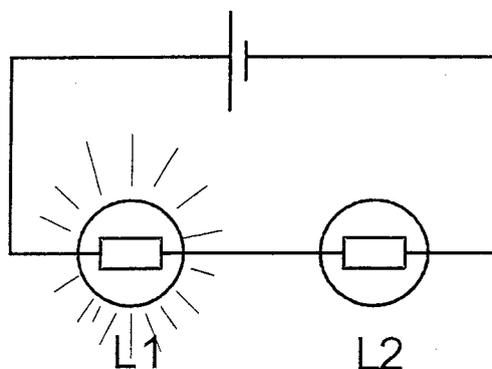


Figure 1

Question : *Comment expliques-tu que la lampe L1 brille plus que la lampe L2 ?*

Les élèves sont amenés à formuler individuellement par écrit leur interprétation du phénomène. Voici quelques réponses obtenues: «L1 qui est placée devant L2 brille plus parce qu'elle prend plus d'énergie» ; «L1 prend toute l'électricité qu'il lui faut pour briller, L2 n'a que ce qui lui reste» ; «A la sortie de L1 le courant a moins d'énergie... ou quelque chose en moins... donc la lampe L2 va briller moins fort».

Les élèves sont alors regroupés par quatre. Chaque petit groupe doit réfléchir à la question suivante correspondant à une situation non réalisée.

Question: *Si on intervertit les lampes L1 et L2, à votre avis, comment vont-elles briller, et pourquoi ? Chaque groupe formulera sa réponse par écrit sur un transparent.*

Une courte discussion concernant les arguments proposés a lieu à partir des transparents fournis par les groupes. Voici quelques réponses obtenues : «*La lampe L2 brillera plus que L1 car elle est maintenant placée avant L1*» ; «*C'est L2 qui va garder l'électricité, elle brillera plus*» ; «*La lampe L1 sera presque éteinte car il y aura moins d'énergie pour elle*» ; «*La lampe L2 fonctionne plus fort que L1 car le courant va du + au -, et elle va bénéficier de l'énergie. L'énergie s'use dans le filament*».

Vérification expérimentale

Le professeur propose ensuite à chaque petit groupe de réaliser le montage et de vérifier si sa prévision est exacte ou non. Les élèves constatent alors que c'est toujours la lampe L1 qui brille le plus, qu'elle soit placée «avant» ou «après». Certains élèves sont très perplexes. Visiblement, ils ne comprennent pas. «*Comment le courant peut-il être plus fort après qu'avant ?*».

A ce stade du raisonnement, il convient de comprendre que le terme de «courant» fréquemment utilisé par les élèves ne désigne par forcément l'intensité qui sera mesurée à l'ampèremètre. Il traduit simplement le constat, ici paradoxal pour eux, que la deuxième lampe brille plus. Le professeur sait bien que cette différence d'intensité lumineuse est plus à mettre en relation avec la puissance de l'énergie électrique consommée par la lampe (et donc reçue du générateur) qu'avec l'intensité¹ du courant. Il va donc, essentiellement, s'attacher à faire prendre conscience aux élèves que le transfert d'énergie (du générateur vers les lampes) ne s'identifie pas au transport de matière (la circulation des porteurs).

La question est ici la suivante : «*Ce qu'on mesure avec un ampèremètre a-t-il ou non quelque chose à voir avec l'intensité de la lumière émise par une lampe?*». Les élèves ont appris au collège à mesurer une intensité électrique. On propose donc aux groupes d'effectuer, avec un contrôleur, des mesures de l'intensité du courant en différents points du circuit, et cela dans les deux montages rencontrés.

Résultat : *La valeur de l'intensité mesurée est toujours la même. La différence de brillance des lampes ne se traduit pas par une différence de l'intensité du courant².*

L'état du problème est ici le suivant : *est-ce donc une propriété intrinsèque à la lampe L1 de toujours briller plus que L2 ?³*

¹ On notera ici au passage la difficulté conceptuelle engendrée par l'usage du mot intensité qui désigne deux grandeurs différentes intervenant dans la même situation.

² Si des élèves le proposent, ils pourront également mesurer dans les deux montages les valeurs des tensions aux bornes des lampes. Ils constateront alors que les tensions mesurées représentent bien ici les différences de brillances observées. Le professeur gèrera, dans ce cas, la suite de la situation de manière un peu différente.

Deuxième partie : avec les deux lampes montées en dérivation

Le professeur propose alors aux élèves, toujours en petits groupes de quatre, de réfléchir à la situation suivante non réalisée (il leur rend les transparents remis précédemment).

Question : *Si l'on monte maintenant les lampes L1 et L2 en dérivation (et non plus en série). Pouvez-vous prévoir comment vont briller les lampes et pourquoi ? Vous formulerez votre réponse par écrit sur votre transparent.*

Voici quelques extraits des prévisions données par des élèves : «[En dérivation], la lampe L1 brillera plus que L2 car elle prend toujours plus d'énergie que L2» ; «Les deux lampes brilleront pareil car elles sont montées directement sur la pile».

Toujours à partir des réponses données sur transparents une discussion s'engage avec les élèves ; elle conduit à formuler l'hypothèse suivante : **la différence observée dans la brillance des deux lampes doit-elle être attribuée uniquement à une différence de constitution de celles-ci ?** Autrement dit, la lampe L1 est-elle construite pour briller toujours plus que la lampe L2 ?

