

Concept de champ électrostatique : Modes de raisonnement des étudiants Tunisiens

KAOUTHER RASSAA

ISEFC, Tunis
Tunisie
ra_kaouth@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'étude proposée vise à identifier les modes de raisonnement des étudiants relatifs au concept de champ électrostatique. Dans un premier temps, nous avons proposé d'interpréter le support des raisonnements des étudiants à l'aide d'un 'modèle dualiste' associant l'existence d'un champ électrostatique à la présence de deux types de charges, une charge source et une charge test. Nous avons enfin analysé les raisonnements d'étudiants en termes de processus de modélisation dans des situations diversifiées. Notre cadre théorique s'appuie sur la 'théorie de la modélisation' développée en didactique de la physique par Tiberghien (1994). Nos analyses d'entretiens individuels semi directifs nous ont amenée à considérer que les étudiants mettent en œuvre un modèle de raisonnement qui prend appui sur un élément concret de nature à médiatiser le rapport entre le monde des objets et des événements et le monde des théories et des modèles.

MOTS CLÉS

Didactique, Sciences Physiques, activité de modélisation, champ électrostatique

ABSTRACT

The proposed study aims to identifying the reasoning ways of students relative to the concept of electrostatic field. At first, we suggested interpreting the support of students reasoning by a 'dualistic model' associating the existence of an electrostatic field with presence of two types of charges: a source charge and a test charge. We finally analysed students reasoning in terms of modelling process in diversified situations. Our theoretical framework leans on the 'theory of the modelling' developed

in didactics of the physics by Tiberghien (1994). Our analyses of semi directive individual interviews lead to consider that the students implement a model of reasoning which takes support on a concrete element which allows mediating the relationship between the objects and events world and of the theories and the models world.

KEYWORD

Didactics, Physics Sciences, modelling activities, electrostatics field

INTRODUCTION

La théorie électromagnétique qui décrit notamment l'interaction entre les charges fixes ou en mouvement occupe une place importante parmi les notions physiques étudiées à l'université. En raison de la complexité de l'étude des interactions entre charges dans un état arbitraire de mouvement, cette théorie est abordée dans l'enseignement tunisien par l'étude des situations où les charges électriques sont stationnaires. La notion de champ électrostatique modélise l'interaction entre ce type de particules.

Or si les difficultés d'apprentissage ou les modes de raisonnement des apprenants relatifs aux concepts de champ électrique, magnétique ou électromagnétique ont fait l'objet de quelques études didactiques (Viennot & Rainson, 1992; Venturini & Albe, 2003; Bagheri & Venturini, 2006), celles liées à l'apprentissage du concept de champ électrostatique sont encore peu explorées. C'est à cette question que le travail que nous avons mené dans le cadre d'une thèse a tenté de répondre

CONTEXTE ET VISÉE DE L'ÉTUDE

Dans un précédent travail (Rassaa & Albe, 2007) nous avons cherché à identifier les tendances de raisonnement des étudiants relatives au concept de champ électrostatique. Cette première étude prospective a révélé de réelles difficultés liées les unes aux autres en ce qui concerne la compréhension du concept de champ électrostatique :

- Une tendance à relier l'existence du champ électrostatique à la manifestation de ses effets. Plus précisément, nous avons noté que les étudiants de notre échantillon refusent l'existence d'un champ électrostatique en un point dépourvu de charge électrique ;
- Une indifférenciation conceptuelle entre les concepts de champ et de force électrostatique ;
- Une incompréhension de la nature des lignes de champ qui sont considérées par la majorité des étudiants comme la trajectoire du champ. Aucun étudiant ne mentionne que l'espace possède la propriété d'interagir avec les corps, pas plus que ne sont

mentionnées les propriétés électriques que la présence d'une charge confère à l'espace ;

- Une perception confuse des propriétés physiques de points immatériels de l'espace dont la modification est décrite par le vecteur champ.

