

DE L'INTERRUPTEUR AU RELAIS ELECTRONIQUE, DU RELAIS ELECTROMAGNETIQUE AU TRANSISTOR

Jean-Loup Canal

Dans le domaine de la didactique des sciences, on peut avancer l'hypothèse que l'introduction de la modélisation peut constituer une aide à la construction des connaissances. Il ne s'agit pas de prétendre à la rigueur et à l'efficacité de certains modèles scientifiques, mais de montrer les effets de la modélisation dans l'appropriation des connaissances. Notre hypothèse s'appuie sur le fait que l'une des fonctions du modèle, la fonction explicative, passe par l'analogie. On trouvera ici des exemples où, pour comprendre le rôle du relais électromagnétique, l'interrupteur mécanique servira de modèle, puis le relais lui-même sera un modèle du transistor. Dans ces situations, la notion de modèle est utilisée au sens limité d'outil pour la pensée, réduisant la complexité du réel. On pourra constater comment les élèves d'un cours moyen deuxième année ont pu, par cette aide, intégrer les premiers principes du transistor utilisé en commutation.

une approche en termes de systèmes à l'école élémentaire

Les récents programmes et instructions de l'Ecole élémentaire offrent, dans le domaine des Sciences et Techniques, un certain nombre d'objets ou de phénomènes d'étude nouveaux que les physiciens et technologues ont l'habitude d'aborder, à un autre niveau, par une approche modélisante : la structure de la matière, l'astronomie, la transmission de signaux électriques. Au cours moyen, (les deux dernières années du cycle élémentaire), l'enseignement comprend en particulier l'étude du transistor (utilisé uniquement en commutation) dans le cadre d'une approche de l'électronique, et du relais électromagnétique au sein de l'étude d'électromécanismes. Il nous est apparu que ces deux objets techniques, ces deux systèmes, pouvaient être étudiés par leur fonction d'interface entre deux systèmes, l'un de commande (électrique), l'autre de puissance (ou d'action), comme l'interrupteur à commande mécanique. Dans le cadre d'une pédagogie d'éveil, les élèves d'une classe de CM2¹, face à diverses situations, vont appréhender les fonctions de ces deux outils et avoir d'eux-mêmes recours aux analogies interrupteur-relais puis relais-transistor.

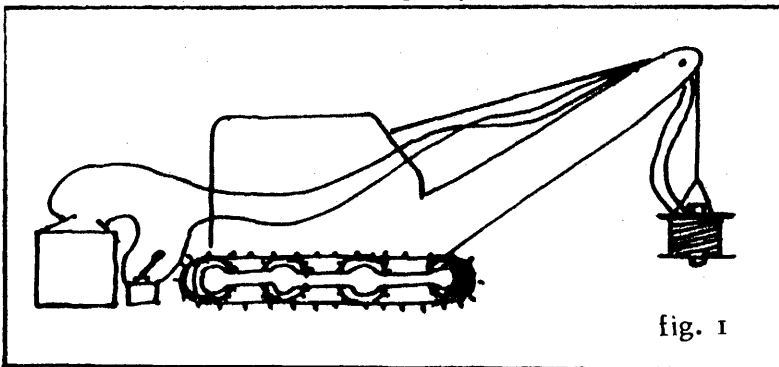
(1) Classe de Michel Prat.

1. L'APPROCHE DU RELAIS ELECTRO-MAGNETIQUE

1.1. L'électro-aimant

Avant d'étudier l'objet technique relais, le maître fait le choix d'analyser d'abord, avec les enfants, la création d'une interaction électromagnétique par le passage d'un courant électrique autour d'un matériau-noyau en fer. Cette étude évitera chez les enfants un obstacle au niveau du rôle de la bobine du relais.

• Présentation d'une grue-jouet



Le maître présente une grue-jouet (figure 1) dont le crochet est absent et remplacé par un électro-aimant. Il fait successivement une série de manipulations sans commentaire :

- le bas de l'électro-aimant touche une pièce de fer (une clef) : cela ne produit aucun effet
- ostensiblement il ferme un interrupteur et renouvelle le contact précédent : la clef reste "accrochée" à l'électro-aimant. Etonnement des enfants.
- il ouvre l'interrupteur : la clef tombe.

E - Ça aimante !!

E - D'habitude un aimant ça aimante tout le temps !

E - C'est un aimant qui fonctionne à l'électricité !

E - En ouvrant, l'aimant se coupe ?

M - Est-ce un aimant ici ?

E - Non, un aimant ça fonctionne tout le temps.

M - Oui, et ici comment pourrait-on appeler ce dispositif ?

E - Un électro-aimant !

M - Comment as-tu trouvé ce nom ? Qui t'en a parlé ?

E - Mon père, et à la télé.

• Fabrication de l'électro-aimant

Ensuite les enfants recherchent les composants de cet électro-aimant et en fabriquent un par groupe (figures 2 et 3). Ils ma-

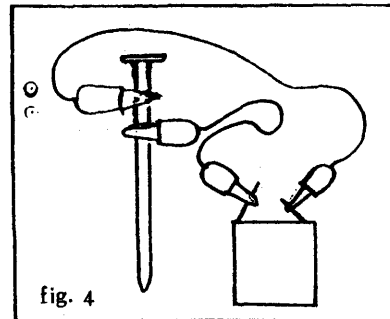
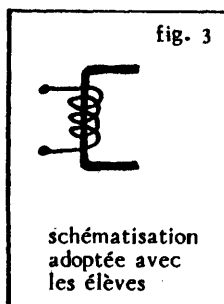
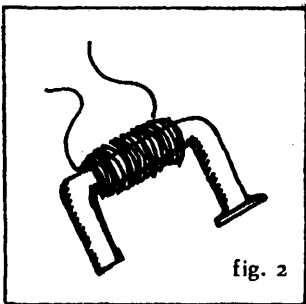
le problème est lancé à partir d'une situation,

que les enfants
analysent

nipulent et déjà des questions apparaissent :

- s'il faut amener le courant au clou (c'est pour eux évident), pourquoi le bobinage est-il en fil conducteur émaillé ? Ils essayent même de construire un aimant en amenant directement le courant à un clou ! (figure 4)

- la nature du matériau à l'intérieur ne fait guère de doute : ce doit être un matériau conducteur. On retrouve un résultat identique sur la nature de ce qui est attiré : c'est un matériau conducteur. Ayant déjà constaté, avec un circuit pile-DEL-eau², que l'eau était conductrice, ils sont fortement déçus en constatant que l'eau n'est pas attirée par l'électro-aimant qu'ils ont fabriqué !



