

APPRENDRE ET COMPRENDRE LES CONCEPTS CLES DE L'ELECTRICITE

Reinders Duit, Institute for Science Education at the University of Kiel, Germany

Christoph von Rhöneck, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Germany

Introduction

Ce chapitre a deux objectifs principaux : le premier est de résumer brièvement les résultats sur les conceptions des élèves dans le domaine de l'électricité avant et après enseignement ainsi que ceux sur le double rôle de ces conceptions dans les processus d'enseignement et d'apprentissage. Dans ce double rôle, les conceptions constituent des obstacles à l'apprentissage et sont des éléments dans le processus de construction de la compréhension par les étudiants. Le deuxième objectif est d'utiliser la connaissance des difficultés d'apprentissage en électricité pour attirer l'attention sur des aspects plus généraux du rôle des conceptions avant enseignement dans l'apprentissage de la physique.

L'électricité est l'un des domaines de base de la physique qui est important quel que soit le niveau d'enseignement. A l'école primaire, les jeunes enfants acquièrent de l'expérience avec des circuits électriques simples. Aux niveaux suivants, l'électricité est systématiquement enseignée et constitue un thème important pour tous les types d'études. Pour des raisons de brièveté de description, cette revue ne se centrera pas sur l'évolution des conceptions des élèves avec l'âge et le niveau d'enseignement. En revanche, les différentes conceptions seront présentées et discutées tout au long de ce chapitre.

Conceptions des élèves sur l'intensité, la tension et la résistance

Significations quotidiennes de l'intensité

Le discours quotidien et celui de la physique concernant l'électricité et les appareils électriques sont sensiblement différents ; les termes de base de la physique pour l'électricité, l'intensité, la tension et la résistance, par exemple, sont également utilisés dans le discours de la vie de tous les jours, mais avec des significations bien différentes de celles de la physique. Du fait qu'il existe des différences indéniables entre les langages par rapport aux significations données, par exemple pour les termes de base de la physique mentionnés ci-dessus, il n'est pas possible de donner une conclusion qui se maintiendrait quels que soient les langages. Mais il est possible d'affirmer que les significations des mots pour l'intensité dans les langues européennes sont généralement plus proches de la signification en physique de l'énergie que de l'intensité. En d'autres termes, le mot intensité dans le langage de tous les jours comprend un grand éventail de significations avec une prédominance pour l'idée d'énergie. Ainsi, une mauvaise compréhension dans les classes de physique est possible si l'enseignant n'est pas averti des différences existant entre sa manière de parler des phénomènes électrique et celle des étudiants.

Effet causal linéaire entre les piles et les ampoules

Il peut être fructueux de demander aux enfants de l'école primaire qui n'ont reçu aucun enseignement formel de circonscrire leurs concepts sur les processus électriques. Mais il est également possible d'analyser comment les enfants manipulent les piles et les ampoules et quelles sont les explications qu'ils donnent en relation avec leurs actions, comme cela a été fait par Tiberghien et Delacôte (1976). Le résultat de cette étude est que les enfants utilisent des explications très générales pour le fonctionnement d'un circuit électrique simple. Habituellement, ils établissent un lien causal entre la pile et l'ampoule et expliquent qu'un agent se déplace de la pile à l'ampoule. L'agent peut être appelé électricité ou courant électrique. L'électricité, ou courant, est stockée dans la pile et peut "demeurer" dans les fils. L'agent est

consommé dans la pile, c'est-à-dire qu'il n'existe pas d'idée de conservation de l'électricité chez ces élèves. L'effet causal linéaire entre la pile et l'ampoule n'implique pas un circuit fermé. Un nombre significatif d'élèves pensent qu'un fil entre la pile et l'ampoule est suffisant et que le deuxième fil dans les circuits fonctionnant dans la vie de tous les jours sert simplement à amener plus de courant à l'ampoule. Il y a aussi des résultats montrant que deux types de courant vont tous les deux de la pile à l'ampoule ; ils sont parfois appelés courants "plus" et "moins" (voir ci-dessous). Dans l'ampoule, il y a un conflit entre les deux courants, notion qui a été appelée "les courants antagonistes" (Osborne, 1983), ou bien il y a une sorte de réaction (chimique) qui conduit à la lumière fournie par l'ampoule.

La recherche a montré que l'idée de consommation de courant ne disparaît pas avec l'enseignement formel. Cette idée et d'autres conceptions d'élèves peuvent être discutées au moyen d'un test qui a été administré dans cinq pays européens à plus de 1200 élèves de 14-15 ans de l'école secondaire après enseignement (Shipstone et al., 1988). Le résultat général de ce test est qu'en dépit des différents systèmes scolaires et des différents langages - on retrouve, dans ces pays, approximativement le même type de difficultés d'apprentissage.

