

Séquence d'enseignement de l'électricité construite à partir de données épistémologiques et didactiques : compte rendu d'innovation

Construction of a teaching sequence of electricity from epistemological and didactical data : report of innovation

Abdelmadjid BENSEGHIR

Département de physique, université Ferhat Abbas
19000, Sétif, Algérie.

Résumé

Cet article a trait à une séquence d'enseignement visant à amener des élèves de collège novices à s'approprier un modèle circulatoire partiel du circuit électrique par le biais d'une démarche hypothético-déductive. L'accent est mis sur la consolidation du rôle de la contradiction empirique par optimisation du degré d'implication des élèves dans la phase de conception de l'expérience-test. À cet effet, une importance particulière est attribuée au cadre de référence des élèves dans le choix et dans la mise en œuvre du dispositif expérimental correspondant. L'essai en classe met en évidence des effets jugés probants concernant tant la libération d'un espace d'initiative pour les élèves que le changement conceptuel escompté.

Mots clés : *circuit électrique, conceptions, contradiction empirique, expérience-test, enseignement.*

Abstract

This paper deals with a teaching sequence aiming to make uninformed middle school pupils appropriate a preliminary circulatory model of simple electric circuit. Using a hypothetico-deductive approach, we focused the attention on the consolidation of the empirical contradiction role, by optimizing the learners' implication degree in the conception phase of test experiment. For this purpose, we attributed a particular importance to the pupils' reference frame in the choosing and in the use of the correspondent experimental device. A testing class has brought into evidence effects considered as probative concerning both the freeing of an initiative space for the pupils and the expected conceptual change.

Key words : *electric circuit, conceptions, empirical contradiction, test experiment, teaching.*

INTRODUCTION

L'élaboration et la réalisation d'un enseignement élémentaire sur le circuit électrique, fondé sur une approche constructiviste de l'apprentissage, ont fait l'objet de nombreuses recherches ces dernières décennies (Cosgrove et al., 1985 ; Arnold & Millar, 1987 ; Johsua & Dupin, 1987 ; Tiberghien et al., 1995). Les activités proposées visent en particulier l'introduction du « débat scientifique » en classe comme gage d'un renforcement de l'implication des élèves dans la construction de leur propre savoir. Dans les processus de modélisation engagés, associés généralement à l'idée de démarche hypothético-déductive, la contradiction empirique produite au moyen d'expériences-tests est supposée jouer un rôle décisif. En réalité, l'examen des séquences d'enseignement en cause incite à nuancer ce jugement. En effet, la part d'initiative des élèves dans la conception de l'expérience-test ou de ce qui en tient lieu est parfois réduite à la portion congrue, l'attention de ceux-ci n'étant le plus souvent sollicitée que pour l'anticipation des résultats correspondants.

Il est admis que, dans le processus de production de la connaissance scientifique, l'effort créatif ne se limite pas à l'élaboration d'hypothèses ou de modèles comme solutions conjecturales aux problèmes posés. La mise au point de modalités de mise à l'épreuve de ces hypothèses ou de ces modèles, loin de se ramener à une opération de déduction mécanique, relève aussi de l'effort inventif (Bunge, 1975 ; Oléron, 1982). Faisant l'hypothèse que

de telles considérations sont transposables dans le domaine de l'apprentissage, il nous semble pertinent d'insister davantage sur l'implication des élèves dans la mise au point de la « preuve » expérimentale comme facteur de réussite des démarches de modélisation de type hypothético-déductif. La prise en charge d'une telle préoccupation suppose qu'une attention conséquente soit portée à l'élaboration de la situation didactique correspondante.

Dans cet esprit, nous avons entrepris la construction et l'essai d'un ensemble de séquences d'enseignement visant une modélisation qualitative graduelle du circuit électrique par des élèves de collège novices. Le présent article concerne la première de ces séquences, laquelle a pour objectif l'adhésion à l'idée que « quelque chose » circule dans le circuit électrique d'un pôle à l'autre du générateur (une pile) en traversant le récepteur (une ampoule, un moteur électrique, etc.) qu'il fait « fonctionner ». Il s'agit d'une explication qui, bien que partielle (dans la mesure où elle n'explicite pas l'idée de circulation complète, ni celle de conservation du courant), n'en constitue pas moins un jalon important dans l'élaboration d'un modèle de courant compatible avec les connaissances scientifiques actuelles.

Cette séquence s'adresse précisément à des élèves de huitième année de l'école fondamentale (EF) (cursus d'enseignement obligatoire de neuf ans en Algérie). À ce niveau (âge moyen 14 ans, grade 8), les élèves n'ont encore eu aucun enseignement systématique sur les circuits électriques, à l'exception d'éléments descriptifs sur les conducteurs et les isolants et d'activités sporadiques au cycle primaire portant sur la règle opératoire de fermeture.

Avant d'exposer les résultats de l'essai en classe, nous explicitons les traits essentiels du travail préparatoire engagé.

