

Du concept à la chose: la notion de particule dans les propos d'étudiants à l'égard de phénomènes physiques

Salah Benyamna

école normale supérieure de takaddoum, rabat (maroc)

Jacques Désautels

Marie Larochelle

université laval, québec

Cet article est une synthèse des résultats obtenus lors d'une étude que nous avons réalisée auprès de 12 étudiants de la fin du collégial, et qui visait à élucider leurs usages et représentations du concept de particule. Nous verrons comment le point de vue développé dans le domaine de la psychosociologie des représentations (Moscovici, 1961, 1984) quant aux modes d'appropriation par lesquels le savoir scientifique peut être rendu digeste fournit un éclairage intéressant sur la tendance marquée que nous avons pu observer, une fois de plus, dans les discours des étudiants, et que l'on peut résumer comme suit: l'imputation aux phénomènes et concepts scientifiques d'un statut similaire à celui des objets du réel usuel.

Our study considers twelve graduating high school students' practical and theoretical understandings of the concept of particles. The psychology of representations (Moscovici, 1961, 1984) suggests how scientific knowledge can be rendered digestible, and helps to explain the marked tendency in student discourse to give to scientific phenomena and concepts the same status accorded to ordinary material objects.

Lors d'une recherche antérieure réalisée par l'un de nous (Benyamna, 1981) auprès d'étudiants du collégial, nous avons été particulièrement étonnés par la présence marquée, voire abusive, dans leurs discours de la notion de particule pour expliquer des phénomènes aussi variés que la propagation de la chaleur, du son et du courant électrique. En fait, tout semblait se passer comme si les étudiants dotaient cette notion d'une omnipotence en plus de lui imputer une ontologie tout aussi inédite!

Certes, il nous faut observer que les étudiants font preuve d'une imagination qui n'est pas inintéressante. Toutefois, si l'on pense aux buts que poursuit l'éducation à la science, la substantialisation qui traverse leurs propos est quelque peu troublante, d'autant plus qu'elle ne s'applique pas qu'à leur seule interprétation des contenus enseignés mais aussi à ceux qu'ils inventent. S'agit-il d'une interprétation répandue dans la population étudiante des sciences ou d'un accident de parcours? Si oui, s'agit-il d'un problème d'apprentissage ou d'un

problème de méconnaissance des prémisses épistémologiques en jeu dans le savoir scientifique? Voilà quelques-unes des questions qui ont été à la base de la présente étude¹ réalisée auprès de 12 étudiants de sciences de la fin du collégial, et qui visait à élucider leurs usages et représentations du concept de particule. Après avoir indiqué quelques éléments théoriques et méthodologiques qui ont présidé à l'élaboration de cette étude, nous présentons une synthèse des résultats obtenus.

QUELQUES ÉLÉMENTS THÉORIQUES DE L'ÉTUDE

De manière générale, notre étude sur les usages et représentations du concept de particule auprès d'étudiants de science se situe dans la foulée du programme de recherche portant sur les conceptions dites spontanées. On se rappelle que ce programme,² amorcé au début des années soixante-dix, a permis aux didacticiens des sciences de re-découvrir, à leur façon, l'une des propositions fondamentales de la théorie piagétienne, à savoir que les enfants n'attendent pas les premières classes de science pour se faire une idée au sujet des phénomènes dits naturels. Dès leur jeune âge, ils se construisent ainsi des explications à propos des phénomènes de leur quotidien, qu'il s'agisse de la chute d'un objet, de la succion d'un liquide à l'aide d'une paille ou encore de la fragilité des fenêtres du voisin!

Toutefois, la découverte qui a davantage pris de court les didacticiens, si l'on peut dire, est celle de la pérennité de ces explications au terme d'une scolarisation plus ou moins longue. Les recherches désormais classiques de Tiberghien (1976), Viennot (1979) et Driver (1983), pour ne nommer que celles-là, sont éloquentes. On y observe que les explications des étudiants sont truffées de mots qui témoignent d'une certaine familiarité avec le vocabulaire scientifique (molécules, énergie cinétique, etc.), mais, pour l'essentiel, la forme se conserve et les "nouveaux mots" se voient dotés d'une matérialité peu compatible avec le caractère relationnel des concepts scientifiques. Il y a donc là matière à interrogations pour les chercheurs et les enseignants, puisque des années de scolarisation ne semblent pas avoir permis aux étudiants de s'approprier un savoir différent de celui qu'ils détenaient déjà sur le sujet. Qu'est-ce à dire? Comment interpréter cette apparente persistance des conceptions spontanées malgré un enseignement formel qui, règle générale, en contredit l'à-propos? Est-ce un problème d'enseignement, un problème d'apprentissage ou encore un problème d'accessibilité des contenus scientifiques? Voilà quelques-unes des questions suscitées par le constat précité et qui ont conduit à re-problématiser le statut cognitif des conceptions spontanées des étudiants (Hills, 1989; Larochelle et Désautels, 1991). Examinons brièvement la petite histoire de cette re-problématisation.

