

Aperçu historique du concept de matière et les représentations des enseignants québécois du collégial

Abdeljalil Métioui¹ et Louis Trudel²

¹Université du Québec à Montréal, Canada. ²Université d'Ottawa, Canada. E-mails : metioui.abdeljalil@uqam.ca; ltrudel@uottawa.ca

Résumé: Dans cet article, nous utilisons une méthode de recherche de type qualitatif pour reconstituer et analyser les représentations des enseignants de physique du collégial à l'égard du concept de matière et nous procédons à cette analyse à partir d'entrevues cliniques. Cette étude démontre que les enseignants construisent des représentations erronées dues au fait qu'elles reposent le plus souvent sur une épistémologie naïve.

Mots-clés: représentation, matière, enseignants, collègue, rupture épistémologique.

Title: Historical overview of the concept of matter and Quebec college teachers' representations

Abstract: In this article, we use a qualitative research method to reconstruct and analyze the representations of college physics teachers on the concept of matter. We do this based on clinical interviews. This study shows that college teachers construct false representations since they often rely on naive epistemology.

Keywords: representation, matter, teachers, high school, epistemological rupture.

Introduction

Les résultats de nombreuses recherches sur les représentations auprès d'étudiants en physique et en technologie démontrent qu'ils ne réussissent pas à résoudre des problèmes non canoniques. Ces recherches démontrent aussi que plusieurs recourent à des représentations naïves lorsqu'on leur demande de résoudre des problèmes que l'on ne peut solutionner de façon machinale. Par exemple, dans le cas de résolutions de problèmes sur le mouvement, de nombreux étudiants ayant suivi des cours sur les lois du mouvement développées dans le cadre de la physique newtonienne recourent à leurs représentations initiales (construites avant enseignement) qui sont erronées : la force est proportionnelle à la vitesse, le mouvement nécessite une application continue d'une force (Galili et Bar, 1992; Kikas, 2003; Viennot, 1978). Notons qu'il en est de même dans le cas des circuits électriques, plus précisément sur les notions de courant et de tension : l'intensité du courant électrique n'est pas la même dans toutes les portions d'un circuit en série, la pile est une source de courant constant, dans une pile, la borne positive représente l'alimentation et la borne négative est le « ground » commun; les tensions électriques circulent à travers les résistances et elles se dégradent en cours de route (Benseghir et Closset, 1996; Métioui et Levasseur, 2011; Métioui et Trudel, 2014, 2015; Shipstone, 1984). Aussi, le recours au modèle

particulaire de la matière pour expliquer différents phénomènes physiques et chimiques à l'échelle microscopique pose des difficultés considérables. Ainsi, malgré un enseignement échelonné sur plusieurs années, ces étudiants ont en général les représentations erronées suivantes : les molécules et les atomes sont des morceaux de matière solides, les particules peuvent brûler, se contracter, se dilater ou changer de forme, l'espace entre les particules est plein, les collisions entre atomes peuvent changer leur taille (Driver, Squires, Rushworth et Wood-Robinson, 1994; Kind, 2004; Park and Light, 2009). Au sujet de l'espace plein entre les particules, Kind souligne que cette fausse représentation résulte d'une extrapolation des propriétés de la matière à l'échelle macroscopique à la matière à l'échelle particulaire :

The continuous model of matter is powerful, such that despite teaching most students use only a primitive particle model, retaining aspects of this naive view. For example, some 16-year old think the space between gas particles is non-existent or filled, or that particles expand when they are heated. Other students who understand that the gas particles are distributed uniformly explain this by suggesting that repulsive forces exist in between them so implying they are static. A small proportion of students do not use taught particle ideas at all, offering only low-level macroscopic responses to questions involving particle behaviour retaining their naive view of matter in a more complete form. (p. 12)

Comment expliquer que les enseignants ne réussissent pas à faire évoluer les représentations naïves de leurs étudiants vers des représentations scientifiques ? Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (2006), la formation scientifique et didactique des enseignants serait déficiente. D'après cette étude, les enseignants de physique et de chimie reproduisent le modèle qu'ils ont assimilé, c'est-à-dire celui qui a prévalu au cours de leurs années d'études. Ainsi, les enseignants ont été formés dans un système d'enseignement traditionnel et « dogmatique », interdisant toute remise en question des fondements de la physique et de la chimie, donc un enseignement trop souvent dépourvu de toute initiation à l'esprit critique. Ils risquent, dans ce contexte, de ne pas avoir remis en question les prémisses épistémologiques qui sous-tendent leurs structures conceptuelles, et ce, même s'ils savent résoudre des problèmes canoniques (Viennot, 2002).

