

LES CIRCUITS ELECTRIQUES

Patrice Raffarin, professeur sciences physiques à l'IUFM de Poitiers

I – Introduction

L'électricité est probablement le domaine dans lequel on perçoit le mieux le lien et la complémentarité entre les sciences physiques et la technologie. En effet, ce sont généralement des situations de départ liées à des objets techniques qui conduiront, par une démarche d'observation et de recherche, à la découverte des premières notions scientifiques permettant notamment la construction du concept de circuit électrique.

Ces situations s'appuient :

- soit sur une observation d'objets, utilisant l'énergie électrique, issus de l'environnement de l'enfant ;
- soit sur un processus de réalisation, le plus souvent d'un objet à caractère ludique, incluant les éléments nécessaires à la création d'un circuit électrique simple.

Même si les programmes du cycle 1 indiquent que les élèves des classes maternelles doivent se familiariser avec l'usage d'appareils électriques fonctionnant avec des piles, c'est essentiellement sur les cycles 2 et 3 que se fera la majeure partie des acquisitions.

Cycle 2

Découverte du monde des objets et matériaux.

La réalisation d'un circuit électrique simple (pile, ampoule, interrupteur) permet de construire quelques connaissances élémentaires dans ce domaine.

L'analyse de quelques pannes (mécaniques ou électriques) doit permettre la mise en relation de la pensée logique et des comportements pratiques.

Cycle 3

Le monde construit par l'homme.

L'élève s'initie, dans le cadre d'une réalisation, à la recherche de solutions techniques au choix et à l'utilisation raisonnée d'objets et de matériaux. Les réalisations comprennent des circuits électriques alimentés par des piles ; elles concourent à découvrir les notions de matériaux conducteurs et isolants ainsi que les propriétés des montages en série et en dérivation.

En outre, il est très important, quel que soit le niveau, de sensibiliser les enfants à la perception du danger du courant électrique. Les principes élémentaires de sécurité doivent être progressivement justifiés par les notions construites, notamment la conductivité de l'eau. On amènera les élèves à adopter un comportement raisonné face aux risques encourus.

Il faudra notamment préciser aux élèves que toutes les expérimentations réalisées en classe avec des piles électriques, ne doivent jamais être reproduites à la maison avec les prises du secteur.

II – Quelques données scientifiques

A – Circuit électrique ouvert ou fermé

La fonction des composants d'un circuit électrique élémentaire peut être définie ainsi :

- **générateur** : produire l'énergie électrique à partir d'une autre forme (à partir d'énergie chimique pour une pile électrique) ;

- **récepteur** : recevoir l'énergie électrique et la transformer en une autre forme d'énergie. Un récepteur peut chauffer, éclairer, ou effectuer un travail mécanique;
- **éléments conducteurs** : établir les liaisons électriques avec les autres composants;
- **interrupteur** : commander le fonctionnement en permettant alternativement l'ouverture ou la fermeture du circuit électrique.

B – Nature du courant électrique dans les conducteurs

- Le courant électrique

La matière est constituée de particules. Certaines d'entre elles possèdent des charges électriques (électrons, protons), mais la matière est naturellement, du point de vue électrique, globalement neutre.

Certaines particules chargées, électrons libres dans les métaux, ions dans les solutions salines ou acides, sont susceptibles de se déplacer, selon un mouvement ordonné, si elles sont soumises à une tension électrique. Lorsque l'on ferme un circuit électrique, il se produit un mouvement d'ensemble des électrons libres, attirés vers le pôle + (borne du générateur que l'on peut assimiler à une accumulation de charges positives) et repoussés par le pôle -.

Le sens **conventionnel** du courant électrique continu est défini du pôle + vers le pôle -, à l'extérieur du générateur, c'est-à-dire dans le sens de déplacement des charges positives (par exemple, des ions positifs d'une solution saline) et donc en sens inverse du déplacement **réel** des électrons libres d'un métal.

