Insaniyat n° 71, janvier - mars 2016, p. 37-62

Comment apprendre la physique avec les simulations multimédias ?

Noureddine MELOUA-BENZABA (1)

Introduction

La spirale technologique sans cesse croissante pousse la société à s'adapter à ces évolutions, et tout particulièrement le système éducatif à changer d'optique et à adopter des stratégies nouvelles de formation comme l'approche par compétences et le réinvestissement des savoirs dans la vie quotidienne. Les TICE, omniprésentes et facteurs de changement, sont indéniablement porteuses d'innovations. La première des difficultés consiste à pouvoir s'emparer des TICE afin de comprendre, pour éventuellement agir avec en prenant en compte leur caractère très évolutif[1].

Le désintérêt actuel d'une grande majorité d'étudiants pour les sciences exactes pourrait provenir du fait que, pour certains, les principes fondamentaux de la physique datent souvent de plus d'un siècle, ou que d'autres ne voient pas l'intérêt dans leur vie quotidienne. D'autres encore avancent que la physique est trop « compliquée », et n'est plus que l'affaire de spécialistes, ou bien que c'est juste une partie du tronc commun à « digérer » pour accéder aux années supérieures. Comme il est possible de moderniser les cours de physique dans le cadre de la réforme du système éducatif, nous pensons qu'un environnement basé sur des simulations multimédia pourrait être approprié et qu'il s'agirait là d'un moyen de motiver les étudiants à l'apprentissage des sciences. Nous suggérons d'intégrer cette pédagogie active dans nos enseignements scientifiques comme la démarche de résolution de problèmes ou la

(1) École Nationale Polytechnique d'Oran (ex ENSET), Département de Physique, Laboratoire La RTFM, 31 000, Oran, Algérie.

[1] Passin, J.-L. (2011), *Pré-Projet ACNUM. Formation pour l'Acquisition de Compétences NUMériques générales et professionnelles*, UPEC-IUFM, Créteil.

pédagogie du projet où l'étudiant est constamment en pleine construction de savoirs et converge vers de nouvelles compétences, ce qui permet alors d'éveiller sa curiosité par ces temps où le matériel est défaillant, voire même insuffisant.

Après les expériences de l'EAO menées au département de Physique durant la dernière décennie, certains enseignants ont propulsé l'apport du Multimédia dans l'enseignement de l'Electricité[2]. D'autres, en Mécanique et en Génie-Civil, ont emboîté le pas. Aujourd'hui, avec la généralisation de ces outils, nous pensons que ces expériences « isolées » au départ, ont favorisé l'introduction informelle des TICE dans les programmes des différentes spécialités de l'institution. Le domaine d'investigation du multimédia a porté sur une double réflexion : le rôle de l'interactivité apprenant-machine et le développement de tutoriels et de simulations.

Au laboratoire, de simples expériences ont été simulées et ont été utilisées par les étudiants de l'école lors d'une enquête sur l'apprentissage autodirigé dans un environnement multimédia ; les résultats issus de cette recherche, ont montré que l'usage des techniques multimédia reste favorable à l'épanouissement scientifique de l'étudiant moyennant une logistique humaine et matérielle suffisante. Le problème de la langue nationale s'est posé en relation seulement avec les contenus, mais pas d'un point de vue méthodologique. Ces actions soulèvent, en dehors des problèmes inhérents à l'usage des TICE els que les notions d'interactivité, d'ergonomie, de navigation rythmée et de surcharge cognitive, des questionnements quant au rôle tenu par l'enseignant et à la place de l'apprenant dans ce contexte vis-à-vis de la didactique de la Physique. Comment peut-on donner du sens à ce type d'apprentissage médié à base de simulation dans l'élaboration du projet personnel de l'étudiant, sans pour autant détourner ce dernier de ses objectifs de formation, et comment impliquer les enseignants pour une meilleure prise en charge des préoccupations pédagogiques des apprenants ? La simulation en tant que moyen d'apprendre la physique constitue l'axe de notre questionnement.

Dans cette étude, nous montrerons les effets de ces environnements d'apprentissage sur les pratiques enseignantes, en rappelant les techniques multimédia, les principes de la modélisation et de la simulation ainsi que la mise en œuvre d'exemples de simulations; nous présenterons, ensuite, les procédures méthodologiques retenues en s'appuyant sur une liste de

[2] Équipe de Recherche en Pédagogie du Multimédia, ENP d'Oran (Ex-ENSET) dont les premières activités scientifiques ont été menées à partir de 1996.

simulations relatives aux programmes d'étude et pratiquées au laboratoire, suivies d'une investigation auprès d'étudiants du département de Physique avec des conclusions conséquentes.

Cadre conceptuel

Les techniques multimédia

Depuis les années 60-70, le terme multimédia désigne les nouveaux média qui devaient renforcer les processus d'apprentissage dans les classes[3]. Sans entrer dans les controverses que suppose toute définition, nous pourrions retenir du multimédia les deux éléments suivants :

- fusion et intégration, sur un même document, d'éléments de nature différentes : images fixes ou animées, sons, textes, programmes informatiques, données diverses ;
- possibilités, pour l'utilisateur, de naviguer à sa guise d'une information à l'autre.

Avec des fondements béhavioristes, les dispositifs d'EAO sont tous calqués sur le modèle classe : un maître enseigne des notions à des élèves ou leur pose un exercice, puis il détermine leur prochaine activité. On dit encore que le modèle pédagogique sous-jacent est centré autour du maître[4]. La pratique de l'apprentissage autodirigé amène plutôt une approche constructiviste, en particulier à l'aide des possibilités offertes par le multimédia.

Modélisation

Walliser[5] annonce que « la notion de modèle recouvre toute représentation d'un système qu'elle soit mentale ou physique exprimée sous forme verbale, graphique ou mathématique ». Cette dernière conception, très large du modèle, doit être précisée dans le cas spécifique des sciences physiques par la notion de médiateur. Tout modèle, à quelque niveau qu'il se situe, peut être considéré comme un médiateur entre un champ théorique dont il est une interprétation et un champ empirique dont il est une synthèse[6]. La figure 1 traduit ainsi les deux modèles opposés, issus d'activités intellectuelles différentes. L'apport de

---

[3] Frater, H., Paulissen, D. (1993), *Le grand livre du multimédia PC*, éd. Micro Application.

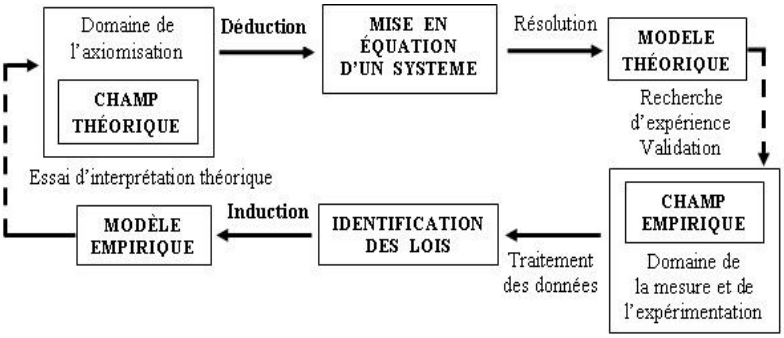
[4] Weidenfeld, G. et alii. (1997), « Techniques de base pour le multimédia », in collection *Enseignement de l'informatique*, éd. Masson.

