



L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

La recherche en didactique des sciences : Quelles propositions pour l'enseignement-apprentissage à l'université ? Des exemples en physique.

Science Education Research : What proposals for teaching-apprenticeship at university ? Examples in Physics.

Briaud Philippe

IUFM des Pays de la Loire – CREN université de Nantes, philippe.briaud@univ-nantes.fr

Didactique - Physique - Apprentissage - Problème – Electromagnétisme
Didactic – Physic – apprenticeship – Problem - Electromagnetism

Résumé

Dans cette communication nous présentons des modèles de démarches scientifiques et pédagogiques proposés en philosophie des sciences et en sciences de l'éducation. A partir de ces modèles nous donnons le cadre épistémologique de l'enseignement-apprentissage en sciences auquel se réfère actuellement la didactique des sciences pour proposer des situations didactiques à l'école primaire, dans l'enseignement secondaire et parfois dans l'enseignement supérieur. A l'aide de ce cadre théorique nous analysons des réponses d'étudiants de licence 3 à des questions en électrostatique. On constate que leurs connaissances sont fragmentées et ne leur permettent pas de résoudre des exercices académiques relativement simples. Ils utilisent principalement les relations mathématiques entre grandeur physique, pour effectuer des calculs en minimisant leurs propriétés pour modéliser des situations en physique. Un apprentissage avec des situations-problèmes devrait leur permettre de mieux maîtriser ces savoirs scientifiques.

Introduction

L'épistémologie actuelle de la science considère les savoirs scientifiques comme des réponses à des questions. Donnant ainsi une place privilégiée aux problèmes pour l'enseignement-apprentissage scientifique, [1]. Dans ce cadre théorique de l'apprentissage scientifique, apprendre ce n'est donc pas connaître des faits, des vérités, [2], mais c'est acquérir des savoirs raisonnés, apodictiques, [3]. Apprendre en sciences c'est donc acquérir des savoirs scientifiques et les problèmes dont ils sont les solutions.

Dans cette communication, après avoir rappelé les principaux modèles de démarches scientifiques et pédagogiques, nous définirons ce que sont pour nous les savoirs scientifiques. Puis nous présenterons le cadre théorique de l'apprentissage proposé en didactique des sciences qui nous servira pour analyser des réponses d'étudiants à un questionnement en électromagnétisme. En conclusion, nous proposerons une situation didactique qui permet un apprentissage scientifique en physique.

1. Espistémologie de la science et enseignement – apprentissage en sciences

1.1. Les démarches scientifiques

Une modélisation des démarches scientifiques proposée par les philosophes des sciences conduit à la définition de trois principaux types de démarche scientifiques, [4]. Le premier modèle rend compte de la démarche inductive ou induction, qui consiste à tirer des énoncés généraux (des vérités) à partir d'expériences particulières, systématiques et rigoureuses. Dans cette démarche, le chercheur observe la nature méthodiquement sans idée préconçue pour en tirer des hypothèses, des lois, des théories. C'est la méthode empiriste. Elle est la plus ancrée dans la réalité et ne ferait pas appel à l'imaginaire du chercheur. Elle est contestée par de nombreux philosophes et sociologues comme Popper [5]. Ce dernier considère que l'observation de la réalité ne peut être complète et par conséquent que l'induction ne permet pas d'établir des faits généraux. Pour lui, une démarche est scientifique que si l'idée qu'elle développe est réfutable.

Le deuxième modèle de la démarche scientifique considère que le chercheur pense par déduction plutôt qu'à l'aide de ses sens et de ses observations. Il déduit de ses connaissances d'autres affirmations qui en sont la conséquence. La déduction s'appuie sur le raisonnement et s'oppose à l'empirisme comme source de connaissance.

