

# "ÉTUDIANTS-CHERCHEURS" : UNE PROPOSITION EN ÉLECTRODYNAMIQUE

Philippe Pinelli  
Richard Lefèvre

Cet article présente l'élaboration, l'expérimentation, et l'analyse, d'une séquence de Travaux Pratiques d'électrodynamique au 1er cycle universitaire (DEUG), mettant en jeu un certain nombre de "situations-problèmes" destinées à faire jouer aux apprenants le rôle de "chercheurs novices". Cette étude rend compte du comportement des étudiants, non seulement dans la pratique de la démarche expérimentale, mais aussi dans la modélisation des dipôles électriques ainsi que dans l'utilisation de ces modèles. Les résultats obtenus semblent encourageants : en effet, d'une part un certain nombre de phases caractéristiques d'une démarche expérimentale ont pu être repérées et mises en relation, d'autre part, la modélisation effectuée, quoique perfectible, a pu être réinvestie de façon opérationnelle.

L'enseignement de la physique dispensé à l'université repose le plus souvent, sur la trilogie "Cours Magistral, séquences de Travaux Dirigés, séquences de Travaux Pratiques" avec les finalités traditionnelles suivantes :

- le Cours Magistral est destiné à présenter aux étudiants les concepts, les lois, les théories, à un niveau choisi, c'est-à-dire le Savoir Scientifique (ou le "Savoir Savant") déjà élaboré ;
- les séquences de Travaux Dirigés servent à l'entraînement des étudiants dans le "manement" de ces concepts, lois, ou théories, sous forme d'exercices ou de problèmes ;
- les séquences de Travaux Pratiques permettent, grâce à des expérimentations et des mesurages, de vérifier ou d'appliquer les lois ou les théories.

Cette façon de transmettre le savoir, certes rentable avec des étudiants doués ou motivés, n'est peut-être pas la plus efficace, ni la plus attrayante pour l'apprenant confronté pour la première fois à l'enseignement universitaire. Il faudrait pouvoir rendre l'enseignement de la physique plus motivant pour les étudiants, mais également faire en sorte qu'ils utilisent une démarche réellement constructrice de savoir et savoir-faire scientifiques.

Pour les séquences de Travaux Pratiques, qui vont être ici l'objet de notre propos, nous pensons que l'on peut s'écarter avec profit du modèle pédagogique traditionnel pour se rapprocher d'un modèle plus proche des pratiques scientifiques de laboratoire, en plaçant l'étudiant en position de "chercheur novice" selon le modèle élaboré par D. Gil-Pérez (1).

(1) GIL-PÉREZ, D. *Contre les stratégies d'enseignement orientées à la production de changements conceptuels*. Communication présentée au 1er Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques, I. F. M., Université Joseph Fourier, Grenoble. (Octobre 1991).

le modèle  
traditionnel de  
l'enseignement  
de la physique à  
l'université

choix d'un  
modèle  
pédagogique  
proche de la  
démarche  
scientifique

Dans cette perspective, nous avons réalisé une situation d'apprentissage basée sur l'approche des "situations-problèmes" et nous nous proposons dans ce qui suit d'en présenter :

- le cadre théorique et les objectifs,
- l'élaboration et la mise en œuvre auprès d'un binôme d'étudiants au cours d'une séquence de Travaux Pratiques de physique du DEUG A,
- une analyse critique des résultats obtenus à la suite de cette expérimentation.

## 1. LE RÔLE DE L'EXPÉRIMENTATION DANS L'APPRENTISSAGE DU SAVOIR SCIENTIFIQUE

### 1.1. Option inductiviste

S. Johsua (2) nous rappelle que l'idéologie inductiviste, majoritairement admise dès la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle et n'ayant cessé de s'approfondir depuis, repose sur la croyance que : *"l'observation et la mesure sont à la base de la "mise en évidence" des lois physiques et qu'il est possible de créer un cadre scolaire artificiel où l'élève, bien dirigé, serait apte à faire, en raccourci, ce même cheminement."*

L'induction apparaît alors comme la méthode naturelle d'élaboration du savoir en physique.

l'option  
inductiviste dans  
l'enseignement  
de la physique  
expérimentale...

Depuis le début du siècle les "Exercices Pratiques", c'est-à-dire les Travaux Pratiques, ont été introduits dans les divers cycles d'enseignement avec une intention très nette de lutte contre le "formalisme" et le "dogmatisme" alliée à une volonté de prise en compte dans l'enseignement de la "méthode expérimentale" inhérente aux sciences physiques.

Malgré cela, et même après la rénovation pédagogique des années 70, le rapport à l'expérimental en physique est resté de type inductiviste. En effet, très souvent le professeur introduit un concept, une loi ou une théorie par une *"monstration expérimentale"* (3) dont le point de départ est une expérience de référence (ou "prototypique") parlante et simple (en apparence) grâce à laquelle les élèves, moyennant une observation attentive, voient une loi s'établir de manière quasi évidente.

avec ses  
avantages...

Ce mode de transmission du savoir, satisfaisant pour l'enseignant car il permet d'établir rapidement des liaisons entre les éléments pertinents d'un phénomène et d'introduire de façon opérationnelle les concepts présentés, ne tient pas compte du fonctionnement cognitif des élèves ; en effet, ce type d'apprentissage se situe dans les modèles de *"l'empreinte"* (ou transmission-réception) et du *"conditionne-*

(2) JOHSUA, S. "Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire". *ASTER*, 8, pp. 29-53. (1989).

(3) Ibid note (2)

et ses  
inconvenients vis-  
à-vis de  
l'apprentissage

ment" (4). Ces modèles, bien que leur fonctionnement soit efficace dans certains cas, ne permettent pas à la majorité des élèves de "construire" leurs savoirs ; ils reçoivent les représentations du maître, assistent à la mise en oeuvre de raisonnements élaborés par lui et donc apprennent un modèle mais ne modélisent pas ! Ce type d'enseignement va à l'encontre d'un apprentissage efficace et motivant, car comme le rappelle G. Robardet (5) : *"on ignore le plus souvent les représentations initiales de l'élève, qui les conservera intactes par la suite, (ce, d'autant plus que les expériences qu'on lui présente sont déconnectées du réel) et il aura en outre de grandes difficultés à séparer les faits et le modèle ; il doit en revanche conceptualiser rapidement au fur et à mesure que le programme avance"*.

On souhaiterait, à l'inverse, que les élèves se posent réellement des questions et construisent leur savoir en modifiant leurs représentations initiales. Plutôt que de leur faire consommer des expérimentations destinées à leur montrer des phénomènes ou des lois de façon qualitative ou quantitative (même si on leur propose des calculs d'incertitude pour leur faire prendre conscience des limites de la mesure), on peut penser à les pousser à concevoir eux-mêmes des expérimentations à partir de questions que, certes nous les amenons à se poser, mais pour lesquelles les modèles que nous voulons qu'ils acquièrent, seront les solutions optimales.

## 1.2. Option constructiviste

### • Pour une conception plus constructiviste de l'apprentissage

La plupart des didacticiens se reconnaissent volontiers "constructivistes". Ce terme peut, en fait, recouvrir plusieurs acceptions, selon les angles d'approche qui peuvent être d'ordre épistémologique, psychologique ou didactique. C'est sous l'angle didactique que nous nous plaçons, le point de vue constructiviste s'opposant alors au point de vue transmissif, en plaçant l'étudiant au centre des situations d'apprentissages, en position de se questionner par rapport à un savoir énigmatique.

la connaissance  
ne se reçoit pas  
mais se construit

G. Bachelard disait déjà en 1938 (6) : *"... toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné tout est construit"*, et un peu plus loin :

- 
- (4) ASTOLFI, J.P. "Comment construire une séquence d'apprentissage ?" In : *Apprenons pour enseigner II*. Toulouse : C.R.D.P. (1990), pp. 12-17.
- (5) ROBARDET, G. "Enseigner les sciences physiques à partir de situations-problèmes". *B.U.P.*, 720, pp. 17-28. (1990).
- (6) BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique* (11<sup>ème</sup> édition). Paris : Vrin. (1980).

