

# Impacts des TIC sur l'enseignement et l'apprentissage des conceptions relatives au champ électrostatique en classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs (CPGE)

Abdelaziz **Bouchaib**

Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Maroc

[Bouchaib1abdelaziz@gmail.com](mailto:Bouchaib1abdelaziz@gmail.com)

Nadia **Benjelloun**

Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Maroc

[benjelloun.nadia@yahoo.fr](mailto:benjelloun.nadia@yahoo.fr)



©Auteur(s). Cette œuvre, disponible à [http://ritpu.ca/IMG/pdf/RITPU\\_v08\\_n03\\_66.pdf](http://ritpu.ca/IMG/pdf/RITPU_v08_n03_66.pdf), est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas de Modification 2.5 Canada : <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/ca/deed.fr>

*Recherche scientifique avec données empiriques*

## Résumé

Cet article décrit une séquence d'enseignement au cours de laquelle nous avons expérimenté les ressources numériques du site Université en Ligne (UeL), relatives au module d'électrostatique, avec des étudiants de la première année des classes préparatoires aux grandes écoles d'ingénieurs. Nous rappelons brièvement les difficultés conceptuelles rencontrées chez les étudiants de premier cycle universitaire dans le domaine de l'électrostatique. La description de la séquence, expérimentée durant trois années consécutives en deux versions, est suivie d'une analyse des perceptions des étudiants à propos du site UeL. Cette analyse montre que les étudiants sont largement satisfaits du contenu, de la clarté et de la motivation que le site procure dans l'apprentissage. Nous étudions ensuite l'apport de l'UeL sur les conceptions des étudiants participant à l'expérimentation à propos du champ électrostatique créé par une charge ponctuelle et du principe de superposition des champs créés par deux charges ponctuelles. Les résultats montrent que, lorsque les ressources de l'UeL sont intégrées en situation d'auto-apprentissage accompagné par un enseignant tuteur, elles permettent une bonne ap-

propriation de ces concepts et une meilleure interprétation des situations utilisées comme instrument d'évaluation.

## Mots-clés

Site web Université en Ligne (UeL), TIC, électrostatique, évaluation, conceptions

## Abstract

This article describes a teaching sequence in which we have experimented digital resources of "online university (UeL)" site related to Electrostatics module with students of the first year of preparatory classes for engineering schools. We briefly remind the conceptual difficulties faced by the first cycle university students in the domain of Electrostatics. The sequence description experienced during three consecutive years in two versions is followed by an analysis of students' perception of UeL site. This analysis shows that students are widely satisfied of the content, clarity and motivation provided by this site towards learning. Then, we study the contribution of UeL to conceptions of students participating in the experiment of the Electrostatic field created by a point charge and of the superposition principle

of fields created by two point charges. The results show that when UeL resources are integrated into self-learning situation accompanied with a tutor or a teacher, they permit a good appropriation of these concepts and a better interpretation of situations used as evaluation instrument.

## Keywords

Online university web site (UeL), ICT, electrostatics, evaluation, conceptions

## Introduction

On assiste depuis quelques années à une émergence illimitée des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les différents domaines de l'activité socioéconomique, le domaine éducatif n'étant pas épargné. Cela a permis la conception de centaines, voire de milliers de sites éducatifs. Par conséquent les enseignants exploitent de plus en plus les ressources éducatives diffusées sur le Net dans leur enseignement et les étudiants dans leur apprentissage. Cela est dû au fait que ces ressources fournissent des moyens novateurs non seulement pour la diffusion des connaissances mais aussi pour l'exploration de stratégies d'apprentissage qui favorisent la construction des compétences (Lebrun, 2002-a). Cependant, nous constatons que dans les établissements d'enseignement supérieur marocains, l'usage de ces ressources en salle de cours est très limité, alors que beaucoup de sites web à accès libre proposent des activités d'enseignement réalisables en salle de cours et permettent à priori de rendre les étudiants plus actifs et de les faire travailler ensemble pour construire leurs connaissances. Une étude d'Aamili et Chiadli (2008) menée auprès de 40 enseignants de l'Université Chouaïb Doukkali d'El Jadida (Maroc) a montré qu'aussi peu que 45% des enseignants utilisent les TIC en enseignement, et que seulement 55 % d'entre eux utilisent les ressources d'Internet dans leur pratique pédagogique (préparation de cours, compléments pour les étudiants...). De même, une enquête réalisée auprès de 58 professeurs de l'Université Mohammed Premier d'Oujda (Maroc) (Droui et-

Kaaouachi, 2010) a montré une prédominance de l'enseignement classique et une limitation importante quant à l'intégration et à l'usage des TIC dans l'enseignement des sciences. Cette faible exploitation des TIC en salle de cours de l'enseignement universitaire marocain peut être expliquée par le manque d'équipement, le manque de formation des enseignants à l'usage des TIC et la rareté des études au niveau national consacrées aux stratégies de leur intégration.

Ce travail constitue une contribution à l'étude des impacts des ressources en ligne sur l'enseignement et sur l'apprentissage des sciences, en l'occurrence de l'électrostatique, dans le contexte de l'enseignement au Maroc. Nous avons expérimenté en présentiel les ressources relatives au module d'électrostatique du site à accès libre Université en Ligne (<http://www.uel-pcsm.education.fr>) que nous désignerons dans la suite du texte par UeL. Notre but est double : d'une part, savoir si l'enrichissement du cours traditionnel par des ressources en ligne permet aux étudiants d'apprendre avec plus d'efficacité et de motivation, et d'autre part, dégager quelques difficultés rencontrées lors de l'intégration de ces outils dans l'enseignement en salle de cours, que ce soit pour les enseignants ou pour les apprenants.

## Problématique et cadre théorique

Au Maroc, l'électrostatique fait partie du programme de physique de la première année universitaire de toutes les filières scientifiques. Une grande partie de la physique et presque toute la chimie ne peuvent être maîtrisées sans une compréhension de l'électrostatique. Chabay et Sherwood (1995) soulignent qu'elle est indispensable pour comprendre l'ensemble de l'électromagnétisme, et Bensghir et Closset (1996) ont montré qu'une incompréhension de l'électrostatique peut nuire à l'apprentissage de l'électrodynamique.

Malgré son importance, très peu de recherches en didactique ont porté sur l'enseignement et l'apprentissage de l'électrostatique. Les rares recherches menées dans ce sens ont révélé que les étudiants du premier cycle universitaire ont des problèmes d'assimilation de certains concepts, tels que celui du champ électrostatique créé par une charge ponctuelle ou encore celui du principe de superposition. En effet, Rainson (1995) et Rainson et Viennot (1998) ont montré que 75% des étudiants de la deuxième année des classes préparatoires, ont de la difficulté à appliquer correctement le principe de superposition afin de prévoir le champ électrostatique au voisinage d'un conducteur chargé et en présence d'une charge ponctuelle à l'extérieur du conducteur. Ces auteurs ont aussi constaté que de 33% à 69% d'étudiants de niveaux universitaires différents déclarent que s'il n'y a pas de charge en mouvement dans une région de l'espace, celle-ci ne peut être le siège d'un champ électrostatique.