- **Remarque 1** : On aurait pu leur montrer que la faculté d'aimantation de leur électro-aimant dépendait uniquement de la seule bobine : il suffisait de l'approcher d'une boussole. Ils auraient pu rechercher les positions des pôles de la bobine et constater l'inversion de ses pôles par inversion du sens du courant.

- **Remarque 2** : un dispositif intéressant renforce le rapprochement de l'aimant avec la bobine traversée par un courant : une bobine associée à une pile est posée sur un flotteur. L'ensemble s'oriente dans le champ magnétique terrestre. C'est une boussole électrique.

- **Remarque 3** : le rôle du fer doux canalisant les lignes de champ magnétique apparaît en réalisant, avec de la limaille de fer, le spectre magnétique de la bobine seule et de la bobine avec son noyau.

(2) DEL : Diode électro-luminescente

1.2. Elaboration du relais avec une sortie (position travail)

une nouvelle situation-problème...

A partir d'une situation proposée par le maître, et avec des phases tâtonnantes, les élèves vont élaborer avec l'aide du maître un modèle de relais, rapidement concrétisé par une maquette, support matériel du raisonnement. Ils transféreront à cette occasion les acquis sur l'électro-aimant et leurs connaissances du rôle d'un interrupteur.

- On propose aux enfants la situation suivante

Un supermarché a des issues de secours que la clientèle ne doit emprunter qu'en cas de danger. Le gérant décide d'installer une surveillance.

Un premier circuit électrique est constitué de : pile, ampoule, interrupteur ; ce dernier se ferme à l'ouverture de la porte. L'ampoule est dans un local, devant un gardien.

... est décrite aux enfants

Pour des raisons de sécurité, il n'est pas autorisé de mettre un interrupteur parcouru par du 220 volts sur une porte. Donc le circuit contenant l'interrupteur devra être traversé par du 4,5 volts (problème identique à celui de la sonnette électrique de la porte d'entrée alimentée en 24,5 volts).

Il y a aussi un deuxième circuit contenant une alimentation suffisante pour alimenter une sirène, un interrupteur. Quand le gardien voit l'ampoule témoin s'allumer, il doit fermer le circuit contenant la sirène.

On pose alors la question : "Schématise et construis les deux circuits" (réponse figure 5).

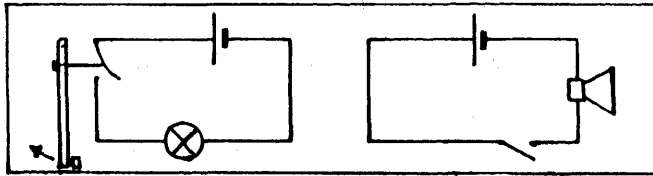


fig. 5

Puis on modifie la situation : le gérant souhaiterait que le gardien travaille à d'autres tâches. Il voudrait donc automatiser le déclenchement de la sirène. Nouvelle question : "Quel montage pourrais-tu lui proposer ?" (réponse figure 6)

le maître a son modèle en tête

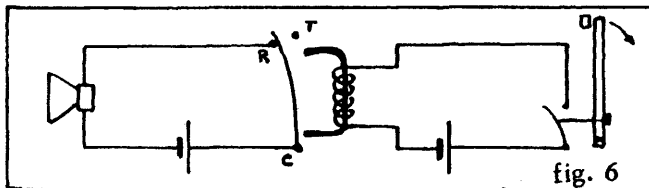


fig. 6

E - On se met par deux ou par trois ?

M - Par trois. Mais avant, qui pourrait me dire rapidement le principe ?

E - Il y a la porte...

M - Oui et alors... ? Que se passe t-il quand je l'ouvre ?

E - Une ampoule s'allume.

M - Alors, qu'est ce que c'est, la porte ?

E - Une issue de secours !

M - C'est vrai. Mais pour le montage électrique ?

E - Un interrupteur.

M - Oui, et ensuite ?

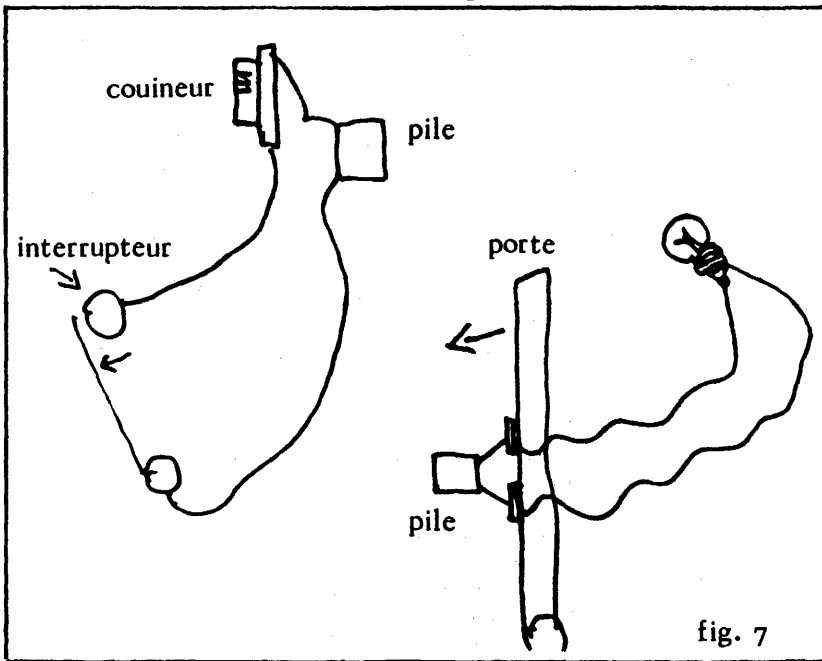
E - Alors le monsieur il appuie sur un bouton qui fait marcher la sirène !

M - Bon allez essayer de me dessiner tout ça.

Pour la première situation les enfants, par groupes de trois tentent de représenter le système. Certains dessinent des prises électriques. Le maître précise que le courant de 220 volts est interdit sur les portes : quand il pleut il y aurait des risques. Il leur demande d'utiliser une pile dans la partie correspondante à la porte.

Le dessin de la figure 7 propose un dispositif qui fermerait le circuit de l'ampoule à l'ouverture de la porte ; mais la porte dès l'ouverture buterait sur la pile.

les enfants progressent par tâtonnement en groupes



la situation se complique.

M - Je vous ai dit que sur la porte il fallait une faible alimentation pour des raisons de sécurité. La sirène, elle, marche avec du 220 volts.