Validation expérimentale

Le professeur propose alors aux élèves de réaliser le montage et de vérifier si leurs prévisions sont exactes ou non.

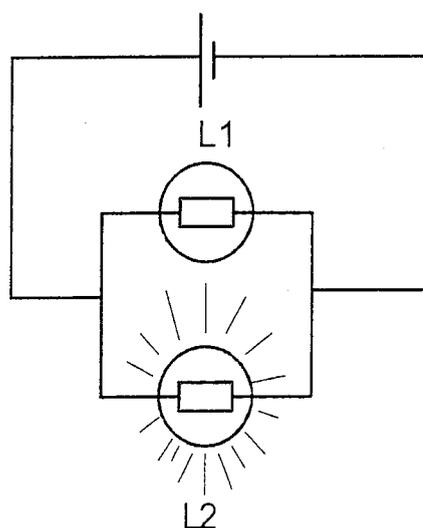


Figure 2

Résultat : *Contrairement aux prévisions, c'est maintenant la lampe L2 qui brille plus que L1 ; ça n'est donc pas toujours la même lampe qui brille le plus.*

³ Question éventuellement complétée par la³ suivante : la tension rend-elle toujours compte de la différence de brillance des deux lampes ?

L'hypothèse se trouve donc invalidée par ce résultat apparemment paradoxal. Comment peut-on expliquer le paradoxe ? Des élèves proposent de mesurer, ici encore, l'intensité du courant en différents points. La valeur trouvée dans L2 est cette fois supérieure à celle trouvée pour L1.

La discussion se poursuit. «*Ici c'est normal la lampe qui brille plus a plus d'intensité*» dit l'un d'eux. «*Oui mais tout à l'heure ça ne marchait pas* » dit un autre. «*C'est pas normal!*»⁴.

Résultat : *La notion d'intensité ne suffit pas pour expliquer la brillance des lampes dans tous les cas.*

A ce stade, si les élèves n'ont pas pensé à mesurer les tensions (cf. notes 2, 3 et 4), le professeur peut les y inviter en leur suggérant de regarder, pour les trois montages réalisés, si les différences de brillance des lampes pourraient, ou non être expliquées par les valeurs des tensions mesurées aux bornes de celles-ci. La réponse est positive pour les deux montages en série, mais négative pour le montage en dérivation.

Que peut-on dire de ces valeurs de I et de U dans les trois montages ?

Le professeur invite alors les groupes à porter les valeurs des intensités et des tensions obtenues sur les schémas correspondants et à mettre ces valeurs en relation avec les différences de brillance observées. Après discussion, le résultat faisant consensus entre les groupes est alors inscrit au tableau.

Conclusion : *Lorsque l'intensité est la même dans les deux lampes, les tensions sont différentes et la lampe qui brille le plus présente la plus grande tension à ses bornes. Lorsque les tensions sont les mêmes, les intensités sont différentes et la lampe qui brille le plus est celle pour laquelle l'intensité est la plus grande.*

Troisième partie : apport théorique du professeur

Les élèves ont bien compris que ni l'intensité ni la tension ne suffisent, chacune, à rendre compte dans tous les cas de la brillance des lampes. Il est cependant probable qu'elles ne sont pas extérieures à la compréhension du phénomène. Mais ici, les élèves ne peuvent trouver seuls la solution. C'est le professeur qui devra la donner et, ce faisant, institutionnaliser la notion de puissance électrique. Il indique donc la réponse que donne la physique au problème des lampes en le généralisant au fonctionnement de n'importe quel dipôle :

«Deux grandeurs sont nécessaires⁵ pour rendre compte de l'énergie électrique reçue par un récepteur ou cédée par un générateur: la

⁴ Les éventuelles mesures de tension montrent, de plus, qu'ici les deux lampes brillent différemment alors qu'elles sont soumises à la même tension.

tension U en volt (V) entre ses bornes et l'intensité I en ampère (A) du courant qui le traverse. En règle générale, la puissance P en watt (W) à laquelle se fait le transfert d'énergie électrique avec un dipôle est donnée par le produit de la tension U et de l'intensité I sous lesquels il fonctionne : $P = U \cdot I$ ».

Discussion : signification des grandeurs électriques rencontrées

Une discussion avec la classe s'engage alors au cours de laquelle le professeur explique sur le circuit série qu'il n'y a pas contradiction entre la conservation de l'intensité, c'est-à-dire du «*fluide*» incompressible constitué par les particules chargées qui circulent, et le transfert d'énergie du générateur vers les récepteurs.

Il illustre son propos en utilisant des analogies mécaniques : celle dite « du petit train » ou « de la chenille »⁶, celle de la courroie de transmission ou de la chaîne de bicyclette. Sur ce dernier exemple, le professeur peut faire remarquer aux élèves que le transfert d'énergie qui s'effectue du pédalier vers la roue arrière utilise le mouvement continu de la chaîne (analogie avec I), mais que celle-ci est manifestement plus tendue dans sa partie supérieure que dans sa partie inférieure (analogie avec la tension). Ainsi le mouvement de la chaîne n'explique pas à lui seul le transfert d'énergie, encore faut-il qu'une force soit transmise par celle-ci à la roue arrière.