Métioui et Trudel (2007) ont étudié les explications des phénomènes électrostatiques avancées par des étudiants inscrits en 3<sup>e</sup> année universitaire d'une faculté des sciences de l'éducation au Canada. À ce propos, ils ont interrogé ces étudiants en utilisant six questions qui portent sur quelques phénomènes d'électrostatique, comme la formation de l'éclair et l'interaction entre corps frottés, ainsi que sur l'utilité et les dangers associés à l'électrostatique. Les auteurs ont constaté que la majorité des explications fournies par les étudiants étaient fausses.

Furió et Guisasola (1998) ont quant à eux étudié le raisonnement des étudiants espagnols à propos du champ électrostatique. Ils ont montré que 46% des étudiants de la première année universitaire confondent la force électrostatique et le champ électrostatique.

Pour notre part, nous menons depuis quatre ans des études didactiques dans ce sens en nous appuyant sur des situations problèmes simples. Nos résultats de recherche dans le contexte de l'enseignement au Maroc confirment en effet ces difficultés conceptuelles chez des élèves du secondaire (Bouchaib et

Benjelloun, 2011), chez des étudiants des classes préparatoires pour les grandes écoles d'ingénieurs et chez des étudiants de la première année universitaire. Ces derniers ont surtout des difficultés relatives aux concepts du champ électrostatique créé par une charge ponctuelle et du principe de superposition de champs créés par deux charges ponctuelles.

Le concept de champ électrostatique est un concept abstrait qui ne peut être mis en évidence par des expériences visibles. Le principe de superposition met en jeu une causalité multiple où plusieurs causes (plusieurs charges) donnent un seul effet (le champ total). Ces deux concepts sont difficilement concevables dans l'enseignement traditionnel même illustré par des expériences, alors que ce sont deux concepts clés de l'électrostatique permettant de comprendre l'ensemble de l'électromagnétisme.

Il nous est donc apparu essentiel de trouver une solution pour dépasser ces difficultés d'apprentissage en électrostatique et rendre son apprentissage plus attirant et plus motivant. Dans ce sens, nous avons pensé intégrer des ressources numériques dans une séance d'enseignement en présentiel. L'hypothèse sur laquelle repose notre travail est que l'utilisation de ces outils permet un apprentissage attrayant et motivant, et une meilleure appropriation de certains concepts de l'électrostatique. Nous avons choisi le site UeL car il contient des cours interactifs. L'étudiant peut consulter n'importe quelle partie du cours à tout moment. Le contenu du cours est présenté sous différentes formes : des parties théoriques claires et précises, des schémas illustratifs, des simulations et expériences filmées susceptibles d'aider l'apprenant à construire une représentation correcte des concepts d'électrostatique. Par ailleurs, Posner, Strike, Hewson, et Gertzog (1982) ont montré que les apprenants ne peuvent construire une représentation correcte d'un concept scientifique que s'il est communiqué dans un vocabulaire pertinent et clair, et présenté sous différents modes (expérience, schéma, symboles, etc.). DiSessa (1988), quant à lui, juge efficace l'utilisation de modèles visuels et manipulables, et indique que les micromondes informatisés représentent un bon moyen de permettre

aux apprenants d'expérimenter en premier lieu des mondes à caractéristiques conformes à leur intuition, et en deuxième lieu des mondes à caractéristiques différentes, idéalisées, qui peuvent les aider à voir les choses différemment.

De nombreux travaux ont tenté, dès l'utilisation de l'ordinateur en classe, de mettre en évidence les bénéfices des TIC sur l'apprentissage (Kulik, Kulik et Cohen, 1980). Cependant, les bénéfices liés à l'usage des TIC en classe ne sont pas toujours évidents à démontrer. Russell (2001) a passé en revue plus de 300 recherches dans lesquelles il a analysé les effets des technologies sans pouvoir assurer que ces dernières produisent des effets systématiquement positifs. Lebrun (2002-b), pour sa part, rend compte de ces recherches en insistant sur une prudence nécessaire dans la mesure où les effets observés sont souvent légers et relativement peu contrôlés. Pour notre part, nous contribuons dans cette recherche à évaluer les impacts de ces ressources sur l'apprentissage en menant une évaluation qualitative et quantitative des impacts de l'enrichissement du cours de l'électrostatique par des ressources du site UeL.

### Questions de recherche

Les questions auxquelles s'intéresse notre étude sont les suivantes :

Est-ce que les ressources du site UeL permettent aux étudiants de mieux se représenter les concepts d'électrostatique, notamment le champ créé par une charge ponctuelle et le principe de superposition des champs créés par deux charges ponctuelles ? Quels impacts ont ces ressources sur ces conceptions ? Et quelles seront les perceptions des étudiants à propos de la séquence d'enseignement enrichie par les ressources du site UeL ? Quels impacts ont ces ressources sur l'enseignement et l'apprentissage en électrostatique ?

### Présentation du site UeL

Le site UeL est à accès libre. Il est élaboré par le Réseau Universitaire des Centres d'Autoformation (RUCA), fruit de la collaboration de 13 universités françaises. Comme il est indiqué sur sa page d'accueil, c'est un « ensemble cohérent de ressources multimédias en sciences destinées aux enseignants et aux étudiants des premiers cycles de l'enseignement supérieur ». L'UeL regroupe les contenus de quatre disciplines scientifiques (mathématique, physique, chimie et biologie). Chaque module de ces disciplines comprend cinq activités principales :

1. Apprendre - C'est la partie « tutoriel » de chaque module.
2. S'exercer - Permet de faire des exercices d'entraînement. Le nombre des exercices proposés varie selon les modules et les thèmes abordés.
3. Simuler - Permet d'accéder à des calculateurs et des simulateurs.
4. S'évaluer - Pour faire des tests sur la réussite de son apprentissage.
5. Observer - Pour visionner des vidéos ou des animations, ou analyser certaines particularités.

D'autres activités sont offertes à l'utilisateur : un lexique général regroupant les définitions des principaux termes utilisés dans le module, un guide d'étude permettant à l'étudiant d'avoir une vision globale du contenu du module, un espace « À propos » qui donne accès à une bibliographie, des informations sur les auteurs et un contact pour poser des questions. Chaque module peut être utilisé différemment par l'enseignant : soit en isolant des éléments du module pour une présentation dans son propre cours, soit en intégrant certaines parties du module dans d'autres environnements d'une plateforme d'enseignement, soit, avec l'accord des auteurs du module, en modifiant certaines parties.