Dans cet article, nous allons mettre en évidence les représentations que les enseignants de physique et de chimie du collégial au Québec se font du concept de matière. Notons que les théories sur ce concept constituent des éléments de connaissance importants dans les curricula de sciences.

Dans la première partie, nous présenterons un aperçu historique précisant les conceptions que se font les scientifiques sur la matière, depuis l'Antiquité grecque jusqu'à aujourd'hui, ce qui nous permettra de construire notre protocole d'entrevues qui sera utilisé dans la seconde partie. Finalement, nous décrirons la population étudiée et les conclusions générales de notre étude.

Aperçu historique sur le concept de matière

L'histoire des sciences démontre que la connaissance du concept de matière n'a pas été scientifique dès le départ. Les gens ont été confrontés à l'idée de la matière en se posant la question : d'où viennent les choses que nous voyons autour de nous ? Il semblerait que les réponses avancées rendent compte de deux grands schémas basés sur une construction de l'esprit. Nous essaierons

donc de repérer les grandes lignes de ces schémas explicités par l'historien des sciences Thuillier (1981):

D'un côté, il y a par exemple ce qu'on pourrait appeler les mythologies du chaos. La grande idée, c'est que le monde, avant d'être organisé et correctement formé, était dans un état de désordre. Le chaos, c'est l'état primitif, un état où les morceaux de matière sont complètement dispersés, complètement désordonnés. Pour faire apparaître l'ordre, ces mythologies font intervenir un démiurge, par exemple un dieu : il se sert des éléments "préfabriqués" qui étaient là pour construire le monde sous la forme que nous connaissons. Mais, dans d'autres mythologies ou religions, le schéma fondamental peut être différent. Ainsi, dans la religion judaïque, il y a l'idée d'une création absolue, d'une création ex-nihilo. Dieu à partir du néant, fait surgir la matière et donne forme aux diverses réalités. (p. 12)

Cette citation amène à se poser deux grandes questions. La première (pourquoi y a-t-il de la matière plutôt que rien ?) relève de la métaphysique. Chacun pourra répondre selon ses penchants en faisant appel à des convictions philosophiques, religieuses ou autres. La deuxième (comment cette matière est apparue ?) relève de la science. Citons quelques exemples qui montrent que la réponse à cette question n'a pas toujours été scientifique, du moins au sens de la science moderne. Par exemple, les Grecs ont imaginé des schémas explicatifs basés sur l'existence de particules d'atomes qui sont éternelles, stables et qu'on ne peut casser. Cependant, le philosophe grec Empédocle a postulé l'existence d'éléments fondamentaux (la terre, l'air, l'eau et le feu) à partir desquels on peut expliquer tout ce qui nous entoure. Pour Leucippe et Démocrite, on peut traduire tout ce qui existe dans la réalité à partir du vide et des atomes en mouvement. En prenant les idées de ses prédécesseurs, Épicure a postulé que les choses sont composées d'atomes fondamentaux qui s'unissent ou se séparent, en obéissant à des lois naturelles.

Évidemment, on trouve chez les Grecs d'autres tentatives d'explications de la matière qui ne ressemblent pas à celles données par les matérialistes pour qui « la matière est une réalité fondamentale, et plus précisément un ensemble de petites particules variées et douées de mouvement ». (Thuillier, p. 14, 1981)

L'approche d'Aristote a été moins matérialiste que celle de ses prédécesseurs. Pour lui, la matière est une sorte de substance qu'on ne peut jamais isoler. Ce paradoxe pourra se comprendre facilement, « car ce que nous voyons, c'est toujours de la matière qui a reçu une certaine forme. Même si on opère une analyse, on ne trouve pas la matière absolue, mais quelque chose qui possède encore une forme déterminée ». (Thuillier, pp. 14-15, 1981).

