

ELECTRONIQUE AU COURS MOYEN : QUELS OBJECTIFS ? QUELLE DEMARCHE ?

*Jean-Michel ROLANDO
Ecole Normale, BONNEVILLE*

INTRODUCTION

L'introduction de l'électronique à l'école élémentaire ne va pas sans poser un certain nombre de problèmes dont le premier est de déterminer ce qu'il est possible de faire compte tenu du très jeune âge des enfants auxquels on s'adresse.

L'analyse des Instructions Officielles de 1985 appelle deux commentaires :

1) Le programme d'électronique est défini par les composants susceptibles d'être utilisés (transistors, diodes et éventuellement circuits intégrés), et non par les concepts qui doivent être abordés.

2) La démarche d'éveil abondamment décrite dans les Instructions Officielles précédentes ne semble pas caduque (bien que jamais évoquée), ainsi qu'en témoignent de nombreux passages et particulièrement celui-ci (p. 53) : "L'élève apprend à construire des problèmes, à formuler des hypothèses, à expérimenter et à raisonner pour parvenir aux solutions".

Le travail que nous présentons ici est le compte-rendu de deux expérimentations réalisées dans des écoles d'application de l'Ecole Normale de Bonneville, au cours de l'année 1987 :

- en Mars dans le CM1 de Mme SAPPEY, I.M.F. à l'Ecole du Centre de Bonneville ;
- en Mai dans le CM1 de Mr DELLAPINA, instituteur à l'école des Fins d'Annecy.

Son ambition est de déterminer s'il est possible de réaliser une démarche d'éveil en électronique au CM et, dans l'affirmative, quels objectifs peuvent être raisonnablement fixés. Il est sans doute opportun de préciser qu'une telle démarche doit satisfaire aux critères suivants :

- être centrée sur l'élève et sur son activité propre (activité étant pris au sens large, c'est-à-dire englobant la dimension intellectuelle) ;
- s'exercer par la résolution, en situation de plus grande autonomie possible, de problèmes reconnus comme tels par l'ensemble de la classe, donc mis à jour et formulés par les élèves eux-mêmes ;
- déboucher sur de réelles acquisitions notionnelles.

Ce dernier point est essentiel. Il y va de la différence entre d'authentiques activités scientifiques et les "leçons de chose" ne reposant sur aucune base conceptuelle.

Nous n'avons pas jugé utile d'analyser ici les montages choisis pour cette activité. Il s'agit d'alarmes dont le principe est décrit dans de nombreuses publications et notamment dans les compléments aux Instructions Officielles du 15 mai 1985. On trouvera en Annexe III

la trace écrite proposée aux élèves ; celle-ci résume le fonctionnement d'une alarme et doit permettre de suivre le fil de l'article même si l'on n'est pas "spécialiste". Le lecteur intéressé peut, d'autre part, s'adresser à l'auteur pour obtenir une documentation plus complète sur la fonction du transistor.

Nous discuterons, dans une première partie, de la démarche adoptée, en liaison avec les recherches récentes effectuées en didactique. Nous présenterons les objectifs visés dans la deuxième partie. Nous décrirons et analyserons dans une troisième partie les séances réalisées. Nous présenterons enfin dans la quatrième partie les résultats de l'évaluation à laquelle nous avons procédé à l'issue de ces séances.

PREMIERE PARTIE : MECANISMES D'APPRENTISSAGE CHEZ L'ENFANT ET CHOIX D'UNE DEMARCHE

I – COMMENT UN ENFANT ACCÈDE-T-IL A UN SAVOIR SCIENTIFIQUE ?

Les recherches actuelles en didactique des sciences semblent converger vers quelques idées que nous prendrons comme base de travail.

1) Les connaissances se construisent à partir d'idées préalables ou de représentations initiales plus ou moins structurées (préjugés, connaissances empiriques, images véhiculées par les médias, systèmes explicatifs issus de l'expérience quotidienne, connaissance venant d'un enseignement antérieur plus ou moins bien assimilé ...).

2) A défaut de recherches précises sur ce sujet, on supposera que les idées préalables des enfants à propos de l'électronique sont, soit inexistantes, soit situées au niveau de l'imaginaire (prégnance du mot "électronique"), donc non structurées. Par contre, nous ferons l'hypothèse (confirmée par les événements comme nous le verrons plus loin), que dès le premier contact apparaîtront les diverses composantes des systèmes explicatifs habituellement utilisés par les enfants en électricité. Ces systèmes explicatifs, étudiés de façon détaillée par plusieurs auteurs, seront résumés dans le prochain paragraphe.

3) L'expérimentation active du sujet joue un rôle déterminant en créant les conditions d'une réorganisation des représentations ou idées préalables :

- par une interaction entre le sujet et le domaine d'étude ;
- par les diverses situations-problèmes que le sujet doit résoudre ;
- par le dépassement de conflits cognitifs apparaissant lorsque l'expérience ne livre pas le résultat attendu.

4) L'acquisition d'un concept chez un enfant de CM nécessite une représentation dans le monde du concret.

5) La construction des connaissances scientifiques est **longue et progressive**. Il ne suffit pas de quelques séances d'enseignement, fussent-elles de qualité, pour que soient définitivement acquises les notions correspondantes.

De ces quelques considérations découlent particulièrement les deux conséquences suivantes :

- La construction des concepts ayant fait l'objet d'un enseignement au CE (courant

électrique, circuit électrique, conducteurs et isolants) n'est pas achevée au CM.

— Ce dernier point ne doit cependant pas nous empêcher d'entamer le présent travail. C'est au contraire en comparant des situations variées, prises dans le domaine de l'électricité ou dans celui de l'électronique, dans ce qu'elles ont d'identique, d'analogue, de différent, que se construiront peu à peu les divers concepts par différenciation et affinement progressifs.

II – MODELES EXPLICATIFS UTILISES PAR LES ELEVES DANS LE DOMAINE DE L'ELECTRICITE

Un assez grand nombre de travaux ont été réalisés dans ce domaine (voir en particulier [8] *, [9] et [11]). Les résultats dont on dispose permettent d'avoir une bonne vue d'ensemble (enseignements primaire, secondaire et supérieur) des systèmes explicatifs (ou encore appelés modèles) utilisés par les élèves. Nous présentons ici les trois qui sont susceptibles de concerner des enfants du CM.

II - 1 - Le modèle unipolaire (allumage d'une ampoule à l'aide d'une pile).

Il est schématiquement le suivant : **un seul** contact entre une **zone** de la pile et une **zone** de l'ampoule est nécessaire pour réaliser l'allumage.

Il ne se manifeste pas toujours aussi nettement. Il peut être "masqué" ou "activé" selon les difficultés de la situation proposée. Il peut concerner la pile et l'ampoule à la fois, la pile seule ou l'ampoule seule. Il est extrêmement présent au cours de la scolarité élémentaire, principalement avant tout enseignement dans le domaine de l'électricité. Il en reste des traces bien plus tard. Il est sans doute la conséquence d'une **analyse causale linéaire** : "**la pile donne du courant à l'ampoule**".

Ce modèle tend à évoluer lorsqu'intervient la prise de conscience de la nécessité de fermer le circuit (c'est à dire d'avoir deux contacts).

II - 2 - Le modèle des courants antagonistes

Dans le cadre de ce modèle, un courant sort de la borne + de la pile, un autre courant sort de la borne -. L'allumage de l'ampoule résulte de l'interaction entre ces deux courants. L'analyse causale linéaire reste valide : la pile donne du courant à l'ampoule, mais ce dernier emprunte deux chemins.

Ce modèle évolue lorsqu'intervient la prise de conscience de l'existence d'éléments polarisés, c'est-à-dire qui ne se comportent pas de la même façon selon le sens de leur branchement (moteur, vibreur, diode électro-luminescente).

II - 3 - Le modèle circulatoire à épuisement de courant

— Le courant sort de la pile et y retourne après avoir parcouru le circuit dans un sens bien défini. (Cette proposition est bien évidemment conforme au modèle que nous désirons enseigner).

— Il s'use partiellement au passage d'un récepteur.