Consommation du courant

- La conception comme quoi le courant est consommé est persistante chez les élèves, même après enseignement. La consommation englobe les deux aspects de dévaluation et de diminution du courant électrique. Dans l'une des tâches qui réfère à l'idée de consommation, trois affirmations sont présentées aux étudiants (en lien avec une ampoule reliée à une pile, l'ampoule étant allumée), et on leur demande d'indiquer si ces affirmations sont vraies ou fausses. Seule une minorité de l'échantillon total approuve la conservation du courant (affirmation 3) :

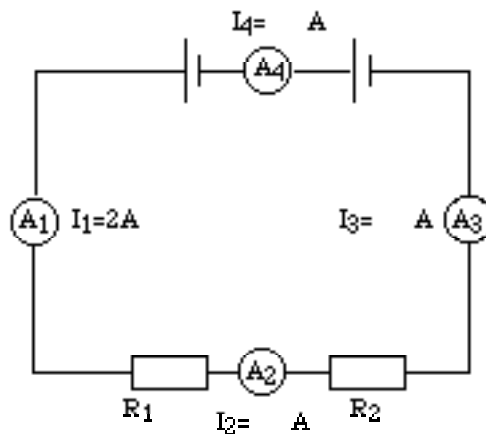
1 : *"l'ampoule utilise tout le courant électrique"*

2 : *"l'ampoule utilise un peu du courant électrique"*

3 : *"Tout le courant électrique qui va de la pile à l'ampoule retourne à la pile"*

La consommation du courant est persistante puisque, pour de nombreux élèves, la conservation du courant est en désaccord avec le fait que la pile doive «se vider». Dans une autre tâche (figure 1), on demande aux élèves de comparer les indications de plusieurs ampèremètres. Près de 50% des élèves donne la réponse correcte : $I = \text{constante} = 2A$.

Dans le circuit ci-dessous les résistances R_1 et R_2 sont différentes.



Il y a quatre ampèremètres dans le circuit. A_1 indique 2A.

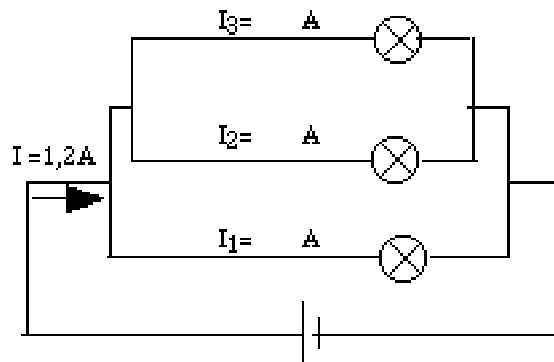
Ecrivez sur chacun des autres ampèremètres ce que vous pensez qu'il indique

Figure 1

Raisonnement local

Le raisonnement local décrit le fait que les élèves concentrent leur attention sur un point du circuit et ignorent ce qui se passe ailleurs. Un exemple du raisonnement local est que beaucoup d'élèves considèrent la pile comme une source à intensité constante et non comme une source à tension constante. La pile comme une source à intensité constante délivre un courant constant, indépendamment du circuit qui est relié à la pile.

Dans le circuit ci-dessous les ampoules sont de même type



Complétez les courants I_1 , I_2 , I_3 .

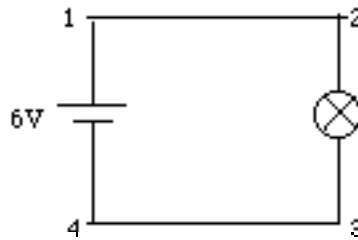
Figure 2

Dans la tâche de la figure 2, le raisonnement local est lié au concept d'intensité. Près de 60% des élèves de l'échantillon estiment que $I_1 = 0,6A$ et que $I_2 = I_3 = 0,3A$. Les intensités sont partagées à chaque noeud du circuit en deux parties égales. Ce partage n'est pas influencé par ce qui se trouve en aval dans le circuit. Les élèves indiquent que "au niveau des noeuds, le courant ne sait pas ce qui se passe après dans le circuit". La représentation graphique inhabituelle de cette tâche met en évidence que de nombreux élèves présentent une tendance à justifier leur réponse sur la seule base des courants. L'intensité dans une seule portion de circuit n'est pas perçue comme une conséquence de la tension aux bornes de la résistance dans cette portion.

Tension dans les circuits fermés

Un des concepts les plus difficiles en électricité est le concept de tension ou de différence de potentiel. Avant enseignement, la tension est liée à la "force de la pile" ou à "l'intensité ou force du courant". Même après enseignement, ces élèves utilisent le concept de tension comme ayant approximativement les mêmes propriétés que le concept d'intensité. La tâche suivante (figure 3) montre l'absence de différenciation entre ces deux concepts.