À propos des conceptions spontanées

Dans les premiers mouvements du programme de recherche sur les conceptions spontanées, celles-ci ont fait l'objet d'investigations axées essentiellement sur l'estimation de leur degré d'adéquation aux contenus reconnus dans le corpus scientifique auquel elles sont comparées. C'est donc une perspective normative qui guidait l'étude de ces conceptions et on ne se souciait guère d'élucider les conditions de leurs origines et de leur maintien. D'entrée de jeu, les dés étaient donc pipés, si l'on peut dire; car, en confinant la portée de ces études au seul examen de l'écart entre les conceptions des étudiants et celles dites scientifiques, on ne pouvait aboutir qu'à traiter par la négative les conceptions dites spontanées (c'est-à-dire *ce qu'elles ne sont pas*), et, de ce fait, qu'à les qualifier, la plupart du temps, d'erronées ou de préconceptions. En somme, ces conceptions n'avaient de statut cognitif qu'en regard de leur conformité au savoir officiel.

Comme dans tout champ de connaissance, cette perspective ne ralliait toutefois pas l'ensemble des chercheurs et théoriciens, et, peu à peu, d'autres problématiques en ont renversé la prépondérance et ont contribué à redorer le blason cognitif des conceptions spontanées, en en réhabilitant la valeur, l'intérêt et la pertinence. Ainsi, les Pope (1982) et Gilbert et Watts (1983) mettront en exergue l'effort de théorisation qui sous-tend ces conceptions de même que la mise à l'épreuve empirique incessante dont leur pertinence fait l'objet, ce qui, sous plusieurs aspects, n'est pas sans évoquer certains processus du travail "normal" des scientifiques (repérage de similitudes et de différences, établissement de relations en vue de construire un modèle explicatif détaché de plus en plus du "phénomène d'origine," etc.). Dans la même veine, Tiberghien (1989) fera ressortir l'à-propos contextuel de ces conceptions, compte tenu des finalités poursuivies, qui ne sont pas, rappelons-le, les mêmes que celles qui intéressent les scientifiques. Bref, plusieurs autres travaux pourraient être cités à l'appui de cette considération nouvelle des conceptions des étudiants qui ne seront plus conçues comme des failles ou des "trous à combler" mais bien comme la manifestation d'un savoir avec lequel il faut composer. En d'autres termes, si l'on adopte l'interprétation radicale de von Glasersfeld (1989), il s'agit d'instruments d'appréhension du monde, d'"itinéraires conceptuels" dont le maintien va de pair avec leur viabilité, c'est-à-dire avec la marge de manoeuvre qu'ils représentent pour leur auteur dans l'organisation de ses expériences quotidiennes.

C'est donc un virage épistémologique qui s'accomplit dans le champ de la didactique des sciences et qui conduira au remaniement du postulat suivant lequel l'accès au savoir scientifique implique l'élimination des autres savoirs. Toutefois, la promotion des conceptions scientifiques demeurera le leitmotiv de ces nouvelles problématisations qui porteront cependant non seulement sur ce que l'étudiant sait mais aussi sur *comment* il le sait.

Coupant les ponts avec la tradition empiriste, plusieurs chercheurs³ se pencheront sur la problématique du maintien et du changement des conceptions dites

spontanées afin d'en proposer une modélisation qui en épouserait mieux le dynamisme. Parmi les modèles proposés, le plus retentissant dans le domaine est sans doute celui développé par Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982). S'inspirant à la fois des thèses de Lakatos, Kuhn et Toulmin en histoire et en philosophie des sciences, ce modèle postule que le changement conceptuel est une décision rationnelle (Strike et Posner, 1983). Cette décision procéderait de l'insatisfaction qu'a la personne à l'égard de son interprétation habituelle d'un phénomène, couplée à la reconnaissance de l'intelligibilité, la plausibilité et la fécondité d'une nouvelle interprétation. À ces conditions, se conjugueraient également ce que les auteurs identifient comme les composantes de l'"écologie conceptuelle" d'une personne, et qui renvoient aux analogies, métaphores et engagements épistémologiques et métaphysiques qui concourent au maintien d'une représentation.

Ce modèle, intéressant à plusieurs égards, notamment par la considération, du moins théorique, de la complexité d'un changement conceptuel, est toutefois peu loquace sur les modalités opératoires des composantes de l'écologie conceptuelle. Or, comme le développent de façon convaincante Piaget et Garcia (1983), l'écologie conceptuelle détermine en grande partie les conditions du changement conceptuel, notamment en ce qui a trait à la reconnaissance d'une anomalie.⁴ Dans le même sens, les travaux en psychosociologie tendent à montrer que le maintien des représentations renvoie à des critères de viabilité et de crédibilité qui ont bien peu à voir avec les critères officiels de validité et de compréhension théoriques utilisés dans les domaines de savoir finis de sens (Berger et Luckmann, 1986), tel le domaine scientifique. Par ailleurs, toujours dans la perspective de ces travaux, on observe que, malgré l'apparent fossé épistémologique qui séparerait le savoir commun du savoir scientifique, ce dernier n'en serait pas moins "recyclé" et rendu digeste selon une logique tout aussi respectable que celle qui a présidé à son élaboration, bien que différente (Grize, 1989). Peu connus en didactique des sciences, ces travaux ont néanmoins retenu notre attention, notamment parce qu'ils suggèrent des pistes d'interprétation intéressantes quant aux modes d'appropriation du savoir scientifique.

