

Les représentations sociales de l'atome chez des élèves français et grecs

Konstantinos Grivopoulos, Konstantinos Ravanis

kgrivop@upatras.gr, ravanis@upatras.gr

Laboratoire de la Didactique des Sciences, des Mathématiques et des TIC
Département des Sciences de l'Éducation (Section Préscolaire)
Université de Patras
Grèce

Résumé

Des processus représentatifs se déclenchent chez les élèves à propos des savoirs scolaires. Nous étudions les représentations sociales de l'atome, en contexte scolaire et, plus précisément, auprès d'élèves français et grecs de l'éducation générale. Connaître la structuration et le contenu sémantique d'une représentation permet de repérer des obstacles à l'apprentissage, mais également contribue à la mise au point du travail transpositif dans l'enseignement. La démarche méthodologique s'appuie sur l'analyse prototypique et catégorielle des représentations sociales. De la comparaison des résultats, nous concluons des convergences importantes, comme la confusion entre atome et molécule.

Mots clés : Atome, représentations sociales, transposition didactique, didactique comparée

Representaciones sociales del átomo en estudiantes franceses y griegos

Resumen

Se desencadenan procesos representativos en los alumnos respecto a los conocimientos escolares. Estudiamos las representaciones sociales del átomo, en un contexto escolar y, más concretamente, con estudiantes franceses y griegos de educación general. Conocer la estructuración y el contenido semántico de una representación permite identificar los obstáculos para el aprendizaje, pero también contribuye al desarrollo del trabajo transpositivo en la enseñanza. El enfoque metodológico se basa en el análisis prototípico y categórico de las representaciones sociales. De la comparación de los resultados, se concluyen importantes convergencias, como la confusión entre átomo y molécula

Palabras clave : Átomo, representaciones sociales, transposición didáctica, didáctica comparada

Social representations of the atom in French and Greek students

Abstract

Representative processes are triggered in students about what they know at school. We study the social representations of the atom, in the school context and, more specifically, with French and Greek pupils in general education. Knowing the structuring and semantic content of a representation allows us to identify obstacles to learning, but also contributes to the development of the work transposed into teaching. The methodological approach is based on the prototypical and categorical analysis of social representations. From the comparison of the results, we conclude important convergences, such as the confusion between atom and molecule.

Keywords: Atom, social representations, didactic transposition, comparative didactics

1. INTRODUCTION

En tant qu'objet socioculturel, le concept de l'atome et son cortège cognitif occupe, dans la tradition éducationnelle de la Grèce et de la France, une place emblématique pour de diverses raisons, semblables et différentes. Partout dans le monde, les contenus d'enseignement relatifs à l'atome jouent un rôle d'arsenal conceptuel de base, chez l'élève, pour quasiment toute la matière en physique et en chimie, dans les curricula des sciences. Historiquement et culturellement parlant, la problématique de la continuité de la matière naît en Grèce Antique il y a presque vingt-cinq siècles, avec la doctrine philosophique de l'atomisme, élaborée par les penseurs Leucippe (V^e siècle av. J.-C.) et son disciple Démocrite (460 – 370 av. J.-C.). Faisant partie du patrimoine culturel grec, l'étymologie du mot « atome » – du latin *atomus* qui vient du grec *atomos*, « qu'on ne peut couper », insécable, indivisible – est connue chez les élèves leur permettant d'établir le lien entre signifié et signifiant. Toutefois, un allophone n'en a pas de rapports linguistiques. Par ailleurs, en contexte francophone, tout élève devrait avoir entendu parler des lauréats de prix Nobel français en sciences : Pierre et Marie Curie et Antoine-Henri Becquerel – à propos de la radioactivité de certains éléments chimiques –, Jean Perrin dont les travaux ont décisivement contribué à la preuve de l'existence des atomes et, encore, Luis de Broglie qui a découvert la nature ondulatoire du micromonde (complémentaire à sa nature corpusculaire).

L'importance de cette recherche découle des raisons didactiques, mais aussi épistémologiques. Les premières se réfèrent aux pôles aussi bien « enseignant » que « savoir » dans la relation didactique. Pour l'enseignant, la connaissance des systèmes de représentation formés par ses élèves à propos d'une notion scientifique, un effet, etc., constitue un outil pédagogique incontournable (Johsua & Dupin, 1993 ; Ravanis, 2005 ; Boilevin, 2013). Étant donné que ces derniers ne pénètrent pas en classe « la tête vide », connaître leurs conceptions ou idées préalables à l'apprentissage permet d'approfondir dans leur pensée laquelle n'est guère structurée d'un amas d'opinions, stéréotypes, etc. empilés les uns sur les autres. Au contraire, l'enseignant se trouve confronté à un ensemble cohérent d'idées clairement structuré (Dollo, 2002), que nous abordons par un système de représentations sociales (RS), en raison de l'origine et élaboration sociétales de ces structures cognitives. Par ailleurs, le sens que les élèves y attribuent relève d'un moyen d'accueil du savoir, pouvant faire obstacle ou, à l'inverse, servir d'appui à l'enseignement et/ou à l'apprentissage (Legardez, 2004 ; Ravanis, 2010). Au-delà, l'enseignant se facilite, en premier temps, de distinguer « les conceptions qui pourront se mouler dans ce cadre [...] de celles qui, au contraire, feront obstacle ou encore qui seront neutres à cet égard » (Johsua & Dupin, 1993, p. 330) et, en second lieu, de construire une stratégie didactique en évitant des obstacles et en profitant d'appuis repérés dans les savoirs préalables des élèves. » (Legardez, 2004, p. 12). Et, lorsque l'enseignement tente d'enrichir la représentation initiale des élèves « en intégrant des éléments complexes, leurs interrelations mutuelles et les enjeux qui en découlent », se produit alors un nouveau système de représentations – connaissances (Barthes, Jeziorski & Legardez, 2014, p. 277).

Enfin, les raisons associées au pôle « savoir » et à l'épistémologie scolaire le soutenant renvoient à l'organisation curriculaire des contenus d'enseignement dans les deux systèmes éducatifs considérés. En effet, en contexte grec, le savoir autour de l'atome est à la fois dispensé par deux disciplines scolaires distinctes, la physique et la chimie. Plus exactement, la première étudie les effets physiques imputables à l'existence des atomes (par exemple, le changement des états de la matière, l'électricité, etc.), tandis que la seconde s'intéresse au comportement chimique des éléments lors de la formation des liaisons chimiques. En réalité, nous remarquons des effets de recouvrement entre ces disciplines, concernant, par exemple, la structure atomique. Tout au contraire, les programmes français suivent une approche unifiée des phénomènes de la matière inerte, sous le prisme d'une seule discipline, « physique – chimie ». Depuis la rentrée 2019 et l'application des nouveaux programmes (cf. Ministère de l'éducation nationale, B.O. de 2019), les manuels favorisent une progression spiralaire des connaissances suivant une organisation plutôt académique du savoir.