Les différents modules sont présentés sous forme hypertextuelle. L'apprenant peut ainsi survoler des parties et lire plus attentivement certaines autres, c'est-à-dire qu'il peut approfondir ou non son apprentissage selon ses propres besoins. Le contenu est présenté sous différentes formes de représentation (images, animations, graphes et données numériques) qui sont utiles pour la compréhension des concepts fondamentaux et abstraits. Celles-ci permettent de maintenir l'attention du sujet et de l'aider à construire les modèles mentaux (Legros et Crinon, 2002). Des séries d'exercices et d'évaluation interactifs permettent à l'apprenant de mesurer directement ses connaissances. Les simulations proposées permettent aux étudiants de développer la compréhension d'un concept abstrait, de voir l'effet des différents paramètres dont il dépend et de favoriser ainsi l'évolution de leurs conceptions vers des conceptions scientifiques.

## Méthodologie

Nos expérimentations se sont déroulées au Centre Pédagogique Régional de Tanger (Maroc) avec des étudiants de la première année des classes préparatoires pour les grandes écoles d'ingénieurs (CPGE) (âgés de 18 et 19 ans), option Physique et sciences de l'ingénieur (PSI). Nous avons expérimenté le site UeL trois années de suite (vers la fin de l'année universitaire, mois de juin) avec trois groupes d'étudiants, que nous avons nommés  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$ . Dans la première et la deuxième expérimentation, nous avons proposé aux étudiants des groupes expérimentaux un post-test papier-crayon (annexe 3), subi directement après la séance de l'expérimentation. Puis nous avons comparé leurs réponses à celles d'autres groupes témoins, que nous avons nommés  $C_1$  et  $C_2$ . Dans la troisième expérimentation, nous avons adopté un plan expérimental pré-test/post-test avec le groupe expérimental  $E_3$  et un groupe de contrôle  $C_3$ . Les étudiants des groupes de contrôle  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$  sont de même niveau que les étudiants des groupes expérimentaux et ont reçu

le même contenu en électrostatique par l'enseignement traditionnel, mais n'ont pas reçu un enseignement à l'aide du site UeL. Aucun critère autre que le niveau d'étude n'a été pris en considération pour choisir les groupes de contrôle. Les étudiants des trois groupes expérimentaux  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  ont reçu en plus du cours traditionnel deux heures d'enseignement enrichi par des ressources numériques relatives au module de l'électrostatique du site UeL. Les données relatives à ces derniers et le contenu étudié sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau 1** : données relatives aux étudiants participant à l'expérimentation et au contenu étudié

Niveau et nom du groupe expérimental	Année 2007 - 2008 1 <sup>re</sup> année PSI ( $E_1$ )	Année 2008 - 2009 1 <sup>re</sup> année PSI ( $E_2$ )	Année 2009 - 2010 1 <sup>re</sup> année PSI ( $E_3$ )
Nombre d'étudiants	34 étudiants (14 filles et 20 garçons) répartis en deux groupes	23 étudiants (11 filles et 12 garçons) répartis en deux groupes	25 étudiants (13 filles et 12 garçons) répartis en deux groupes
Contenu étudié	- Charge électrique - Force électrostatique - Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle - Principe de superposition des champs électrostatiques créés par un ensemble de charges ponctuelles - Théorème de Gauss	- Charge électrique - Force électrostatique - Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle - Principe de superposition de champs électrostatiques créés par un ensemble de charges ponctuelles	- Charge électrique - Force électrostatique - Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle - Principe de superposition de champs électrostatiques créés par un ensemble de charges ponctuelles
Durée de la séquence d'enseignement utilisant l'UeL	2h pour chaque groupe	2h pour chaque groupe	2h pour chaque groupe

Lors de la première expérimentation, nous avons remarqué que les deux heures de formation ne suffisent pas pour aborder le contenu proposé, et vu les contraintes de temps qui caractérisent l'enseignement dans les CPGE, il était difficile d'augmenter le temps de l'expérimentation. Nous avons donc dû alléger le contenu étudié pendant l'expérimentation avec les groupes  $E_2$  et  $E_3$  en supprimant la partie relative au théorème de Gauss.

Durant chaque expérimentation, nous avons réparti les étudiants participants en deux groupes et à raison de deux étudiants par ordinateur. Nous leur avons proposé une fiche technique (annexe 1) qui décrit les parties du cours à consulter et les activités à réaliser durant les deux heures de la séquence. Nous leur avons expliqué le but de la séance et comment accéder au site UeL, et aussi comment installer les logiciels nécessaires à son fonctionnement. En effet, pour faire fonctionner les simulations sur le site, il faut installer sur l'ordinateur le logiciel JavaScript, et pour visualiser les vidéos il faut installer les logiciels QuickTime et Flash Player.

Lors de la première et de la deuxième expérimentation, nous avons expérimenté le site en situation de consultation individuelle des ressources et sans aucun accompagnement par un formateur. Nous avons laissé aux étudiants la liberté de choisir les activités proposées à faire selon leur rythme. Notre rôle s'est limité à leur montrer comment naviguer entre les différentes pages du site et à observer la progression de leur apprentissage. Dans la troisième expérimentation, nous avons expérimenté le site en situation d'auto-apprentissage accompagné par un tuteur ou un enseignant.

À la fin de chaque expérimentation, nous avons présenté aux étudiants une grille d'évaluation qualitative pour qu'ils expriment leurs perceptions du site UeL.

### **Impact de la séance enrichie par les ressources du site UeL sur l'enseignement**

Bien que le site apparaisse à première vue facile à utiliser, nous avons dû intervenir pour aider les étudiants à visualiser les différentes pages et à consulter les simulations, les animations et les documents vidéo. Dans la troisième expérimentation, notre tâche d'animateur et d'accompagnateur des étudiants dans leur apprentissage n'était pas facile parce qu'il fallait suivre individuellement chaque étudiant à son rythme. Nous étions obligés de répondre à beaucoup de questions de différents types, d'ordre conceptuel et technique. Signalons aussi que la planification de la séance nous a demandé beaucoup d'efforts. En effet, il nous a fallu consulter plusieurs fois le site pour mettre en place la fiche technique permettant l'organisation des activités des apprenants. Cependant, même si les étudiants ont reçu cette fiche, nous avons remarqué que plusieurs d'entre eux ne s'y référaient pas. Il nous a fallu intervenir pour les remettre sur les rails afin que le travail demandé soit réalisé dans le temps imparti.

### **Impact de la séance enrichie par les ressources du site UeL sur l'apprentissage des étudiants et sur leur motivation**

Durant les deux premières expérimentations, nous avons remarqué que les étudiants n'octroient pas un temps suffisant à la partie théorique du cours, ne respectent pas les instructions de la fiche et parcourent d'une manière arbitraire et hâtive les différentes activités. Plusieurs d'entre eux consultent les solutions des exercices proposés sans essayer de les résoudre. Par conséquent, leurs apprentissages demeurent instructurés. Lors de la troisième expérimentation, nous sommes intervenus davantage dans le travail des étudiants. Le contact direct et la discussion avec eux ont permis un échange beaucoup plus fructueux. Nous avons particulièrement

constaté qu'ils se sont considérablement motivés et libérés des contraintes d'une séance d'enseignement classique et conformiste, ce qui les a incités à questionner spontanément l'enseignant animateur en exprimant leur incapacité à comprendre quelques notions et concepts. Ceci est rarement observé au cours d'une séance d'enseignement classique. Durant les trois expérimentations, nous avons remarqué de forts échanges entre les éléments de chaque binôme. Les étudiants s'interrogent mutuellement et collaborent pour comprendre le contenu abordé et résoudre les problèmes et les exercices proposés par le site. Ainsi, ils s'impliquent activement et positivement dans le processus de leur apprentissage.