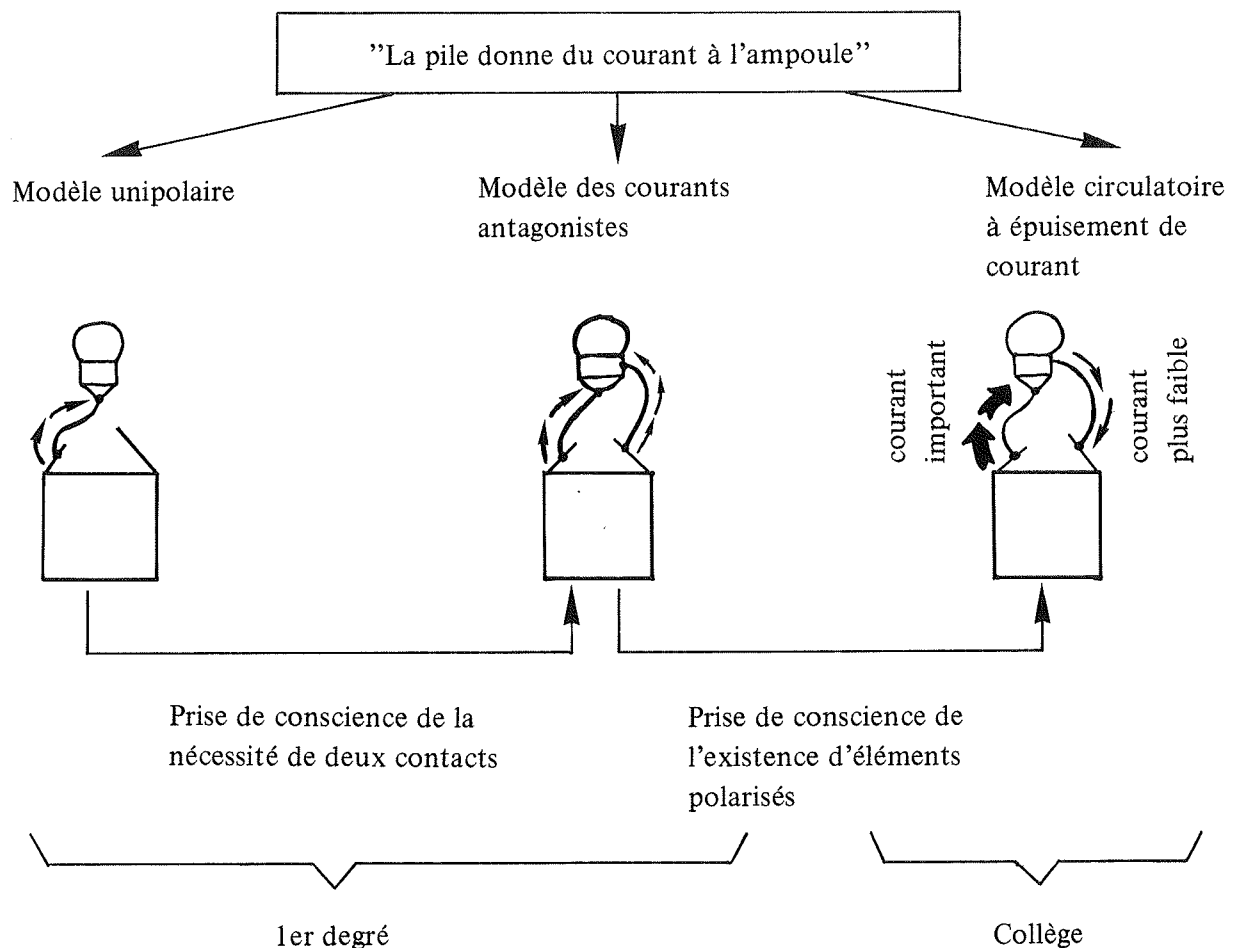
— La pile constitue un réservoir de courant. (Peut-être est-il nécessaire de rappeler que la pile constitue un réservoir d'énergie mais pas de courant).

(*) Voir références en fin d'article

Ce modèle a été rencontré essentiellement chez des élèves de collège par les auteurs qui le mentionnent ([8] et [11]). Nous pouvons d'ores et déjà signaler que nous l'avons, quant à nous, fréquemment rencontré au cours de ce travail. D'autre part, il ne remet pas en cause l'explication causale linéaire : la pile donne du courant à l'ampoule, une partie y est consommée et ce qui reste repart grâce au second fil.

II - 4 - Pour récapituler ...

Le tableau ci-dessous résume l'évolution d'une population de niveau scolaire donné (ce qui signifie qu'un individu ne la suit pas nécessairement point par point).



III – PLAIDOYER POUR UNE APPROCHE GLOBALE DE L'ACTIVITE

Une première façon de procéder, apparaissant explicitement ou implicitement dans un bon nombre de productions récentes, consiste à analyser tout d'abord la fonction des différents éléments qu'on aura à utiliser, en procédant de celui qui semble le plus simple à celui qui paraît le plus complexe. C'est ainsi que dans une démarche de ce type, on étudie successivement le résistor (communément appelé "résistance"), la diode électro-luminescente puis le transistor. Un montage électronique (en général une alarme) est alors étudié à titre d'application. Ce type de démarche paraît être critiquable par plusieurs aspects.

— Elle est contraire aux données de la psychologie ayant montré que toute compréhension, chez un enfant de l'âge qui nous intéresse ici, est d'abord globale et ne s'affine qu'au cours d'un processus ultérieur plus ou moins long, par analyse et différenciation de ses diverses composantes. Il en va ainsi non seulement de l'apprentissage de la lecture, mais aussi des acquisitions scientifiques et technologiques.

— Même s'il manipule, l'enfant est passif dans la mesure où il ne fait qu'exécuter des expériences dont il ignore aussi bien les tenants que les aboutissants. Ces dernières ont été prévues par le maître dans le but d'aboutir à des conclusions que lui seul connaît. Cette démarche relève plus de la maïeutique que d'une pédagogie active.

— Elle suppose que la connaissance de la fonction précise de chaque composant est un objectif prioritaire. Ce choix semble discutable surtout lorsqu'on envisage ce qui restera de cette connaissance après quelques mois.

Nous proposons au contraire une démarche dont le point de départ est l'étude d'un dispositif électronique (détecteur d'inondation) envisagé comme un objet technique. Les enfants ont tout d'abord à l'utiliser et à comprendre les conditions de son fonctionnement, c'est à dire à appréhender sa fonction globale. L'analyse ne vient que dans un second temps. Elle est menée de façon à ce que **l'expérience constitue le moyen de résoudre un problème** qu'on se pose préalablement, et à propos duquel on a si possible formulé des hypothèses dont il convient de tester la validité. Cette façon de procéder est le **fondement de toute démarche scientifique**. Toutefois, compte tenu de la relative complexité de l'objet technique étudié, nous ne devons pas nous attendre à ce que l'explication d'ensemble survienne à la suite d'une série de problèmes mis à jour et résolus par les enfants livrés à eux-mêmes. Nous devons donc amener les élèves à rencontrer les problèmes, à en prendre conscience et à les formuler. Les expériences seront dans la mesure du possible imaginées par les enfants. L'introduction d'un composant nouveau tel que la diode électro-luminescente (élément dont les enfants ne peuvent évidemment pas soupçonner l'existence), ne se fera que **lorsque le besoin s'en fera sentir**, c'est à dire lorsque se posera le problème de l'existence ou de la non-existence d'un courant dans le circuit de commande.

Nous estimons enfin que cette façon de procéder permet à l'enfant :

- de remettre en cause ses conceptions initiales ;
- de les restructurer ;
- d'évoluer petit à petit vers le modèle auquel nous voulons le voir accéder (il sera décrit dans la prochaine partie).

DEUXIEME PARTIE : LES OBJECTIFS VISES

Nous n'envisagerons pas ici les objectifs d'attitude, de démarche et de comportement, non parce que nous estimons qu'ils sont sans importance (les réflexions développées dans la précédente partie sont là pour prouver le contraire), mais parce que nous n'avons pas les moyens de mener un travail méthodologiquement sérieux sur ce point. Les diverses publications disponibles semblent en effet montrer :

- qu'il n'est guère possible d'être exhaustif sur le sujet ;
- que de tels objectifs sont très difficiles à évaluer ,
- qu'ils doivent être ceux d'une scolarité entière et qu'ils ne sont pas de nature à être atteints par quelques séances d'un peu plus d'une heure.

I – OBJECTIFS D'ORDRE TECHNOLOGIQUE

I - 1 - Appréhension de la fonction globale ("à quoi ça sert ?")

Les élèves doivent être capables d'utiliser une alarme électronique mise à leur disposition et avoir compris les conditions de son utilisation.

