

# Evaluer les représentations des apprenants en sciences : application d'une méthode d'analyse

**Arnaud Dehon**

Université de Mons

[arnaud.dehon@umons.ac.be](mailto:arnaud.dehon@umons.ac.be)

**Antoine Derobertmeasure**

Université de Mons

[Antoine.derobertmeasure@umons.ac.be](mailto:Antoine.derobertmeasure@umons.ac.be)

## Résumé

Dans le champ de la didactique des sciences et selon la conception constructiviste - et socioconstructiviste - de l'apprentissage, la notion de représentation est centrale. Si la notion peut se concevoir théoriquement, il semble plus complexe d'évaluer concrètement des productions de ce type dans une perspective de régulation des apprentissages. Dans cet article, une méthode d'analyse des représentations des élèves du premier degré de l'enseignement secondaire dans le champ des sciences est présentée. Ainsi, est abordée la démarche pour les opérationnaliser et les analyser (à des fins de diagnostic) de façon à dégager des implications pédagogiques (à des fins de régulation), lesquelles ne font pas l'objet de l'article. Le propos est illustré à partir d'une recherche menée sur les notions de transformation d'énergie par le biais d'un dispositif pédagogique qui, sur la base de la schématisation d'une éolienne, en vise la construction.

## Mots-clés

Représentations, éolienne, didactique, sciences, dispositif

## Summary

In the field of science didactics, the constructivist - and socio-constructivist – approach is based on the concept of initial representations. If the concept is studied theoretically, it is more difficult to integrate it concretely in the learning process. An analytical approach in the secondary education level is presented in this article. This concerns the methodology to integrate and to analyze these representations from a didactical point of view and to integrate them from a pedagogical point of view. To illustrate the methodology, the results of a research on energy transfer learning are presented and refer the construction of a wind turbine

## Keywords

Representations, energy, wind turbine

**Pour citer cet article :** Dehon, A. & Derobertmeasure, A. (2016). Evaluer les représentations des apprenants en sciences : application d'une méthode d'analyse. *Evaluer. Journal international de Recherche en Education et Formation*, 2(2), pp. 27-44.

Depuis la diffusion des résultats de l'enquête PISA (OCDE, 2006), qui ont révélé des lacunes dans l'enseignement des sciences en Fédération Wallonie Bruxelles, une réflexion sur l'amélioration de l'enseignement des sciences s'y est initiée et s'est concrétisée par la promotion de recherches en didactique des sciences. Dans ce contexte, une recherche menée à l'UMONS (Demeuse, Gillis, Dehon, Derobertmeasure, Fauconnier, Lo Bue, & Mélin, 2008) a permis de mettre en place un dispositif d'enseignement des sciences appliqué à un domaine pour lequel les élèves éprouvent beaucoup de difficultés : l'énergie (Megalakaki & Labrell, 2009). L'objectif de ce dispositif est, au travers de la construction d'une éolienne, de conduire tous les élèves à développer les compétences disciplinaires et transversales définies dans les référentiels légaux (programmes et socles de compétences) : (1) appréhender une réalité complexe ; (2) structurer les résultats, les communiquer, les valider, les synthétiser ; (3) saisir l'information, traiter l'information, utiliser l'information et communiquer l'information ; (4) analyser et comprendre un message, structurer et synthétiser. Ce dispositif se caractérise par la mise à disposition des élèves d'outils de diagnostic et de remédiation immédiate (Dehon, Demierbe, Derobertmeasure, & Malaise, 2009). Afin de favoriser et de faciliter sa mise en place par les enseignants, une valise pédagogique (comprenant entre autres les documents pour les enseignants, les élèves, le matériel didactique - y compris de montage- un support audiovisuel...) est fournie aux enseignants (Dehon, Demeuse, Demierbe, Derobertmeasure, Malaise & Vallée, 2010).

L'un des principes centraux de ce dispositif d'inspiration socioconstructiviste porte sur la prise en considération des représentations. Cette notion, régulièrement employée dans les disciplines liées à l'éducation ou dans le champ des sciences sociales (Jodelet, 1989 ; Bonardi & Roussiau, 2001), recouvre de nombreux aspects et domaines : on se représente le monde, l'apprentissage se construit sur la base de nos représentations, un groupe social peut partager les mêmes représentations... Certains courants pédagogiques basés sur le modèle constructiviste de l'apprentissage (Piaget, 1969 ; Brief, 1977 ; Montangero & Maurice-Naville, 1994 ; Al-Diban, 2008 ; Ifenthaler, 2008 ; Treagust & Duit, 2008) placent cette notion au centre de leur théorie et « préconisent » aux enseignants d'en tenir compte dans leurs dispositifs d'enseignement (Carey, 2000) en raison de l'impact positif qu'elles ont sur les performances scolaires (Rapp, 2005). Si l'on se positionne dans la perspective de l'enseignant, les représentations des apprenants sont considérées comme essentielles, d'une part, pour permettre de construire des outils pédagogiques efficaces (Rapp, 2005 ; Magliaro & Shambaugh, 2006) et, d'autre part, pour évaluer l'apprentissage de l'élève (Giordan et *al.*, 1987 ; Verhaeghe, Wolfs, Simon & Compère, 2004). En effet, tenir compte des représentations permet d'analyser la façon dont l'apprenant construit un objet d'enseignement en distinguant les écarts ou la proximité de sa représentation par rapport à une réalité. Sa représentation lui permet-elle, par exemple, de comprendre une notion théorique ou encore lui permet-elle d'utiliser une procédure adéquate ? L'analyse des représentations peut fournir des indications plus précises en termes d'évaluation que l'analyse d'une information ponctuelle comme une réponse à une question. Faire émerger les représentations avant et après une séquence pédagogique permet également de faire état des éventuelles transformations de celles-ci et de mieux appréhender l'impact de la séquence pédagogique. Aussi, cette évaluation plus fine, peut amener l'enseignant à réguler son action, notamment en ciblant plus pertinemment les outils pédagogiques à mettre à disposition des apprenants : recours à un matériel plus pertinent et plus adéquat, choix des analogies dans les explications fournies, détermination des remédiations nécessaires...

On comprend donc toute l'importance de prendre en considération les représentations des apprenants lors de la construction de dispositifs d'enseignement / apprentissage (Derobertmeasure, & Dehon, 2012). On les considère donc pour situer les apprenants par rapport aux savoirs en jeu, de là pour organiser les apprentissages et enfin pour évaluer le niveau d'acquisition des savoirs ou notions abordées. Ceci pose la difficulté d'appréhender les représentations et les méthodes pour y parvenir : comment se définissent-elles ? Ou encore comment celles-ci évoluent-elles en cours d'apprentissage ? C'est à cette importante question que cet article tente de fournir des éléments de réponse : comment appréhender les représentations dans une optique d'évaluation des apprentissages et de régulation du dispositif pédagogique ?