Pour interpréter ces constats, nous avons supposé, en premier temps, la prévalence chez les étudiants d'un 'modèle dualiste' associant l'existence d'un champ électrique à la présence de deux types de charges : une charge source et une charge test. En second temps, nous avons cherché à comprendre les raisons qui sous-tendent la mobilisation de ce modèle, essayé de formuler des hypothèses plus décisives quant à ces raisons et tenté d'apporter davantage de finesse à ce modèle. Pour cela nous nous sommes basés sur la théorie des 'deux mondes' élaborée par Tiberghien (1994).

Nous présenterons dans cet article une partie de cette étude. Nous commencerons par présenter le cadre théorique et la problématique de cette étude, puis nous détaillerons la méthodologie adoptée. Nous terminerons par rapporter quelques résultats obtenus ainsi que leur interprétation.

CADRE THÉORIQUE ET PROBLÉMATIQUE

La théorie de la modélisation, et particulièrement l'approche de Tiberghien (1994) qui énonce des assertions sur une description possible du fonctionnement des apprenants en situation d'apprentissage de la physique, peut constituer un cadre théorique pour des recherches sur le fonctionnement cognitif de l'apprenant.

Tiberghien (1994) considère, selon une description minimaliste, que cette activité implique la mise en jeu de deux mondes, celui des objets et des événements et celui des théories et des modèles. Le monde d'objets et d'événements se réfère aux aspects observables du monde matériel, tandis que le monde des théories et des modèles se réfère aux aspects théoriques.

L'hypothèse de base de cette approche de la modélisation qu'on peut intituler théorie des 'deux mondes' est que le sens des concepts de physique doit être cherché dans les relations qui peuvent s'établir entre les deux mondes. Cette hypothèse peut être transposée à l'activité de l'apprenant en situation d'apprentissage de la physique. Ceci a permis à un certain nombre de travaux qui se sont inscrits dans la continuité de ce point de vue de montrer que c'est la mise en relation des deux mondes qui constitue une difficulté majeure pour l'apprentissage de la physique. Ainsi, Bécu-Robinault (1997) et Pateyron (1997) ont constaté que les apprenants dans des activités traditionnelles ne mettent en œuvre qu'un seul niveau de modélisation et qu'ils évitent tant que possible les mises en relation.

Par ailleurs, le désir de faciliter la mise en relation des deux mondes a guidé certains chercheurs (Quintana-Robles, 1997 ; Buty, 2000) vers l'incorporation d'un niveau

intermédiaire entre les deux mondes sous la forme d'un 'modèle matérialisé'. Ce modèle constitue une représentation matérialisée du modèle de la physique sur laquelle les élèves peuvent agir.

Si nous reprenons comme base cette approche de la modélisation, nous considérons que la mise en relation entre le double aspect formel et concret du concept champ électrostatique est à la fois primordiale et difficile. Ceci nous incite à nous interroger sur les manières de faire des étudiants pour établir des relations entre les deux mondes de savoir. Articulent-ils le double contenu empirique et relationnel du concept de champ ou bien leurs raisonnements se situent-ils dans un monde mathématique? Surtout que dans un précédent travail (Rassaa, 2005) nous avons souligné le vide explicatif laissé par l'approche de l'enseignement universitaire Tunisien qui favorise trop l'aspect mathématique du concept de champ au détriment de son contenu physique.

Par ailleurs, l'idée selon laquelle un 'modèle matérialisé' peut faciliter le subtil passage entre les deux mondes, nous incite à nous demander si les étudiants n'ont pas construits eux-mêmes entre les deux mondes un niveau intermédiaire sous la forme d'un modèle concret pour faciliter la conceptualisation du concept de champ électrostatique. Notamment, que l'élaboration du concept champ dans le domaine de l'électromagnétique a été facilitée par l'usage des métaphores, des images et des modèles qui portaient de présuppositions quant à la nature du milieu remplissant l'espace (l'éther) avant de s'imposer comme un concept physique se suffisant à lui-même (Darrigol, 2005). Ces modèles ont contribué à rendre *concret* et *intuitif* le rapport de ce concept aux phénomènes physiques. Ils ont fournis selon Hutten (cité par Bolmont, 1999) une possible interprétation aux symboles utilisés dans les équations.