Généralisant les résultats obtenus à des circuits quelconques, le professeur indique qu'il y a toujours transfert d'énergie électrique du générateur vers les récepteurs et qu'en raison de la conservation de l'énergie les puissances de ces transferts satisfont toujours à la relation : $P_G = \sum P_R$ (dans laquelle P_G représente la puissance du transfert de l'énergie électrique fournie par le générateur et P_R , celles des transferts d'énergie absorbées par les récepteurs). L'application, à tous les composants du circuit, de la relation $P = UI$ permet alors de démontrer les lois de conservation et/ou d'additivité des intensités et tensions dans un circuit quelconque à partir du principe de conservation de l'énergie.

⁵ Nous disons bien « nécessaires » car cette condition n'est pas suffisante. On ne saurait, en effet, assimiler la brillance d'une lampe à incandescence à la puissance de l'énergie électrique reçue car le rendement lumineux d'une ampoule électrique est généralement assez faible. De plus, pour une même lampe, ce rendement varie généralement avec son point de fonctionnement. L'objectif de la situation est donc simplement que les élèves comprennent *in fine* que la puissance de fonctionnement d'une lampe, mesurée par le produit $U \cdot I$, dépend non seulement de la lampe, mais aussi du reste du circuit et de sa place dans celui-ci. La comparaison des brillances des lampes n'est utilisée ici que pour témoigner des différences et des variations dans leur fonctionnement. L'essentiel, pour que la situation joue son rôle, est que les rendements des deux lampes ne soient pas trop différents pour les montages réalisés. Dans notre cas, nous avons utilisé une pile de 4,5 V avec pour L1 une lampe 6 V ; 0,3 A; et pour L2 une lampe 4 V ; 0,5 A.

⁶ Cf. *Bull. Un. Phys.*, février 1989, vol. 83, n° 711, p. 166.

QU'EST-CE QU'UNE SITUATION-PROBLÈME ?

Nous allons nous servir de l'exemple précédent et tenter d'éclairer le lecteur en dégagant les critères essentiels qui, de notre point de vue, caractérisent une situation-problème ainsi que les raisons qui en justifient l'emploi.

Au départ, la volonté de s'attaquer à une difficulté conceptuelle importante...

On imagine parfois, disait BACHELARD [2], « *que l'esprit commence comme une leçon* » et que les élèves auxquels on s'adresse sont, au départ, vierges de toute connaissance. On oublie trop souvent, poursuivait-il, que « *l'adolescent arrive en classe de physique, avec des connaissances empiriques déjà constituées. Il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amoncelés par la vie quotidienne* ».

L'objectif visé par un enseignement de physique est très souvent le dépassement d'un obstacle par l'élève ce qui implique toujours de vaincre une importante difficulté conceptuelle. L'obstacle, chez BACHELARD, loin de bloquer le cheminement de la pensée, entraîne l'élève à effectuer un raisonnement facile, économique, mais erroné. Autrement dit, celui qui n'en est pas averti tombe dans le piège. L'obstacle est sous le signe de la facilité : c'est une facilité que la pensée s'octroie. [...] Contrairement aux suggestions de l'étymologie, il n'est donc pas extérieur à la pensée, ce contre quoi elle vient buter [6]. L'obstacle est toujours là et continue à opérer alors qu'on ne s'y attend pas. On croit le combattre sur le terrain de l'évidence en montrant, par exemple, que deux fils sont nécessaires pour faire briller une lampe, et l'élève aussitôt réinterprète l'observation dans le cadre de ses conceptions : les deux fils seront parcourus par deux courants antagonistes issus du générateur venant se heurter dans la lampe. On poursuit avec l'explication circulaire et l'élève en déduit que le courant s'épuise à la traversée de la lampe. On espère en sortir par des mesures avec l'ampèremètre, mais l'élève n'est pas convaincu pour autant : en misant sur la conservation de l'intensité on a détourné, sans le résoudre, le problème du transfert de l'énergie. L'obstacle est toujours là. Pour l'élève, le courant électrique s'identifie plus ou moins à l'énergie fournie par le générateur aux récepteurs du circuit. Assimilant ainsi l'énergie au courant, il en déduit implicitement *l'usure* de ce dernier à la traversée d'un récepteur. Bien entendu, l'obstacle n'est pas explicite dans son discours et il est rare qu'on le trouve spontanément formulé. Cependant, les raisonnements des élèves et certaines des erreurs qu'ils font confirment la prégnance de celui-ci.

C'est donc le dépassement de l'obstacle qui est visé dans une situation-problème. Pour reprendre notre exemple, l'objectif premier n'est pas ici de construire le concept de puissance même si l'activité y contribue fortement, mais de comprendre qu'il n'y a pas contradiction entre la conservation de la matière incompressible qui constitue le courant électrique et le transfert d'énergie du générateur vers les récepteurs. A la fin

du travail, le professeur ne manque pas d'explicitement avec les élèves le changement conceptuel attendu. C'est le sens et la raison de la discussion qui termine la troisième partie dans l'exemple donné.

Ensuite, identifier ou imaginer la situation qui paraît la plus adéquate

Tout d'abord, pourquoi fonder l'enseignement sur des situations ?

Un aspect essentiel de l'enseignement est la transmission d'un savoir à l'élève. Pareille affirmation peut sembler triviale ; nous allons voir qu'il n'en est rien.