Ainsi, après avoir défini théoriquement la notion de représentation et ses implications tant didactiques que pédagogiques, le propos se concentre sur la description d'une méthode originale d'analyse des représentations traduites par une opération de schématisation, utilisée comme langage graphique bidimensionnel permettant une conceptualisation intermédiaire (Joshua & Dupin, 1993). Il présente des éléments d'évaluation qui peuvent être mis en évidence et des propositions de régulation du dispositif pédagogique. Au préalable, afin de contextualiser les notions abordées dans cet article, les principales étapes du dispositif pédagogique sont présentées. Celui-ci, basé sur un défi sous forme de projet technique, à savoir la construction d'une mini-éolienne, se structure en trois parties. D'abord, une période d'enseignement est consacrée à la réalisation individuelle d'un schéma par les élèves, sur la base d'une consigne relative au dessin de montage d'une éolienne à réaliser en classe : « réalise ci-dessous le schéma du fonctionnement d'une éolienne ». L'enseignant présente les outils dont dispose les élèves durant l'activité (fiches d'aide et de diagnostic, dossiers, matériel...). Ensuite, cinq périodes de travail en groupe sont consacrées à la réalisation d'un dessin commun allant servir à la construction, à la consultation des documents d'aide et à l'identification du matériel nécessaire au montage de la construction d'une éolienne. L'un des intérêts majeurs de ce travail de groupe est de parvenir à des « *développements d'arguments et à la construction de raisons, par une exploration du possible articulée à une extraction du nécessaire, empêchant ainsi « d'emprunter un circuit trop court des idées aux raisons* (Bachelard, 1938, p. 44) » (Orange Ravachol & Beorchia, 2011 p. 3). Enfin, une période de travail individuel permet aux élèves de réaliser un nouveau dessin individuel en se servant, si nécessaire, des fiches d'aide appropriées. Une synthèse collective est réalisée sur cette base. En somme, ce dispositif vise, au sens de Vygotsky, à partir d'une centration sur le concept quotidien d'éolienne (les éoliennes sont en effet des éléments du paysage), à tendre vers le concept scientifique de transformation d'énergie, après une action intentionnelle dans un cadre scolaire. A partir de ces présentations, des liens avec l'évaluation des apprentissages sont systématiquement proposés pour aboutir enfin à une proposition de régulation du dispositif et des éléments sur lesquels elle se base.

## **1. Les représentations : aspects pédagogiques, aspects didactiques et typologie**

### **1.1 D'un concept**

La perception qu'un individu a du monde n'est pas nécessairement partagée par tous car elle dépend des sens et de la structure cognitive de l'observateur : on ne voit pas le monde, on se le représente (Jarrosson, 1992). En contexte francophone, les premières utilisations du terme « représentation » dans le cadre de questions d'apprentissage remontent à 1969 et aux travaux conduits par Migne (Orange & Ravachol, 2013). Dans la littérature, on relève aux côtés du

terme « représentations » usuellement appelé aussi « représentations mentales » de nombreuses expressions associées (ou proches<sup>1</sup>) : conceptions naïves / conceptions alternatives / préconceptions (Megalakaki & Labrell, 2009), mental models (Rapp, 2005 ; Al-Diban, 2008), pre-instructional conceptions (Treagust & Duit, 2008)...

Une représentation peut se définir comme « *l'explication que se fait l'individu du monde qui l'entoure, et ce via des modèles explicatifs dont il dispose. Ceux-ci pourraient être inadaptés et pourraient donc induire des idées fausses* » (Verhaeghe, Wolfs, Simon, & Compère, 2004, p. 88). Ces systèmes d'explications permettent à l'individu d'organiser l'information conceptuelle dans la mémoire (Rapp, 2005) de façon très complexe et conduisent à rendre la réalité plausible (Greeno cité par Al-Diban, 2008, p. 82). Ce sont également « *des constructions cognitives stimulant l'imagination pour permettre de résoudre de nouveaux problèmes, de fonctionner par analogies, de généraliser l'information dans le but d'expliquer et d'anticiper la réalité ou de prédire des événements futurs* » (Al-Diban, 2008, p. 84).

Il n'existe pas, dans le domaine théorique relatif à ce domaine, de consensus quant à l'organisation, la construction et l'évolution de ce « déjà là ». A ce titre, les travaux de Vosniadou (1994) et de diSessa (1993) sont souvent pointés. Selon Vosniadou, les concepts et les connaissances font partie de structures théoriques étendues et ce sont les expériences survenant durant la vie de l'enfant qui permettent le développement d'un modèle théorique (*framework theory* pour l'auteur) y expliquant les objets (la gravité, l'inertie, la solidité...). Au sein de ce modèle plus global, se développent des cadres théoriques plus spécifiques. Ces modèles mentaux sont de deux ordres : les uns, relatifs et spécifiques au contexte rencontré, les autres, déjà stockés, car ayant été considérés comme pertinents dans le passé. Ce système complexe inclut des éléments d'ordre très divers tels que les informations liées à la perception, les croyances, les présuppositions et les représentations mentales<sup>3</sup> (Vosniadou, 2002). diSessa réfute le caractère structuré des conceptions initiales et plaide plutôt pour une définition basée sur ce qu'il nomme *phenomenological primitives*, toutes de même niveau, influencées par la culture mais mobilisées différemment par l'apprenant selon le contexte de sollicitation. La manière dont évoluent ces conceptions ne fait pas non plus l'objet d'un accord entre les auteurs : si Vosniadou défend une évolution graduelle, d'autres auteurs, tels que Chi (1992) définissent le changement de conception comme un processus radical survenant en une courte période de temps ; de la même manière, Potvin et Thouin (2003, p.537) se basant sur diSessa pointent « *la facilité déconcertante avec laquelle nos sujets abandonnent leurs conceptions dès le moindre conflit sociocognitif* » et constatent « *la rapidité avec laquelle ils en inventent de nouvelles dès que leurs explorations deviennent fructueuses* ». La construction du dispositif pédagogique dont il est ici question s'oriente davantage sur une conception évolutive des représentations, dans le sens défini par Vosniadou, cette évolution étant approchée par l'analyse des représentations initiales en comparaison des représentations finales.

De nombreux auteurs (Carey, 2000 ; Johsua & Dupin, 1993 ; Laroche & Désautels, 1992 ; Magliaro & Shambaugh, 2006 ; Megalakaki & Labrell, 2009 ; Rapp, 2005 ; Treagust & Duit, 2008) s'accordent, avec Astolfi et Develay (1989, p. 31), sur le fait « *que tout apprentissage vient interférer avec un " déjà-là " conceptuel qui, même s'il est faux sur le plan scientifique, sert de système d'explication efficace et fonctionnel pour l'apprenant* ». Même s'ils sont incomplets (Megalakaki & Labrell, 2009) ou en désaccord avec les théories scientifiques existantes, ces éléments peuvent

<sup>1</sup> Le but n'est pas de discuter les différences et nuances entre ces notions mais de montrer la variété de termes.

<sup>2</sup> Traduction libre de « (...) cognitive construct to "run in the mind's eye". This enables the potential to find new solutions, analogies, and generalisations with the aim to explain or prognosticate the reality or predict future events ».

<sup>3</sup> Traduction libre de : « ... *perceptual information, beliefs, presuppositions, and mental representations* »

être résistants aux changements (Jarrosson, 1992 ; Treagust & Duit, 2008) car ils s'ancrent dans une expérience personnelle les ayant confirmés pendant des années (Vosniadou 1994). Toutefois, ces modèles mentaux peuvent être changeants selon les besoins individuels, lorsqu'ils ne suffisent plus à expliquer la vision de la réalité. Dans ce cas, ils sont réadaptés pour mieux faire face, mieux comprendre le milieu environnant et agir en son sein (Magliaro & Shambaugh, 2006).

## 1.2 ... à son implication pédagogique

Selon la perspective constructiviste (Piaget, 1969 ; Brief, 1977 ; Al-Diban, 2008 ; Ifenthaler, 2008), l'apprentissage se définit comme un changement conceptuel, c'est-à-dire une transformation de modèles mentaux en d'autres modèles mentaux (Ifenthaler, 2008). S'ensuit une réorganisation, une adaptation ou encore une modification des schèmes existants afin de faire évoluer l'apprenant vers une représentation plus adaptée du monde (Astolfi & Develay, 1989 ; Verhaeghe, Wolfs, Simon, & Compère, 2004 ; Magliaro & Shambaugh, 2006). Ceci passe inévitablement par un état de déséquilibre qui se transforme en équilibration majorante (Montangero & Maurice-Naville, 1994) par transformation des schèmes. Ce changement rationnel se base sur quatre conditions : l'insatisfaction de la représentation, la reconnaissance de l'intelligibilité, la plausibilité et la fécondité d'une nouvelle interprétation (Megalakaki & Labrell, 2009). La réunion de ces quatre conditions conduit finalement à une accommodation (Piaget, 1969) de la nouvelle représentation (Treagust & Duit, 2008).