## Évaluation des perceptions des étudiants à propos du site UeL

Pour avoir une idée des perceptions des étudiants à propos des trois séances d'expérimentation, nous leur avons proposé une grille de perception (tableau 2) constituée de 19 critères pour lesquels ils ont eu à exprimer leurs positions.

**Tableau 2 :** Grille des perceptions des étudiants relatives au module de l'électrostatique de l'UeL,  $E_{i=1,2,3}$ : expérimentation i

Avis des étudiants participant à l'expérimentation Perceptions proposées	D'accord		
	$E_1$	$E_2$	$E_3$
1- Les différentes parties du cours sont faciles à trouver	93 %	95%	88%
2- Le menu est clair et facile à trouver	100%	95%	88%
3- Je peux naviguer facilement dans les différentes parties du site sans risque de désorientation	76%	85%	83%
4- Ce site est exactement comme je l'attendais	55 %	45%	66%
5- Ce site me motive à étudier le cours d'électrostatique	96,5%	85%	83%
6- Ce site est bien adapté à mes besoins	55 %	55%	72%
7- Il y a tout ce dont j'ai besoin dans ce site	58,5%	40%	63%
8- Je vois bien les avantages que ce site m'apporte	80%	90%	88%
9- Les simulations sont très intéressantes	85%	90%	83%
10- Ce cours interactif permet de compléter le cours traditionnel	90%	80%	83%
11- Les simulations m'ont permis de comprendre la notion de champ électrostatique	90%	90%	85%
12- Ce site ne correspond pas à mes objectifs	19,5%	5%	11%
13- Je préfère utiliser un photocopie ou un livre	41,5%	30%	28%
14- La lecture sur le site est fatigante	45 %	40%	38%
15- Je n'arrive pas à gérer mon temps en utilisant ce site	41,5%	25%	26%
16- Je ne suis pas satisfait de l'esthétique de ce site	17%	5%	16%
17- Il est difficile de passer d'une activité à une autre	14 %	5%	22%
18- Il m'a fallu beaucoup d'efforts pour pouvoir consulter les différentes activités	15%	15%	16%
19- Je ne vois pas l'avantage d'utiliser ce site pour apprendre l'électrostatique	13,5 %	15%	18%

Les résultats de cette grille de perception montrent que plus de 75 % des étudiants expriment leur accord pour huit propositions qui sont en faveur du site. D'une façon générale, la majorité des étudiants sont d'accord avec les propositions positives qui concernent l'utilisation du site. C'est le cas par exemple de la proposition « Je peux naviguer facilement dans les différentes parties du site sans risque de désorientation » avec laquelle en moyenne 81% des étudiants sont d'accord. De même 94% des étudiants affirment que « Le menu est clair et facile à trouver ». Par contre, plus de la moitié des étudiants interrogés estiment que « La lecture sur le site est fatigante ». Cela explique leurs avis pour la proposition « Je préfère utiliser un polycopié ou un livre » avec laquelle seulement 41% d'entre eux sont d'accord. Cela montre que la difficulté de lecture sur un écran amène les étudiants à préférer le polycopié même si les différentes activités sur le site sont faciles à trouver, et même si l'esthétique du site est satisfaisante (plus de 80 % d'entre eux affirment qu'ils sont satisfaits de l'esthétique).

Pour la proposition liée à la gestion du temps, 41,5 % des étudiants du groupe  $E_1$  n'arrivent pas à gérer leur temps en utilisant le site ; ce taux diminue à 25% chez ceux du groupe  $E_2$  et à 26% chez les étudiants du groupe  $E_3$ . Cette diminution peut être expliquée par l'allègement du contenu étudié, lors de la séance de l'expérimentation, pour les étudiants des groupe  $E_2$  et  $E_3$ .

Quant aux perceptions des étudiants à propos des ressources proposées par le site, plus de 85 % des étudiants affirment que ces ressources les ont motivés à étudier l'électrostatique. Mais, seulement 55% des étudiants de  $E_1$ , 45 % de ceux de  $E_2$  et 66% de ceux de  $E_3$  déclarent que le site est exactement ce qu'ils attendaient, la majorité des étudiants souhaitant voir plus d'exercices et de problèmes de synthèse sur le site.

En ce qui concerne les simulations proposées par le site, 85 % des étudiants déclarent que ces simulations leur ont permis de comprendre la notion de champ électrostatique. Ceci peut être expliqué par l'importance des simulations et des animations proposées par le site, qui permettent aux étudiants

d'avoir une meilleure représentation des concepts de l'électrostatique.

On peut donc conclure que les ressources du site ont rendu l'apprentissage de l'électrostatique plus attrayant et plus motivant qu'une séance classique. Elles ont amené les étudiants à s'impliquer activement dans leur apprentissage. Un étudiant a ajouté le commentaire suivant à ses réponses à la grille ci-dessus « J'aime bien voir le site plusieurs fois, je suis très satisfait par les simulations. Elles nous facilitent la compréhension du cours. »

### **Impact des ressources de l'UeL sur l'apprentissage du concept de champ électrostatique**

#### **Résultats de la première et de la deuxième expérimentation**

La comparaison des réponses des étudiants des groupes expérimentaux et de celles des groupes de contrôle aux questions du post-test (annexe 3) montre qu'il y a une légère différence entre les taux de réponses correctes en faveur des groupes expérimentaux. L'enrichissement du cours par les ressources du site UeL n'a pas eu un effet considérable sur la compréhension du concept de champ électrostatique et du principe de superposition. Dans ces deux expérimentations, nous ne sommes pas intervenus pendant le déroulement de la séance. Les étudiants disposaient de la fiche qui décrit les parties à consulter mais ils avaient le choix des activités à faire. Nous avons remarqué que beaucoup d'entre eux n'ont pas respecté les instructions de la fiche et ont parcouru de manière arbitraire et hâtive les différentes activités. Ils ont passé peu de temps à réaliser les activités qui permettent une meilleure appropriation du concept de champ électrostatique. Pour les exercices, ils n'ont pas pris suffisamment de temps pour les résoudre avant de regarder leurs solutions. Ceci ne leur a pas permis de tirer le maximum de profit de ces activités et par conséquent ils n'ont pas pu avoir une bonne appropriation des concepts étudiés. Les résultats des deux groupes



expérimentaux  $E_1$  et  $E_2$  sont similaires. Cela veut dire que l'allègement du contenu étudié lors de la deuxième expérimentation n'a pas eu d'effet significatif sur l'apprentissage (Bouchaib et Benjelloun, 2009, 2010).