2. REVUE DE LITTÉRATURE

L'évolution des conceptions des collégiens en France, à propos du concept d'atome, a tiré l'intérêt de Charlet-Brehelin (1999). En premier lieu, il a été demandé à des élèves des classes de 4^e, n'ayant jamais eu d'enseignement en physique – chimie au collège, d'associer au mot « atome » des mots qui leur viennent spontanément à l'esprit. Le corpus récolté peut se regrouper en cinq catégories, selon l'auteure : applications nucléaires, connaissances scientifiques, applications techniques, domaine biologique et qualités des atomes. Ensuite, les élèves ont tenté de définir l'atome comme suit : « c'est une bombe », « fait les bombes », « éclate », « est un composant chimique ou de matière », « électronique ou d'électricité ». Des réponses du genre « c'est une particule », « le plus petit grain de matière » et « microscopique » sont moyennement évoquées, comme, d'ailleurs, celles relevant du vivant : « c'est une cellule » ou « un microbe ». Enfin, les dessins d'atome produits par les enquêtés évoluent au fur et à mesure de l'enseignement. Ainsi, les typologies initiales – éléments géométriques, sphériques ou atomes daltoniens, structures biologiques – aboutissent à des modèles plus sophistiqués, figurant la structure d'atome interne avec les constituants subatomiques.

Çökelez (2005) a pu dévoiler des représentations d'atome et de molécule plus élaborées, à propos de l'enseignement de la structure de la matière et de ses transformations, au lycée français. La structure interne, le modèle planétaire d'atome et la symbolisation abstraite (formules de Lewis) attirent la préférence des élèves en première scientifique et en terminale S. D'après Dumon et Çökelez (2006), la confusion entre atome et molécule est observée non pas seulement chez des élèves (de niveau collège et lycée), mais également chez les futurs enseignants du primaire. Très souvent, aussi, les atomes semblent être dotés des caractéristiques macroscopiques de la substance qu'ils forment. Par exemple, un morceau d'or est doré parce que chacun des atomes d'or l'est également. D'après la bibliographie portant sur les obstacles épistémologiques, ces convictions relèvent de l'obstacle épistémologique, dit « réaliste » (Anderson, 1990; Garnett & Hackling, 1995).

Concernant l'aspect quantique de l'atome, Dangur, Avargil, Peskin et Dori (2014) ont montré que des étudiants en premier cycle éprouvent des difficultés dans la distinction entre l'orbite déterminée et le concept d'orbitale, de nature probabiliste. La rupture épistémologique sous-jacente a été étudiée par Singh et Marshman (2015) qui ont constaté que si le caractère probabiliste du modèle de mécanique quantique est associé, d'après les enquêtés (étudiants en mécanique quantique aux États-Unis), au principe d'incertitude de Heisenberg, ceci n'est guère considéré comme une propriété intrinsèque au micromonde, mais comme une conséquence de l'imperfection des instruments d'expérimentation actuels.

En contexte grec, Zarkadis, Papageorgiou et Stamovlasis (2017) ont mené une recherche auprès d'élèves du secondaire (grades de scolarité 10^e et 11^e) afin d'étudier les modèles mentaux sur la structure atomique et la cohérence à l'intérieur de chacun attribuée par les sujets. Le modèle planétaire ou modèle de Bohr semble prédominer chez les apprenants qui, cependant, n'hésitent pas de combiner des éléments issus de différents modèles, lorsqu'il leur est demandé d'expliquer des effets quotidiens en rapport à la structure microscopique de la matière, telle l'évaporation. Les chercheurs concluent un manque de connaissances solides à propos de la portée des modèles atomiques élaborés par la science (cf., également, Ravanis, 2010), ainsi qu'un niveau de cohésion interne très faible, s'agissant d'un même modèle.

Enfin, dans une récente recherche auprès d'élèves marocains de 15-16 ans (grade de scolarité 10) sur les relations atome – ion, entre autres résultats, a été constaté que le 60 % des élèves peut distinguer entre la formule ou le symbole chimique d'un ion et d'un atome et peut comprendre clairement le sens physique en termes de perte et de gain d'électrons. Par contre, le 40 % propose des explications alternatives comme, par exemple, l'absence de distinction et de différenciation entre les atomes et les ions (Ouasri & Ravanis, 2020).

3. CADRE THÉORIQUE

Il est articulé des notions qui relèvent de deux champs scientifiques : didactique des sciences physiques et chimiques et psychologie sociale. Le concept de transposition didactique (Chevallard, 1994) émane de la problématique de la provenance du savoir scolaire et des formes qu'il revêt. Selon ces auteurs, les savoirs disciplinaires sont, en principe, produits en dehors de l'institution scolaire et subissent une série d'adaptations avant d'y pénétrer comme savoirs à enseigner, puis enseignés. De ce fait, la forme des objets scientifiques que produit la science n'est pas tout à fait la même avec elle des objets d'enseignement à l'école. Cette approche permet de distinguer entre les savoirs savants, les savoirs sociaux (Legardez, 2006), les savoirs à enseigner, les savoirs effectivement enseignés et, enfin, les savoirs appris par les élèves (Chevallard, 1994). Cependant, ces processus de transformation ne se réduisent, en aucun cas, à une simplification du savoir savant qui est issu de la sphère des chercheurs.

Notre objet de recherche a, également, trait à la psychologie sociale. L'épistémologie qui le sous-tend est le socio-cognitivism, c'est-à-dire, une articulation entre le cognitif et le social (sociogenèse des contenus représentationnels et dynamique de construction en fonction des dynamiques

sociales et de communication, en référence à Moscovici). D'après l'hypothèse phénoménologique interactionniste, la réalité est socialement construite, partagée et transformée dans les pratiques et les interactions quotidiennes, multiples et éphémères, à savoir modelée par un système représentationnel dynamique qui régit le fonctionnement de l'individu (subjectivité de la réalité), dans un contexte social, historique, culturel et physique donné. Le concept heuristique de représentation sociale désigne « une manière d'interpréter le monde et de penser notre réalité quotidienne », souligne Moscovici (1984, p. 360). Selon Jodelet (1989, p. 53), les RS constituent une « forme de connaissance socialement élaborée et partagée, ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une vision de la réalité commune à un ensemble social. » En outre, Vergès (1995) insiste sur l'articulation « collectif – individuel » et remarque que les RS permettent « d'envisager dans le même mouvement, d'une part les déterminations collectives et, d'autre part, la liberté de choix et de création de l'acteur social. » (p. 28). Dans cette approche, nous adhérons à l'approche structurale des RS, développée par l'École Aixoise (Vergès, 1994, 1995 ; Abric, 1994, 2003 ; Flament, 1996), selon laquelle une RS s'organise en un double système sociocognitif, central et périphérique : le noyau central étant son élément fondamental qui lui assure sa signification, sa cohésion et sa stabilité ; le système périphérique constitue sa partie la plus accessible, la plus concrète et, à la fois, la plus mouvante dans son processus d'évolution.