Regardez le circuit suivant :



Complétez les valeurs des tensions entre les points 1 et 2 :V, 2 et 3 : V, 3 et 4 : V

Figure 3

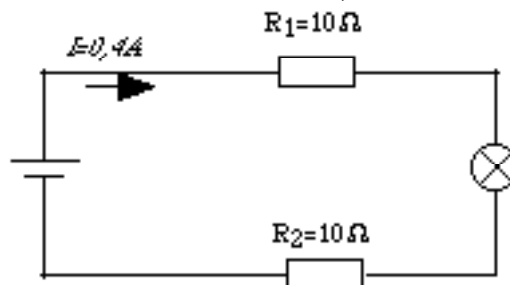
Près de 40% de l'échantillon prévoit une tension de 6V aux bornes de toutes les paires de points du circuit et ne différencie pas les deux concepts de tension et d'intensité dans la situation présentée.

Raisonnement séquentiel

Si, dans un circuit, un élément tel que la résistance est modifié, un type de raisonnement particulier appelé raisonnement séquentiel devient manifeste. Le raisonnement séquentiel signifie que les élèves analysent un circuit en termes de "avant" et "après" que le courant "passe" à cet endroit. Une modification au "début" du circuit influence les éléments qui sont après, alors qu'une modification "à la fin" n'influence pas les éléments situés avant. L'information de la modification est transmise par le courant électrique. Le courant dans un circuit est influencé par une résistance lorsqu'il arrive à cet élément et il transmet cette information dans la direction du flux et non dans la direction opposée.

Une tâche montrant le raisonnement séquentiel est présentée dans la figure 4. Près d'un tiers de l'échantillon utilise un raisonnement séquentiel, ce qui est vrai aussi dans des tâches similaires et plus élaborées. Même les étudiants d'université utilisent un raisonnement séquentiel dans certaines situations (Closset, 1983).

Dans le circuit présenté ci-dessous le courant est de 0,4A :



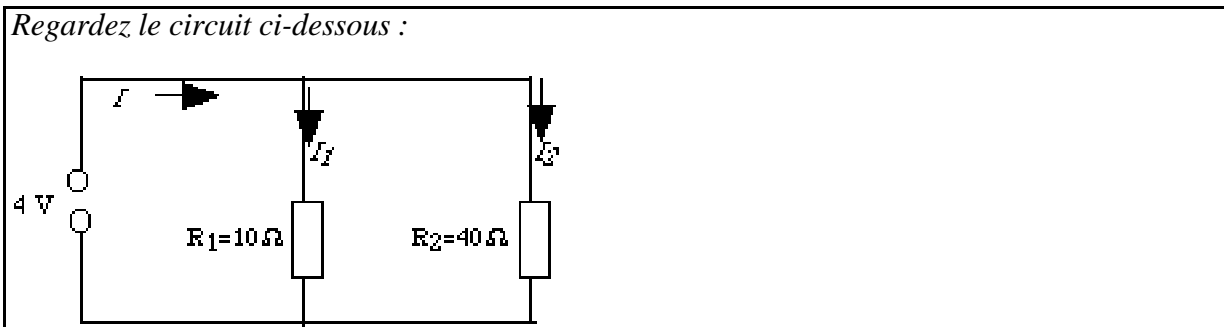
Tout d'abord la résistance R_1 , et ensuite la résistance R_2 sont échangées par des résistances de 20Ω . Comparez l'intensité après le premier changement avec l'intensité initiale et cochez la case correspondante à la réponse correcte. Cochez la case

Figure 4

Résistance

Certaines difficultés liées au concept de résistance peuvent être discutées à partir d'une tâche dans laquelle deux portions de circuit sont en parallèle (figure 5).

Regardez le circuit ci-dessous :



La résistance $R_2=40\Omega$ sera remplacée par une résistance de 50Ω
 Cochez la case correspondant à la bonne réponse

L'intensité du courant I_2 augmente

L'intensité du courant I_2 reste la même

....

Figure 5

L'influence du changement de la résistance R_2 sur les différentes intensités I_1 , I_2 et I se révèle être extrêmement compliquée pour la plupart des élèves : seulement 20% détectent que I_1 reste la même et que les autres intensités diminuent. 12% utilisent une relation inverse entre la résistance et l'intensité et pensent qu'une augmentation de R_2 conduit à une augmentation de I_2 . 20% considèrent la source comme une source à intensité constante et coche que I_2 diminue, I_1 augmente et I reste le même. Près de 10% utilisent un raisonnement séquentiel et prédisent que toutes les intensités seront les mêmes puisque que la résistance R_2 est placée "à la fin" de la portion de circuit et que le changement de R n'influence pas les courants "avant" les résistances.