MÉTHOLOGIE

Le but de notre recherche est d'étudier les modalités d'utilisation du concept de champ électrostatique par les étudiants tunisiens. Pour cela nous avons mis ces derniers en situation d'utiliser ce concept et nous avons essayé d'analyser leurs productions verbales.

Le contexte de recueil des matériaux

Nous avons opté pour la réalisation d'entretiens individuels semi-directifs fondés sur la présentation aux étudiants de situations portant sur la relation entre charges et champs électriques en situation statique. Les questions sont toujours accompagnées d'une demande de justification. Le tableau 1 donne une description rapide de ce qui est demandé dans chaque question). Chaque étudiant était invité à répondre par écrit à ces questions et ensuite, à verbaliser ses réponses et ses justifications de façon orale ce qui a permis de susciter la conversation. Les thèmes qui ont constitués l'armature des échanges verbaux et les questions qui leur sont associées sont présentés dans le tableau 2.

TABLEAU 1

<i>Description des questions</i>	
Question No	Objet de la question
Q1	interroge sur l'existence d'un champ électrostatique en un point dépourvu de charge test et situé au voisinage d'une charge ponctuelle
Q2	interroge sur l'existence d'un champ électrostatique en un point portant une charge test et situé au voisinage d'une charge ponctuelle
Q3	demande de comparer l'intensité du champ si on augmente la valeur de la charge test
Q4	interroge sur l'existence du champ au voisinage d'une distribution volumique de charge : – en un point dépourvu de charge dans la première partie – en un point portant une charge ponctuelle dans la deuxième partie
Q5	interroge sur l'existence du champ en un point portant une charge ponctuelle positive : – en un point situé entre deux plaques chargées de mêmes signes – en un point situé entre deux plaques chargées de signes opposées – en un point situé à l'extérieur de deux plaques chargées de mêmes signes – en un point situé à l'extérieur de deux plaques chargées de signes opposés
Q6	cherche à identifier la définition du champ électrostatique adoptée par les étudiants

TABLEAU 2

<i>Thèmes abordés et questions associées</i>	
Les thèmes	Les questions associées
Les conditions d'existence du champ électrostatique (les raisons qui sous-tendent la mobilisation du modèle dualiste)	Pourquoi les étudiants refusent l'existence du champ sans charge test ?
	Quel est le rôle de cette charge ?
Le mécanisme de l'interaction électrostatique à distance	Comment une charge électrique peut-elle agir sur une autre sans qu'elles soient en contact ?
	Quel est le rôle du champ dans ce mécanisme ?
Nature du champ	Le champ a-t-il des attributs matériels ?
La discontinuité du raisonnement	Dans quelles situations le modèle n'est plus opérant ?
	Sur quels éléments les étudiants se sont basés pour justifier l'abandon de ce modèle ?
La définition du champ électrostatique	Quelle facette du champ est privilégiée ? (agent dans l'interaction électrostatique, traduisant la modification des propriétés physiques de points immatériels de l'espace ou un symbole mathématique)

Nous avons eu recours à des demandes de précisions et d'explications complémentaires sur les réponses proposées. Nous avons également eu recours à des questions afin de faire avancer la discussion ou de réorienter les propos de l'étudiant sur des thèmes qu'il n'a pas abordés 'naturellement'. Lorsque des contradictions apparaissent dans le discours de l'étudiant, nous avons formulé des demandes particulières sous forme de comparaison entre les justifications proposées aux différentes situations.

Dix étudiants de maîtrise des Sciences Physiques SP₄ (quatrième année de sciences physiques) de la Faculté des Sciences de Tunis ont ainsi été interrogés sur la base du volontariat, au cours d'entretiens d'une durée de 40 minutes.