4. CADRE MÉTHODOLOGIQUE

En raison de son approche comparatiste, la recherche est menée auprès de deux sous-groupes d'élèves, français et grecs, chez lesquels un double processus représentationnel – sociétal et, en même temps, éducationnel – par rapport à l'atome a été déjà déclenché. Les questions de recherche peuvent être formulées comme suit :

- A. Quel est le contenu sémantique et l'architecture des RS de l'atome, que les deux sous-ensembles d'enquêtés établissent-ils ?
- B. Quelles informations peut-on tirer de la comparaison entre les deux systèmes de représentation étudiés ?

Pour y répondre, nous avons élaboré un questionnaire-type des RS (cf. plus bas). Cet outil est composé de deux questions destinées à un ensemble de 616 élèves (autant de questionnaires exploitables) répartis entre la quatrième de collège et les classes de seconde et de terminale du lycée général. Plus précisément, cet échantillon englobe 303 français, fréquentant des établissements des Bouches du Rhône et 313 grecs, scolarisés dans la région d'Étolie et Acarnanie. À l'intérieur des deux sous-groupes, celui des français est composé de 102 élèves en classes de 4^e de collège (8^e grade de scolarité), 102 en seconde (10^e grade) et 99 en terminale hors-série de baccalauréat S (12^e grade). Parmi les élèves grecs, 104 sont scolarisés en 8^e grade, autant en 10^e et 105 en 12^e (hors-série S). Les questions posées aux sujets sont les suivantes :

Question 1¹

(a) Peux-tu écrire de 3 à 5 mots ou courtes expressions qui te viennent spontanément à l'esprit quand tu penses à l'atome ?

(b) Peux-tu hiérarchiser ces mots du plus important, plus significatif par rapport à l'atome, en leur attribuant les chiffres 1, 2 et ainsi de suite ?

Question 2

À partir du tableau ci-dessous et d'après ton point de vue, peux-tu sélectionner :

(a) Cinq propositions qui caractérisent le mieux l'atome : .../ .../ .../ .../ .../

(b) Cinq propositions qui caractérisent le moins l'atome : .../ .../ .../ .../ .../

(Range-les de la plus importante à la moins importante).

1. l'atome, c'est la molécule	6. il n'est que dans les laboratoires de chimie	11. il est rond
2. l'atome contient de l'énergie	7. tous les atomes sont identiques, tous pareils	12. aussi petit que la cellule
3. l'atome est composé d'autres constituants	8. l'atome, c'est le composant de tout	13. bombe atomique
4. il est indivisible	9. il n'est que dans l'air	14. l'atome s'est créé sur Terre
5. l'espace entre les étoiles est plein d'atomes	10. l'atome est formé par des molécules	15. les atomes émettent de la lumière

Ensuite, nous nous attachons à circonscrire le traitement des réponses récoltées qui est effectué à l'aide des logiciels EXCEL 2010©, SPSS 16© et des programmes SIMI 2000© et EVOC 2005© qui sont plus spécifiques des RS.

1. La question 1 et, plus exactement, la sous-question A, appelée évocation hiérarchisée, vise à nous informer sur le contenu et la structure de la RS. Il s'agit d'une technique associative libre qui, dans un premier temps, consiste, à partir d'un mot inducteur de départ (atome, en l'occurrence), à demander au participant d'y associer des mots qui lui semblent les plus représentatifs et de les hiérarchiser d'après un critère d'importance. La conjonction de la fréquence de citation (indicateur collectif) et du rang moyen d'importance (indicateur plus individuel) pour chaque élément de ce corpus conduit à la structure suivante :

	Rang moyen faible	Rang moyen fort
--	--------------------------	------------------------

¹ Dans un premier temps, seule la question 1 a été passée aux participants. Une fois les réponses recueillies, nous avons administré la seconde question.

Fréquence forte	Case 1 zone du noyau central	Case 2 1 ^{re} périphérie (proche)
Fréquence faible	Case 3 éléments contrastés	Case 4 2 ^e périphérie (lointaine)

Tableau 1. Analyse des évocations hiérarchisées

Dans cette configuration, la case 1 contient des éléments saillants et potentiellement centraux de la RS. Les cases 2 et 4 regroupent les éléments périphériques (plus importants / peu importants, respectivement). Quant au contenu de la case 3, de saillance à la fois majoritaire sur le rang² et minoritaire sur la fréquence, peut témoigner de l'existence d'un sous-groupe porteur d'une représentation différente. Selon Vergès (1994), les cases 2 et 3 constituent la « zone potentiellement déséquilibrante, source de changement » (p. 238) dans la RS en ce sens où elles illustreraient une interaction entre le noyau et la périphérie proche. D'après Flament (1994), les éléments périphériques saillants (*i.e.* ceux de la case 2), plus fréquentés que ceux de la case 3, correspondent mieux à l'hypothèse de changement du noyau.

Suit l'étape de catégorisation (à partir de la sous-question B), selon laquelle le chercheur regroupe sémantiquement les induits autour de quelques notions prototypiques, sur des critères plutôt subjectifs intrinsèques à la problématique de recherche, à son rapport cognitif à l'objet, etc. L'entrecroisement des fréquences avec les rangs moyens calculés pour ces notions prototypiques fournit une nouvelle distribution (cf. graphe 1). Les résultats de cette méthode, dite analyse prototypique et catégorielle (Vergès, 1992), se produisent moyennant EVOC 2005©.

2. La question 2, ladite de caractérisation (Flament, 1996), permet d'estimer le degré de centralité d'un élément donné, parce qu'elle offre un indice de centralité pour un nombre d'items proposés en les distinguant aux centraux et aux périphériques dans l'architecture de la représentation. De plus, elle permet de minimiser les effets de contexte selon lesquels les élèves, en vue de la question d'évocation, cherchent plutôt à anticiper les « bonnes réponses pour le professeur », altérant (le cas échéant) la représentation véritable qu'ils se font de l'objet étudié. Les items élaborés et proposés aux participants peuvent représenter des aspects scientifique, technologique, éthique, sociale, économique de l'objet, et, en général, sont issus de l'étape de la pré-enquête, ainsi que d'un survol de la littérature spécialisée. Pour calculer leur score de représentativité et tracer les courbes de centralité (cf. graphes 4-9), nous leur attribuons les codes de 3 à 1, selon qu'ils sont classés par participant parmi les modalités suivantes : « plus caractéristique », « non choisi » et « moins caractéristique », alternativement. Le traitement d'ensemble s'effectue moyennant les logiciels SIMI 2000© et SPSS 16©. La distribution des résultats – à savoir, la fréquence de chacune de ces modalités – varie d'un item à l'autre et peut être caractérisée par la forme de la courbe. Plus spécifiquement et selon Vergès (2001) :

² Un item majoritairement placé parmi les premiers dans la hiérarchie obtient une valeur faible dans le rang moyen, tandis qu'un autre situé en dernière position, donc peu significatif, a une valeur élevée.