1. ÉLABORATION DE LA SÉQUENCE

1.1. Prise en compte des conceptions préalables des élèves

Il est notoire que les élèves disposent très tôt d'idées intuitives structurées sur le circuit électrique simple (Tiberghien & Delacôte, 1976 ; Benhamida, 1980 ; Closset, 1989). De telles « conceptions » évoluent avec le niveau scolaire, tout en montrant, pour certaines d'entre elles, une certaine résistance à l'enseignement. Au niveau concerné par la présente étude, seules les conceptions « bifilaires » supposant la maîtrise de la règle opératoire de fermeture prévalent chez les élèves. Dans l'inventaire correspondant (figure 1), la conception (B), dite des « courants antagonistes », est celle qui a habituellement la prépondérance. Sa résistance assez tenace à un premier enseignement de type ordinaire (par opposition à un enseignement d'inspiration constructiviste) est rapportée par différents auteurs (Cosgrove et *al.*,

1985 ; Shipstone, 1985 ; Johsua & Dupin, 1987). La conception circulaire a, selon les données de la littérature, très peu cours chez de jeunes élèves novices. Le cas échéant, elle se réduirait selon toute probabilité à la forme partielle (C) assimilable au modèle de courant décrit plus haut. La conception (A) admettant l'existence d'un « courant » dans un seul des deux fils de connexion (Shipstone, 1985) ne persisterait, en raison de son caractère fruste, qu'à l'état de traces dans la population visée.

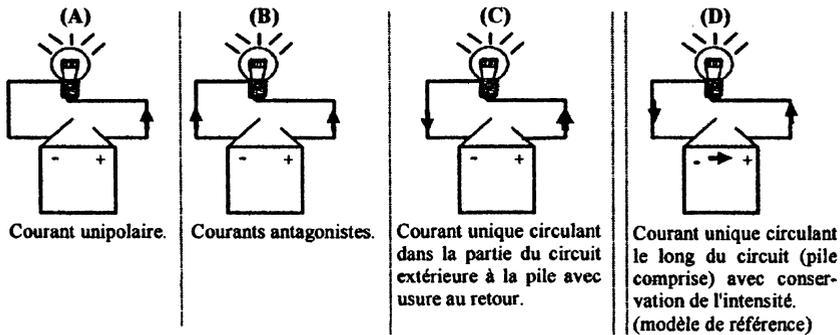


Figure 1. Conceptions bifilaires du circuit électrique simple

La mise en échec de la conception (B) et la promotion concomitante de la conception (C) par l'entremise d'une démarche hypothético-déductive constituent le principe de la stratégie d'apprentissage adoptée. La mise en pratique de celle-ci se conforme principalement à la procédure dite de « validation explicite » (Johsua & Dupin, 1993 ; Robardet, 2001) dont nous évoquons ci-après les aspects relatifs à l'activité expérimentale.

1.2. Nature des situations expérimentales mises en jeu

Dans sa plus simple expression, la procédure précitée fait appel à deux situations à caractère expérimental, se différenciant par leur fonction épistémologique et didactique. La première, intervenant au « départ » de l'opération d'enseignement, sert de support à la « dévolution du problème », c'est-à-dire l'action par laquelle le maître conduit les élèves à assumer un problème autour duquel est construit le projet d'apprentissage (Brousseau, 1986). La seconde est à visée de validation ou d'objectivation. Sa fonction didactique est double : permettre l'exercice du jeu hypothético-déductif et favoriser le franchissement de l'obstacle représenté par une ou des conceptions « préalables ».

Au titre de la mise au point d'une telle situation problème, nous avons eu recours au procédé des deux boussoles dont nous précisons les caractéristiques et les modalités de mise en œuvre dans la présentation qui suit.

1.3. Emploi du procédé des deux boussoles

On place de part et d'autre d'une ampoule faisant partie d'un circuit électrique simple ouvert une boussole sur (ou sous) le fil conducteur, lequel est orienté parallèlement au méridien magnétique. En fermant le circuit, les deux aiguilles aimantées dévient, en sens contraire, d'un certain angle par rapport à leur direction initiale.

L'utilisation de cette situation vise à induire des prévisions à propos du comportement des aiguilles, compatibles avec la conception (B) (déviation de même sens). Il est attendu qu'une prise de conscience de la contradiction entre une telle anticipation et l'observation expérimentale ait lieu chez les élèves et conduise à la remise en cause de cette conception. L'intérêt de ce procédé pour la réalisation de l'objectif poursuivi tient à deux aspects. Le premier a trait à l'emploi de la boussole. À la différence d'autres « détecteurs » de courant (ampèremètre, diode électroluminescente), celle-ci a l'avantage d'être un objet à la fois simple, dépouillé, plus ou moins familier pour des élèves de collège et se disposant hors du circuit. Ces atouts sont susceptibles d'être mis à profit pour favoriser une large initiative chez les élèves, notamment dans la phase de conception de l'expérience-test. En particulier, la fonction détectrice de courant impartie à la boussole peut être avantageusement prise en soi comme objet d'investigation avant de constituer un moyen de mise à l'épreuve des conceptions en débat. Le second aspect consiste dans la possibilité offerte aux élèves de « penser » la démarche de preuve dans leur propre système d'idées, cela étant supposé propre à affermir leur adhésion au processus d'objectivation envisagé.

Le procédé en question a été essayé dans des classes de sixième et quatrième françaises (12 et 14 ans), après celui des « deux ampèremètres », ce dernier n'ayant pas permis aux élèves de changer de conception (Johsua & Dupin, 1987). À part le fait que peu d'informations sont données sur le déroulement et donc sur le niveau d'implication des élèves, la présentation d'emblée de la boussole comme un **détecteur de sens de courant** a sans doute limité l'effort d'investigation de ceux-ci. Il nous a semblé préférable d'associer à la boussole seulement l'idée de **détecteur éventuel de courant**, laissant aux élèves la possibilité d'investir eux-mêmes celle de discrimination des courants (par le biais du sens).