Le troisième modèle porte sur l'activité classique de la science moderne, c'est la démarche hypothético-déductive. A partir d'un problème, le chercheur formule par déduction et induction, avec ses connaissances empiriques et théoriques, une théorie et des hypothèses qu'il va tenter de vérifier ou d'infirmer. Il utilise pour cela, diverses méthodes d'investigations (expérimentation, documentation, modélisation, etc.) et après validation, c'est-à-dire lorsque la théorie et les hypothèses correspondent aux faits, le savoir qu'il a construit est institutionnalisé au sein de la communauté scientifique.

1.2. Les savoirs scientifiques

Comme nous venons de le voir, l'épistémologie des sciences considère la démarche scientifique moderne comme une démarche hypothético-déductive dans laquelle les savoirs sont construits pour répondre à des questions, [6]. Sur le schéma de l'annexe 1, nous avons représenté le fonctionnement du savoir scientifique dans une telle démarche, [7]. On distingue donc les modèles qui permettent d'interpréter et de prédire les faits appartenant au champ empirique et la Théorie qui dans ce modèle inclue, les théories, les lois, les concepts, etc. qui sert à faire fonctionner ces modèles.

Deux types de concepts ont été identifiés pour la physique [8]. Les concepts catégoriels qui se rapportent à des objets que l'on peut montrer, que l'on peut définir à partir de leurs propriétés intrinsèques et que l'on peut classer par catégories et sous catégories. Un mot (l'étiquette) suffit généralement pour le résumer. En physique par exemple ce sont les concepts de poulie, de moteur, de générateur, de plan incliné, etc. Ces concepts peuvent être rangés par classes d'objets et référencés par des attributs. Apprendre ce type de concept c'est savoir identifier les invariants qui caractérisent ses attributs et les fonctions qui le définissent. On mémorise généralement ces concepts sous forme de prototype. C'est-à-dire un exemplaire qui rassemble les caractéristiques les plus saillantes du concept. Ainsi pour les générateurs, les étudiants ont plutôt une représentation de l'objet (pile, accumulateur) que de sa fonction telle qu'elle est représentée par $e = - d\phi/dt$ dans la modélisation des phénomènes d'induction par exemple.

Le deuxième type de concept n'a rien à voir avec quelconques exemplaires donnés à la perception. Ce type de concept n'est pas dérivé mais présumé : « La pensée se donne elle-même un ensemble de propositions et de relations postulées comme invariants, le concept », [8]. Certains de ces concepts sont de nature relationnelle puisqu'ils se définissent par leur relation à d'autres grandeurs de la physique. C'est le cas pour de nombreuses grandeurs dans le cadre de l'électromagnétisme. D'autres concepts formels renvoient à des entités hypothétiques comme les atomes, le point matériel, etc. Et d'autres sont le produit de l'activité mentale elle-même comme par exemple le concept de système, d'état d'un système. L'apprentissage des concepts formels est très difficile par les étudiants seuls car il nécessite « un changement d'objets sur lesquels porte le processus d'abstraction : des objets matériels d'un côté et des idées de l'autre ». Il ne peut se faire que par un processus de transmission sociale dans des situations de résolution de problème, si possible avec des activités expérimentales, où l'insuffisance des concepts disponibles rend nécessaire la création de nouveaux concepts et leur donne sens.

Une des difficultés majeures dans l'apprentissage de la physique c'est que certains concepts sont utilisés comme des concepts catégoriels alors qu'ils sont de nature formelle. C'est le cas de la force qui dans le langage commun est liée à l'effort, à une sensation ou à des propriétés de personne, d'objet. Alors qu'en physique la force décrit l'inter-système. On ne peut toucher, voir, donner une force...

C'est à partir des difficultés des élèves et des étudiants pour l'apprentissage scientifique, que Bachelard a introduit le concept d'obstacle épistémologique à l'apprentissage scientifique, [6]. Pour lui on apprend contre sa propre pensée. Et pour un esprit toute connaissance est une réponse à une question... Rien ne va de soi. Rien n'est donné tout est construit. C'est ce qui a conduit de nombreux chercheurs en didactique des sciences à utiliser un cadre socioconstructiviste de l'apprentissage et à proposer des situations didactiques avec des situations-problèmes. C'est-à-dire avec des problèmes dont la résolution conduit les étudiants à prendre conscience des limites de leurs connaissances et sont amenés à construire de nouveaux savoirs, [1]. C'est dans ce cadre théorique de l'apprentissage scientifique que nous analysons maintenant des travaux d'étudiants de licence en électromagnétisme¹.