- L'intensité du courant électrique

Elle mesure le débit de charges électriques, c'est-à-dire le nombre de charges circulant en un point du circuit par unité de temps. L'unité d'intensité du courant électrique est l'**ampère (A)**. L'intensité se mesure avec un ampèremètre.

- La résistance électrique

La circulation de charges ne se fait pas sans opposition dans un matériau donné. La résistance caractérise cette opposition au passage du courant. Elle dépend des dimensions du conducteur et de la nature de la substance. L'unité de résistance électrique est l'**ohm (oméga)**. La résistance se mesure avec un ohmmètre.

- La tension électrique

Le rôle du générateur est de faire circuler les charges qui sont présentes dans les conducteurs, il ne constitue pas un réservoir de charges. Il doit être considéré comme une pompe à électrons, plus ou moins forte, caractérisée par sa force électromotrice.

Le générateur établit une différence de potentiel électrique aux bornes de la portion de circuit qui lui est reliée : c'est la tension électrique. L'unité de tension électrique est le **volt (V)**. La tension se mesure avec un voltmètre.

Ces trois grandeurs sont liées. L'intensité (I) dépend de la tension (U) délivrée par le générateur, mais aussi des éléments du circuit c'est-à-dire de leur résistance (R). Pour un conducteur métallique (dit ohmique), la relation, appelée loi d'Ohm, est la suivante : **$U = R \times I$**

Il existe aussi la puissance électrique (P) dont l'unité est le watt (W) et l'énergie électrique (E) dont l'unité est le joule (J).

Remarque

Cette analyse ne convient que pour les circuits à courant continu qui fonctionnent avec un générateur de tension constante.

Il existe des générateurs dont la tension délivrée varie rapidement dans le temps. La tension électrique du secteur, délivrée par EDF en France, varie selon une fréquence de 50 hertz. La tension de 220 V est une valeur moyenne dite efficace. Au cours d'une période de 1/50 de seconde, le courant change de sens selon une variation sinusoïdale.

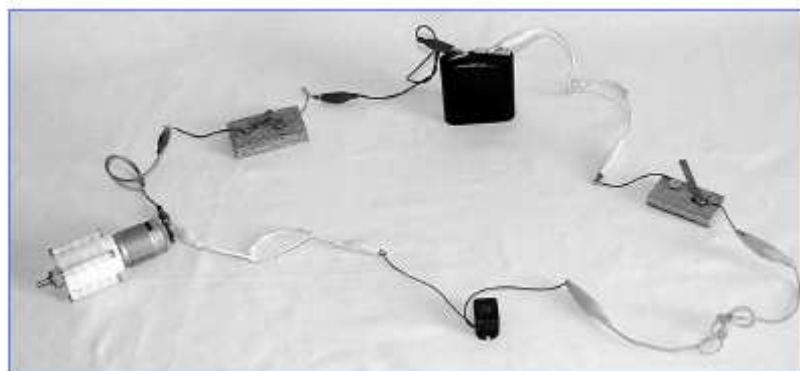
C- Schématisation : dipôles et circuits électriques

Bien que la schématisation codée selon les conventions en usage en électricité ne soit pas au programme de l'école primaire, l'apprentissage de la schématisation commence dès les premiers niveaux. Il passe par la réalisation de schémas à partir de codages propres à la classe, qui peuvent s'affiner progressivement.

Schémas normalisés

DIPÔLES	SYMBOLES
Fil électrique	—
Fils sans contact électrique	+
Fils avec contact électrique	+
Interrupteur ouvert	⊏
Interrupteur fermé	⊔
Lampe	⊗
Conducteur ohmique (résistance)	⊞
Moteur	⊙
Diode	▷
Diode électroluminescente	▷
Générateur (pile)	⊖