[5] Walliser, B. (1977), *Systèmes et modèles*, éd. Seuil, Paris.

[6] Durey, A. (1984), « La notion de modèle en Physique : la modélisation et son apprentissage », in A. Giordan, J.-L. Martinand (Éds.), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques*, Actes *VI es JIES*, Chamonix, France, p. 487-492.

certains logiciels éducatifs**,** obéissant aux critères de l'EIAO[7], ont fait leur preuve dans le système éducatif où les processus cognitifs impliqués vis-à-vis de la conceptualisation du réel, sont favorisés suivant des scénarios pédagogiques inhérents à l'apprentissage autonome.

Fig. 1: Modèle interface entre Théorie / Réel, (Walliser, 2001)



Les enseignants utilisent la modélisation en termes de processus, comme par exemple les modèles utilisés en chimie ou pour expliquer la réfraction de la lumière. Des modèles dynamiques peuvent être des processus complexes et sophistiqués, simulés comme le vol d'avion, les réactions nucléaires...À travers les facteurs qui déterminent la conception des outils pédagogiques pour la modélisation et la simulation, sur les contraintes d'usage, sur les conceptions des enseignants, sur les compétences requises et sur les formations éventuelles, Coquidé et Le Maréchal[8] s'interrogent sur les difficultés que la modélisation pose aux élèves, sur l'appréhension du statut de la simulation et les perspectives qu'offrent ces pratiques.

Simulations

Parmi les logiciels de simulation dont les contenus et les objectifs sont très différents, nous pouvons remarquer deux grandes classes : simulation du fonctionnement d'un instrument ou appareillage comme le pied à coulisse ou l'ampèremètre et simulation d'un phénomène physique telle que l'étude du mouvement d'un projectile en tenant compte de la vitesse initiale, de l'angle et de la résistance de l'air ou de la représentation de la

[7] Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur ou EAO avec système expert fondé sur des moteurs d'Intelligence Artificielle, évoluant par la suite en Environnement Interactif d'Apprentissage par Ordinateur.

[8] Coquidé, M., Le Maréchal, J.-F. (2006), « Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts », ASTER n° 43, p. 7-16

loi de Descartes sur la réfraction du rayon lumineux dans deux milieux d'indice différent. Dans les deux cas, les modèles sont montrés sur un écran d'ordinateur ; ceci offre deux possibilités intéressantes : la visualisation devient dynamique et interactive[9]. La simulation comportementale fait appel à une méthodologie dans le cadre d'une élaboration et d'une adéquation du modèle, s'inquiète de l'effet des variables d'entrée et permet la résolution de problèmes relatifs aux phénomènes physiques étudiés. La simulation « modélisante » se base sur le principe de l'induction et de la modélisation en se penchant sur l'activité expérimentale[10].

L'activité de simulation offre la possibilité de mener librement l'expérience avec des objets différents en mouvement, par exemple, dans le cas de l'apprentissage des lois de Newton : le phénomène est visualisé, le modèle expérimenté est exploré sous différentes possibilités, et les concepts théoriques associés sont manipulés[11]. En plus de l'activité expérimentale basée sur la manipulation d'appareillages et sur la mesure, la simulation place l'apprenant dans un contexte d'autonomie accrue et de responsabilité, développe son esprit d'initiative et valorise son apprentissage en favorisant la réflexion théorique et offre l'opportunité de visualiser des modèles théoriques et de développer des activités d'exploration et de manipulation de modèles visant la connaissance des propriétés de ces modèles[12].

Les logiciels de simulation peuvent être considérés comme des environnements privilégiés pour la modélisation et l'étude des théories et modèles. L'objectif général de cette étude est d'étudier les potentialités de la simulation en analysant différents types de logiciels et en expérimentant la mise en place de situations de formation[13]. Les simulations peuvent évaluer la performance de l'étudiant dans un environnement virtuel où les activités/performances sont enregistrées. Les exercices de simulation sont utiles quand l'activité qu'ils reproduisent est dangereuse, coûteuse, difficile à mettre sur pied, trop complexe ou

---

[9] Meloua, N. (2001), « Le multimédia et l'enseignement de la Physique », in A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds.), *Expériences de la nature et de la technique*, Actes *XXIII es JIES*, Chamonix, France, p. 349-354.

[10] Jérôme, P. (1979), *Modélisation et Simulation*, dossier informatique APBG.

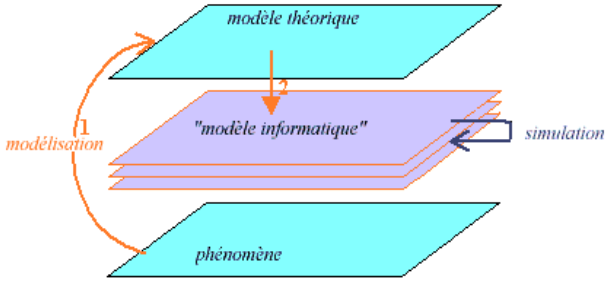
[11] Droui, M., El Hajjami, A. (2014), « Simulations informatiques en enseignement des sciences : apports et limites », in *Epinet*, n° 164, avril.

[12] Beaufils, D., Richoux, B. (2003), « Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique », *Didaskalia* n° 23, p. 9-38

[13] Beaufils, D. (2001), *Expérimentation d'une utilisation de logiciels de simulation en physique*, IUFM de l'académie de Versailles & INRP-TECNE.

trop longue à exécuter ; ils permettent aussi aux étudiants de commettre des erreurs sans pénalité. Dans le schéma correspondant à la figure 2, la modélisation représente l'élaboration d'un modèle en référence à un phénomène ou un système du monde réel (flèche n°1). Il s'ensuit un ensemble de relations physico-mathématiques (représentation formelle du modèle) qui sont transformées en un ensemble de lignes de programme (représentation informatisée du modèle, flèche n°2) dont la mise en fonctionnement, produisant des résultats numériques et/ou graphiques, constitue la simulation[14].

Fig. 2 Simulation/modélisation (Beaufils, 2001)



Une telle modélisation sous-entend un travail complet incluant la réalisation du modèle informatique, donc la programmation. Ce type d'activité est tout à fait envisageable, et correspond d'ailleurs à différents exemples d'utilisation de *logiciels généraux de calculs* tels qu'Excel ou d'activité de programmation dans un *langage*[15]. En termes de démarche scientifique, les résultats du modèle doivent, en retour, être confrontés avec le référent expérimental. Une flèche supplémentaire serait de ce point de vue à dessiner. L'ensemble correspond à ce que Guillon[16] a identifié comme l'une des quatre démarches expérimentales de base du physicien : *la démarche de simulation*, qui s'avère être une aide

[14] *Op.cit.*, Beaufils, 2001.

[15] André, D. (1998), « Un nouveau concept de licence-maîtrise de physique : les travaux d'expérimentation numérique », in Actes des *8e Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, p. 127-131.
Depondt, P. (1998), *Physique numérique (le calcul numérique sur ordinateur au service de la physique : une introduction)*, Vuibert, p. 324.