QUELQUES ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES

Le concept de représentation recouvre des usages et des définitions variées, selon le champ de connaissance en cause et l'option théorique à laquelle il se subordonne. Pour les besoins de cet article, nous nous contenterons de situer notre usage de ce concept dans le prolongement des travaux qui portent sur la problématique des représentations sociales (Moscovici, 1984) et considèrent le discours produit par une personne au sujet d'un thème donné comme une *représentation discursive* (Grize, 1984) des connaissances qu'elle a construites sur le sujet. Par ailleurs, nos travaux se distinguent de cette dernière optique

dans le sens où nous nous intéressons aux processus de construction de ces représentations de même qu'à leurs éléments de contenu plutôt qu'aux opérations langagières de leur mise en forme. En effet, nous inscrivant dans le domaine de la didactique des sciences, nous nous intéressons aux savoirs, notions et croyances dont disposent les étudiants pour appréhender le savoir scientifique parce que nous pensons que toute représentation a des effets de connaissance et constitue l'un des systèmes de référence à partir duquel les informations prennent sens (Jodelet, 1984). Dans le même esprit, nous nous intéressons aux processus de cette fabrication de sens, car nous pensons que le contenu d'une représentation leur est, en partie du moins, redevable: on peut ainsi penser que l'idée répandue d'enzyme-glouton n'est pas étrangère à un processus d'animisation (Jacobi, 1987).

Soulignons toutefois que cette distinction entre les processus et les produits est essentiellement analytique, la représentation étant simultanément dans le travail mental et dans les produits finis vers lesquels tend ce travail (Moscovici, 1984). Or, si les travaux en épistémologie des sciences nous permettent un repérage relativement aisé du cadre épistémique auquel une représentation en tant que *produit* peut être associée (du réalisme naïf au constructivisme radical, sans oublier l'empirisme logique), ce sont plutôt ceux issus de la psychosociologie des représentations qui nous semblent les plus prometteurs quant à la compréhension des processus qui lui sont sous-jacents. Ainsi, dans un ouvrage s'intéressant notamment au "recyclage de la science par le sens commun," Moscovici (1984) met en évidence les changements que subit une théorie scientifique lors de son "entrée en culture" (non savante), par le biais de trois processus transformatifs qui constituent autant d'opérations de remodelage et de métamorphose d'une expérience ou d'une idée préalables.

Le premier de ces processus, dit de personnification, consiste à associer une théorie ou un phénomène scientifique à une personne qui en devient le symbole: "la psychanalyse à Freud, la relativité à Einstein, le conditionnement à Pavlov, etc." (Moscovici, 1984, p. 553). Un second processus, soit le processus de figuration qui, selon Moscovici, montre bien les attaches de toute représentation avec l'imagination, se caractérise par la substitution d'images aux concepts qui, de ce fait, verront, par exemple, leur statut de "points dans un système de propositions définies par des équations ou des raisonnements opératoires," transformé en un statut de quasi-métaphores, de diagrammes ou d'images sensorielles (Moscovici, 1984, p. 554). Enfin, l'ontisation, troisième processus accompagnant le passage du contenu de la science au sens commun, court-circuiterait, si l'on peut dire, le "monde relationnel" du savoir scientifique et le transposerait d'emblée dans celui des matérialités quotidiennes, lui conférant, selon l'expression de Moscovici, "une épaisseur de réalité." Idées, mots et relations voient ainsi leurs chaînes logiques raccourcies, et deviennent "choses, qualités et forces."

Il y a certes là matière à réflexion pour qui s'intéresse aux effets de connaissance des programmes d'éducation à la science et, plus particulièrement, au point de vue "interne," si l'on peut dire, des processus et modalités par lesquels les étudiants donnent relief et sens au savoir enseigné qui, le plus souvent, se présente comme un savoir achevé à un point tel qu'on peut légitimement se demander de quoi il est question en fait (Stengers, 1986). Mais avant de présenter une synthèse des données que nous avons recueillies à ce propos, voyons comment les analogies et les métaphores peuvent également nous informer sur le sujet qui nous préoccupe.

Analogies et métaphores

La considération dans notre étude de ces dimensions qui, dans le modèle du changement conceptuel développé par Posner et al., ont une place de choix, tient à plusieurs raisons interreliées. En effet, qu'il s'agisse du savoir commun ou du savoir scientifique, les analogies et les métaphores participent à tout processus de pensée, entre autres, selon Moscovici (1961, p. 65), lorsqu'il y a simultanément manque d'informations et exigence de significations. Toutefois, selon le mouvement sémantique sur lequel elles reposent (Solomon, 1986), elles comporteraient des effets cognitifs variés. Par exemple, dire que le nez de Sophie est comme une cerise repose sur un processus métaphorique bien différent de celui qui vise à construire des liens entre deux domaines distincts du savoir, comme l'illustre la mise en rapport des concepts d'atome et de système solaire. Dans le premier cas, il y a une comparaison directe qui peut avoir un effet de clarification; dans le second, qui caractériserait le travail scientifique, le mouvement sémantique est plus large et serait davantage dialectique, car, plus qu'un autre mot, c'est un mécanisme qu'il suggère et, en cela, il peut permettre un ordre de compréhension nouveau (Muscarì, 1988).