D – Circuit série



Montage 1

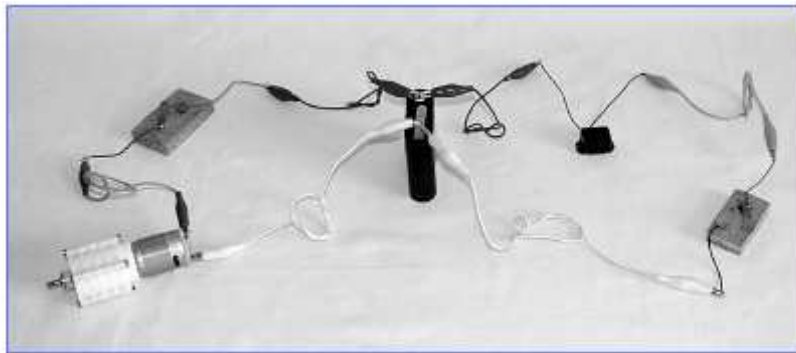
Le moteur et le buzzer sont associés en série. Les deux interrupteurs sont également dans la même branche de circuit. Les deux composants ne sont pas commandés séparément car les deux interrupteurs doivent être fermés pour qu'ils soient traversés par un courant électrique.

De plus, chaque composant est soumis à une partie de la tension délivrée par la pile. L'intensité du courant est alors sensiblement inférieure à sa valeur nominale, aucun composant ne fonctionne.

Dans un **circuit série**, plus il y a de composants, plus l'intensité du courant dans le circuit est faible. La pile utilisée délivrant une tension réelle d'environ 4 volts en fonctionnement, chaque composant est soumis à une partie de la tension délivrée par la pile (2 volts par composant pour deux composants identiques). L'intensité du courant dans la branche unique du circuit est la même en tout point.

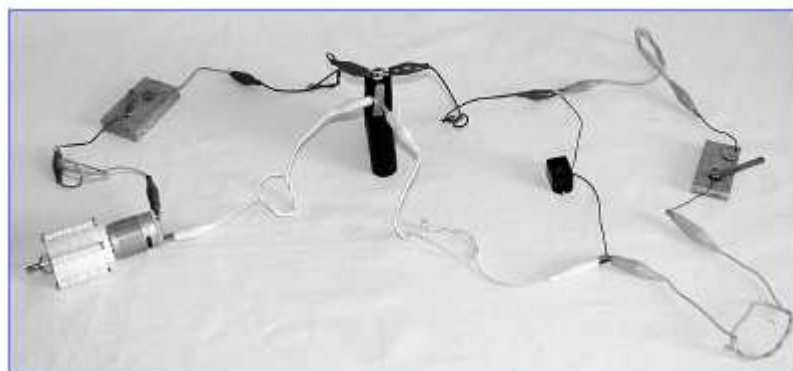
De plus, sur ce type de circuit, quand on démonte un composant, les autres ne fonctionnent pas car le circuit devient ouvert.

E – Circuit en dérivation



Montage 2

Le moteur et le buzzer sont associés en dérivation par rapport à la pile. Les deux interrupteurs sont situés dans chaque branche de circuit, associés respectivement à chaque composant. Ils sont donc commandés séparément, de manière indépendante. Quand l'interrupteur est fermé, le composant associé fonctionne normalement. En effet, aussi bien le moteur que le buzzer sont soumis à une tension de l'ordre de 4 volts.



Montage 3

Les deux composants sont associés en dérivation par rapport à la pile. Le moteur est monté avec un interrupteur dans sa branche. Mais, l'interrupteur qui devrait commander le buzzer est monté en dérivation. Si cet interrupteur est ouvert, le buzzer fonctionne et le moteur tourne si l'interrupteur qui lui est associé est fermé.

Si cet interrupteur est fermé, il établit alors un **court-circuit**. L'intensité du courant qui traverse l'interrupteur fermé dans une branche vide est relativement importante. Le courant qui traverse chacun des deux composants est très faible, ainsi aucun composant ne fonctionne. L'autre conséquence du montage de l'interrupteur en court-circuit est que la pile se décharge rapidement.