Traitement des données

Les transcriptions ont d'abord été soumises à un découpage thématique (Boufaden, Lapalme & Bengio, 2002) pour délimiter les différents épisodes (Mortimer & al., 2007). Par la suite, un découpage plus fin a été effectué afin d'identifier dans chaque épisode les extraits qui révèlent les explications ou les argumentations mises en œuvre par les étudiants pour justifier leurs points de vue. Une première analyse des épisodes a ensuite permis d'identifier la nature des connaissances en jeu dans ces explications. Nous relevons les concepts scientifiques avancés en réponse aux questions que nous avons posées et les relations entre ces concepts. Nous signalons la mobilisation ou non de connaissances universitaires qui nous ont apparues adaptée aux situations proposées. Nous repérons la nature des termes et attributs associés au concept de champ par les étudiants. Enfin nous essayons de situer ces connaissances explicatives dans l'un ou l'autre des mondes de modélisation selon Tiberghien (1994) : le monde d'objets et d'événements et le monde des théories et des modèles.

Dans une seconde analyse, nous avons tentés d'identifier et de caractériser les processus explicatifs adoptés par les étudiants. Concrètement, nous cherchons à faire apparaître les étapes intermédiaires du raisonnement des étudiants et à reconstruire la logique qui relie les éléments de connaissances qu'ils mobilisent. Nous examinons la variabilité de ces processus explicatifs par rapport aux situations proposées : ont-ils une portée générale ou sont-ils spécifique à la situation proposée ? Afin d'identifier les modes de compréhension du concept champ électrostatique, nous examinons dans ces processus, les relations que les étudiants établissent entre le monde d'objets et d'événements et le monde des théories et des modèles et la nature de ces relations : établissent-ils une relation directe ou bien mettent-ils en œuvre un modèle de raisonnement intermédiaire qui peut médiatiser le rapport subtil entre ces deux mondes ?

Bien évidemment, nous sommes conscientes que nos propositions n'ont qu'un caractère hypothétique et que nous ne pouvons espérer mettre en évidence que des éléments partiels de ces systèmes explicatifs dont la complexité est probablement plus grande.

RÉSULTATS

L'analyse des productions des étudiants fait apparaître deux tendances principales de discours. La première, concerne plus de la moitié de l'effectif (six sur dix). Elle rassemble les discours des étudiants qui utilisent des raisonnements associant le champ à un échange d'entité quasi matérielle entre les charges électriques.

La deuxième catégorie qui a émergé de l'analyse des entretiens regroupe les discours des étudiants qui favorisent une vision mathématique du champ électrostatique.

Pour des raisons de brièveté, nous avons choisi d'en rendre compte seulement à travers la présentation des résultats de l'analyse des entretiens réalisés avec deux étudiants emblématiques de ces deux tendances.

Le champ comme échange de particules entre les charges électriques.

Nous proposons de relater ci-dessous les réponses de Meriem, étudiante en maîtrise de sciences physiques, qui fait partie de la catégorie majoritaire.

Le niveau des savoirs utilisés

La description des actions et des événements occupe une place très importante dans le discours de cette étudiante : déplacement de particules, blocage, etc. Les termes 'émission de particules' et 'mouvement de particules' sont fréquemment cités. Par contre, elle fait très peu appel aux connaissances universitaires enseignées et le nombre de concepts formels mis en jeu dans ses explications est très réduit. Le théorème de superposition n'est pas opérationnel dans les situations où on a plus d'une charge. Une seule fois, elle a juste cité la loi de Coulomb mais elle ne l'a pas utilisée. On a également constaté dans l'argumentation de cette étudiante que la caractérisation du champ se fait bien davantage par des descripteurs perceptifs que par l'usage de propriétés physiques abstraites du champ. Elle affecte souvent au champ des attributs matériels et substantiels par exemple : « *le champ se déplace, le champ ne traverse pas...* ». L'idée centrale du champ, à savoir l'existence de régions de l'espace muni en chacun de ses points de propriétés physiques qui se révéleraient par le test d'un corps d'épreuve, n'est pas fonctionnelle dans son raisonnement. Selon cette étudiante : « *l'espace n'interagit pas avec les charges électriques, il reçoit seulement les particules émises* », il n'a donc pas la capacité d'interagir avec les corps, mais seulement celui d'accueillir des particules.