Le mélange complexe d'argumentations incorrectes dans la dernière tâche montre que l'enseignement ne conduit généralement pas à une représentation claire des concepts utilisés en physique. Souvent, nous trouvons, même après enseignement, des éléments des conceptions avant enseignement approximativement reliés à certains éléments des concepts enseignés. Au delà de cela, la recherche a montré de manière générale que les conceptions des élèves sont spécifiques du contexte, c'est-à-dire qu'elles dépendent de la tâche concrète qui est présentée. Si la situation change entre un premier exercice et un autre similaire (du point de vue du physicien), les élèves peuvent employer des conceptions très différentes pour résoudre la tâche.

Les conceptions peuvent aller au-delà des preuves empiriques - le biais de la confirmation

C'est un résultat général bien connu de la recherche sur les conceptions des élèves que ces conceptions ont beaucoup d'influence sur ce que les élèves voient effectivement dans les expériences. De plus, les élèves ne sont généralement pas disposés à modifier leurs conceptions si leur prédiction est remise en question par une seule expérience (Chinn & Brewer, 1993).

Schlichting (1991) fournit un exemple frappant qui montre que les élèves ne voient pas ce qui devrait vraiment être vu mais voient et donc disent ce que permet leur conception. Il a présenté le dispositif expérimental indiqué sur la figure 6 à une classe d'élèves âgés de 14 à 15 ans et a demandé à quel endroit le fil fin commence à être incandescent lorsque le circuit est fermé. Il y avait trois prédictions possibles : (1) le fil sera incandescent d'abord du côté gauche ou du côté droit selon l'hypothèse de la direction prise du courant lorsque celui-ci pénètre dans cet endroit du fil ; (2) Le fil deviendra incandescent d'abord au milieu puisque deux types de courant (voir

ci-dessus) arriveront ensemble au milieu ; (3) le fil deviendra incandescent simultanément de partout (le point de vue correct). Après la prédiction, l'expérience a été conduite. Presque tous les élèves ont vu ce qu'ils ou elles avaient prévu.

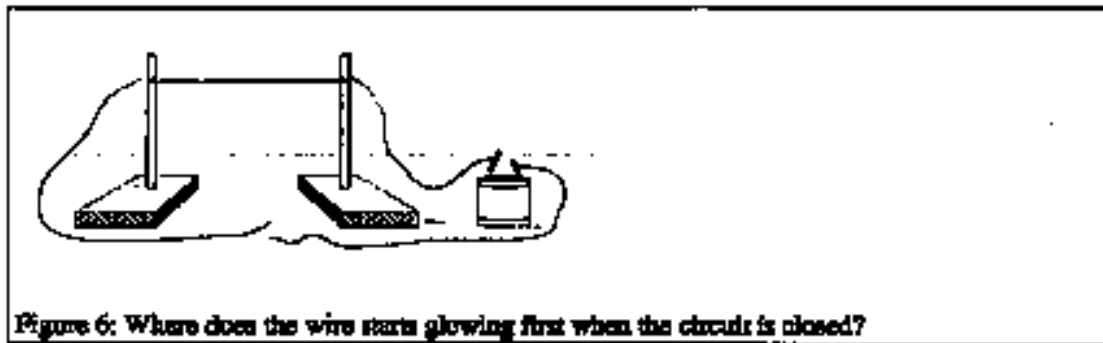


Figure 6 : A quel endroit le fil commence-t-il d'abord à briller quand on ferme le circuit ?

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, de nombreux élèves soutiennent le point de vue que le courant est consommé dans une ampoule, et donc que moins de courant retourne (selon le point de vue des élèves) à la pile. Gauld (1989) a mis en question cette conception par l'expérience montrée par la figure 7. Après un processus assez difficile et laborieux, il a réussi à convaincre sa classe d'élèves d'environ 14 ans que les déviations identiques des ampèremètres peuvent être mieux expliquées par le point de vue de la physique sur la conservation du courant. Trois mois plus tard, il a interrogé ses élèves sur leurs conceptions du courant. La plupart d'entre eux n'ont plus utilisé les conceptions physiques qu'ils avaient acquises de manière évidente pendant l'enseignement. Lorsqu'on leur a demandé de lire l'indication des ampèremètres, un certain nombre d'entre eux ont dit qu'ils étaient différents, au moins un peu, même si, trois mois auparavant, ils avaient tous vu et reconnu que les déviations étaient égales.