Conclusion

Seul le montage 2 permet le fonctionnement satisfaisant du moteur et du buzzer et leur commande indépendante.

En résumé, les propriétés des deux types de circuits (série, dérivation) peuvent être définies ainsi.

Dans un **circuit série**, plus il y a de composants, plus l'intensité du courant dans le circuit est faible. La pile utilisée délivrant une tension réelle d'environ 4 volts en fonctionnement, chaque composant est soumis à une partie de la tension délivrée par la pile (2 volts par composant pour deux composants identiques). L'intensité du courant dans la branche unique du circuit est la même en tout point.

De plus, sur ce type de circuit, quand on démonte un composant, les autres ne fonctionnent pas car le circuit devient ouvert.

Dans un **circuit en dérivation**, chaque composant est soumis à la tension délivrée par la pile (environ 4 volts) et il fonctionne comme s'il était alimenté seul.

Si on démonte un composant, les autres fonctionnent encore car les autres branches du circuit sont fermées.

Dans une installation domestique, tous les éléments (lampes, appareils, prises) sont donc montés en dérivation. Un interrupteur doit être en série dans la branche de l'élément qu'il doit commander.

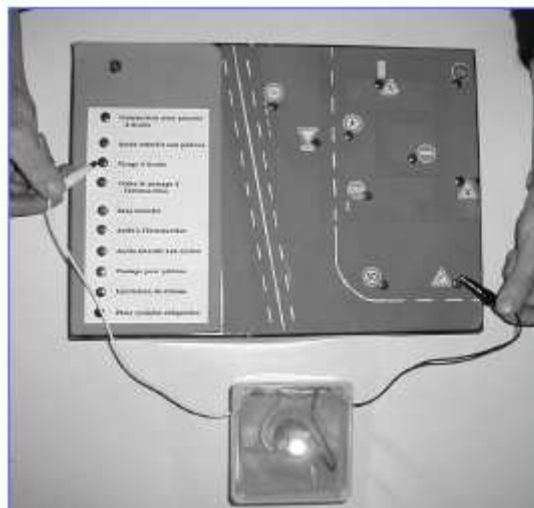
III - Réalisation matérielle, à caractère ludique, au début du cycle 3

A - Analyse scientifique et technologique des documents :



Document 1

L'objet présenté est
conçu sur le
principe d'un jeu
questions-réponses



1. Fonction

Ce produit a une vocation ludique dont le besoin pourrait être formulé de la façon suivante : permettre à un élève de tester ses connaissances en jouant. Mais cet objet possède un caractère didactique si l'enseignant(e) l'utilise pour conforter ou valider des connaissances. Au-delà des acquisitions faites dans le domaine des sciences et de la technologie, l'un des intérêts de cet objet est son caractère

pluridisciplinaire. Il constitue, lors de la rédaction des fiches, un support extrêmement motivant à un travail de recherche dans la discipline ou le thème choisi.

2. Description

L'objet est constitué de deux parties bien distinctes :

- une fiche cartonnée servant de support aux différentes questions et réponses. À chacune d'entre elles est associée un point de contact constitué par une tête d'attache parisienne ;
- une deuxième partie intégrée dans un boîtier le système électrique qui validera ou non la proposition faite par l'enfant. À ce boîtier sont reliées par des fils électriques deux touches, l'une pour pointer la question, l'autre pour pointer la réponse.

Le principe d'utilisation est simple. L'enfant met en relation une question et une réponse en touchant les points de contact correspondants. Si l'association est correcte, la lampe s'allume ; dans le cas contraire, rien ne se passe.