- une courbe en « J » donne le profil des éléments centraux (cf. graphes 4, 5) ;
- une courbe en « cloche » correspond aux éléments périphériques éloignés ou sans rapport avec la RS (cf. graphes 8, 9) ;
- enfin, une courbe en « U » (cf. graphe 7) témoigne d'un élément contrasté et, subséquentement, d'une dichotomie de la population à l'égard de l'item examiné, donc, d'une dissonance sur son degré de centralité dans la RS.

À souligner au passage que la méthodologie mise en œuvre, inhérente à l'approche du noyau central, permet le repérage des éléments consensuels qui composent la représentation en question, mais ne se prononce cependant pas sur sa dynamique ni les processus de prise de position des individus. Cet aspect nécessite une autre analyse basée sur la technique des principes organisateurs. Par la suite, nous procédons à la présentation des résultats en même temps avec leur discussion.

5. RÉSULTATS ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Question de recherche A

Cette partie est articulée comme suit : pour chacun des deux sous-groupes d'enquêtés, en premier temps (sous-question A), nous fournissons le tableau des évocations produites par les élèves ; en second temps, le tableau de prototypicalité accompagné du graphe de distribution rang – fréquence et, enfin, le graphe comparatiste pour les deux échantillons.

(a) Sous-question de recherche A, sous-groupe grec. Les 313 élèves grecs ont au total associé au stimulus « atome » 296 mots différents en 1326 reprises, soit 4,24 induits par individu, en moyenne. Cette récolte d'induits étant assez abondante, nous avons déterminé – selon un choix méthodologique – le seuil de la fréquence à partir de dix ($f = 10$), afin d'éditer le tableau suivant :

Fréquence ≥ 20 / Rang Moyen $\leq 2,40$		Fréquence ≥ 20 / Rang Moyen $> 2,40$	
cellule	20 / 2,40	bombe atomique	20 / 2,85
chimie	49 / 2,22	composé	22 / 2,73
noyau	136 / 1,90	molécule	112 / 2,62
		neutron	103 / 3,58
		physique	23 / 2,78
		proton	109 / 2,95
		électron	135 / 2,88

Fréquence < 20 / Rang Moyen $\leq 2,40$		Fréquence < 20 / Rang Moyen $> 2,40$	
corpuscule	13 / 2,23	Einstein	11 / 2,82
science	13 / 2,23	couches	11 / 3,46
élément_		désagrégation d'atome	14 / 2,64
chimique	13 / 2,31	ion	18 / 3,06
		numéro atomique	15 / 2,73
		organisme	11 / 2,82

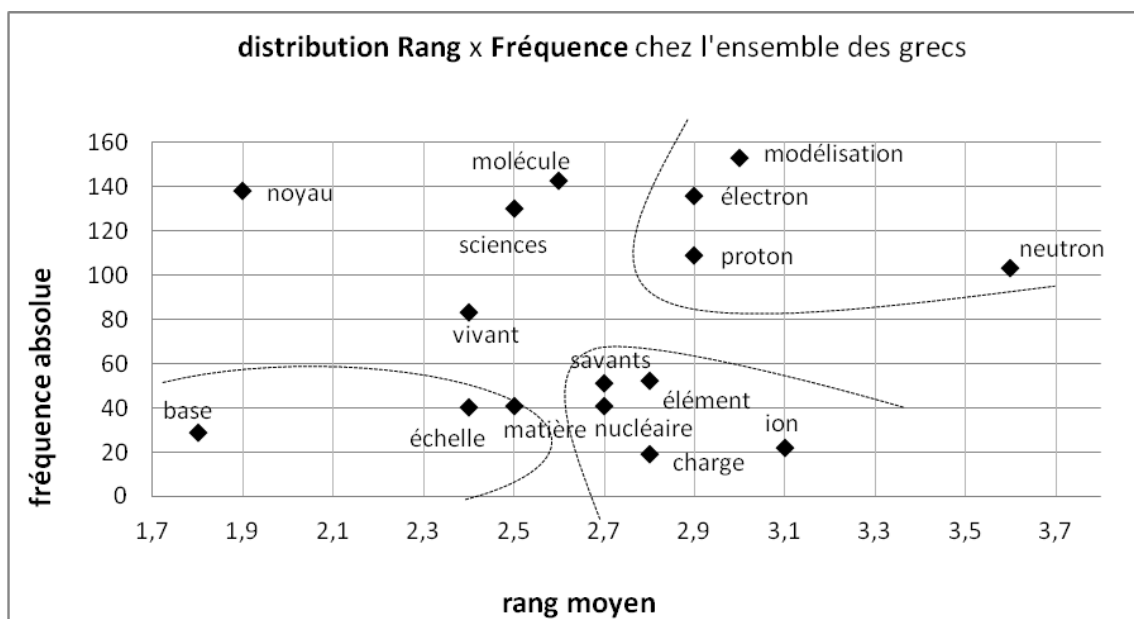
Tableau 2. Répartition du corpus d'ensemble grec (fréquence absolue et rang moyen par item).

La fusion de tous les items (au nombre de 296) autour d'un certain nombre de notions prototypiques conduit au tableau 3 :

Fréquence (f)	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,5$)	RM fort ($> 2,5$)
f élevée $f \geq 100$	Case 1 noyau (138 / 1,9) sciences (130 / 2,5)	Case 2 molécule (143 / 2,6) électron (136 / 2,9) proton (109 / 2,9) modélisation (153 / 3,0) neutron (103 / 3,6)
f faible $f < 100$	Case 3 base (29 / 1,8) échelle (40 / 2,4) vivant (83 / 2,4) matière (41 / 2,5) social (36 / 2,4)	Case 4 savants (51 / 2,7) nucléaire (41 / 2,7) élément (52 / 2,8) charge (19 / 2,8) ion (22 / 3,1)

Tableau 3. Analyse prototypique de la représentation sociale, chez le sous-groupe grec. (Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen).

Le graphe suivant offre une illustration de ces données (Graphe 1) :



Graphe 1. Structure de la représentation chez les grecs

En fonction de leur déplacement, les notions prototypiques dans ce graphe se distinguent en quatre blocs qui correspondent aux quatre cases du tableau 1. Par conséquent, les termes, principalement « noyau » et secondairement « sciences », ont la plus forte probabilité de constituer le noyau central de la RS. Les deux autres à proximité, i.e. « molécule » et « vivant », se situent à la lisière de la zone centrale et, plus particulièrement, le « vivant », avec un rang plus faible, menace de pénétrer dans le noyau central, avec comme conséquence l'altération de la RS et sa transformation radicale. En plus, le terme « molécule » se trouve très fréquemment cité, ce qui peut signaler une confusion entre les concepts d'atome et de molécule chez les participants. Ensuite, les constituants de l'atome – proton, neutron et électron – avec les induits regroupés sous la notion prototypique « modélisation » (rassemblant, notamment, les divers modèles scientifiques d'atome historiquement apparus) occupent d'emblée la périphérie proche de la RS. Il est à noter que la « modélisation » s'avère être une catégorie éminemment évoquée par les grecs. Au contraire, l'aspect nucléaire de l'atome et l'idée de brique ultime de la matière ne paraissent pas si significatifs chez eux. Enfin, la place régressive de la catégorie « élément » nous permet de supposer que la distinction entre cette notion chimique et celle d'atome est plutôt établie.