“... il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amorcés par la vie quotidienne”.

C'est dans ce modèle d'apprentissage que la situation-problème va jouer un rôle important car elle va conduire l'élève :

- à expliciter et faire fonctionner ses conceptions,
- à les modifier si l'objet résiste,
- à mesurer l'écart entre celles-ci et les faits,
- à fonctionner sur le mode “hypothético-déductif” plus proche de la démarche réelle de construction du savoir en sciences,
- à élaborer pour mieux s'approprier les instruments pertinents de la résolution, donc à faire évoluer ses conceptions, en étant l'acteur principal du processus d'apprentissage.

• **La situation-problème dans l'expérimental en sciences**

Le rôle de l'expérimental en sciences est très important car il permet de passer “de la pensée et de la connaissance communes” aux “pensée et connaissance scientifiques” (7), les premières constituant de nombreux “obstacles” aux secondes car elles sont constamment employées, et très utiles dans la vie courante des élèves et des adultes en général (8).

Or la physique utilise des concepts et des modèles qui lui sont propres, et qui visent non seulement à rendre compte des faits mais aussi à les prévoir de façon qualitative et surtout quantitative ; de plus l'élaboration des modèles ou des théories scientifiques, s'appuie principalement sur la “démarche expérimentale”. Elle est mise en oeuvre lorsqu'un scientifique cherche des réponses à une question qu'il se pose. Les principales phases repérables de cette démarche sont : formulation correcte du problème, émission d'hypothèses, vérification de ces hypothèses et interprétation des résultats (9).

Les élèves, eux, ne peuvent pas tout redécouvrir ni même, le plus souvent, simplement savoir à l'avance quel est le problème à résoudre. Néanmoins il est possible, en leur proposant des “situations-problèmes” qui piquent leur curiosité, de les placer en situation de “recherche dirigée” où ils joueront le rôle de “chercheurs novices” en “répliquant des recherches” dans des domaines parfaitement connus par le “directeur de recherche” (le professeur) ; les résultats de

le rôle de  
l'expérimental  
dans la  
recherche  
scientifique...

(7) Ibid.(6)

(8) JOHSUA, S. et DUPIN, J.J. *Représentations et modélisations : le “débat scientifique” dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang. (1989).

(9) DEVELAY, M. “Sur la méthode expérimentale”. *ASTER*, 8, pp. 3-15. (1989).

et dans une option constructiviste de l'apprentissage

leurs recherches seront ensuite confrontés à ceux de la "communauté scientifique" (la classe) (10).

La situation-problème en Travaux Pratiques de physique peut donc jouer un double rôle, d'une part servir de support à un apprentissage du savoir scientifique et d'autre part permettre la formation de l'esprit scientifique.

### 1.3. Conditions d'élaboration d'une situation-problème

La situation doit présenter un caractère énigmatique suffisamment attractif pour que l'élève ait envie de résoudre le problème ; par ailleurs elle doit permettre la mise en oeuvre de stratégies différentes ceci afin que chaque élève puisse s'adapter et s'engager dans un processus de recherche qui lui est propre.

une situation-problème doit rendre l'élève responsable vis-à-vis de son apprentissage

G. Brousseau qualifie une telle situation "d'a-didactique, en ce sens que disparaît d'elle l'intention d'enseigner", il nomme "dévolution", "l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation d'apprentissage (a-didactique)", et il précise que cette situation doit provoquer chez l'élève une "interaction la plus indépendante et la plus féconde possible" (11).

En outre C. Margolinas précise que si l'on veut que l'élève endosse complètement la responsabilité de l'acquisition de nouveaux savoirs, il faut en plus que "le milieu permette une phase de validation" pour qu'il "y décide lui-même de la validité de son travail" (12).

Par ailleurs, l'équipe de recherche du G.R.A.F. de Grenoble, propose **quatre conditions** nécessaires à une "dévolution satisfaisante" de la situation-problème.

- Il faut que le modèle que les étudiants doivent s'approprier (et qui est l'objectif d'apprentissage) puisse être confronté au "milieu", ce fonctionnement dialectique entre le modèle et le milieu permettra de produire des réponses pertinentes destinées à valider ou non le modèle.
- Il ne doit pas y avoir un écart trop important entre le niveau de référence empirique et théorique des élèves et les règles de fonctionnement du modèle qu'ils devront élaborer, sinon les élèves ne pourront pas réaliser "l'accommodation" souhaitée.
- Il y a des limites à la construction de connaissances nouvelles par une activité d'adaptation des élèves notamment

(10) Ibid note (1).

(11) BROUSSEAU, G. "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques". In : *Recherches en didactique des mathématiques*, 2 (3). Grenoble : La Pensée Sauvage. (1986).

(12) MARGOLINAS, C. *Le point de vue de la validation : essai de synthèse et d'analyse en didactique des mathématiques*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble. (1989).

lorsque se présentent des "obstacles épistémologiques" insurmontables, auquel cas l'enseignant doit apporter le "modèle scientifique".

- L'interaction sociale et le débat entre pairs (le maître n'étant pas forcément exclu) jouent un rôle déterminant dans les procédures toujours complexes de validation d'un modèle, sauf dans quelques cas particuliers où un contrôle par la mesure (ou le calcul) peut être fait, ou bien s'il s'agit de réalisations pratiques obéissant à des critères énoncés à l'avance (13).

Il apparaît dans les conditions énoncées, la nécessité de prise en compte des limites du fonctionnement cognitif des élèves, ainsi que l'importance du "milieu" chargé de produire des "réponses pertinentes pour l'apprentissage en cours" (14), et enfin l'importance de l'interaction sociale favorisant un plus large progrès cognitif.

Enfin D. Gil-Pérez attire notre attention sur le fait que, dans une stratégie constructiviste "radicale" d'apprentissage élaborée dans le but de produire chez les apprenants un "changement conceptuel" ayant un statut scientifique, et afin de leur permettre de dépasser leur "méthodologie spontanée du sens commun", il faut placer les élèves en situation de s'approprier une "nouvelle méthodologie" c'est-à-dire leur faire pratiquer une "démarche expérimentale" (15).

traitement d'une situation-problème afin de faire pratiquer à des élèves une démarche expérimentale

Une telle stratégie peut se résumer à :

- poser des situations problématiques ;
- proposer aux élèves une étude qualitative de ces situations afin de déclencher une phase de reformulation ;
- diriger un traitement scientifique des problèmes posés avec les étapes suivantes :
  - . une phase d'anticipation,
  - . une phase d'action,
  - . une phase de formulation,
  - . une phase de validation ;
- proposer le maniement réitéré des nouvelles connaissances dans des situations diverses afin d'établir une phase d'institutionnalisation.

Il reste à préciser l'attitude de l'enseignant durant cette séquence d'apprentissage.

Ph. Merrieu nous indique "qu'il conviendra d'intervenir non pour "résoudre le problème" à la place des élèves mais pour en souligner la structure, rappeler les consignes, pointer les

(13) G.R.A.F. Grenoble. *Recherche de critères relatifs au processus de dévolution d'un problème de sciences physiques*. Communication présentée au 1er Séminaire National de Recherche en Didactique des Sciences Physiques, I. F. M., Université Joseph Fourier, Grenoble. (Octobre 1991).