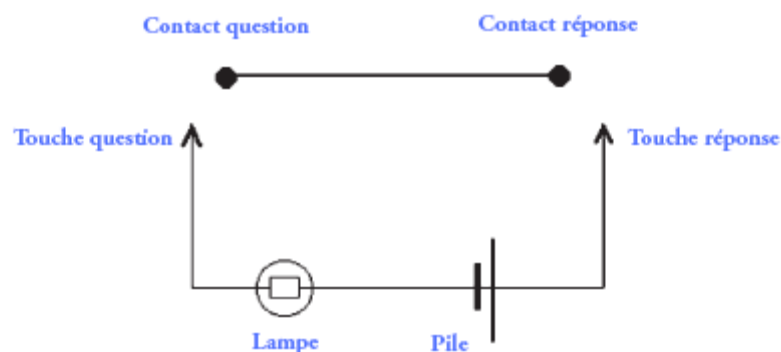
L'intérêt de ne pas fixer la fiche questions-réponses sur le boîtier contenant le circuit électrique est d'offrir la possibilité d'interchanger différentes fiches portant sur des thèmes variés. En effet, si le jeu n'était pas conçu en deux modules indépendants, il suffirait à l'élève d'avoir repéré l'emplacement des éléments physiques qui, mis en relation, allument la lampe pour répondre aux questions proposées sur une autre fiche.

3. Principe de fonctionnement

À l'arrière de la fiche cartonnée, chaque contact correspondant à une question est relié à celui correspondant à la bonne réponse par un conducteur. Ces liaisons peuvent être effectuées avec des fils de cuivre isolés et dénudés aux extrémités.

Dans le boîtier électrique ouvert, on peut distinguer plusieurs composants : une pile électrique de type 4,5 volts, une lampe à incandescence et des fils électriques.

Le schéma électrique conventionnel est le suivant :



Dans ce circuit, la commande de l'allumage de la lampe se fait par la mise en relation de la touche question et de la touche réponse par l'intermédiaire du conducteur intégré dans la fiche. C'est ainsi que sera assurée la fonction interruption, commandant la fermeture ou l'ouverture du circuit électrique. Le boîtier pourrait être utilisé pour tester l'aptitude d'un corps à conduire ou non le courant électrique.

La notion fondamentale en jeu dans ce dispositif est **la notion de circuit électrique**.

 Document 2

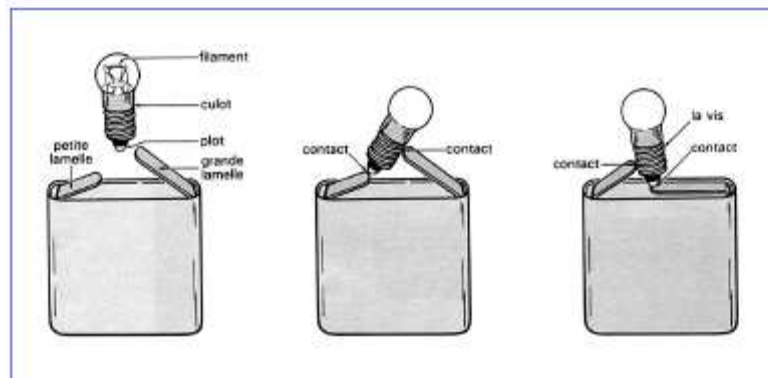


Ce dessin d'enfant représente une observation de l'allumage d'une lampe avec une pile électrique. Cette représentation présente plusieurs erreurs.

- En réalité, les bornes de la pile ne sont pas identiques. L'une est plus petite que l'autre afin de repérer un pôle + et un pôle - .

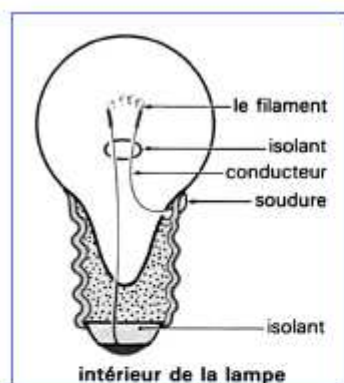
- De plus, la lampe est dessinée très approximativement. On ne distingue pas les différentes parties qui la composent et qui sont nécessaires pour établir le contact électrique avec le filament. De ce fait, les liaisons convenables entre les bornes de la pile et la lampe n'apparaissent pas.