En somme, nous pouvons dire qu'une grande partie des justifications fournies par cette étudiante est formulée au niveau du monde des objets et des événements.

Les types d'explications utilisées

Cette étudiante fonde son refus de l'existence d'un champ en un point dépourvu de charge électrique, sur la nécessité de la présence d'une charge créatrice et d'une autre

réceptrice du champ : « *la deuxième charge joue le rôle de récepteur pour le champ créé par la charge source* ».

Pour expliquer qu'en l'absence de charge 'réceptrice' la charge source ne puisse créer un champ, elle postule l'existence d'une entité imperceptible émise par la charge source vers la charge réceptrice. Cependant, elle n'arrive pas à préciser la nature de ces entités qu'elle envisage comme « *des petit corps de type matériel en mouvement* » et qu'elle finit par désigner sous le vocable générique de particule.

Pour décrire comment se transmet l'interaction électrostatique, elle se limite à signaler qu'elle est assumée par le champ. Quand on l'interroge sur la façon dont l'action électrique est transmise par le champ, elle fait appel à ces particules pour véhiculer l'information électrostatique et jouer le rôle de médiateur entre les deux charges électriques.

Elle relie l'intensité du champ au nombre de particules échangées pour justifier la proportionnalité qu'elle stipule entre la valeur de la charge test et l'intensité du champ électrostatique, dans la situation où on augmente la valeur de cette charge : « *Lorsque la valeur de la charge test augmente, le nombre de particules échangées augmente donc le champ devient plus intense* ».

Elle étend cette association aux distributions de charges uniformes en soutenant que rien ne distingue les charges ponctuelles des distributions de charges : « *toute charge, quelle que soit sa forme peut échanger des particules avec une autre* ». Elle précise cependant, que cet échange de particules ne pourra se faire qu'à condition que les charges électriques ne soient pas en contact.

Dans la situation comportant deux plans infinis uniformément chargés, elle s'appuie sur cette même idée pour justifier que le champ est nul à l'extérieur des deux plans, en affirmant que le nombre de particules échangé entre la charge q et les plans est négligeable devant celui échangé par les deux plans infinis. La définition qu'elle propose pour le champ est la suivante: le champ se déplace entre les charges suivant les lignes de champ. Elle précise que ce sont les particules qui forment le champ qui se déplacent.

En résumé, l'idée que le champ électrostatique résulte de l'échange entre charges électriques de particules possédant des propriétés mécaniques a constitué le support de l'argumentation de cette étudiante dans la majorité des situations proposées et a assuré même l'unité de son discours, même si l'identification de la nature de ces particules lui a posé des difficultés.

Dans le discours de cette étudiante, le concept de champ semble ne pas être manipulé comme étant un objet conceptuel à part entière à partir de ces propres propriétés physiques. Ce qu'elle manipule pratiquement, ce sont les processus mécaniques produits par ses particules. Ainsi les conditions d'existence du champ électrostatique sont rattachées aux principes qui gouvernent le mouvement de ces particules et les propriétés mécaniques de ces dernières sont transférées au champ électrostatique.

Conclusion

L'association entre le champ électrostatique et un échange de particules a constitué l'intermédiaire par lequel cette étudiante établit des liens entre le monde des objets / événements et le monde de la théorie / modèle et parvient à donner un contenu physique au concept de champ.

Le champ électrostatique comme outil mathématique

Nous proposons de relater ci-dessous les réponses de Maher, étudiant en maîtrise de sciences physiques, qui fait partie de la catégorie minoritaire.

Le niveau des savoirs utilisés

Commençons par signaler que nous avons constaté dans le discours de cet étudiant un recours assez important aux lois, relations fonctionnelles et formules mathématiques fournis par le savoir à enseigner universitaire. En effet, bien qu'il ne fasse pas appel au théorème de superposition dans les situations où on a plus d'une charge, la loi de Coulomb, la relation entre différence de potentiel et champ, le théorème de Gauss sont présents dans son argumentation. Nous n'avons pas repéré d'attributs matériels affectés au champ dans le discours de cet étudiant. Cependant, nous avons constaté dans l'argumentation de cet étudiant un usage fréquent du concept de force électrostatique et une certaine interchangeabilité entre les concepts de force et de champ. Il est aussi intéressant de constater qu'il récuse l'idée centrale du concept de champ à savoir l'existence d'une propriété physique décrite par une fonction de la position et s'étendant à une région de l'espace. Pour lui, l'espace est vide, il n'est pas doté de propriétés.