I - 2 - Approche de la fonction organique ("comment ça marche")

Les élèves doivent être capables :

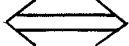
- de distinguer le circuit de commande du circuit d'utilisation ;
- de regrouper les différents composants en deux classes : celle des récepteurs (vibreur, ampoule, moteur) et celle des capteurs (plaques, thermistance, photorésistance) ;
- d'accéder à l'idée qu'un circuit parcouru par un faible courant commande un second circuit parcouru par un courant plus intense (fonctions de commutation du transistor).

II – OBJECTIFS D'ORDRE SCIENTIFIQUE

Les activités à caractère technologique offrent en général la **possibilité de déboucher sur des acquisitions scientifiques**. Un enseignement qui ne tirerait pas profit de cette possibilité perdrait considérablement de sa richesse. C'est pourquoi nous présentons ci-dessous des objectifs conceptuels dans le domaine de l'électricité.

II - 1 - Affinement du concept de courant électrique

La seule définition qu'on puisse donner du courant électrique à l'école élémentaire est de type opératoire, et décrit un procédé permettant de le repérer. Il est traditionnel d'utiliser pour cela l'allumage d'une ampoule ou la rotation d'un moteur, ce qui est certainement un point de départ intéressant mais qui peut induire des conceptions en "**tout ou rien**" si l'on en reste là. Nous proposons donc d'affiner le procédé de repérage en utilisant une DEL (diode électro-luminescente). Les élèves doivent alors être capables de partager l'ensemble des situations qu'ils rencontrent en quatre classes d'équivalence [10] :

courant "normal"		l'ampoule brille normalement la DEL brille
courant "assez faible"		l'ampoule brille faiblement la DEL brille
courant "très faible"		l'ampoule ne brille pas la DEL brille
courant nul		l'ampoule ne brille pas la DEL ne brille pas

Remarque

Cette prise de conscience est un préalable absolu à l'introduction ultérieure (collège) des mesures d'intensité de courants.

II - 2 - Affinement des concepts de conducteur et d'isolant

En restant dans la logique du paragraphe précédent, nous souhaitons amener les élèves à concevoir qu'un matériau peut être plus ou moins bon conducteur. Nous proposons donc d'associer aux quatre classes envisagées ci-dessus, les classes de matériaux suivantes :

courant "normal"	$\longleftrightarrow$	matériau "bon" conducteur
courant "assez faible"	$\longleftrightarrow$	matériau "assez peu" conducteur
courant "très faible"	$\longleftrightarrow$	matériau "très mauvais" conducteur
courant nul	$\longleftrightarrow$	matériau isolant

II - 3 - Favoriser une évolution vers un modèle circulaire conservatif

Il s'agit d'aider les élèves à dépasser leurs représentations et à les faire tendre vers un modèle plus élaboré en les confrontant à des situations susceptibles de leur faire prendre conscience :

- de l'existence du courant dans tout le circuit ;
- de l'unicité du sens de circulation ;
- de la constance de l'intensité du courant en toute section du circuit si celui-ci ne comporte pas de dérivation (ce qui sera le cas au cours de ces séquences). Ce dernier point devra être traité avec les moyens de repérage dont on dispose (éclats d'une ampoule et d'une DEL), qui, sans être très performants, nous semblent néanmoins suffisants.

Nous devons avoir conscience de la difficulté de l'entreprise. C'est pourquoi notre objectif est bien de confronter les élèves à des situations **susceptibles** de provoquer chez eux un changement conceptuel, et non de les aboutir **effectivement** à ce changement.

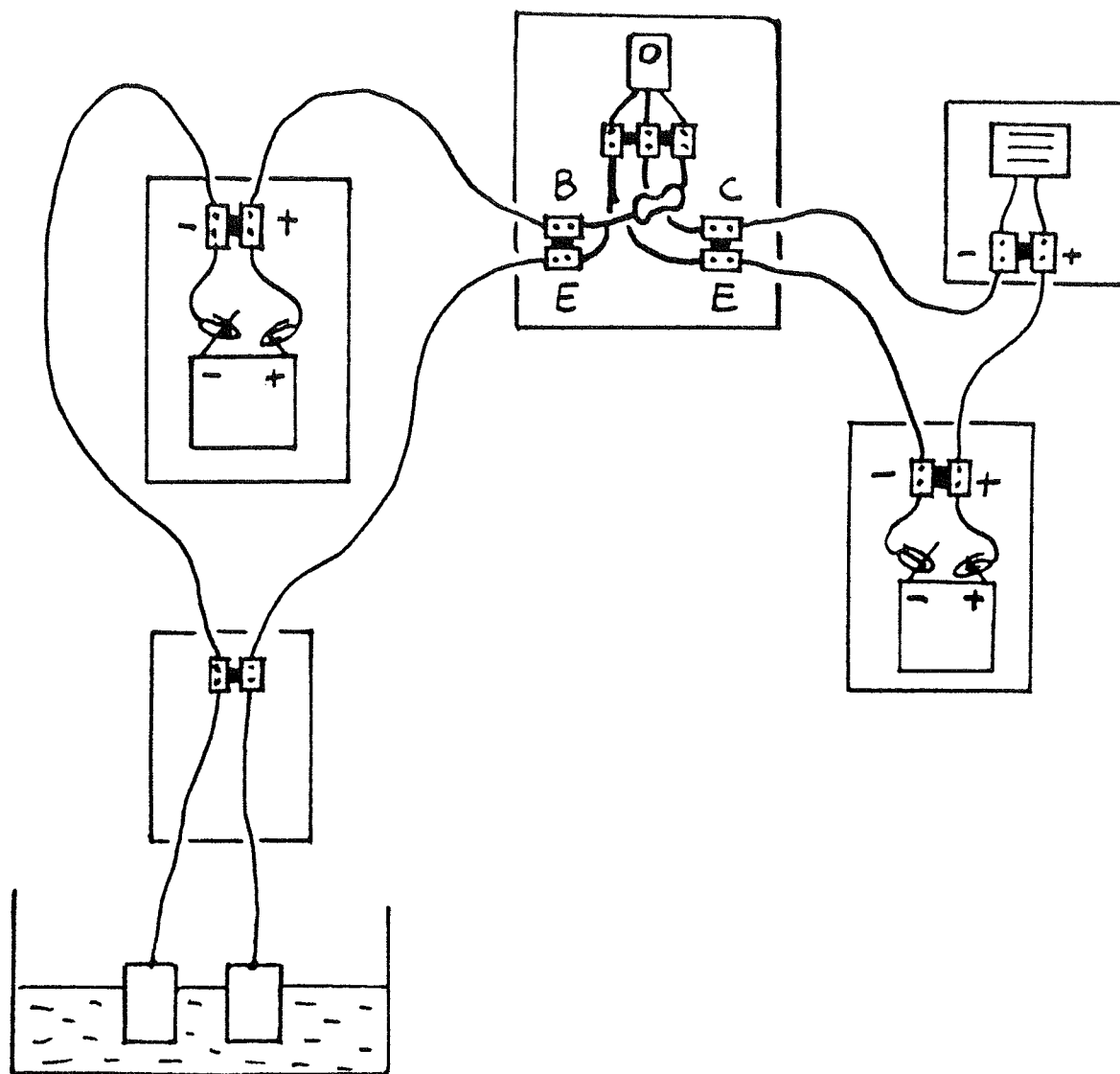
II - 4 - Début de différenciation entre courant électrique et force électromotrice

En prenant conscience qu'une même pile débite un courant normal dans certaines situations et un courant plus faible dans d'autres situations, les élèves font un premier pas vers l'idée selon laquelle l'intensité d'un courant résulte d'un **compromis** entre la **force électromotrice** de la pile (c'est à dire son nombre de volts) et la **résistance du circuit**.

Remarque

Les différents concepts que nous envisageons ici ne doivent pas faire l'objet d'une hiérarchie dans les situations d'apprentissage. Cela revient à nier l'idée selon laquelle un concept doit être parfaitement assimilé avant d'en introduire un autre.

Dessin simplifié du détecteur d'inondation remis à chaque élève au début de la première séance.