Les dessins suivants sont les représentations convenables du circuit et de la lampe.

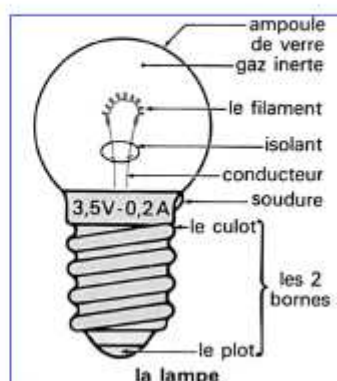


© NATHAN, Paris 1986 - page 52

On peut remarquer que lorsque l'on réalise cette expérimentation, le sens de branchement de la lampe sur la pile n'affecte pas son fonctionnement.



intérieur de la lampe
© NATHAN, Paris 1986 - page 62



la lampe
© NATHAN, Paris 1986 - page 62



Document 3



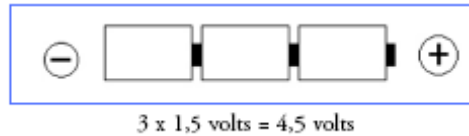
Cette photographie permet de constater que dans une pile ronde les pôles + et - sont situés sur les faces opposées du cylindre et que celle-ci permet aussi d'allumer une lampe. Ces pôles ne peuvent être reliés directement au plot et au culot de la lampe, ce qui nécessite l'usage de divers conducteurs électriques.

On peut constater que l'éclat lumineux est beaucoup plus faible que celui obtenu avec une pile plate. Cela est dû à la tension électrique disponible.

La lampe est soumise à une tension de 1,5 volt alors qu'elle était soumise à 4,5 volts avec une pile plate.

L'utilisation d'une pile ronde 1,5 volt plus « grosse » ne changerait rien à l'intensité lumineuse, mais influencerait sensiblement sur la durée de l'éclairage car elle stocke davantage d'énergie chimique capable d'être transformée en énergie électrique.

Pour obtenir le même éclat, il faudrait monter, en série et en concordance, trois piles rondes de 1,5 volt.



B - Démarche pédagogique

La démarche pédagogique qui pourrait être mise en place dépend des objectifs des programmes visés par l'enseignant(e) en fonction du niveau de la classe. Nous considérerons ici que ce travail pourrait être mis en œuvre avec une classe en début de cycle 3.

1. Situation de départ

Nous proposons aux enfants de réaliser un jeu questions - réponses leur permettant de réviser les apprentissages faits depuis le début de l'année en géographie. Nous avons à notre disposition, un jeu conçu au préalable par l'enseignant(e) ou par des élèves d'une autre classe. Dans un premier temps, on proposera aux enfants d'utiliser librement ce jeu.

2. Émergence du questionnement

Les élèves de ce niveau n'étant capables, ni de concevoir un circuit électrique de ce type, ni d'imaginer seuls le câblage électrique caché, on guidera leurs observations pour les amener vers un questionnement puis une investigation portant sur :

- les principes sur lesquels se fondent les solutions techniques mises en œuvre pour répondre à la fonction attendue ;
- les méthodes de conception et de réalisation.

Pour ce faire, l'observation guidée par le maître portera tout d'abord sur :

- **une étude globale de l'objet** : quelle est sa fonction ? Comment l'utilise t-on ? Quelle est la règle du jeu ?
- **une étude analytique de sa structure** : combien de sous-ensembles ? Combien d'éléments dans chaque sous-ensemble ? Quelles sont les matières utilisées ?

Ce travail mènera l'élève à s'interroger sur le principe de fonctionnement de ce jeu.

3. Émission des hypothèses

Le vécu de la classe est ici un élément déterminant. Le travail effectué dans ce domaine au cours du cycle 2 a permis aux élèves d'acquérir les connaissances de base nécessaires à la réalisation d'un circuit électrique élémentaire.

Même si le boîtier leur est présenté fermé, ils savent que, pour allumer une lampe, il faut qu'elle soit reliée, directement ou indirectement à une pile électrique.