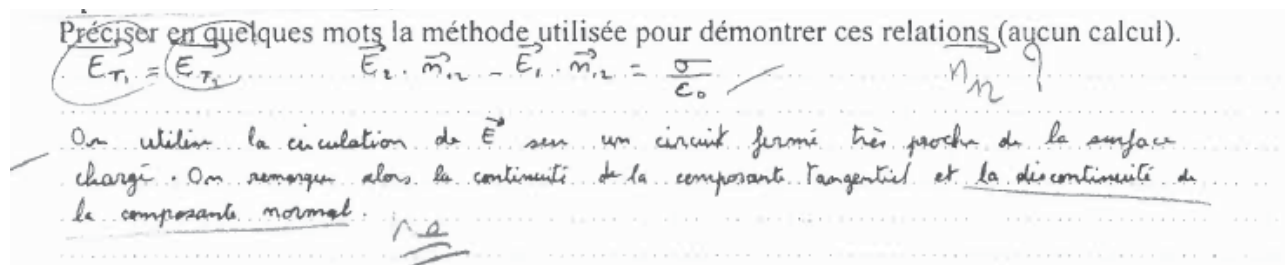
2. Analyse de travaux d'étudiants

Le premier devoir réalisé en classe portait sur des contenus de cours comme on peut le voir à l'annexe 2 où nous donnons les questions posées aux étudiants et leurs réponses. Aucun étudiant ne donne une réponse correcte à la question 1. Leurs réponses sont fausses car la plupart des formules qu'ils proposent ont une forme générale à peu près correcte mais les termes qu'ils utilisent sont inexacts. Nombreux étudiants répondent en mixant les formules établies avec une distribution de charges volumiques et une charge ponctuelle. Par exemple, la distance notée r , entre un point de la charge et le point M est sortie de l'intégrale volumique. Celle-ci porte alors uniquement sur la densité volumique de charges et ne prend plus en compte la distance entre un élément ponctuel de la charge et le point où l'on calcule le

¹ Les sujets ont été proposés par MC Fernandez. Université de Nantes que nous remercions.

potentiel. De nombreuses expressions du potentiel sont données sous forme vectorielle et quelques unes sont inhomogènes. Les 17 figures proposées par les étudiants sont fausses et pour la plupart incompréhensibles.

Six étudiants donnent une réponse correcte à la question 2 et une dizaine donne les deux équations demandées, sans développer le passage de l'une à l'autre. Certaines des réponses ne mentionnent pas quand l'intégration porte sur une surface fermée et beaucoup ne précisent pas à quoi correspond cette surface. Dans les autres réponses, on retrouve les mêmes erreurs que celles observées à la question 1 et mentionnées ci-dessus. Leurs réponses à la question 3 montrent qu'ils ont certaines connaissances mais qu'ils ne les maîtrisent pas. Aucun étudiant ne répond correctement à cette question mais plusieurs connaissent une partie de la réponse à donner comme on peut le voir dans le tableau de l'annexe 2. Seulement un étudiant donne une réponse approximative et partiellement correcte, de la méthode pour démontrer les relations de passage du champ :



On remarque qu'il ne donne pas les expressions locales utilisées dans la méthode demandée et qu'il ne justifie pas pourquoi on se place près de la surface chargée. Sa réponse montre aussi qu'il ne sait pas qu'il y a deux méthodes pour démontrer ces deux relations de passage.