### Résultats de la troisième expérimentation

Dans cette dernière expérimentation, nous avons adopté un plan expérimental différent basé sur un pré-test et un post-test. À l'aide du pré-test (annexe 2), nous avons évalué après enseignement les connaissances des étudiants du groupe expérimental et du groupe de contrôle, relatives au concept de champ électrostatique. Après la séance d'enseignement enrichie par les ressources numériques du site UeL, nous avons proposé aux étudiants du groupe  $E_3$  un post-test papier-crayon (annexe 3) pour évaluer l'apport de ces ressources sur leur apprentissage en électrostatique et nous avons comparé leurs réponses à celles du groupe de contrôle  $C_3$ .

Au cours de cette expérimentation, nous sommes intervenus beaucoup plus dans le déroulement de la séance, avons dirigé les apprentissages des étudiants en orientant ceux qui puisent dans des parties du site qui ne sont pas concernées par le contenu à étudier et avons planifié l'activité d'apprentissage en demandant aux étudiants de respecter les consignes que nous leur avons proposées dans la fiche technique (annexe 1) et de faire les activités dans l'ordre suivant : cours, simulations, expériences filmées et, enfin, les exercices interactifs. Nous avons aussi observé la progression de leurs apprentissages et structuré la réalisation des activités. Sur le plan technique, nous avons assisté les étudiants et répondu à leurs questions intermittentes relatives au fonctionnement des simulations, des animations et des exercices interactifs pour qu'ils tirent le maximum de profit de ces activités. Sur le plan conceptuel, beaucoup d'étudiants s'interrogeaient sur les simulations qui illustrent l'existence du champ électrostatique en tout point de l'espace qui entoure une charge sans présence de charges dans cet es-

pace. Ces simulations ont donc provoqué un conflit cognitif à propos du concept de champ électrostatique chez les étudiants (selon leurs conceptions initiales, un champ électrostatique existe seulement en un point où il y a une charge (voir résultats du pré-test)). Les étudiants ont aussi posé des questions sur : la signification d'une charge ponctuelle, la différence entre une distribution de charges ponctuelles et une distribution continue de charges, les expériences filmées qui illustrent les interactions électrostatiques entre corps frottés, l'expérience de Coulomb ainsi que l'interprétation de l'expérience qui illustre les lignes de champ. Tous ces points ont été l'objet de discussions entre les membres du groupe  $E_3$  et l'enseignant animateur.

#### Analyse et discussion des résultats du pré-test de la troisième expérimentation

L'analyse des réponses des étudiants aux questions du pré-test (annexe 2) nous a montré l'existence de difficultés conceptuelles en électrostatique chez les deux groupes d'étudiants. En effet, 21% des étudiants du groupe expérimental et 21,5% des étudiants du groupe de contrôle confondent la force électrostatique et le champ électrostatique. De même, 41% de ceux du groupe expérimental et 42% de ceux du groupe de contrôle déclarent que la présence d'une charge en un point de l'espace est nécessaire à l'existence d'un champ électrostatique en ce point. De plus, 50% des étudiants des deux groupes  $E_3$  et  $C_3$  ne donnent aucune justification au fait qu'une charge ponctuelle crée un champ électrostatique en un point où il n'y a pas de charge. On observe également que 72,5% des étudiants du groupe expérimental et 74% des étudiants du groupe de contrôle n'arrivent pas à appliquer correctement le principe de superposition des champs électrostatiques pour deux charges ponctuelles.

#### Analyse et discussion des résultats du post-test de la troisième expérimentation

Nous exposons dans ce qui suit les réponses des étudiants du groupe expérimental  $E_3$  aux questions du post-test (annexe 3), que nous leur avons pro-

posé directement après la séance d'enseignement enrichie par les ressources du site UeL. Puis nous comparons leurs réponses à celles des étudiants du groupe de contrôle  $C_3$  qui n'ont pas reçu ce type d'enseignement. Les résultats sont présentés aux tableaux 3,4 et 5.

**Tableau 3 :** résultats de la question du QCM du post-test (annexe 3)

Réponse (d)	Réponse (c)	Réponse (b) Réponse correcte	Réponse (a)	Catégories de réponses	
				Étudiants 2009 - 2010	
4%	8%	64%	24 %	groupe expérimental. $E_3$ (N=25)	
10%	13%	45%	32%	groupe de contrôle. $C_3$ (N=32)	

**Tableau 4 :** Résultats des réponses des étudiants à la question (1) de l'exercice « calcul du champ électrostatique » du post-test (annexe 3)

Pas de réponse	Réponses fausses	Réponses correctes	Catégories de réponses	
			Étudiants 2009 - 2010	
0%	12%	88%	groupe expérimental $E_3$ (N=25)	
0%	53%	47%	groupe de contrôle $C_3$ (N=32)	

**Tableau 5 :** résultats de la question (2) de l'exercice « calcul du champ électrostatique par le principe de superposition » du post-test (annexe 3)

Pas de réponse	Réponses fausses	Réponses correctes	Catégories de réponses	
			Étudiants 2009-2010	
0%	36%	64%	Groupe expérimental $E_3$ (N=25)	
0%	78%	22%	Groupe de contrôle $C_3$ (N=32)	

L'analyse des réponses des étudiants aux questions de l'exercice « calcul du champ électrostatique » nous a permis de relever plusieurs types de réponses présentées aux tableaux 6 et 7.

**Tableau 6 :** Analyse des réponses à la question (1) de l'exercice « calcul du champ électrostatique » du post-test (annexe 3)

Types de réponses \ Catégories d'étudiants	Groupe expérimental E <sub>3</sub> (N = 25)	Groupe de contrôle C <sub>3</sub> (N = 32)
Pas de réponse	0 %	10 %
R <sub>4</sub> : Formule incorrecte $\vec{E}(B) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} \vec{u}$	4 %	12 %
R <sub>3</sub> : Confusion entre charge source de champ et charge d'épreuve $\vec{E}(B) = \frac{q_B}{4\pi\epsilon_0 a^2} \vec{u}$	8 %	15,5 %
R <sub>2</sub> : Confusion entre champ et force $\vec{E}(B) = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} \vec{u}$	0 %	15,5 %
R <sub>1</sub> : Réponse juste	88 %	47 %

**Tableau 7 :** Analyse des réponses à la question (2) (principe de superposition) de l'exercice « calcul du champ électrostatique » du post-test (annexe 3)

Types de réponses	Catégories d'étudiants	Groupe expérimental (N = 25)	Groupe de contrôle (N = 32)
R' <sub>1</sub> : Réponse juste		64 %	22 %
R' <sub>2</sub> : Confusion entre force et champ électrostatiques		0 %	15,5 %
$\vec{E}(C) = \frac{q_B q_C}{4\pi\epsilon_0 a^2} \vec{u}$			
R' <sub>3</sub> : Confusion entre charge source de champ et charge d'épreuve		8 %	25 %
$\vec{E}(C) = \frac{q_C}{4\pi\epsilon_0 a^2} \vec{u}$			
R' <sub>4</sub> : Formule incorrecte		8 %	9,5 %
$\vec{E}(C) = \left[ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 (x-a)} \right] \vec{u}$			
R' <sub>5</sub> : Pas d'utilisation de principe de superposition		20 %	28 %
$\vec{E}(C) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 x^2} \vec{u}$			
Pas de réponse		0 %	0 %