Comme nous venons de le voir, avec le concept d'obstacle, la transmission d'un savoir nouveau se heurte généralement en physique aux connaissances empiriques de l'élève, à ses conceptions. Les recherches effectuées sur les conceptions des élèves [8 et 12] ont montré que celles-ci étaient particulièrement efficaces pour comprendre le quotidien : ce sont des connaissances opératoires pour résoudre les problèmes qui se posent à ce niveau. En face de cela, les savoirs scolaires se présentent très souvent à l'élève en termes de connaissances déclaratives, de « ce qu'il faut savoir », de « ce qu'il faut retenir ». D'où la grande résistance des conceptions initiales qui font alors obstacle à la connaissance. Celles-ci auront, par conséquent, d'autant plus de chance d'être mises en difficultés que les connaissances substitutives celles que l'on souhaite construire, apparaîtront sur le même terrain, dans le même contexte que les connaissances initiales. Le savoir à enseigner doit ainsi être contextualisé afin de se présenter de manière opératoire, en concurrence directe avec les conceptions. Qu'est-ce qu'un véritable savoir, sinon un savoir réellement opérant qui permette de s'engager dans le traitement des problèmes? les savoirs véritablement théoriques sont intrinsèquement opérants, dit FABRE [6] ; ils unissent intimement un « savoir que », un savoir « pourquoi » et un savoir « comment ».

La fonction essentielle d'une situation est, selon BROUSSEAU [4], de modéliser, de contextualiser l'environnement spécifique d'un savoir ou d'un de ses aspects. L'élève apprend en s'adaptant à un milieu qui est facteur de contradictions, de difficultés, de déséquilibres, un peu comme on apprend dans la vie quotidienne ou comme le fait la société humaine. Construire une situation, c'est construire un milieu au sein duquel le savoir enseigné va pouvoir prendre tout son sens pour l'élève. Or, le milieu, chez BROUSSEAU, est le système antagoniste avec lequel l'élève interagit. A ce titre, il ne se réduit pas à son aspect matériel ; il comprend également les autres élèves du groupe au sein duquel l'élève apprend. Le groupe et ses activités sont donc également constitutifs de la situation. Ainsi, le choix qui est fait de faire travailler les élèves par deux, par quatre ou tous ensemble, de les regrouper par niveau ou de former des groupes d'élèves de niveaux différents, le choix des questions posées et des

consignes de travail, de même que celui des montages et des matériels, sont guidés par les effets attendus en termes d'interactions et d'apprentissage.

Comment s'effectue alors le choix de la situation par l'enseignant ?

La première étape de ce travail est l'identification de l'obstacle : c'est elle qui doit guider la recherche de l'enseignant dans ce choix. L'hypothèse de travail est qu'alors il existe au moins une situation dans laquelle l'obstacle va se manifester et dans laquelle le savoir à enseigner va prendre tout son sens. BROUSSEAU postule qu'une telle situation existe toujours, l'essentiel est de la trouver: à nous de faire preuve d'imagination.

Ainsi, dans notre exemple, il fallait d'une part que la notion de puissance apparaisse clairement dès le début, d'où le choix de situations utilisant des lampes (qui brillent) et une pile (qui s'use). Il fallait également que la notion de puissance soit bien différenciée de celles d'intensité et de tension, d'où le choix de montage en série en en dérivation avec deux lampes différentes. Il fallait enfin que l'obstacle se manifeste, d'où les questions posées et les erreurs de prévision attendues. On le voit, la situation ne se réduit pas à faire travailler les élèves sur des montages de lampes en série ou en dérivation. Le choix des lampes, des montages, des différentes phases du travail, les consignes et les activités proposées (prévisions, discussion, formulations, vérification, etc.), les questions posées, en sont également constitutives. De par sa construction, une situation est donc parfaitement cadrée; elle ne peut être confondue avec un problème ouvert.

Voyons maintenant comment la situation est présentée aux élèves.

On propose une situation suivie d'une question...

Il s'agit généralement de proposer aux élèves une ou plusieurs questions associées à une situation très concrète, mettant en jeu des objets familiers et susceptibles d'entraîner des événements parfaitement lisibles par les élèves. Dans notre exemple, on utilise deux lampes une pile et des fils. Tous ces objets sont très familiers et même si la pile n'est pas un générateur parfait de tension, elle est préférée à ce dernier parce que les élèves savent bien qu'une pile s'use et donc que l'énergie transférée aux lampes est prise à la pile. La difficulté pédagogique consiste, nous l'avons dit, à faire prendre conscience aux élèves que le transfert d'énergie du générateur aux récepteurs n'est pas incompatible avec la conservation de l'intensité du courant, ce qui revient à les conduire à distinguer les concepts de courant et d'énergie. On tente ici d'amener les élèves à prendre progressivement conscience qu'un transfert d'énergie avec un composant implique que les valeurs de deux grandeurs électriques différentes - l'intensité et la tension - ne soient pas nulles. D'où le choix des situations et des questions.

Dans la plupart des cas, on demande aux élèves guidés par leurs conceptions de prévoir et d'argumenter un effet avant d'en effectuer le constat expérimental. Les élèves ont généralement des réponses à ces questions mais celles-ci ne résistent pas à l'épreuve des faits. Ce qu'ils constatent n'est, pour eux, pas « normal ». On compte bien évidemment sur l'apparition d'un tel paradoxe pour engager les élèves à poursuivre et pour amorcer une phase de problématisation.

Commence alors la problématisation de la question

Quelle différence y a-t-il entre une question et un problème ?