La question 4 est une série d'items sur des propriétés du champ et du potentiel électrostatiques. 50% ou plus d'entre eux répondent correctement aux questions ce qui est un meilleur résultat que pour les questions précédentes. Les items 2 et 6 ont un tau élevé de réponses fausses. Sans doute à cause de la compréhension de cette question. Car les étudiants ont peut-être pensé qu'il s'agissait du champ et du potentiel créés par d'autres charges au lieu où se trouve une charge ponctuelle. Comme c'est souvent le cas dans des exercices d'électrostatique comme celui de l'annexe 3 proposés à d'autres étudiants. Dans ce devoir, seule la moitié des étudiants a répondu correctement aux questions 1 qui sont pourtant assez simples. Les réponses fausses sont des erreurs d'écritures mathématiques et de définition du champ électrique. Les réponses à l'exercice 1 montrent que beaucoup de ces étudiants connaissent certaines propriétés du champ et ont su répondre correctement à la question. Tous ou presque connaissent le principe de superposition mais beaucoup ne savent pas mener le calcul à son terme. Ils font de nombreuses erreurs pour additionner des fractions et des vecteurs. Pour répondre à la question 3 de cet exercice, plusieurs élèves n'ont pas utilisé le principe de superposition mais ont calculé la circulation du champ E avec dans la plus part des cas un résultat faux. Quelques uns ont écrit une expression vectorielle du potentiel.

3. Discussion et conclusion

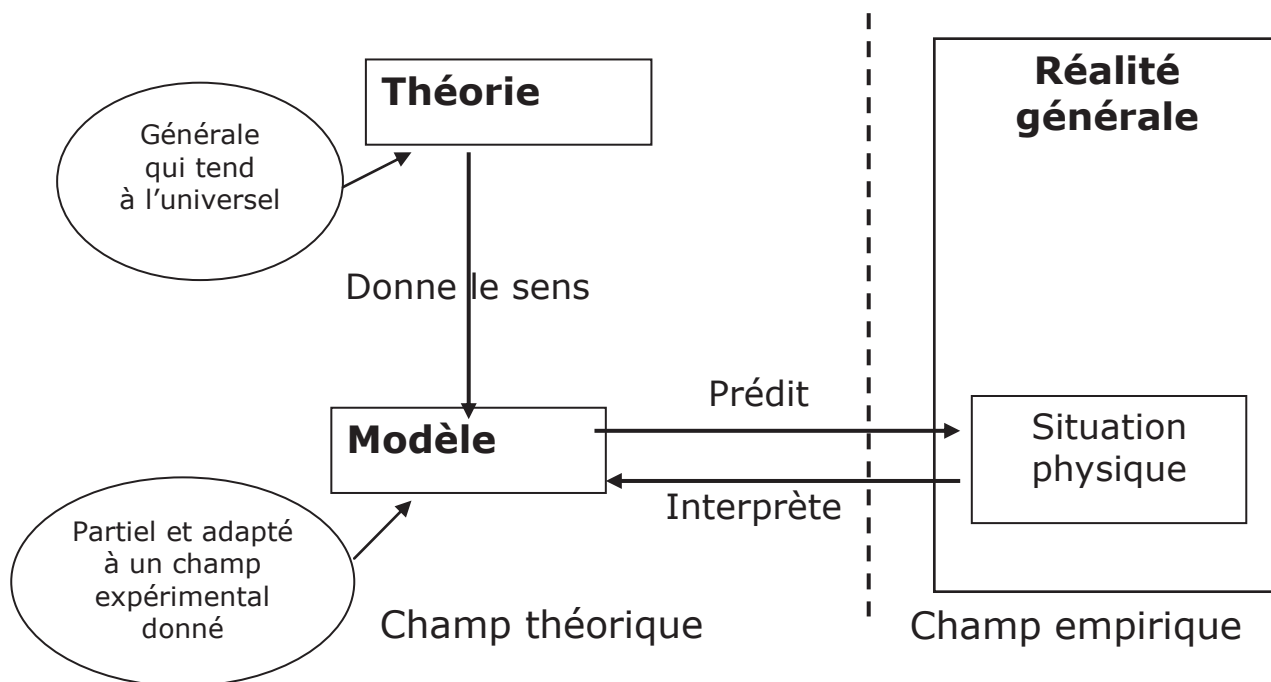
L'analyse des réponses des étudiants sur des questions en électrostatique montre qu'ils connaissent quelques définitions et relations entre grandeurs en électrostatique. Ils savent utiliser certains de ces savoirs dans des situations relativement simples et apprises en cours. Comme celles avec des charges ponctuelles. Mais ils ne savent pas traiter les situations plus complexes comme celles avec des charges volumiques ou des surfaces chargées. Ils ont aussi des difficultés pour effectuer des calculs complexes avec ou sans vecteur. Nous interprétons ces difficultés et notamment leur incapacité à schématiser ou à modéliser une situation physique, comme dans le cas d'une densité volumique de charge ou d'une surface chargée, par leur centration sur la fonction calculatoire des relations mathématiques entre grandeurs physiques au détriment de leurs propriétés à modéliser une situation en physique, [9, 10, 11]. Ils apprennent ces relations mathématiques comme de faux concepts catégoriels et non pas comme des concepts formels. Pour ces étudiants faire de la physique c'est plutôt apprendre des relations mathématiques entre des grandeurs physiques pour répondre à des questions sur des problèmes « académiques » que de construire des savoirs pour expliquer des situations complexes inconnues.