E - Il faut que ça déclenche quelque chose qui ferme l'alarme.

M - C'est bien ! C'est ce que vous allez faire.

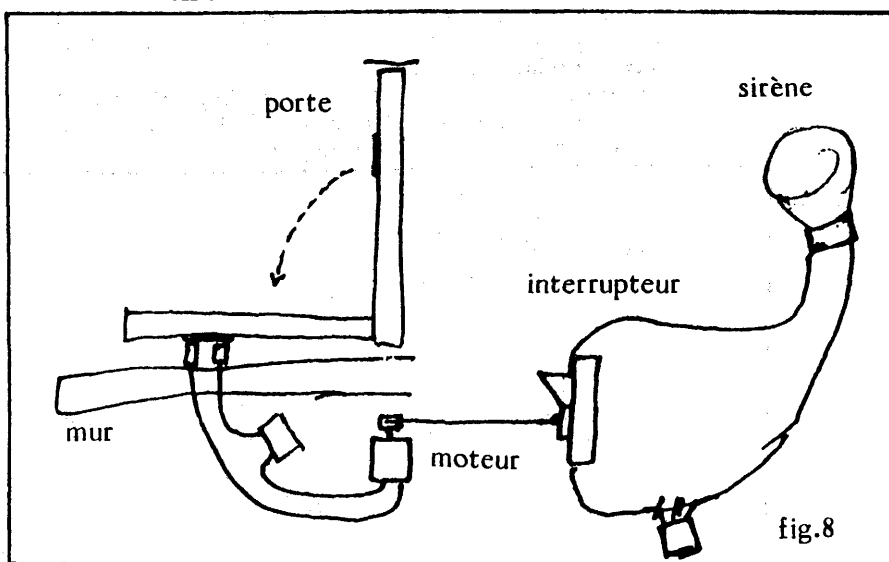
Il écrit au tableau : **"L'ouverture de la porte déclenche un dispositif qui ferme le circuit de l'alarme".**

E - Il faut faire tout en un !

E - L'ampoule ne sert plus à rien.

La réponse à la proposition d'automatisation est l'objet de nombreux tâtonnements. L'un des groupes propose d'utiliser un moteur (figure 8). Les enfants ont repris leur dispositif, celui de la figure 7, en l'améliorant : à l'ouverture de la porte, une plaque métallique fixée à la porte met en communication électrique deux plots fixés sur le mur ; c'est l'interrupteur commandé par l'ouverture de la porte. La pile du circuit d'utilisation avait été oubliée. Le moteur en tournant tire sur une ficelle qui ferme l'interrupteur. Il y a des problèmes pour refaire marcher le circuit...

et les enfants font de nouvelles propositions



Comme les enfants piétinent, le maître les aide un peu.

M - Vous n'avez jamais vu bouger quelque chose quand le courant passe ?

E - Le moteur !

M - Oui et encore ?

E - Il y a le truc avec le fer dedans et ça bouge.

M - Oui, mais comment ça s'appelait ?

E - Un électro-aimant !

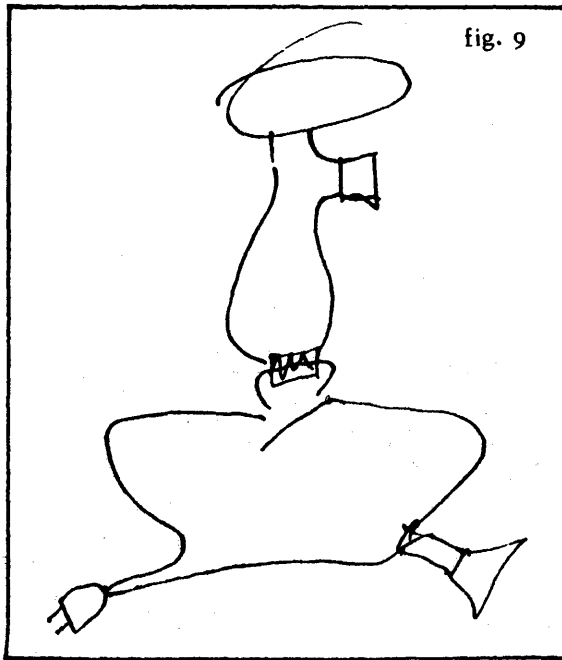
E - Ça aimante le fer (!)

E - Ça peut attirer un bout de fer.

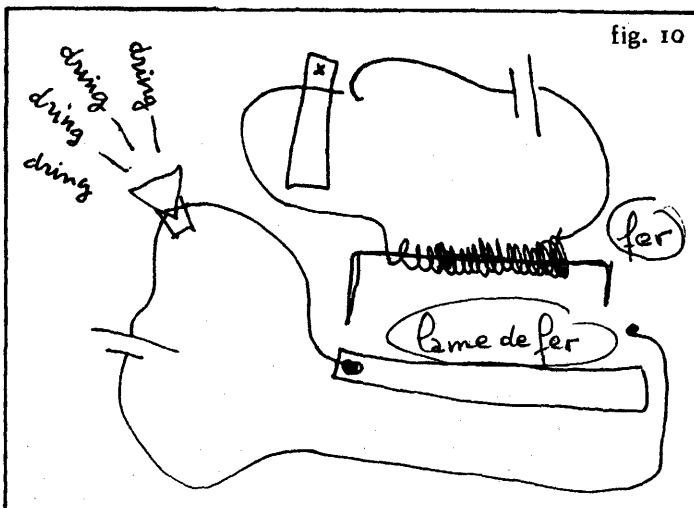
M - Bon maintenant, vous vous débrouillez. Vous pouvez reprendre la fiche que nous avons faite.

Immédiatement le groupe des trois garçons construit un schéma satisfaisant (figure 9) : la porte et son interrupteur n'y sont pas et sont symbolisés par un vague rond. L'alimentation du circuit de la sirène est représentée par une prise.

le maître intervient pour aider



Les autres groupes ont fait des plans corrects avec pour certains une aide légère du maître (figure 10).



Ils conçoivent très bien les deux montages mais ils ont du mal sur le plan technologique à fabriquer l'interrupteur : dans un groupe ils mettent un clou qu'ils voudraient voir tourner au-

la solution commence à apparaître

tour d'une extrémité ; dans un autre ils tiennent à la main une lame de fer mise à leur disposition et ils sont ravis de la voir s'infléchir quand elle est attirée par l'électro-aimant. Ils ne savent pas comment fixer la lame. Le maître leur montre un montage déjà réalisé (figure 11 : il manque la pointe "R" correspondant à la borne "Repos").