Détecteur d'inondation

TROISIEME PARTIE : COMPTE-RENDU DES SEANCES REALISEES

Le travail que nous présentons ci-dessous a été réalisé en cinq séances lors de la première expérimentation faite à Bonneville et en quatre séances lors de la seconde faite à Annecy dont nous donnons ici la description. Au cours de celles-ci, les élèves ont été répartis en sept groupes de trois ou quatre. Toutes les expériences ou manipulations dont il sera question ont été réalisées par chaque groupe.

I – ANALYSE DE LA PREMIERE SEANCE

I - 1 - Intentions

Proposer un montage électronique considéré comme un objet technique. Comprendre sa fonction globale et les conditions de son utilisation. Proposer d'autres récepteurs dans le but d'introduire la notion de circuit d'utilisation.

I - 2 - Déroulement

La séance débute par une démonstration autour d'une histoire de piscine qui déborde ou de cave qui s'inonde. Chaque groupe réalise alors le montage à partir du dessin simplifié reproduit sur la page ci-contre remis à chaque enfant. Les enfants doivent alors :

- formuler les conditions de fonctionnement du vibreur (les deux plaques dans l'eau ou les deux plaques en contact) ;
- formuler les conditions permettant à cet objet technique de remplir sa fonction d'alarme (les deux plaques sont hors de l'eau, ne se touchent pas, sont situées au fond du récipient si celui-ci simule une cave, en surface s'il simule une piscine).

On introduit ensuite un moteur et une lampe sans donner de consigne particulière. Les élèves manipulent librement. On donne la consigne suivante : réaliser un détecteur d'inondation qui nous avertisse par l'allumage d'une ampoule et non plus par le son d'un vibreur.

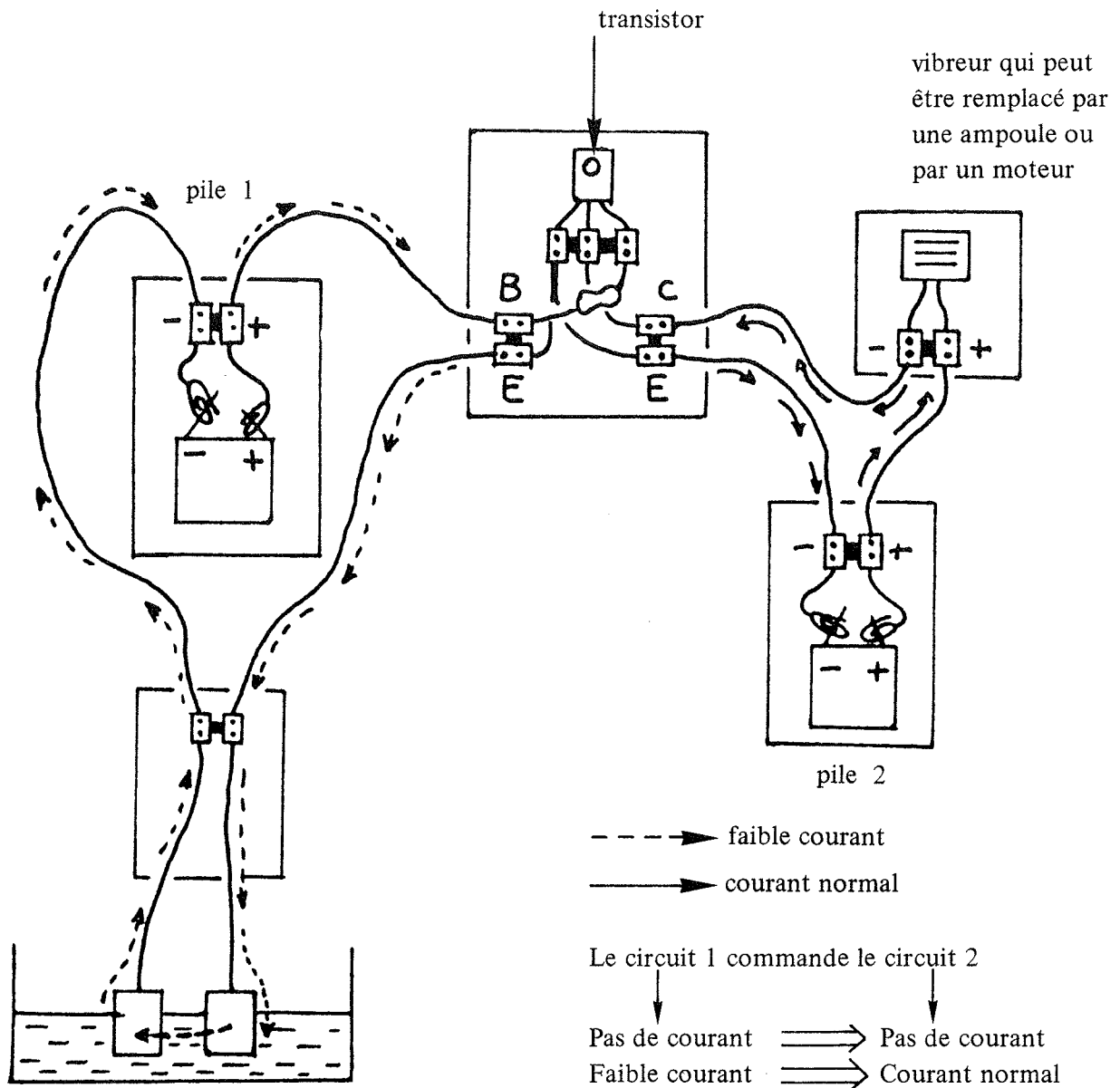
I - 3 - Analyse

La réalisation du montage s'est relativement bien déroulée. Après une phase d'activité débordante et désordonnée, les groupes se sont organisés et sont assez vite parvenus au montage correct. Le seul type d'erreur rencontré est un mauvais branchement des éléments polarisés (pile, vibreur, transistor).

L'introduction du moteur et de la lampe avait essentiellement pour but d'observer si d'eux-mêmes, certains élèves auraient l'idée de remplacer le vibreur par la lampe ou le moteur. En fait, tous les groupes ont bien vite oublié l'alarme et le transistor pour s'affairer autour des différents récepteurs. Les montages réalisés sont intéressants car l'effet obtenu dépend du sens du branchement du récepteur (rotation du moteur, non-fonctionnement du vibreur en cas d'erreur de polarité). Ils constituent des situations susceptibles d'aider les enfants à dépasser le modèle des "courants antagonistes" (voir 2ème partie). Quelques élèves ont essayé de faire fonctionner les trois récepteurs en même temps en les connectant en série. Malgré tous leurs essais (changement de l'ordre des différents éléments), le résultat est resté le même (seul le vibreur fonctionne) ce qui leur a laissé un sentiment d'insatisfaction certain. Ce montage présente un double intérêt :

- il permet d'aider à dépasser une conception à épuisement de courant ;

TRACE ECRITE



Les plaques peuvent être remplacées

par une thermistance, on obtient un détecteur d'incendie.

par une photo-résistance, on obtient un détecteur de lumière.

– il prépare à l'idée qu'un même courant peut être en action sur certains récepteurs et provoquer des effets observables sur d'autres.

Nous ne sommes pas intervenus durant cette phase au demeurant relativement courte (10 à 15 mn). On pourra objecter qu'il s'agit là d'une perte de temps et que les enfants ont fait n'importe quoi. Nous pensons au contraire qu'ils ont fait "des tas de choses" :

– tous ont pu démystifier les éléments comme le moteur et le vibreur et constater qu'ils fonctionnent parfaitement avec une pile, alors qu'insérés dans un montage électronique ils risquent de garder un caractère magique ;

– certains se sont confrontés à une situation posant un problème conceptuel (ampoule, vibreur, moteur en série) dont la résolution ultérieure sera ainsi grandement facilitée.

Réaliser l'alarme dont l'avertisseur est un signal lumineux n'a pas posé de problème. La solution a été formulée correctement dans chaque groupe : "il faut refaire le premier montage en remplaçant la sonnette par la lampe".

II – ANALYSE DE LA DEUXIEME SEANCE

II - 1 - Intentions

Provoquer chez les élèves un conflit cognitif les amenant à se poser la question de l'existence ou de la non-existence d'un courant dans le circuit de commande et susceptible de les préparer à concevoir l'existence d'un courant faible.

II - 2 - Déroulement, analyse

Cablage du montage, remise en mémoire du travail réalisé la séance précédente. Début d'analyse menée autour des questions suivantes :

"A quoi sert la pile 1 ?"

"Y a-t-il du courant ici ?" (on montre différentes parties du circuit 1)

"Comment peut-on le savoir ?"