Nous remarquons que pour toutes les questions qui composent le post-test, les étudiants du groupe expérimental ont un taux de réponses correctes plus grand que celui des étudiants du groupe de contrôle. En effet, le pourcentage des étudiants qui ont pu déterminer correctement les charges sources du champ créé en un point de l'espace est plus grand chez les étudiants du groupe expérimental que chez ceux du groupe de contrôle. Le taux de réponses correctes pour le calcul du champ créé par une charge ponctuelle en un point où il y a une autre charge est plus élevé chez les étudiants du groupe expérimental que chez ceux du groupe de contrôle. Ceci est également le cas pour le calcul du champ créé par deux charges ponctuelles en un point de l'axe joignant les deux charges.

Les étudiants du groupe expérimental ont pu concevoir la distinction entre les charges sources du champ et la charge d'épreuve; seulement 8 % des étudiants du groupe expérimental ont confondu la charge source du champ avec la charge se trouvant au point où le champ est créé, alors que 25% des étudiants du groupe de contrôle ont attribué une charge au point où on leur demande de calculer le champ, même si dans l'énoncé on signale qu'il n'y pas de charge en ce point. Aucun étudiant du groupe expérimental n'a confondu le champ électrostatique avec la force électrostatique alors que 15,5 % de ceux du groupe de contrôle ont confondu ces deux concepts.

Ces résultats montrent que les étudiants qui ont suivi un cours enrichi par les ressources du site UeL ont pu avoir une meilleure conception du champ électrostatique que les étudiants du groupe de contrôle. En effet, les simulations du site UeL permettent aux apprenants de visualiser et de manipuler le champ électrostatique, et de voir directement l'effet de certains paramètres sur ce champ. Ils peuvent aussi avoir une représentation du champ total créé par plusieurs charges ponctuelles en ajoutant les vecteurs de champ électrostatiques un à un jusqu'à l'obtention du champ total. Ceci a permis aux apprenants d'avoir des approches différentes

du concept de champ électrostatique qu'ils ont pu ainsi mieux s'approprier. D'autre part l'observation de deux étudiants en situation d'apprentissage sur le site nous a montré que ces derniers avaient deux conceptions différentes de l'existence de champ en un point de l'espace. L'un d'eux avait une conception correcte et l'autre avait une conception erronée. Finalement, après une discussion accompagnée par la consultation du cours et des simulations, ce dernier a pu changer sa conception erronée pour une conception correcte. Ceci montre que les ressources du site engendrent des conflits sociocognitifs qui pourraient mener certains étudiants vers un apprentissage efficace. Nous résumons dans le tableau suivant les changements conceptuels que nous avons observés après la séquence enrichie par les ressources du site UeL.

**Tableau 8 :** Conceptions des étudiants relatives au champ électrostatique avant et après la séquence enrichie par les ressources du site UeL

Pré-test	Post-test
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le champ électrostatique ne peut exister en un point que s'il existe une charge en ce point</li> <li>- Confusion entre champ électrostatique et force électrostatique</li> <li>- On ne fait pas appel au principe de superposition pour calculer le champ électrostatique créé par deux charges ponctuelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le champ électrostatique peut exister en un point de l'espace même en l'absence de charge en ce point</li> <li>- Pas de confusion entre force et champ électrostatiques</li> <li>- Utilisation correcte du principe de superposition</li> </ul>

Cependant, ces résultats positifs de l'impact des ressources numériques sur l'apprentissage des étudiants n'ont pu être obtenus sans l'intervention d'un enseignant qui a accompagné les étudiants dans leur apprentissage et organisé leurs activités pour une meilleure utilisation du site UeL.

## Conclusion

L'enseignement et l'apprentissage des concepts d'électrostatique sont deux tâches difficiles à réaliser avec succès par la pédagogie traditionnelle étant donné que certains de ces concepts ne donnent pas accès à l'observation directe. Une autre option utilisant les TIC s'impose donc pour aider les apprenants à construire des représentations correctes de ces concepts. C'est dans ce cadre que nous avons enrichi le cours traditionnel de l'électrostatique, enseigné aux étudiants de la première année des classes préparatoires pour les écoles d'ingénieurs, avec des ressources numériques du site UeL.

Les résultats de l'évaluation de l'effet de cet enrichissement montrent que les étudiants sont généralement très satisfaits de la présentation et des ressources que ce site propose. Plus de 85% des étudiants déclarent que le cours de l'UeL les motive à étudier l'électrostatique et plus de 80% des étudiants trouvent que ces ressources les ont aidés à comprendre les concepts d'électrostatique.

L'outil a donc rendu les étudiants plus actifs, ce qui est plus productif qu'une présence passive en classe. Il a rendu l'apprentissage de l'électrostatique plus motivant et plus attirant et le travail coopératif qu'il a incité a développé des compétences relationnelles et sociales qui favorisent la discussion, l'analyse et la confrontation des résultats. Cependant les résultats de notre première expérimentation montrent que l'utilisation par les étudiants de l'UeL sans intervention de l'enseignant n'a eu qu'un effet minime sur leur apprentissage. L'augmentation du temps d'utilisation de l'UeL ne garantit pas un meilleur apprentissage comme l'ont montré les résultats de la deuxième expérimentation. Les résultats de la troisième expérimentation montrent que l'intégration du site UeL en situation d'auto-apprentissage tutoré permet aux étudiants de tirer le maximum de profit des activités proposées par le site et produit un conflit cognitif, voir sociocognitif, favorisant ainsi un apprentissage efficace pour une meilleure appropriation des concepts étudiés. Nous signalons enfin que la méthode a aussi ses limites. Une séance d'enseignement enrichie par

l'UeL est fatigante pour un enseignant animateur qui doit assurer seul une aide technique et conceptuelle pour les étudiants et suivre la progression de l'apprentissage du groupe. Elle n'est pratique que pour de petits groupes car l'enseignant animateur doit accorder à chaque étudiant un minimum de temps pour un apprentissage efficace.