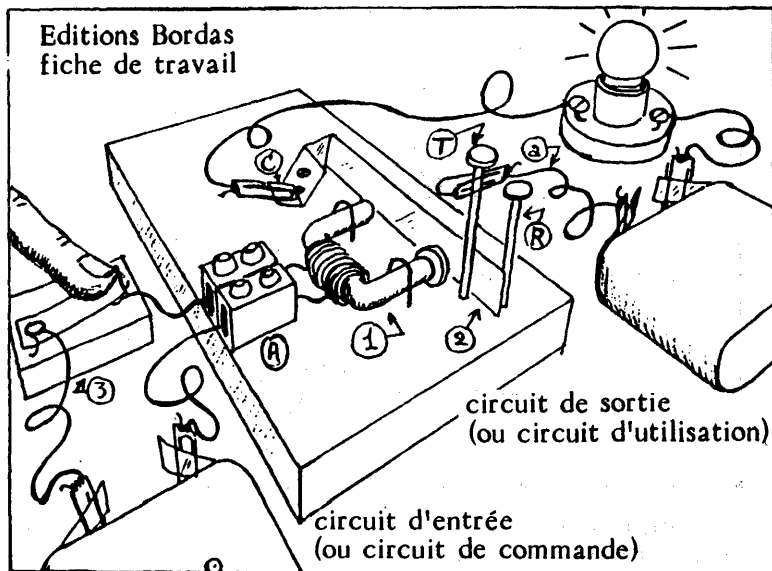


fig. 11

A la fin de la séance, les maquettes de relais sont montées ; elles fonctionnent à peu près correctement : parfois la lame touche la planchette et se bloque, ou bien l'électro-aimant est un peu loin de la lame et ne la déplace pas, la lame touche le clou en fer quand l'électro-aimant travaille et à la coupure elle reste "collée". Pour un groupe le relais marche en position verticale.

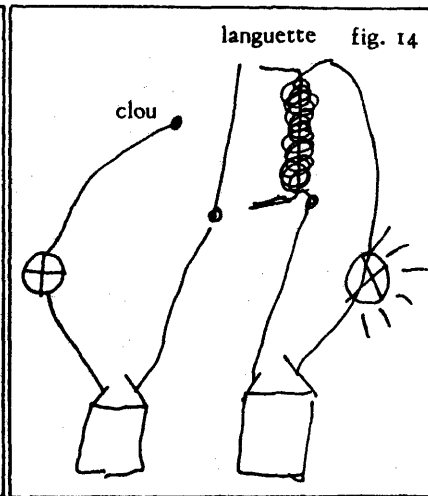
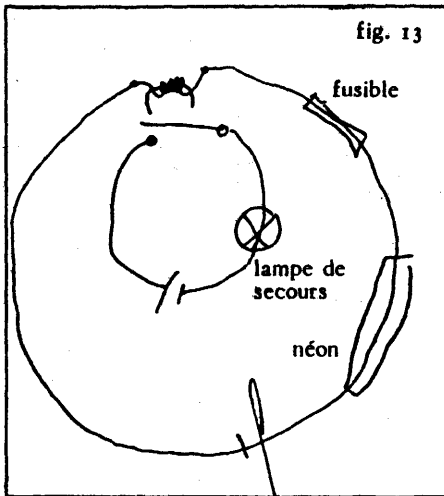
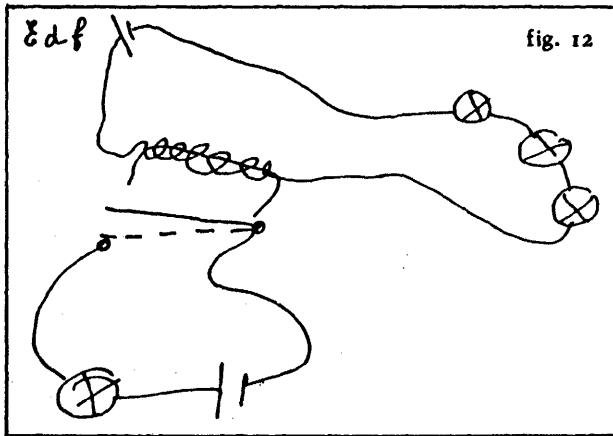
Un groupe s'est trompé : ils ont mis en série le relais et le couneur. Leur schéma était juste...

1.3. Découverte de la position "Repos"

Pour compléter la maquette des enfants et pouvoir la qualifier de modélisation par rapport à l'objet réel que l'on rencontrera peu après, le maître propose une nouvelle situation au cours d'une séance relativement courte : il appuie sur le disjoncteur (le tableau électrique est dans la classe). Une enseigne lumineuse au dessus de la porte, "issue de secours", s'allume immédiatement. Les élèves sont conviés à reproduire le schéma électrique. Deux groupes pensent immédiatement à utiliser le relais ; l'un d'eux propose le schéma de la figure 12. Tous les groupes ont fini en une demi-heure (figures 13 et 14).

la classe a réussi : les maquettes sont construites

un élément de plus dans le problème



Les ampoules en série représentant l'éclairage de la classe poseront un problème au cours de la réalisation.

A ce stade-là, le dispositif se caractérise par :

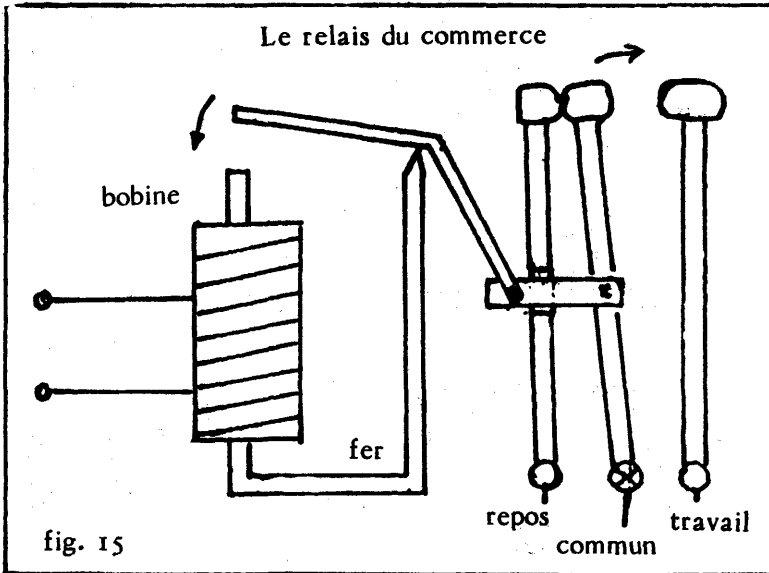
- deux bornes d'entrée pour l'alimentation de la bobine,
- deux bornes à choisir parmi trois pour l'interrupteur du circuit de sortie.

