

# **Entre savoir et savoir-être, du rôle des TIC dans le processus d'apprentissage du génie électrique : compte rendu d'innovation**

## **From comprehension to analysis, the ICT's role in electrical engineering learning process : report of innovation**

**Sophie LABRIQUE, Damien GRENIER, Francis LABRIQUE**

Université catholique de Louvain  
Laboratoire d'électrotechnique et d'instrumentation  
3 place du Levant, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

### **Résumé**

*Cet article présente comment les TIC ont été utilisées à la faculté des sciences appliquées de l'université catholique de Louvain pour l'enseignement du génie électrique et en particulier des convertisseurs électromécaniques et des circuits électriques. Il détaille les différents types d'outils pédagogiques interactifs qui ont été développés et expose la mise en œuvre de laboratoires virtuels auprès des étudiants dans deux contextes différents : une pédagogie relativement classique (basée sur l'interaction de cours, exercices et travaux pratiques) et une pédagogie active (faisant largement appel à des apprentissages par problèmes et par projets). Les réactions des étudiants ont été recueillies et synthétisées : elles se révèlent être un indicateur*

*intéressant pour l'évaluation de l'impact de tels outils dans le processus d'apprentissage. Ces nouveaux outils pédagogiques interactifs sont perçus comme facilitant l'acquisition rapide de compétences intermédiaires, entre la simple connaissance de la matière (mieux transmise par le cours magistral et les supports associés : syllabi, livres, etc.) et les compétences de haut niveau mieux développées dans le cadre d'un projet. Réussir à coaliser les cours magistraux, les TIC et l'apprentissage par projets est donc le prochain défi à relever pour parvenir à une formation moderne, véritablement efficace, des sciences de l'ingénieur en général, et du génie électrique en particulier.*

**Mots clés :** TIC, didacticiels interactifs, laboratoires virtuels, évaluation par les étudiants, processus d'apprentissage.

## **Abstract**

*The aim of this paper is to present how the ICT have been used at the faculty of applied science of the catholic university of Louvain, for teaching of electrical engineering and more precisely of the electromechanical converters and electrical circuits. It retails the different types of interactive educational tools that have been developed. Some of these virtual laboratories have already been tested with students in two different contexts: a relatively classical pedagogy (based on the interaction of lectures, exercises and laboratories) and a active one (widely using problem and project based learning). Student reactions have been collected and synthesized: they reveal an interesting way for evaluating the impact of such tool in the learning process. These tools are seen as allowing a fast acquisition of intermediate ability, between the simple knowledge of the contents (better transmitted through lectures and associated media: syllabi, books...) and the high-level ability better developed through the project based learning. To succeed to combine lectures, ICT and project based learning is then the next challenge in order to obtain a modern training, really efficient, of generally speaking engineering sciences and particularly of electric engineering.*

**Key words :** ICT, interactive tutorials, virtual laboratories, student's reactions, learning process.

## **1. INTRODUCTION**

Depuis 1999, le département d'électricité de la faculté des sciences appliquées de l'université catholique de Louvain développe et présente sur la toile des didacticiels qui regroupent différents outils pédagogiques interactifs et font un large usage des technologies de l'information et de la communication (les TIC).

Les premiers outils qui ont été développés concernent l'enseignement des convertisseurs électromécaniques (les « machines électriques », qu'elles soient utilisées en tant que moteurs ou générateurs d'énergie électrique). Ce premier didacticiel s'adresse aux étudiants commençant une spécialisation en électricité ou en électromécanique (en 3<sup>e</sup> année du cycle universitaire).

Le succès de cette expérience a incité les promoteurs de cette initiative à l'étendre à l'enseignement de base de l'électricité (1<sup>re</sup> année), en particulier à l'apprentissage des circuits électriques.

Cet article présente brièvement le concept développé, qui associe étroitement un livre de référence et un site Internet qui regroupe différents types d'outils interactifs. Il synthétise les réactions des étudiants recueillies suite à la mise en œuvre de ces outils, et les enseignements que l'on peut en tirer. Mesurer l'efficacité de ces outils interactifs dans le processus d'apprentissage nécessite de les éprouver face aux objectifs poursuivis et aux approches pédagogiques (l'une classique, l'autre axée sur les méthodes actives) dans lesquelles ils s'insèrent.