Le document 2 nous montre que l'enseignant(e) a, semble-t-il, voulu s'assurer que cette notion était acquise en proposant de réaliser l'expérience et d'en faire la représentation. Si l'élève a bien réussi à allumer la lampe, puisqu'il a colorié l'intérieur de l'ampoule, il n'a pas réussi à traduire son savoir-faire dans le dessin.

Cela est fréquent, car le dessin d'observation est une tâche difficile qui nécessite un long apprentissage. Il faut donc s'assurer qu'il est capable de formuler clairement la démarche mise en œuvre et restructurer cela à nouveau par le dessin.

Le document 3 permet de penser qu'un élève, spontanément ou par l'observation guidée de l'enseignant(e), a émis l'hypothèse que la pile contenue dans le boîtier n'était peut-être pas une pile plate, mais une pile ronde.

Celle-ci peut se formuler ainsi : « Je peux allumer une lampe avec une pile ronde ».

4. Investigation sur le principe de fonctionnement électrique

L'investigation doit ici absolument être conduite par l'expérimentation.

À part la pile et la lampe, aucun matériel n'a été donné aux enfants. Ils sont ainsi obligés d'utiliser le matériel disponible dans leurs troussees pour réaliser l'expérience.

L'expérience est assez rapidement concluante, et même si l'éclat lumineux est plus faible, la lampe s'est allumée.

5. Structuration

Deux notions fondamentales de l'électricité seront structurées à la suite de ce travail.

a) La notion de conducteur et d'isolant électrique

Il est possible de consigner dans un tableau les objets qui ont permis ou non d'allumer la lampe. En analysant ce tableau, on aboutit à l'impossibilité de conclure. En effet, certains objets, règles, trombones, stylos, ... qui ont été utilisés dans certains groupes avec succès, n'ont pas permis à d'autres de valider leurs hypothèses.

Une interprétation de ces résultats avec la classe permettra d'amener l'idée que le passage du courant électrique dans un corps n'est pas lié à la nature de l'objet mais à la matière qui le constitue.

Un objet est conducteur si la matière qui le constitue autorise le passage du courant électrique (exemple : une règle en acier ou en aluminium).

Un objet est isolant si la matière qui le constitue n'autorise pas le passage du courant électrique (exemple : une règle en plastique).

N.B. : il est important de mettre en évidence la propriété isolante de l'air (sec).

Celle-ci est essentielle relativement aux dangers de l'électricité et entre dans l'analyse du fonctionnement d'un interrupteur : ouvrir un circuit consiste le plus souvent à insérer de l'air entre deux conducteurs.

Attention, dans certaines conditions (humidité, quantité importante d'électricité,...), l'air peut devenir un conducteur.

b) La notion de circuit électrique

Dans son montage, en disposant physiquement plusieurs objets les uns à la suite des autres, l'enfant construit un circuit électrique.

Il a perçu, de manière tangible, qu'il était nécessaire pour allumer la lampe de réaliser, avec divers composants, une boucle à partir des deux bornes de la pile. Il vient de découvrir de manière concrète la notion de circuit électrique.

Pour faire briller une ampoule dans un circuit électrique, je dois la relier à la pile par une chaîne continue de conducteurs. On dit que le circuit est fermé.

Si cette chaîne est interrompue, l'ampoule ne brille pas. On dit que le circuit est ouvert.

Prolongement

À partir de l'observation du faible éclairage obtenu, il est possible pour les enfants d'émettre les hypothèses que cela est dû, soit à la présence de conducteurs, soit à l'utilisation d'une pile différente. Des expérimentations simples, mises en place dans les groupes, mettront en évidence qu'il faut trois piles rondes pour obtenir un éclat lumineux équivalent à celui obtenu avec une pile plate. L'observation d'une pile plate, ouverte par l'enseignant(e), pourra confirmer ce résultat : elle est constituée de trois éléments cylindriques montés en série et concordance.