[16] Guillon, A. (1996), « *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première et deuxième année d'université* », thèse doctorat nouveau régime, Université Paris7.

à l'apprentissage et à la compréhension. Dans la plupart des cas, cela mène à des activités autonomes et parfois coopératives quand les apprenants sont dans une posture d'apprentissage de type ATE. Mais il y a nécessité, quand même de se pencher sur la notion de validité des représentations graphiques et/ou des valeurs numériques, et d'expliciter les notions de modèle avancées uniquement dans le programme de calcul. Il est important de considérer l'ordinateur comme un intermédiaire entre la théorie et l'expérience. La simulation est distinguée des résultats expérimentaux, où l'aspect de différenciation entre le réel, la représentation mentale et le symbolique sont sollicités dans les activités de modélisation.

Mise en œuvre d'exemples d'environnements logiciels

À travers la simulation de divers phénomènes, sont créées des situations-problèmes dans lesquelles l'élève met « la main à la pâte »[17] et développe ainsi sa curiosité (cette curiosité dont certains disent qu'elle est un vilain défaut et d'autres qu'elle est le commencement de la science)[18].

Dans le projet Physique Education Technology[19], Wieman et al. résument leur recherche sur les simulations et la motivation des étudiants: ils trouvent que ces derniers ne sont pas en mesure de donner un sens de la science dans ce contexte, et qu'ils doivent y arriver en interagissant activement … et en s'engageant davantage dans cette exploration autodirigée pour mieux apprendre. Intéressé et passionné, l'élève se trouve alors dans des situations ouvertes de résolution de problèmes réels[20]. Il s'agit de mettre les élèves en situation d'acteurs de leur propre apprentissage et de « *placer l'activité intellectuelle des élèves au centre des apprentissages* »[21]. L'activité de confrontation entre le modèle expérimental et le modèle simulé ne doit pas perdre tout son sens, et permettre une meilleure appréhension du statut du modèle[22]. Dans le

[17] Méthode dérivant de l'expérimentation américaine « hands-on », introduite en 1996 en France par le prix Nobel Georges Charpak (1924-2010), et rehaussée sous forme de dix principes élaborés par l'Académie des sciences, et dont le programme a permis une profonde réflexion sur le champ de la didactique des sciences.

[18] Taillard, P. (1996), « Nos nouveaux élèves », in *TECHNOLOGIE*, n° 84.

[19] Wieman, C.-E., Adams, W.-K., Perkins, K.-K. (2008), « PhET: Simulations That Enhance Learning », in *Magazine Science*, Vol.322 n° 5902, p. 682-683.

[20] *Op.cit*., Meloua, N. (2001).

[21] Giordan, A. (1998), *Apprendre, é*d. Belin, Paris.

[22] Viudez, C. (2001), « Rôle de la simulation en travaux pratiques : exemple d'une licence en physique », in A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds.), *Expériences de la nature et de la technique*, Actes *XXIII es JIES*, Chamonix, France, p. 355-360.

cadre de leur formation, les étudiants ont l'occasion de se remettre en cause avec des applications simulées en Mécanique, Electricité et Optique, sous forme d'appliquettes Java, d'applications auteur développées et d'environnements multimédia[23]. Au laboratoire, plusieurs exemples de forme et de contenu différents ont été proposés et exploités dans le cadre des activités pédagogiques impliquées dans les ATE et/ou de tâches personnelles comme la préparation d'exposés et de cours pour les stages, ou directement réinvestis au niveau des projets de fin d'études. Concernant l'usage de certains logiciels comme *Stella* en physique générale, *RayTrace* en optique, et *Interactive Physique* en mécanique newtonienne, Richoux[24] rappelle l'expérimentation de la mise en place de véritables situations que nous appelons « *TP sur modèle* » pour des étudiants supposés connaître les savoirs fondamentaux, mais devant les compléter, les structurer et les confronter à des problèmes théoriques ou expérimentaux.

Procédures méthodologiques

Espace de médiation

Depuis le développement des TICE, nos pratiques spécifiques d'enseignement à base de logiciels libres n'ont pas cessé d'intéresser la communauté d'étudiants qui ont préféré ces choix stratégiques. Ces ressources pédagogiques, triées sur le volet après plusieurs années d'expérimentation dans le cadre de l'EAO[25], ont été regroupées et capitalisées en vue d'une exploitation collective et d'une vision de formation élargie et «reconstituée». Dans le cas de ce projet, nous avons proposé diverses applications à base de tutoriels et de simulations, couvrant les domaines cités au début de cette partie, dont quelques-unes développées par nos propres soins pour les mettre à la disposition de tous les étudiants sans exception. Le premier contact a été établi au début du

[23] Une multitude d'applications interactives couvrant la majorité des domaines de la Physique permettent à l'enseignant de renforcer les activités expérimentales ou ses cours. La liste des exemples n'étant pas exhaustive, nous pouvons citer les applets Java de W. Fendt, les Physlets de C. Wolfgang, les Easy Java Simulations de F. Esquembre, les programmes complets comme Interactive Physique ou Physics Lab ou les animations de type flash.

[24] Richoux, B. (2006), *Des logiciels de simulation pour des activités scientifiques*, Paris, INRP-TECNE.

[25] Vers la fin des années 80, nous avons testé certains logiciels efficaces de quelques auteurs enseignants dans les universités américaines sur un ordinateur Apple IIe dont l'horloge battait la fréquence de 1 MHz, et qui donnait d'excellents résultats grâce à une judicieuse programmation machine !

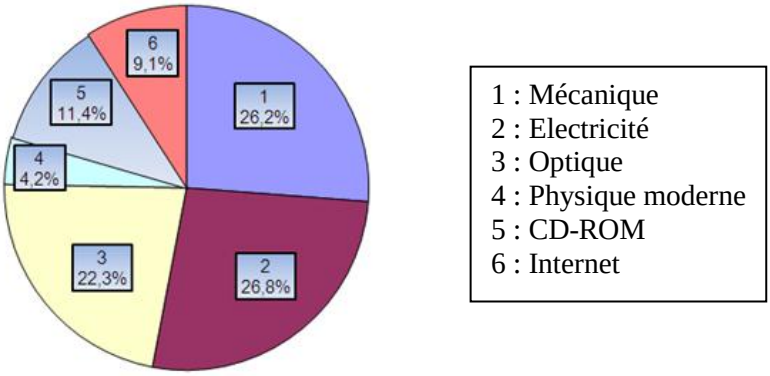
mois de novembre de l'année universitaire sous forme d'affichage; la période des six mois étant écoulée pour la réalisation du questionnaire en vue de l'évaluation de notre recherche, les étudiants viennent toujours étudier et visionner les logiciels pour renforcer leurs connaissances. Leur libre parcours pendant cette période nous a permis de déceler un certain nombre de remarques concernant, d'une part, leur approche d'études, et d'autre part, l'intérêt porté sur telle ou telle application, illustré par le diagramme fréquence d'utilisation des différentes applications et/ou logiciels étudiés et évalués de la figure 3. D'après ces activités recensées où les étudiants mobilisaient et capitalisaient ainsi leurs savoirs que ce soit en séance de T.P ou en atelier, nous avons regroupé, à des fins de statistique, la totalité des applications aidant dans ce projet en six catégories principales, dont les subdivisions intéressantes et les plus utilisées sans aucune difficulté notées ci-dessous.