On peut associer cette dématérialisation de la matière aux travaux de certains penseurs grecs. Par exemple, Platon a postulé que l'univers est construit selon des formes géométriques parfaites, de même que pour Pythagore, « tout est nombre ». La critique que l'on peut formuler aux théories grecques sur la matière est qu'elles sont spéculatives et incapables d'imposer une tradition de recherche visant à résoudre des problèmes bien circonscrits, ce que Kuhn nomme la science normale. Cependant, il y a un consensus entre les historiens des sciences pour conclure que ce mode de pensée chez les Grecs et autres civilisations a beaucoup influencé l'époque de la science moderne. Par exemple, au XVII^e siècle, on associait l'apparition d'une

philosophie mécaniste capable d'expliquer toutes les « réalités » à partir de particules en mouvement. Parmi les grands pionniers de la pensée mécaniste, on peut citer Descartes, Boyle, Newton et Gassendi pour qui « le réel, à la limite, c'est un ensemble de billes de billard qui se meuvent et s'entrechoquent. Expliquer un phénomène, c'est trouver une sorte de modèle "mécanique" idéal qui permet de voir ce phénomène comme le résultat de l'activité des corpuscules fondamentaux ». (Thuillier, p. 17, 1981)

L'idée de corpuscules élémentaires chez ces scientifiques repose sur des théories différentes. Par exemple, Descartes ne pensait pas que les corpuscules élémentaires étaient éternels. Cependant, Newton les suppose stables, tout en admettant l'action à distance des masses, laquelle n'a jamais été acceptée par les cartésiens qui considéraient que les actions entre les corps s'exprimaient en chocs. Mais à l'encontre de cette tendance mécaniste, certains scientifiques opposent une vision énergétique.

Selon Boscovich (1711-1787), les atomes n'étaient pas des petites billes, mais plutôt des points mathématiques comme des centres de forces, approche non matérielle et abstraite de la notion d'atome. Pour ce chercheur, les éléments premiers de la matière étaient parfaitement indivisibles et étaient éparpillés dans un vide immense. Il ne semblait pas admettre l'idée d'un vide dispersé dans la matière, mais plutôt que la matière est dispersée dans le vide. Selon Thuillier (1981), les idées de Boscovich ont été reprises au XIX^e siècle et cela aurait orienté les scientifiques vers la notion d'énergie au lieu de la notion de matière:

De ce point de vue, Boscovich est intéressant parce que ses idées, sous d'autres formes, sont réapparues par la suite, et en particulier au XIX^e siècle, quand les discussions se sont multipliées autour de la notion d'éther. Par exemple, des scientifiques ont eu l'idée de présenter les atomes non pas comme de petites boules, mais comme des tourbillons d'éther. De l'énergie due au seul mouvement si l'on peut dire. Idée remarquable, puisque l'énergie peut ainsi remplacer la matière (pp. 19-20).

De nos jours, la conception que se font les scientifiques de la matière se rapproche de celle de Boscovich. Avec l'avènement de la relativité et de la mécanique quantique, les physiciens ont pu découvrir que l'univers est plein d'un gaz de lumière et d'un gaz de photons, tout en pensant que cette lumière est l'éclat refroidi par l'expansion de cette grande quantité d'énergie composant l'univers à ses premiers instants. On parle aussi d'un univers en expansion puisqu'on a découvert que les galaxies s'éloignent les unes des autres d'autant plus vite qu'elles sont plus loin.

Nous terminerons cette section en évoquant brièvement l'orientation actuelle de la physique des particules. Parmi les préoccupations de cette physique, il y a la recherche du type d'interaction liant les particules. L'état actuel des travaux dans ce domaine montre qu'il y a deux catégories de particules : les quarks et les leptons (Weinberg, 1985). En effet, nous savons déjà, à la suite des découvertes des physiciens Thomson, Rutherford, Bohr et autres, qu'un atome contient des électrons situés autour d'un noyau, lui-même constitué de protons et de neutrons.