6. Investigation sur la réalisation du produit (le jeu questions-réponses)

a) Le boîtier électrique

Les élèves possèdent maintenant toutes les informations nécessaires à la réalisation du circuit électrique de validation des réponses. L'expérimentation ayant montré que la réalisation d'un générateur constitué de plusieurs piles de 1,5 volt est relativement complexe, la classe décide d'utiliser des piles plates 4,5 volts.

Avant d'autoriser les élèves à entamer la fabrication du circuit électrique, il est important de leur faire prendre conscience de l'intérêt d'un temps de réflexion, nécessaire à la mise en relation de la pensée logique et des comportements pratiques. Les enfants ont tendance à s'engager immédiatement et de façon intuitive dans l'action puis de procéder à des ajustements par essais-erreurs. À cette démarche de tâtonnement, tout à fait acceptable lorsque la situation problème est simple, on préférera ici une démarche plus structurée, anticipant les résultats de leurs actes lorsque la situation problème est plus complexe.

La réalisation sur le cahier d'expériences d'un dessin ou d'un schéma du circuit électrique permet :

- de dresser la liste du matériel nécessaire ;
- de vérifier que le câblage obtenu est bien celui que l'on avait l'intention de réaliser ;
- d'intervenir de manière raisonnée sur le dépannage, en cas de non fonctionnement.

L'écriture d'une fiche de fabrication est possible, mais ce travail doit se justifier par un souci de communication d'un savoir-faire. Dans ce cas, ce n'est pas le même groupe qui écrit la fiche et qui réalise l'objet.

b) La fiche questions-réponses

La principale tâche porte ici sur la recherche de solutions techniques permettant la liaison électrique entre une question et sa réponse. Les éléments mis en place doivent respecter plusieurs contraintes que l'élève doit être capable de prendre en compte. Un mini cahier des charges pourrait en faire la synthèse. Ces éléments doivent :

- être aptes à conduire le courant électrique d'un contact à l'autre ;
- présenter une section minimale pour ne pas être facilement décelés par le joueur ;
- permettre des contacts avec les fiches du boîtier testeur.

Plusieurs solutions sont possibles : des fils électriques très fins sont convenables, mais l'utilisation de bandes de papier aluminium isolées par du ruban adhésif lorsqu'elles se croisent est sans doute une meilleure solution. Les bandes d'aluminium sont collées entre deux feuilles de papier bristol (la feuille supérieure est perforée) ; les contacts sont alors effectués directement sur les disques d'aluminium apparents, dans les perforations.

7. Structuration

Un tableau à double entrée présentant les diverses solutions envisagées, leur efficacité en regard des diverses contraintes imposées par le cahier des charges et enfin les solutions retenues permettrait une synthèse de l'argumentation des choix faits par les élèves.

Compétences en voie d'acquisition, au début du cycle 3

- Etre capable de faire briller une ampoule dans un circuit en reliant une pile à une chaîne continue de conducteurs. Savoir que si cette chaîne est interrompue, l'ampoule ne brille pas.
- Savoir réaliser un montage qui permet de classer différents matériaux en deux catégories : conducteurs et isolants.
- Savoir repérer les causes de dysfonctionnement dans un circuit électrique simple ou dans un objet alimenté par des piles.
- Etre capable, dans un cas simple, d'élaborer un diagnostic de panne en hiérarchisant les tests.
- Etre capable de lire un schéma pour construire l'objet décrit.
- Etre capable de réaliser un schéma d'un circuit électrique, selon des critères de réussite simples et précis.
- Etre capable de repérer les actions nécessaires à une réalisation.

IV – Faisons le point

Imaginez un dispositif expérimental pour montrer que l'eau salée est conductrice.

Quels sont les inconvénients d'un circuit en série ?

Schématisez un circuit en dérivation comprenant un générateur, deux lampes et un interrupteur. Ce dernier commande les deux lampes.

Qu'est-ce qu'un court-circuit ?