(b) Sous-question de recherche A, sous-groupe français. Les 303 élèves ont fourni 300 mots en 1306 occurrences, c'est-à-dire 4,31 induits en moyenne, montant comparable à celui observé auprès des grecs. Le seuil de fréquence étant, également, défini à dix, le tableau des évocations produites par les élèves français prend la forme suivante (Tableau 4) :

	cellule	20 / 2,80	
	chimie	40 / 2,73	
	ion	22 / 3,05	
matière	27 / 2,04	neutron	74 / 3,22
microscopique	20 / 2,20	nucléaire	30 / 2,47
molécule	102 / 1,99	nucléon	33 / 3,06
noyau	58 / 1,85	physique	35 / 2,47
		proton	73 / 2,93
		science	32 / 2,47
		électron	104 / 2,57
	Fréquence < 20 / Rang Moyen ≤ 2,40	Fréquence < 20 / Rang Moyen > 2,40	
		Einstein	14 / 3,29
		bombe atomique	16 / 2,63
		carbone	15 / 3,40
atomique	12 / 2,33	fusion	12 / 3,50
infinitement petit	11 / 2,18	hydrogène	10 / 3,30
		oxygène	10 / 3,60
		particule	12 / 2,42
		petit	11 / 3,09
		énergie	14 / 2,71

Tableau 4. Répartition du corpus d'ensemble français (fréquence absolue et rang moyen par item).

À l'étape suivante, les 300 items produits sont catégorisés à partir d'un certain nombre de notions prototypiques. Ainsi, il ressort une nouvelle structure (Tableau 5). Cette répartition peut se transformer sous forme imagée (Graphe 2).

Les labels « molécule », « sciences » et « électron » sont considérés représenter le noyau central de la RS, puisque celui de « noyau (d'atome) », même très tôt placé dans la hiérarchie, n'obtient qu'une fréquence plutôt faible et constitue un élément dichotomique. Par contre, le « nucléaire » (thème toujours d'actualité dans le débat public en France) arrive en périphérie proche, tandis que les « proton » et « neutron » s'éloignent vers la périphérie lointaine de la RS.

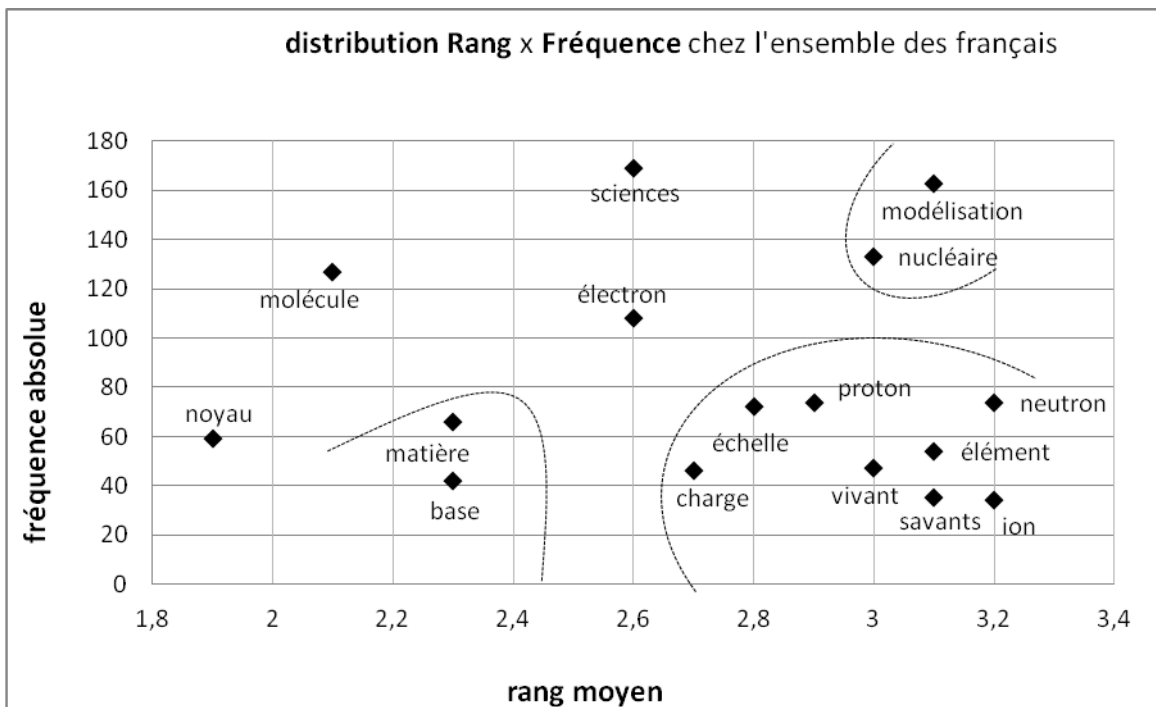
Fréquence ≥ 20 / Rang Moyen ≤ 2,40	Fréquence ≥ 20 / Rang Moyen > 2,40
---	--

Pour avoir un aspect comparatif entre les items homologues (Graphe 3), nous avons superposé les deux distributions (cf. Graphes 1 et 2).