1.4. Schéma des activités

La séquence s'étale sur une séance unique de deux heures, organisée selon le schéma suivant :

- réalisation de l'expérience de départ (allumage d'une ampoule) et dévolution du problème (explication de l'allumage de l'ampoule) ;

- expression des conceptions grâce à un questionnaire papier-crayon ;
- dépouillement collectif des réponses avec mise en place d'un groupe de tri ;
- débat axé sur la défense de chacune des conceptions exprimées avec possibilité de réaliser les expériences proposées par les uns et les autres.

À ce débat contradictoire mené jusqu'à saturation succède toute une phase tournant autour de l'expérience-test : concertation à propos d'une alternative pour trancher la question en discussion, présentation de l'objet boussole, recherche de la fonction détectrice de courant, mise au point du « projet » d'expérience-test et mise à l'épreuve des conceptions. Dans cette dernière étape un questionnaire-outil est soumis par écrit à tous les élèves. Enfin, une évaluation finale de la séquence est prévue au moyen d'un questionnaire papier-crayon.

2. CONDITIONS DE RÉALISATION DE LA SÉQUENCE

Huit groupes d'une vingtaine d'élèves chacun (représentant au total 149 élèves) prennent part à la séquence. Les essais sont insérés dans le schéma horaire réservé à l'éducation technologique (ET), une discipline couvrant des thèmes de physique et de technologie. L'enseignement de la séquence est assuré par les trois professeurs habituels de cette discipline. Adhérant à titre individuel à l'expérimentation, ceux-ci bénéficient pour la circonstance d'une formation préalable comprenant des séances d'information et de concertation relatives au projet de séquence (problématique, protocole des activités, aspects techniques, préparation des conditions d'enseignement). La langue d'enseignement est l'arabe classique ; toutefois, pour favoriser la fluidité d'expression chez les élèves, une dérogation est faite en faveur de l'arabe parlé durant les discussions.

Le déroulement de la séquence obéit à un certain nombre de contraintes faisant l'objet de consignes destinées aux professeurs :

- nécessité de réserver une place importante aux débats en faisant des interventions les moins informatives et suggestives possibles (le professeur ne donne pas la « bonne réponse », ne fait usage que des termes « techniques » repris aux élèves, il essaie d'amener ceux-ci à faire eux-mêmes des regroupements, à justifier le plus possible leurs arguments, etc.) ;
- nécessité d'admettre une part de tâtonnement dans les activités manipulatoires avec prise en compte de l'économie temporelle globale de la séquence.

Compte tenu du nombre important de groupes d'élèves engagés, l'exposé des résultats est présenté sous une forme synthétique, ce qui n'exclut pas de faire mention, le cas échéant, d'événements ou de faits singuliers significatifs.

3. DESCRIPTION DE LA SÉQUENCE ET RÉSULTATS

3.1. Dévolution du problème et expression des conceptions

Au début de la séquence, le professeur demande aux élèves d'allumer une ampoule à l'aide de fils et d'une pile. Il s'applique ensuite à créer chez eux le besoin de rendre compte du phénomène produit en les incitant à s'interroger sur ce que celui-ci est susceptible de soulever pour eux comme questions. Une question (Q1) formalisant la préoccupation suscitée est posée à tous les élèves (annexe 1). Les réponses s'apparentent en forte majorité à la conception (B), c'est-à-dire une explication en termes de « courants antagonistes » (tableau 1, 2^e ligne).

	A	B	C	Divers
8 ^e AF N=149	8	79	12	1
9 ^e AF N=245	0	47	50	3

Tableau 1. Fréquence des conceptions en pourcentages (question Q1)

À titre de prise de repères, nous avons posé la même question Q1 à 245 élèves en 9^e AF, en fin d'année scolaire. C'est à ce dernier niveau de l'EF que se concentre habituellement l'enseignement de l'électricité. Celui-ci prenant pratiquement tout le volume horaire annuel réservé à l'ET, est de consistance « classique », c'est-à-dire introduisant l'électrocinétique à partir d'éléments d'électrostatique interprétés en termes de structure de la matière. On observe dans ce cas une prégnance encore forte de la conception (B) (tableau 1, dernière ligne), avec le plus souvent une différenciation « électrostatique » des « courants antagonistes » : les deux courants sont des courants de charges positives et de charges négatives, issues des pôles + et – de la pile. Une élève, désignée comme « très bonne » dans sa classe, écrit : « *Lorsqu'on relie les deux fils aux bornes de la pile, dans le premier fil se déplacent des électrons positifs alors que dans le deuxième fil se déplacent des électrons négatifs. Puisqu'ils ont des signes différents, il est évident qu'il y aura attraction ; chaque signe + s'unit avec un signe – dans le filament et la lampe s'allume.* »

Ces données permettent de réaffirmer l'intérêt d'envisager un traitement didactique « différent » pour la conception en cause.