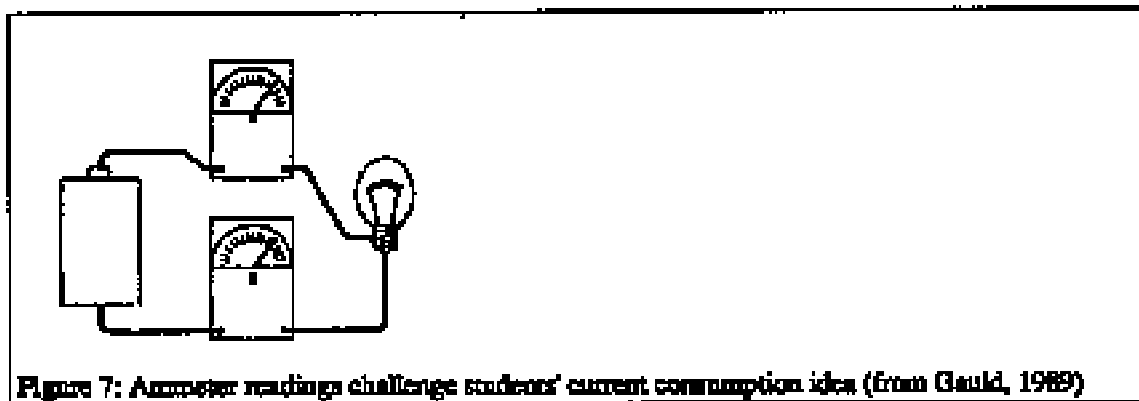


Figure 7: L'indication des ampèremètres est un défi les élèves qui l'idée de la consommation du courant (Gauld, 1989)

Processus d'apprentissage des élèves

De nombreuses études comme celle résumée ci-dessus relative à l'enquête européenne sur les conceptions en électricité (Shipstone et al., 1988) ont montré que la réussite de l'enseignement de la physique, correspondant à l'acquisition par les élèves du point de vue de la physique, est généralement limitée (voir la liste de près de 280 études sur l'apprentissage de l'électricité dans Pfundt & Duit, 1994). La plupart des études s'appuient sur des données après enseignement ou sur la comparaison de données avant et après enseignement. Mais il existe également des études sur les processus d'apprentissage des apprenants pris individuellement (voir les contributions dans Duit, Goldberg & Niedderer, 1992 ; pour une étude sur les processus d'apprentissage dans le domaine de l'électricité voir Schwedes & Schmidt, 1992, dans ce même ouvrage). De telles études sur les processus d'apprentissage montrent de manière évidente que les

cheminements d'apprentissage suivis par les élèves sont très compliqués : il y a des progrès et des reculs, des développements parallèles, et des impasses également. D'ordinaire, un développement vers le point de vue de la science devient visible seulement après un temps long, le développement conceptuel vers les idées de la physique, par exemple pour l'électricité, est un processus long et ardu. Des travaux révèlent également qu'il y a souvent des développements qui vont juste dans la direction opposée de celle proposée par l'enseignant.

Par exemple, dans une étude de Niedderer et Goldberg (1995), un groupe de trois élèves de l'enseignement supérieur, abordant les idées physiques du circuit électrique simple discuté précédemment, était impliqué dans une sorte d'enquête guidée. Ces élèves ont tout d'abord eu beaucoup de difficultés à relier une ampoule à une pile de manière correcte. La résolution de cette tâche leur a pris environ 30 minutes. L'intention de l'enseignant était de fournir aux élèves des expériences concrètes leur permettant d'établir des idées sur les circuits électriques. Les élèves ont développé une conception bien connue par les autres études et présentée précédemment. Ils considéraient le courant comme une espèce de combustible qui s'écoule de la pile à l'ampoule et qui est alors consommé. Ils référaient également à un savoir précédemment enseigné en classe de science sur les charges positives et négatives. Ils ont fusionné ces deux conceptions (l'idée de la consommation et la notion des courants plus et moins) de telle manière qu'ils sont parvenus à une structure qui leur fournissait des explications fructueuses. Initialement, l'enseignant a soutenu leurs idées, et ne s'est pas rendu compte que les idées des élèves se développaient dans une direction qu'il n'avait pas désirée, et qui en fait entravait le développement ultérieur vers le point de vue de la physique. Ces étudiants n'étaient ni disposés ni capables de changer leurs idées qui, pour eux, s'étaient révélées très fructueuses et convaincantes. En d'autres mots, le guidage et le soutien apporté par l'enseignant les a conduit à une conception qui s'avérait être un obstacle plus sérieux pour les apprentissages ultérieurs que leurs idées initiales de la vie de tous les jours.