Les types d'explications utilisées

En s'appuyant sur l'expression mathématique de la valeur du champ électrostatique $E = q/4\pi\epsilon r^2$, évoquée de manière correcte, cet étudiant stipule que la charge test ne participe pas à la création du champ puisqu'elle ne figure pas dans la partie droite de l'équation.

Au sujet du mécanisme de l'interaction électrostatique, il considère que « *l'interaction entre charges électriques s'effectue par l'intermédiaire du champ* ». Cette affirmation est étayée par le recours à l'équation citée ci-dessus, en soutenant que puisque cette expression du champ contient toute les informations concernant la charge source (son signe, sa position et sa valeur), le champ peut alors transmettre ces informations à la charge test. Lorsqu'il est interrogé sur le processus par lequel le champ peut assurer la transmission de l'information électrostatique à distance il commence par chercher une relation mathématique entre les charges source, test, le milieu qui les entoure et le champ électrostatique. Devant son incapacité à associer une justification formelle au mécanisme de l'interaction électrostatique, il conclut que cette transmission échappe à toute explication.

Cette équation continue de fonctionner dans son raisonnement et va servir à justifier 'l'indépendance' qu'il stipule entre la valeur de la charge test et l'intensité du champ électrostatique : « *la valeur du champ n'est pas affectée par l'augmentation de la valeur de la charge test vu que la valeur de la charge test ne figure pas dans cette équation* ».

Dans la situation comportant des distributions de charges uniformes, il fait appel au théorème de Gauss pour justifier l'existence du champ et déterminer ses sources : *toutes les charges intérieures à la surface de Gauss participent à la création du champ*.

Pour prouver dans la situation contenant deux plans infinis uniformément chargés que le champ n'existe que si les deux plans portent des charges de signe opposé, il se réfère à l'égalité $E = -\text{grad}V$.

Lorsqu'il s'agit d'expliquer la raison pour laquelle il a adopté une autre équation pour interpréter cette situation, il affirme qu'une formule mathématique peut-être appropriée à une situation mais pas à une autre.

Comme définition du champ, il se limite à la proposition de trois formules mathématiques servant à calculer la valeur du champ électrostatique ($E = F/q$; théorème de Gauss et $E = -\text{grad}V$). Il précise à ce sujet que : « *Le champ électrostatique est un outil mathématique servant à calculer la force électrostatique* ». Quand il est sollicité pour expliquer les raisons pour lesquelles il ne se base pas sur la même équation pour justifier l'existence du champ, il soutient que pour chaque forme de charges, on dispose d'une formule mathématique qui permet de calculer le champ, et qui n'est opératoire que pour cette forme.

En résumé, dans le discours de cet étudiant nous n'avons pas relevé d'explications assez élaborées ni même d'explications communes à toutes les situations. Les explications données pour l'existence du champ diffèrent d'une situation à une autre selon la formule proposée pour déterminer le champ. L'argumentation de cet étudiant apparaît comme une simple juxtaposition de relations mathématiques relativement autonomes et détachées de toute interprétation physique ou de toute description des phénomènes qui les corroborent. Le choix de ces équations mathématiques semble reposer uniquement sur la cohérence formelle et la facilité du calcul indépendamment des principes physiques qui autorisent son fonctionnement

Conclusion

Le concept de champ électrostatique dans le discours de cet étudiant apparaît comme proche d'un outil mathématique, un coefficient qu'il est commode d'introduire dans les calculs. Il apparaît confiné dans son univers symbolique et soustrait du domaine du contenu physique. En plus, la diversité des « expressions formelles » auxquelles il fait appel suivant les besoins ou les commodités de leurs relations avec les situations proposées, semble témoigner d'une difficulté à tisser des correspondances entre les éléments du monde de la théorie/modèle les uns avec les autres.

