

Un questionnaire dynamique pour le suivi et l'analyse de l'activité et des productions d'élèves en électricité

Sandra Michelet, Vanda Luengo, Jean-Michel Adam

► To cite this version:

Sandra Michelet, Vanda Luengo, Jean-Michel Adam. Un questionnaire dynamique pour le suivi et l'analyse de l'activité et des productions d'élèves en électricité. Mohamed Sidir, Eric Bruillard, Georges-Louis Baron. Premières journées communication et apprentissages instrumentés en réseau, Jul 2006, Amiens, France. pp.421-434, 2006. <edutice-00138511>

HAL Id: edutice-00138511

<https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00138511>

Submitted on 26 Mar 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un questionnaire dynamique pour le suivi et l'analyse de l'activité et des productions d'élèves en électricité

Sandra Michelet* — Vanda Luengo* — Jean-Michel Adam*

* Laboratoire CLIPS-IMAG, Université Joseph Fourier
385 rue de la Bibliothèque, Domaine Universitaire B.P. 53,
38041 Grenoble Cedex 9

{Prenom.Nom}@imag.fr

RÉSUMÉ. L'argumentation des réponses fournies par l'apprenant est-elle riche de sens pour aider à l'établissement d'un diagnostic sur ses connaissances ? L'activité de simulation faite par les élèves peut-elle être un élément déstabilisateur de conceptions ? Une remédiation peut-elle s'opérer par le biais d'un scénario pédagogique ? Autant de questions auxquelles nous tenterons de répondre dans cet article.

MOTS-CLÉS : argumentation, conception, diagnostic, didactique, EIAH (Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain), électricité, expérimentation, raisonnement, scénario pédagogique, simulation

INTRODUCTION

Tout individu humain possède des conceptions sur le monde qui l'entoure, c'est à travers elles qu'il comprend, voit, interprète et s'approprié ou non l'environnement dans lequel il vit. De ce fait, avant même de rencontrer certains phénomènes électriques en classe, l'élève a déjà des idées sur l'interprétation de ces derniers. Ces conceptions préalables peuvent freiner l'apprentissage dans le cas où elles se révèlent être en contradiction avec la réalité. C'est ainsi qu'en électricité, comme dans toutes les disciplines d'enseignement, on constate une résistance des conceptions. Cependant, grâce à l'utilisation de scénarios pédagogiques pertinents, les conceptions préalables de l'apprenant ne sont plus un frein à l'apprentissage, mais au contraire un tremplin qui favorise celui-ci.

Afin de déstabiliser au mieux les conceptions erronées des apprenants, il faut les avoir préalablement détectées. Une fois le diagnostic réalisé, il faut apporter à l'apprenant la remédiation la plus pertinente possible par rapport à ses conceptions. Notre travail a une triple visée : nous cherchons à établir un diagnostic dans le domaine de l'électricité (diagnostic qui se fera sur les actions mais aussi sur les argumentations fournies par l'élève), une fois la détection réalisée nous cherchons à déstabiliser et à remédier à ces conceptions erronées.

Nous allons, tout d'abord, situer notre travail dans son contexte et cadre théorique de recherche. Puis, nous exposons le scénario pédagogique que nous avons déployé en commençant par énoncer sur quelles hypothèses didactiques il repose. Ce scénario, centré sur le triplet (détection, déstabilisation, remédiation), est constitué d'un questionnaire dynamique qui s'adapte aux réponses de l'apprenant afin de lui apporter la meilleure remédiation. Afin de valider nos hypothèses, nous avons mené des expérimentations en classe de collège et de lycée, expérimentations que nous relatons et analysons. Nous concluons en énonçant les perspectives de recherche qui s'offrent à nous.

1. Contexte de recherche

1.1 La classe virtuelle

Une classe virtuelle est une classe composée d'apprenants et d'enseignants qui peuvent être géographiquement distants les uns des autres. L'unité de lieu est établie dans le système informatique lui-même, ce n'est plus un lieu physique, mais un lieu virtuel. De la même façon, les activités des apprenants d'une classe virtuelle peuvent avoir lieu à des moments différents, l'unité de temps d'une classe virtuelle pouvant être plus complexe que l'unité de temps de la classe habituelle.