(14) BROUSSEAU, G. "Le contrat didactique : le milieu". In : *Recherches en didactique des mathématiques*, 9 (3). Grenoble : La Pensée Sauvage. (1988).

(15) Ibid note (1)

l'enseignant doit  
jouer le rôle d'un  
directeur de  
recherches

*dévoiements du groupe, proposer des activités intermédiaires, soulager le travail par l'utilisation de supports facilitateurs*" (16).

G. Brousseau quant à lui nous dit que le maître "*communique ou s'abstient de communiquer, selon le cas, des informations, des questions, des méthodes... des heuristiques etc...*" (17).

Pour résumer, l'enseignant conseille et contrôle comme un "chef des travaux", il assure donc une guidance en veillant au respect du "contrat didactique".

#### **1.4. Objet d'étude : expérimentation de situations-problèmes au cours d'une séquence de travaux pratiques de physique du DEUG A 1ère année (à l'Université Paul Sabatier de Toulouse)**

##### **• Objectifs de la situation-problème proposée**

Les objectifs que nous nous assignons, en ce qui concerne le déroulement de la séquence de T. P. sous forme de situation-problème sont les suivants.

Pour les étudiants (fonctionnant par groupes de deux) :

- l'initiation à la démarche scientifique et plus précisément à la démarche expérimentale ;
- la modélisation de dipôles électriques en courant continu et l'utilisation de ces modèles par leurs caractères opérationnel et prévisionnel.

Pour le chercheur en didactique :

- l'observation du comportement des étudiants face aux deux objectifs précédents.

##### **• Les différentes étapes de l'expérimentation**

Dans ce qui suit nous allons présenter :

- l'élaboration de la séquence de Travaux Pratiques accompagnée des justifications de cette élaboration ;
- le déroulement de cette séquence, c'est-à-dire l'expérimentation proprement dite ;
- l'analyse critique des résultats de cette expérimentation.

## **2. ÉLABORATION DE LA SÉQUENCE DE T. P.**

### **2.1. Choix du thème**

L'électrocinétique en courant continu est un domaine assez familier aux étudiants de première année de DEUG A, tant au point de vue des concepts physiques ou mathématiques employés, qu'au point de vue du matériel utilisé en Travaux Pratiques. Les recherches en didactique de ces dernières années ayant surtout porté, en électrocinétique, sur les

thème choisi : les  
dipôles en  
courant continu

(16) MEIRIEU, P. *Apprendre, oui mais comment ?* Paris : E.S.F. (1988).

(17) Ibid note (11)

conceptions ou la résolution de problèmes, il nous a paru intéressant de nous orienter vers l'activité expérimentale des élèves dans ce domaine. Enfin nous avons choisi de travailler sur le thème des dipôles car ils constituent l'un des concepts fondamentaux dans l'étude des circuits électriques.

## 2.2. Choix des différentes questions

Le document 1 est la feuille-questionnaire remise aux étudiants.

### ÉTUDE DE DIPÔLES ET D'ASSOCIATIONS DE DIPÔLES

Vous disposez de 6 dipôles, chacun dans sa boîte noire :

●A1  
  
●B1  
D1

●A2  
  
●B2  
D2

●A3  
  
●B3  
D3

●A4  
  
●B4  
D4

●A5  
  
●B5  
D5

●A6  
  
●B6  
D6

Q I - Identifier qualitativement chacun des dipôles D1 à D5 ; décrire dans chaque cas votre méthode. (15' si peu trouvés ----> aide).

Q II - Déterminer le(s) paramètre(s) caractéristique(s) de chacun de ces 5 dipôles (lorsque c'est possible).

Q III - Quels sont les 2 dipôles identiques à ceux précédemment étudiés qui constituent D6 et comment sont-ils associés ?

Q IV - Prévoir le plus exactement possible, et vérifier, les valeurs de la tension et du courant dans les deux circuits ci-dessous :

I ?

CIRCUIT ( 1 )

I ?

CIRCUIT ( 2 )

Elle comprend quelques schémas et 4 questions (notées Q I, ... Q IV) que nous analysons dans ce qui suit à partir de deux points de vue : celui de la démarche scientifique et celui de la modélisation.

• **Par rapport à une initiation à la démarche scientifique**

- Question Q I : *"Identifier qualitativement chacun des dipôles D1 à D5 ; décrire dans chaque cas votre méthode"*.

une étude qualitative est proposée

Nous avons décidé de débiter par une étude qualitative sur les dipôles, d'une part afin de voir quelles sont les conceptions des étudiants et la façon dont ils les font fonctionner, d'autre part afin d'observer leurs comportements dans une activité de recherche ; de plus, dans le but de rendre la situation énigmatique et afin que les étudiants ne puissent pas donner de réponse sans une expérimentation préalable, chaque dipôle a été enfermé dans une boîte noire et ainsi rendu accessible uniquement par ses bornes de branchement A et B. Cette approche qualitative doit leur permettre de dégager des critères pertinents, concernant leur objet d'étude, qu'ils affineront par la suite.

les dipôles sont placés dans des "boîtes noires"

Nous avons aussi voulu dans cette première question qu'ils échangent leurs points de vue, fassent des pronostics, des tests, de telle sorte que, stimulés par la dynamique de ces diverses interactions, ils entrent plus facilement dans le "jeu" de la situation-problème et qu'ainsi le processus de dévolution s'amorce de façon plus favorable.

les étudiants disposent d'un matériel varié d'investigation et de fiches d'aide

Par ailleurs, divers appareils et instruments sont à leur disposition, ceci afin de rendre possibles plusieurs approches, ainsi que des fiches d'aide, à consulter seulement en cas de blocage.

Les étudiants doivent aussi rédiger un compte rendu afin de présenter leurs méthodes d'investigation et les résultats obtenus.

- Question Q II : *"Déterminer le(s) paramètre(s) caractéristique(s) de chacun de ces 5 dipôles (lorsque c'est possible)"*.

Les étudiants doivent ici, après la phase d'anticipation de la question Q I, caractériser le mieux possible chacun des objets d'étude en repérant des invariants (les paramètres caractéristiques) permettant de décrire de façon univoque chaque objet et son comportement particulier.

- Question Q III : *"Quels sont les 2 dipôles identiques à ceux précédemment étudiés qui constituent D6 et comment sont-ils associés ?"*

Cette question a pour but d'entretenir la dévolution par son caractère énigmatique, mais aussi elle doit permettre aux étudiants de réinvestir le processus de démarche scientifique élaboré à la question Q I ; par ailleurs, ils vont pouvoir évaluer si les paramètres retenus pour caractériser chaque dipôle peuvent être réinvestis et donc adéquats pour caractériser un dipôle un peu plus complexe.

- Question Q IV : "Prévoir le plus exactement possible, et vérifier, les valeurs de la tension et du courant dans les deux circuits ci-dessous :"

Les étudiants sont encore invités à pratiquer une activité expérimentale qui va en outre leur servir à valider, sur quelques cas, les paramètres caractéristiques retenus pour décrire chaque dipôle ; en effet ce seront des critères scientifiques recevables s'ils permettent de prévoir de façon quantitative les résultats d'une expérience nouvelle, et d'accorder ainsi "théorie" et expérience.