Enseigner l'électricité en tenant compte des difficultés d'apprentissage des élèves

Bien entendu, la recherche dans le domaine de l'apprentissage de l'électricité n'a pas été restreinte à la mise en lumière des difficultés d'apprentissage, mais elle a également abordé ces difficultés afin d'améliorer l'enseignement et l'apprentissage. Un nombre substantiel d'études ont été conduites au sein desquelles de nouvelles approches de l'apprentissage et de l'enseignement ont été évaluées. Il n'est pas possible de fournir ici une revue complète de ces approches. Seules quelques remarques sur les résultats généraux peuvent être données (cf. Cosgrove & Osborne, 1985 ; Shaffer & McDermott, 1992 ; voir aussi les contributions dans Duit, Jung et v. Rhöneck, 1985, et la liste des études de référence dans Pfundt & Duit, 1994).

Changement conceptuel

Dans le domaine de recherche que nous examinons ici, l'apprentissage est généralement considéré comme une construction active par l'élève à partir des savoirs préexistants. Ce que l'apprenant connaît déjà a été démontré comme étant *le* facteur clé dans l'apprentissage d'un domaine quelconque. L'ébauche de cette idée de l'apprentissage est habituellement appelée "constructiviste" (Tobin, 1993) ce qui dénote que l'acquisition des connaissances est un processus de construction de l'individu dans un certain contexte social. Le terme de "changement conceptuel", qui est largement utilisé et qui représente souvent les idées constructivistes pour l'apprentissage en général, indique qu'apprendre les sciences implique le plus souvent des restructurations fondamentales des connaissances avant enseignement (Vosniadou, 1994). Autrement dit, le terme représente le fait qu'habituellement, les idées des élèves, de la vie de tous les jours et avant enseignement, sur les phénomènes de la science sont en forte opposition avec les principes et les concepts de la science qui doivent être appris.

Le terme de changement conceptuel n'est pas très bien choisi, car il peut être mal compris. Le changement ne représente pas un *échange* (ou même l'extinction) des conceptions avant enseignement avec les concepts physiques. La recherche a montré que ceci n'est pas possible et

elle a également prouvé que cela n'est pas désirable. Comme souligné précédemment, les élèves apprennent généralement au mieux des idées hybrides qui regroupent des facettes des conceptions avant enseignement et les concepts de la physique. De plus, de nombreuses conceptions d'élèves avant enseignement ont démontré leur efficacité dans le contexte de la vie de tous les jours. Cela est vrai, par exemple, pour les conceptions sur l'électricité présentées ci-dessus. Dans la plupart des situations de la vie de tous les jours, elles fournissent un guidage suffisant pour agir sur les appareils électriques et elles permettent des conversations quotidiennes fructueuses sur la plupart des thèmes relatifs à l'électricité. L'idée d'échange des conceptions quotidiennes des élèves avant enseignement doit ainsi être remplacée par une idée de dépendance par rapport au contexte : une certaine coexistence entre ces deux types de connaissance doit être tolérée ; les élèves doivent apprendre en classe de physique que le point de vue de la physique fournit des structures plus puissantes *dans certaines situations et dans certains contextes*.

Changement conceptuel et changement conceptuel sous conditions

Le changement conceptuel au sens précédent, c'est-à-dire dans les termes d'un cheminement d'apprentissage des élèves, de leurs conceptions avant enseignement vers les concepts physiques, a montré qu'il met en jeu des questions rationnelles (logiques) tout comme des questions émotionnelles. Il existe beaucoup de cas connus dans la littérature où les élèves comprennent le point de vue de la physique mais ne le croient pas (Jung, 1993). Ainsi, le changement conceptuel doit s'inscrire dans des conditions qui aident les élèves à développer leurs idées. Parmi ces conditions, il y a le climat de la classe qui permet aux élèves d'exprimer leurs idées et d'échanger leurs points de vues avec les autres élèves, et où les idées des élèves sont généralement considérées comme des tentatives sérieuses pour donner du sens à un phénomène présenté par l'enseignant. De même, l'intérêt et la motivation des élèves jouent des rôles clés.

Dans une étude sur l'enseignement et l'apprentissage des concepts de base de l'électricité (Grob et al., 1994), l'importance des facteurs mentionnés est évidente. Les filles et les garçons abordent différemment l'apprentissage de la physique. Les filles ont tendance à prendre des distances avec la physique parce qu'elles y portent peu d'intérêt. Ceci ne signifie pas qu'elles n'apprennent pas la physique. Les filles de ce groupe montrent un comportement d'apprentissage stable, la motivation intrinsèque est un facteur déterminant pour apprendre la physique. Cette motivation intrinsèque ne dépend pas de la discipline et indique que ces élèves sont généralement des élèves brillants. Les garçons ont un accès émotionnel à la physique par l'intermédiaire de l'intérêt et ils se révèlent être de bons et continus apprenants tant qu'ils y trouvent de l'intérêt.