Une situation-problème ou un défi technique peut conduire à cet état de déséquilibre : pour résoudre le problème, l'élève se réfère à ses représentations. Dans le cas où ces dernières ne s'avèrent pas suffisamment pertinentes, l'élève est face à une situation qui, une fois résolue, peut entraîner un changement de représentations (Giordan et al., 1987 ; Astolfi & Develay, 1989 ; Verhaeghe, Wolfs, Simon, & Compère, 2004). Seulement, le conditionnel est de rigueur dans la mesure où la confrontation à une seule expérience ne constitue pas toujours une occasion suffisante pour engendrer un changement conceptuel (Duit & von Rhöneck, 1998). Ce processus dialectique de thèse/antithèse (Fourez, 2001), ou ce conflit cognitif (Larochelle & Désautels, 1992), est facilité lorsque les élèves peuvent effectivement échanger à propos de leurs représentations (Astolfi & Develay, 1989) : il s'agit de la composante sociale de l'approche socioconstructiviste.

A cette définition générale de la construction des représentations doit nécessairement s'ajouter une classification de celles-ci en fonction du domaine auquel elles sont associées, ici le domaine de l'énergie. C'est cet aspect qu'ambitionne de traiter le point suivant en présentant la typologie de Watts, établissant 7 conceptions de l'énergie.

## 1.3 Représentation de l'énergie

Watts (1983) définit sept conceptions de l'énergie : (1) *Human centred energy*, (2) a « *depository* » *model of energy*, (3) *energy is an ingredient*, (4) *energy is an "obvious" activity*, (5) *energy is a product*, (6) *energy is functional* et (7) *a flow-transfer model of energy*. Si cette catégorisation intéressante a le mérite d'exister et de permettre de classer les conceptions de l'énergie, on peut cependant regretter que les catégories présentées ne soient pas mutuellement exclusives.

La première conception rapporte le concept d'énergie à « l'activité humaine » et se matérialise par des expressions telles « qu'avoir de l'énergie ». La deuxième représentation classe les objets en trois catégories, selon la conception d'une causalité de l'énergie comme source de l'activité : (1) les objets ayant une énergie et pouvant être rechargés, (2) les objets ayant besoin d'énergie et (3) les objets neutres. La troisième représentation identifiée par Watts se

distingue de la précédente par le fait que l'énergie n'entretient pas un rapport de causalité aux objets mais est considérée comme un ingrédient. L'énergie est envisagée comme un mouvement dans la quatrième forme de représentations. Ensuite, la cinquième forme prend l'énergie comme le produit d'une situation (par exemple, l'énergie sera associée à la vapeur dégagée dans le cas de l'ébullition de l'eau). Le sixième type de représentations aborde l'énergie sous sa forme spécifiquement fonctionnelle : l'énergie aide au quotidien. Enfin, la septième et dernière forme de représentations identifiée envisage l'énergie comme un fluide pouvant se déplacer d'un point A à un point B.

Avant d'aborder l'intérêt d'étudier les représentations et de plus spécifiquement présenter la méthode utilisée à cette fin, on peut se poser la question de l'intérêt d'aborder ces notions d'énergie et de transformation de cette énergie. A ce sujet, et dans la perspective constructiviste adoptée dans le dispositif pédagogique, nous rejoignons Trumper (1993) qui citant Driver et Bell (1986) reprend le point de vue que l'apprentissage est progressif et ne se construit pas directement de manière complète. C'est bien dans ce sens que la notion de représentation est ici considérée, dans le sens de transformation progressive.

## **2. Pourquoi étudier les représentations des élèves ?**

Deux types de facteurs peuvent synthétiser l'intérêt d'analyser les représentations : des facteurs qui ont été définis comme inéluctables - les représentations sont inévitablement présentes - et des facteurs liés aux objectifs de toute séquence d'enseignement / apprentissage. Il y a donc un intérêt pédagogique non négligeable à étudier ces représentations (Verhaeghe, Wolfs, Simon & Compère, 2004).

### **2.1 Facteurs inéluctables**

Par définition, les représentations des élèves sont inévitablement présentes. En effet, tout individu se représente la réalité. Dès lors, chaque apprentissage prend appui sur cette image conceptuelle : la représentation de l'élève constitue le point d'ancrage à toute construction de savoir (Giordan et al., 1987). Le modèle « émetteur-récepteur » qui veut que l'enseignant détienne la connaissance et l'expose à l'élève qui l'intègre automatiquement<sup>4</sup> (par simple juxtaposition d'informations) ne peut être efficace car « *le sujet n'acquiert qu'une illusion de savoir, un savoir purement verbal, l'application stéréotypée d'une recette* » (Giordan et al., 1987, p. 91). Il est donc nécessaire de partir des représentations des élèves pour créer des conditions d'apprentissage davantage favorables et pertinentes, même si ces représentations peuvent être erronées et fortement persistantes (Jarrosson, 1992 ; Treagust & Duit, 2008).

Les représentations ont également une influence sur les conduites et les communications de chacun en tant qu'individu social : actions et représentations des élèves sont étroitement liées (Giordan et al., 1987). C'est pourquoi la composante sociale des représentations ne doit pas non plus être négligée car elle peut permettre de comprendre les réactions des élèves. Les représentations sociales sont un « *mode de connaissance particulier dont il faut tenir compte dans la relation pédagogique* » (Ibidem, p. 101) et elles se manifestent à travers certaines caractéristiques économiques, religieuses, politiques, psychologiques...

---

4 Rapp (2005) parle de « *passive recipient* » (p. 51).

## 2.2 Facteurs pédagogiques

Si l'enseignant n'a que très peu de prise par rapport aux caractéristiques propres aux élèves et s'il veut mettre en place des dispositifs d'enseignement efficaces, il doit considérer ce « déjà-là ». De nombreux auteurs (Johsua & Dupin, 1993 ; Carey, 2000 ; Mathy, 2006) envisagent les représentations des élèves dans une optique de diagnostic : on doit les étudier pour mettre en évidence les difficultés que pourrait rencontrer chaque élève ainsi que pour déterminer son cadre de référence. En d'autres termes, on réalise la « cartographie » des représentations (Astolfi & Develay, 1989). L'analyse des représentations ne doit donc pas être superficielle, elle doit pouvoir mettre en évidence « le modèle explicatif sous-jacent » (Carey, 2000 ; Verhaeghe, Wolfs, Simon, & Compère, 2004), déterminer les options didactiques ou pédagogiques qui amènent à une meilleure différenciation des besoins et des solutions et conduire à des remédiations plus efficaces. Dans ce cadre, l'erreur n'est pas proscrite (Carey, 2000) mais peut être le point de départ d'une mise à l'épreuve des représentations en vue de les réadapter si nécessaire.

S'il veut favoriser le changement conceptuel et s'accorder avec les représentations mentales des élèves, le dispositif pédagogique développé doit suggérer une approche inductive favorisant la découverte autonome, l'étude exploratoire et la participation active de l'élève à la tâche. Il doit également favoriser l'observation et le questionnement au travers de l'enquête et encourager les modèles conceptuels qui aident les élèves à apprendre une notion, une tâche ou une procédure (Magliaro & Shambaugh, 2006) de façon dynamique et interactive. De cette manière, les élèves seront confrontés à une situation réelle, et non purement théorique, qui peut conduire à une interrogation mettant en doute leurs représentations et pouvant conduire à une évolution de celles-ci.