#### • Par rapport à la modélisation des dipôles

- La question Q I, par l'approche qualitative qui est demandée, doit inciter les étudiants à réaliser une classification des dipôles (actifs ou non, symétriques ou non, polarisés ou non, linéaires ou non) ceci afin qu'ils puissent avoir une représentation assez précise du dipôle situé dans chacune des boîtes noires D1 à D5.

les étudiants doivent classer les dipôles puis tenter de les modéliser à l'aide des caractéristiques courant-tension

- La question Q II est destinée à la détermination des paramètres caractérisant chaque dipôle, donc à l'établissement du "modèle" associé à chacun d'eux, au moyen de mesurages, de tracés des caractéristiques  $U(I)$  ou  $I(U)$  et de calculs réalisés à partir de ceux-ci et ce uniquement pour des dipôles linéaires ou facilement linéarisables. Nous attendons au minimum le tracé de la fonction  $U = f(I)$  associée à chaque dipôle (dans les limites de fonctionnement de chacun d'eux, précisées par l'intensité maximale indiquée sur chaque boîtier).

- A la question Q III les étudiants doivent réinvestir deux des modèles qu'ils viennent d'élaborer, pour modéliser un dipôle plus complexe constitué de deux des dipôles précédemment étudiés ; il s'agit donc ici d'un début d'opérationnalisation des modèles.

- La question Q IV quant à elle est destinée à montrer le caractère prédictif et opératoire des modèles, permettant de trouver la valeur algébrique de grandeurs aussi fondamentales que l'intensité ou la tension électriques (pour des circuits simples ne comprenant que deux dipôles).

### 2.3. Choix des dipôles et de leurs associations

Sans vouloir être exhaustifs nous avons proposé aux étudiants quelques dipôles permettant de donner un aperçu, en courant continu, des principales catégories auxquelles ils peuvent appartenir (en omettant volontairement les dipôles passifs commandés et les dipôles actifs non linéaires) soit :

- D1 : un résistor linéaire (dipôle passif, linéaire, symétrique non polarisé) ; l'intensité maximale admissible est indiquée sur le boîtier (et ce pour chaque dipôle).
- D2 : un résistor non linéaire, ici une varistance (dipôle passif, non linéaire, symétrique, non polarisé).

différents dipôles actifs et passifs sont proposés aux étudiants...

- D3 : une diode au silicium dont l'anode est reliée à la borne A (dipôle passif, non linéaire, non symétrique, polarisé) .
- D4 et D5 : piles du commerce (bornes "+" reliées aux bornes A) de f.e.m. différentes, en série avec des résistors linéaires différents (dipôles actifs, linéaires, non symétriques, polarisés) .

ainsi que diverses associations de ces dipôles

Pour la question Q III, afin de proposer l'étude d'un dipôle complexe constitué par l'association de deux dipôles passifs, qui ne soient pas deux résistors linéaires en série ou en parallèle, nous avons branché en série pour D6 un résistor linéaire identique à celui de D1 et une diode au silicium identique à celle de D3 .

Pour la question Q IV nous avons branché (cf. schémas fig. 1) :

- D4 sur D1, soit un dipôle actif linéaire (4,5 V, 39  $\Omega$ ) sur un résistor linéaire ( $R = 100\Omega$ ), pour le circuit (1).
- D4 sur D5, soit un dipôle actif linéaire (4,5 V, 39  $\Omega$ ) en opposition avec un autre dipôle actif linéaire (9 V, 180  $\Omega$ ), pour le circuit (2).

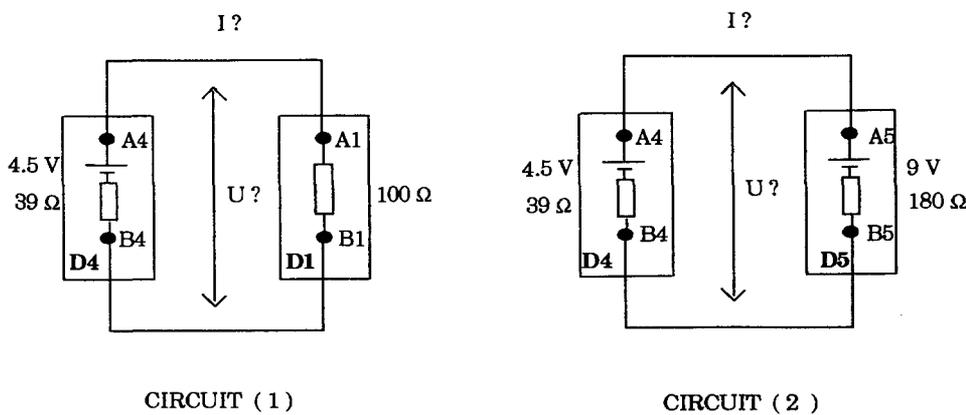


Figure 1

Nous avons voulu ici d'une part, proposer aux étudiants l'étude classique du récepteur alimenté par un générateur mais aussi les faire réfléchir sur un cas assez fréquent où un générateur fonctionne en récepteur, donc sur la "réversibilité" de certains générateurs ou encore sur la notion "d'électromoteur", ceci ayant l'effet supplémentaire de montrer l'importance de "l'algébrisation" dans les circuits électriques.

Le circuit (1) ne présente pas de difficulté particulière puisque le dipôle actif fonctionne en générateur, et les coordonnées du point de fonctionnement apparaissent sur le

un raisonnement  
physique  
quantitatif ne  
peut se passer  
des  
mathématiques

tracé des caractéristiques simplement comme étant les coordonnées de leur point d'intersection.

Le circuit (2) est un peu plus compliqué puisqu'ici nous avons deux générateurs en opposition et c'est celui de f.e.m la plus élevée (D5) qui impose le sens du courant ; D5 fonctionne en générateur et D4 en récepteur. On peut par exemple utiliser les modèles de Thévenin associés aux dipôles D4 et D5, puis se servir de la loi des mailles de Kirchhoff, ou plus simplement, retracer la caractéristique de D4 avec la convention récepteur (ce qui revient à garder les mêmes fléchages sur I et U que pour D5), on obtient alors une caractéristique symétrique de la précédente par rapport à l'axe des "U", où les coordonnées du point d'intersection entre son prolongement et la caractéristique de D5 donnent les valeurs de U et I recherchées (cf. figure 2).

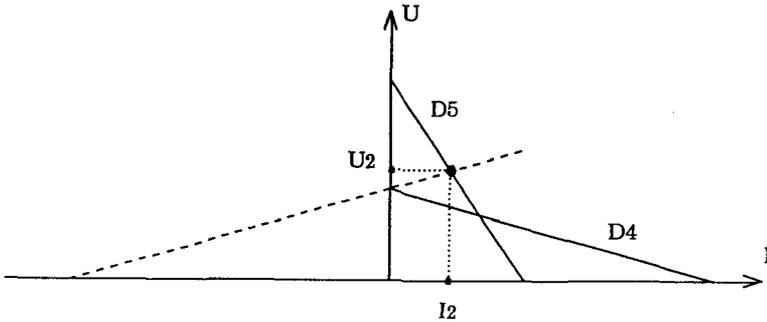


Figure 2

**Remarque :** afin de simplifier la réalisation des dipôles actifs nous avons pris des piles du commerce qui ont pour intérêt de pouvoir fonctionner en récepteur ; l'adjonction d'une résistance en série offre le double avantage, d'une part d'obtenir une caractéristique  $U(I)$  ayant une "pente" assez importante, d'autre part, de limiter le courant (même en court-circuit) et donc d'éviter une usure rapide de la pile en régime permanent qui entraînerait une baisse continue de la tension et du courant débité.

#### 2.4. Matériel mis à la disposition des étudiants

De nombreux appareils ont été mis à la disposition des étudiants afin de rendre possibles diverses voies d'investigation.

- Lampe L de 4,5 V s'allumant avec D4 mais pas avec D5.
- Trois sources de tension :
  - . S1 : pile de 1,5 V avec lampe témoin qui ne s'éclaire qu'avec D3 branché dans le sens passant.

un matériel  
d'investigation  
varié !