De même, on sait que l'électron est lié au noyau par des forces électromagnétiques. En revanche, dans le noyau, les protons et les neutrons

sont liés par une force d'interaction forte. Ceci amène les physiciens à penser qu'il y a deux grandes catégories de particules:

- Celles qui ne « ressentent » pas les interactions fortes comme l'électron et qu'on appelle les LEPTONS.
- Celles qui « ressentent » les interactions fortes comme les protons et les neutrons et qu'on appelle les QUARKS.

En fin de compte, la physique des particules s'est fixée pour tâche la connaissance des différents types d'interaction qui les régissent et elle nous précise qu'à l'heure actuelle, il existerait 18 quarks, ainsi que six leptons et une dizaine d'autres particules qui agissent comme véhicule des forces (Weinberg, 1985). Évidemment, il y a toujours place à la recherche, car les physiciens remarquent une apparition « surnuméraire » de particules dont ils ne comprennent pas la nature et qui décrivent mal leur interaction.

Ce rappel historique avait pour but d'indiquer les principales étapes du développement du concept de matière. La richesse des modèles ainsi que leur complexité conceptuelle et technique n'ont certes pas été complètement élucidées, mais nous pouvons d'ores et déjà penser à une étude concrète dont les résultats permettront l'analyse du discours des enseignants de physique et de chimie.

Méthodologie

La construction du protocole d'entrevue

Dans le but de mettre au jour les représentations des enseignants, nous avons opté pour une forme d'entretiens où nous pourrions interroger les sujets directement. Nous présentons ci-après les deux questions que nous avons retenues aux fins des entrevues, de même que les raisons qui ont motivé ces choix : (1) Qu'est-ce que c'est, pour vous, la matière ? et (2) Existe-t-il un constituant ultime de la matière ?

Selon les considérations de la première partie, on peut conclure qu'avec le développement de la physique moderne, le concept de la matière s'écarte de plus en plus du discours entretenu par les scientifiques, au point où ces derniers ne parlent plus de la matière, mais considèrent plutôt le concept d'énergie, et cela, depuis l'avènement de la mécanique relativiste et de la mécanique quantique. La notion de matière a toujours suscité un débat à caractère métaphysique, bien plus que scientifique et à cet égard, on peut comprendre pourquoi cette notion a été reléguée au rang de débat philosophique.

Notre objet tend justement à vérifier si les enseignants sont conscients du caractère vague et flou de cette notion, contrairement au concept d'énergie qui permet de prédire des informations précises sur un système donné.

En mécanique quantique, le concept d'énergie donne des renseignements sur la possibilité d'avoir une interaction entre les états d'un système donné grâce à l'équation $H \cdot \psi = E \cdot \psi$. De même, dans le cadre de la mécanique classique, ce concept permet de connaître la possibilité d'avoir du travail pour un système donné à l'aide de l'équation $T + V = E$ (énergie) où T est l'énergie cinétique du système et V son potentiel. Cependant, notons que ces concepts ne sont pas en continuité logique au sens de Kuhn (1972) et de Bachelard (1981), car en mécanique classique, l'énergie est définie à partir d'une

trajectoire, contrairement à la mécanique quantique où elle est définie à partir d'un problème aux valeurs propres.

Quant à la deuxième question relativement à l'existence d'un constituant ultime de la matière, nous voulions savoir si les enseignants étaient conscients que de nos jours, les scientifiques ne sont plus à la quête d'un ultime constituant qui serait la base de notre univers matériel.

En effet, selon nos considérations précédentes, il a été précisé que la matière est formée de deux types de particules : les leptons et les quarks et quatre types d'interactions fondamentales font interagir ces particules élémentaires.

On connaît bien les forces gravitationnelles et électromagnétiques à l'échelle macroscopique; en revanche, on n'observe les interactions faibles et les interactions fortes qu'à l'échelle nucléaire. Cet ensemble de particules et d'interactions pourrait, en principe, rendre compte de toute la hiérarchie des structures de la matière, des noyaux atomiques jusqu'aux étoiles et aux galaxies. Nous voulons préciser au lecteur que de nos jours, les chercheurs tentent de trouver une seule classe de particules au lieu des deux distinctes ci-dessus. Par ailleurs, ils pensent aussi qu'une seule force pourrait rendre compte de toutes les interactions entre les particules élémentaires.