Une question appelle généralement une réponse. En revanche, un problème appelle une procédure de résolution. A la question : « quelle est la lampe qui brillera le plus ? » on peut répondre L1 ou L2. En revanche, le problème commence à apparaître lorsqu'on prend progressivement la mesure des différents paramètres scientifiques dont dépend une réponse complète à la question posée et de leur importance relative dans le phénomène étudié. De nouvelles questions, plus élaborées, surgissent au fur et à mesure qu'on avance dans la phase de problématisation : « *Comment la circulation des charges électriques permet-elle le transfert d'énergie du générateur vers les récepteurs ?* » ; « *De quelles grandeurs physiques dépend le transfert d'énergie ?* » ; « *Quel rôle, dans ce transfert, jouent l'intensité et la tension ?* » etc.

FABRE [6] invite à penser la notion de problème à deux niveaux essentiels : celui de la construction du problème (ou problématisation) et celui de sa résolution. Il insiste sur le fait que le problème sera d'autant mieux résolu que celui qui en a la charge l'aura également construit. Ce point est décisif et d'une grande importance en classe : les élèves n'ont aucune chance de résoudre un problème s'ils n'ont pas été suffisamment associés à sa construction. Citant DEWEY, il définit le paradigme du problème en cinq étapes

- *la perception du problème ;*
- *sa détermination ou construction ;*
- *la suggestion de solutions possibles (les hypothèses) ;*
- *l'examen raisonné des suggestions et de leurs conséquences ;*
- *le test des hypothèses.*

Contrairement à la situation, le problème n'est pas donné au départ. Il se construit progressivement au cours des premières activités et dans l'interaction sociale du groupe ou de la classe. D'une manière générale, il est rare qu'un problème scientifique (même en classe) puisse être appréhendé dès le début. L'exemple de la

situation que nous avons choisie ici montre bien l'importance qui doit être accordée au travail de problématisation pour permettre aux élèves de passer des questions initiales au problème proprement dit. BACHELARD ne dit pas autre chose lorsqu'il rappelle qu'en science les problèmes ne se posent pas d'eux mêmes et ce serait une erreur de penser qu'une situation-problème consiste à poser aux élèves une question et à les laisser se débrouiller seuls pour en trouver la réponse. La construction du problème tout comme sa résolution appellent au contraire une gestion serrée de la classe par l'enseignant comme nous le verrons plus loin.

Une fois le problème identifié et donc posé, les élèves n'ont pas pour autant une solution toute prête en mémoire à celui-ci ; généralement, les schémas habituels de résolution ne fonctionnent plus. En ce sens, la notion de problème s'écarte ici de celle qui est habituellement rencontrée dans l'enseignement pour lequel un « problème » est un exercice un peu long d'application des connaissances. C'est ici le besoin de résoudre, qui conduit l'élève à élaborer ou, plus simplement, à s'approprier les instruments de la résolution. En effet, la démarche de résolution en classe ne saurait s'apparenter à de la redécouverte : les contraintes de la classe et sa situation d'apprenant, interdisent pratiquement à l'élève qu'il puisse redécouvrir ce que la science a parfois mis des siècles à élaborer. L'essentiel n'est pas ici que les élèves résolvent mais plutôt qu'ils comprennent parfaitement le sens du problème auquel ils sont confrontés. Ils seront alors en mesure de mieux s'approprier le savoir et cela d'autant mieux qu'ils l'auront rencontré dans le cadre d'un problème. Ainsi, dans notre exemple, l'institutionnalisation par le professeur de la relation $P = U.I$ et la discussion qui s'ensuit n'ont rien à voir avec une approche dogmatique de l'enseignement. Ce qui est apporté par le professeur l'est précisément au moment où les élèves sont demandeurs d'une réponse à la question qui est la leur. La construction en classe du problème s'est accompagnée d'une appropriation de celui-ci par les élèves. Le problème imaginé par l'enseignant est devenu leur problème ; il y a eu comme le dit BROUSSEAU dévolution du problème aux élèves et, par là même, besoin de le résoudre.

Créer le « besoin de résoudre », facile à dire !...

La question est d'importance. Un « bon » problème imaginé par l'enseignant n'a pas de raison, *a priori*, d'être un problème pour l'élève. Un soin particulier doit être apporté par le professeur à la dévolution (c'est-à-dire au transfert) du problème à l'élève [3]. Dans l'élaboration de son dispositif d'enseignement, le professeur peut s'appuyer sur le caractère énigmatique ou paradoxal pour l'élève de la situation choisie. Cela se produit généralement lorsqu'on peut raisonnablement prévoir que les idées initiales des élèves - les conceptions - seront mises en défaut par l'expérience. Ainsi, dans notre exemple, on peut modéliser le raisonnement initial des élèves de la manière suivante : « *l'énergie du courant injecté par le générateur (au pôle +) est principalement reçue par le prunier récepteur qui se trouve sur son passage. Le*

récepteur suivant ne peut disposer au plus que de l'énergie qui reste : il y a épuisement du "courant" le long du circuit ». Toute la situation est construite pour mettre ce raisonnement en défaut, d'où le caractère paradoxal des observations effectuées qui sont en contradiction avec les prédictions des élèves. Mais pour que cela fonctionne bien, c'est-à-dire pour que le paradoxe apparaisse de manière claire et indiscutable, la plupart des constats sont précédés par des activités de formulations individuelles ou de groupes, au cours desquelles les élèves doivent donner leurs prévisions et les argumenter. Notons bien qu'il ne leur est pas demandé de prévoir ce qui va réellement se passer (comment le pourraient-ils ?), mais de donner une opinion sur ce qui doit, selon eux, se passer. Il convient, de plus, de leur demander d'explicitier les raisons qui les conduisent à effectuer cette prévision. La question n'est donc pas « *que va-t-il se passer ?* », mais, « *selon vous, que va-t-il se passer et pourquoi ?* ». Ces phases d'anticipation argumentées sont essentielles pour que les observations viennent bien déstabiliser les conceptions ainsi explicitées. Le besoin de comprendre naît donc de la prise de conscience d'un paradoxe entre une prévision et un constat.