## 3. L'échantillon

Le dispositif pédagogique mis sur pied a été proposé à des élèves issus des deux premières années de l'enseignement secondaire (grades 7 et 8<sup>5</sup>). Ces élèves (n = 119) proviennent des trois réseaux d'enseignement secondaire organisé en Fédération Wallonie-Bruxelles et plus spécifiquement de classes d'élèves du premier degré commun (élèves ayant obtenu le certificat primaire) et/ou du premier degré différencié (élèves n'ayant pas encore obtenu le certificat de l'enseignement primaire).

## 4. Méthode d'analyse des représentations des élèves

L'étude des représentations nécessite de prendre en compte certaines difficultés méthodologiques et conceptuelles en raison des caractéristiques propres qu'elles possèdent (Rapp, 2005). Les représentations ne sont pas directement observables, il est donc nécessaire de les aborder de façon « détournée », par le biais d'informations qui ne sont pas les représentations elles-mêmes mais qui informent sur leur nature. De plus, ces représentations sont dynamiques et changent dans le temps. De ce fait, on ne peut approcher les représentations qu'à un moment, à une étape du développement représentationnel de la notion. Selon que l'orientation soit théorique ou appliquée (Giordan & de Vecchi, 1990) différentes méthodes peuvent être proposées. L'orientation théorique vise à décrire les représentations des apprenants et à se pencher sur l'évolution de celles-ci (selon les âges, les époques, les cohortes...). L'orientation de type appliqué est davantage ancrée sur la pratique

---

<sup>5</sup> Les deux premières années du secondaire inférieur accueillent les élèves entre 12 et 14 ans. Néanmoins, pour le degré différencié, ceux-ci peuvent être plus âgés.

et envisage les représentations dans une optique didactique. Dans cet article, l'orientation théorique est privilégiée par la mise en évidence d'une typologie des représentations de l'énergie ; l'orientation appliquée est abordée dans la conclusion par l'aspect évaluatif de l'étude de ces représentations et son impact sur le dispositif.

Deux modèles issus de la littérature scientifique ont constitué la base de la méthode utilisée. Le premier modèle (Giordan & de Vecchi, 1990) envisage les représentations des élèves selon l'algorithme : Conception = f (P.C.O.R.S) où P est le problème, C le cadre de référence, O les opérations mentales, R le réseau sémantique et S les signifiants. Le second modèle de référence – proposé par Astolfi (Astolfi & Develay, 1989 ; Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, & Toussaint, 1997) – se décompose en trois problématiques. La problématique « cartographie », dans le sens d'outil de « guidage », renseigne sur les stratégies cognitives et envisage la représentation comme une réponse à un expérimentateur et permet de cerner le cadre conceptuel de l'observé. Les représentations ont différentes origines « disciplinaires » puisqu'elles peuvent être analysées sous des orientations psycho-génétique, historique, sociologique... Enfin, le contexte sociocognitif est entendu comme une recherche des conditions de production des représentations. Ces trois problématiques s'opérationnalisent selon cinq caractéristiques que nous pouvons synthétiser selon : (1) hypothèse sur la base d'une production, (2) contexte et conditions, (3) origine possible, (4) champ conceptuel et (5) niveau de « scientificité ».

Afin de conserver une approche pragmatique et faciliter l'analyse des schématisations par des praticiens, dans la méthode mise en place, quatre indicateurs ont été retenus : (1) les références (de quel modèle l'élève s'inspire-t-il ?), (2) la viabilité (la représentation peut-elle être concrétisée et fonctionner dans la réalité ? Quel est le degré de « scientificité » de la représentation ?), (3) les signifiants (quels éléments sont représentés ?) et (4) les opérations mentales (en lien avec le « réalisme intellectuel » défini par Deldime et Vermeulen, 1980). Ce réalisme intellectuel se caractérise notamment par la transparence de l'objet permettant de faire apparaître ses éléments constitutifs, une diversité de points de vue, l'usage de légende... dont le but est de montrer sur le dessin l'ensemble des éléments connus, et pas uniquement les seuls éléments visibles.

## 5. Résultats

Si trois indicateurs (viabilité, signifiants, et opération mentale) permettent une analyse directe du dessin et également de déterminer si celui-ci donne lieu à une représentation viable (les éléments constituant le dessin pouvant être listés...), il n'en est pas de même avec la prise en compte des références. En effet, il a été choisi de classer les réalisations selon une démarche inductive, le critère « références » ne s'appuyant pas sur une typologie existante. De ce fait, les dessins n'ont pas été catégorisés à partir d'une classification préexistante mais en fonction de certaines similitudes explicitées ci-après. Toutefois, il était attendu qu'en fin de séquence d'apprentissage, chaque apprenant soit capable de fournir un schéma présentant l'ensemble des signifiants (hélices, axe de rotor, générateur électrique, fils de raccordement et ampoule) selon une représentation viable. Aussi, les schémas devaient-ils permettre de comprendre le fonctionnement de l'éolienne en distinguant les manifestations des différentes énergies et les éléments visuels le permettant : le vent faisant tourner les hélices met en évidence l'énergie mécanique, l'ampoule allumée permet d'identifier l'énergie rayonnante...



## 5.1 Références

Les dessins réalisés par les élèves dans le cadre du dispositif proposé ont été subdivisés en deux groupes distincts : les dessins figuratifs et les dessins explicatifs. On retrouve ici une répartition proche de celle proposée par Orange & Orange Ravachol (2013, p. 55), à savoir, « *les éléments du registre empirique (ce dont ils tentent de rendre compte) et (...) registre explicatif (à partir duquel ils développent une explication)* ».

La différence entre ces deux groupes porte sur la tentative d'explication du fonctionnement de l'éolienne : tandis que les dessins figuratifs font simplement apparaître des éléments liés à l'éolienne, les dessins explicatifs sont plus complets et montrent comment fonctionne une éolienne selon le sujet. Elles recouvrent un intérêt supérieur dans la mesure où elles visent à expliquer, par le recours à un fonctionnement interne, certains éléments d'une phénoménologie (Orange & Orange Ravachol, 2004).

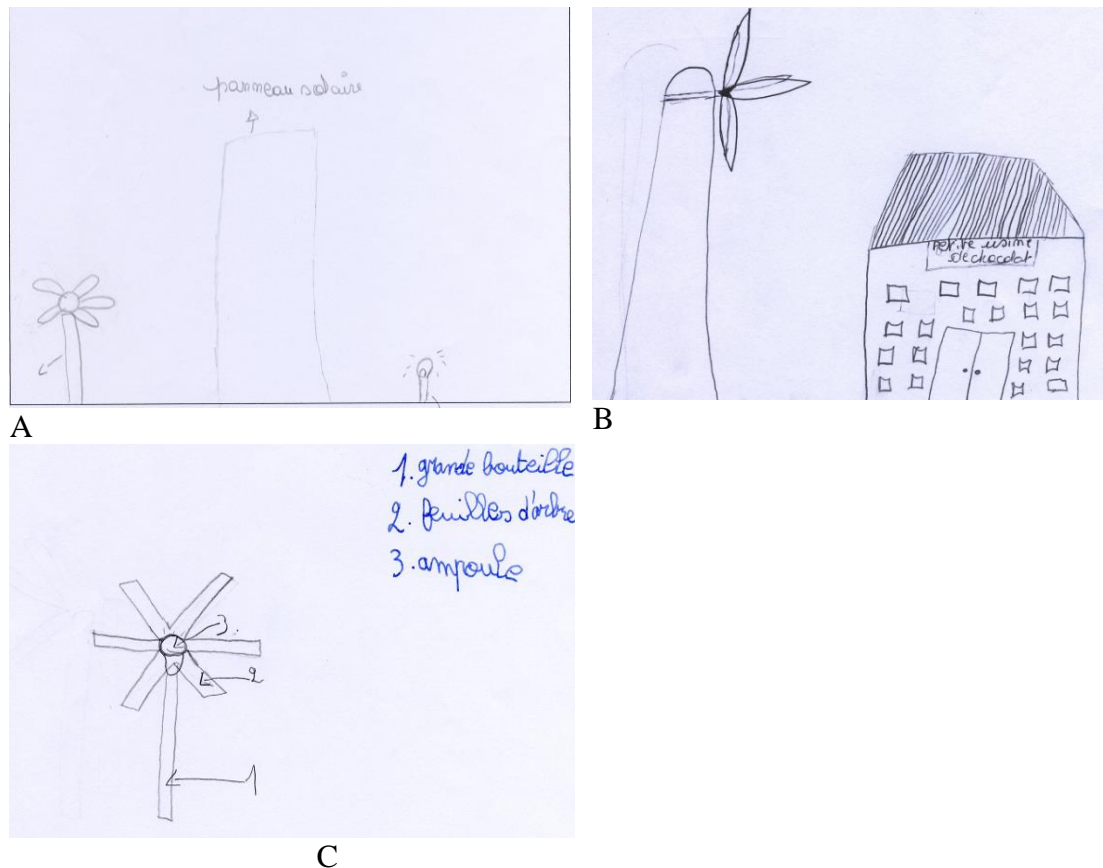
Au sein de ces deux groupes, les dessins sont catégorisés en fonction de la référence théorique sur laquelle ils se basent. Chacune de ces catégories est illustrée par des exemples repris des dessins réalisés par les élèves. Ces catégories sont exhaustives (tous les dessins peuvent être rangés dans au moins une de ces catégories) sans pour autant être exclusives : certains dessins se réfèrent à plusieurs catégories.