Chemins d'apprentissage continus et discontinus

Les conceptions des élèves sur les circuits électriques avant enseignement sont indubitablement en fort contraste avec les concepts de référence en physique. Dans de nombreuses stratégies d'enseignement et d'apprentissage disponibles dans la littérature, la consigne commence par la mise à jour des idées des élèves et par la possibilité d'acquérir de l'expérience sur les phénomènes en question. Cela est le cas du plan d'enseignement constructiviste du projet CLIS (Children's Learning in Science, Driver, 1989), mais également de nombreuses autres approches, où les élèves réalisent des expériences (par exemple avec des piles et des ampoules), et développent et échangent leurs points de vue sur les phénomènes étudiés. A partir d'une telle base, l'enseignant essaye de guider les élèves vers un point de vue de la physique par une procédure étape par étape. Stimuler les idées des élèves est une partie cruciale dans cette période, en d'autres termes, les conflits cognitifs jouent un rôle majeur. La stratégie de Gauld (1988) traitée brièvement précédemment peut être considérée comme un exemple paradigmatique. Après quoi, le point de vue de la physique est appliqué à un certain nombre de situations inédites. Un poids important est également donné à la réflexion des élèves sur leur propre processus d'apprentissage, de façon à ce qu'ils se rendent compte combien leurs idées initiales de la vie de tous les jours sont différentes des nouveaux points de vue de la physique.

Ces stratégies peuvent être appelées discontinues puisqu'elles s'appuient délibérément sur les conflits cognitifs.

Les stratégies de conflit cognitif, bien que généralement supérieures aux approches traditionnelles (Guzetti & Glass, 1993), comportent un certain nombre de difficultés. La plus importante est qu'il est souvent difficile de faire prendre conscience d'un conflit aux élèves. Il peut également arriver que la mise à jour et la longue discussion de l'opinion avant enseignement des élèves renforcent simplement cette opinion. Ainsi, des recherches portent sur des stratégies évitant le conflit cognitif, c'est-à-dire qu'elles proposent de commencer l'enseignement par les facettes des conceptions des élèves avant enseignement qui partagent déjà au moins quelques aspects communs avec le point de vue de la physique. A partir de ce noyau de conformité il y a un développement vers le point de vue de la physique par l'intermédiaire d'un chemin principalement continu. Un type de telles stratégies peut être appelé "réinterprétation" (Jung, 1986). Grayson (1996) fournit l'exemple suivant pour cette stratégie (son terme est "substitution de concept"). A la place de stimuler les vues des élèves sur la consommation du courant comme esquissé précédemment, elle fournit la réinterprétation suivante : l'idée que quelque chose est consommée n'est pas fausse du tout, si ce quelque chose est considéré en terme d'énergie. L'énergie s'écoule en fait de la pile à l'ampoule, alors que le courant s'écoule, et elle est "consommée", c'est-à-dire transformée en chaleur et en lumière.

Il existe d'autres possibilités de cheminements continus vers le point de vue de la physique sur les concepts de l'électricité. Dans ces cas, l'enseignement contourne initialement les conceptions préalables des élèves sur le circuit électrique, et commence avec certaines méthodes plus générales ou établit des analogies avec des domaines déjà familiers aux élèves. La stratégie la plus populaire de ce type est d'établir des analogies avec des circuits hydrauliques variés. Le problème de cette analogie usuelle de l'enseignement de la physique est qu'elle peut conduire à de graves méprises si elle n'est pas manipulée avec soin. Des recherches ont notamment montré que les élèves possèdent principalement les mêmes conceptions (qui sont fausses du point de vue de la physique) dans les circuits électriques et hydrauliques (voir Schwedes, 1996 pour une approche abordant ce problème).

Structure orientée des contenus scientifiques des élèves

Bien entendu, dans toutes les nouvelles approches pour le changement conceptuel dans l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité, des tentatives sont faites pour modifier la structure du contenu physique de telle manière que les difficultés d'apprentissage révélées dans les nombreuses études disponibles soient abordées convenablement. Il apparaît trois points clés :

- (1) Le flux de courant et le flux d'énergie doivent être clairement différenciés depuis le tout début de manière à prendre en compte les idées des élèves sur la consommation du courant qui sont très résistantes à l'enseignement.
- (2) L'intensité et la tension doivent être différenciées très tôt de façon à fournir aux élèves une notion du phénomène de flux de courant qui comporte l'idée d'un flux de quelque chose dans le circuit et celle d'une "force" directrice de ce flux, mais aussi qui permette de distinguer ces deux idées.
- (3) De manière à traiter le raisonnement "local" et "séquentiel" précédemment discuté qui domine les idées des élèves sur le flux du courant, il est nécessaire de guider également très tôt les élèves vers une "idée de système" du circuit électrique (Härtel, 1985). Lorsqu'il se produit un changement de n'importe quelle sorte dans un point du circuit, il y a également des changements simultanés dans les autres points. Un modèle approprié ne se fondera pas sur des charges (ou des particules) se déplaçant individuellement, mais sur une approche où toutes les particules sont intimement interconnectées.