3.2. Débats contradictoires

Après avoir répondu à la question Q1 les élèves procèdent au tri des réponses en s'aidant des dessins annotés de flèches. Ensuite s'engage entre

eux un débat contradictoire dont les aspects réglementaires sont proposés par le professeur. Malgré la disparité numérique entre les partisans respectifs des conceptions en lice, (B) et (C) essentiellement, les discussions sont en général très vives et soutenues pendant une grande partie du temps imparti. Le confinement strict au rôle d'animateur du professeur n'est pratiquement affecté que dans deux groupes où la conception (C) n'apparaît pas lors du dépouillement des réponses. Le professeur participe dans ce cas à introduire cette conception de manière indirecte dans une formule du genre : « *Dans un autre groupe, certains élèves considèrent que... Qu'en pensez-vous ?* » On constate alors un à deux cas seulement d'adhésion à la conception intruse.

Dans les commentaires échangés, on retrouve en substance les arguments rapportés dans la littérature, avec en outre des éléments de justification complémentaires ou inédits, notamment des propositions d'expériences-tests que les élèves réalisent séance tenante (annexe 2). La répétition des mêmes arguments marque, avec l'atténuation de l'ardeur à convaincre des protagonistes, la saturation des débats. Finalement, le professeur constate que les élèves ne changent pratiquement pas de point de vue : un ou deux élèves seulement par groupe, toutes tendances confondues, reviennent explicitement sur leur conviction initiale, que ce soit de l'explication (B) vers (C) ou l'inverse. Les élèves restent donc sur leur faim, ne sachant pas vraiment qui a raison. C'est alors que, faisant le point sur la situation du débat, le professeur leur propose de trouver une « vraie » expérience-test, ce qui entre en résonance avec leur attente.

Afin de favoriser l'initiative des élèves dans cette recherche, deux étapes distinctes ont été prévues. La première a trait à l'investigation de la fonction détectrice de courants de la boussole (hypothèse-instrument) ; la seconde concerne l'exploitation de cette fonction pour la mise à l'épreuve des conceptions concurrentes (hypothèses-cibles).

3.3. Mise en évidence de la fonction détectrice

Les élèves abordent cette étape à partir d'une suggestion du professeur : trouver, pour trancher la question, un dispositif propre à révéler l'existence d'un courant en un endroit donné du circuit. En l'absence prévisible de solutions « sérieuses » émanant des élèves, le professeur prend l'initiative de présenter la boussole au titre éventuel de dispositif recherché. Cette proposition recueille l'approbation générale dans tous les groupes où l'on oublie, pour un moment, l'enjeu principal pour s'apprêter à l'investigation de la fonction visée.

Autour de la paillasse, sur laquelle se trouve le circuit complété et vérifié par les élèves puis laissé ouvert, une discussion s'engage alors sur les

conditions d'utilisation de la boussole. La manière dont sont appréhendés les différents aspects de cette investigation est décrite ci-après.

3.3.1. Emplacement de la boussole

Ce point suscite spontanément dans chaque groupe l'idée de rapprocher la boussole de l'endroit sujet à la détection. Poussés à préciser la solution préconisée, les élèves proposent le plus souvent de mettre la boussole sur l'une des portions du fil conducteur reliant le pôle + de la pile à l'ampoule. Le choix de ce fil qui semble lié au statut accordé par les élèves au pôle + (pourvoyeur principal ou exclusif d'« électricité ») permet incidemment d'éviter de précipiter le rejet de la conception (A) avant la réalisation de l'expérience-test. En dernier ressort et après concertation, la disposition de la boussole sur la portion du fil parallèle à l'axe médian du circuit passant par la pile et l'ampoule est retenue.

3.3.2. Position relative aiguille aimantée-fil conducteur

L'évocation de cet aspect est le fait exclusif de l'enseignant, mais l'inventaire des positions possibles (perpendicularité, intersection quelconque, parallélisme), est établi avec succès par les élèves. Pour concrétiser la position souhaitée, ceux-ci focalisent de prime abord leurs efforts opératoires sur la boussole (en fait sur le boîtier). Après une courte période de tâtonnement collectif, ils réalisent, sans l'aide du professeur, qu'il faut faire tourner la planche portant le circuit pour atteindre le but visé.

3.3.3. Nature de l'effet de détection

L'idée de déviation de l'aiguille, sans spécification de sens ou d'amplitude, comme indice éventuel du passage d'un courant dans le fil, est avancée à l'unanimité dans chaque groupe. À titre marginal est évoquée également l'hypothèse d'une « vibration » de l'aiguille.

3.3.4. Réalisation des essais

L'ordre des manipulations pour positionner l'aiguille par rapport au fil conducteur varie d'un groupe à l'autre. Bien que son amplitude soit faible avec l'usage d'une seule ampoule (dans les conditions expérimentales préalables de parallélisme, figures 2a et 2b), la déviation observée fait l'effet d'une « découverte » dans tous les groupes. L'emploi d'un ensemble d'ampoules (montées en dérivation, figure 2c), suggéré par le professeur, permet de renforcer cet effet et d'induire une mise en relation qualitative entre amplitude de la déviation et intensité de courant (au sens intuitif ou métaphorique) exploitable ultérieurement.