### 5.1.1 Dessins figuratifs

Dans les dessins figuratifs « magiques » (figure 1A), le sujet dessine l'éolienne et l'ampoule sans présenter de connexions apparentes qui relieraient les deux éléments. On n'y décèle aucune tentative d'explication du fonctionnement. La seule présence de l'éolienne à proximité de l'ampoule permet à celle-ci de fonctionner. Dans l'exemple proposé, bien qu'un élément extérieur apparaisse (le panneau solaire), le sujet ne propose pas d'explication de fonctionnement. On ne peut comprendre le fonctionnement de l'ampoule par l'éolienne, l'ampoule s'allumant « comme par magie ».

Dans un dessin figuratif de type « unique » (figure 1B), le sujet ne représente uniquement que l'éolienne. La présence de l'ampoule n'apparaît pas clairement et le sujet présente certains détails (usine de chocolat dans l'exemple). On ne discerne pas explicitement de lien entre les éléments et l'éolienne ne présente aucune fonctionnalité manifeste.

L'éolienne et l'ampoule, dans les dessins figuratifs de type « lampe » (figure 1C), ne forment qu'un seul élément : l'ampoule est attachée à l'éolienne (très souvent placée sur l'axe de rotor). Le sujet n'envisage pas la possibilité d'une connexion autre que par « connexion directe ».



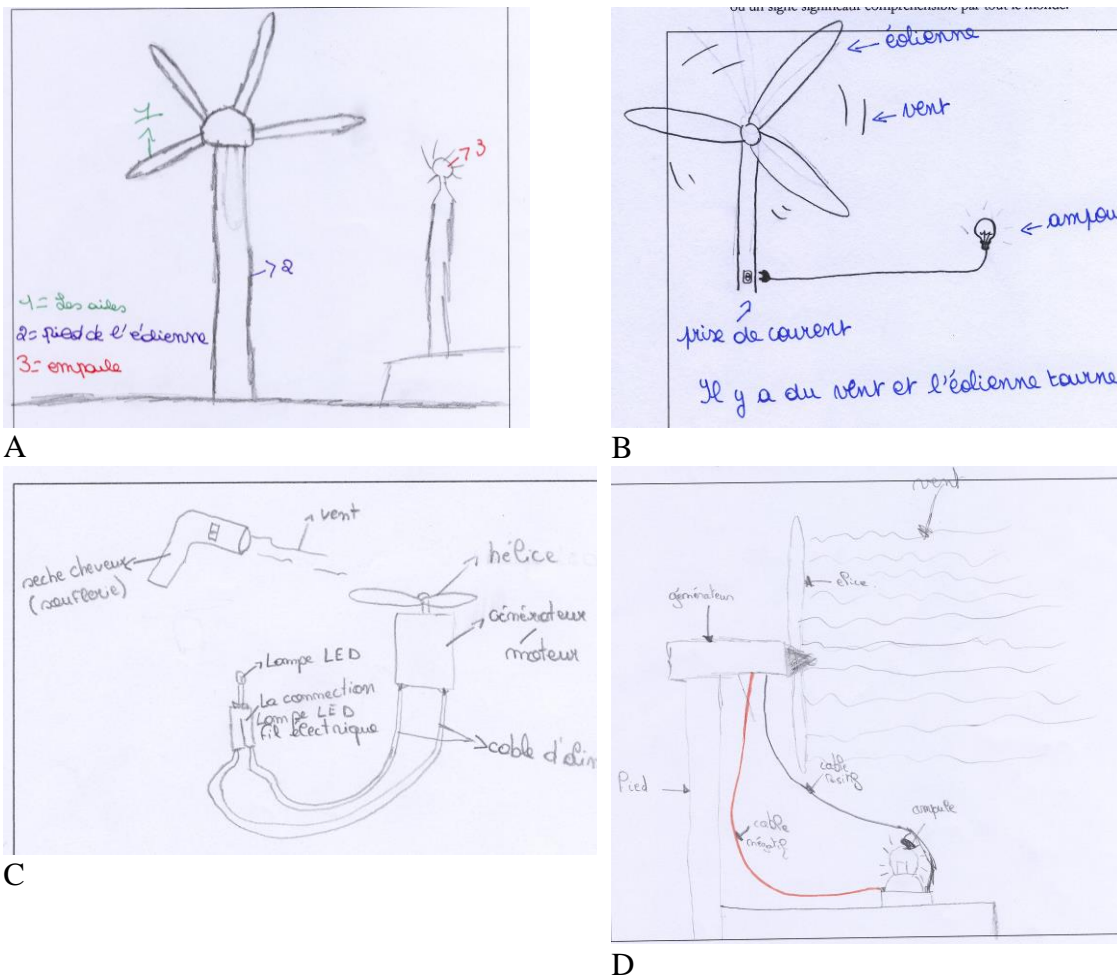
**Figure 1 :** Illustrations des dessins de (A) « magique », (B) « unique » et (C) « lampe »

En termes d'évaluation, ces schémas peuvent indiquer que la représentation de l'apprenant n'en est qu'aux prémices. Il est capable de représenter l'objet – l'éolienne – ainsi que la manifestation d'énergies diverses symbolisées par les objets complémentaires (l'usine, l'ampoule, le panneau solaire...) : mécanique, électrique, rayonnante, thermique... Il semble mettre en relation ces différentes énergies mais ne fournit aucune explication quant à leurs transformations. Il a donc conscience de relations entre ces éléments mais ces schémas ne permettent pas de dire qu'il peut distinguer les différentes énergies, et encore moins leur transformation. Il serait pertinent face à un apprenant possédant de telles représentations de travailler préalablement les différentes énergies avant d'aborder leur transformation. Pour reprendre la typologie de Watts (1983), les schémas ne permettent pas d'identifier le type de représentation, celle-ci n'étant pas suffisamment construite ou la méthode ne permettant pas d'avoir une information suffisante.