L'apprentissage de savoirs scientifiques problématisés nécessite de poser, construire et résoudre des problèmes, [12]. Ce qui nécessite de proposer aux étudiants des situations-problèmes qui les engagent dans une dynamique de recherche pour leur permettre de construire des savoirs scientifiques en réponse aux questions qu'ils se posent, [13].

Références bibliographiques

1 - Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris, PUF.
 2 - Jouary, J. M. (2002). *Enseigner la vérité ? Essai sur les sciences et leurs représentations*. Paris, L'Harmattan.
 3 - Bachelard, G. (1998). *Le rationalisme appliqué*. Paris, PUF. 1^{ère} édition 1949.
 4 - Esfeld, M. (2009). *Philosophie des sciences. Une introduction*. Lausanne, PpuR.
 5 - Popper, K. (1991). *La connaissance objective*. Paris, Champ Flammarion.
 6 - Bachelard, G. (1999). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, Vrin. 1^{ère} édition 1938.
 7 - Robardet, G. & Guillaud, J. C. (1997). *Eléments de didactique des sciences physiques*. Paris PUF.
 8 - Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1993). *Construire des concepts scientifiques en physique*. Paris : Hachette Education.
 9 - Albe, V. Venturini, P. & Lascours, J. (2001). Electromagnetic concepts in mathematical representation of physics. Journal of sciences Education and Technology, Vol 10, N° 2, P197-203.
 10 - Ranson, S. & Viennot, L. (1998). Charges et champs électriques : difficultés et éléments de stratégie pédagogique en « Mathématiques Spéciales Technologiques ». Didaskalia, n°12,p9-37.
 11 - Kesonen, M. H. P., Asikainen, M. A. & Hirvonen, P. E. (2011). University students' conceptions of the electric and magnetic fields and their interrelationships. European Journal of. Physics, 32, p521-534.
 12 - Fabre, M. (2009). *Philosophie et pédagogie du problème*. Paris, Vrin.
 13 - Viennot, L. (2011). *En physique pour comprendre*. Les Ulis, EDP Sciences.