Cependant la mise en évidence de ce paradoxe ne suffit généralement pas à assurer la dévolution du problème à l'élève : le professeur doit également veiller, et peut-être même surtout, à ce que l'élève considère que la recherche de la solution est à sa portée, et, par conséquent, à ce qu'il accepte de rentrer dans le processus de résolution quitte à être accompagné dans cette phase par l'enseignant. Le choix de la situation, des objets, du niveau de complexité de celle-ci, des questions posées, de la formulation de ces questions, etc., sont ici essentiels.

L'apprentissage se fait par adaptation aux situations

Comme le montre notre exemple, lors d'une situation-problème, le régime de fonctionnement de la classe n'est ni celui de la non directivité, ni celui de la redécouverte. Le modèle d'apprentissage, issu des travaux de PIAGET et de la psychologie sociale, est celui de l'adaptation aux situations. Au fur et à mesure que se déroule cet enseignement, la connaissance de l'élève passe d'un état d'équilibre à un autre par des phases transitoires au cours desquelles les connaissances antérieures sont mises en défaut. Si ce moment de déséquilibre est surmonté (accommodation), c'est qu'il y a une réorganisation des connaissances au cours desquelles les nouveaux acquis sont intégrés (assimilation) au savoir ancien. Ce type d'apprentissage se distingue fondamentalement de l'approche classique par découpage et organisation progressive du savoir (d'abord l'intensité, puis la tension puis, etc.) ou par les objectifs dits opérationnels (être capable d'appliquer les lois des intensités, etc. ...de calculer une puissance, etc.). L'apprentissage est ici piloté par le découpage et l'emboîtement des situations qui assure sa progression, qui permet au mécanisme d'accommodation-assimilation de fonctionner et donc de progresser dans l'appropriation, la construction et la résolution du problème.

Cet apprentissage est nettement facilité par les interactions entre pairs (discussions entre les élèves). Pour que celles-ci aient le maximum de chance de fonctionner de manière heureuse, les élèves travaillent et réfléchissent en petits groupes. Il semble que le nombre de quatre élèves soit bon pour constituer un petit groupe de discussion. Celui de deux (binôme), habituellement utilisé en TP, semble trop faible pour que naisse une bonne discussion. Le recours au « débat » en classe entière qui tourne généralement au cours dialogué entre le professeur et certains élèves ne semble pas efficace non plus à ce niveau, parce que les interactions se font alors en présence et avec l'enseignant « qui sait » et dont on est en droit d'attendre une réponse : il est donc prématuré. Quels sont alors les rôles de l'enseignant dans la gestion de la classe ?

La gestion de la classe par l'enseignant

BROUSSEAU [3] propose d'organiser le déroulement du travail en classe selon des phases d'action, de formulation et de *validation*.

Une phase d'action est un moment de recherche, de discussion en petits groupes où les élèves sont en activité intellectuelle. Ici, l'enseignant s'assure, en passant dans les groupes, que les élèves ont bien compris ce qui leur est demandé et qu'ils sont bien centrés sur le sujet de la tâche. Par ses conseils, il ramène les élèves à leur activité et les soutient dans leur recherche en veillant bien à ne pas induire les réponses. Il convient de remarquer qu'à ce stade du travail, on n'attend pas des élèves qu'ils élaborent la bonne réponse mais simplement la leur. Et surtout qu'ils échangent bien leurs arguments. Ainsi, les élèves dans la deuxième partie de notre exemple, doivent discuter et échanger leurs arguments sur le fait de savoir si le montage en dérivation va ou non modifier la brillance des lampes. Est-ce toujours L1 qui brillera le plus ? L1 va-t-elle briller plus ou moins qu'avant dans le montage en série ? Et pourquoi ? Les discussions portent alors sur les intensités ou sur les tensions voire sur les résistances (les élèves ont déjà rencontré ces grandeurs au collège et ont appris à les mesurer) et, naturellement, sur les brillances attendues. Les groupes chercheront bien évidemment à savoir par une réponse ou même simplement un signe du professeur s'ils sont sur la bonne voie ou non. A ce stade, ce dernier ne doit pas répondre ni même laisser paraître son opinion. C'est la vérification expérimentale qui en décidera ultérieurement lorsque les élèves effectueront le montage, mais on n'est pas encore là.