L'histogramme de la figure 3 représente un usage sans contraintes d'applications numériques en Physique aidant les étudiants, toutes années confondues, dans leur apprentissage coopératif en fonction de leurs besoins engagés au niveau des études régulières, ou parfois en période de révision d'examens ou en période de stage. Les quelques détails qui suivent émanent aussi de choix personnels, renvoyant ainsi une vue globale des thèmes importants abordés. Il faut dire que les six parties comprenaient aussi d'autres applications que celles qui figurent ci-dessous, et que la liste non exhaustive dressée ici comporte les quelques logiciels les plus utilisés.

La partie mécanique (1) comportait les applications suivantes : la force centrifuge avec 5,1 % ; l'étude des collisions avec 4,6 % ; le mouvement rectiligne uniformément varié avec 3,9 % ; l'étude des forces (frottement, centrifuge, …) avec 3,7 % ; le projectile avec 3,3 % ; la poussée d'Archimède avec 2,1 % ; la chute libre avec 1,8 % ; le pendule simple avec 1,7 %.

Les applications les plus « visitées » dans la partie Electricité (2) étaient : le pont de Wheatstone avec 8,2 % ; le cadre mobile avec 6,5 % ; les circuits électriques avec 9,1 % ; la charge et décharge d'un condensateur avec 3,0 %.

Fig. 3: Fréquence d'utilisation des simulations



La catégorie (3) Optique comprenait : la lumière (spectre visible, prisme) avec 1,7 % ; les différentes sources de lumière avec 2,3 % ; les différentes lentilles avec 1,9 % ; la réflexion et la réfraction (différents milieux) avec 4,2 % ; l'ombre et les éclipses avec 2,5 % ; le principe des couleurs avec 2,9 % ; l'infrarouge avec 1,4 % ; le laser et ses applications avec 2,1 %.

La Physique moderne (4) tournait essentiellement autour de l'application du modèle de l'atome de Bohr et de l'expérience de Millikan avec 4,2 %. Comme autres supports de cours, nous avons mis aussi en jeu dans l'espace de médiation des CD-ROM (5) spécifiques dont les contenus dédiés à l'apprentissage de la physique n'ont pas failli à leur triple fonction de documentation, d'animation et d'évaluation : le taux atteint par ces supports, avoisine les 11,4 %.Le reste, toutes applications confondues, acquis avec un taux de 9,1 %, concerne les diverses applications téléchargées librement sur le web (6).

Choix de l'échantillon

Dans cette étude, nous nous plaçons dans le cadre de la formation des étudiants en technologie de filières et de niveaux pédagogiques différents. Ce choix a été aussi décidé suite à des réunions de réflexion engagées auparavant au niveau des CPC[26] sur l'obtention de résultats de faible qualité. Nous avons également tenu compte de la représentativité des groupes d'apprentissage coopératif au niveau de leur hétérogénéité : constitution d'étudiantes et d'étudiants avec des profils de spécialité et niveaux pédagogiques distincts, tous issus de milieux sociaux et culturels différents. Les groupes de sujets de l'ENP d'Oran interrogés par

[26] Comité pédagogique de coordination dont la fréquence des réunions est mensuelle.

l'enquête se répartissent en cinq groupes, relevant tous du département de Physique : PEM-ET 3ème année, PEM-ET 4ème année, PES 3ème année, PES 4ème année et PES 5ème année respectivement au nombre de 53, 43, 21, 18 et 24. Dans la suite de notre analyse, nous retiendrons les désignations suivantes : PEM3, PEM4: élèves professeurs de l'enseignement du Moyen (collège) respectivement des 3èmes et 4èmes années, ainsi que PES3, PES4, PES5 élèves professeurs de l'enseignement du Secondaire (lycée).

Questionnaire

Afin d'analyser l'impact des simulations au niveau des apprentissages et interactions, surtout dans un milieu comme le laboratoire de physique, nous avons établi un questionnaire devant mesurer les pratiques des étudiants engagés dans leur processus de construction des savoirs. Cela nous a permis de le proposer comme test aux étudiants du département de Physique[27], et qui ont bien voulu répondre anonymement aux questions. Le questionnaire est structuré autour de 17 questions toutes fermées, regroupant le maximum de terminologies se rapportant au domaine de la simulation. Nous avons permis une double réponse à la question Q1, et tenu compte lors du traitement.

Analyse des résultats

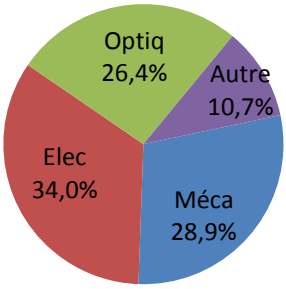
Les résultats obtenus lors du dépouillement du questionnaire figurent dans la partie B de l'Annexe. La 1e ligne du tableau récapitule la population détaillée, de 9 étudiantes (9F) du groupe PES3 jusqu'à 22 étudiants (22G) du groupe PEM4, ainsi que le total de la population qui est de 159. La 1e colonne dresse la liste des 17 questions Q se subdivisant en fonction du nombre de réponses répertoriées sous forme d'intitulé dans la 2e colonne. Le dépouillement des données (nombres saisis non en gras), réparties sur 10 colonnes, résume les réponses des étudiants issues des 5 groupes subdivisés chacun en F et G comme par exemple : PES3 dont 9 étudiantes F et PES3 dont 12 étudiants G correspondant aux 3e et 4e colonnes par exemple. L'avant dernière colonne totalise la somme des réponses relatives à chaque élément de réponse relative à chaque question. La dernière colonne donne le pourcentage global pour l'ensemble des groupes.

[27] En fait, cette étude ne porte pas uniquement sur le laboratoire de Mécanique-Electricité, mais aussi sur les autres laboratoires de l'école, à savoir celui d'Optique, de sciences modernes et des applications de la didactique.

Dès la question Q1, renvoyant aux objectifs des simulations, une grande partie des étudiants constatent que l'étude simulée d'un phénomène entraîne une autre manière de voir et une approche différente (40,3%), stimulant l'action de motiver (26,7%) et de renforcer les pré-acquis (21,7%). Apparemment, la révision du cours ne s'est pas avérée comme objectif important.

La question Q2 fait ressortir des résultats attendus dans le sens où les trois domaines de la Physique sont représentés moyennement, avec une légère préférence en Electricité (34%). Dans la partie autre, quelques réponses (10,7%) ont fait référence à la chimie.

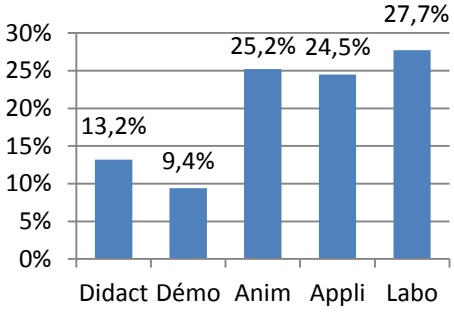
Fig. 3 Q2 : Domaines abordés



En Q3, nous remarquons que les étudiants penchent plus vers des simulations de type animation, application et laboratoire (entre 24,5% et 27,7 %) que les didacticiels et démonstrations.