Dans ce cadre de classe virtuelle, nous nous intéressons à l'analyse et la construction des modèles ainsi qu'aux outils logiciels qui vont permettre (voire favoriser) ce type de situation. Il s'agit de

donner aux acteurs de cette classe, d'une part la *perception* et la *compréhension* de l'activité de la classe virtuelle, et d'autre part la *mémoire* de cette activité.

Nous pouvons citer certains aspects concernant ce thème :

- Etude des postes de travail formateur et apprenant
- Prise en compte des aspects cognitifs et pédagogiques
- Modalités de supervision d'un groupe d'apprenants
- Modalités de communication
- Architecture informatique permettant l'observation de l'activité des apprenants.

Nous travaillons dans le contexte de la mise en œuvre de situations actives d'apprentissage (telles que les Travaux Dirigés ou les Travaux Pratiques). Dans le cadre de cet article nous nous centrons sur les aspects liés à la compréhension de l'activité de l'apprenant.

1.2 Le projet "Shared Virtual Laboratory" (SVL)

Le projet SVL du réseau d'excellence Kaléidoscope a pour but de mettre à la disposition des chercheurs en EIAH, des outils qui facilitent leur travail : il s'agit d'un portail offrant divers services aux chercheurs. Dans le cadre de ce projet, nous mettons en place un Environnement Numérique de Travail (ENT) qui facilite la réalisation d'expérimentations. Nous cherchons à intégrer un scénario pédagogique à l'ENT. Pour cela, nous rédigeons une description détaillée du scénario de l'expérimentation dans un format spécifique. Ce scénario est ensuite interprété, c'est-à-dire que les activités qu'il décrit sont proposées aux apprenants qui se seront authentifiés sur l'ENT. Les traces produites par les apprenants pendant qu'ils réalisent les tâches du scénario pédagogique, sont collectées dans une base de données. L'ENT a été adapté pour faciliter la collecte automatisée des traces produites par l'ensemble des outils mis en œuvre dans l'expérimentation : questionnaires, EIAH spécifique, composants de l'ENT, scénario. Ces traces peuvent ensuite être analysées par le chercheur. Ce travail est réalisé en collaboration avec la société Pentila (www.pentila.com).

Le scénario en électricité, que nous concevons en collaboration avec des enseignants de physique de collège et de lycée, nous permet de valider sur le terrain l'ensemble de ces outils.

2. Cadre théorique de recherche

2.1 Des *misconceptions* et modes de raisonnement erronés en électricité

On désigne par le terme *misconception* une conception pouvant être considérée soit comme une erreur, soit comme une connaissance pertinente dans un certain contexte. Nous allons détailler ceux visés par notre scénario.

Confusion sur le sens du courant conventionnel

Pour les élèves faisant des erreurs sur le sens du courant, ces dernières peuvent avoir deux origines : elle peut résulter d'une simple *inversion du sens du courant conventionnel* (l'élève pensant que le courant va du pôle – au pôle +) ou d'un raisonnement basé sur les *courants antagonistes*. Dans ce dernier cas, les élèves pensent que le courant part des deux bornes de la pile pour se rejoindre dans la lampe par exemple, et c'est cette réunification des courants qui fait que la lampe est allumée.

L'usure du courant

L'usure du courant se caractérise par le fait que les élèves qui la possèdent pensent que dans des circuits en série, l'intensité en sortie d'un dipôle est plus petite qu'à son entrée car celui-ci en a consommé. Cette conception est fautive car l'intensité dans un circuit série est partout la même.

Notion de circuit ouvert-fermé, rôle des interrupteurs

Une des difficultés les plus récurrentes concerne le cas du circuit ouvert (Chomat et al., 1999). En effet, de nombreuses personnes pensent que le courant électrique quitte la pile et s'arrête lorsqu'il rencontre un obstacle comme un interrupteur ouvert. Cette difficulté provient d'un *raisonnement séquentiel*.