La séance est conduite de façon à dégager les hypothèses émises par les enfants et pouvant donner lieu à une vérification expérimentale imaginée par eux-mêmes. Elle est d'autre part difficile à décrire car constituée de nombreux moments de discussion. Elle est également difficile à animer pour plusieurs raisons :

– On ne peut prévoir de façon certaine le chemin dans lequel s'engageront les enfants et il convient parfois d'improviser ce qui n'est guère sécurisant.

– La plupart des enfants ont beaucoup de mal à formuler des idées qu'ils ressentent plus ou moins confusément.

– Certains se satisfont d'explications finalistes :

" A quoi sert la pile 1 ?

A faire marcher l'alarme ... C'est comme ma voiture téléguidée, s'il n'y a pas de pile, ça ne marche pas "

– Les plus éveillés ont tendance à suivre leurs idées sans écouter celles des autres.

Nous pouvons néanmoins tenter de résumer le déroulement de la séance. A partir de la question "à quoi sert la pile 1 ?", on en arrive à se poser le problème du chemin suivi par "l'électricité" (le vocabulaire employé par les enfants est très varié et notre objectif immédiat n'est pas de le préciser), et, par là même, à chercher un moyen de le visualiser dans le circuit

de commande. Les élèves proposent, soit de remplacer les plaques par une ampoule, soit d'ajouter cette dernière dans le circuit. L'expérience faite conduit à un résultat négatif : l'ampoule ne brille pas. On vérifie qu'elle n'est pas grillée et on constate qu'en la dévissant, on interrompt le circuit d'utilisation. La séance se termine en faisant le point de nos investigations et de nos réflexions. Ces dernières sont inscrites au tableau.

L'ELECTRICITE PASSE-T-ELLE DANS L'AMPOULE ?

Hypothèse 1

OUI, car si on la dévisse, le vibreur cesse de fonctionner.

Hypothèse 2

NON, car elle ne brille pas.

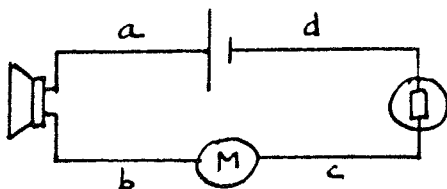
Arrivés à ce stade, les enfants n'ont guère progressé sur le plan de la compréhension du montage. Les questions n'avaient pas pour objectif d'obtenir des réponses immédiates, mais d'amener les élèves à rencontrer les problèmes, à en prendre conscience et à les formuler. Cette séance qui peut paraître improductive en première analyse est en fait fondamentale. Il convient d'y accorder une grande importance et une durée suffisante.

III – ANALYSE DE LA TROISIEME SEANCE

III - 1- Intentions

- Introduire l'idée de l'existence de faibles courants pouvant provoquer un effet observable sur certains récepteurs, inobservable sur d'autres.
- Consolider la notion de circuit par la prise de conscience de l'unicité du courant en chaque section de celui-ci (pas de dérivation).
- Aboutir à la compréhension du fonctionnement de l'alarme.

III - 2 - Déroulement



La première activité consiste à analyser le montage présenté ci-contre de façon à faire prendre conscience aux élèves que l'effet obtenu ne dépend pas de l'ordre des récepteurs (seul le vibreur fonctionne). Au cours d'une seconde activité, les élèves introduisent une DEL en chacune des

quatre positions possibles, repérées par a, b, c et d sur le schéma ci-dessus. Préalablement à chacune de ces deux activités, on demande aux enfants de prévoir ce qui va se passer et d'en expliciter les raisons. Il s'avère que ces deux situations favorisent nettement l'émergence de conceptions à épuisement de courant (voir 2ème partie). Les expériences sont faites et la conclusion tirée : le courant est le même en a, b, c ou d. Au cours d'une troisième activité, les enfants refont le montage de l'alarme et placent une DEL en différentes positions dans le circuit de commande, ce qui permet de lever l'interrogation de la séance précédente : ce dernier est parcouru par un courant trop faible pour faire briller une ampoule, mais suffisant pour provoquer l'allumage d'une DEL.

La trace écrite est alors élaborée.

III - 3 - Analyse

Les questions et tâtonnements de la séance précédente font que les élèves éprouvent le besoin d'un éclaircissement. Les deux premières activités, même si elles n'apparaissent pas immédiatement liées à l'étude de l'alarme, ne constituent qu'un court détour favorablement accueilli dans la mesure où elles répondent à un problème que la classe se pose. Il convient de mesurer toute l'importance de la phase de prévision et de justification. C'est en effet en prenant le temps de formuler ses propres représentations qu'on en devient pleinement conscient et qu'on parvient à les dépasser si l'expérience ne livre pas le résultat attendu. Cette stratégie, étudiée en détail avec des lycéens dans un tout autre domaine [12], semble néanmoins tout à fait valide dans le cadre qui nous concerne ici.

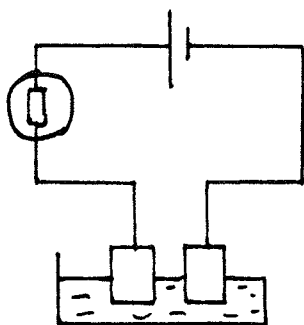
La dernière activité aboutissant à la compréhension du fonctionnement de l'alarme se déroule ensuite très facilement : les différents montages sont faits rapidement et sans erreur, les conclusions sont rapidement dégagées.

IV – ANALYSE DE LA QUATRIEME SEANCE

IV - 1 - Intentions

- Consolider les acquis précédents en montrant l'impossibilité de réaliser une alarme (détecteur d'inondation) sans transistor.
- Introduire la notion de capteur en remplaçant les plaques successivement par une thermistance puis par une photorésistance.

IV - 2 - Déroulement, analyse



Lorsqu'on demande si le montage schématisé ci-contre permet de nous avertir lorsque l'eau touche les plaques, on recueille un assez grand nombre d'assentiments. Il ne semble donc pas inutile de s'y attarder quelque peu. L'expérience est faite et devant son résultat négatif, on attend qu'un élève suggère d'utiliser une DEL (ce qui se produit très vite). On insiste une nouvelle fois sur la mauvaise conductibilité électrique de l'eau.

Le détecteur d'incendie est alors proposé en présentant la thermistance comme un élément isolant à température ambiante et légèrement conducteur à haute température. Signalons au passage qu'il ne nous semble pas judicieux de priver les enfants de la joie de réaliser eux-mêmes cette expérience spectaculaire sous prétexte du danger qu'elle présente (nécessité de chauffer avec une allumette). Le risque paraît négligeable si l'on respecte quelques précautions élémentaires (bien prévenir les élèves, mettre à leur disposition un récipient recueillant les allumettes brûlées, ne donner qu'une allumette par enfant et non une boîte entière, rester bien évidemment vigilant).

On demande enfin comment il serait possible de réaliser un détecteur de lumière. Au cours des deux animations que nous avons réalisées, il s'est toujours trouvé un élève pour répondre que si les plaques "détectent de l'eau" et si la thermistance "détecte de la chaleur", alors il existe certainement "quelque chose" pour détecter de la lumière. La photorésistance est alors présentée et la suite se déroule sans difficulté.

QUATRIEME PARTIE : ELEMENTS D'EVALUATION

Ainsi que nous l'avons signalé en introduction, nous nous proposons de déterminer s'il est possible de réaliser une démarche d'éveil en électronique et, dans l'affirmative, de proposer des objectifs appropriés. Nous avons donc tenté d'apprécier l'impact de notre travail quelques semaines après sa conclusion en faisant passer un entretien semi-directif à neuf élèves ayant suivi l'ensemble des séances. Ces derniers ont été choisis de façon à obtenir un échantillonnage comprenant aussi bien des "bons élèves" que des "moins bons" (ce dernier critère étant laissé à l'appréciation du maître de la classe). Le **tableau 1** présente le profil des élèves interrogés. Tous les entretiens ont été enregistrés sur magnétophone à cassettes et analysés ensuite. A Bonneville, ils se sont déroulés cinq semaines après la dernière séance (ce long délai étant dû aux vacances de printemps). A Annecy l'intervalle a été de deux à trois semaines selon les enfants. Le protocole de l'entretien est donné en annexe IV.