La question Q4 qui renvoie à l'introduction de commentaires en langue différente montre que 61% des étudiants sont parfois embarrassés dans leur apprentissage, en particulier chez les étudiants.

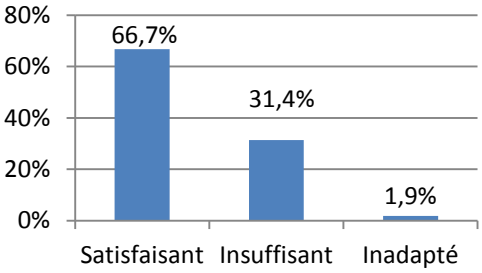
Fig. 4 Q3 : Types de simulation



L'implémentation d'un module aidant dans la simulation est plus que justifiée (57,2% parfois et 30,8% oui) à la question Q5, nettement chez les étudiantes PES.

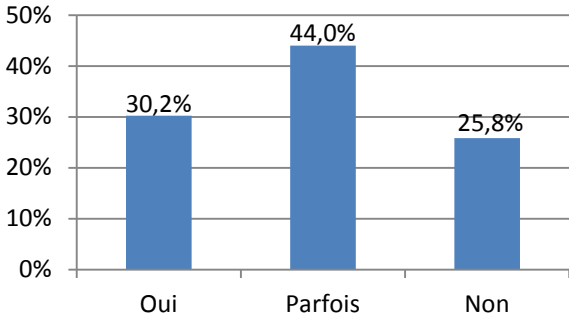
L'histogramme relatif à la question Q6 révèle une satisfaction des contenus pédagogiques abordés (66,7%) alors que 31,4% trouvent que ces derniers sont insuffisants.

Fig. 5 Q6 : Contenus pédagogiques



A la question Q7, nous découvrons qu'environ trois-quarts des étudiants ont une certaine expérience des simulations à base de scénario pédagogique.

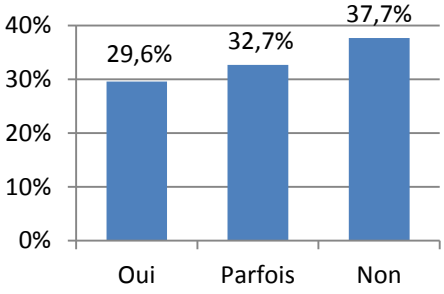
Fig. 6 Q7: Usage avec scénario pédagogique



Quant à la possibilité offerte aux étudiants d'interagir, la question Q8 attire l'attention sur le fait que plus de la moitié (63,5%) le pratique contre 10,1% représentés en partie par les étudiants de PES3 et le groupe PEM4.

Au niveau de la question Q9 traitant des simulations avec un module d'évaluation, la figure 8 montre clairement que l'usage n'est pas systématique, et que la vision est très départagée.

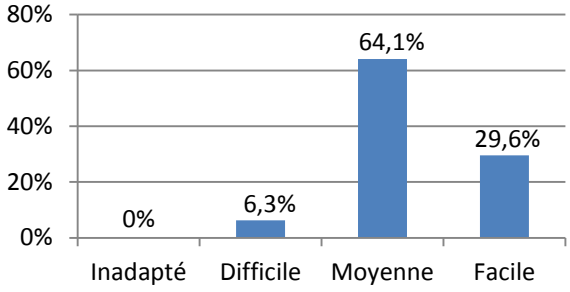
Fig. 7 Q9 : Usage avec évaluation



À la question Q10, une grande majorité, (22% non et 54,7% rarement contre 21,4% souvent) déclare ne pas être gênée par l'excès d'informations contenues dans certaines simulations.

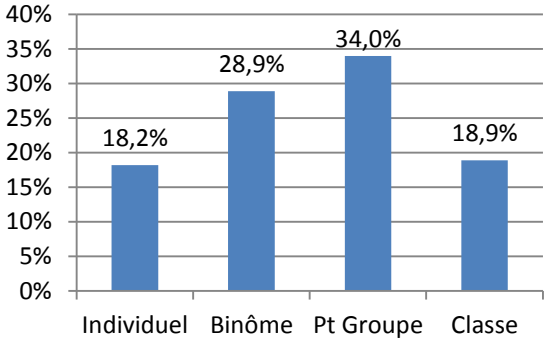
Concernant la navigation de la question Q11, 64,1% n'ont pas rencontré beaucoup de contraintes, presque un tiers facilement (29,6%) et très peu (6,3%) difficilement. Le cas d'une navigation inadaptée ne s'est pas posé. En Q12, plus de la moitié (57,2%) ont trouvé que la convivialité de l'interface était bonne contre 38,4% plus ou moins. Seulement 7 étudiants au total, n'ont pas apprécié, c'est au niveau des PES3, des PEM4 et PEM5.

Fig. 8 Q11 : État de la navigation



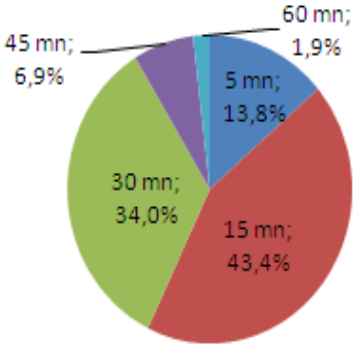
La figure 10 de la question Q13 montre qu'apparemment les pratiques coopératives, en petit groupe (34%) et en binôme (28,9%), sont beaucoup plus utilisées dans l'étude des simulations. Les modes individuel et classe affichent pratiquement le même pourcentage (environ 18,5%) et ne sont pas négligeables.

Fig. 9 Q13 : Mode d'utilisation



A la question Q14, la durée d'apprentissage appréciée renvoie vers deux principales catégories d'étudiants : celle des 15mn (43,4%) et 30mn (34%) suivie par les 5mn (13,8%). Les étudiants préfèrent délaisser le reste, en particulier les simulations de 1heure (1,9%) et 45mn (6,9%).

Fig. 10 Q14 : Durée d'apprentissage

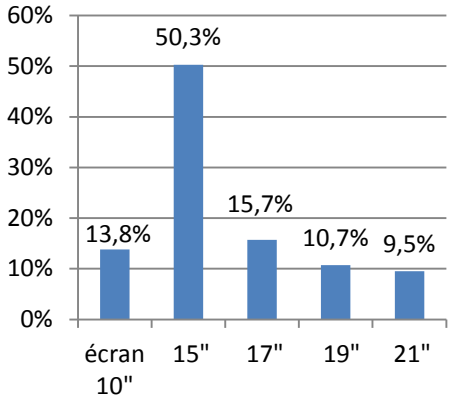


La question Q15 relative à l'usage du support est devenue plus pratique dans le sens où une grande majorité des étudiants adaptent leurs besoins à l'usage des clés USB (78%) suivies de loin par celui du DVD (13,8%) et du CD-ROM (7,6%). Nous constatons que la cassette n'est plus de mise. Un étudiant du groupe PES3 est le seul à avoir répondu par « autre » sans spécifier le type de support.