L'ensemble est bien défini, on peut lui attribuer un nom : le relais.

1.4. Le relais du commerce

Les enfants ont constaté des dysfonctionnements sur leurs relais. Ils observent un relais vendu dans le commerce qui a le "mérite" d'avoir un capot transparent. Ils repèrent facilement les deux bornes du circuit d'entrée. Ils réalisent les montages précédents, mais en tâtonnant. S'ils distinguent bien les trois "languettes" métalliques qui permettent les deux positions en sortie, ils ont du mal à comprendre le principe technologique de ce relais : "l'électro-aimant repousse au lieu d'attirer". Le maître dessine le plan de ce relais qu'ils reprennent sur leur cahier (figure 15). Ils auraient pu construire un modèle en carton, maquette animée, inspirée du dessin du maître.

la découverte de l'objet réel



1.5. Conclusion sur ces séances

En un peu moins de six heures, traces écrites et deux évaluations comprises, les enfants ont étudié le relais électromagnétique. Ils l'ont bien assimilé à un interrupteur commandé électriquement, interrupteur ayant deux possibilités de branchement, l'une quand la bobine est alimentée, la position "travail", l'autre quand la bobine n'est pas alimentée, "la position repos".

Chez trois ou quatre enfants, le principe du double circuit ne semble pas totalement acquis. Pour les aider, nous aurions pu monter le système d'alarme de la porte de secours en utilisant deux alimentations d'énergie électrique totalement différentes, une pile de 4,5 volts dans le circuit de commande par exemple, et une batterie de voiture de 12 volts dans le circuit commandé.

Remarque : le schéma codifié du relais électromagnétique n'a pas été employé : nous l'avons jugé trop abstrait et risquant de créer de nouveaux obstacles à ce niveau de la progression.

1.6. Compléments possibles

Arrivé à ce stade de l'étude, le maître a choisi de poursuivre vers l'analyse du transistor plutôt que de chercher à faire fonctionner sans faille le modèle construit par les enfants. D'autres situations auraient permis ce transfert. Elles peuvent aussi servir de situation de départ en lieu et place de celle utilisée. C'est pourquoi il est intéressant de proposer les trois compléments suivants à des enseignants de l'école élémentaire, compléments possibles avec des enfants du collège. Si le

l'ensemble du système a été étudié

d'autres situations possibles...

premier conserve au relais sa fonction de commutation, les deux derniers présentent une nouvelle utilisation du relais et permettent de découvrir qu'un même objet technique peut avoir plusieurs fonctions.

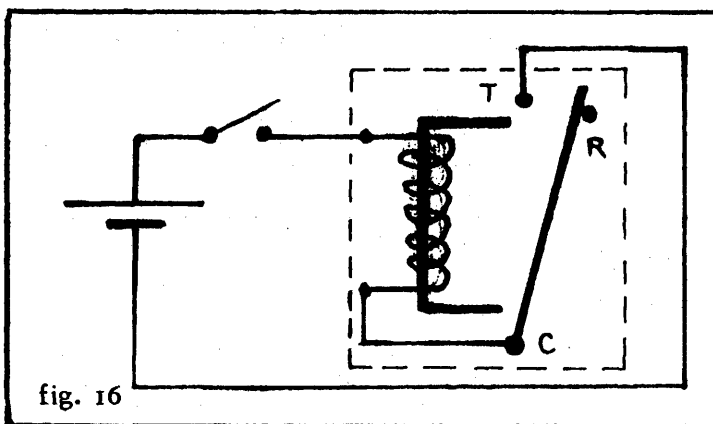
- Pilotage d'un moteur électrique

Comment inverser le sens de rotation d'un moteur à courant continu ? Pour une commande manuelle, un interrupteur quadripolaire suffit. Un relais à doubles contacts permettrait une commande électrique mais avec un inconvénient majeur : le moteur tournerait dans un sens ou dans l'autre mais ne serait jamais au repos. L'emploi de deux relais simples lève cet obstacle. Ce montage est utilisé dans le pilotage des moteurs électriques avec un ordinateur (on trouvera des schémas de ces montages dans toute bonne littérature).

... utilisables
comme transfert...

- Dispositif de la figure 16

Ce montage dessiné au tableau, il faut déterminer ce qui se passe. Son interprétation ne pose en général aucun problème : on n'utilise plus la fonction de communication du relais mais sa fonction de vibreur.



- Commande d'arrêt de l'autobus

Posons le problème : dans l'autobus urbain, le voyageur demande au conducteur de stopper au prochain arrêt en appuyant sur un bouton poussoir. Un signal lumineux s'allume et reste allumé quand le bouton poussoir est relâché. Les autres voyageurs et le conducteur sont ainsi prévenus : un nouvel appui sur le bouton poussoir est sans effet. Le montage de la figure 17 est une solution parmi d'autres. C'est la même source d'énergie qui transmet l'appel et qui alimente le signal lumineux. Un relais à double contact peut dissocier l'unique circuit précédent en deux circuits, l'un pour mémoriser l'appel, l'autre pour alimenter le signal lumineux (figure 18). Le

... ou en formation
de maîtres

relais a donc ici une fonction mémoire.

Remarque : une solution électronique peut être proposée à des élèves du collège. Ils verront ainsi qu'une même fonction peut être remplie par des objets différents. Un bref courant dans la gâchette du thyristor (TILS 106) ferme le circuit principal (figure 19)

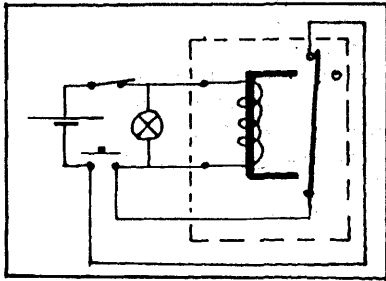


fig. 17

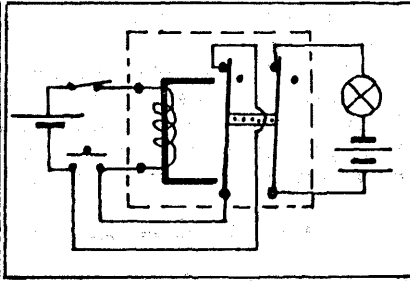


fig. 18

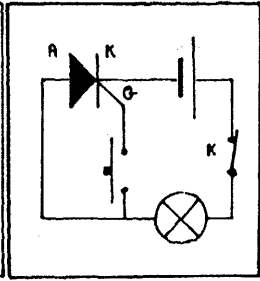


fig. 19

2. LE TRANSISTOR, UN RELAIS ?

Poursuivant la logique de sa progression, le maître va introduire l'étude du transistor en l'utilisant dans des conditions où il est saturé : il fonctionne donc uniquement en commutation. Par ailleurs, respectant le modèle qu'il s'est fixé du transistor comme interface entre deux systèmes, le maître n'abordera avec les enfants que la fonction d'usage de cet objet technique ("à quoi sert-il ?"), laissant de côté la fonction organique ("comment est-il fait ?"), sans intérêt à ce niveau d'enseignement.