## Références

- Aamili, A. et Chiadli, A. (2008, avril). *Intégration pédagogique des TIC dans l'enseignement supérieur marocain : cas d'une Faculté de Lettres et Sciences humaines*. Communication présentée au Colloque Euro Méditerranéen et Africain d'Approfondissement sur la Formation à Distance .CEMAFORAD 4, Strasbourg, France. Téléchargeable sur le site : [http://www.2shared.com/document/ioB353h-/Intgration\\_pdagogique\\_des\\_TIC\\_.html](http://www.2shared.com/document/ioB353h-/Intgration_pdagogique_des_TIC_.html)
- Bensghir, A. et Closset, J.-L. (1996). The electrostatics-electrokinetics transition: Historical and educational difficulties. *International Journal of Science Education*, 18(2), 179-191 doi:10.1080/0950069960180204
- Bouchaib, A. et Benjelloun, N. (2009, octobre). *Étude de l'impact de l'utilisation des TIC sur l'enseignement et l'apprentissage de l'électrostatique en première année des CPGE*. Communication présentée au Colloque international L'université réforme, formation et innovation à l'ère numérique. Fès, Maroc. Téléchargeable sur le site : [http://www.2shared.com/document/uGWNo9tt/tude\\_de\\_limpact\\_de\\_lutilisatio.html](http://www.2shared.com/document/uGWNo9tt/tude_de_limpact_de_lutilisatio.html)
- Bouchaib, A. et Benjelloun, N. (2010). Évaluation du site Université en ligne : Perception des étudiants et impact sur l'apprentissage de l'électrostatique. *Actes du 26ème congrès de l'Association Internationale de Pédagogie Universitaire : Réforme et changement pédagogiques dans l'enseignement supérieur*. Rabat, Maroc. Téléchargeable sur le site : [http://www.2shared.com/document/c0TmJiT/ Evaluation\\_du\\_site\\_Universit\\_e.html](http://www.2shared.com/document/c0TmJiT/ Evaluation_du_site_Universit_e.html)

- Bouchaib, A. et Benjelloun, N. (2011). Difficultés conceptuelles en électrostatique. *Le BUP*, 935, 766-771
- Chabay, R. et Sherwood, B. (1995). *Electric & Magnetic interactions*. New York: John Wiley & Sons, Inc
- DiSessa, A. A. (1988). *Knowledge in pieces*. Dans G. Forman et P.B. Pufall (dir.), *Constructivism in the computer age*. (p. 49-70). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Droui, M. et Kaaouachi, A. (2010, mai). L'intégration et l'usage des TIC dans l'enseignement des sciences à l'université : cas de l'Université Mohammed Premier. *Actes du 26<sup>e</sup> congrès de l'Association internationale de pédagogie universitaire : réformes et changements pédagogiques dans l'enseignement supérieur*. Rabat, Maroc. Téléchargeable sur le site : [http://www.2shared.com/document/jS0SBoLM/Lintgration\\_et\\_lusage\\_des\\_TIC\\_.html](http://www.2shared.com/document/jS0SBoLM/Lintgration_et_lusage_des_TIC_.html)
- Furió, C et Guisasola, J. (1998). Difficulties on learning the concept of electric field. *Science Education*. 82 (4), 511-526
- Kulik, J. A, Kulik, C. C. et Cohen, P. A. (1980). Effectiveness of computer-based college teaching: A meta-analysis of findings. *Review of Educational Research*, 50(4), 525-544.
- Lebrun, M. (2002 a). *Théorie et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre. Quelle place pour les TIC dans l'éducation ?* Bruxelles. De Boeck.
- Lebrun, M. (2002 b). *Des technologies pour enseigner et apprendre*. (2<sup>e</sup> éd) Paris, France : De Boeck.
- Legros, D. et Crinon J. (2002). *Psychologie des apprentissages et multimédia*. Paris, France: Armand Colin.
- Métioui, A. et Trudel, L. (2007). Explications des phénomènes électrostatiques par des étudiants en formation des maîtres pour l'ordre primaire. *Revue de recherche appliquée sur l'apprentissage*, 1(2), article 3. [Récupéré](http://www.ccl-cca.ca/ccl/reports/Journal/index-2.html) du site de la revue : <http://www.ccl-cca.ca/ccl/reports/Journal/index-2.html>
- Posner, G.J, Strike, K.A, Hewson, P.W. et Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*. 66, 211–227.
- Rainson, S. (1995). *Superposition des champs électrostatique et causalité : Étude de raisonnement, élaboration et évaluation d'une intervention pédagogique en classe de Mathématiques spéciales technologies*. Thèse de doctorat non publiée. Université Paris 7, France.
- Rainson, S. et Viennot, L. (1998). Charges et champs électriques : difficultés et éléments de stratégie pédagogique en Mathématiques Spéciales Technologiques. *Didaskalia*, 12, 9-37. [Récupéré](http://www.inrp.fr/edition-electronique/archives/didaskalia/web/index.php) du site des archives de la revue : <http://www.inrp.fr/edition-electronique/archives/didaskalia/web/index.php>
- Russell, T. L. (2001). *The no significant difference phenomenon. A comparative research annotated bibliography on technology for distance education* (5e éd.). Montgomery, AL : International Distance Education Certification Center (IDECC).

## Annexe 1 : Fiche technique pour consulter le cours d'électrostatique sur le site UeL

### Cours en ligne : Site Université en Ligne

#### Objectif

Cette séance a pour objectif de vous familiariser avec un ensemble de ressources multimédias en ligne. Ces ressources comportent un cours, des expériences vidéo, des simulations et des exercices interactifs. Durant la séance vous suivrez le cours et vous consulterez les simulations, les expériences vidéo et en fin vous ferez les exercices correspondant au cours.

#### Procédure pour l'utilisation du site Université en Ligne

Ouvrir une page Internet et taper l'adresse suivante : [www.uel.education.fr/consultation/reference/index.htm](http://www.uel.education.fr/consultation/reference/index.htm)

Dans la fenêtre principale du site sélectionner « physique », puis dans la fenêtre de cours de physique choisir « électrostatique »

Sous les menus Thème et Activités sélectionner « apprendre » pour consulter les différentes parties du cours

#### 1- Charge électrique

##### a- Cours

Consulter et lire attentivement le chapitre « la charge électrique ». Consulter les simulations et les séquences vidéo accompagnant chaque paragraphe. Dans le paragraphe « description mathématique », consulter les différents types de description de la densité de charges.

##### b- Exercices

Cliquer sur le bouton « menu » puis sur « s'exercer ». Résoudre les exercices proposés sur papier avant de consulter les corrections. Utiliser l'aide si nécessaire.

#### 2- Force électrostatique

À la page « menu », sélectionner « apprendre », étudier le paragraphe « force électrostatique » puis le paragraphe « loi de Coulomb »

Lire attentivement la description de la loi de Coulomb et voir les différents vidéos démonstratives

Revenir au « menu » pour choisir « s'exercer » et faire les exercices correspondants

#### 3- Champ électrostatique

À la page « apprendre » choisir le paragraphe « champ électrostatique »

Lire les paragraphes suivants : « définition, champ vecteur E, et lignes du champ » et consulter les simulations correspondantes Consulter le paragraphe « comparaison avec le champ gravitationnel »

Étudier l'analogie entre le champ de gravitation et le champ électrostatique.

Lire attentivement le paragraphe «Théorème de superposition »

Revoir chaque simulation plusieurs fois

Faire les exercices correspondants à ce paragraphe.