I – FONCTION GLOBALE

Mise à part Marie-Sol qui, curieusement, dispose les plaques à mi-hauteur dans la cave en expliquant très sérieusement que lorsque l'eau atteindra ces dernières, le propriétaire sera prévenu de l'inondation, tous les enfants interrogés sont capables de disposer les plaques à une hauteur judicieuse, en précisant qu'elles ne doivent pas se toucher.

II – STRUCTURE (notions de capteurs et de récepteurs)

Tous les élèves sont capables de transformer l'alarme à signal sonore en une alarme à signal lumineux. Tous se souviennent qu'on peut transformer le détecteur d'inondation en un détecteur de lumière ou d'incendie, et sont capables d'expliquer comment procéder.

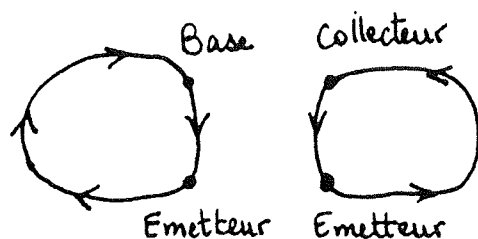
III – FONCTION ORGANIQUE

Les résultats sont regroupés dans le **tableau 2** qui appelle quelques commentaires.

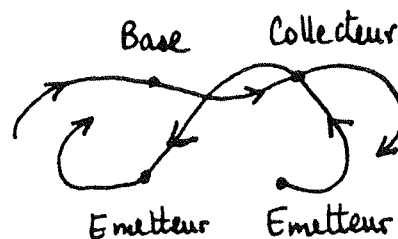
III - 1 - Distinction entre circuit de commande et circuit d'utilisation

Nous attendons des élèves qu'ils montrent avec leur doigt deux circuits distincts.

Prénom	Lieu d'expérimentation	Age	Niveau en général	Aptitudes particulières en Sciences et Logique
Alexandre	BONNEVILLE	10 ans	Très bon	Très développées
Antoine	BONNEVILLE	11 ans	Moyen/faible	Quelques-unes
Karim	BONNEVILLE	11 ans	Très faible	Très peu
Marie-Sol	ANNECY	12 ans	Moyen (redouble)	Très peu
Thuy	ANNECY	12 ans	Moyen	Assez peu
Youssef	ANNECY	10 ans	Moyen (intelligent, peu d'efforts)	Quelques-unes
Christophe	ANNECY	10 ans	Très bon	Très développés
Magali	ANNECY	10 ans	Bon (studieuse)	Assez peu
Gaetan	ANNECY	10 ans	Moyen	Assez peu
Tableau 1 – Profil des élèves interrogés				



Réponse attendue : les deux circuits sont bien distingués



Réponse inexacte : les deux circuits sont mélangés

A la suite des entretiens réalisés à Bonneville, il a été décidé d'insister plus particulièrement sur ce point lors des séances d'Annecy où les résultats enregistrés sont encourageants.

III - 2 - Analyse spontanée du fonctionnement de l'alarme

Nous attendons des enfants qu'ils expliquent :

- α — que le courant est faible dans le circuit 1 ;
- β — que ceci est dû à la mauvaise conductibilité électrique de l'eau ;
- γ — que le courant est normal dans le circuit 2.

Quatre enfants énoncent correctement ces trois points. Nous verrons dans le paragraphe suivant qu'il n'est cependant pas certain que tout soit très clair dans leur esprit. Alexandre, quant à lui, semble réciter une leçon bien apprise en oubliant le point β , ce qui en soit ne serait pas très grave. Cependant, la dernière colonne du tableau semble montrer que ses explications ne reposent pas sur une bonne compréhension des phénomènes. Il estime en effet que l'état (allumé ou éteint) de l'ampoule ou de la DEL dépend de sa position dans le circuit de commande.

III - 3 - Analyse du circuit comportant en série une pile, un vibreur et les plaques plongeant dans l'eau

Il est surprenant de constater que deux enfants seulement prévoient correctement ce qui va se passer. Il s'agit de Thuy et de Gaëtan qui avaient par ailleurs expliqué le fonctionnement de l'alarme de façon satisfaisante. Le cas de Christophe et celui de Magali méritent d'être étudiés de plus près. Ceux-ci semblent avoir compris comment fonctionne l'alarme sans avoir pleinement conscience de l'impossibilité de réaliser un tel dispositif plus simplement. Un passage de l'entretien de Christophe est de ce point de vue révélateur : "Le transistor sert à faire d'un côté un courant fort, de l'autre un courant faible". On peut se demander si, dans l'esprit de cet élève, l'existence d'un courant faible dans le circuit de commande n'est pas dû exclusivement au pouvoir du transistor. Signalons toutefois qu'après vérification expérimentale, Magali comme Christophe exposent clairement les raisons du non-fonctionnement du vibreur.

III - 4 - Préviation de l'état d'une DEL ou d'une ampoule dans le circuit de commande

L'examen de cette colonne confirme la bonne compréhension des quatre élèves dont il vient d'être question. Les éléments dont on dispose ne permettent pas de comprendre pourquoi Antoine fait ici des prévisions correctes alors que ses explications du fonctionnement de l'alarme sont assez peu convaincantes.

	Distingue bien circuit de commande et circuit d'utilisation	Explique le fonctionnement de l'alarme en évoquant α - faible courant dans circuit 1 β - à cause de l'eau mauvais conduct. γ - courant normal dans circuit 2	Circuit pile/plaques/vibreur Explique le non-fonctionnement du vibreur en évoquant α - l'existence d'un faible courant β - la mauvaise conductibilité de l'eau _____ après l'expérience		Prévoit correctement l'état α - d'une DEL β - d'une ampoule placée dans le circuit de commande
			spontanément		
Alexandre	NON	$\alpha - \beta -$	$\alpha -$		Mauvaises prévisions
Antoine	NON	NON	Mauvaise prévision	NON FAIT	$\alpha - \beta -$
Karim	NON	NON	Mauvaise prévision	NON FAIT	Mauvaises prévisions
Marie-Sol	OUI	$\beta -$	Mauvaise prévision	pas de courant	Mauvaises prévisions
Thuy	OUI	$\alpha - \beta - \gamma -$	$\alpha - \beta -$		$\alpha - \beta -$
Youssef	NON	NON	Mauvaise prévision	$\alpha - \beta -$	$\alpha -$ Ne sait pas pour $\beta -$
Christophe	OUI	$\alpha - \beta - \gamma -$	Mauvaise prévision	$\alpha - \beta -$	$\alpha - \beta -$
Magali	OUI	$\alpha - \beta - \gamma -$	Mauvaise prévision	$\alpha - \beta -$	$\alpha - \beta -$
Gaëtan	NON	$\alpha - \beta - \gamma -$	$\alpha - \beta -$		$\alpha - \beta -$

Tableau 2 — Fonction organique : résumé des résultats

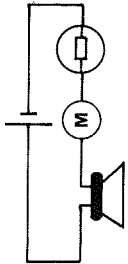
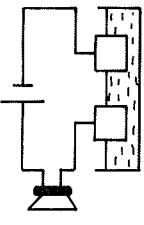
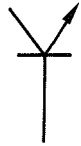
			
Alexandre	— courant pris ou donné — courants antagonistes (cf. 2ème partie) — circuit non fermé (*)	épuisement de courant	courant identique partout
Antoine	courant pris ou donné		courant identique partout
Karim	courant pris ou donné		courant identique partout
Marie-Sol		courant pris ou donné	— courant pris ou donné — le récepteur qui marche a un (*) — courant plus fort que les autres
Thuy	— courant pris ou donné — épuisement de courant	épuisement de courant malgré prévisions exactes	épuisement de courant malgré prévisions exactes
Youssef	épuisement de courant	épuisement de courant	— courant identique partout — sensibilité non acquise
Christophe			courant identique partout
Magali			épuisement de courant
Gaétan	— courant pris ou donné — épuisement de courant	épuisement de courant malgré prévisions exactes	épuisement de courant malgré prévisions exactes

Tableau 3 — Modèle du courant électrique : résumé des résultats

- Les cases laissées en blanc sont celles pour lesquelles l'entretien n'a pas permis de se faire une idée.
- (*) conception particulière que nous n'avons jugé utile de développer.

IV – MODELE DU COURANT ELECTRIQUE

Les résultats sont rassemblés dans le tableau 3.