Méthode et population

Nous rappelons que l'objectif de cette publication est d'identifier les représentations que se font les enseignants de la matière. Or, la plupart des chercheurs précisent que les représentations constituent des objets de recherche qui ne peuvent être étudiés que qualitativement (Migne, 1994). Dans ce contexte, la population étudiée est forcément limitée du point de vue du nombre de sujets ayant participé à l'expérimentation. Toutefois, en vue d'assurer la validité des conclusions, nous avons tenu compte des deux critères généralement admis dans ce type de recherche, soit la diversification de l'échantillon et la saturation des discours. Ainsi, nous avons conduit dix entretiens semi-directifs - chacun d'une durée d'environ vingt minutes - portant sur les questions précitées.

Dans cette publication, les propos des enseignants interrogés ont été reproduits textuellement. Chaque enseignant a été identifié par le symbole Ci (le ième enseignant du collégial). Nous présentons les résultats de cette recherche ci-dessous.

Interprétation des données obtenues dans les discours des enseignants

Question 1

Relativement à la question «Qu'est-ce que c'est, la matière?», la majorité des enseignants interviewés semble considérer la matière comme une juxtaposition d'atomes. Il s'agit d'un concept concret qu'on peut appréhender, soit en recourant aux sens ou à la mesure. Par exemple, les sujets C₇ et C₈ ont fait appel à des représentations sensorielles pour la définir. Voici en quels termes ils ont précisé leurs points de vue sur ce concept :

« C'est ce qui fait le solide sur lequel on est assis [...] Pour moi, la matière, c'est ce qu'on perçoit quotidiennement et c'est ce qui fait qu'on

existe [...] la matière, c'est ça. C'est que c'est solide, je le touche. Pour moi, c'est réel. » (C₇)

« C'est tout ce qui nous entoure. Que ce soit solide ou gaz ou liquide, c'est ce que j'appellerais la matière. Qu'on peut toucher, qu'on peut sentir. » (C₈)

Ces explications illustrent bien que les deux sujets C₇ et C₈ ont une conception concrète de la matière et qu'ils font une grande confiance à leurs sens. Selon nous, il s'agit là d'une approche réaliste qui est en discontinuité avec l'approche moderne.

Les sujets C₆ et C₁₀ ont précisé que la matière est constituée d'atomes. Ainsi, pour eux, la matière serait un assemblage d'atomes. Voici en quels termes ils ont précisé cette idée :

« On peut définir la matière à partir de l'atome, comme on peut la définir à partir de notre environnement. Donc, on peut partir de la matière, donc c'est ce qui nous entoure pour essayer de définir ce qu'il y a comme constituant ou même partir, faire l'inverse. Dire la matière, c'est un ensemble d'atomes qui constituent ce qui nous entoure. » (C₆)

« La matière et un ensemble constitué de cette matière première en fait qui est l'atome. » (C₁₀)

En vertu des définitions ci-dessus, on peut penser que les deux enseignants C₆ et C₁₀ ont une représentation similaire quant au lien entre ces deux concepts. Selon nous, il s'agirait là d'une représentation naïve, car ils font une confiance spontanée à l'évidence de l'expérience première. Il en est de même pour le sujet C₃ qui considère la matière comme :

« L'ensemble de ces particules (proton, ion, ...) là qui forment un tout rigide, un ensemble si on veut [...]. Une particule est une partie de la matière. » (C₃)

Les explications fournies par ces enseignants (C₃, C₆ et C₁₀) nous amènent à penser que pour eux, la matière semble se réduire à un jeu de combinaisons entre atomes et qu'elle est composée de particules fondamentales, de petits corps élémentaires. Par ailleurs, aucun n'a insisté sur le caractère flou de la notion de matière. Cependant, deux des dix enseignants interrogés (C₂ et C₉) ont tenté de définir la matière en faisant référence au concept d'énergie, mais ils n'ont pas réussi à fournir une explication cohérente et expriment leur difficulté à cerner les prémisses épistémologiques qui sous-tendent le concept d'énergie puisque, précisent-ils :