Faire les exercices individuellement sur papier avant de consulter les réponses

#### 4. Théorème de Gauss

Dans la page « apprendre » choisir le paragraphe « théorème de Gauss »

Lire attentivement les paragraphes suivants

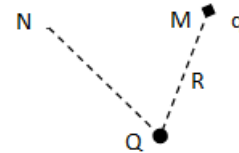
- Élément de surface, notion de flux
- Relation entre flux et angle solide , théorème de Gauss
- Consulter les simulations pour voir les applications du théorème de Gauss.



## Annexe 2. Pré-test

### QCM

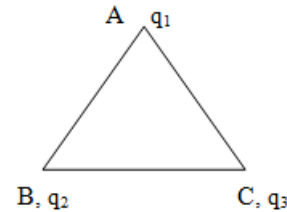
On considère une charge ponctuelle  $Q$  dans l'espace. A une distance  $R$  de cette charge, au point  $M$ , on place une autre charge  $q$ . Au point  $N$  il n'y a aucune charge



1. Est-ce que la charge  $Q$  crée un champ électrostatique au point  $M$ .  
Choisir la réponse correcte et justifier votre choix  
Oui  non
2. Est-ce que la charge  $Q$  crée un champ électrostatique au point  $N$ .  
Choisir la réponse correcte et justifier votre choix  
Oui  non

### EXERCICE

Soit un triangle équilatéral  $ABC$  de côté  $30\text{ cm}$  dans le vide. On place respectivement sur ses sommets  $A, B$  et  $C$  des charges ponctuelles  $q_1 = 1\text{ nC}$ ,  $q_2 = 3\text{ nC}$  et  $q_3 = -3\text{ nC}$



1. Calculer la force électrostatique résultante  $\vec{F}$  agissant sur la charge  $q_1$  placée en  $A$
2. En déduire le champ électrostatique en  $A$

On donne  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ SI}$

### Réponses correctes

#### QCM

Pour les deux questions, la réponse juste est « oui », car toute charge  $Q$  crée un champ électrostatique en tout point de l'espace

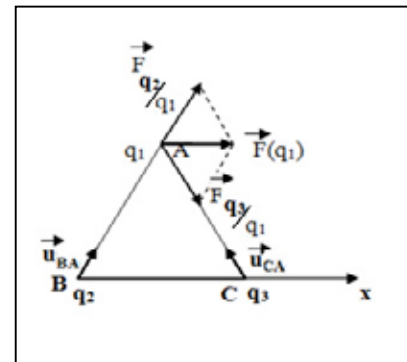
#### Exercice

- 1) Selon le principe de superposition on a :  $\vec{F}(q_1) = \vec{F}_{q_2/q_1} + \vec{F}_{q_3/q_1}$

Donc :  $\vec{F}(q_1) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 AB^2} \vec{u}_{BA} + \frac{q_1 q_3}{4\pi\epsilon_0 CA^2} \vec{u}_{CA}$

Donc :

$\vec{F}(q_1) = 3 \cdot 10^{-7} (\vec{u}_{BA} - \vec{u}_{CA}) = 3 \cdot 10^{-7} \vec{u}_x$

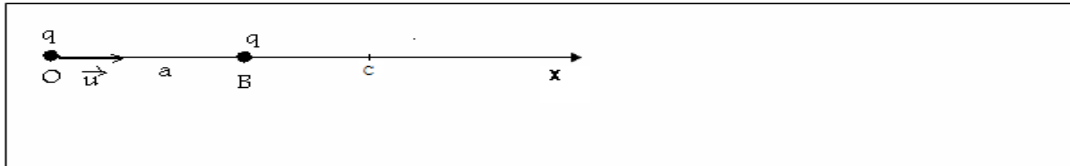


2)  $\vec{E}(A) = \frac{\vec{F}(q_1)}{q_1} = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 AB^2} \vec{u}_{BA} + \frac{q_3}{4\pi\epsilon_0 CA^2} \vec{u}_{CA} = 3 \cdot 10^2 \vec{u}_x$

### Annexe 3. Post-test

#### 1. Exercice

Soient deux charges identiques placées aux points O et B de l'axe ox avec  $OB = a$



1. Calculer le champ électrostatique créé par la charge  $q$  placée en O au point B.
2. Calculer le champ électrostatique au point C d'abscisse  $x$  où  $x > a$ .

Réponse correcte

1. Dans la limite de concept de charge ponctuelle, on applique la formule donnant l'expression du champ électrique créé par une charge ponctuelle, on ne tient pas compte de la charge au point B :

$$\vec{E}(B) = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 a^2} \cdot \vec{u}$$

2. On applique le principe de superposition pour calculer le champ créé par les deux charges placées respectivement en O et en B au point C :  $\vec{E}(C) = \left( \frac{q}{4\pi \epsilon_0 x^2} + \frac{q}{4\pi \epsilon_0 (x-a)^2} \right) \vec{u}$

#### 2. QCM

Parmi les réponses proposées, choisir la réponse correcte et justifier votre choix :  
le champ électrostatique en un point M de l'espace dépend :

- a) de la charge placée au point M
- b) des charges environnantes
- c) de la charge placée au point M et des charges environnantes
- d) autre

Réponse correcte

La réponse correcte est la proposition (b), car le champ en un point M de l'espace est créé par toutes les charges environnantes. Son expression selon le modèle de Coulomb est  $\vec{E}(M) = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi \epsilon_0 r_i^2} \cdot \vec{u}$

## Annexe 4

Nous présentons aux tableaux suivants quelques réponses des étudiants aux questions de l'exercice du post- test (nous désignons par  $e_i$  l'étudiant  $i$ ).

### Question 1 de l'exercice du post-test (annexe 3)

Type de réponses	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
Éléments de réponses de quelques étudiants	$e_1 : \vec{E}(M) = \frac{q_0 q_B}{4\pi \epsilon_0 a^2} \cdot \vec{u}$ $e_2 : \vec{E}(M) = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 a^2} \cdot \vec{x}$	$e_3 : \vec{E}(B) = \frac{q_B}{4\pi \epsilon_0 OB^2} \cdot \vec{u}$	$e_4 : \vec{E}(B) = \frac{q_0}{4\pi \epsilon_0 a} \cdot \vec{u}$

### Question 2 de l'exercice du post-test (annexe 3)

Type de réponses	R' <sub>2</sub>	R' <sub>2</sub>	R' <sub>3</sub>
Éléments de réponses de quelques étudiants	$e_1 : \vec{E}(M) = \frac{q q_C}{4\pi \epsilon_0 a^2} \cdot \vec{u}$ $e_2 : \vec{E}(M) = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 a^2} \cdot \vec{u}$	$e_6 : \vec{E}(M) = \frac{q_C}{4\pi \epsilon_0 x^2} \cdot \vec{u}$ $e_7 : \vec{E}(M) = \frac{q_C}{4\pi \epsilon_0 x^2} \cdot \vec{u} = 0$ <p>Car <math>q_C = 0</math></p>	$e_8 : \vec{E}(C) = \frac{q}{4\pi \epsilon_0 x^2} \cdot \vec{u}$