Remarques concluantes

Le domaine de l'électricité est celui où il y a de nombreuses recherches sur les difficultés d'apprentissage. Les résultats de cet important corpus de recherche montrent clairement que les

conceptions avant enseignement des élèves influencent profondément ou même déterminent l'apprentissage. La plupart des conceptions des élèves ont montré qu'elles constituaient des obstacles à l'apprentissage, car elles sont en opposition aux concepts physiques qui doivent être appris.

Du fait que les conceptions des élèves avant enseignement doivent constituer le point de départ nécessaire de chaque processus d'apprentissage, les obstacles doivent être surmontés de manière intelligente. Ici également, la recherche a fourni des approches précieuses qui peuvent conduire à des enseignements et des apprentissages plus efficaces et plus agréables pour les enseignants et pour les élèves, dans le domaine de l'électricité comme dans d'autres domaines. Beaucoup de choses ont été faites, beaucoup d'idées précieuses sont disponibles, mais il reste encore beaucoup à faire.

Références

- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Closset, J.L. (1983). Sequential reasoning in electricity. In *Research on Physics Education. Proceedings of the First International Workshop*. La Londe les Maures: Editions du CNRS, 313-319.
- Driver, R. (1989). Changing conceptions. In P. Adey, Ed., *Adolescent development and school science* (pp.79-99). London: Falmer Press.
- Duit, R., Goldberg, F., & Niedderer, H., Eds., *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Keil, Germany: Institute for Science Education at the University of Keil.
- Gauld, C. (1989). A study of pupils' responses to empirical evidences. In R. Millar, Ed., *Images of science in science education* (pp.62-82). London, UK: Falmer Press.
- Grayson, D. (1996). Improving science and mathematics learning by concept substitution. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (152-161). New York: Teacher College Press.
- Grob, K., Lompscher, S., Rhöneck, C. von, Schnaitmann, G.W., & Volker, B. (1994). Cognitive abilities, motives, learning strategies, and social interactions as components of long-term learning in basic electricity. In H.-J. Schmidt, Ed., *Problem solving and misconceptions in chemistry and physics -- Proceedings of the 1994 International Seminar*, University of Dortmund (pp.174-183). Petersfield, UK: ICASE Publications.
- Guzetti, B.J., & Glass, G.V. (1992, April). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Härtel, H. (1985). The electric circuit as a system. In R. Duit, W. Jung., & Ch. von Rhöneck, Eds., *Aspects of understanding electricity* (pp.343-352). Keil, Germany: Schmidt & Klaunig
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. [Everyday conceptions and learning physics]. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie* 34, (April), 2-6.
- Jung, W. (1993). Hilft die Entwicklungspsychologie dem Naturwissenschaftsdidaktiker. [Is developmental psychology of any help for a physics educator?] In R. Duit, & W. Graber, Eds., *Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften* (pp.86-108). Keil, Germany: Institute for Science Education at the University of Keil.
- Niedderer, H., & Goldberg, F. (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. [Learning processes in case of the electric circuit]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 1, 73-86.

- Pfundt, H., & Duit, R. (1994). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education. 4th edition*. Keil, Germany: Institute for Science Education at the University of Keil.
- Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education* 1, 73-82.
- Schlichting, H.J. (1991). Zwischen common sense und physikalischer Theorie - wissenschaftstheoretische Probleme beim Physiklernen. [Between common sense and physical theory - philosophy of science issues in learning physics]. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 44, 74-80.
- Shipstone, D.M., Rhöneck, C. von, Jung, W., Kärqvist, C., Dupin, J.-C., Joshua, S., & Licht, P. (1988). A study of secondary students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education* 10, 303-316.
- Schwedes, H. (1996). Analogie-orientierte Elektrizitätslehre als Aufbau mentaler Modelle. [Analogy oriented formation of mental models in electricity]. In R. Duit, & Ch. von Rhöneck, Eds., *Lernen in den Naturwissenschaften*. Kiel; Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel (in press).
- Schwedes, H., & Schmidt, D. (1992). Conceptual change: A case study and theoretical comments. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer, Eds., *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp.188-202). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- Tiberghien, A., & Delacôte, G. (1976). Manipulation et représentations de circuits électrique simples chez des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie* 34, 32-44.
- Tobin, K., Ed. (1993). *The practice of constructivism in science education*. Washington, DC: AAAS Press.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction* 4, 45-69.