L'approche par situation-problème de l'utilisation du transistor va conduire les enfants à l'analogie avec le relais étudié précédemment, tout en reconnaissant la différence fondamentale entre eux au niveau de l'intensité du courant électrique dans le circuit de commande.

Ces séances seront l'occasion d'introduire des notions comme celles de capteur et d'actionneur (ou effecteur) que l'on retrouvera par la suite lors du pilotage par ordinateurs.

2.1. Un détecteur d'inondation

Le maître présente le problème sous la forme d'une histoire fictive à propos de laquelle les enfants ne sont pas dupes...

M - Le tuyau de la machine à laver s'est débranché et l'eau a coulé une partie de la nuit !

E - C'est une blague !

un nouvel objet
en continuité
avec le précédent

on repart sur un problème

M - J'en ai assez et je ne veux plus que cela recommence. Cet après-midi (c'est samedi matin), quand nous ferons un nouveau lavage avec la machine, je dirai à mon fils de se mettre devant et quand il verra l'eau couler par terre il faudra qu'il appuie sur un bouton d'alarme. Nous, à l'étage, nous entendrons et viendrons tout de suite ! Qui me fabrique ce circuit d'alarme ?

Un élève dessine rapidement un schéma au tableau : pile, couineur, interrupteur, pile.

E - Votre fils ne voudra pas rester !

M - C'est vrai... Vous ne pourriez pas m'aider ?

Brouhaha d'acquiescements, avec des réflexions comme "l'eau c'est un interrupteur, c'est conducteur".

- Recherches en groupes : propositions, premières expérimentations

Tous les groupes ont des propositions à faire :

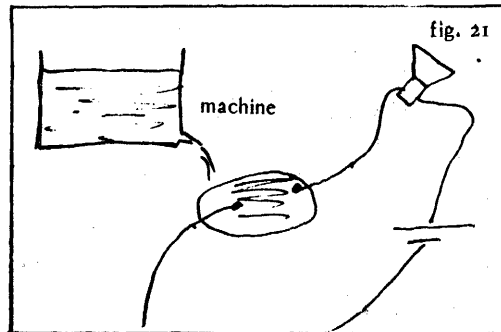
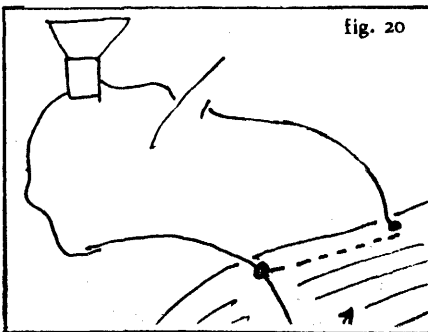
1 - mettre un bouchon sur la lamelle de l'interrupteur tenu à l'envers ; quand l'eau monte, le bouchon monte aussi et entraîne l'interrupteur qu'il ferme (un groupe),

2 - le courant d'eau repousse l'interrupteur et le ferme (figure 21) (un groupe),

3 - l'eau est conductrice et le circuit se ferme avec un montage simple : pile couineur (figure 20) (trois groupes),

4 - l'eau est conductrice et ferme un circuit de commande d'un relais.

et les enfants cherchent par groupes



Le maître demande aux deux premiers groupes d'améliorer leur dispositif, il veut qu'il se déclenche à la première flaque d'eau. Ces deux groupes adoptent la proposition numéro 3. Les couineurs distribués ne sont pas des buzzers piézoélectriques qui, trop sensibles, siffleraient légèrement avec l'eau. Les enfants sont surpris de ne pas avoir un résultat positif :

E - L'eau gêne le courant !

E - Ça le ralentit.

E - Il faudrait deux piles.

Avec deux et trois piles, les essais ne donnent aucun résultat. Le montage avec le relais n'a pas plus de succès.

• Analyse des résultats

Le groupe ayant travaillé sur le relais présente son expérience. La classe discute sur les causes de l'échec et les rapproche des résultats obtenus par les autres groupes : le maître leur fait prendre conscience que le courant passe un peu dans l'eau, mais qu'il est gêné. Si le relais ne se déclenche pas, c'est que le courant est trop faible dans la bobine pour attirer la languette en fer. Il faudrait donc quelque chose de plus sensible qui fermerait le circuit d'utilisation. Il faudrait qu'un courant faible dans le circuit de commande puisse fermer le circuit de l'alarme.

M - Je vais vous donner ce quelque chose qui, peut-être, permettra de faire ce que nous voudrions. (Il montre le transistor BD 135 monté sur son support)

E - C'est un transistor !

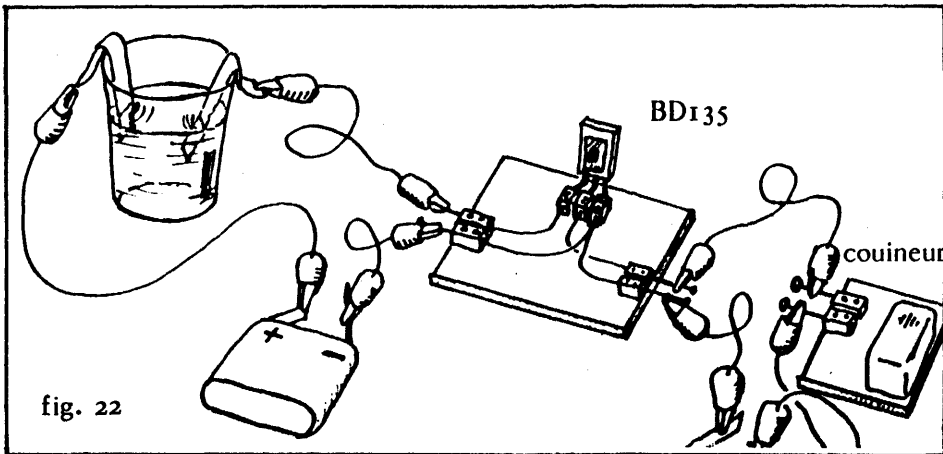
M - Comment le sais-tu ?