- . S2 : pile de 4,5 V avec lampe témoin qui ne s'éclaire qu'avec D3 branché dans le sens passant.
- . S3 : pile de 9 V avec lampe témoin qui s'éclaire avec D1 et D2, ainsi qu'avec D3 ou D6 branchés dans le sens passant.
- . Par ailleurs ces trois sources permettent avec chacun des dipôles passifs (D1, D2, D3, D6) de relever trois points de leur caractéristique.
- Deux multimètres numériques type Beckman T 100 B pouvant jouer les rôles suivants :
  - . voltmètre continu,
  - . ampèremètre continu,
  - . ohmmètre.
- Une alimentation continue réglée sur 12 V et limitée volontairement à 300 mA dans le but de rendre tout essai non destructif.
- Deux rhéostats (1070  $\Omega$ , 1 A) et (78  $\Omega$ , 3 A) afin d'offrir un choix commode pour les mesurages, et divers résistors.
- Deux interrupteurs : l'un classique et l'autre à bouton poussoir pour limiter le fonctionnement des dipôles actifs D4 et D5 au temps de la mesure.

il faut parer à toutes les éventualités

## 2.5. Rôle des fiches d'aide

Les étudiants n'étant pas habitués à pratiquer une démarche expérimentale autonome, nous avons prévu de mettre à leur disposition des fiches d'aides qui doivent constituer un système de ressources au cas où un blocage persistant surviendrait dans l'une ou l'autre des diverses questions qui leur sont soumises. Ces fiches d'aides conçues de façon à induire des voies variées d'investigation, ainsi que des débuts de modélisation, proposent des démarches ou incitent à divers calculs utiles, avec une demande constante de réflexion aussi bien sur les méthodes employées que sur les résultats obtenus ; notre souci est ici autant d'inciter les étudiants à la rigueur du raisonnement scientifique que d'entretenir une démarche de recherche la plus autonome possible.

des fiches d'aide sont disponibles si un blocage persistant survient

- Ainsi la fiche d'aide 1 (concernant Q 1) propose la recherche des dipôles actifs à l'aide de la lampe L, du voltmètre ou de l'ampèremètre, puis celle des dipôles passifs à l'aide de l'ohmmètre (pour détecter les dipôles symétriques) ou des sources S1, S2 ou S3 pour celle des dipôles passifs linéaires. (cf. fiche d'aide 1)
- Cinq autres fiches ont été rédigées pour aider à la résolution des questions II, III et IV.

## FICHE D'AIDE 1

### Recherche des dipôles actifs

- 1) Brancher la lampe 4,5 V aux bornes des divers dipôles ; conclusions ?
- 2) Brancher le voltmètre (Attention au calibre !) aux bornes des divers dipôles ; conclusions ?

Remarque : Inconvénients de la méthode 1 ?

Aurait-on pu utiliser un ampèremètre ? Inconvénients de cette méthode ?

### Propriétés des dipôles passifs

- 1) Brancher l'ohmmètre aux bornes des divers dipôles passifs ; puis permuter les bornes ; conclusions ?
- 2) Utiliser de la même façon le boîtier 4,5 V (pile + lampe + interrupteur).
  - Conclusions
  - Inconvénient de cette méthode ?
- 3) Sur les dipôles symétriques on peut aussi brancher l'un des boîtiers 1,5 V, 4,5 V ou 9 V et mesurer chaque fois U et I, sans enlever la lampe du boîtier ; conclusions ?

## 3. DÉROULEMENT DE L'ESSAI EXPÉRIMENTAL

l'expérimentation a été réalisée auprès d'un binôme d'étudiants du DEUG A.

Nous avons décidé de réaliser l'expérimentation de la séquence de Travaux Pratiques sous forme de situation-problème, avec un binôme d'étudiants volontaires de 1ère Année du DEUG A SSM (Sciences et Structure de la Matière). Ceux-ci ont l'habitude de travailler en binôme au cours des séquences de T.P. et ce mode de fonctionnement doit permettre en principe non seulement la répartition des tâches, mais aussi les échanges d'idées, de points de vue donc les confrontations ou les débats tant sur l'élaboration de stratégies de résolution que sur l'interprétation de résultats ; l'étudiant a donc ainsi davantage de ressources face à la situation-problème et par ailleurs nous savons que les "débats entre pairs" jouent un rôle non négligeable dans l'élaboration des savoirs de ces derniers.

La séquence de T.P. a été prévue pour une durée de trois heures, et c'est le temps dont ils ont disposé.

Nous leur avons présenté le matériel qui était sur la paillasse puis nous leur avons donné le questionnaire concernant le travail qu'ils avaient à effectuer et nous leur avons signalé qu'en cas de blocage, des fiches d'aide étaient à leur disposition auprès de l'enseignant, et que de toute manière les divers essais qu'ils pourraient être amenés à effectuer sur le matériel ne pouvaient être destructifs car celui-ci était protégé.

Nous leur avons demandé de réaliser un compte rendu de leurs travaux et de leurs résultats (ceci afin de pouvoir étudier la formulation définitive qu'ils proposent pour les ques-

les étudiants sont filmés en continu par une caméra vidéo sonore

tions qui leur ont été posées et la façon dont ils modélisent les dipôles).

La séquence a été enregistrée en continu à l'aide d'une caméra vidéo (VHS). Le rôle de cet enregistrement est de nous permettre d'étudier dans le détail le comportement des étudiants face à la situation-problème, et donc face à la démarche expérimentale grâce aux questions qu'ils se posent, aux interprétations qu'ils donnent, aux expérimentations qu'ils conçoivent et réalisent, et aux conclusions qu'ils en tirent ; par ailleurs cet enregistrement rend possible la retranscription de tout ou partie de la séquence, ceci afin d'avoir un support concret et commode de travail.

Il reste à préciser que les étudiants ont joué le jeu qui leur était proposé, mais qu'ils n'ont pas utilisé les fiches d'aide. Par contre ils ont posé des questions à l'enseignant qui les a guidés dans leurs réflexions afin de leur permettre d'avancer dans le traitement des différentes questions.

## 4. ANALYSE CRITIQUE

### 4.1. Impression d'ensemble

Sans toutefois oublier que les étudiants du binôme étaient volontaires, et que la caméra vidéo, ainsi qu'un enseignant chargé de les observer, constituaient une certaine gêne, on a pu constater leur participation très active et motivée ; nous avons pu observer (comme la bande vidéo en témoigne) que les étudiants se posaient réellement des questions, confrontaient leurs points de vue, élaboraient des stratégies, émettaient des hypothèses, tentaient de les vérifier par différents tests ou mesures réfléchis, s'appliquaient à formuler des conclusions correctes, se partageaient les tâches, coopéraient pour mieux avancer..., bref jouaient réellement le jeu et s'appliquaient de leur mieux à remplir leur "contrat". Bien sûr ils n'ont pas tout résolu, ni répondu de façon toujours satisfaisante mais, leur envie de résoudre, leur intérêt pour la tâche et leur satisfaction lorsqu'ils trouvaient un résultat étaient évidents.

le travail de recherche en équipe est très actif

### 4.2. Repérage des savoir-faire scientifiques

Signalons tout d'abord que les étudiants n'avaient pas revu de cours sur les dipôles électriques (comme cela leur avait été demandé) et qu'ils n'ont pas voulu utiliser les fiches d'aide qui étaient à leur disposition.