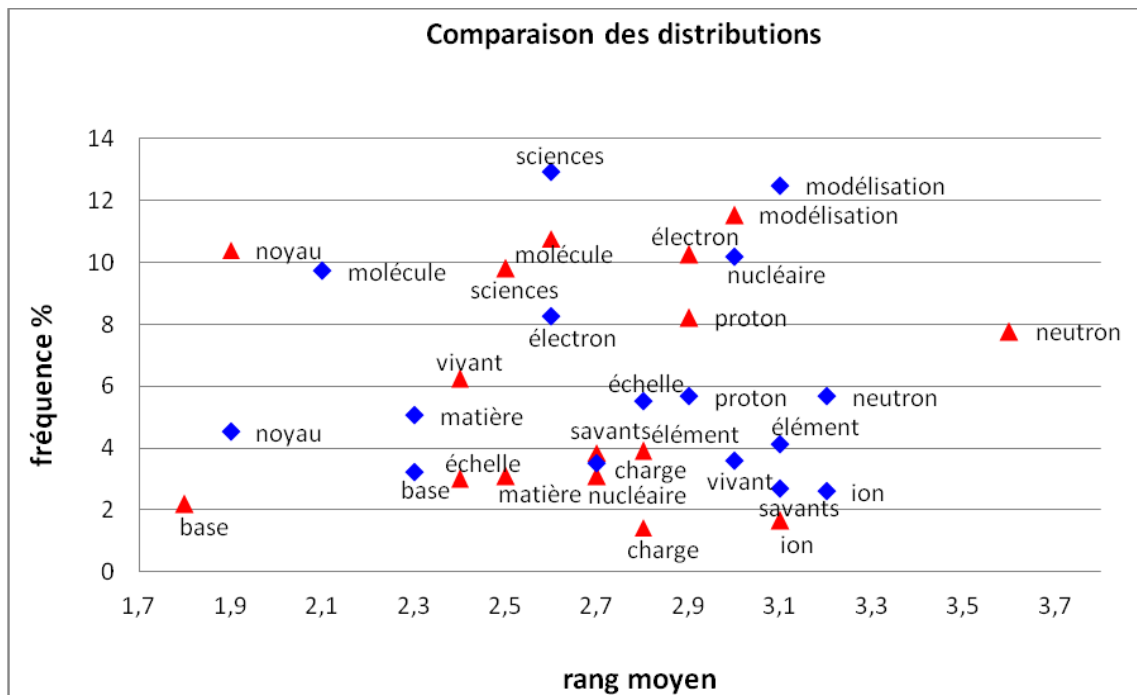
Fréquence f	Rang moyen RM	
	RM faible ($\leq 2,6$)	RM fort ($> 2,6$)
f élevée f ≥ 100	Case 1 molécule (127 / 2,1) sciences (169 / 2,6) électron (108 / 2,6)	Case 2 modélisation (163 / 3,1) nucléaire (133 / 3,0)

	Case 3	Case 4
f faible f < 100	noyau (59 / 1,9) matière (66 / 2,3) base (42 / 2,3)	échelle (72 / 2,8) charge (46 / 2,7) proton (74 / 2,9) vivant (47 / 3,0) savants (35 / 3,1) élément (54 / 3,1) neutron (74 / 3,2) ion (34 / 3,2)

Tableau 5. Analyse prototypique de la représentation sociale, chez le sous-groupe français. (Entre parenthèses, la fréquence absolue, suivie du rang moyen).



Graphe 2. Structure de la représentation chez les français



Graph 3. Mise en commun des distributions à propos des deux ensembles (FR : ◆ ; GR : ▲)

D'après la comparaison, nous observons que :

1. Les notions prototypiques « sciences » et « noyau », chez les grecs, ainsi que « sciences », « électron » et, le cas échéant, « molécule », chez les français, matérialisent la zone centrale des deux systèmes de représentation, respectivement ;
2. Les notions « molécule », notamment pour les français et « vivant » pour les grecs se situent à proximité de la zone du noyau (voire à l'intérieur) ;
3. Les constituants du noyau atomique (proton et neutron) occupent la périphérie proche, chez les deux sous-groupes, tandis que l'item « nucléaire » paraît significativement plus fort chez les français ;
4. Les décalages entre les positions des deux « modélisations » et des deux « éléments » demeurent les plus petits, pour les deux sous-groupes ;
5. Les notions prototypiques « base », « échelle », « matière », « ion », « charge » et « savants », toutes placées en périphérie prennent des valeurs plus ou moins similaires dans les deux cas.

Question de recherche B

Le tableau de représentativité en dessous, édité par le programme SIMI 2000, donne les scores des trois modalités par item :

Items	plus carac.		non choisi		moins carac.	
	GR	FR	GR	FR	GR	FR
molécule	27,2	31,0	40,4	38,3	32,4	30,7
énergie	67,7	66,7	29,4	21,1	8,9	12,2
pas élémentaire	46,3	61,1	39,0	29,4	14,7	9,6

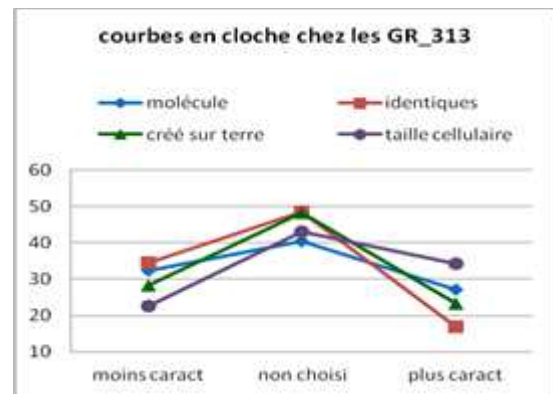
indivisible	46,3	43,2	30,2	30,4	23,5	26,4
pullulent espace	55,1	19,5	34,0	52,8	10,9	27,7
qu'en laboratoire	4,2	4,6	18,8	27,7	77,0	67,7
identiques	16,9	12,3	48,6	41,4	34,5	46,4
compose tout	74,8	67,3	16,3	22,4	8,9	10,2
que dans l'air	6,1	9,2	19,5	28,7	74,4	62,0
contient molécules	41,5	39,3	35,8	28,7	22,7	22,8
rond	17,9	37,3	33,5	26,1	48,6	36,6
taille cellulaire	34,2	35,0	43,1	38,9	22,7	26,1
bombe	28,8	39,6	28,1	23,1	43,1	37,3
créé sur terre	23,3	17,5	48,2	47,2	28,4	35,3
émet lumière	15,0	16,2	36,7	35,0	48,2	48,8

Tableau 6. Représentativité des items de caractérisation, chez les deux sous-groupes

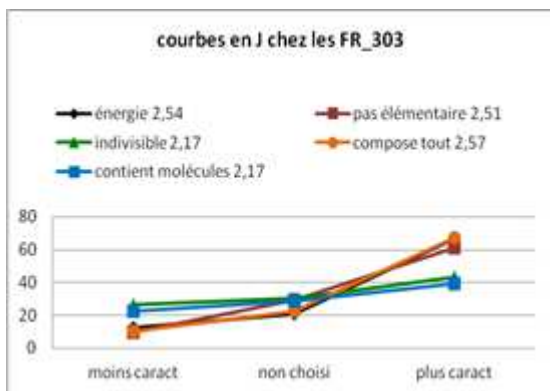
Pour visualiser ces résultats, nous avons construit les courbes de centralité pour les deux sous-ensembles des participants (Graphes 4-9):