Nous avons voulu connaître les habitudes de travail des étudiants en matière de taille d'écran : les réponses dues à la figure 12 de Q16 nous informent que la moitié (50,3%) utilise le 15" que nous jugeons surtout comme usage plus ou moins personnel[28], alors que le reste est réparti entre les 10", 17" et 19" (matériel de laboratoire et/ou de maison). Le taux de 9,5% dû à l'écran 21"ne coïncide pas avec un usage au laboratoire, et nous pensons que cela correspond à une mauvaise évaluation de la taille d'écran par les 15 étudiants.

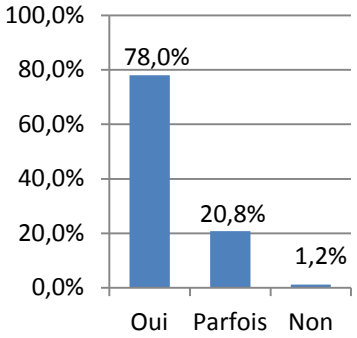
[28] Dans certains cas de travaux pédagogiques comme les exposés, les étudiants utilisent accessoirement leur portable de 15" ou leur notebook de 10".

Fig. 11 Q16 : Taille d'écran



La dernière question Q17, qui pose la problématique de l'apport des simulations en sciences physiques dans le cadre de la formation, confirme (78% de oui) déjà les avantages de ce type d'enseignement complémentaire annexé aux pratiques pédagogiques de l'enseignant, contre 1,2% représentés seulement par 2 étudiantes issues des groupes PEM3 et PEM4. Nous avons constaté que l'étude de concepts liés à la Mécanique, comme la dynamique par exemple, et à l'Electricité qui renvoient à un niveau de conceptualisation élevé, pose souvent problème aux étudiants. Les réponses globales aux questions 2 et 3 confirment la nécessité de faire appel aux simulations de type animation, application et laboratoire pour renverser leurs difficultés et remettre leurs représentations à l'heure, s'auto-construire de bons apprentissages et/ou renforcer leurs acquis dans cette forme de pédagogie active. Le fait d'agir sur les objets des différentes interfaces de simulation a engendré une réaction chez les étudiants qui ont effectué une correspondance entre les actions sur les objets et la représentation symbolique, prouvant ainsi qu'ils sont capables de réaliser l'expérience réelle et celle avec l'ordinateur. De ce point de vue, ces pratiques incitent à plus d'actions motivantes découvrant un apprenant mis dans une situation de découverte avec un accès à l'auto-construction des savoirs. Cette approche, centrée sur l'apprenant, a favorisé l'apprentissage à son propre rythme, où nous avons constaté à plusieurs reprises une assimilation active des connaissances où les cas d'erreurs et les tâtonnements ne sont pas autorisés.

Fig. 12 Q17 : Apport des simulations



À l'issue de ces premiers résultats qui nous paraissent dans une large mesure satisfaisants sur le plan de l'encadrement, nous sommes amenés à réfléchir de plus près au véritable usage des simulations en sciences physiques. Les implications de cette recherche nous poussent à constater que les étudiants ont changé et que leur profil ne cesse de s'améliorer à travers les expériences de Physique simulées ces dernières années. Les résultats obtenus lors de cette étude convergent vers des tendances moyennes, que ce soit pour les étudiantes et les étudiants, pour les cinq groupes où nous avons constaté des résultats presque identiques, et pour l'interaction de tous les étudiants interrogés qui est à la base du processus dynamique d'apprentissage.

Utilisées comme moyens d'enseignement ou comme complément d'enseignement par de nombreuses structures pédagogiques, en travail individuel ou en groupe, les simulations peuvent réduire la distance entre l'apprenant et les savoirs à acquérir, et leur pleine efficacité est liée à la nécessité que l'enseignant-formateur se positionne comme un véritable médiateur. L'utilisation de ces outils, sans précautions préalables, risque de conduire à un échec dans la gestion des apprentissages. Une vigilance s'impose donc pour encourager une implémentation rationnelle des simulations dans les séances de travaux pratiques, et devrait conduire à l'émergence de nouveaux métiers tels que personne-ressource pédagogique et technique, concepteur d'outils de présentation des savoirs pour les rendre « apprenables ». Dans sa note de synthèse sur les environnements numériques, Blandin[29] dresse un travail remarquable sur les effets produits par l'usage des technologies numériques sur le

[29] Blandin, B. (2012), « Apprendre avec les technologies numériques : quels effets identifiés chez les adultes? » note de synthèse in *Savoirs* n° 30, Paris, éd. L'Harmattan, p. 11-58.

processus apprendre chez l'apprenant adulte.

Que ce soit dans les ATE axés surtout sur le projet comme démarche d'investigation ou de construction, ou dans l'apprentissage autonome et /ou coopératif, la simulation est créatrice d'évènements et d'attitudes, démarches ou comportements que nous voulons inculquer à l'apprenant comme le souligne Lebrun[30] à propos de ces savoirs implicites qui sont destinés à jamais à rester dans le curriculum caché.

Conclusion-perspectives

A travers les différentes séquences de raisonnement, les didacticiels proposés ont favorisé ainsi l'appropriation de certains instruments de mesure, et l'intérêt des scénarios pédagogiques s'inscrit à part entière dans les pratiques de ces étudiants futurs formateurs qui tiennent compte, dans une certaine mesure, des séquences du cours.

Décortiqués par des pédagogues, documentalistes et chercheurs, les supports multimédias recèlent de multiples et précieuses ressources pour l'enseignement. Cependant, utiliser les nouvelles technologies ne signifie pas forcément innover sur le plan pédagogique. Si l'on ne veut pas, sous couvert d'écrans du savoir, voir se multiplier de véritables « écrans au savoir », il convient de donner du sens à de nombreuses pistes d'usage, ce qui revient aussi à réinterroger ce « processus hypercomplexe » qu'est l'apprentissage[31].

On peut résumer un certain nombre de conditions pour une intégration de la simulation dans la panoplie des outils d'investigation scientifique comme suit : l'outil doit faire l'objet d'une appropriation-familiarisation par la pratique; il doit être utilisé au plus tôt, si possible dès le début des activités sur un domaine, et son utilisation doit passer par l'exploration sur des cas connus des élèves ou étudiants. La place de ces « objets graphiques manipulables » est évidente : déviation d'un spot lumineux dont on peut ajuster l'équilibre, obtention du calibre d'un appareil de mesure par la modification de la résistance interne, etc. L'idée partagée par les auteurs et enseignants est que le fait d'agir sur ces représentations, de les modifier, est un facteur positif dans la compréhension et la mémorisation des notions ou concepts de Physique ainsi « manipulés ». De nouvelles questions de recherche se posent autour de ces

[30] Lebrun, M. (2004), *Des méthodes actives pour une utilisation effective des technologies*, B-1348 Louvain-la-Neuve, éd. De Boeck.

[31] Crinon, J. et Gautellier, C. (1997), *Apprendre avec le multimédia*, CÉMEA-RETZ Pédagogie, p. 220.

« environnements sémiotiques manipulables »[32].

Nos observations ont confirmé l'idée que l'utilisation de multiples modes de représentation (et leur mise en correspondance) n'est pas naturelle chez la plupart des étudiants qui privilégient un mode propre, et que les tâches planifiées par les enseignants n'y invitent généralement pas. Notre proposition fait donc apparaître un type nouveau d'activité, nécessitant non seulement l'invention d'aides spécifiques mais aussi, sans doute, la mise en place d'un « méta-apprentissage »[33].