Outre l'acquisition de compétences de niveau intermédiaire, nous verrons que les nouvelles technologies de l'information et de la communication ont également profondément modifié les relations au sein du triangle didactique (enseignants-savoirs-étudiants).

## **2. LES MOTIVATIONS DU PROJET**

Le génie électrique est une matière difficile à enseigner, qui exige de la part des étudiants un niveau d'abstraction beaucoup plus élevé que d'autres disciplines. En mécanique les notions élémentaires de position, de vitesse, de forces, qu'elles soient de gravité, centrifuges, d'attraction, etc., sont des notions intuitives, correspondant à des expériences vécues par tout un chacun et sur lesquelles l'enseignant peut s'appuyer. Les lois qui régissent un dispositif mécanique sont faciles à visualiser, car elles peuvent être illustrées au moyen d'expériences qui montrent de manière directe les relations mises en jeu. En revanche, nul n'a jamais vu une charge, un courant ou un potentiel électrique autrement que par les effets qu'ils produisent. Il en va de même pour les notions de champs électriques et magnétiques ou de flux. Ces grandeurs ne peuvent être visualisées qu'au travers d'une instrumentation (voltmètre, ampèremètre, oscilloscope) qui mesure les valeurs de certains paramètres et ne donne qu'une vision indirecte des phénomènes physiques en jeu. Cela nécessite donc de la part des étudiants un niveau d'abstraction élevé. Quand en outre ces grandeurs évoluent simultanément dans le temps et dans l'espace, comprendre qu'elles peuvent interagir pour créer des efforts mécaniques est loin d'être immédiat.

En charge des ces enseignements à la faculté des sciences appliquées de l'université catholique de Louvain, nous étions conscients des problèmes de compréhension rencontrés par nombre d'étudiants. Nous étions également lucides quant aux limites de l'exposé oral ou du passage au laboratoire qui ne peut offrir à l'étudiant, pour des raisons de temps et de sécurité, l'occasion de procéder à toutes les expériences nécessaires à une compréhension en profondeur de la matière. C'est pourquoi nous avons voulu, par l'intégration des technologies de l'information et de la communication (les « TIC »), offrir à l'apprenant un espace de visualisation et d'expérimentation virtuelle des phénomènes qu'il étudie. L'interactivité proposée par ces nouveaux outils pédagogiques lui donne l'occasion de vérifier ses hypothèses, de comparer différents cas, de faire des erreurs (ce qui s'avère souvent plus formateur qu'une manipulation « réussie » en suivant rigoureusement un plan d'expérience que l'on ne comprend pas) sans risque de « casse » ou d'accident.

Notre ambition dépasse donc largement la migration brute du contenu traditionnel d'un cours vers le web : il s'agit de définir une démarche d'intégration des TIC au cœur de notre enseignement, démarche qui se base sur le processus d'apprentissage des étudiants dont on analyse le comportement et la perception.

### **3. LE CONCEPT**

#### **3.1. Association d'un livre et d'un site**

L'apparition de l'écrit n'a pas rendu caduc l'exposé oral dans les pratiques d'enseignement. L'audiovisuel n'a pas supplanté le livre. Les TIC ne bouleverseront pas non plus complètement le processus d'apprentissage : elles ne s'implanteront que là où elles apportent un plus à l'étudiant, où elles s'avèrent plus efficaces ou agréables à utiliser que les supports pédagogiques classiques.

Conscients de cette réalité, nous n'avons pas souhaité développer un site multimédia autosuffisant, mais avons d'emblée choisi de construire un didacticiel qui soit complémentaire d'un livre de référence.

Le livre répond au besoin d'avoir un support structuré et confortable. Pour tout texte dépassant une certaine longueur (2 ou 3 écrans d'ordinateur) le médium papier est en effet systématiquement préféré. Le site est destiné à illustrer, visualiser et appréhender les concepts théoriques.

En concevant ce site en complément des supports plus traditionnels d'enseignement et non en lieu et place de ceux-ci, notre approche offre la possibilité d'évaluer l'apport spécifique des TIC et de vérifier si elles conduisent à un apprentissage plus efficace.

Pour le didacticiel sur les convertisseurs électromécaniques, le livre de référence a été écrit par la même équipe que celle qui a supervisé le développement du site (Grenier et al., 2001). Pour le didacticiel sur les circuits électriques, nous avons utilisé un livre de référence extérieur à l'équipe, celui choisi par la faculté des sciences appliquées pour l'ensemble des matières du 1<sup>er</sup> cycle universitaire (Young & Friedmann, 2000).