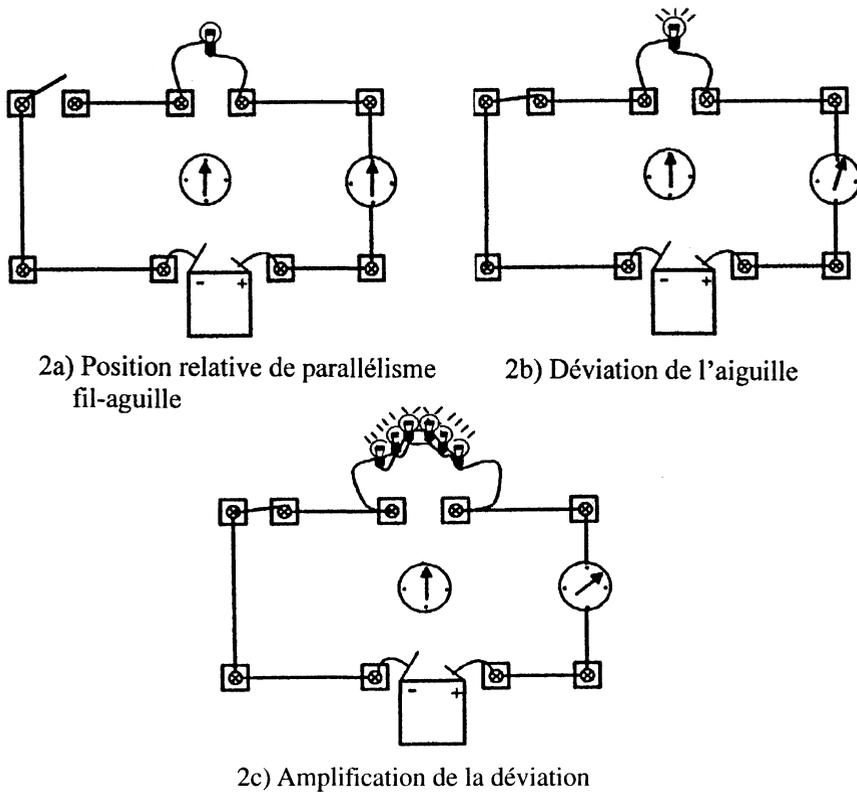


Figure 2. Mise en évidence de l'effet de détection

3.4. Mise au point de l'expérience-test

La procédure, permettant de trancher en faveur de l'une des conceptions rivales, apparaît d'une évidence telle que certains élèves la proclament avant même que le professeur n'engage la discussion à son propos. À cet effet, la solution de déplacer la première boussole sur l'autre fil reliant la pile à l'ampoule ou celle de disposer d'une seconde boussole et de voir leur « comportement » ressortent quasi spontanément.

L'initiation à la fonction détectrice permet de graduer l'effort prévisionnel sollicité des élèves dans le cadre de la procédure de validation retenue. Elle rend particulièrement aisée leur implication dans la dernière étape de la mise au point de l'expérience-test. Ainsi, dans l'opération d'explicitation des anticipations rapportées à chaque conception (voir la question Q2 en annexe 1), les élèves font preuve, en général, d'une prise de distance réelle par rapport à leur conviction propre. Un large consensus est alors vite réalisé en faveur des prévisions attendues (figure 3). À cet égard, l'anticipation

relative à la conception (A) leur semble triviale ; celle concernant la conception (B) répond au motif que la deuxième boussole doit « se comporter » de la même façon que la première en raison de la « *similitude de sens des deux courants* », le sens d'orientation pile-ampoule étant plus ou moins affirmé comme référence. Enfin, à propos de la conception (C), les élèves admettent une différence de « comportement » des deux boussoles qu'ils traduisent plus ou moins facilement en termes de différence de déviation des aiguilles. À ce sujet, deux variantes de direction finale de la deuxième aiguille sont le plus souvent proposées : Nord-Ouest (correcte) et Sud-Ouest. Cette dernière, bien qu'erronée, est retenue au même titre que la première, avec l'assentiment « forcé » du professeur.

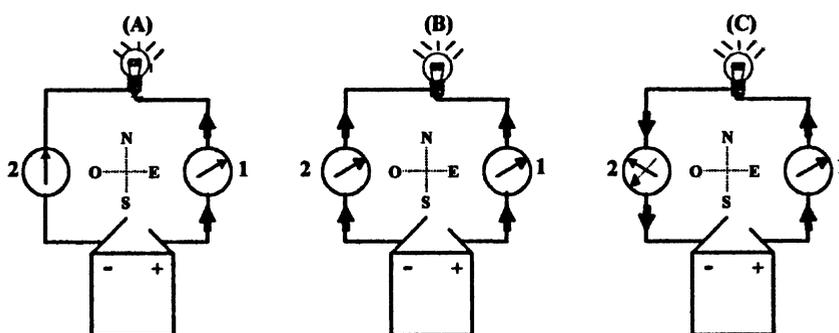


Figure 3. Déviation des aiguilles en fonction des conceptions

Avant le passage à l'expérience un questionnement, relatif au degré de confiance accordé au procédé en jeu pour la réalisation de l'objectif poursuivi, donne lieu à une approbation collective des élèves dont certains font preuve d'impatience à connaître la « réponse » du montage.

3.5. Verdict expérimental et attitude des élèves

Le résultat de la manipulation (figure 4) reconnu comme nettement favorable à la conception (C) produit surprise et satisfaction manifestes dans tous les groupes. Passé ce moment, certains élèves, partisans de la conception « déçue » (c'est-à-dire (B)), surtout les tenants de cette conception dans les débats, reprennent avec vigueur la question de l'usure de la pile sans toutefois mettre en cause le verdict expérimental. Dans certains groupes, où de telles réactions sont très fortes, les élèves demandent expressément des clarifications sur le sujet et posent cela comme condition à leur adhésion définitive à la conception circulaire. En général cependant de telles hésitations n'apparaissent pas propres à susciter de nouveaux débats. L'argument de l'usure du courant, opposé auparavant par les partisans de la conception (C), devient

conjoncturellement très persuasif et permet l'établissement d'un consensus provisoire dans l'attente d'une prise en charge annoncée du problème en suspens.