### 5.1.2 Dessins explicatifs

Sur les dessins de type « axial » (figure 2A), l'axe de rotor et l'ampoule sont sur un même niveau, le sujet dessinant une butte ou tout autre élément pour assurer cette horizontalité. Bien que la connexion ne soit pas représentée graphiquement, la position de l'axe de rotor et de l'ampoule, sur une même horizontalité, semblerait fournir, en référence à l'analogie hydraulique probablement, une explication du fonctionnement de l'éolienne : la transformation d'énergie semble possible car ces deux éléments sont, dans tous les dessins de ce type, situés à la même hauteur. La connexion n'est pas expliquée mais le fonctionnement est garanti par un niveau. Il ne s'agit pas d'une représentation purement figurative car la position des éléments a son importance. Dans les dessins explicatifs de type

« prise de courant » (figure 2B), l'ampoule est reliée à l'éolienne par un câble ou une prise. L'éolienne crée un courant permettant ainsi d'y connecter directement l'ampoule par une prise. Le seul mouvement de l'hélice produit ce courant. Le dessin explicatif de type « expérimental » (figure 2C) correspond à une représentation expérimentale en ce sens que le sujet propose un dessin en lien avec la situation de projet technique proposée. Il ne s'agit plus de représenter l'éolienne telle qu'elle apparaît dans le réel ou telle qu'on se la représente mais de la dessiner telle qu'elle a été/va être construite en classe. La représentation initiale s'est transformée en une représentation ancrée dans le vécu de classe sans distanciation conceptuelle. Le dessin explicatif « proche du modèle attendu » (figure 2D) est la représentation, comme son nom l'indique, la plus proche du modèle attendu. Le sujet a dessiné l'éolienne en y plaçant tous les éléments attendus (hélices, axe de rotor, générateur, mât, connexions et ampoule) et en les positionnant judicieusement : le sujet possède une représentation de l'objet proche ou égal du concept scientifique d'éolienne. Bien qu'il ne représente pas l'intérieur du générateur, on peut voir que les fils électriques y sont raccordés et qu'ils forment un circuit fermé avec l'ampoule. Le dessin se rapproche fortement de la production attendue, indiquant que la représentation de l'élève intègre des références théoriques mûres.



**Figure 2 :** Illustrations des dessins de (A) « axial », (B) « prise de courant » et (C) « expérimental » et (D) « proche du modèle attendu »

Dans le cas des représentations du type A et B, elles indiquent, comme pour les schémas figuratifs, que l'apprenant est capable de représenter plusieurs formes d'énergie en proposant des objets complémentaires. Ces représentations ont été classées dans les schémas explicatifs car ; outre la présence d'éléments figuratifs, l'apprenant tente, dans ces cas-ci, de fournir une explication au fonctionnement de l'éolienne et aux transformations d'énergie. En termes d'éléments d'évaluation, on peut en arriver aux mêmes conclusions que pour les schémas figuratifs, à savoir qu'il n'est pas possible d'affirmer que l'apprenant a une connaissance des différentes énergies.

Cependant, ces schémas, plus complexes, permettent davantage la mise en parallèle avec la typologie des représentations de l'énergie de Watts. On constate, en effet, que les représentations identifiables par ces différents schémas se rapprochent de la conception fonctionnelle de l'énergie (conception 6 du modèle de Watts) et de l'énergie considérée comme un fluide (conception 7 du modèle de Watts). Bien que ceci puisse être dû à la consigne même – qui induit d'aborder l'énergie par la schématisation d'une éolienne, donc un aspect fonctionnel –, on peut voir qu'il est nécessaire de conduire l'apprenant à appréhender l'énergie davantage comme la capacité d'un objet à produire un mouvement, une lumière, un mouvement...

Les représentations mises en évidence par les schémas C et D montrent que la représentation de l'apprenant est déjà bien construite mais non aboutie puisque le générateur demeure une boîte noire. Au niveau de l'évaluation, elle permet de confirmer que les transformations d'énergie sont bien séquencées et que leurs manifestations sont bien identifiées. La notion de circuit dans le cas du circuit électrique semble également acquise. Toutefois, les deux représentations se distinguent par le fait que, dans le cas du schéma D, l'apprenant a adapté sa représentation pour fournir un schéma réaliste (c'est-à-dire appliquant le fruit de son apprentissage à une éolienne) tandis que, dans le cas du schéma C, l'apprenant a reproduit ce qu'il a vécu lors de l'expérimentation. Dès lors, cette représentation est-elle aboutie et bien ancrée ou n'est-elle qu'une copie fidèle de ce que l'apprenant a vu ? Le schéma ne permet pas d'y répondre et nécessite une investigation complémentaire.

Le tableau 1 présente la fréquence d'apparition de chacun de ces types de dessin lors du prétest (avant le dispositif) et lors du posttest (après le dispositif). La représentation majoritairement partagée lors du prétest est celle nommée « prise de courant » (figure 2B). Plus de la moitié des sujets se représente l'éolienne comme un générateur de courant qui, par connexions électriques, permet d'alimenter une ampoule. Il s'agit d'une représentation déjà bien avancée mais qui demeure incomplète car elle n'envisage pas les changements d'énergie : l'éolienne est une boîte noire à partir de laquelle « on puise » de l'électricité.

Par contre, dans le cas du posttest, la représentation amplement partagée est du type « expérimental » : le sujet se raccroche à son vécu de classe. Le sujet comprend et conçoit le fonctionnement de l'éolienne mais n'emprunte pas encore une représentation appliquant au contexte réel (l'éolienne) et scientifique (la transformation d'énergie) les éléments abordés dans le cadre scolaire (projet technique de construction d'une éolienne miniature).

**Tableau 1 :** fréquences des différentes catégories de dessins

<i>Catégories de dessins</i>	<i>Prétest</i>	<i>Posttest</i>
<i>Magique</i>	13 (10,93%)	2 (1,68%)
<i>Unique</i>	11 (9,24%)	0
<i>Lampe</i>	6 (5,04%)	0
<i>Axial</i>	4 (3,36%)	0
<i>Prise de courant</i>	65 (54,62%)	4 (3,36%)
<i>Expérimental</i>	1 (0,84%)	100 (84,03%)
<i>Proche du modèle attendu</i>	3 (2,52%)	7 (5,88%)
<i>Autres<sup>6</sup></i>	2 (1,68%)	0
<i>Non réalisée</i>	14 (11,76%)	6 (5,04%)

## 5.2 Viabilité

Dans le tableau 2, les fréquences de viabilité des représentations sont données pour le prétest et le posttest. Une représentation viable est une représentation qui peut être vérifiée, cohérente c'est-à-dire permettant au sujet, dans le cas concret des expérimentations, de construire et de faire fonctionner une éolienne.

Au regard des fréquences, il y a une nette différence entre le prétest et le posttest : on passe de 3,36% à 81,51% de sujets ayant une représentation viable. Ces résultats sont assez logiques puisqu'il y a eu, entre les deux évaluations, un dispositif d'enseignement et un effet de maturation.

**Tableau 2 :** fréquence des représentations viables, non viables et non réalisées

<i>Prétest</i>			<i>Posttest</i>		
<i>Viables</i>	<i>Non viables</i>	<i>Non réalisées</i>	<i>Viables</i>	<i>Non viables</i>	<i>Non réalisées</i>
4 (3,36%)	104 (87,40%)	11 (9,24%)	97 (81,51%)	16 (13,54%)	6 (5,04%)

Si la transformation d'une représentation non viable à une représentation viable est logiquement positive, deux limites à l'évaluation peuvent être indiquées. Tout d'abord, le fait que la représentation soit viable indique que celle-ci est déjà bien élaborée et qu'elle est plus fortement ancrée. Dans la logique constructiviste des principes d'accommodation - assimilation, cela indique que cette représentation sera plus difficilement modifiable, l'apprenant pouvant expliquer la réalité à partir de sa représentation. Ensuite, cette viabilité

<sup>6</sup> Cette catégorie reprend les dessins présentant plusieurs représentations mélangées comme par exemple magique et axial.

ne doit pas exclure l'importance des notions sous-jacentes, c'est-à-dire les notions théoriques abordées. Une représentation viable n'indique pas systématiquement que les notions de transformation d'énergie soient bien acquises. Ainsi, une représentation viable indique que celle-ci est déjà à un stade de maturité relativement avancé mais il faut veiller à évaluer également les notions proprement dites.