Le raisonnement séquentiel

Les élèves qui adoptent un raisonnement séquentiel perçoivent le comportement du circuit comme étant le fruit des comportements individuels des composants qui, mis bout à bout, donnent le comportement général du circuit. Ainsi, le circuit n'est pas considéré comme un système et une lecture séquentielle dans le sens du courant est opérée (Closset, 1989).

2.2 Quelques constats sur la résistance des misconceptions

Dans le domaine de l'électricité, on constate une résistance des misconceptions et modes de raisonnement erronés malgré l'enseignement dispensé. Des études montrent que les circuits électriques sont rarement maîtrisés à la fin du lycée (Psillos, 1998) et que l'on obtient des résultats similaires de la 6^{ème} à la maîtrise (Closset, 1983).

Une étude menée dans 5 pays européens sur plus de 1200 élèves de 14-15 ans sur les conceptions en électricité montrent qu'en dépit des différents systèmes scolaires et des différents langages, on retrouve approximativement les mêmes difficultés chez les élèves (Shipstone *et al.*, 1988).

2.1 Faire avec les conceptions pour aller contre

Les conceptions étant les seuls outils dont l'apprenant dispose pour interpréter le monde qui l'entoure, on ne peut envisager une *destruction* de celles-ci. Face à une nouvelle situation, l'apprenant va construire un système explicatif qu'il fera évoluer en fonction des informations nouvelles qui lui sont fournies. Son raisonnement évoluera en interaction avec ses conceptions préalables mais seulement en y prenant ce qui est le plus compatible avec le raisonnement ancien, car l'apprenant effectue toujours l'adaptation minimale nécessaire (Closset, 1989)

Il faut donc s'appuyer sur les conceptions et tenter de les transformer en conceptions plus élaborées, mieux adaptées à la situation et offrant des potentiels d'amélioration ultérieure. Pour cela, l'activation méthodique de scénarios didactiques et pédagogiques d'apprentissage adéquats permet, non seulement de déstabiliser les différentes conceptions et modes de raisonnement faux des apprenants, mais également de s'appuyer sur ceux-ci pour progresser et acquérir des connaissances plus solides (Chomat *et al.*, 1999).

3. Déploiement d'un questionnaire dynamique

3.1 Hypothèses didactiques

Simulation

Pour l'enseignement de l'électricité, certains auteurs préconisent l'emploi de stratégies de confrontation, notamment par l'emploi d'environnements de simulation (Scott *et al.*, 1993) afin de faciliter le changement conceptuel chez les élèves (Shipstone *et al.*, 1988).

Sur le plan didactique, l'hypothèse est que la simulation par ordinateur peut être le support d'activités pertinentes sur les plans scientifiques et pédagogiques, car elle permet d'articuler les modèles didactiques avec des modèles d'interaction entre apprenant et instrument (Beaufils *et al.*, 2003).

Ainsi, l'activité de simulation réalisée par les élèves peut contribuer de façon significative à leur processus d'apprentissage car elle fournit un environnement pour la découverte des modèles par l'observation et la manipulation fondés sur une théorie constructiviste de l'apprentissage (*learning by doing*) (De Vries, 2001).

Scénario et variables didactiques

Même si l'utilisation de la simulation peut avoir des impacts positifs sur la remise en question de misconceptions, l'utilisation libre de simulations par l'apprenant ne garantit pas l'apprentissage. Ainsi, comme toute activité d'apprentissage, il est nécessaire de donner à l'élève des buts concrets, par le biais de scénarios pédagogiques pertinents (Cortes, 1999) car c'est le type de problèmes qui révèle une misconception (Mars-Gouraud, 2002).

De plus, nous avons voulu aussi manipuler les variables didactiques par le biais de notre scénario car ce sont elles qui amènent l'apprenant à modifier sa stratégie de résolution. Ainsi on va provoquer chez l'apprenant des adaptations et des régulations : des apprentissages (Brousseau, 1982).

Argumentation

Le processus argumentatif est potentiellement constructif de connaissances nouvelles (Baker, 1996) car il permet de faire évoluer les attitudes cognitives vis-à-vis des connaissances en jeu, d'explicitier les fondements (explications, justifications, arguments) des solutions, d'élaborer des discours plus cohérents (Séjourné *et al.*, 2004). Ainsi, en demandant à l'élève de justifier ses réponses, on l'oblige à se poser des questions sur son mode de raisonnement, ses conceptions car ses réponses se baseront sur ses conceptions initiales.