DISCUSSION

Dans cette partie nous essayons d'interpréter les tendances du raisonnement mis en œuvre par les étudiants de chaque catégorie. Nous soulignons cependant le fait que nos propositions ne sont que des hypothèses.

Le champ comme échange de 'quelque chose' de concret est un intermédiaire entre les deux mondes

Il semble que le caractère très abstrait et 'non intuitif' du concept de champ électrostatique ne favorise pas la constitution d'une image mentale de ce concept, ce qui rendrait sa manipulation très difficile. Ceci pourrait amener certains étudiants à élaborer un modèle sensible et non conceptuel du concept de champ qui rendrait possible sa concrétisation et faciliterait sa manipulation : un intermédiaire entre ce qui est perçu dans le monde des objets et des événements et ce qui est d'ordre plus théorique, plus abstrait. En effet, la grande force de l'hypothèse selon laquelle le champ est attaché à un échange d'entité quasi matérielle de nature mal définie entre les charges électriques, c'est qu'elle permet d'appréhender le champ comme entité en déplacement, hors de la charge source, subissant des événements et interagissant avec l'environnement spatial. En d'autres termes, elle permet d'attribuer au champ une existence comme objet concret ayant des propriétés matérielles. Cependant ce modèle du champ est à l'origine de la mise en œuvre du modèle dualiste. A partir du moment où le champ électrostatique est associé à un échange de particules entre les charges électrique, son existence est tributaire de la présence conjointe d'une charge source et d'une charge test.

L'absence de mise en relations entre le double aspect formel et concret du concept de champ électrostatique

Il semble que les étudiants de la deuxième catégorie trouvent des difficultés pour saisir le rapport de ce concept aux phénomènes physiques. Ils n'arrivent pas à conceptualiser ce dernier comme entité subissant des événements et interagissant avec l'environnement spatial, ce qui les contraint à considérer le champ comme un simple élément du calcul mathématique. En plus, l'absence de mise en correspondance des structures mathématiques avec les faits qui autorise leur fonctionnement, rend tout système formel tolérable puisque seule importe la cohérence formelle et la facilité du calcul. Ce qui explique l'usage d'une multitude de formulations mathématiques relativement autonomes.

D'ailleurs, Greca & Moreira (1997) avaient dans un autre contexte fait des constatations semblables en montrant que les étudiants de leur échantillon utilisent, lors de résolution de problèmes portant sur le champ électromagnétique, des définitions et des formules non reliées les unes aux autres, et non interprétées suivant un modèle mental.

Cependant, le fait de s'appuyer sur les 'expressions formelles', notamment l'expression

mathématique de la valeur du champ électrostatique $E = q/4\pi\epsilon r^2$, ne favorise pas la mobilisation du modèle dualiste. Une lecture de cette équation permet aux étudiants de ce groupe de montrer que l'existence du champ électrostatique n'est pas tributaire de la présence conjointe d'une charge source et d'une charge test.

CONCLUSION

Le but de cette recherche a été d'identifier les modes de raisonnement liés à l'apprentissage du concept de champ électrostatique. Pour cela nous avons mobilisé la théorie 'des deux mondes' de Tiberghien. L'attention toute particulière que nous avons prêtée aux savoirs utilisés par les étudiants dans leurs explications et aux relations qu'ils établissent entre les mondes 'théorie/modèle' et 'objet/événement' ainsi qu'entre les éléments internes à chacun des deux mondes nous a permis de dégager quelques caractéristiques des raisonnements des étudiants.

Nous avons remarqué que le support de l'argumentation de la majorité des étudiants était un modèle intermédiaire qui assimile le champ à l'échange de particules. Ce modèle a rendu la concrétisation du concept de champ possible et a permis de lui affecter un contenu 'intuitif'. Il semble aussi que ce modèle soit à l'origine de la mise en œuvre du modèle dualiste.