Par ailleurs, comme l'indiquent plusieurs travaux en didactique des sciences (Clément, 1977, 1978; Closset, 1983), les analogies et les métaphores seraient aussi monnaie courante dans l'enseignement des sciences, notamment lorsqu'il est question de phénomènes particulièrement contre-intuitifs, tels les phénomènes atomiques. En l'occurrence, il nous a paru intéressant d'ajouter à notre étude des modalités d'appropriation du savoir scientifique par les étudiants, l'examen des métaphores et des analogies susceptibles d'animer leurs raisonnements à propos de phénomènes physiques. S'agit-il de métaphores et d'analogies qui comportent un certain potentiel dialectique? Favorisent-elles la révision incessante de leurs tenants et aboutissants? Ou contribuent-elles, comme dirait Bachelard (1977), à fixer (ou figer) le concept dans l'image? Quelles informations nous fournissent-elles quant aux modes d'appropriation du savoir scientifique? Voilà quelques-unes des interrogations qu'il nous importait d'élucider et qui nous ont conduits à nous doter d'un cadre analytique fondé à la fois sur le repérage des processus transformatifs développés plus haut et sur celui des analogies et métaphores

susceptibles d'en témoigner. Pour ce dernier aspect, la typologie d'analogies développée par Clément (1978) nous a semblé particulièrement prometteuse.

S'appuyant sur les idées de Nagel, Clément (1977) distingue les analogies provoquées et les analogies spontanées: les premières renvoient aux situations où l'on présente à un sujet deux objets en lui demandant s'ils sont semblables. Les secondes, comme leur désignation l'indique, renvoient aux situations où c'est le sujet lui-même qui trouve l'analogue au phénomène sous étude.

En ce qui a trait aux métaphores, nous nous sommes inspirés de plusieurs sources (Bouchard, 1984; Einstein et Infeld, 1938; Joshua, 1983; Kuhn, 1983; Normand, 1976; Pepper, 1966), étant donné l'absence d'une typologie dans le domaine de la didactique des sciences. Pour les besoins de notre étude, nous avons ainsi retenu les métaphores du billard et du fluide, la première caractérisant les sciences physiques newtoniennes et prénewtoniennes, la seconde ayant une longue carrière dans la description de divers phénomènes de physique, sous les vocables notamment de "chaleur-fluide" et "fluide électrique." Voyons maintenant les termes de l'étude concrète que nous avons réalisée.

Le contexte de cueillette des matériaux

Comme il nous importait d'examiner si la notion de particule était bien l'une des notions favorites des étudiants de science pour expliquer des phénomènes relativement simples de la physique, auquel cas il nous faudrait aussi en examiner les usages, l'entrevue semi-directive nous a paru constituer un instrument de choix. En effet, tout en imposant un thème de discussion, cette technique permet une latitude intéressante à l'interrogé pour en traiter sous une forme autre que stéréotypée, tout en permettant à l'analyste de suivre l'organisation du discours, l'élaboration de l'explication, bref, le dynamisme d'une représentation analytique (Migne, 1976). Nous avons ainsi opté pour la réalisation d'entrevues individuelles fondées sur le canevas suivant: présentation d'une situation-problème au sujet sous la forme d'une fiche qui en comporte la description, un schéma et deux questions servant d'amorce à la discussion. Ces situations-problèmes devaient répondre aux critères suivants: d'une part, elles devaient consister en phénomènes ou expériences réalisées (ou pouvant l'être) à l'aide d'un matériel simple et familier. D'autre part, elles devaient, en principe, faire partie simultanément du répertoire quotidien d'expériences des sujets, et des différents programmes d'enseignement qu'ils avaient pu suivre. Enfin, elles devaient porter sur des phénomènes qui, bien que n'imposant pas à priori l'usage du concept de particule, s'inscrivaient dans des domaines de la physique où se retrouvent, même dans les phases de développement les plus avancées, des explications reposant sur la théorie particulière de la matière. Nous avons ainsi retenu des situations-problèmes portant sur des phénomènes thermiques, électriques et optiques. Plus concrètement, les situations-problèmes ont pris la forme qui suit:

Douze étudiants de science de l'ordre collégial ont ainsi été interrogés sur une base volontaire, au cours d'entrevues d'une durée de 50 minutes. Trois interrogations principales ont guidé le découpage et l'analyse des matériaux recueillis. Ainsi, pour élucider la première interrogation qui porte sur l'existence éventuelle d'une tendance générale chez les étudiants à expliquer les phénomènes physiques en termes de particules et de mouvements de particules, nous avons procédé à un inventaire exhaustif des mentions de ces notions, de même que des notions qui leur sont liées (électron, photon, atome, etc.). En ce qui a trait aux deux autres interrogations, l'une portant sur les usages de la notion de particule et l'autre sur les dynamiques cognitives sous-tendant ces usages, nous avons fait appel à une grille d'analyse spécifique. Les éléments de celle-ci renvoient aux processus transformatifs de personnification, de figuration et d'ontisation, développés par Moscovici (1984); à la typologie d'analogies élaborée par Clément (1978); et, enfin, aux métaphores du billard et du fluide.