E - J'ai une boîte électronique à la maison.

Le maître reprend le dessin qui était au tableau avec le relais. Il efface le relais, dessine le transistor avec ses entrées et sorties. Il insiste sur la polarisation du transistor et sur l'obligation de bien positionner les deux piles des deux circuits. Les enfants montent sans problème ce montage (figure 22).

on propose, puis on analyse les diverses solutions

Introduction par le maître du transistor.



2.2. Le corps est conducteur

Le maître leur demande de remonter rapidement le montage précédent mais en plaçant en sortie un couineur piézoélectri-

que. Deux groupes le font sonner avant d'avoir introduit les deux languettes métalliques dans l'eau (un enfant tenait une languette métallique dans chaque main) ! Ils sont bien sûr très étonnés ; l'un continue sans s'y attarder, l'autre plus accroccheur voudrait comprendre :

- *on fait de l'électricité ?*

aux propriétés
étonnantes

- *on est conducteur ? Le courant passe dans mon corps ? (avec de l'inquiétude dans la voix).*

L'observation est renvoyée aux autres groupes. Ils réalisent une chaîne de vingt personnes : le courant d'entrée qui les traverse toutes déclenche la sirène du circuit de sortie ! Le maître en profite pour leur parler des dangers de l'électricité du secteur.

Au milieu de la chaîne, une des élèves a la main tendue. Sa voisine "pianote" sur la paume ; la sirène reproduit très fidèlement le rythme de l'enfant et elle le reproduit instantanément, ce que ne manque pas de relever quelques enfants : "*le courant va très vite !*"

Remarque 1 : Tous les montages avec transistor proposés ici sont réalisés en séparant au maximum les deux circuits : en particulier chacun possède sa pile. Sur les montages professionnels, il est fait l'économie d'une alimentation moyennant bien sûr quelques transformations. A l'école élémentaire, ce type de montage serait prématuré.

que l'on peut ex-
plorer diversement

Remarque 2 : Nous n'avons pas proposé le schéma théorique du transistor. Nous n'étudions pas son principe de fonctionnement : comment justifier les noms de "base", "collecteur" et "émetteur" ?

2.4. Utilisation de la fonction amplificatrice du transistor

Dans le cas du détecteur d'inondation, les enfants ont constaté une variation du son produit par le buzzer suivant que les deux pièces métalliques sont plus ou moins proches. Ils relient ce phénomène à la résistance de l'eau. Mais, a priori, aucun ne s'étonne de ces variations : un interrupteur est soit ouvert soit fermé mais il ne peut être plus ou moins fermé ! Donc, dans certains domaines d'utilisation, le transistor transmet, en l'amplifiant, une faible modulation d'entrée dans le circuit de sortie.

ou même poursui-
vre plus loin

Cette approche, à la limite des programmes, devra rester très simple et courte, mais pourquoi priver les enfants d'une première écoute, aussi rustique soit-elle, sûrement dans une langue étrangère, sur un "poste-radio" rudimentaire (une bobine de seize spires, une diode à pointe, un transistor AC 127) construit de leurs propres mains ?

* Un signal radio, invisible, issu de l'antenne de l'émetteur, se propage dans l'air (et dans le vide : communication radio avec les cosmonautes sur la lune), et à travers les murs de briques et de pierres.

- * Ce signal est arrêté par des écrans métalliques.
- * Ce signal radio se transforme, dans l'antenne du récepteur, en signal électrique qui, à son tour, se transforme en signal sonore dans l'écouteur.
- * Si le signal électrique est trop faible, on peut l'amplifier avec un transistor et une source d'énergie électrique supplémentaire. Dans ce dernier cas, c'est la fonction d'amplification du transistor qui est utilisée.

3. LES CARACTERISTIQUES DE CETTE DEMARCHE DE MODELISATION

En proposant aux enfants cette progression et la résolution de ces situations-problèmes, le maître a cherché à induire chez eux une démarche de modélisation où l'on peut reconnaître deux dimensions. La première consiste en un raisonnement par analogies et différences : face à divers objets ou phénomènes, en dépassant le simple aspect descriptif, les enfants ont reconnu les caractéristiques de la situation qui leur permettaient de transférer leurs acquis, mais la mise en évidence de conditions d'utilisation différentes implique une différence entre les solutions aux problèmes. La seconde dimension est celle qui fait partir du concret pour mener peu à peu à l'abstrait : l'aspect de plus en plus complexe (et miniaturisé) des objets techniques n'autorise plus d'interrogations simples sur le comment de la fonction, que l'on aborde alors par une étude simplifiée, une maquette par exemple.

Une telle démarche est bien modélisante, que l'on conçoive les modèles scientifiques comme des structures emboîtées ou comme l'évolution d'une représentation par complexifications successives.

3.1. Analogies et différences

Dans "Gödel, Escher et Bach" ³, Douglas Hofstadter définit deux capacités qui, d'après lui, caractérisent l'intelligence :

- * trouver des similitudes entre des situations malgré les différences qui peuvent les séparer ;
- * établir des distinctions entre des situations malgré les similitudes qui les rapprochent

Mais comparer, rapprocher des modèles et chercher leurs limites sont aussi des éléments de la démarche scientifique. A

une progression
qui conduit les en-
fants à modéliser

par recherches
d'analogies

(3) Douglas HOFSTADTER. *Gödel, Escher et Bach*. InterEditions. 1985, p. 30

ce double titre, nous nous devons de développer ces capacités. Le domaine étudié ici s'y prête bien.

- Ressemblances entre relais et transistor

* Les deux peuvent servir d'interrupteur à commande électrique ; dans chaque cas, il y a un circuit d'entrée et un circuit de sortie.

* Dans les deux cas, on doit respecter les limites d'utilisation données par le fabricant.

- Différences

* Un transistor est polarisé, le relais ne l'est pas.

* Le relais se déclenche avec un petit bruit, le transistor reste silencieux ; dans le premier des pièces bougent, dans le deuxième tout reste immobile : les principes de fonctionnement sont totalement différents.

* Un relais dispose de la position "repos", le transistor non.