Nous avons aussi constaté que le discours des étudiants qui n'ont pas fait appel à ce type de modèle était une simple juxtaposition de formules mathématiques sans liens entre elles où le concept de champ électrostatique est considéré comme un simple outil mathématique dépourvu de tout contenu physique.

L'idée que la différence entre les deux mondes de la modélisation est trop importante nous a amenée à supposer que le modèle mis en œuvre par la majorité des étudiants constitue un niveau intermédiaire entre les deux mondes des objets et événements et des théories et modèles et un outil par le biais duquel ils ont abordé le passage entre les deux mondes.

Les quelques éléments déjà obtenus peuvent ouvrir des perspectives de recherches encourageantes. En effet ce modèle ne constitue pas forcément une difficulté pour l'enseignement. Même s'il est incommensurable avec le modèle que la physique propose pour le champ électrostatique, il n'en demeure pas moins que ce modèle possède l'insigne vertu de faciliter l'analyse phénoménologique et d'assurer la mise en relations entre le double aspect formel et concret du concept de champ électrostatique. Nous espérons en prolongement de ce travail contribuer à répondre à une question qui nous paraît d'importance pour l'enseignement de ce concept, à savoir comment s'appuyer de façon profitable sur ce modèle tout en tenant compte de ses limites.

RÉFÉRENCES

- Bagheri, R. & Venturini, P. (2006). Analyse du raisonnement des étudiants utilisant les concepts de base de l'électromagnétisme, *Didaskalia*, 28, 33-53.
- Bécu-Robinault, K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*, Thèse de doctorat (Lyon : Université Claude Bernard-Lyon I).
- Bolmont, E. (1999). *Le rôle épistémique des analogies, à l'exemple de l'électricité, du magnétisme et de l'électromagnétisme au XIXème siècle*, Thèse de doctorat-Université de Nancy 2 (Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion).
- Boufaden, N., Lapalme, G. & Bengio, Y. (2002). *Découpage thématique des conversations: un outil d'aide à l'extraction*. In TALN 2002 (Nancy : France).
- Buty, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*, Thèse de doctorat (Lyon : Université Lumière-Lyon II).
- Darrigol, O. (2005). *Les équations de Maxwell : De McCullagh à Lorentz* (Paris: Belin).
- Greca, M. & Moreira, M. (1997). The kinds of mental representation - models propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711-724.
- Mortimer, E. F., Massicame, T., Tiberghien, A. & Buty, C. (2007). Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de ciências. In R. Nardi (org.) *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil:alguns recortes* (São Paulo: Escrituras), v. I, 53-94.
- Pateyron, B. (1997). *Mobilisation des savoirs dans la formation professionnelle*, Thèse de doctorat (Lyon : Université Claude Bernard-Lyon I).
- Quintana-Robles, M. (1997). *Étude didactique de films comme aide pour l'enseignement de la physique. Cas de l'expansion des gaz*, Thèse de doctorat (Lyon : Université Claude Bernard-Lyon I).
- Rassaa, K., (2005). Étude prospective de la représentation du concept champ électromagnétique à travers des ouvrages universitaires Tunisiens. Présentation au *VIII Colloque Nationale de Recherche en Physique*, Sousse, Tunisie.
- Rassaa, K. & Albe, V. (2007). Étude sur le concept de champ électrostatique : mise en évidence des difficultés éprouvées par les étudiants à l'aide de cartes conceptuelles. In J.-M. Dusseau (éd.) *Actes des 5èmes rencontres scientifiques de l'ARDIST* (Montpellier: IUFM, Université Montpellier 2), 329-336.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4, 71-87.
- Venturini, P. & Albe, V. (2003). Interprétation des similitudes et différences dans la maîtrise conceptuelle d'étudiants en électromagnétisme à partir de leur(s) rapport(s) au(x) savoir(s). *Aster*, 35, 165-186.
- Viennot, L. & Rainson, S. (1992). Students' reasoning about the superposition of electric field. *International Journal Science of Education*, 14(4), 475-487.