Cette obligation de justification, qui peut être vue comme une contrainte imposée à l'apprenant, ne l'est pas car « il est nécessaire que l'environnement permette à l'élève de mettre en œuvre ses connaissances existantes, d'exprimer et communiquer ses modèles mentaux » (Dimitracopoulou, 1995). Le fait de pouvoir exprimer son raisonnement librement donne à l'élève une impression d'engagement direct.

D'autre part, l'argumentation nous permettra, et c'est surtout ce point de vue qui nous intéresse, de détecter les cas où l'élève répond correctement à une question tout en appliquant un raisonnement incorrect ou le cas inverse.

3.2 Notre scénario pédagogique sous la forme d'un questionnaire dynamique

En prenant appui sur ces différentes hypothèses didactiques, nous avons conçu et développé un questionnaire dynamique visant à déstabiliser et remédier à des misconceptions en électricité en confrontant les prévisions de l'apprenant au résultat de la simulation (Michelet, 2005 ; TPElec). Pour cela, les questions comportent 3 phases : l'apprenant prend position (cf. question 10 fig. 1), ensuite il réalise la simulation puis il confronte l'observation avec sa prévision (cf. question 11 fig. 1). Ce questionnaire s'adapte en fonction des réponses fournies par les élèves, ainsi certains élèves seront confrontés à des situations qui révéleront *leurs* propres misconceptions.

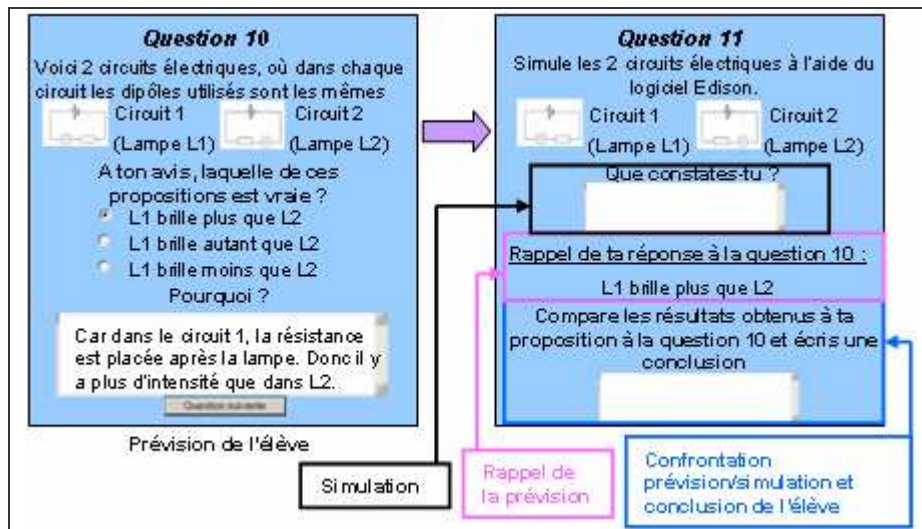


Figure 1. Exemple d'enchaînement de questions du scénario pédagogique

4. Expérimentations

4.1 Population ciblée

L'expérimentation a concerné en tout 92 élèves de niveau 4^{ème} à 2^{nde} répartis ainsi : 16 élèves de 4^{ème} avant enseignement de l'électricité, 16 élèves de 4^{ème} après enseignement de l'électricité, 26 élèves de 3^{ème} après enseignement de l'électricité et 34 élèves de 2^{nde} où il n'y a pas d'enseignement de l'électricité, ainsi ces élèves doivent s'appuyer sur leurs souvenirs du collège pour répondre aux différentes questions.

4.2 Analyse à priori

Notre échantillon va nous permettre de constater ou non la résistance des misconceptions, en notant cependant que les échantillons ne sont pas composés des mêmes personnes ce qui introduit un biais dans les résultats. Néanmoins le programme scolaire qu'ils ont suivis est le même.