Les étudiants, sur le terrain, ont besoin de nouvelles compétences afin d'exercer leur métier. Concernant l'usage efficient des TICE, Perrenoud[34] attire l'attention sur ce point et sur les contenus à enseigner : « Former aux nouvelles technologies, c'est former le jugement, le sens critique, la pensée hypothétique et déductive, les facultés d'observation et de recherche, l'imagination, la capacité de mémoriser et de classer, la lecture et l'analyse de textes et d'images, la représentation de réseaux, d'enjeux et de stratégies de communication ».

Nous admettons que, sous certaines conditions, l'ordinateur multimédia, qui ne doit pas être considéré comme un outil miracle apportant « le bonheur sur la terre pédagogique », peut favoriser l'appropriation du savoir ; il peut jouer un rôle de médiateur patient et non dévalorisant. C'est à travers l'attitude de l'enseignant et sa capacité à situer les limites et les atouts de l'outil, et accompagner tangiblement et durablement l'apprenant dans sa maîtrise des contraintes techniques que s'opèrent des effets secondaires d'apprentissage autonome.

---

[32] Beaufils, D. (2000), « Des logiciels de simulation pour modéliser et expérimenter sur modèle : quels enjeux pour les apprentissages ? », in Actes du *premier séminaire national TICE et Sciences physiques*, IUFM de Bordeaux.

[33] Opcit Guillon, 1996.

[34] Perrenoud, P. (2008), « Dix nouvelles compétences pour enseigner. Invitation au voyage », in collection *Pédagogies – Références* dirigée par Meirieu, P., éd. ESF, 6e édition, p. 190.

Bibliographie

André, D. (1998), « Un nouveau concept de licence-maîtrise de physique : les travaux d'expérimentation numérique », in Actes des *8e Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP.

Beaufils, D. (2000), « Des logiciels de simulation pour modéliser et expérimenter sur modèle : quels enjeux pour les apprentissages ? », in Actes du *premier séminaire national TICE et Sciences physiques*, IUFM de Bordeaux.

Beaufils, D. (2001), *Expérimentation d'une utilisation de logiciels de simulation en physique,* IUFM de l'académie de Versailles & INRP-TECNE.

Beaufils, D., Richoux, B. (2003), « Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique », in *Didaskalia* n° 23, p. 9-38

Blandin, B. (2012), « Apprendre avec les technologies numériques : quels effets identifiés chez les adultes? » Note de synthèse in *Savoirs* n° 30, Paris, éd. L'Harmattan, p. 11-58.

Coquidé, M., Le Maréchal, J.-F. (2006), « Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts », ASTER n° 43.

Crinon, J., Gautellier, C. (1997), *Apprendre avec le multimédia,* CÉMEA-RETZ Pédagogie.

Depondt, P. (1998), *Physique numérique (le calcul numérique sur ordinateur au service de la physique : une introduction)*, éd. Vuibert.

Droui, M., El Hajjami, A. (2014), « Simulations informatiques en enseignement des sciences : apports et limites », in *Epinet*, n° 164, avril.

Durey, A. (1984), « La notion de modèle en Physique : la modélisation et son apprentissage », in A. Giordan, J.-L. Martinand (Éds.), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques,* Actes *VI es JIES*, Chamonix, France.

Frater, H., Paulissen, D. (1993), *Le grand livre du multimédia PC*, éd. Micro Application.

Giordan, A. (1998), *Apprendre*, Paris, éd. Belin.

Guillon, A. (1996), « *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première et deuxième année d'université* », thèse doctorat nouveau régime, Université Paris7.

Jérôme, P. (1979), *Modélisation et Simulation,* dossier informatique APBG.

Lebrun, M. (2004), *Des méthodes actives pour une utilisation effective des technologies,* B-1348 Louvain-la-Neuve, éd. De Boeck.

Meloua, N. (2001), « Le multimédia et l'enseignement de la Physique », in A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds.), *Expériences de la nature et de la technique,* Actes *XXIII es JIES*, Chamonix, France.

Passin, J.-L. (2011), *Pré-Projet ACNUM. Formation pour l'Acquisition de*

Compétences NUMériques générales et professionnelles, UPEC-IUFM, Créteil.

Perrenoud, P. (2008), « Dix nouvelles compétences pour enseigner. Invitation au voyage », in collection *Pédagogies – Références* dirigée par Meirieu, P., éd. ESF, 6e édition.

Richoux, B. (2006), *Des logiciels de simulation pour des activités scientifiques*, Paris, INRP-TECNE.

Taillard, P. (1996), « Nos nouveaux élèves », in *TECHNOLOGIE*, n° 84.

Viudez, C. (2001), « Rôle de la simulation en travaux pratiques : exemple d'une licence en physique », in A. Giordan, J.-L. Martinand & D. Raichvarg (Éds.), *Expériences de la nature et de la technique*, Actes *XXIIIes JIES*, Chamonix, France.

Walliser, B. (1977), *Systèmes et modèles*, Paris, éd. Seuil.

Weidenfeld, G. et alii. (1997), «Techniques de base pour le multimédia», in collection *Enseignement de l'informatique*, éd. Masson.

Wieman, C.-E., Adams, W.-K., Perkins, K.-K. (2008), « PhET: Simulations That Enhance Learning », in *Magazine Science*, Vol.322 n° 5902.

Annexe A

Questionnaire étudiants

Relatif aux simulations Multimédia

Ce questionnaire, ayant trait à un projet de recherche, concerne une étude de cas relevant des retours d'usage et d'expérimentation des simulations durant les séances de travaux pratiques de Physique. Il a pour objet l'amélioration des enseignements et de la formation des élèves-professeurs à partir des résultats issus de votre évaluation. Il est anonyme, et vos avis nous permettront de remédier à certains obstacles rencontrés dans l'enseignement des sciences physiques au laboratoire. Nous vous en remercions d'avance.

Sexe : ☐**Femme** ☐**Homme**

Filières : ☐ **3ème PEM** ☐ **4ème PEM** ☐ **3ème PES**

☐ **4ème PES** ☐**5èmePES**

Q1- D'après vous, quels sont les objectifs des simulations ?
☐ a)- Revoir et/ou réviser le cours (ou une partie)
☐ b)- Renforcer les pré-acquis
☐ c)- Motiver de plus en plus
☐ d)- Apporter un autre regard à l'étude du phénomène à étudier

Q2- Quel a été le domaine le plus abordé ?
☐ Mécanique ☐ Electricité ☐ Optique ☐ Autre

Q3- Quel est le type de simulation que vous préférez aborder le plus ?
☐ Didacticiel ☐ Démonstration ☐ Animation
☐ Application ☐ Laboratoire

Q4- Est-ce que les commentaires en langue différente de la vôtre (français, anglais), vous embarrassent dans la progression de vos apprentissages ?
☐Oui ☐ Parfois ☐ Non

Q5- Est-il nécessaire d'intégrer une aide (HELP) dans le module de la simulation ? ☐Oui ☐ Parfois ☐ Non