### 5.3 Signifiants

Cette caractéristique des représentations se définit par les éléments graphiques mis en évidence par les sujets (tableau 3). Les fréquences d'apparition de ces éléments renseignent sur l'importance accordée par les élèves à ces mêmes éléments. Certains font quasi l'unanimité, d'autres, par contre, sont beaucoup moins présents. Initialement pour la plupart des sujets, une éolienne est composée d'une hélice, d'un axe de rotor et d'une ampoule. Les signifiants semblent donc fortement choisis en fonction de ce qui est le plus communément connu : l'hélice tournant autour de l'axe et l'ampoule alimentée ; *a contrario*, le générateur a un fonctionnement moins connu.

Au niveau du posttest, les observations montrent que l'ensemble des éléments attendus sont représentés pour environ 90% des élèves.

**Tableau 3 :** fréquence des éléments graphiques rencontrés

Eléments	Fréquences N (%)	
	Prétest	Posttest
Hélice	108 (90,76%)	114 (95,8%)
Axe de rotor	84 (70,59%)	108 (90,76%)
Générateur électrique	17 (14,29%)	110 (92,44%)
Fils de raccordement	Un 46 (38,66%)	7 (5,88%)
	Deux 29 (24,37%)	105 (88,23%)
Ampoule	96 (80,67%)	113 (94,96%)

Observer les signifiants indiqués par l'apprenant permet d'évaluer le niveau de développement de la représentation. Selon les signifiants, on pourra évaluer les énergies identifiées et leur degré d'objectivation : l'énergie électrique se manifeste par un générateur et des fils de raccordement ou encore l'énergie mécanique par l'action du vent sur les hélices.

## 5.4 Opérations mentales

Peu d'élèves semblent avoir atteint le stade du réalisme intellectuel (tableau 4). Il est nécessaire de recontextualiser ces observations. Il est possible que, pour beaucoup de sujets, il n'était pas primordial de représenter les mécanismes internes de l'éolienne. Pour répondre à la consigne imposée (« réalise ci-dessous le schéma du fonctionnement d'une éolienne »), le sujet a pu se contenter d'un dessin « extérieur » de l'objet, c'est-à-dire, tel qu'il « le voit » comme élément du paysage, sans se préoccuper des dimensions liées à l'énergie. En termes didactiques, ce constat questionne bien entendu la pertinence des consignes qui auraient dû davantage amener l'élève, par le biais de sa schématisation, à faire état de la manière dont il se représente les transformations d'énergie à l'œuvre en lien avec cette structure.

**Tableau 4 :** fréquence des élèves ayant atteint le stade du réalisme intellectuel

	<i>Prétest</i>	<i>Posttest</i>
Réalisme intellectuel	14 (11,76%)	9 (7,56%)

Comme évoqué précédemment, l'évaluation de la représentation est dépendante des consignes données et de la lecture qu'en fait le sujet. Cependant, l'observation de ces opérations mentales montre toute la difficulté de procéder par schématisation dans le cadre de la mise en évidence des représentations. La méthode pour faire émerger les représentations est-elle adaptée à l'âge des apprenants ? De même, cette méthode permet-elle d'appréhender la représentation profonde de l'apprenant ? En effet, procédant par schématisation d'éléments techniques, met-on par ce biais les représentations en évidence ou plutôt une représentation que l'apprenant se fait de l'objet technique, en l'occurrence l'éolienne ? Et dans ce cas, évalue-t-on sa représentation des notions abordées ou son stade de développement par rapport à ces opérations mentales ?

## 6. Conclusion

L'importance de considérer les représentations mentales dans tout dispositif d'enseignement / apprentissage est indéniable puisque tout individu se fait une image mentale des notions qu'il rencontre et utilise celle-ci pour expliquer le monde qui l'entoure.

En Fédération Wallonie-Bruxelles, les résultats à différentes enquêtes internationales ont montré que les élèves possédaient une moyenne inférieure à celle des pays de l'OCDE. En réaction, le Gouvernement en charge de l'éducation a souhaité promouvoir les sciences par le biais de recherches subventionnées. Cette recherche a permis aux chercheurs de s'interroger sur les représentations mentales des élèves et de mettre au point une méthode opérationnelle originale d'analyse des représentations.

La critique de la méthode employée et des résultats obtenus permet de constater que, par le simple recours à un schéma, l'enseignant peut obtenir certains renseignements pertinents sur la façon dont les élèves conçoivent la notion à aborder et cela de manière simple et rapide. Ainsi, la complémentarité des informations recueillies par les types de dessins, la viabilité de la représentation, les signifiants indiqués et l'acquisition ou non d'opérations mentales fournissent à la fois des indications sur le niveau de connaissance des notions abordées (formes d'énergie, manifestation de ces énergies, transformation des énergies...) et sur un certain degré de maturité de la représentation (détails fournis sur les schémas, viabilité...). En termes d'évaluation, ces informations permettent à l'enseignant de mieux appréhender le

niveau de connaissances des apprenants. Il peut ainsi mettre en place des remédiations mieux ciblées en fonction du niveau réel des apprenants, comme, par exemple, la présence d'un seul fil électrique indiquant que la représentation du circuit électrique est peu élaborée. Toutefois, le recours à un schéma de type « technique » induit certaines représentations plutôt que d'autres si l'on se réfère à la typologie de Watts. En effet, les apprenants manifestent davantage une représentation fonctionnelle de l'énergie par la schématisation d'une éolienne. Il conviendrait de multiplier les sources d'informations pour faire davantage émerger les représentations (entretiens, mots-clés...) sachant que cela alourdirait l'évaluation. Ensuite les opérations mentales laissent penser que les élèves n'ont pas envisagé un dessin leur permettant réellement d'avoir un plan de montage, ce qui peut amener l'enseignant à remanier la progression de sa séquence d'apprentissage en prévoyant, par exemple, une étape portant sur la compétence de dessin, voire, dans le cadre de ce projet technique, de schématisation. Il est également nécessaire de ne pas négliger l'un des leurrex générés par le travail de groupe : le contexte de groupe est un lieu de négociation où l'enfant peut accepter la proposition d'un autre sans fondamentalement modifier « sa position » (diSessa, 1990) ... laquelle se (ré)exprime dans le dessin de posttest.

Les résultats indiquent également que la représentation de la majorité des élèves en matière d'énergie [éolienne] passe d'une représentation fonctionnelle à une représentation expérimentale ancrée dans le quotidien scolaire de l'élève. Cet ancrage des « nouvelles » représentations évoluant principalement vers un modèle viable mais ancré dans la réalité scolaire des élèves renvoie aux constats de Potvin et Thouin selon lesquels certaines « recherches (Hammer, 1996) ont aussi relevé des cas où ces nouvelles représentations étaient bien souvent, en fait, le résultat hybride d'une sorte de fusion entre les représentations initiales et les notions enseignées » (2003, p.537).

D'un point de vue didactique, ces résultats montrent qu'il est important de proposer une synthèse afin de conduire l'élève à abstraire progressivement sa représentation, de la réalité scolaire vers le réel environnant. Par ailleurs, si la manifestation du réalisme intellectuel diminue, il est opportun de préciser la consigne afin d'y intégrer les mécanismes de fonctionnement des éléments constituant l'éolienne. En complément, il faudrait veiller à développer les activités ou remédiations portant sur le générateur, élément qui demeure une boîte noire pour les sujets. Il est alors essentiel de prévoir une activité de formalisation des notions abordées afin de transférer la démarche expérimentale en une représentation plus conceptuelle et plus viable.