« C'est de l'énergie [...], c'est ce qui, à la base de toutes les transformations, de toutes les révolutions, de toutes les réactions physico-chimiques, tout à, et puis c'est bien sûr ce qui est à l'origine de la vie aussi [...], mais qu'est-ce que c'est en soi, je ne sais pas [...], je pense que je préfère dire que je ne sais pas exactement. » (C₂)

« Ça peut être un assemblage de ces particules d'atomes en particulier. Si je considère ça comme des ondes, je vais me dire que c'est de l'énergie, tout en étant conscient que l'énergie est une notion que l'on cerne très mal. » (C₉)

Pour les sujets C₂ et C₉, l'énergie est une notion que l'on ne cerne pas bien. Selon nous, au contraire, il s'agit d'un concept dont les postulats sont

clairement établis autant en mécanique quantique qu'en mécanique classique. En effet, en mécanique classique, on définit l'énergie d'un système physique en mouvement comme le produit scalaire de la force résultante s'exerçant sur ce dernier et son déplacement. En mécanique quantique, l'énergie est la solution de l'équation aux valeurs propres $H \cdot \psi = E \cdot \psi$.

La réponse avancée par le sujet C₁ ne s'écarte guère de celles fournies par les enseignants C₃, C₆ et C₁₀. Ce dernier a toutefois fait appel à une appréciation quantitative de la matière. Pour lui, la matière est une « quantité de substance, cette substance peut être composée de plusieurs éléments de base ». Par ailleurs, les explications fournies par le sujet C₃ ressemblent à celles du sujet C₁ puisque, selon lui :

« La matière, c'est un ensemble de constituants de base arrangés de différentes façons qui font que le papier que j'ai en face de moi, c'est du papier [...]. La matière, c'est finalement un assortiment de constituants de base qu'on appelle protons, neutrons, électrons qui sont agencés de différentes façons en ordre et quantité qui font qu'on obtient du carbone, du nickel. » (C₃)

Pour cet enseignant, la matière semble se réduire à un ensemble d'éléments petits puisque pour lui, les particules « sont des constituants de base qui, à partir de ces éléments-là, on reconstitue toute la matière qu'on a autour de nous ». Selon nous, C₃ substantialise le concept de particule et ne semble pas avoir saisi son haut niveau d'abstraction.

Enfin, le sujet C₄ explicite dans son discours que tout ce qui existe dans la réalité s'explique à partir du vide et des atomes. En effet, selon ses propres termes :

« La matière est tout ce qui nous entoure [...]. La matière pour moi essentiellement est constituée de vide. Mais à l'intérieur de ce vide-là, il y a des grains [...]. La matière est constituée de ce grain qu'on appelle l'atome. » (C₄)

Cette définition s'approche de la thèse matérialiste des penseurs grecs Leucippe et Démocrite selon laquelle on peut expliquer l'origine de toutes choses grâce à des éléments matériels primordiaux (le vide et les atomes).

Question 2

Relativement à la question de l'existence d'un constituant ultime de la matière, aucun des dix professeurs interviewés n'a précisé dans son discours que de nos jours, les chercheurs ne sont plus à la quête d'un ultime constituant, comme cela a été le cas de plusieurs générations et que les recherches en physique des particules visent à comprendre les différents types d'interactions qui régissent les particules.

Les sujets C₁, C₂ et C₁₀ n'ont pas pu nous répondre parce qu'ils n'ont pas d'opinion précise sur cette question. Par ailleurs, les enseignants C₄ et C₈ affirment que l'atome est le constituant ultime de la matière. Par exemple, C₄ précise que l'atome est l'élément fondamental de la matière :

« Il n'en existe pas un (constituant de la matière), il existe cet ensemble-là qui est à la base de tout. On ne peut pas dire que l'électron est la base ultime de la matière, je ne peux pas dire que le proton l'est non plus. C'est que je crois que dans, essentiellement dans la matière, on les

rencontre toujours en présence [...] la base ultime finalement, c'est l'atome qui, c'est la base fondamentale. » (C₄)

Selon nous, ses explications au sujet de la matière et de l'existence de son constituant ultime ressemblent à celles fournies par les Grecs. En effet, pour lui, la matière est un assemblage d'atomes, c'est-à-dire de particules fondamentales qui sont infiniment petites.