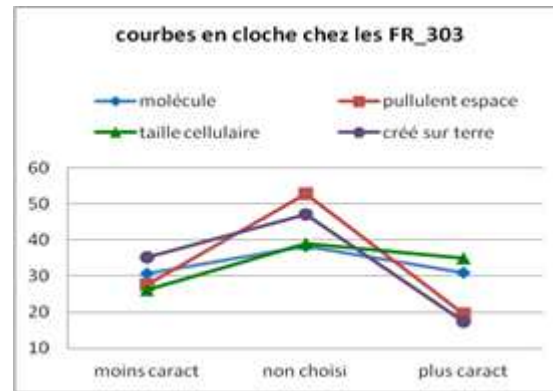
Graphe 4. Éléments représentatifs



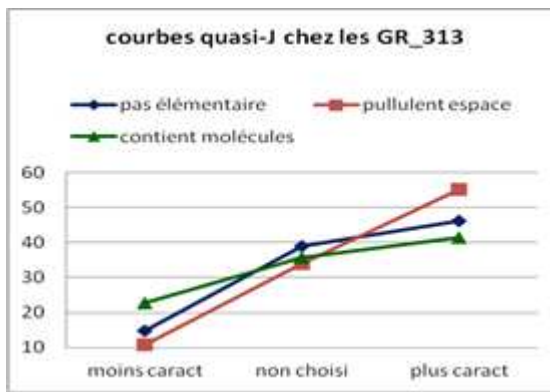
Graphe 8. Éléments périphériques



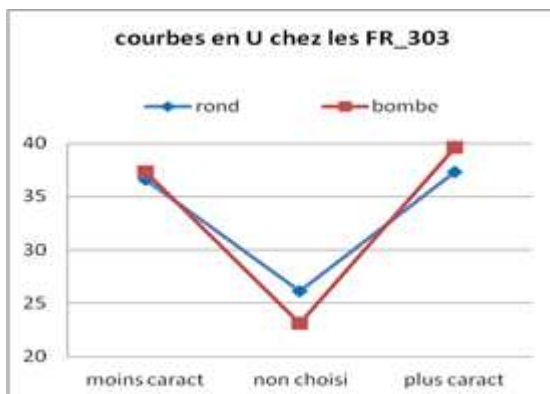
Graphe 5. Éléments représentatifs



Graphe 9. Éléments périphériques



Graphe 6. Éléments plutôt représentatifs



Graphe 7. Éléments dichotomiques

Nous remarquons que les deux sous-groupes manifestent un comportement comparable face au classement des items proposés. La signification de la représentation qu'ils se font de l'atome combine des éléments issus, aussi bien, d'un aspect corpusculaire de la matière et du modèle d'atome daltonien (qui est privé de structure interne). D'autres éléments saillants renvoient aux effets énergétiques de l'atome. Enfin, il est à noter que les items qui restent (cinq pour les GR et quatre pour les FR) forment des courbes qui peuvent être rapprochées de la figure « J », à savoir, corrélée avec la courbe en J par symétrie orthogonale par rapport à la verticale. Ces items sont considérés n'ayant aucun rapport avec l'atome, selon les sujets interrogés.

Pour récapituler, l'architecture de la RS chez les deux sous-groupes est compatible au modèle du noyau central (cf. tableau 1). Effectivement, un espace significatif peut être distingué – englobant « noyau » et « sciences », pour tous et « molécule » pour les français –, lequel se trouve contourné d'un système périphérique. La périphérie proche est définie par des éléments de la modélisation d'atome, pour les deux sous-ensembles. Il est, également, remarquable que l'aspect énergétique de l'atome se place, de manière favorable par les français, dans la périphérie étroite de la RS. De cette image représentationnelle (produite spontanément), il ressort que « molécule » et « vivant » constituent des éléments cognitifs pouvant altérer le noyau central, donc la RS entière. Parmi les items proposés aux sujets, les quatre suivants, « énergie », « compose tout », « pas élémentaire » et « indivisible », arrivent aux premiers rangs pour tous et inversement pour les deux, « que dans l'air », « qu'en labo ». Enfin, les graphes de représentativité laissent identifier l'idée fautive des élèves que

l'atome contient des molécules, une idée qui semble reculer au fur et à mesure des enseignements. Cet obstacle didactique reflète la difficulté des élèves de hiérarchiser, selon le critère de dimension, des objets inertes et organiques invisibles à l'œil nu. Tout au contraire, l'obstacle didactique lié à la confusion entre atome et molécule se manifeste persistant et récurrent dans les recherches. Son origine pourrait émaner – supposons-nous – de la représentation iconique utilisée par l'enseignant ou le manuel scolaire, à propos des gaz nobles dont l'entité élémentaire est la molécule monoatomique, caractérisée (d'après un langage pas rigoureux, imprécis) tantôt atome, tantôt molécule.

6. CONCLUSION

Notre démarche s'inscrit dans une perspective de prise en compte des RS en didactique des sciences physiques et chimiques. L'exploitation de ce concept dans les recherches en éducation permet au chercheur de procéder à des comparaisons aussi bien au plan synchronique, par la comparaison simultanée auprès de différents groupes d'apprenants, que diachronique, par l'évolution temporelle du système représentationnel examiné. Par ailleurs, étudier les RS s'avère être une démarche méthodologique heuristique, pour des raisons de scientificité et d'utilité. Effectivement, discuter la nature des éléments centraux et périphériques dans les savoirs préalables des élèves à des situations didactiques portant sur des objets d'enseignement permet de réfléchir sur les conditions de l'apprentissage et de la transformation des connaissances sociales en connaissances scolaires par le truchement des processus transpositifs. Quoi qu'il s'agisse de la phase interne ou externe de la transposition mise en œuvre, ces processus deviennent de plus en plus importants et exigibles chaque fois où est opéré l'enseignement d'un objet épistémique qui a subi des ruptures épistémologiques remarquables, à travers l'histoire de la pensée scientifique. En l'occurrence et d'après les démarches d'actualisation des Programmes de physique – chimie, peut-on envisager que très prochainement le modèle paradigmatique de « l'atome quantique moderne » y sera incorporer, ce qui est depuis quelque temps effectué dans les Programmes grecs de chimie des terminales. Par contre, les Programmes français mettent emphatiquement l'accent sur l'aspect du « nucléaire ». D'ailleurs, cet aspect fait l'objet d'un débat public au pays autour de la question globale du développement durable (énergie nucléaire, déchets nucléaires, etc., Grivopoulos, 2013 ; 2014).

En effet, nous assistons à un processus d'écologie didactique (Chevallard, 2002), caractérisé par l'émergence de nouvelles connaissances – liées à des enjeux éducatifs, sociétaux, même politiques, telle la démocratie participative – et l'obsolescence d'autres, déjà dépassées, qui pourrait interpeller les représentations des élèves. Par conséquent, la réalisation d'une nouvelle étude du genre mesurerait, par exemple, pour des raisons d'évaluation, le degré du changement observé dans le système représentationnel en question. De surcroît, le travail transpositif doit prendre en compte l'existence éventuelle de représentations emboîtées (Vergès, 1992) à propos d'autres objets épistémiques, cognitivement associés à l'objet de recherche, tels « molécule », « élément chimique » et « cellule », quant à notre cas exemplaire.