Au-delà des résultats, se pose également la question du dispositif de recherche en lui-même et de ses objectifs : mettre à jour les représentations des élèves. A ce sujet Orange et Orange Ravachol (2013, p.51) soulignent « *la confusion entre production (orale, écrite, gestuelle, etc.) d'un élève et ses représentations* ». Selon ces auteurs, cette confusion élimine deux aspects pourtant cruciaux de la problématique : « *l'interprétation de la production par le chercheur ou l'enseignant (et donc celle du cadre d'interprétation qui n'a alors pas à être explicité) et la question des conditions de réalisation des productions* » (Orange et Orange Ravachol, 2013, p.51). Potvin et Thouin (2003) comparent cette méthode à celle d'un journaliste utilisant un appareil photo : la question de l'interviewer est traduite par le dispositif permettant de faire émerger les représentations et la saisie de la réponse est effectuée par la capture d'image de surface de la représentation.

Cette prise de recul renvoie à questionner l'incidence de la situation d'émergence des représentations sur les représentations elles-mêmes. L'absence de considération de cet élément négligerait « *à la fois le travail du problème qu'on soumet aux élèves et l'importance de la réalisation de la production demandée (texte, dessin, schéma ou autres) dans l'élaboration de leur pensée* »



(Orange & Orange Ravachol, 2013, p.53). Aux avant-postes de cet impact du contexte sur la représentation, se trouve la concrétisation des attentes de l'enseignant, à savoir la consigne. Un exemple de ce lien est fourni par Orange et Orange Ravachol (2013) en ce qui concerne le volcan : le recours à une consigne du type « dessine un volcan » ou « explique comment fonctionne un volcan » impacte les productions des élèves. Reste également à mentionner que cette recherche, visant à appréhender les représentations d'un grand nombre d'élèves, a opté pour l'étude d'un dessin, sans tenir compte des verbalisations de l'élève au sujet de sa production. Si cette démarche n'a pas d'impact en ce qui concerne les signifiants et la viabilité, en ce qui concerne le traitement des références, c'est le chercheur qui (im)pose sa lecture de la représentation. Cette partie du travail de recherche peut donc davantage être considérée comme une représentation du chercheur vis-à-vis de la représentation des apprenants.

## 7. Bibliographie

- Al-Diban, S. (2008). Progress in the Diagnostics of Mental Models. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer & J.M. Spector (Ed.), *Understandings models for Learning Instructions* (pp. 81-101). New-York: Springer.
- Astolfi, J.-P. & Develay, M. (1989). *La didactique des sciences*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Astolfi, J.-P., Darot, E., Ginsburger-Vogel, Y. & Toussaint J. (1997). *Pratiques de formation en didactique des sciences*. Bruxelles : De Boeck Université.
- Bachelard, G. (1999). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- Bonardi, C. & Roussiau, N. (2001). *Les représentations sociales : état des lieux et perspectives*. Sprimont : Mardaga.
- Brief, J.-C. (1977). Le constructivisme piagétien et les épistémologies traditionnelles. *Philosophiques*, 4(2), 195-224.
- Carey, S. (2000). Science Education as Conceptual Change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 13-19.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In R.N. Giere, *Cognitive Models of sciences* (pp. 129-186). Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Cosgrove, M. (1995). A study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity. *International Journal of Science Education*, 17(3), 295-310.
- Dehon, A., Demierbe, C., Derobertmeasure, A. & Malaise, S. (2009). *La remédiation immédiate : fascicule pour l'enseignant*. Université de Mons : Institut d'Administration Scolaire.
- Dehon, A., Demeuse, M., Demierbe, C., Derobertmeasure, A., Malaise, S. & Vallee, A. (2010). L'utilisation des manuels scolaires au service de l'enseignement par compétences : approche intégrée d'un outil pédagogique en éveil-initiation scientifique. *Education et formation*, e-292, 69-81.
- Deldime, R. & Vermeulen, S. (1980). *Le développement psychologique de l'enfant*. Bruxelles : De Boeck.
- Demeuse, M., Gillis, P., Dehon, A., Derobertmeasure, A., Fauconnier, A., Lo Bue, F. & Mélin, S. (2008). *Développement d'outils de diagnostic et de remédiation immédiate au travers d'activités scientifiques au premier degré de l'enseignement secondaire (Rapport final 1e année)*. Université de Mons Hainaut, Institut d'Administration scolaire, service de Méthodologie et Formation, Service de Physique expérimentale et biologique, Carré des Sciences. Non publié.
- Derobertmeasure, A., & Dehon, A. (2012). *Développement de la réflexivité et décodage de l'action : questions de méthode*. *Phronesis*, 1(2), 24-44.
- diSessa, A.A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and instruction*, 10(2), 105-225.
- Duit, R. & Von Rhöneck, C. (1998). Learning and understanding key concepts of electricity. In A. Tiberghien, E.J. Jossem & J. Barajos (eds.) *Connecting research in physics education with teacher education* (pp. 50-55). Ohio: International Commission on Physics Education.
- Fourrez, G. (2001). *La construction des sciences*. Bruxelles : de Boeck Université.

- Giordan, A., Martinand, J.-L., Astolfi, J.-P., Rumelhard, G., Coulibaly, A., Develay, M., Toussaint, J. & Host, V. (1987). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang.
- Giordan, A. & De Vecchi, G. (1990). *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Lausanne : Delachaux et Niestlé.
- Ifenthaler, D (2008). Practical Solutions for the Diagnosis of Progressing Mental Models. In D. Ifenthaler, P. Pirnay-Dummer & J.M. Spector (Ed.), *Understanding models for Learning Instructions* (pp. 43-61). New-York: Springer.
- Jarrosson, B. (1992). *Invitation à la philosophie des sciences*. Paris : Seuil.
- Jodelet, D. (dir.). (1989). *Les représentations sociales*. Paris : PUF.
- Johsua, S. & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Larochelle, M. & Desautels, J. (1992). *Autour de l'idée de science*. Bruxelles : de Boeck Université.
- Magliaro, S.G. & Shambaugh, N. (2006). Student Models of Instructional Design. *Educational Technology Research and Development*, 54 (1), 83-106.
- Mathy, P. (2006). *Donner du sens aux cours de sciences*. Bruxelles : De Boeck.
- Megalakaki, O. & Labrell, F. (2009). Introduction. Les conceptions naïves : connaissances organisées, bases des changements conceptuels. *Psychologie française*, 54(1), 1-9.
- Montangero J. & Maurice-Naville, D. (1994). *Piaget ou l'intelligence en marche*. Liège : Mardaga.
- Orange C. & Orange D. (2004). Les conceptions des élèves en sciences de la Terre et leurs modes de raisonnement. *Géochronique*, 90, 29-32.
- Orange, C. & Orange, D. (2013). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en Education*, 17, 46-61.
- Orange Ravachol, D & Beorchia, F. (2011). Principes structurants et construction de savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Éducation et didactique*, 5(1), 7-28.
- Piaget, J. (1969). *Psychologie et pédagogie*. Paris : Denoël / Gonthier.
- Potvin, P. & THOUIN, M. (2003). Étude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 29(3), 525-544.
- Rapp, D.N. (2005). Mental Models: Theoretical Issues for Visualizations in Science Education. In John. K.G. (Ed.), *Visualizations in Science Education* (pp. 43-60). Dordrecht: Springer.
- Treagust, D.F. & Duit, R. (2008). Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 297-328.
- Trumper, R. (1993). Children's energy concepts: A cross-age study. *International Journal of Science Education*, 15(2), 139-148.
- Verhaeghe, J.-C., Wolfs, J.-L., Simon, X. & Compère, D. (2004). *Pratiquer l'épistémologie. Un manuel d'initiation pour les maîtres et formateurs*. Bruxelles : De Boeck.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change. Issue in Theory and Practice* (pp. 61-76). Dordrecht: Kluwer.
- Watts, M. (1983). Some alternative views of energy. *Phys. Educ*, 18, 213-217.