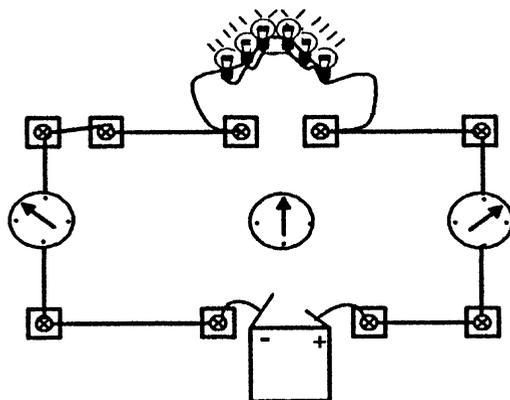


Figure 4. Verdict expérimental

4. ÉVALUATION FINALE DE LA SÉQUENCE

4.1. Modalités d'évaluation

Un questionnaire papier-crayon mettant en jeu des situations d'interprétation et de prévision relatives au fonctionnement d'un petit moteur électrique est soumis aux fins d'évaluation aux 149 élèves ayant participé à la séquence. Le questionnement a la particularité d'être progressif et de faire appel à un support expérimental (annexe 1). Il s'agit, en premier lieu, d'expliquer le fonctionnement du moteur mis effectivement en marche (question Q3), puis de prévoir ce qu'advientra ce fonctionnement si l'on procède à une intervention des pôles de la pile dans le circuit considéré (question Q4), et enfin, de rendre compte *a posteriori* de l'inversion du sens de rotation du moteur (question Q5). La passation du questionnaire a lieu en classe (réunion de deux groupes d'élèves), une semaine après la séance de formation. Pour permettre une certaine comparaison des résultats le même questionnaire est posé dans les mêmes conditions à 115 élèves « témoins » de 8^e AF.

4.2. Résultats

4.2.1. Explication du fonctionnement du moteur

Lorsqu'il faut expliquer le fonctionnement du moteur, la conception (C) est explicite dans la plupart des réponses fournies dans les classes expé-

riméntales (tableau 2). Les commentaires sont assez riches et font le plus souvent référence à un lien causal entre circulation du courant et rotation du moteur comme l'indique cet exemple : « *La cause de la rotation est le déplacement de l'électricité, c'est-à-dire l'énergie, dans le moteur (...) Lorsque l'énergie entre dans le moteur, elle tourne dedans et par sa rotation le moteur tourne.* » De même, sans être suggérée, l'idée d'usure du courant après le passage dans le moteur, exprimée diversement, revient fréquemment, confirmant ainsi la tendance observée à ce sujet en fin de séquence. Un élève écrit : « *L'énergie emmagasinée au pôle positif de la pile se met en mouvement à travers le fil (1) vers le moteur ; celui-ci tourne puis les charges mortes retournent à travers le fil (2) au pôle négatif.* » Dans les classes témoins, les explications présentées ne diffèrent sensiblement pas, tant en nature qu'en répartition, de celles qu'inspire ordinairement la situation de l'ampoule (question Q1) chez des élèves du niveau considéré. Toutes ces données laissent penser que la participation à la séquence a provoqué dans chaque groupe un véritable basculement en faveur de la conception circulatoire.

	A	B	C	Divers
8° AF (exp.) N=149	0	14	82	4
8° AF (tém.) N=115	2	89	8	1

Tableau 2. Fréquence des conceptions (question Q3)

4.2.2. Prévisions relatives au fonctionnement du moteur

La majorité des élèves réagit à la proposition d'intervertir les bornes de la pile (question Q4) par le choix de la prévision d'un « fonctionnement différent » du moteur, c'est-à-dire de changement de sens de rotation. Les tenants de la conception (C), qui ont admis cette prévision, mettent clairement en relation sens de parcours de « l'électricité » et sens de rotation du moteur. Ce réinvestissement de la conception circulatoire est ainsi traduit par un élève : « *Car c'est le fil positif qui transmet l'énergie de la pile au moteur tandis que le fil négatif prend l'énergie restante. L'hélice tournera en sens inverse par apport à la première fois car on a renversé la pile ; le positif est passé du côté gauche et le négatif du côté droit (...); l'énergie agira alors du côté gauche.* » Les tenants de (B), qui ont opté pour la même prévision, font prévaloir l'argument d'« échange de place des fils », conjugué parfois avec l'idée de dissymétrie des deux courants. Un élève écrit : « *Car on retourne la pile, c'est-à-dire qu'on met le négatif à la place du positif (et vice-versa) ; car le pôle + a une énergie plus grande que celle du pôle -, ce qui fait que le moteur tournera selon le sens du +.* » Concernant l'éventualité d'un « arrêt du moteur », l'argument de « défaut de correspondance des bornes » prévaut indifféremment dans les commentaires des partisans de (B) ou de (C). Enfin, l'alternative d'un « fonctionnement identique » est retenue essentiellement

par des partisans de (B) avec une justification centrée sur l'idée d'interchangeabilité des pôles de la pile comme l'illustrent ces propos : « *Car l'énergie ne se trouve pas dans le positif seulement ; les bornes du moteur reçoivent l'énergie du + et du -* » ; « *Car la façon de transmettre l'énergie au moteur reste la même.* »

En définitive, la confrontation des élèves à la situation de prévision induit une certaine mobilisation des conceptions sans affecter notablement la répartition initiale de celles-ci.