QUELQUES RÉSULTATS

Dans un premier mouvement d'analyse, nous avons pu nous rendre compte que ces étudiants, tout comme ceux et celles que l'un de nous avait interrogés

quelque six années plus tôt (Benyamna, 1981), ont en très grande majorité fait référence de façon prononcée à la notion de particule pour commenter les phénomènes proposés (onze des douze étudiants). Cette observation tend à appuyer l'idée qu'il s'agit d'une notion, sinon prégnante, à tout le moins courante dans leurs explications. De plus, on remarque d'entrée de jeu que deux caractéristiques essentielles sont généralement attribuées à ce que l'on nomme une particule, soit la dimension (elle serait plus ou moins petite) et la forme (elle serait sphérique). Par exemple, pour l'étudiant E-2, la particule est ". . . une sphère comme une balle de golf"; pour E-3, "c'est comme de petites billes"; et pour E-4, "c'est des petits points." Par ailleurs, ces caractéristiques sont également assignées aux notions d'électron, d'atome, de molécule, de photon, qui font partie des théories de chimie et de physique qu'ils ont étudiées. C'est ainsi que pour l'étudiant E-11, "un électron, c'est une particule ayant la forme d'un point"; pour E-3, "les molécules dans la barre [tige de métal], c'est comme des billes dans une boîte"; pour E-7, "l'atome de la paraffine serait plus rond, alors que celui du fer serait plus difforme"; et pour E-12, "un photon, c'est une particule lumineuse. Ça serait plus petit que l'électron. C'est une particule très très élémentaire." En somme, il semble bien qu'appelés à définir ce qu'ils entendent par particule ou encore par électron ou photon, les étudiants font spontanément référence à l'univers matériel du réel usuel.

Si cette contextualisation de la notion de particule, en tant qu'objet concret et spatialisé, est porteuse d'informations quant au statut épistémologique des représentations des étudiants, l'usage qu'ils en font pour décrire le siège (la tige métallique, le fil, la plaque de verre) des phénomènes, de même que les explications de son déroulement le sont également. Cette notion est en effet utilisée pour décrire la structure du verre, "les particules de verre sont plus rapprochées les unes des autres que dans l'air" (E-12), ou encore celle du métal, "un métal est constitué de particules" (E-7). D'autre part, c'est aussi cette représentation qui est utilisée pour expliquer les processus en cause: les étudiants parlent ainsi de déplacements, de collisions, de chocs entre des particules, et ce, pour les trois types de phénomènes.

En l'occurrence, il semble que ce soit sous un mode réaliste que ces étudiants élaborent leurs conceptualisations des phénomènes microscopiques qui ne peuvent être directement observés, les expliquant ainsi par l'intermédiaire d'une représentation concrète et macroscopique. À cette fin, ils font usage d'analogies qui, selon Posner et al. (1982), sont partie prenante de l'écologie conceptuelle d'une personne à partir de laquelle elle construit et rend significatives des explications. Nous avons ainsi pu repérer des analogies appartenant à cinq des six catégories définies par Clément (1978), bien qu'il ait été parfois difficile de trancher quant à leur appartenance respective.

Quelques étudiants, particulièrement imaginatifs, ont inventé ce qui, à leurs yeux, constitue une situation analogue à celle qu'on leur demandait d'expliquer (analogie inventée). Ainsi, pour faire saisir le caractère essentiellement dyna-

mique de la matière, un étudiant propose l'explication suivante: Les particules composent l'infiniment grand. C'est comme si on a une pyramide avec beaucoup de petites matières. Comme cette pyramide n'est pas stable, il y a tout le temps une espèce de dynamique. Lorsqu'on se trouve à différents niveaux de la pyramide, il y a les grosses et les petites particules, ce qui fait que ça bouge tout le temps (E-1).

Enfin, on peut repérer dans les discours de nombreuses instances où les étudiants substituent au phénomène à expliquer un phénomène appartenant à un autre domaine de la science (analogie physique). Par exemple, un étudiant compare la relation charge-électron à la relation électron-atome: "Un électron auquel on enlève la charge devient un ion. . . . Parce que, quand tu as un atome, si tu lui enlèves un électron, ça devient un atome chargé" (E-6). Un second explique la propagation de la chaleur en relation avec les phénomènes d'électricité: "C'est la dépolarisation qui va permettre le déplacement des électrons puis une augmentation de la température" (E-1).

De manière générale, les discours foisonnent ainsi d'analogies inspirées des images concrètes sur lesquelles les étudiants prennent appui pour s'expliquer les phénomènes. Les particules se poussent, s'entrechoquent, s'évitent, se faufilent, au gré de la fantaisie de leur imagination. Ce constat appelle quelques remarques. Notons d'abord que ce n'est pas le fait d'utiliser des analogies dans l'explication qui pose problème puisque les processus intellectuels en cause seraient à la source de toute pensée (Lakoff et Johnson, 1985). C'est plutôt que, d'une part, les étudiants fabriquent ces analogies sans les précautions d'usage, si l'on se réfère à l'absence dans leurs discours d'expressions du type "on peut penser que," "il semble que," ou de la spécification des caractéristiques pertinentes de l'analogie, et de celles qui le sont moins, ou, encore, du concept de modèle. D'autre part, il nous semble que le statut épistémologique des analogies pose également problème, non seulement à cause des associations constantes à des images concrètes, mais aussi parce qu'à travers celles-ci les étudiants semblent substituer la description du phénomène à son explication. À ce sujet, si on fait exception de certaines analogies qui décrivent la circulation des électrons dans un fil, aucune de celles qui ont été proposées par les étudiants ne pourrait suggérer une procédure opérationnelle pour caractériser le phénomène, ou encore l'élaboration d'une stratégie expérimentale. Il est remarquable que onze des douze étudiants interrogés n'aient à peu près jamais fait appel aux connaissances formelles qui leur ont été enseignées, sinon par l'utilisation de mots (photon, énergie cinétique, etc.) appartenant au vocabulaire spécialisé.