Ainsi, les résultats sur l'évolution des misconceptions peuvent montrer une diminution de celles-ci pour les classes de collège et on peut s'attendre à leur réapparition forte en classe de 2^{nde}, due au fait que l'électricité n'y est pas enseignée.

Une autre de nos attentes est de savoir si nous sommes bien parvenus à détecter et à déstabiliser les élèves sur leurs misconceptions, pour cela, nous pouvons nous appuyer sur l'évolution de leurs réponses (grâce à l'enregistrement des retours arrières), ainsi que sur leurs conclusions.

Nous voulons aussi observer si les argumentations des élèves nous permettent notamment d'établir un diagnostic plus fin et si la simulation favorise la déstabilisation et la remédiation de misconceptions.

4.3 Conceptions et modes de raisonnement détectés

Nous avons détecté les conceptions et modes de raisonnement suivants : usure du courant, confusion sur le rôle d'un interrupteur, sens inverse du courant conventionnel et raisonnement séquentiel (cf. §3.1.).

La figure 2 illustre cette détection. Contrairement à ce que nous avons envisagé, nous n'avons pas détecté la misconception de courants antagonistes.

D'après la figure, on remarque que l'usure du courant et le raisonnement séquentiel sont fortement présents et ceci quel que soit le niveau, et l'avancement du programme scolaire (avant ou après enseignement).

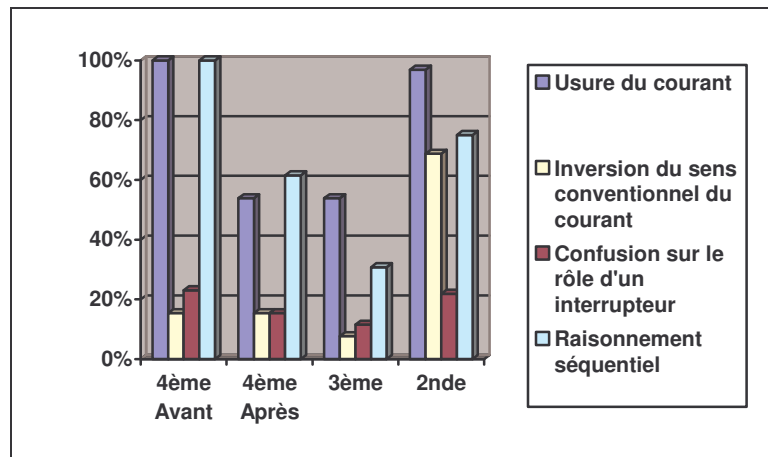


Figure 2. Détection de conceptions erronées ou de modes de raisonnement faux selon les niveaux des classes

5. Analyse et interprétation par rapport à l'argumentation, la simulation et au scénario

5.1 Rôle et apports de l'argumentation

L'analyse des réponses fournies par les élèves nous a permis de mettre en évidence deux catégories particulièrement intéressantes : des réponses justes avec argumentation fautive et des réponses fausses

avec argumentation juste. Un exemple recueilli lors de nos expérimentations est donné dans la figure 3. L'existence de ces catégories montre que l'argumentation est primordiale pour détecter, à travers elle, l'utilisation d'une misconception et/ou d'un raisonnement erroné, ou au contraire de rendre compte de la non maîtrise d'une connaissance par un apprenant malgré une réponse juste de ce dernier.

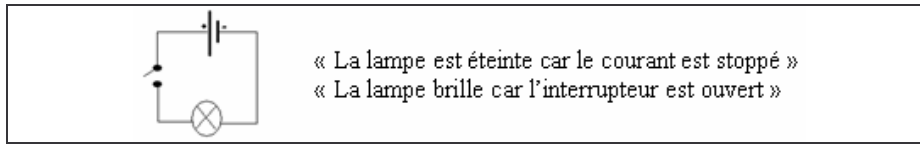


Figure 3. Exemple de réponse juste avec argumentation fausse et l'inverse

5.2 Impacts de la simulation

Apports de la simulation

Nous avons constaté que les simulations déstabilisaient les conceptions des élèves ou au contraire confirmaient leurs prévisions. En analysant nos données, nous avons remarqué que 67,11% des élèves ont été déstabilisés par la confrontation prévision-simulation, et que pour 75,29% d'entre eux une remédiation s'opérait.