4.2.3. Explication a posteriori de l'inversion du sens de rotation

L'observation effective de l'inversion du sens de rotation du moteur n'entraîne pas, non plus, de modifications significatives de la distribution des conceptions comme le laissent voir les réponses des élèves à la question Q5 posée après réalisation de l'expérience (tableau 3). Seulement un ou deux élèves par classe délaissent à l'occasion leurs idées sur le sujet. Il s'agit précisément de tenants de la conception (B) ayant opté pour les prévisions « arrêt » ou « fonctionnement identique » en réponse à la question Q4. En outre, ces revirements ne correspondent pas tous à la présentation d'une explication cohérente relevant de la conception (C).

	A	B	C	Divers
8 ^e AF (exp.) N=149	0	5	86	9
8 ^e AF (tém.) N=115	1	82	11	6

Tableau 3. Fréquence des conceptions (question Q5)

À la lumière de ces résultats on peut considérer le questionnaire utilisé comme un indicateur peu « déformant » des conceptions des élèves (expérimentaux ou témoins) concernant le domaine étudié. D'autre part, eu égard à la consistance des situations d'évaluation mises en jeu et dans la limite permise par l'échéance de passation du questionnaire (court terme), il est plausible de conclure à la fois au caractère massif et à la solidité des changements de conception réalisés au moyen de la séquence.

CONCLUSION

Nous avons présenté une séquence d'enseignement visant chez des élèves de collège novices à faire évoluer la conception des « courants antagonistes » vers une conception circulatoire partielle comme première étape de la construction d'un modèle de courant électrique plus élaboré. À cet effet, l'usage du procédé des deux boussoles a permis de dégager un espace d'initiative notable pour les élèves, notamment lors de la mise au point de l'expé-

rience-test, phase privilégiée dans la démarche de type hypothético-déductif adoptée. Les résultats probants enregistrés ont pu être reliés à des considérations « épistémologiques » : simplicité et caractère dépouillé de l'objet boussole, non insertion de cet objet dans le circuit, inscription de la démarche de preuve dans le cadre de la conception familière, etc. Par ailleurs, le changement de conception produit s'est accompagné d'une mutation du problème de départ (explication de l'allumage de l'ampoule) en une préoccupation insistante chez les élèves (explication de l'usure de la pile), propice à la poursuite du processus de modélisation engagé.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNOLD M. & MILLAR R. (1987). Being constructive : an alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *International Journal of Science Education*, vol. 9, n° 25, pp. 553-563.
- BENHAMIDA J. (1980). *Modèle de fonctionnement de circuits simples chez des enfants de 12 ans*. Thèse, université Paris 7.
- BROUSSEAU G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 7, n° 2, pp. 33-115.
- BUNGE M. (1975). *Philosophie de la physique*. Paris, Seuil.
- CLOSSET J.-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 716, pp. 931-950.
- COSGROVE M., OSBORNE R. & CARR M. (1985). Children's intuitive ideas on electric current and the modification of those ideas. In R. Duit, W. Jung & C. von Rhöneck (éds), *Aspects of Understanding Electricity : The proceedings of an International Workshop*. Kiel, IPN, pp. 247-256.
- JOSHUA S. & DUPIN J.-J. (1987). Taking into account student conceptions in instructional strategy : an example in physics. *Cognition and instruction*, vol. 4, n° 2, pp. 117-135.
- JOHNSUA S. & DUPIN J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris, PUF.
- OLÉRON P. (1982). *Le raisonnement*. Paris, PUF.
- ROBARDET G. (2001). Quelle démarche expérimentale en classe de physique ? Notion de situation problème. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 836, pp. 1173-1190.
- SHIPSTONE D. M. (1985). On children's use of conceptual models in reasoning about current electricity. In R. Duit, W. Jung & C. von Rhöneck (éds), *Aspects of Understanding Electricity : The proceedings of an International Workshop*. Kiel, IPN, pp. 73-93.
- TIBERGHEN A. & DELACOTE G. (1976). Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, n° 34, pp. 32-44.
- TIBERGHEN A., PSILLOS D. & KOUMARAS P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactic bases. *Instructional Science*, n° 22, pp. 423-444.

ANNEXE 1

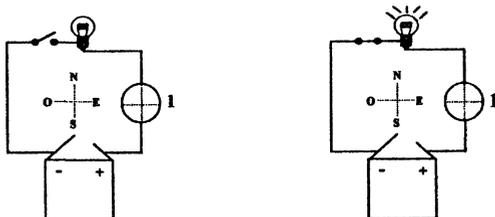
Question Q1

Pour allumer une petite ampoule électrique, on relie ses deux bornes à celles d'une pile. Expliquer par écrit et au moyen d'un dessin* pourquoi l'ampoule s'allume.

Question Q2

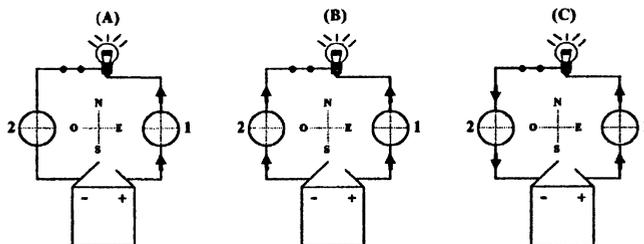
1 Rappel du résultat expérimental relatif à la 1^{re} boussole.