En somme, il semble que pour donner sens au savoir scientifique en ces domaines particuliers, les étudiants puisent à même un ensemble d'analogies et d'images inspirées des métaphores mécanistes des boules de billard et du fluide. Ces opérations d'assimilation, dans lesquelles ils font ainsi usage de figures et de schémas sensibles qui représentent des objets (point, boule, sphère) et des actions (pousser, éviter, se faufilet) familiers, peuvent être comparés aux

processus proposés par Moscovici (1984) pour comprendre le passage de la science au sens commun. En fait, nous avons pu mettre en évidence deux des trois processus proposés par cet auteur, soit la figuration et l'ontisation.

La figuration, rappelons-le, consiste à substituer une image au concept. Or, c'est bien là, croyons-nous, ce qui se passe lorsqu'on remplace les concepts d'électron et de photon par exemple, par des images concrètes, sensibles, comme celles de bille, de boule, de sphère. Ce faisant, on donne sens aux savoirs enseignés par la transposition de l'explication courante à des domaines de réalité pour lesquels elle est inappropriée.

Le processus de figuration s'accompagne la plupart du temps de celui d'ontisation, puisque, dans le premier, il y a mise entre parenthèses du caractère essentiellement relationnel des concepts scientifiques au profit d'une imputation de réalité. En associant les électrons, les photons et les molécules à des images concrètes, les étudiants confèrent à ceux-ci une certaine réalité, une place dans l'ontologie du sens commun.

De manière générale, il semble donc que les sujets ont tendance à réifier les concepts scientifiques, leur imputant ainsi “. . . une facticité et une matérialité analogues, sinon plus grandes, qu'aux objets et aux êtres directement perçus” (Moscovici, 1984, p. 562). Autrement dit, les particules (photons, électrons, etc.) seraient de véritables choses et non plus des concepts inventés, et il suffirait donc de les décrire pour les comprendre.

DISCUSSION

Une première piste d'interprétation de ces données conduit à des conclusions quelque peu troublantes. Rappelons d'abord brièvement quelques-unes des caractéristiques du statut épistémologique de la notion de particule dans le cadre de la physique contemporaine, tel qu'il a été cerné par Bachelard (1977), sous la forme de six propositions:

1° Le corpuscule n'est pas un petit corps; 2° le corpuscule n'a pas de dimensions absolues assignables; 3° corrélativement, si le corpuscule n'a pas de dimensions assignables, il n'a pas de forme assignable; 4° puisqu'on ne peut attribuer une forme déterminée au corpuscule, on ne peut pas davantage lui attribuer une place très précise; 5° . . . la microphysique pose, comme un véritable principe, la perte d'individualité d'un corpuscule; 6° . . . la physique contemporaine admet que le corpuscule puisse s'annihiler. (p. 106–115)

En ce sens, précise Bachelard, les corpuscules sont des organisations d'objets de pensée qui: “deviennent ensuite des *objets d'expériences techniques*, dans une pure facticité de l'expérience” (p. 112). En bref, la notion de particule résulte d'une construction intellectuelle et se démarque nettement de l'idée de chose ou de substance matérielle. Or, dans les discours recueillis, tout semble se passer

comme si les sujets n'avaient pas pris conscience de cette particularité du savoir scientifique, si l'on pense à leur recours constant et répété à des analogies et des métaphores substantialistes.

Par ailleurs, notons tout d'abord au bénéfice des étudiants, qu'ils ont très certainement compris quelque chose à l'enseignement qu'ils ont suivi, puisqu'ils ont tous été jugés aptes à poursuivre des études universitaires dans des facultés exigeant de bons résultats en science (médecine, biologie, physique, chimie, etc.). On peut dès lors supposer qu'ils sont capables de faire un usage approprié des notions dans la solution des exercices proposés dans les examens. Sur un autre plan, on peut également affirmer qu'ils ont compris puisque les représentations qu'ils ont élaborées à propos des phénomènes abordés, et qui plus est, du contexte pédagogique dans lequel ils évoluaient, se sont avérées viables. Ainsi, les mêmes données interprétées de ce nouveau point de vue ne donnent pas lieu à des conclusions aussi troublantes, et l'on peut à la rigueur se demander si la première interprétation n'aboutit pas à un faux problème. En quoi le fait que ces sujets fournissent une interprétation réaliste et naïve des phénomènes pose-t-il un problème sur le plan didactique?

Cette interrogation peut être examinée sous plusieurs angles. Du point de vue épistémologique, qui est constitutif de l'objet même dont se réclame l'éducation à la science, les sujets interrogés manifestent bien peu de vigilance, et leurs représentations sont quelque peu anachroniques. Par ailleurs, si l'on admet que la réflexion épistémologique accroît l'acuité de toute pensée critique et que le développement de celle-ci fait partie des buts de l'éducation, on peut douter que ces sujets aient développé les compétences intellectuelles nécessaires à son exercice. En effet, il est difficile d'imaginer que ces derniers, pour lesquels il semble que l'explication dans les sciences se subsume dans une description littérale du monde sensible et qui, dans leurs discours, ne font jamais référence au concept de modèle, puissent prendre conscience du caractère construit et relatif des connaissances scientifiques. Ne risquent-ils pas alors, faute de pouvoir mettre à distance ces connaissances, d'être des scientifiques peu audacieux, ou même d'adopter des attitudes caractéristiques du scientisme?