Q6- Les contenus pédagogiques des simulations sont :
☐Satisfaisants ☐ Insuffisants ☐ Inadaptés

Q7- Avez-vous utilisé des simulations présentant des scénarios pédagogiques ? ☐ Oui ☐ Parfois ☐ Non

Q8- Utilisez-vous des simulations de type interactif ?
☐ Oui ☐ Parfois ☐Non

Q9- Utilisez-vous des simulations avec un module d'évaluation ?
☐ Oui ☐ Parfois ☐ Non

Q10- Est-ce qu'un excès d'informations contenues dans certaines simulations vous gêne ?
☐ Non ☐ Rarement ☐ Souvent ☐ Beaucoup

Q11- La navigation dans les simulations était :
☐ Inadaptée ☐ Difficile ☐ Moyenne ☐ Facile

Q12- D'une manière générale, l'interface utilisateur était-elle conviviale ? ☐Oui ☐ Parfois ☐ Non

Q13- Vous apprenez les sciences physiques simulées en mode :
☐ Individuel ☐ Binôme ☐Petit groupe ☐ Classe

Q14- Vous préférez apprendre avec des simulations dont la durée est de :
☐5mn ☐ 15mn ☐30mn ☐ 45mn ☐60mn

Q15- Lequel des supports est-il le mieux adapté à vos besoins ?
☐Cassette ☐ CD-ROM ☐DVD ☐ Clé USB ☐ Autres

Q16- Avec quelle taille d'écran étudiez-vous généralement les simulations ?
☐10″ ☐15″ ☐ 17″ ☐19″ ☐ 21″

Q17- Dans le cadre de votre formation, pensez-vous que les simulations vous ont apporté un plus ?
☐ Oui ☐ Parfois ☐ Non

Annexe B : Réponses des étudiants au questionnaire

		9F	12G	8F	10G	5F	19G	34F	19G	21F	22G	159	
Q	**Réponse**	**PES3**	**PES3**	**PES4**	**PES4**	**PES5**	**PES5**	**PEM3**	**PEM3**	**PEM4**	**PEM4**	**Total**	**Tot %**
1	**1a**	1	5	0	4	0	1	12	5	5	3	36	11,3
1	**1b**	8	6	1	3	3	8	15	10	9	6	69	21,7
1	**1c**	0	5	7	3	3	13	17	9	12	16	85	26,7
1	**1d**	9	8	8	10	4	16	24	14	16	19	128	40,3
2	**Mécanique**	3	2	3	5	1	3	9	5	7	8	46	28,9
2	**Electricité**	1	4	4	2	1	7	12	8	5	10	54	34,0
2	**Optique**	2	4	1	1	3	7	9	4	7	4	42	26,4
2	**Autre**	3	2	0	2	0	2	4	2	2	0	17	10,7
3	**Didacticiel**	0	0	3	0	1	1	4	5	3	4	21	13,2
3	**Démo**	2	3	0	1	1	3	2	1	2	0	15	9,4
3	**Animation**	1	1	1	0	3	5	11	5	6	7	40	25,2
3	**Application**	5	6	3	4	0	2	6	4	5	4	39	24,5
3	**Laboratoire**	1	2	1	5	0	8	11	4	5	7	44	27,7
4	**Oui**	3	6	0	1	1	4	7	5	4	9	40	25,2
4	**Parfois**	6	6	7	8	3	10	22	12	13	10	97	61,0
4	**Non**	0	0	1	1	1	5	5	2	4	3	22	13,8
5	**Oui**	5	4	3	6	1	4	9	3	6	8	49	30,8
5	**Parfois**	4	6	5	4	4	13	18	15	10	12	91	57,2
5	**Non**	0	2	0	0	0	2	7	1	5	2	19	11,9
6	**Satisfaisant**	7	5	6	7	4	16	18	14	16	13	106	66,7
6	**Insuffisant**	2	7	2	3	1	3	14	5	4	9	50	31,4
6	**Inadapté**	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3	1,9
7	**Oui**	4	6	0	5	2	6	8	3	6	8	48	30,2
7	**Parfois**	2	4	5	4	2	9	15	11	8	10	70	44,0
7	**Non**	3	2	3	1	1	4	11	5	7	4	41	25,8
8	**Oui**	7	4	3	8	3	13	26	14	10	13	101	63,5
8	**Parfois**	1	5	4	2	2	4	8	5	6	5	42	26,4
8	**Non**	1	3	1	0	0	2	0	0	5	4	16	10,1
9	**Oui**	1	2	0	5	1	5	18	3	5	7	47	29,6
9	**Parfois**	1	3	0	3	2	4	11	14	8	6	52	32,7
9	**Non**	7	7	8	2	2	10	5	2	8	9	60	37,7
10	**Non**	2	0	2	3	2	6	10	1	5	4	35	22,0
10	**Rarement**	4	5	3	5	2	10	17	13	13	15	87	54,7
10	**Souvent**	3	4	3	2	1	3	7	5	3	3	34	21,4
10	**Beaucoup**	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1,9
11	**Inadapté**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
11	**Difficile**	0	1	0	1	1	0	2	2	2	1	10	6,3
11	**Moyenne**	7	8	7	6	1	9	25	13	14	12	102	64,1
11	**Facile**	2	3	1	3	3	10	7	4	5	9	47	29,6

12	**Oui**	3	6	8	6	4	16	12	9	11	16	91	57,2
12	**Parfois**	5	5	0	4	1	3	22	7	8	6	61	38,4
12	**Non**	1	1	0	0	0	0	0	3	2	0	7	4,4
13	**Individuel**	0	4	1	3	0	3	4	5	3	6	29	18,2
13	**Binôme**	4	3	1	1	2	6	9	5	6	9	46	28,9
13	**Petit Groupe**	0	2	5	2	3	8	13	7	9	5	54	34,0
13	**Classe**	5	3	1	4	0	2	8	2	3	2	30	18,9
14	**5 mn**	2	1	1	3	0	2	3	3	2	5	22	13,8
14	**15 mn**	3	1	5	5	2	5	19	11	7	11	69	43,4
14	**30 mn**	1	10	2	2	3	10	10	4	8	4	54	34,0
14	**45 mn**	1	0	0	0	0	2	2	0	4	2	11	6,9
14	**60 mn**	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	1,9
15	**Cassette**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
15	**CD-ROM**	0	0	1	1	1	3	3	2	1	0	12	7,6
15	**DVD**	0	3	0	0	1	6	5	2	3	2	22	13,8
15	**Clé USB**	9	8	7	9	3	10	26	15	17	20	124	78,0
15	**Autre**	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,6
16	**Écran 10"**	0	1	1	0	2	4	6	2	4	2	22	13,8
16	**Écran 15"**	4	7	0	1	3	12	21	10	12	10	80	50,3
16	**Écran 17"**	4	3	4	5	0	3	4	0	2	0	25	15,7
16	**Écran 19"**	1	0	1	2	0	0	2	7	0	4	17	10,7
16	**Écran 21"**	0	1	2	2	0	0	1	0	3	6	15	9,5
17	**Oui**	8	9	8	9	4	14	27	10	17	18	124	78,0
17	**Parfois**	1	3	0	1	1	5	6	9	3	4	33	20,8
17	**Non**	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	1,2