7. RÉFÉRENCES

- Abric, J.-C. (1994). *Pratiques sociales et représentations*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Abric, J.-C. (2003). *Méthodes d'étude des représentations sociales*. Ramonville Saint-Agne : Érès.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, 18, 3-85.
- Barthes, A., Jeziorski, A., et Legardez, A. (2014). Représentations sociales du développement durable d'étudiants français, allemands et polonais en Master « Études Européennes ». Dans A. Diemer et C. Marquat (dirs.), *Éducation au développement durable : enjeux et controverses* (pp. 273-284). Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Boilevin, J.-M. (2013). *Rénovation de l'enseignement des sciences physiques et formation des enseignants. Regards didactiques*. Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Charlet-Brehelin, D. (1999). *Contribution à l'enseignement – apprentissage du concept d'atome au collège*. Thèse de doctorat, Université de Montpellier 2, Montpellier, France. Récupéré de : <http://www.theses.fr/1999MON20212>
- Chevallard, Y. (1994). Les processus de transposition didactique et leur théorisation. Dans G. Arsac, Y. Chevallard, J. L. Martinand et A. Tiberghien (Dirs.), *La transposition didactique à l'épreuve* (pp. 135-180). Grenoble : La Pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (2002). *Organiser l'étude : 3. Écologie et régulation*. Récupéré de : http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=53
- Çökelez, A. (2005). *Le registre des modèles (atome, molécule, ion, liaison chimique) dans l'enseignement de la matière et ses transformations au lycée. Du savoir de référence au savoir appris*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 2, Bordeaux, France. Récupéré de : <http://www.theses.fr/2005BOR21198>
- Dangur, V., Avargil, S., Peskin, U., & Dori, Y.-J. (2014). Learning quantum chemistry via a visual-conceptual approach: students' bidirectional textual and visual understanding. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 297-310.
- Dollo, C. (2002). *La prise en compte des représentations des élèves dans l'enseignement des SES et dans la formation des professeurs de sciences économiques et sociales*. Communication présentée à Congrès Formation des enseignants : permanences, changements, tensions actuelles. Analyses comparées, Caen, France. Récupéré de : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01742990/document>
- Dumon, A., & Çökelez, A. (2006). La cohésion de la matière. Une approche historique. *L'Actualité Chimique*, 297, 49-56.
- Flament, C. (1994). Aspects périphériques des représentations sociales. Dans C. Guimelli (Dir.), *Structures et transformations des représentations sociales* (pp. 85-118). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

- Flament, C. (1996). Les valeurs du travail, la psychologie des représentations sociales comme observatoire d'un changement historique. Dans J.-C. Abric, (Ed.), *Exclusion sociale, insertion et prévention* (pp. 113-124). Saint-Agne : Erès.
- Garnett, P.-J., & Hackling, M.-W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Grivopoulos, K. (2013). Représentations sociales des nanosciences et nanotechnologies chez des lycéens. *Éducation et Socialisation*, 33. Récupéré de : <https://journals.openedition.org/edso/86>
- Grivopoulos, K. (2014). *Étude comparative des représentations sociales de l'atome, en milieu scolaire en France et en Grèce, en collaboration avec sa transposition didactique de 1945 à 2014*. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille, Marseille, France. Récupéré de : <http://www.theses.fr/2014AIXM3087>
- Jodelet, D. (1989). Représentations sociales : un domaine en expansion. Dans D. Jodelet, (Ed.), *Les représentations sociales* (pp. 47-78). Paris : Presses Universitaires de France.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Legardez, A. (2004). L'utilisation de l'analyse des représentations sociales dans une perspective didactique : L'exemple de questions économiques. *Revue des Sciences de l'Éducation*, 3(30), 647-665.
- Legardez, A. (2006). Enseigner des questions socialement vives. Quelques points de repères. Dans A. Legardez et L. Simonneaux (Dir.), *L'école à l'épreuve de l'actualité. Enseigner des questions vives* (pp. 19-31). Paris : ESF.
- Ministère de l'Éducation nationale de France. (2019). Bulletin officiel spécial n°1 du 22 janvier 2019. Récupéré de : https://www.education.gouv.fr/pid285/bulletin_officiel.html?pid_bo=38502
- Moscovici, S. (1984). *Psychologie Sociale*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Ouasri, A., & Ravanis, K. (2020). Apprentissage des élèves de collège marocain du concept d'ion en lien avec la trame conceptuelle (atome, molécule, électron, charge). *European Journal of Alternative Education Studies*, 5(1), 71-94.
- Ravanis, K. (2005). Les Sciences Physiques à l'école maternelle : éléments théoriques d'un cadre sociocognitif pour la construction des connaissances et / ou le développement des activités didactiques. *International Review of Education*, 51(2/3), 201-218.
- Ravanis, K. (2010). Représentations, Modèles Précurseurs, Objectifs – Obstacles et Médiation – Tutelle : concepts-clés pour la construction des connaissances du monde physique à l'âge de 5-7 ans. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 5(2), 1-11.
- Singh, C., & Marshman, E. (2015). Review of student difficulties in upper-level quantum mechanics. *Physical Review Physics Education Research*, 11(2), 020117.
- Récupéré de : <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020117>
- Vergès, P. (1992). *L'évocation de l'argent : une méthode pour la définition du noyau central d'une représentation*. *Bulletin de Psychologie*, XLV(405), 203-209.
- Vergès, P. (1994). Approche du noyau central : propriétés quantitatives et structurales. Dans C. Guimelli, (Ed.), *Structures et transformations des représentations sociales* (pp. 233-254). Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Vergès, P. (1995). Représentations sociales partagées, périphériques, indifférentes, d'une minorité : méthodes d'approche. *Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale*, 28, 77-95.
- Vergès, P. (2001). L'analyse des représentations sociales par questionnaires. *Revue Française de Sociologie*, 42(3), 537-561.
- Zarkadis, N., Papageorgiou, G., & Stamovlasis, D. (2017). Studying the consistency between and within the student mental models for atomic structure. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(4), 893-902.

Grivopoulos Konstantinos

Thèse de Doctorat en didactique des sciences physiques et chimiques, Université d'Aix-Marseille, France. Master « Théorie, Pratique et Évaluation de l'enseignement », Université de Nicosie, Chypre. Master « Éducation et Formation », Université d'Aix-Marseille, France. Diplôme de Physique, Université d'Ioannina, Grèce. Professeur titulaire de physique-chimie (Éducation secondaire, Grèce).

PUBLICATIONS

1. Grivopoulos, K. (2017). Obstacles didactiques et épistémologiques dans l'enseignement du spin électronique. *Chapitre dans « Épistémologie et Didactique »*. Presses Universitaires de Franche-Comté.
2. Grivopoulos, K. (2016). L'atome à travers de manuels français et grecs. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair* 3(1).
3. Grivopoulos, K. (2015). Des liens entre la conceptualisation en mathématiques et en physique. L'exemple du spin de l'électron. *Petit x*, 98.
4. Grivopoulos, K. (2013). Représentations sociales des Nanosciences et Nanotechnologies chez des lycéens. Quelle contribution à l'éducation au développement durable ? *Éducation et socialisation. Les cahiers du CERFEE*, 33.