Le sujet C₈ a précisé dans son discours qu'il préfère parler non pas de constituant ultime, mais de principale unité. Voici en quels termes C₈ explicite son idée :

« L'atome est un tout avec ce qu'il y a là-dedans comme électrons, protons, tout ça. On ne peut pas dire que l'électron est ultime ou que le proton est ultime, le tout fait l'atome. Jusqu'à présent, bien ultime, moi je dirais plutôt principale unité, c'est l'atome. » (C₈)

Selon ces propos, C₈ semble raisonner encore au niveau d'une unité principale de la matière qui existe dans le monde matériel, raisonnement qui ne s'accorde plus avec les développements de la science moderne.

Les réponses avancées par les sujets C₅ et C₇ ne s'écartent guère, implicitement, des réponses fournies par les sujets C₄ et C₈, à savoir une conception substantialiste de la matière. Par exemple, C₅ précise que « possiblement qu'on trouvera un constituant fondamental de la matière ». Pour lui, les particules sont des constituants fondamentaux de la matière, c'est-à-dire que « ce sont des constituants de base qui, à partir de ces éléments-là, on reconstitue toute la matière qu'on a autour de nous ».

Par ailleurs, C₇ ne semble pas être au courant des préoccupations de la physique des particules, car « si dans l'univers on rencontre l'atome d'hydrogène, on rencontre aussi les électrons libres et les protons et les noyaux. L'univers est fait de même, moi j'enseigne l'astronomie, l'astrophysique et puis je ne vois pas de problèmes plus que ça. » Dans cette représentation, C₇ semble concrétiser les concepts d'électron, de proton, etc.

Les enseignants C₆ et C₉ se sont référés à la notion de quark pour interpréter leurs réponses :

« Les études actuelles sur le quark laissent penser que ce serait bâti à partir de ça. À savoir est-ce qu'on va trouver d'autre chose encore, plus petit, bien c'est même imaginable. Facilement imaginable. » (C₆)

« Si on se fie à l'évolution historique des connaissances, on peut peut-être présumer que lorsqu'on aura isolé les trois quarks, on va eux-mêmes les décomposer en d'autres parties. » (C₉)

Ces propos nous poussent à croire que les enseignants C₆ et C₉ accordent une grande importance au problème de la décomposition et une confiance en l'existence de la matière au niveau subatomique. Implicitement, il en est de même pour le sujet C₃ qui pense que les scientifiques sont à la quête d'un constituant ultime de la matière puisque, dit-il : « je présume que oui, mais on n'a sûrement pas trouvé parce que l'on continue à trouver toujours des particules élémentaires ».

Conclusion

Selon les considérations qui précèdent, on peut conclure que les enseignants de physique ont conservé des représentations relativement naïves au sujet de la matière. En effet, nous avons précisé que les explications qu'ils ont fournies s'inscrivent dans la perspective d'une philosophie d'inspiration visuelle et sensorielle. Pour la majorité d'entre eux, la matière est constituée d'un assemblage de particules et une particule résulte d'un processus de décomposition de la matière. Avec de telles représentations, on comprendra pourquoi aucun des répondants ne considère que le concept de la matière devient de plus en plus abstrait dans le discours des physiciens, au point où ces derniers lui préfèrent le concept d'énergie.

À la suite des résultats de cette recherche sur les représentations des enseignants, il y a un besoin de repenser la formation des enseignants et des étudiants universitaires, sinon d'intégrer dans leur formation des éléments d'histoire et d'épistémologie des sciences. Toutefois, il nous apparaît important de souligner que c'est à cette condition qu'ils auront l'occasion de réfléchir sur leur propre savoir, de mener les interrogations qui conduisent à une prise de conscience des postulats qui guident la construction de la connaissance et engendrent des possibilités de changements conceptuels au sens de Posner, Strike, Hewson et Gerzog (1982).