Les limites de la simulation

Cependant, si dans de nombreux cas, la simulation a été bénéfique, elle a, dans certains cas plus rares, perturbé les élèves à mauvais escient lorsque le circuit fut mal construit. En effet, le logiciel de simulation employé lors de nos expérimentations n'enregistrait aucune action réalisée par l'élève. Ainsi, nous ne savons pas l'origine de ces simulations qui n'ont pas fonctionné. Pour combattre, entre autre, cette limite nous sommes en train de réaliser un logiciel (logiciel TP Elec) enregistrant chaque action réalisée par l'utilisateur.

Dans la figure 4, les élèves appartenant à la catégorie 1 (resp. 2) sont des élèves qui ont fait une prédiction incorrecte (correcte) et qui ont conclu correctement (incorrectement) après confrontation de leur prévision à la simulation. Les situations 1 à 5 sont des questions reposant sur le principe prévision-confrontation.

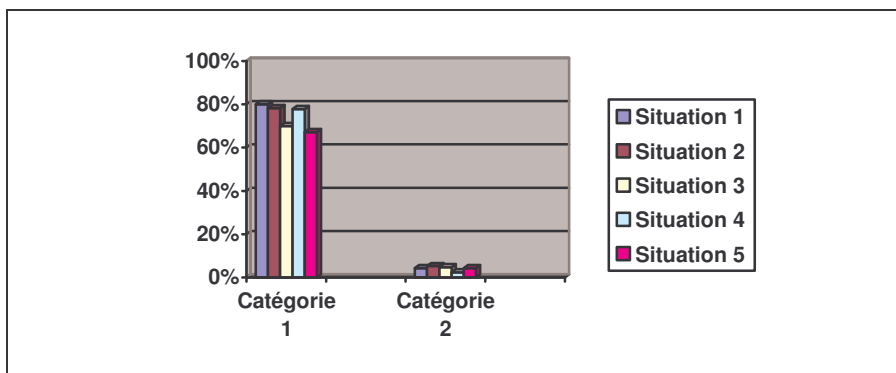


Figure 4. Apports et limites de la simulation

Cette figure montre l'apport positif amené par la simulation comme élément déstabilisateur de misconceptions puisque dans plus de 65% des cas, les élèves ont été déstabilisés à bon escient.

5.3 Rôle du scénario et des variables didactiques

Constats issus de la modification de variables didactiques

Nous avons vu que pour les élèves qui adoptent un raisonnement séquentiel (cf. §3.1.4.) une lecture séquentielle du circuit, dans le sens du courant, est opérée. Afin d'observer un tel raisonnement, nous avons proposé deux circuits aux élèves (cf. partie gauche fig. 5), identiques d'un point de vue électrique, mais qui diffèrent par l'ordre du couple de dipôle (lampe, interrupteur). L'élève doit prendre position par rapport au fait de savoir si la lampe est allumée ou non.

On constate (cf. partie droite de la fig. 5) une diminution de la bonne réponse pour le circuit 2. Les élèves pensant que, dans le circuit 2, la lampe brille, justifient leurs réponses en s'appuyant sur le fait que l'interrupteur est placé après la lampe. Cette argumentation révèle l'utilisation, par l'élève, du raisonnement séquentiel.