IV - 1 - Analyse physique préalable : grandeurs d'interaction et grandeurs d'état

Le courant électrique qui s'établit dans un circuit résulte toujours d'un compromis entre une **action** et une **réaction** exercées respectivement par :

- un élément "moteur" (la pile), qui tend à faire circuler un courant d'autant plus intense que sa force électro-motrice est grande (rappelons que la force électro-motrice représente en première approximation le nombre de volts) ;
- des éléments "résistants" (les récepteurs) qui limitent plus ou moins l'intensité de ce courant.

La célèbre **loi d'Ohm** traduit dans un cas particulier cette **interaction** :

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow \begin{array}{l} U \rightarrow \text{influence de la pile (action)} \\ R \rightarrow \text{influence des récepteurs (réaction)} \end{array}$$

Il existe en physique des grandeurs d'un autre type, dites **grandeurs d'état**, qui ont la propriété de se posséder et celle de se transférer (exemple : l'énergie). Mais insistons sur ce point : **le courant électrique est une grandeur d'interaction et non une grandeur d'état.**

IV - 2 - Nette émergence des modèles à épuisement de courant

Rappelons que dans le cadre de ces modèles, le courant arrive à un récepteur qui en "prend" une partie. Ce qui "reste" continue son chemin.

Ce type de raisonnement a été trouvé explicitement chez cinq élèves sur les neuf interrogés. En outre, le vocabulaire employé par six d'entre eux (courant "donné" par la pile et "pris" par les récepteurs) est très certainement une manifestation de la même conception. Dans ce type de conception, le courant est considéré comme une grandeur d'état et non comme une grandeur d'interaction.

IV - 3 - Difficultés à prendre en compte la réaction du circuit

On a noté que la plupart des enfants faisaient de mauvaises prévisions quant à l'état du vibreur dans le circuit pile/plaques/vibreur. Marie-Sol, Christophe et Magali ont pourtant expliqué antérieurement que l'eau était un mauvais conducteur. On peut donc penser que la corrélation mauvais conducteur $\Rightarrow$ courant faible est assez difficile à assimiler.

On peut, dans le même ordre d'idée, constater que certains enfants expliquent le non-fonctionnement d'un récepteur par l'insuffisance du nombre de piles. C'est le cas de Magali : "Le vibreur a besoin d'un courant fort ... avec deux piles, peut-être que ça irait mieux".

Il est à remarquer que ces résultats sont en parfaite cohérence avec un travail réalisé auprès d'élèves de l'enseignement secondaire et d'étudiants de l'enseignement supérieur scientifique, qui met en évidence la forte tendance à considérer la pile comme un élément délivrant un courant ne dépendant que de son nombre de volts. Les auteurs montrent que la réaction du circuit est oubliée dans de nombreux cas [8].

V – CONSEQUENCES ET IMPLICATIONS PEDAGOGIQUES

Nous ne prétendons pas obtenir des résultats généralisables après une étude portant sur neuf cas. Certains aspects mériteraient d'être étudiés de plus près et sur des effectifs plus

importants. Néanmoins les données recueillies ici permettent déjà de tirer quelques enseignements intéressants.

V - 1 - Discussion de la "faisabilité" d'une telle activité, des objectifs et de démarche adoptés

Consacrer quatre séances d'1 h 30 à cette activité est un minimum incompressible si, comme cela nous semble indispensable, nous voulons nous fixer des objectifs d'ordre scientifique dans le domaine de l'électricité.

Si l'on excepte les problèmes inhérents à la formation des maîtres et à l'élaboration du matériel (voir à ce propos l'annexe I), ce travail semble prouver qu'il est tout à fait possible de réaliser des activités en électronique au CM. Les objectifs d'ordre technologique semblent aisés à atteindre (fonction globale, notions de capteur, de récepteur). Des difficultés surgissent au niveau des objectifs d'ordre scientifique, mais peut-il en être autrement ? Nous rappelons que l'évaluation a été faite plusieurs semaines après la fin des séances. Les acquis constatés quant à la compréhension des phénomènes étudiés sont donc durables. La conception à épuisement de courant rencontrée massivement ne doit pas être considérée comme un échec, ainsi que nous le verrons dans le paragraphe suivant.

Quant à la démarche adoptée visant en premier lieu une appréhension globale puis, seulement dans un deuxième temps, une compréhension analytique, elle semble se trouver entièrement justifiée :

- tous les élèves interviewés ont une bonne compréhension de la fonction globale et de la structure de l'alarme ;
- quatre sur neuf font une assez bonne analyse du fonctionnement ;
- un seul parmi ces quatre a (peut-être ...) une représentation du courant conforme à ce que nous souhaitions.

Ceci nous conduit de nouveau à affirmer qu'il n'est pas nécessaire d'attendre que tous les concepts de l'électricité soient assimilés avant d'aborder des activités en électronique.

V - 2 - La conception à épuisement de courant : une étape peut-être nécessaire

Nous avons fait état dans la seconde partie du cheminement d'un individu dans ses connaissances en électricité. Celui-ci serait jalonné d'états intermédiaires plus ou moins stables qu'il lui faudrait franchir pour évoluer vers des modèles de plus en plus élaborés. Le passage d'une conception à une autre est donc **signe de progrès** et non d'échec, même si cette dernière doit à son tour être dépassée. L'histoire des sciences est là pour nous rappeler que les chemins de la connaissance passent par des modèles explicatifs dont le seul destin est d'être un jour révolus.

On peut penser que le fait de trouver chez des élèves une conception à épuisement de courant signifie pour eux le dépassement des modèles d'ordre inférieur et marque donc un nouveau pas vers le modèle circulatoire avec conservation du courant qu'on souhaiterait leur voir assimiler.

V - 3 - Autres difficultés dans l'acquisition des connaissances scientifiques

Outre la difficulté de l'évolution progressive vers des modèles de plus en plus élaborés, nous voudrions insister ici sur deux autres aspects.

V - 3 - 1

Un individu peut fort bien utiliser une notion ou une propriété dans une situation donnée, ce qui peut laisser croire qu'elle est assimilée, et n'en faire aucun cas dans une situation voisine. Les cas de Youssef et d'Alexandre constituent une illustration intéressante. Ils semblent en effet avoir assimilé l'unicité du courant dans la situation où sont connectés en série pile, ampoule, moteur et vibreur. Placés devant une autre situation (1ère et 2ème colonne du tableau 3), leur conception à épuisement de courant réapparaît. Cela revient à dire que deux situations jugées voisines par l'adulte, donc relevant des mêmes concepts et des mêmes propriétés, peuvent apparaître totalement indépendantes aux yeux d'un enfant. Postuler qu'un même modèle doit **nécessairement** expliquer toutes les situations possibles dans un domaine donné (qui demande d'ailleurs à être en général limité), relève d'une vision unificatrice qu'un enfant de 10-12 ans ne peut guère avoir spontanément.

V - 3 - 2 -

Il ne suffit pas d'une unique contre-expérience pour qu'une conception tenace soit gommée [2]. Thuy se souvient tout à fait du résultat de l'expérience au cours de laquelle pile, vibreur et plaques plongeant dans l'eau sont connectées en série. Malgré cela, elle maintient que le courant est normal lorsqu'il parcourt le vibreur.

Gaëtan, pour sa part, semble avoir réussi à adapter sa conception pour la rendre compatible avec le résultat de l'expérience :

Montage pile/ampoule/moteur/vibreur (dans cet ordre en partant du +) : le courant s'épuise régulièrement dans chaque récepteur. Il est déjà faible au départ (l'ampoule et le moteur ne fonctionnent donc pas). Il est encore plus faible lorsqu'il traverse le vibreur, mais ce dernier est très sensible ce qui explique qu'il sonne quand même.

Si, comme nous l'avons déjà signalé, l'expérience est indispensable pour créer les conditions d'une réorganisation des connaissances, elle doit s'insérer dans une œuvre de longue haleine. S'agissant de jeunes enfants, il n'est pas raisonnable de croire qu'une seule expérience, fût-elle **démonstrative** à nos yeux, puisse remettre en cause des conceptions souvent solidement ancrées.

ANNEXE I

Chaque groupe d'élèves disposait potentiellement du matériel suivant monté sur des planchettes de bois d'environ 10 cm × 10 cm.