L'interprétation épistémologique des données peut également être éclairante en ce qui touche à l'enseignement des sciences. Tout semble en effet se passer comme si les sujets avaient décodé le discours pédagogique en lui assignant une signification épistémologique inspirée d'une forme de réalisme-empirisme (Désautels et Larochelle, 1989), selon lequel la science trouverait ses objets tout faits dans une nature habitée par un ordre immanent.

Mais peut-il en être autrement? Les résultats récents de la recherche en didactique des sciences sont instructifs à ce propos. En effet, au cours des dix dernières années, les chercheurs se sont intéressés de près aux dimensions épistémologiques en jeu dans l'éducation à la science, et Duschl (1985) notamment en conclut que, pendant les vingt-cinq dernières années, l'enseignement des sciences et la philosophie des sciences se sont mutuellement ignorés. En fait, à

peu près tous les aspects de cet enseignement ont été analysés afin de cerner la ou les représentations de la science qui l'inspiraient: les représentations des enseignants (Collins, 1989; Ogunniyi, 1982), les représentations dans les programmes (Désautels, Anadon et Larochelle, 1988; Gordon, 1984), les représentations dans les manuels (Conseil des Sciences du Canada, 1984; Selley, 1989), les représentations véhiculées tant en classe qu'en laboratoire (Geddis, 1988; Lessard, 1989). Or, comme le souligne Hodson (1988), ce vaste ensemble d'études tend à montrer que l'enseignement des sciences est inspiré par une représentation empiriste, réaliste et dogmatique de la production des connaissances scientifiques. On y enseigne donc, la plupart du temps de manière implicite, que l'observation permet de découvrir objectivement (de façon neutre) des faits, ou encore que l'expérimentation permet de mettre au jour les lois de la nature, et ce, indépendamment de tout contexte théorique. Bref, la science y serait présentée comme une entreprise de divulgation du réel qui, au surplus, jouirait d'une immunité épistémologique à toute épreuve.

C'est dans ce contexte que les étudiants sont éduqués à la science et l'asepsie épistémologique qui le caractérise contribue de plus d'une façon à expliquer le développement de leurs représentations. Si l'on fait exception du discours préliminaire sur la présumée méthode scientifique, les étudiants ne sont pas informés du fait qu'ils sont invités à participer à un nouveau jeu de la connaissance fondé sur des postulats et des règles différents de ceux qui caractérisent le jeu de la connaissance commune. On ne peut donc pas leur reprocher d'interpréter le discours pédagogique et de se le rendre digeste dans les termes des connaissances qu'ils ont déjà élaborées. D'autre part, ce discours pédagogique, en n'étant pas lui-même assuré de ses propres fondements épistémologiques, participe au renforcement des croyances réalistes caractéristiques du sens commun.

En l'occurrence, initier les étudiants à la singularité et aux enjeux de la production du savoir scientifique n'est certes pas vain. De plus, n'est-ce pas là l'une des conditions essentielles pour participer de manière délibérée à la re-production de ce savoir?

NOTES

¹ Cette étude a fait l'objet de la thèse de doctorat de Benyamna (1987).

² La bibliographie élaborée par Pfundt et Duit (1991) témoigne bien de la fécondité de ce programme.

³ Voir notamment l'ouvrage dirigé par West et Pines (1985).

⁴ Les succès mitigés des stratégies visant à induire un conflit cognitif sont fort instructifs à ce propos. Voir Larochelle et Désautels, 1991.

RÉFÉRENCES

- Bachelard, G. (1977, 1951). *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*. Paris: Presses Universitaires de France.

- Benyamna, S. (1981). *Étude comparative des manifestations d'obstacles épistémologiques chez des enseignants du premier cycle du secondaire et des élèves des terminales scientifiques*. Thèse de maîtrise non publiée, Université Laval, Québec.
- Benyamna, S. (1987). *La prégnance du modèle particulière dans les représentations d'étudiants en science à l'égard de phénomènes naturels*. Thèse de doctorat non publiée, Université Laval, Québec.
- Berger, P. et Luckmann, T. (1986). *La construction sociale de la réalité*. Paris: Éditions Méridiens Klincksieck.
- Bouchard, G. (1984). *Le procès de la métaphore*. Québec: Éditions Hurtubise HMH.
- Clément, J.J. (1977). *The role of analogy in scientific thinking: Examples from a problem-solving interview*. Massachusetts: University of Massachusetts, Department of Physics and Astronomy.
- Clément, J.J. (1978). *Catalogue of spontaneous analogies generated by students solving physics-problems*. Massachusetts: University of Massachusetts, Department of Physics and Astronomy.
- Closset, J.-P. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de doctorat non publiée, Paris: Université de Paris 7.
- Collins, A. (1989). Assessing biology teachers: Understanding the nature of science and its influence on the practice of teaching. In D.E. Herget (Ed.), *The history and philosophy of science in science teaching. Proceedings of the First International Conference on History and Philosophy of Science in Science Teaching* (Vol. 1, pp. 61–71). Tallahassee: Florida State University.
- Conseil des Sciences du Canada (1984). *À l'école des sciences: la jeunesse canadienne face à son avenir*. Ottawa: Conseil des Sciences du Canada.
- Désautels, J., Anadon, M. et Larochelle, M. (1988). *Le culte de la science. Les programmes d'enseignement des sciences en question*. Québec: Université Laval, Laboratoire de recherches sociologiques.
- Désautels, J. et Larochelle, M. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Québec: Presses de l'Université Laval.
- Driver, R. (1983). *The pupil as scientist?* London, UK: Open University Press.
- Duschl, R.A. (1985). Science education and philosophy of science: Twenty-five years of mutually exclusive development. *School Science and Mathematics*, 85(7), 541–555.
- Einstein, A. et Infeld, L. (1938). *L'évolution des idées en physique. Des premiers concepts aux théories de la relativité et des quanta*. Paris: Éditions Flammarion.
- Geddis, A.N. (1988). Using concepts from epistemology and sociology in teacher supervision. *Science Education*, 72(1), 1–18.
- Gilbert, J.K. et Watts, M. (1983). Concepts, misconceptions and alternative conception: Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, 10, 61–98.
- Glaserfeld, E. von (1989). Préface. In J. Désautels et M. Larochelle (dir.), *Qu'est-ce que le savoir scientifique? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes* (p. 7–9). Québec: Presses de l'Université Laval.
- Gordon, D. (1984). The image of science, technological consciousness, and the hidden curriculum. *Curriculum Inquiry*, 14(4), 367–399.
- Grize, J.B. (1984). Une représentation des activités du discours. *Communication Information*, 6(2–3), 359–372.
- Grize, J.B. (1989). Logique naturelle et représentations sociales. In D. Jodelet (dir.), *Les représentations sociales* (p. 152–168). Paris: Presses Universitaires de France.