- *Utilisation des notions parascientifiques*

On observe que :

- certains calculs, qui nous paraissaient utiles pour le déroulement ultérieur, ne figurent pas sur le compte

les étudiants ne maîtrisent pas suffisamment les langages scientifique et parascientifique

- rendu (tel le calcul de la résistance de protection de la diode D3) ;
- les résultats des mesures ne sont pas regroupés sous forme de tableaux ;
- sur les représentations graphiques des caractéristiques I (U), les grandeurs représentées sur les axes ou les unités, ainsi que l'orientation des axes sont assez souvent absentes ; de plus lorsque des points sont alignés les étudiants ne les ont pas toujours reliés par une droite tracée à la règle ; enfin pour le tracé de quelques caractéristiques (celles de D4 et D5) seuls quelques points regroupés ont été utilisés.

Il apparaît donc ici que les étudiants n'utilisent pas de façon très systématique les outils scientifiques dont ils disposent.

#### • *Remarques sur la schématisation*

On constate que :

- les bornes des dipôles ne sont pas repérées ;
- le symbole du rhéostat est incorrect ;
- les symboles du générateur d'alimentation sont parfois fantaisistes et incomplets ; de plus ses bornes ne sont jamais repérées ;
- les bornes des appareils de mesure ainsi que les tensions ou les intensités mesurées sont rarement indiquées.

On s'aperçoit donc que la schématisation ou la modélisation des circuits ne sont pas non plus parfaitement maîtrisées par les étudiants.

#### • *Remarques sur l'emploi des appareils*

Les étudiants ont eu des difficultés à interpréter les signes "+" ou "-" indiqués sur l'écran du multimètre (en fonction ampèremètre ou voltmètre) en liaison avec l'intensité ou la tension mesurées ; de plus en ce qui concerne la fonction ohmmètre les étudiants ne savaient pas que la mesure de la résistance indiquée par l'appareil ne donne qu'une valeur particulière, celle correspondant au courant constant fourni par l'appareil.

### **4.3. Comportement des étudiants face à une démarche expérimentale**

La retranscription intégrale du début (1 heure environ) de la bande vidéo d'enregistrement de la séquence de Travaux Pratiques nous a permis d'analyser le comportement des étudiants par rapport à une démarche expérimentale.

Il faut noter que cette démarche ne correspond pas toujours exactement à celle, théorique, décrite par D. Gil-Pérez. En effet, comme nous pouvons le constater dans quelques cas, les étudiants ont parfois commencé par une phase d'anticipation pour ensuite réaliser de nombreux "aller et retour" entre phase d'action et phase de formulation ; à notre avis ceci peut s'interpréter par le fait que la phase d'anticipation demande un effort de réflexion, mais qu'ensuite, compte

des contraintes expérimentales obligent les étudiants à systématiser leurs essais

tenu du fait que dans la question Q 1 il y a cinq dipôles à identifier, la même action (et la formulation qui en résulte) peut-être répétée sur plusieurs dipôles ; un phénomène analogue se produit d'ailleurs quand il s'agit d'utiliser les sources (S1, S2, S3) avec un dipôle donné.

Quelques unes de ces phases sont décrites dans ce qui suit.

#### • Reformulations

les reformulations  
sont peu  
nombreuses

Nous n'avons pu déceler que quelques rares reformulations du problème posé.

Par exemple l'étudiant **R**, au début de la question sur l'identification des dipôles :

**R** : *déjà il faut voir si c'est une résistance fixe ou pas*

Nous ne trouvons que deux ou trois phrases de ce type.

#### • Anticipation - Action - Formulation

anticipation et  
formulation se  
succèdent  
souvent

Par contre, on trouve de nombreuses phases d'anticipation, suivies assez souvent par des phases d'action et se terminant par une phase de formulation orale, avec prise de notes. On peut en trouver un exemple sur le tableau 1 dans lequel les lettres **B** et **R** désignent chacun des deux étudiants.

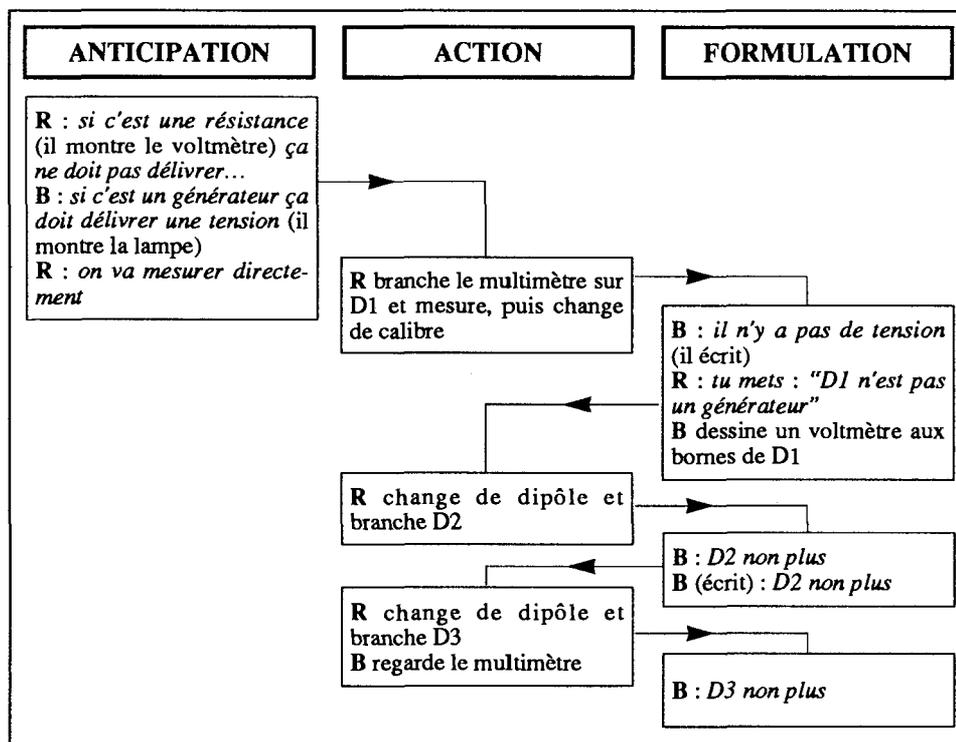


Tableau 1 : Essai de détermination de la nature des dipôles D1, D2, D3 (retranscription partielle de la bande vidéo)

**Remarque :** la retranscription intégrale de la bande vidéo, ainsi que la copie rendue par les étudiants permettent de voir la formulation définitive qu'ils ont proposée.

#### • Validation

Enfin nous trouvons également quelques moments de validation, au cours desquels l'approbation de l'enseignant est recherchée par les étudiants (**P** désigne le professeur) :

**B :** *on a déjà trouvé plusieurs trucs (il montre la feuille à P)*

**P :** *d'accord*

**B :** *D4 et D5 on pense que ce sont des générateurs*

**P :** *oui*

**B :** *D1, D2, D3 on ne sait pas si ce sont des résistances, des lampes ou...*

**P :** *mais vous savez que ce sont des "passifs" ?*

**R :** *oui*

**B :** *ça on le sait*

quelques  
validations de  
l'enseignant sont  
nécessaires pour  
avancer

#### • Institutionnalisation

Par contre il n'y a pas eu de phase d'institutionnalisation, cette phase n'étant pas prévue dans la séquence. Il aurait fallu pour cela rassembler l'ensemble des résultats de plusieurs binômes, pour pouvoir apprécier leur intégration possible à la théorie.

#### • Synthèse de la démarche

On peut résumer la démarche générale que les étudiants ont employée, avec les restrictions que nous avons émises, par un organigramme (voir tableau 2).