* Le courant dans le circuit d'entrée du transistor est faible et même très faible. Le relais exige dans son circuit d'entrée un courant minimum nettement supérieur.

* Le relais a ses deux circuits électriques totalement indépendants. Aussi il peut avoir des alimentations totalement différentes dans chacun d'eux (en respectant tout de même les normes de fabricant). Il n'en est pas de même avec le transistor qui a une borne du circuit d'entrée commune avec le circuit de sortie.

* Le transistor a des effets surprenants, non conformes avec ce que l'on est en droit d'attendre d'un interrupteur : dans certains domaines de fonctionnement (cas du détecteur d'inondation quand on écarte plus ou moins les plaques métalliques d'entrée) une faible variation du courant du circuit d'entrée provoque une variation proportionnellement plus importante dans le circuit de sortie.

et de différences

3.2. D'un modèle à l'autre, du concret à l'abstrait

C'est le schéma suivant qui a été exploité :

"interrupteur" → modèle du "relais"

"relais" → modèle du "transistor"

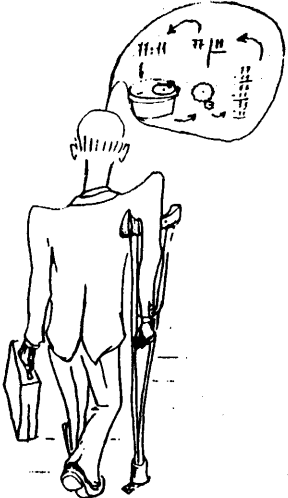
Dans chaque cas, le rôle du modèle (analogie, représentation, métaphore, similitude, symbole, correspondance ?) fut le même : celui d'être un facilitateur, une passerelle du connu vers l'inconnu. Et pourtant, pour un profane, les rapprochements de ces trois objets ne sont pas évidents ! Mais les enfants les ont utilisés, exploités et délimités sans peine.

Plus l'enfant est jeune, plus il a besoin d'un modèle concret proche de son propre environnement. Peu à peu, il pourra s'en éloigner et prendre un modèle de plus en plus abstrait. C'est ce qui s'est produit ici : les élèves sont passés de l'interrupteur



mais aussi du
concret vers l'abs-
trait

une démarche né-
cessaire pour l'ap-
prentissage
scientifique



LE MODELE :
Une aide à la construction personnelle
des connaissances

simple à l'interrupteur à commande électrique, puis à un ensemble regroupant l'interrupteur à commande électrique avec cinq bornes permettant de le relier avec l'extérieur suivant des modalités définies par la situation.

La maquette du relais les conduit au relais du commerce, objet plus abstrait car compact et beaucoup moins transparent dans son fonctionnement que ne l'était la maquette. Présenté ex abrupto, le relais du commerce aurait été incompréhensible.

Vient enfin le passage au transistor : la transition est apparemment brutale. Mais elle n'a posé aucune difficulté : les enfants avaient pris l'habitude de concevoir un élément électrique à plusieurs bornes reliant deux circuits, l'un servant de circuit de commande à l'autre. A ce niveau, le transistor est hermétique, silencieux, incompréhensible dans son fonctionnement. Mais ils ont assimilé sans aucun problème sa fonction de commutation.

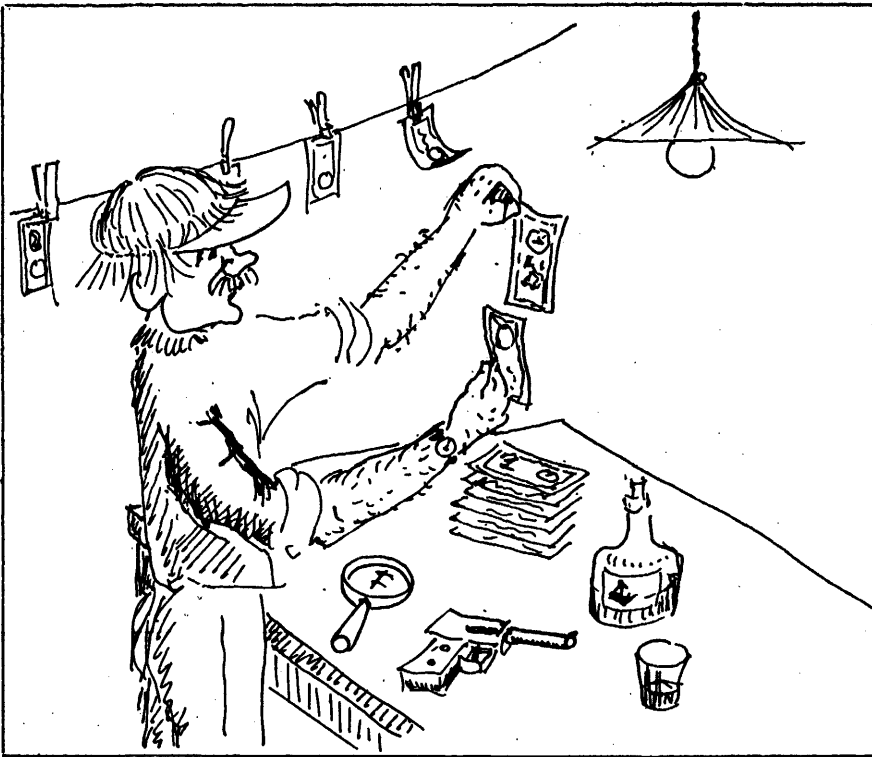
En poursuivant dans le champ des connaissances, il viendra un moment où ils devront se contenter de la théorie même comme modèle, aucune représentation concrète ou rapprochement n'étant possible. A qui cherchait un modèle mécanique des ondes électromagnétiques de la théorie de Maxwell, Richard Feynman répondait : "Je ne puis vraiment pas vous donner une idée, même approximative, de ce que sont les ondes en réalité. Donc si vous éprouvez quelque difficulté à vous les représenter, ne vous en inquiétez pas : cela n'a rien d'anormal".⁴

Cette abstraction exige une maturité intellectuelle. Posons le postulat suivant : un des facteurs de cette maturité serait la pratique d'un nombre, plus ou moins grand suivant les individus, d'exercices progressifs suivis au rythme de compréhension des enfants.

Jean-Loup CANAL
Ecole Normale, Rodez

(4) cité dans "La lumière et l'électromagnétisme", Série HPP, Tome 4, Montréal Québec, Editions IRP, p. 120.

Dessins : Jean-Loup Canal



En sciences, le modèle est toujours un peu faux par rapport
à la réalité. Ici, seul le modèle est vrai ...