- Hills, G.L.C. (1989). Students' "untutored" beliefs about natural phenomena: Primitive science or commonsense? *Science Education*, 73(2), 155–186.
- Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1), 19–40.
- Jacobi, D. (1987). *Figurabilité et procédures de visualisation dans les discours de vulgarisation scientifique*. Québec: Université du Québec à Montréal.
- Jodelet, D. (1984). Réflexions sur le traitement de la notion de représentation sociale en psychologie sociale. *Communication Information*, 6(2–3), 15–41.
- Joshua, S. (1983). *Le schéma en électrocinétique: aspects perceptifs et aspects conceptuels. Quelques propositions pour l'introduction de la notion de potentiel*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Marseille.
- Kuhn, T. (1983). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Éditions Flammarion.
- Lakoff, G. et Johnson, N. (1985). *Les métaphores dans la vie quotidienne*. Paris: Éditions Minuit.
- Larochelle, M. et Désautels, J. (1991). "Of course, it's just obvious!" Adolescents' ideas of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 13(4), 373–389.
- Lessard, N. (1989). *Une étude ethnographique d'un laboratoire de chimie en contexte scolaire: activités expérimentales ou activités rituelles?* Thèse de maîtrise non publiée, Université Laval, Québec.
- Migne, R.J. (1976). La notion de représentation en éducation des adultes. *Pour*, 49, 21–37.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse, son image et son public*. Paris: Presses universitaires de France.
- Moscovici, S. (1984). De la science au sens commun. In S. Moscovici (dir.), *Psychologie sociale* (p. 539–566). Paris: Presses Universitaires de France.
- Muscari, P.G. (1988). The metaphor in science and in the science classroom. *Science Education*, 72(4), 423–431.
- Normand, C. (1976). *Métaphore et concept*. Paris: Presses universitaires de France.
- Ogunniyi, M.B. (1982). An analysis of prospective science teachers' understanding of the nature of science. *Journal of Research in Science teaching*, 19(1), 25–32.
- Pepper, S. (1966). *World hypotheses*. California: University of California Press.
- Pfundt, H. et Duit, R. (1991). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education* (3rd ed.). Kiel, Germany: Institute for Science Education.
- Piaget, J. et Garcia, R. (1983). *Psychogénèse et histoire des sciences*. Paris: Éditions Flammarion.
- Pope, M. (1982). Personal construction of formal knowledge. *Interchange*, 13(4), 3–14.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. et Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Selley, N.C. (1989). Philosophy of school science. *Interchange*, 20(2), 24–32.
- Solomon, J. (1986). Children's explanations. *Oxford Review of Education*, 12(1), 41–51.
- Stengers, I. (1986). L'histoire des sciences et comment servir. In *Sens et place des connaissances dans la société* (p. 117–145). Paris: Éditions du Centre National de la Recherche Scientifique.
- Strike, K. et Posner, G.J. (1983). On rationality and learning: A reply to West and Pines. *Science Education*, 67(1), 41–43.

- Tiberghien, A. (1976). Manipulations et représentations de circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, 34, 32–44.
- Tiberghien, A. (1989). Phénomènes et situations matérielles: quelles interprétations pour l'élève et le physicien? In N. Bednarz et C. Garnier (dir.), *Construction des savoirs: obstacles et conflits* (p. 93–102). Montréal: CIRADE [Centre interdisciplinaire de recherches sur l'apprentissage et le développement en éducation] et Agence d'Arc.
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris: Éditions Hermann.
- West, L.H. et Pines, L.A. (dir.) (1985). *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press.
-

Salah Benyamna enseigne à l'École Normale Supérieure de Takaddoum, Rabat (Maroc). Jacques Désautels est professeur au Département de didactique et Marie Larochelle est professeure au Département de psychopédagogie, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4.