Dans la phase suivante, - dite phase de formulation - les groupes d'élèves exposent aux autres leurs propositions et leurs arguments c'est-à-dire leurs hypothèses. Ils le font généralement par écrit, sur un transparent ou sur une affiche de manière à permettre, d'une part, de « fixer » les hypothèses et, d'autre part, de confronter les points de vue des différents groupes. Cette phase, est importante et

participe à la création d'un enjeu pour chaque groupe (on ne répond pas n'importe quoi ; on expose et on défend une idée). Le professeur gère alors la prise de parole des groupes et veille à bien mettre en évidence les différents points de vues. Le cas échéant, il peut mettre le doigt sur d'éventuelles contradictions qui apparaissent dans les formulations des hypothèses. Mais il ne s'engagera pas davantage tant que la phase suivante, dite phase de validation, ne se sera pas déroulée : il s'agira alors de trancher entre les différentes propositions. Et cela nécessitera le plus souvent le recours à l'expérience.

Le rôle de l'expérience dans la validation des connaissances

L'utilisation, en classe, de dispositifs matériels peut répondre à plusieurs objectifs. Le premier peut être la simple mise en évidence d'un événement. Ainsi dans notre exemple, le montage, initialement proposé, de deux lampes en série avec une pile, a pour fonction principale de montrer que ces lampes brillent différemment. Il ne s'agit pas, à proprement parler, d'une expérience mais d'une simple « *monstration* ». Dans une situation problème, on associe plutôt le terme d'expérience à la recherche de preuves ; l'expérience est alors construite en vue de valider ou d'invalider les hypothèses retenues à la suite de la phase de formulation et de sélectionner celles qui seront gardées et utilisées par la suite. Les élèves sont invités à participer, totalement ou partiellement, à l'élaboration du protocole expérimental et à sa mise en œuvre. Ils sont guidés dans cette tâche par le souci de soumettre leurs hypothèses à l'épreuve des faits. Que la manipulation soit effectuée en TP par les élèves, ou qu'elle soit réalisée devant eux sur le bureau du professeur, l'expérimentation intervient ici avec toute sa place dans la résolution du problème. Lors de cette phase de validation, le professeur aide les élèves à effectuer et à rendre compte de leurs observations et de leurs mesures. Cette phase donne lieu à des résultats qu'il convient alors d'écrire et d'examiner collectivement sous la conduite du professeur en vue de conclure.

Dans notre exemple, la validation ne se limite pas à regarder quelle est la lampe qui brille effectivement le plus. Il s'agit de soumettre toutes les hypothèses retenues à l'expérience. On mesurera ainsi des intensités, des tensions, on comparera les valeurs obtenues résumées au tableau. On discutera ces valeurs en fonction des caractéristiques du montage, de la brillance observée des lampes, des changements de brillance des lampes d'un montage à l'autre, etc.

A la fin du travail, une phase d'institutionnalisation et de renforcement

Une fois le problème résolu, le professeur doit conclure en institutionnalisant le savoir qui a été élaboré. C'est-à-dire qu'il doit décontextualiser ce savoir en l'extrayant de la situation dans laquelle il a pris son sens pour les élèves. Ainsi, à la fin du travail sur les lampes, les élèves doivent pouvoir comprendre les différents phénomènes ren-

contrés en recourant aux concepts d'intensité, de tension et de puissance. Il appartient alors à l'enseignant de montrer l'intérêt de ces notions pour résoudre d'autres problèmes. Les élèves doivent comprendre, qu'au-delà de la résolution d'un problème à deux lampes, ces concepts, munis de leurs lois de conservation et d'additivité permettent d'interpréter et de prévoir d'autres phénomènes. Le rôle de l'enseignant devient ici plus magistral dans ces moments de discussion et de dialogue avec la classe.

QUELS SONT LES ENJEUX DES SITUATIONS-PROBLÈMES ?

L'exemple sur lequel nous nous sommes appuyés pour illustrer notre propos ne doit pas être pris comme modèle unique de situation-problème. Ce concept, au contraire doit être appréhendé dans toute sa diversité. Les exemples ne manquent pas de propositions de situations diverses tant dans les documents d'accompagnement des nouveaux programmes de physique que sur les sites Internet des différentes académies. Mais au-delà de cette diversité d'apparence existent quelques idées directrices simples qu'il nous faut rappeler ici et qui constituent quelques points de repères importants susceptibles de guider le professeur dans la pratique des situations-problèmes

- 1.- Identifier l'obstacle que l'on se propose d'attaquer et rechercher ou imaginer la situation la plus appropriée. BROUSSEAU nous dit qu'il en existe toujours au moins une celle qui permet aux concepts en jeu d'apparaître avec leur signification essentielle.
- 2.- Organiser les séances en classe en accordant une place importante et essentielle à la construction du problème. Toujours veiller à ce que les élèves entrent dans le processus de problématisation. Pour cette raison, la situation doit toujours rester très concrète et bien accessible aux élèves.
- 3.- Si l'on doit recourir à des dispositifs sophistiqués, veiller à les rendre nécessaires et à ce que cette nécessité ait été comprise par les élèves (on n'étudiera pas, par exemple, un mouvement sur table à coussin d'air tant que l'on n'aura pas compris la nécessité de s'affranchir des frottements).
- 4.- Éviter les situations déjà modélisées (« soit un point matériel se déplaçant sans frottement », etc.). Démarrer plutôt par l'étude d'une situation réelle et non épurée et faire participer les élèves à sa modélisation (par exemple étudier d'abord la chute d'un objet ralenti par l'air avant de réfléchir aux conditions qui doivent être réunies si l'on désire n'étudier que l'action de la pesanteur sur la chute de celui-ci).
- 5.- Organiser de préférence le déroulement des activités en respectant les phases d'action - formulation - validation.
- 6.- Ne faire observer un événement inconnu qu'après en avoir fait prévoir et argumenter les différentes éventualités (« A votre avis, si je fais cela, que va-t-il se passer et pourquoi ? »).