Le "cheminement" idéal qu'auraient pu suivre les étudiants est celui qui va de la phase 1 à la phase 7, avec bien sûr d'éventuels "retours" (a) de la phase 5 à la phase 3, si le résultat de leur action ne confirme pas leurs prévisions ou bien s'ils veulent une confirmation supplémentaire à leurs prévisions ; ces "retours" se sont d'ailleurs produits, en voici un exemple :

/ Action / **R** *branche D3 au voltmètre : il indique zéro, non il n'y a rien. R débranche.*

/ Formulation / **B :** *D3 n'est pas un générateur*

/ Anticipation / **R :** *attends, peut-être qu'il délivre du courant, il teste D3 avec un ampère-*

*mètre.*

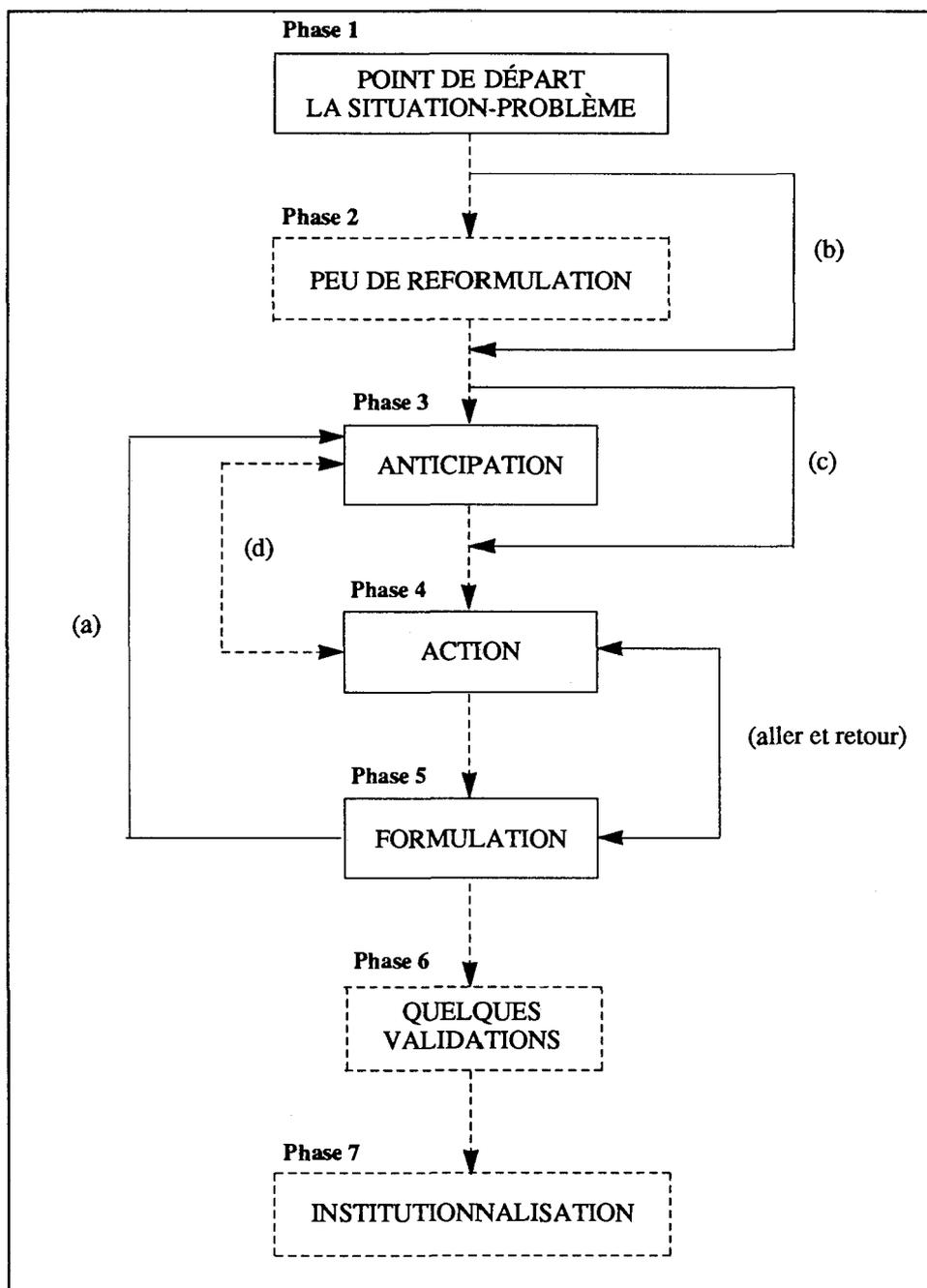
**B :** *pas de courant non plus. R débranche.*

/ Formulation / **R :** *ça doit être une VDR ou je ne sais pas quoi...*

les étudiants  
réalisent des  
essais différents  
lorsque leurs  
hypothèses ne  
sont pas validées

De plus, comme nous l'avons déjà signalé, des "aller et retour" se produisent entre la phase 4 et la phase 5.

Par ailleurs, compte tenu du peu de reformulations produites, on remarque qu'un "trajet" (b) est suivi qui "court-circuite" la phase 2.



**Tableau 2**  
**Démarche de recherche suivie par les étudiants**

Mais on s'aperçoit aussi que des raccourcis sont empruntés, tel le "trajet" (c) où l'anticipation ne se verbalise pas et qui conduit directement à la phase d'action, suivi d'aller et retour entre la phase 4 et la phase 5 comme :

- R** : *attends on va voir,*
- / Action / il court-circuite les bornes du générateur S2,
- B** : *qu'est-ce que tu fais ?*
- / Action / **R** ferme l'interrupteur de S2, la lampe témoin s'allume,
- / Formulation / **R** : *ça marche*
- / Action / **B** et **R** branchent S2 aux bornes de D1, **R** ferme l'interrupteur, rien ne se passe,
- / Formulation / **B** : *non ça ne marche pas*
- / Action / **R** permute les bornes de D1,
- / Formulation / **R** : *ça ne fait rien si c'est une résistance*
- / Action / **R** ferme l'interrupteur, rien ne se passe,
- / Formulation / **R** : *si ça ne marche pas peut-être que la résistance est trop forte.*

la phase d'anticipation ne se verbalise pas toujours

(Par contre le "trajet" (d), où la formulation ne se fait pas et qui conduit à une nouvelle anticipation, n'a pas été observé), ceci peut s'interpréter par le fait que, sans formulation, le travail d'équipe en binôme ne pourrait continuer.

En résumé on peut dire que **les étudiants suivent assez bien une démarche scientifique**, avec certains écarts que nous venons de décrire, quelques oublis quant à la phase d'anticipation, mais surtout un manque très net de phases de reformulation.

les étudiants ont quelques difficultés à énoncer les raisons de leurs essais

Une explication peut-être tentée en ce qui concerne la phase d'anticipation : il est plus simple et plus rapide pour l'étudiant de réaliser d'abord un "test" puis d'expliquer à son binôme ce qu'il a voulu faire et le résultat de son essai ; on pourrait dire aussi que lorsqu'on tâtonne et qu'on ne sait pas trop où l'on va, il s'avère difficile de parler de ce dont on n'est pas sûr !

Par contre, plusieurs explications convergentes peuvent rendre compte du fait que la phase de reformulation soit rarement présente :

plusieurs causes à l'origine du manque de reformulations

- les étudiants ne se souvenaient pas trop des différents types de dipôles, des modèles de Thévenin associés, donc des paramètres à rechercher, ni de la façon de déterminer le point de fonctionnement dans un circuit simple ;
- le professeur devant leurs blocages a souvent établi la reformulation par un dialogue avec les étudiants ;
- les questions posées, destinées surtout à mettre en oeuvre un processus de recherche hypothético-déductif (hypothèses-expériences-conclusion —> nouvelles hypothèses... etc...) ont été élaborées dans le souci d'apparaître les plus explicites possibles ;
- les étudiants ne sont pas habitués à la reformulation de problèmes.