### **3.2. Le site Internet**

Une série de rubriques offre à l'étudiant l'occasion d'appréhender de façon plus active et interactive les différents points de la matière :

- les leçons, davantage dans l'esprit d'un exposé au tableau que d'un cours rédigé sur un support papier, illustrent certaines notions théoriques au moyen d'animations, de photos et/ou de courtes séquences vidéo ;
- les « laboratoires virtuels » (figure 1) proposent des exercices résolus ou des expériences virtuelles par la simulation du fonctionnement des convertisseurs électromécaniques sous différentes conditions. Chaque laboratoire contient l'énoncé du problème et une série de questions. L'étudiant est invité à chercher lui-même la solution par un cheminement progressif. Ainsi, dans certains cas, un bouton d'aide rappelle un théorème ou une formule utiles, suggère des hypothèses simplificatrices. La réponse à la question est d'abord donnée sous forme d'un résultat brut, afin que l'étudiant qui n'a pas obtenu la bonne réponse puisse reprendre son raisonnement ou ses calculs. L'illustration de cette réponse au moyen d'un graphe animé ou d'un résultat de simulation aide à identifier d'éventuelles erreurs de raisonnement. Vient finalement la démonstration complète de la réponse, éventuellement par différentes méthodes (la méthode la plus élégante, car concise, présentée dans les ouvrages de référence n'est pas forcément la seule méthode acceptable). Enfin, une vérification de la réponse est parfois proposée, sous forme d'un résultat expérimental ou d'une simulation par un modèle moins simplificateur que celui considéré dans le calcul (par exemple une cartographie des champs électromagnétiques déterminée au moyen de la méthode des éléments finis) ;
- les questionnaires à choix multiple (figure 2), par le biais d'une correction automatique, permettent à l'apprenant de vérifier et de mesurer son niveau de connaissance et de compréhension de la matière traitée dans le chapitre. Ils sont aussi une occasion de se poser des questions qui sous une apparence parfois triviale cachent des problèmes plus compliqués qu'il n'y paraît à première vue ;
- les rubriques « Bibliographie » et « Questions avancées » proposent des articles et références bibliographiques en vue de l'approfondissement de certains points de la matière.

Laboratoires virtuels

Début du Didacticiel > Début du chapitre > Début des laboratoires

**Chapitre** Principes de fonctionnement des machines polyphasées à champ tournant  
**Laboratoire** Réalisation d'un enroulement réparti assurant une répartition quasi sinusoïdale du champ dans l'entrefer

### Enoncé du laboratoire

**1. Aide** Calculer en tout point de l'entrefer le champ  $H$  créé par une bobine située à la périphérie d'un entrefer (figure 1) et parcourue par un courant  $I$  (cf figure 1). On considérera dans cette étude que la perméabilité du fer est infinie, et on négligera les fuites de flux.

On choisira comme axe de référence pour repérer la position d'un point dans l'entrefer, l'axe magnétique de la bobine.

**Réponse**

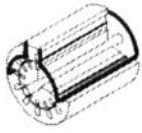


Figure 1

Laboratoires virtuels

Début du Didacticiel > Début du chapitre > Début des laboratoires

**Chapitre** Principes de fonctionnement des machines polyphasées à champ tournant  
**Laboratoire** Réalisation d'un enroulement réparti assurant une répartition quasi sinusoïdale du champ dans l'entrefer

### Question 1 : démonstration

Pour calculer le champ  $H$  en un point  $M$  de l'entrefer de position angulaire  $\theta$ , il suffit d'appliquer le **théorème d'Ampère** à un contour fermé en  $\theta$  et  $\theta + \pi$ .

**Question 5 : vérification**

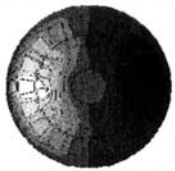


Figure 4 Valeurs du potentiel vecteur

La figure 4 représente la valeur de ce potentiel vecteur en tout point de la machine. On constate qu'il est négatif autour de l'encoche contenant des conducteurs parcourus par des courants vers l'avant dans le plan de la figure et positif autour de l'autre encoche. Les lignes d'équivalents du potentiel vecteur correspondent aux trajectoires suivies par le flux magnétique. On constate bien que ce flux entoure les deux encoches.