- 7.- Mettre les élèves en activité intellectuelle. Cela peut être obtenu en favorisant la réflexion, la discussion et la production d'hypothèses en petits groupes de quatre ou cinq élèves.
- 8.- Associer les élèves à l'élaboration de l'expérience. Si le choix du matériel peut s'avérer parfois difficile, les élèves peuvent participer à la mise au point du dispositif et à la construction du protocole expérimental.

Il convient également de dire ici qu'en raison de la très grande résistance des conceptions dont témoignent les erreurs des élèves, l'obstacle visé ne peut généralement pas être dépassé rapidement. Plusieurs situations-problèmes sont le plus souvent nécessaires pour ébranler une conception et contribuer ainsi au développement conceptuel de l'élève. De fait, une situation-problème est généralement pensée à l'intérieur d'un dispositif plus large d'enseignement. Ainsi la question du transfert d'énergie électrique n'est pas épuisée avec le problème des deux lampes. Il conviendra d'y revenir à l'occasion d'autres travaux, d'autres situations en électrocinétique. C'est en fait, au niveau de l'ensemble de la mise en oeuvre du programme, semaine après semaine, situation après situation, que l'obstacle peut se fissurer de manière durable. En l'occurrence, on ne doit jamais perdre de vue qu'il n'y a pas de changement conceptuel rapide et radical.

Des exemples de telles activités ont déjà été expérimentés dans des classes de physique des lycées et collèges. Les nouveaux programmes mis en place récemment y contribuent. Les documents d'accompagnement des classes de seconde et de première y font largement appel. Les premiers résultats observés semblent très encourageants non seulement parce qu'ils témoignent d'un regain d'intérêt des élèves pour le cours de physique, et de la satisfaction des enseignants, mais encore parce qu'ils se traduisent souvent par un meilleur niveau d'assimilation et de compréhension de la physique. De plus, l'expérience montre qu'en construisant et en mettant en place dans leur classe des situations-problèmes, les enseignants s'engagent dans une dynamique imaginative d'innovation pédagogique. Il apparaît en effet que les situations s'usent lorsqu'on s'en sert, qu'elles sont en quelque sorte victimes d'obsolescence et que le professeur éprouve rapidement le besoin de les renouveler. Il n'y a pas (et il n'y aura pas au moins pour cette raison) de manuels, de recueils de situations problèmes si ce n'est à l'usage exclusif des enseignants et pour que ces derniers les transforment et les fassent vivre dans leur classe à leur convenance. Quel sens, quel intérêt y aurait-il, en effet, à ce que les élèves les trouvent énoncées et résolues dans leur manuel scolaire ?

Nous voudrions terminer en rappelant également que la démarche d'apprentissage par le problème dépasse bien évidemment la notion de situation-problème. L'introduction récente de travaux personnels encadrés en classe de première et de terminale relève également de la même approche. La différence est qu'ici les contraintes ne pèsent plus de la même façon. On dispose de temps pour étudier une question personnelle en profondeur. Partir d'une question apprendre à la problématiser, c'est-à-dire à la mettre en relation avec les connaissances disponibles, à

en examiner les dimensions et les enjeux scientifiques, formuler des hypothèses concernant les paramètres et grandeurs susceptibles de jouer un rôle dans les phénomènes étudiés, élaborer un dispositif d'expérimentation, d'étude de ces phénomènes et de validation de ces hypothèses, mettre au point le dispositif, le faire fonctionner analyser les résultats et rendre compte de ce travail, tout cela relève à l'évidence d'une démarche analogue, celle qui vise à redonner aux savoirs scolaires leurs sens pléniers. L'élève pourrait alors, dit Fabre, les investir dans ses projets car il en apercevrait l'intérêt social. Et il ne serait pas trompé sur la valeur épistémologique de la marchandise.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ARSAC G. Problèmes ouverts et situations-problèmes. *Publications de l'IREM de Lyon*, 1989.
- [2] BACHELARD G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, 1972.
- [3] BROUSSEAU G. Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 1986, vol. 7.2, p. 33-113.
- [4] BROUSSEAU G. Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 1988, vol. 9,3, p. 309-336.
- [5] CHALMERS A.F. *Qu'est-ce que la science ?*. Paris : La découverte, 1987.
- [6] FABRE M. *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris : Presses Universitaires de France, 1999.
- [7] JOHSUA S. et DUPIN JA. L'électrocinétique du collège à l'université. *Bull. Un. Phys.*, avril 1986, vol. 80, n° 683, p. 779-800.
- [8] JOHSUA S. et DUPIN JA. *Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang, 1989.
- [9] ROBARDET G. et GUILLAUD J.-C. *Éléments de didactique des sciences physiques*. Paris : Presses Universitaires de France, 1997.
- [10] ROBARDET G. Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes, *Bull. Un. Phys.*, janvier 1990, vol. 84, n° 720, p. 17-28.
- [11] ROBARDET G. Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. *Didaskalia*, 1995, n° 7, INRP.
- [12] VIENNOT L. *Raisonnement en physique, la part du sens commun*. Bruxelles : De Boeck Université, 1996.

Tratto da

BUP (Bulletin de l'union des physiciens) no 836 pp 1173-1190