- 1 transistor type BD 135 protégé par une résistance de 1000 Ω
- 2 piles
- 1 vibreur
- 1 ampoule montée sur douille
- 1 D.E.L. rouge $\varnothing$ 5 mm
- 1 jeu de 2 plaques métalliques d'environ 5 cm × 10 cm
- 1 thermistance 100 k Ω
- 1 photo-résistance

Les connexions se font par des "dominos" vissés sur la planchette. Les liaisons entre ces dernières s'effectuent à l'aide de fils ($\varnothing$ 2 mm) dénudés et étamés afin d'éviter aux brins de se séparer. Il convient d'accorder le plus grand soin à l'élaboration et à la maintenance de ce matériel qui, ne l'oublions pas, est destiné à être confié à des enfants. L'élimination des mauvais contacts est une condition indispensable à la réussite de l'activité.

La liste ci-dessous donne une idée du coût (Juin 1987) en francs :

— Douille pour ampoule E 10	5,00
— Vibreur	12,00
— Résistance 1/4 W, 1000 Ω	0,30
— LED rouge $\varnothing$ 5 mm	1,25
— Transistor BD 135	4,20
— Thermistance (CTN) 100 k Ω	5,10
— Photo-résistance (LDR 05)	12,60
— Moteur	12,00

ANNEXE II : PROTOCOLE DE L'ENTRETIEN

I – FONCTION GLOBALE

Le détecteur d'inondation est présenté tout monté. Les plaques sont fixées à un support. Leur hauteur peut être réglée à volonté. Un récipient simule la cave ou la piscine dont il sera question.

I - 1 - Te souviens-tu de ce dispositif ?

I - 2 - Tu es un installateur d'alarmes électroniques.

I - 2 - a - Ce récipient représente une piscine. Dispose les plaques pour que l'alarme nous prévienne lorsque la piscine sera pleine.

I - 2 - b - Ce récipient représente maintenant une cave. Dispose les plaques pour que l'alarme nous prévienne lorsque la cave commence à s'inonder.

II – STRUCTURE DE L'ALARME

II - 1 - Comment modifier l'alarme pour qu'elle nous prévienne non plus par une sonnerie, mais par une lumière ?

II - 2 - Connais-tu d'autres alarmes ? (on rappelle si nécessaire les détecteurs de lumière et d'incendie). Comment peut-on les réaliser ? (on rappelle les termes de photo-résistance et de thermistance, si l'on s'aperçoit que l'enfant les cherche).

III – FONCTION ORGANIQUE

On se borne ici au détecteur d'inondation.

III - 1 - Phase non-directive

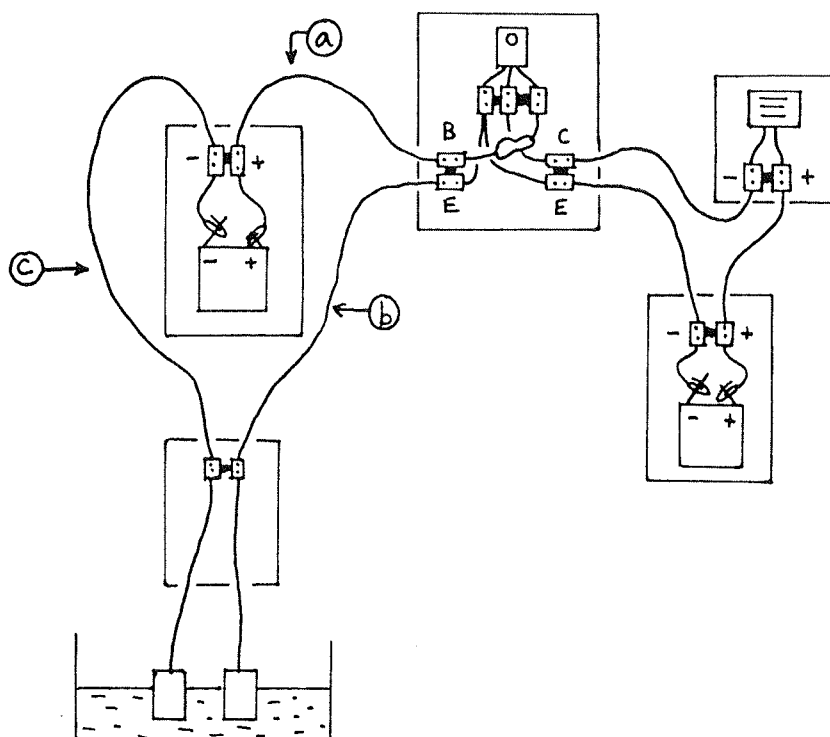
Peux-tu expliquer comment marche le détecteur d'inondation ?

On relance ensuite en utilisant les techniques habituelles.

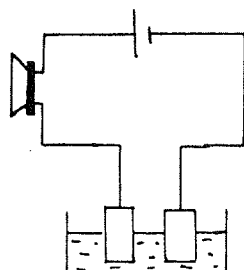
III - 2 - Phase semi-directive

III - 2 - a - On présente à l'élève un dessin simplifié du détecteur (voir ci-contre). On introduit dans le circuit de commande (et si nécessaire dans le circuit d'utilisation) une D.E.L. ou/et une ampoule. On utilise pour ce faire des petits cartons qu'on superpose au dessin. Ceux-ci sont positionnés en différents endroits notés a, b et c dans le schéma.

Que va faire l'ampoule/la D.E.L. ? Pourquoi ?



III - 2 - b On réalise devant l'élève le montage suivant :



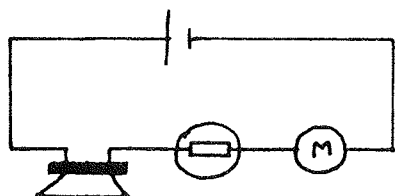
Avant branchement de la pile
Que va-t-il se passer ? Pourquoi ?

Après vérification expérimentale
Qu'as-tu constaté ? Pourquoi ?

IV – MODELE DU COURANT

IV - 1 - Au cours de la partie III (fonction organique), quelques questions visent à mettre en évidence le modèle que se fait l'élève du courant électrique : montre avec ton doigt le chemin parcouru par le "courant" "l'électricité", "l'énergie" (on emploie le vocabulaire de l'enfant) ; Y a-t-il autant de courant là que là ? etc ...

IV - 2 - On présente à l'élève le montage suivant, dans lequel l'ordre des récepteurs sera modifié



Avant branchement de la pile
Que va-t-il se passer ? Pourquoi ? Et si je change de place tel récepteur ? Tel autre ?

Après vérification(s) expérimentale(s)
Q'as-tu constaté ? Pourquoi ?

Les relances successives ont pour but de mettre à jour le(s) modèle(s) que l'enfant interrogé se fait du courant électrique, et plus particulièrement d'évaluer si les situations expérimentales envisagées sont propices pour l'aider à dépasser une conception à épuisement de courant.

REFERENCES

- [1] — Ministère de l'Education Nationale — Ecole élémentaire, programmes et instructions.
B.O.E.N., C.N.D.P., 1985.
- [2] — Rapport d'activité du GRECO — Didactique et acquisition des connaissances scientifiques.
C.N.R.S. : session d'automne 1985.
Recherches pédagogiques — Activités d'éveil scientifique à l'école élémentaire.
Paris, I.N.R.P.
- [3] — n° 62 : Objectifs — Méthodes — Moyens, 1973.
- [4] — n° 74 : Initiation physique et technologique, 1975.
- [5] — n° 108 : Démarches pédagogiques en initiation physique et technologique, 1980.
- [6] — n° 110 : Eléments d'évaluation, 1980.
- [7] — ALEMANI L. — "Initiation technologique à l'école élémentaire".
Revue Française de Pédagogie, n° 74, janvier-mars, 1986, pp. 5-22.
- [8] — DUPIN J.J., JOHSUA S. — "L'électrocinétique du collège à l'université : évolution des représentations des élèves et impact de l'enseignement sur ces représentations" —
Bulletin de l'Union des physiciens, n° 683, avril 1986, pp.779-800.
- [9] — DELACOTE G., TIBERGHIE A. — "Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans" — **Revue Française de Pédagogie**, n° 34, janvier-mars, 1976, pp. 32-44.
- [10] — LACROIX D., CODA M. — "Classement et sériation".
Grand N, n° 36, décembre, 1985, pp. 31-54.
C.R.D.P. de Grenoble.
- [11] — TIBERGHIE A. — "Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuits électriques pour des élèves de 8 à 20 ans".
In : **Recherche en didactique de la physique : actes du premier atelier international, La Londe les Maures, 1983.**
Paris : éditions du C.N.R.S., 1984.