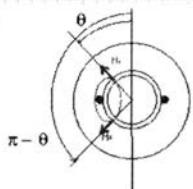


Figure 1

Si du fer infini, le champ  $H$  est nul dans le fer (on a en effet  $H = B / \mu$ ), les deux intéressants sont donc les traversées de l'entrefer.

Figure 1. Extraits d'un laboratoire virtuel relatif à la création par les techniques d'étalement des bobines d'un champ d'entrefer à répartition quasi-sinusoïdale

Évaluez vos connaissances

Chapitre 6 : Les machines à courant continu

Testez vos connaissances : Machine à courant continu à collecteur

Debut de l'exécution > Debut du chapitre

### Question 1

La source qui alimente le circuit inducteur d'une machine à courant continu à collecteur et à excitation séparée fournit une puissance égale aux pertes Joule dans cet enroulement.

- c'est toujours vrai
- ce n'est vrai qu'en régime permanent
- c'est toujours faux

Évaluez vos connaissances

Chapitre 6 : Les machines à courant continu

Testez vos connaissances : Machine à courant continu à collecteur

Debut de l'exécution > Debut du chapitre

### Réponse 1

La source qui alimente le circuit inducteur d'une machine à courant continu à collecteur et à excitation séparée fournit une puissance égale aux pertes Joule dans cet enroulement.

- c'est toujours vrai
- ce n'est vrai qu'en régime permanent.
- c'est toujours faux

Réponse erronée !

Évaluez vos connaissances

Évaluez vos connaissances

### Justification de la question 1

La source qui alimente le circuit inducteur d'une machine à courant continu à collecteur et à excitation séparée fournit outre l'énergie dissipée par effet Joule dans cet enroulement, une partie de l'énergie magnétique stockée dans la machine. Cette énergie magnétique étant constante en régime permanent, la puissance fournie par l'alimentation de l'inducteur se réduit alors (mais seulement dans ce cas) aux seules pertes ohmiques.

Évaluez vos connaissances

Chapitre 6 : Les machines à courant continu

Testez vos connaissances : Machine à courant continu à collecteur

Debut de l'exécution > Debut du chapitre

### Question 2

Figure 2. Extraits d'un questionnaire à choix multiple, et son module de correction automatique

### 3.3. Différents types d'outils interactifs

Ces différentes rubriques regroupent plusieurs types d'outils pédagogiques qui, tous, proposent à l'étudiant une plus ou moins grande interactivité :

- l'étudiant navigue à travers les pages web et aborde la matière à son propre rythme et éventuellement selon un cheminement qui lui est propre. La présentation progressive de chaque point de la matière, la résolution « étape par étape » des exercices, la possibilité d'obtenir une aide ponctuelle ou de consulter le glossaire des termes, les liens hypertextes vers d'autres points abordés précédemment et nécessaires à une bonne compréhension, sont autant de jalons qui aident l'étudiant à compléter et structurer ses connaissances, à mettre en évidence et combler les « zones d'ombres » qui subsistent dans son apprentissage de la matière ;
- l'étudiant teste et évalue son niveau de connaissance : il s'essaie à la résolution d'examens, le module de correction automatique des questionnaires à choix multiple repère ses erreurs et le renvoie vers un texte d'explication. Le score obtenu lui donne une indication de sa connaissance de la matière ;
- enfin et surtout, grâce aux animations (applets java<sup>1</sup>) présentes à différents niveaux, l'étudiant manipule virtuellement les dispositifs qu'il est en train d'étudier (ou du moins leur simulation).

### 3.4. Les animations

Les animations programmées (figure 3) représentent la partie la plus innovante du dispositif pédagogique que nous avons mis en place. La notion d'interactivité y est maximale :