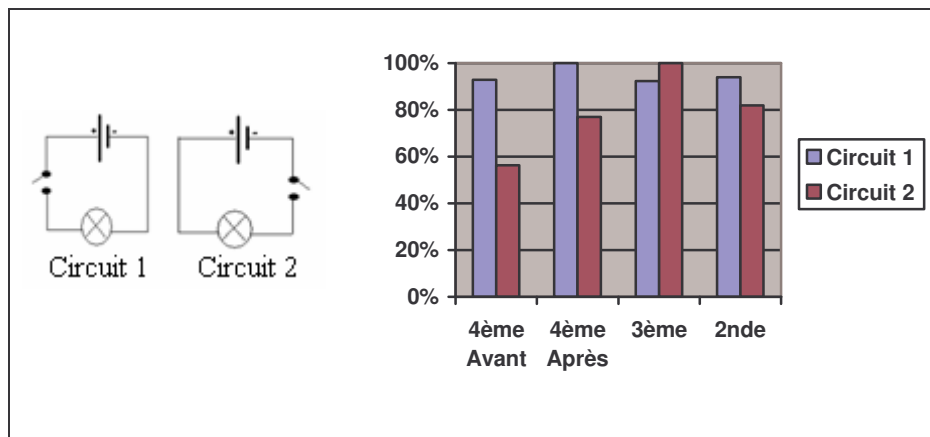


Figure 5. Circuits présentés et évolution de la réponse correcte : « La lampe est éteinte »

La remédiation grâce au scénario

L'analyse du parcours et des réponses de tous les élèves, nous a permis de détecter 118 retours arrières, que nous avons classés en 3 catégories :

- non pertinents : la réponse et l'argumentation données par l'élève sont identiques à celles données la 1^{ère} fois
- pertinents et corrects : l'élève a changé sa réponse et son argumentation pour en donner d'autres correctes cette fois
- pertinents et incorrects : l'élève a changé sa réponse et son argumentation mais pour en donner d'autres incorrectes cette fois

Si nous ne nous intéressons qu'aux retours arrière pertinents, on remarque que dans 76,67% des cas, le retour arrière a été bénéfique : l'élève a changé d'avis et est passé d'une réponse incorrecte à une réponse correcte.

Les limites du scénario

Nous avons observé, lors des expérimentations, que certains élèves simulaient d'abord les circuits pour ensuite répondre à la question sur leurs prévisions. Ainsi, pour ne pas biaiser les futures expérimentations, le logiciel TP Elec, que nous développons dans notre équipe, ne sera accessible que dans les questions où il est requis.

En analysant les réponses des élèves, nous nous sommes rendus compte que certains élèves paraissent inactifs pendant environ 20 minutes. Ainsi, nous ne savons pas ce qu'ont fait ces élèves durant cet intervalle de temps, car le logiciel de simulation (logiciel commercial) ne fournit aucune trace d'activité. Afin d'éclaircir ces zones d'ombres, le logiciel TP Elec enregistrera toutes les actions réalisées par l'élève.

CONCLUSIONS

Notre expérimentation nous a permis de vérifier que notre scénario pédagogique informatisé nous permet effectivement de déstabiliser des conceptions et des modes de raisonnement incorrects en électricité.

Notre analyse nous a également permis d'établir l'aide efficace apportée par la simulation pour la déstabilisation des conceptions et la remédiation. La confrontation, entre les prévisions des élèves et les observations par la simulation, a amené certains élèves à effectuer un retour arrière et à corriger leurs réponses incorrectes. La détection des retours arrière fut rendue possible grâce à l'outil informatique que nous avons développé.

Il ressort également de ces expérimentations que, dans certaines situations, le système informatique doit être capable de suivre et de contrôler l'activité des apprenants lors de l'emploi de la simulation. Ceci est notamment nécessaire pour vérifier la conformité des circuits construits par les apprenants, par rapport aux consignes de l'activité proposée. Cela éviterait également aux élèves de considérer comme valide un circuit mal construit ou un phénomène lié à une mauvaise construction.

L'analyse du corpus des données recueillies, nous a permis également de montrer que la prise en compte de l'argumentation des élèves est indispensable pour la détection des conceptions en constatant qu'un certain nombre de réponses justes (resp. fausses) reposaient sur un raisonnement incorrect (valide).

PERSPECTIVES

Nous cherchons à intégrer un environnement de formulation et un module de diagnostic à un micromonde de circuits électriques. Ce système de diagnostic produira l'information nécessaire pour aider l'enseignant à la compréhension de l'activité d'apprentissage de ses élèves.

La spécification d'un environnement de formulation permettra à l'apprenant d'exprimer des hypothèses ou des observations sur des phénomènes de physique, ce qui permettra au module de diagnostic d'en déduire les conceptions de l'apprenant. Pour cela, nous devons simplifier la saisie de l'argumentation afin de faciliter l'analyse et établir un diagnostic pertinent, en nous basant sur les actes du langage (Quignard *et al.*, 1998).