#### 4.4. Comportement des étudiants face à la modélisation des dipôles

Les étudiants ont correctement identifié les dipôles passifs et les dipôles actifs, en vérifiant à l'aide du voltmètre qu'un dipôle passif ne délivre pas de tension, contrairement à un dipôle actif ; par contre ils n'ont pas utilisé les notions de "dipôle symétrique (ou non), polarisé (ou non)" et presque pas celle de "dipôle linéaire (ou non)". Pour D1 (résistor), ils ont calculé la valeur de R avec les générateurs S, mais ils n'ont pas tenté de retrouver ce résultat à l'aide de la pente de sa caractéristique (cette difficulté d'intégration du modèle "résistor linéaire" a d'ailleurs été signalée par B. Calmettes (18) ); pour D2 (varistance) la même méthode a été employée et les valeurs extrêmes de sa résistance n'ont pas été établies à l'aide de sa caractéristique ; il apparaît même que pour l'un des étudiants une résistance variable "varie au cours du temps". Pour D3 (diode) les étudiants ont précisé que sa résistance en inverse est infinie, mais n'ont pas donné la façon d'obtenir la tension seuil, ni calculé la résistance du dipôle dans le sens passant. Par ailleurs pour tous les dipôles passifs, la caractéristique n'a été tracée que dans un seul sens de branchement sans en fournir la raison ; de plus les valeurs limites de fonctionnement n'ont été suggérées que pour D1.

seul D1 (le resistor) a été modélisé de façon complète

En ce qui concerne les dipôles actifs, nous constatons que les caractéristiques n'ont été tracées que pour le fonctionnement en générateur, et seulement à l'aide de quelques points, bien que les étudiants aient mesuré la tension à vide et le courant de court-circuit pour chacun d'eux ; la notion d'électromoteur n'a pas été abordée et, ni la f.e.m, ni la résistance interne n'ont été indiquées, bien qu'un étudiant ait utilisé au début du T.P. la relation  $U = E - RI$ .

quelques points semblent suffire pour le tracé des caractéristiques

Pour D6 (diode + resistor en série) nous avons remarqué que les étudiants ont su réinvestir la particularité de la diode à ne laisser passer le courant que dans un seul sens ; mais ils n'ont pas tracé la caractéristique inverse, ni essayé de calculer la résistance du dipôle dans le sens passant ; ils ont néanmoins trouvé le mode de branchement des deux dipôles constituant D6 en vérifiant, à l'aide des caractéristiques, que ce sont bien les tensions qui s'ajoutent pour une intensité donnée et non le contraire.

Enfin pour les circuits (1) et (2) de la question Q IV nous avons constaté que les conventions de fléchage figurant sur les schémas n'ont pas été transposées de façon opérationnelle au niveau des caractéristiques ; cependant le circuit (1) a été traité sans difficulté apparente, ce qui n'a pas été le cas pour le circuit (2).

(18) CALMETTES, B. *Acquis en électrocinétique à courant continu : comparaison 1<sup>ère</sup> F3 / 1<sup>ère</sup> d'adaptation F3*. D.E.A. de Didactique des disciplines scientifiques, (pp 31, 32), Université Paul Sabatier, Toulouse. (1992)

la modélisation  
se limite le plus  
souvent au tracé  
de la  
caractéristique

En résumé nous constatons que le dipôle D1 a été modélisé complètement (caractéristique et valeur de sa résistance) et que tous les autres dipôles ont été identifiés puis modélisés par leur caractéristique  $I(U)$ , accompagnée des valeurs de quelques paramètres (valeurs limites de la résistance pour D2, tension seuil et résistance en inverse pour D3, ...) ; de plus, bien que les modèles de Thévenin n'aient pas été utilisés, il convient cependant de souligner que les étudiants ont su réinvestir de façon assez satisfaisante (dans le traitement des questions Q III et Q IV) les modèles qu'ils ont élaborés.

## CONCLUSION

En considérant l'ensemble de notre analyse, nous pouvons avancer quelques propositions afin d'obtenir de meilleurs résultats aussi bien, dans la pratique d'une démarche scientifique par les étudiants, que dans la modélisation des dipôles qu'ils doivent réaliser ; il faudrait pour cela :

- donner aux étudiants, en même temps que le questionnaire une feuille leur décrivant "l'état d'esprit" à avoir dans ce T.P., afin de leur faire pratiquer une véritable démarche expérimentale ( c'est-à-dire : reformuler les questions qui leur sont posées afin de décrire le mieux possible ce qui leur est demandé, émettre des hypothèses, prévoir et réaliser une expérimentation pour valider ces hypothèses, formuler de façon rigoureuse leurs résultats et éventuellement, émettre de nouvelles hypothèses, etc.) ;
- dans la feuille "d'état d'esprit", donner des conseils ou rappeler des consignes, afin que les étudiants utilisent un langage parascientifique correct ;
- faire réaliser cette séquence de T.P. à tous les binômes de la salle en même temps, en permettant les comparaisons et les confrontations de résultats, ceci afin de permettre une validation efficace et une institutionnalisation collective ;
- que l'enseignant, face aux blocages des étudiants, les incite à utiliser les fiches d'aide au lieu de jouer lui-même leur rôle, ceci afin d'entretenir la dévolution ; il ne devrait intervenir que si les fiches d'aide ne réussissent pas à débloquer la situation ;
- que l'enseignant vérifie et confirme les modèles établis lorsqu'ils sont justes, mais aussi propose aux étudiants des exercices de "réinvestissement" de ces modèles, afin de permettre une phase d'institutionnalisation sérieuse ;
- donner aux étudiants, avant la séquence de T.P., un photocopié de révisions (concernant les appareils de mesure utilisés dans le T.P., les dipôles, les conventions, et les montages pour les tracés de caractéristiques), afin qu'ils

des propositions  
pour tenter  
d'améliorer notre  
dispositif

travaillent avec une plus grande autonomie, ceci permettant une meilleure dévolution ;

- que les boîtes noires ne puissent pas être différenciées par leur poids, afin que les étudiants n'aient d'autre recours que les mesures électriques pour identifier les dipôles ; il suffit pour cela de lester les boîtiers de façon adéquate.

Notre travail se situe dans le cadre de l'ingénierie didactique, et nécessiterait, pour pouvoir démontrer l'efficacité d'une séquence de T.P. sous forme de situations-problèmes (telle que nous l'avons conçue) dans l'apprentissage de l'électrocinétique, une expérimentation à plus grande échelle (c'est-à-dire sur un plus grand nombre d'étudiants) en respectant les différentes phases de la méthodologie d'ingénierie préconisées par M. Artigue (19), s'inspirant pour cela des travaux de G. Brousseau et R. Douady, à savoir :

- des analyses préalables,
- une conception et une analyse a priori de la situation didactique,
- une expérimentation de cette situation,
- une analyse a posteriori,
- une validation interne par confrontation entre l'analyse a priori et l'analyse a posteriori.

C'est dans cette direction que nous comptons poursuivre notre travail.

Philippe PINELLI,  
I.U.F.M. de Toulouse  
Richard LEFÈVRE,  
L.E.M.M.E. Université Paul Sabatier,  
Toulouse

vers une  
méthodologie  
d'ingénierie à  
plus grande  
échelle afin de  
valider nos  
travaux

---

(19) ARTIGUE, M. "Ingénierie didactique." In : *Recherches en didactique des mathématiques*, 9 (3) (pp 283-305). Grenoble : La Pensée Sauvage. (1990).