- alors qu'il est usuel dans un ouvrage sur support papier ou au tableau lors d'un cours, de tracer les courbes qui caractérisent le fonctionnement d'un dispositif pour un jeu de paramètres bien choisi, le support électronique permet à l'étudiant de voir comment celles-ci sont affectées (ou non) par une modification des paramètres internes ou externes du dispositif. Cette possibilité s'applique également à tous les diagrammes vectoriels (phasoriels) utilisés habituellement en électricité pour étudier les dispositifs à courant alternatif ;
- l'animation des figures est d'ailleurs un outil irremplaçable pour visualiser la manière dont les grandeurs caractéristiques des dispositifs étudiés évoluent simultanément dans le temps et dans l'espace ;
- les outils de simulation de dispositifs électriques contribuent à la réalisation de laboratoires virtuels. Ces laboratoires, s'ils ne prétendent pas remplacer la confrontation indispensable avec la réalité mais plutôt la préparer, multiplient les occasions offertes aux étudiants de manipuler les dispositifs étudiés et ainsi de se les approprier. Il leur est même possible d'apprendre en faisant des erreurs, en « cassant » virtuellement des machines, choses que pour des raisons de coût et surtout de sécurité<sup>2</sup> il est impossible de leur laisser faire



dans un laboratoire réel. Enfin et surtout, cela leur permet de manipuler des dispositifs dans des gammes de puissance qu'aucune installation didactique ne pourra jamais atteindre et de constater, par exemple, qu'un moteur de quelques watts ne se comporte pas toujours de la même façon qu'un moteur de plusieurs centaines de kilowatts.

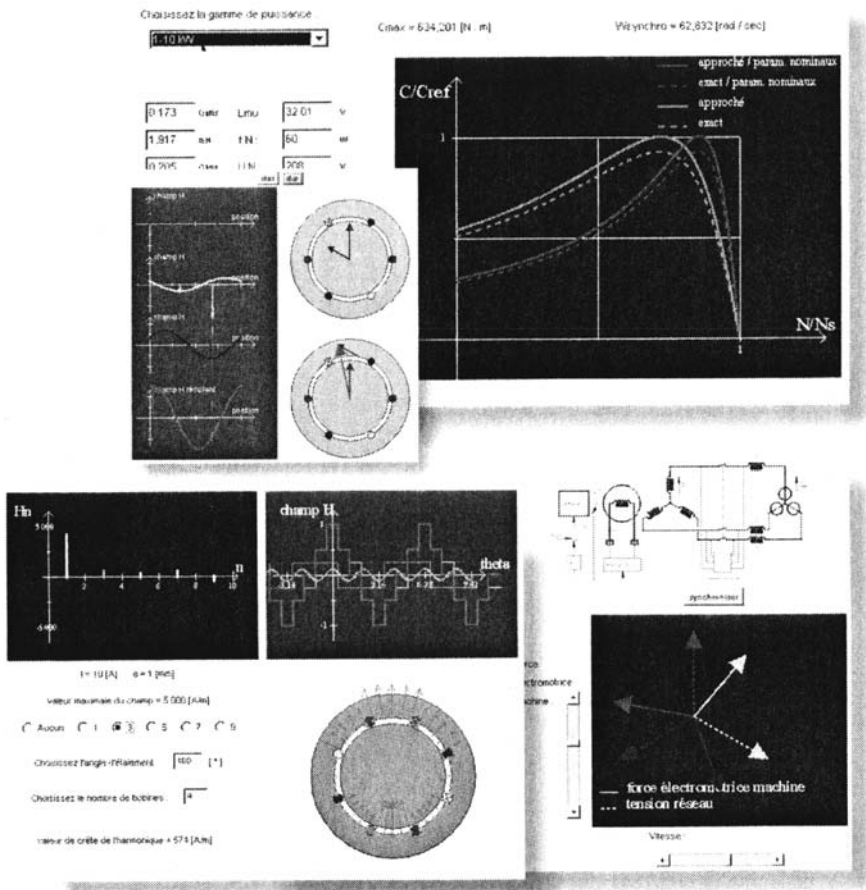


Figure 3. Exemples d'animations java destinées à la compréhension des convertisseurs électromécaniques

De haut en bas : caractéristique couple-vitesse des machines à induction, visualisation de la notion de champ tournant, synchronisation d'un alternateur sur le réseau, création d'un champ d'entrefer à répartition quasi-sinusoïdale par les techniques d'étalement de bobines

Considérons, à titre d'exemple, l'animation dont une séquence est visualisée sur la figure 4. Cette animation fait partie d'une série qui sert à introduire et illustrer la notion de champ tournant.