Annexe 1 : Le fonctionnement du savoir en sciences, []



Annexe 2 : Entraînement en électromagnétisme L3 – 2012 – 2013, réponses des 23 étudiants

1°) Expression du potentiel électrostatique créé en un point M de l'espace par une distribution volumique de charge (faire une figure) :

Forme intégrale Charge ponctuelle	Autres relations	Figure fausse
1	13	17

2°) Partant de la forme locale du théorème de Gauss, retrouver la forme intégrale du théorème de Gauss :

Réponse correcte	Forme intégrale	Forme locale	Autres relations
6	11	15	5

3°) Donner les équations de passage du champ électrique à travers une surface chargée ainsi que les équations locales associées. Préciser en quelques mots la méthode utilisée pour démontrer ces relations (aucun calcul)

Question 3°)	composante tangentielle	composante transversale	Forme locale	Méthode
Réponse correcte	7	5	3	0
Réponse fausse	1	10		7

4°) Répondre vrai ou faux aux affirmations ci-dessous :

	Réponse correcte	Réponse Vrai	Réponse Faux	Total
Le champ électrostatique est défini en un lieu vide de charge	vrai	14	9	23
Le champ est défini dans le lieu où est localisée une charge ponctuelle	faux	13	10	23
Le champ est défini en tout point d'une surface chargée	faux	8	15	23
Le champ est défini en tout point d'une distribution volumique de charge	vrai	18	5	23
Le potentiel électrostatique est défini en un lieu vide de charge	vrai	17	6	23
Le potentiel est défini dans le lieu où est localisée une charge ponctuelle	faux	13	9	22
Le potentiel est défini en tout point d'une surface chargée	vrai	20	3	23
Le potentiel est défini en tout point d'une distribution volumique de charge	vrai	19	3	22
Le potentiel présente des extremums dans des lieux vides de charges	faux	10	9	19
Démontrer cette affirmation			12	12

Annexe 3 : Devoir d'électromagnétisme en L3 - 2012-2013

Questions :

1. Force de Coulomb et champ électrique :

Considérons la force \vec{F} d'un ensemble de charges ponctuelles q_i en M_i sur une autre charge q en P . Soit \vec{r}_i le vecteur $\overrightarrow{M_i P}$, $r_i = ||\vec{r}_i||$ et $\vec{u}_i = \vec{r}_i/r_i$.

- Quelle est la force \vec{F} exprimée en fonction de k , q_i , q , r_i et \vec{u}_i ?
- Quel est le champ électrique \vec{E} (créé par l'ensemble de charges q_i) en P ?
- On enlève la charge q (les charges q_i restent). Quel est maintenant le champ électrique en P ? Justifier la réponse.

Réponses des 28 étudiants

N° question	Réponse correcte	Réponse fausse	Total
a)	16	8	24
b)	15	11	26
c)	14	5	19

Exercice 1 : étude d'un système de trois charges

Trois charges ponctuelles q_1 , q_2 et q_3 sont disposées comme indiqué sur la figure ci-contre. On a :

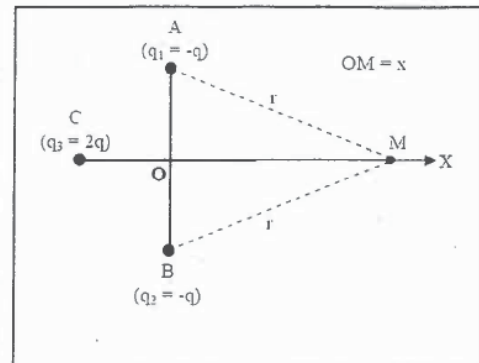
$$q_1 = q_2 = -q \quad q_3 = 2q \quad OA = OB = OC = a$$

1 – Par des considérations de symétrie, déterminer la direction du champ électrique résultant en M situé sur l'axe Ox.

2 – Calculer le champ électrique en ce point M en fonction de k, q, a et x.

Que devient le champ électrique en O ? Est-ce compatible avec ce que l'on peut déduire intuitivement ?

3 – Calculer le potentiel électrostatique créé par les trois charges au point M en fonction de k, q, a et x.



Réponses des 28 étudiants :

N° question	Réponse correcte	Réponse fausse	Total
1°)	19	8	27
2°)	11	17	28
Superposition	28		28
3°)	7	16	23
Superposition	21		25