Par exemple, comment provoquer chez l'enseignant de physique un changement épistémologique qui lui permette de réfléchir sur les ruptures épistémologiques dans le développement du concept de matière ? Vu la complexité de cette question, nous n'allons énumérer que quelques réponses pour montrer que notre recherche pourrait permettre l'élaboration d'une stratégie particulière destinée à faciliter l'assimilation des enseignants concernant le concept de matière.

La première étape de notre stratégie consiste à faire réfléchir les enseignants sur l'importance de la dimension sociale de la science. Une réflexion amorcée dans ce sens leur permettra de considérer la science en tant qu'activité humaine où la recherche de la réalité et de la vérité n'occupe qu'une place infime.

La deuxième étape a pour but de faire une analyse des modèles successifs élaborés au cours du développement des théories sur la composition de la matière. À cette étape, les enseignants seront invités à préciser les prémisses épistémologiques qui sous-tendent les différentes doctrines élaborées sur la matière, tout en les confrontant avec leurs propres conceptions. Selon ce cheminement, les théories sur la matière n'apparaissent plus alors comme étant le résultat d'une série d'améliorations successives dont l'objet est la recherche du constituant ultime de la matière.

Nous aimerions aussi souligner que sur le plan de la formation universitaire des étudiants inscrits en physique, en chimie et en biologie, une telle formation leur permettra de voir les difficultés conceptuelles rencontrées par les scientifiques de renom pour élaborer leurs lois et leurs théories.

Références bibliographiques

Bachelard, G. (1981). *La philosophie du non*. Paris: Presses Universitaires de France, 8^e édition.

Bensghir, A., et Closset, J. (1996). The electrostatics-electrokinetics transition: historical and educational difficulties. *International Journal of Science Education*, 18(2), 179-191.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., et Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. London & New York: Routledge.

Galili, I., et Bar, V. (1992). Motion implies force: Where to expect vestiges of the misconception? *International Journal of Science Education*, 14, 63-81.

Kikas, E. (2003). University students' conceptions of different physical phenomena. *Journal of Adult Development*, 10, 139-150.

Kind, V. (2004). *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*. UK: School of Education, Durham University.

Kuhn, T. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.

Métioui, A., et Levasseur, J. (2011). Analyse des raisonnements d'élèves du collégial professionnel sur les circuits en courant continu et les lois de Kirchhoff. *RDST*, 3, 155-178.

Métioui, A., et Trudel, L. (2014). Conceptual representations of high school students concerning the source of current: the "model of the highway". Dans C. P. Constantinou, N. Papadouris et A. Hadjigeorgiou (Eds.), *Science Education Research for Evidence-based Teaching and Coherence in Learning*. E-Book Proceedings of the ESERA 2013 Conference. Nicosia, Cyprus: European Science Education Research Association.

Métioui, A., et Trudel, L. (2015, July). The persistence of the alternative conceptions: The case of the unipolar model. C. Fazio et R. M. Sperandeo Mineo (Eds.), *Teaching/Learning Physics: Integrating Research into Practice*, Proceeding of the International Conference GIREP-MPTL 2014 (pp. 117-127). Italy: University of Palermo.

Migne, J. (1994). Pédagogie et représentations, *Education permanente*, 119, 2.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2006). *Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies*. Policy-Report. Récupéré de <http://www.oecd.org/science/sci-tech/36645825.pdf>

Park, E., et Light, G. (2009). Identifying Atomic Structure as a Threshold Concept: Student mental models and troublesomeness. *International Journal of Science Education*, 31(2), 233 - 258.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P., et Gertzog, W. (1982). Accomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-228.

Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 18, 419-434.

Thuillier, P. (1981). L'approche scientifique de la matière (pp. 12-29). Dans *La matière aujourd'hui*, Paris: Éditions du Seuil.

Viennot, L. (1978). Le raisonnement spontané et dynamique élémentaire. *Revue française de pédagogie*, 45, 7-15.

Viennot, L. (2002). *Enseigner la physique*. Bruxelles: Éditions De Boeck Université.

Weinberg, S. (1985). *Le monde des particules*. Pour la science - Diffusion Belin, Paris.