Indiquer la position de l'aiguille aimantée de la boussole dans les deux montages suivants :



2 Anticipations relatives au comportement de la 2^e boussole.

a) Indiquer la position de l'aiguille de la boussole 1 dans les trois cas de figure :



b) Pour chacune des trois conceptions que vous considérez à tour de rôle comme étant la meilleure, indiquer la position que prendrait l'aiguille de la boussole 2.

Question Q3

Pour faire fonctionner un petit moteur électrique on relie ses deux bornes à celles d'une pile. Expliquer par écrit et au moyen d'un dessin* pourquoi le moteur tourne.

Question Q4

On intervertit dans le montage précédent (fig. 1) les bornes + et - de la pile (fig. 2). Que se passera-t-il ?

- Le moteur s'arrêtera.
- Le moteur continuera à fonctionner mais différemment.
- Le moteur continuera à fonctionner de la même façon qu'auparavant.

Cochez la réponse qui vous semble correcte et justifiez-la.

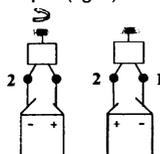


Figure 1 Figure 2

Question Q5

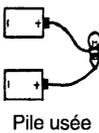
Expliquer pourquoi l'inversion des bornes de la pile produit une inversion du sens de rotation du moteur.

**Lorsque l'enseignant constate qu'un élève mentionne le mouvement de quelque chose dans le circuit (électricité, énergie, force, lumière, etc.), alors il demande à cet élève d'utiliser au besoin de petites flèches pour clarifier le dessin proposé.*

ANNEXE 2 : Synthèse des débats contradictoires

Éléments du débat	Conception (B)	Conception (C)
Traits caractéristiques	Nécessité d'utilisation de deux fils conducteurs. La pile fournit « quelque chose » à l'ampoule (électricité, énergie, force, etc.) qui le consomme entièrement. Le courant positif est plus fort que le courant négatif.	Nécessité d'utilisation de deux fils conducteurs. La pile fournit « quelque chose » à l'ampoule (électricité, énergie, force, etc.) par le fil « positif » (fonction d'acheminement). Une partie est consommée, le reste retourne par le fil « négatif » (fonction de régulation). Compartimentage de la pile : partie + chargée d'électricité, partie - vide (dépotoir de charges usées).
Interrogations suscitées par la conception	Ne pourrait-on pas se passer du courant - puisque le courant + est assez fort ? Où iraient les charges « usées » si les deux fils apportaient l'électricité à l'ampoule ?	Quel intérêt y a-t-il d'avoir un 2 ^e fil qui n'apporte pas l'électricité à l'ampoule ? Quel intérêt y a-t-il dans le retour de l'électricité à la pile ? Comment expliquer l'usure de la pile ?
Arguments en faveur	Il faut les deux courants pour donner à l'ampoule l'énergie suffisante.	Le pôle - assure le retour du courant Le courant ne retourne pas en entier, s'use. La pile s'use car le courant s'use. Il y a « consommation ».
Arguments en défaveur	L'arrivée de deux courants simultanément à l'ampoule la ferait exploser. La fourniture d'électricité par les deux pôles userait vite la pile.	S'il y avait un seul courant, un seul fil suffirait. Il n'y a pas de retour à la pile car l'électricité est consommée par l'ampoule. Il n'y a pas de frottement, de collision entre les courants permettant à l'ampoule de s'allumer.

PROPOSITIONS D'EXPERIENCE-TEST

Montage	Origine	But	Pronostic (*)	Remarques	Réaction au verdict expérimental
 (Fréquente)	Partisans de (C)	Voir : si le pôle - a la même fonction que le pôle + : fournir l'électricité à l'ampoule	Négatif (correct)	Hypothèse mise en doute : interchangeabilité des pôles + et - Principe : utilisation double d'un pôle +	Partisans de (B) : la quantité d'électricité arrivant à l'ampoule est insuffisante, c'est celle du pôle +, simplement dispersée
 (Fréquente)	Partisans de (C)	Idem	Négatif (correct)	Proposée après réaction des partisans de (B) au verdict de l'expérience 1 Principe : utilisation de deux pôles +	Partisans de (B) : mutisme Partisans de (C) : satisfaction
 (Fréquente)	Partisans de (C)	Montrer que le pôle - a un rôle propre : retourner l'électricité restante ou usée	Positif (faux)	Proposée souvent en tandem avec l'expérience 2 Principe : utilisation d'un pôle + d'une pile et d'un pôle - d'une autre pile identique	Consternation dans les deux camps
 Pile neuve Pile usée (rare)	Partisans de (B)	Voir si le pôle - a pour fonction de recueillir les charges usées (dépotoir)	Négatif (correct)	Hypothèse mise en doute : différence de fonction entre les pôles + et - Reformulation de cette hypothèse par des partisans de (B) : pôle - d'une pile neuve ≡ pôle vide ≡ pôle + d'une pile usée	Partisans de (B) : satisfaction Partisans de (C) : mutisme

(*) des auteurs de la proposition, concernant l'allumage de l'ampoule.

Cet article a été reçu le 23/10/2001 et accepté le 11/09/2003.