De plus, nous devons spécifier et développer le module de diagnostic qui aura pour charge de détecter les conceptions des élèves à partir des actions de ce dernier dans l'environnement de formulation, le micromonde et les scénarios. Ces scénarios devront s'adapter aux réponses de l'élève, suite au diagnostic réalisé, afin d'apporter la remédiation la plus pertinente pour l'apprenant.

Des expérimentations nous permettant de progresser sur cet aspect seront menées en mai et juin 2006. Elles permettront également de valider les outils développés dans le cadre du projet SVL (cf. §2.2).

BIBLIOGRAPHIE

Baker, M., « Argumentation et co-construction des connaissances », *Interactions et Cognitions*, vol. 2(3), pp. 157-191, 1996.

Beaufils, D., Beney, M. et Ramage, MJ., « Environnements sémiotiques manipulables pour des activités sur modèle dans l'enseignement de la physique », EIAH 2003, pp. 519-522, Strasbourg, 15-17 Avril 2003.

Brousseau, G., « Ingénierie didactique : d'un problème à l'étude a priori d'une situation didactique », Actes de la 2^{ème} école d'été de didactique des mathématiques, 1982.

Chomat, A., Desbeaux-Salviat, B., Larcher, C., et Saltiel, E., *Conceptions, raisonnements communs ou familiers*, 1999.

Closset, JL. « Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique » *BUP* n°716, vol. 83, pp. 931-949, Juillet-Août-Septembre 1989.

Cortes, G., Simulations et contrôle pédagogique : architectures logicielles réutilisables, Thèse de doctorat, Octobre 1999.

De Vries, E., « Les logiciels d'apprentissage : panoplie ou éventail ? », *Revue Française de pédagogie*, n° 137, pp. 105-116, 2001.

Dimitracopoulou, A., Le tutorat dans les systèmes informatisés d'apprentissage : étude de la conception et réalisation d'aide à la représentation physique des situations étudiées par la mécanique, Thèse de doctorat, Université Paris VII, Septembre 1995.

Logiciel TP Elec, <http://siota.imag.fr/TPElec>.

Lund, K., et Baker, M., « Interprétations par des enseignants des interactions d'élèves médiatisées par ordinateur », Colloque Didactique des disciplines et formation des enseignants : approche anthropologique, Marseille, Mars 2000.

Mars-Gouraud, A., Conceptions en électricité chez l'enfant de 6 ans. Etude à partir de circuits électriques élémentaires, Thèse de doctorat, Paris, 2002.

Michelet, S., Etude d'un environnement pour le diagnostic et la remédiation de conceptions erronées en électricité, Mémoire de M2R-ICPS, 2005.

Psillos, D., Enseigner l'électricité élémentaire, *Résultats de recherche en didactique de la physique au service de la formation des maîtres*, ouvrage coordonné par Tiberghien, Leonard Jossem & Barojas-Weber, publié par la Commission Internationale sur l'enseignement de la Physique, 1998.

Quignard, M. et Baker, M., « Conditions de production spontanée de dialogues argumentatifs entre élèves », *Proceedings of the 4th International Conference on Argumentation (ISSA'98)* Amsterdam, 1998.

Scott, PH., Asoko, HM. et Driver, RH., « Teaching for conceptual change : a review of strategies », *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*, R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (eds), pp. 310-329, 1993.

Séjourné, A., Baker, M., Lund, K., et Molinari, G., « Schématisation argumentative et co-élaboration de connaissances : le cas des interactions médiatisées par ordinateur », Faut-il parler pour apprendre ?, Actes du colloque international-IUFM Nord-Pas de Calais -Université Lille 3-E.A. Théodile Lille 3-IUFM, pp1-14, Arras, France, Mars 2004.

Shipstone, DM., Von Rhoneck, C., Jung, W., Karrqvist, C., Dupin, JJ., Johsua A. et Licht, P., « A study of secondary students' understanding of electricity in five European countries », *International Journal of science Education*, vol. 10, pp. 303-316, 1988.

TPElec, <http://siota.imag.fr/questionnaireTpElec>