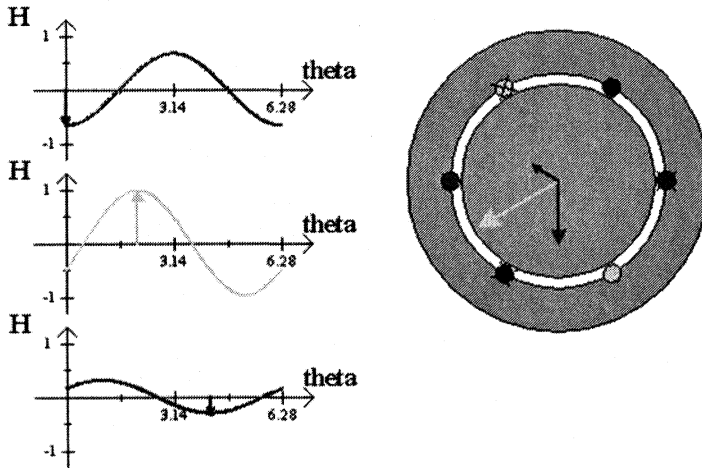


Figure 4. Champs magnétiques créés par trois bobinages spatialement et temporellement déphasés de 120°

Expliquer comment il est possible avec trois bobinages fixes décalés spatialement de 120° et alimentés par des courants déphasés temporellement de 120°, de créer un champ d'entrefer (entre le rotor et le stator) équivalent à celui que produirait un seul bobinage tournant, alimenté par un courant constant, est en effet fondamental pour la compréhension du cours sur les convertisseurs électromécaniques. Cette propriété est à la base du fonctionnement de la quasi totalité des moteurs électriques existant sur le marché.

Au cours de la leçon, on montre, dans un premier temps, qu'un bobinage fixe, alimenté par un courant alternatif, crée un champ pulsatoire de direction constante (la direction du champ est la direction pour laquelle l'amplitude du champ est maximale). L'amplitude et le sens (le signe) du champ  $H_a$  créé par le bobinage  $a$  varient avec ceux du courant  $i_a = I \cdot \cos \omega t$  qui l'alimente :

$$H_a(\theta) = Kl \cos \omega t \cdot \cos \theta$$

( $\omega$  désigne la pulsation du courant,  $\theta$  est la position du point de l'entrefer où le champ est évalué,  $K$  est une constante liée aux paramètres constructifs de la machine).

Les champs créés par les trois bobinages  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont spatialement déphasés de 120°. Les courants  $i_a$ ,  $i_b$ ,  $i_c$  qui les alimentent sont temporel-

lement déphasés de  $120^\circ$ . Quand on additionne les champs produits, on obtient un champ total  $H_t$  :

$$H_t(\theta) = H_a(\theta) + H_b(\theta) + H_c(\theta) \\ = Kl [\cos\omega t.\cos\theta + \cos(\omega t - 2\pi/3).\cos(\theta - 2\pi/3) + \cos(\omega t + 2\pi/3).\cos(\theta + 2\pi/3)]$$

Un simple calcul trigonométrique montre que ce champ total s'écrit encore :

$$H_t(\theta) = \frac{3}{2} Kl \cos(\theta - \omega t).$$

Cette égalité appelée encore théorème de Ferraris s'établit également graphiquement (figure 5).

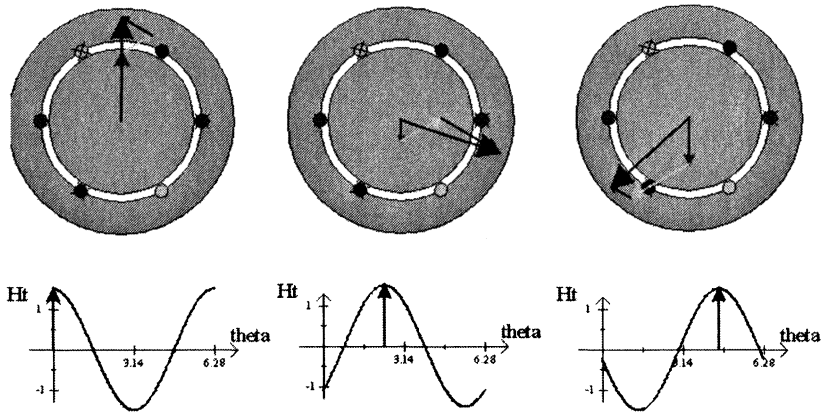


Figure 5. Champ tournant résultant représenté à différents instants

La somme des trois vecteurs représentatifs du champ magnétique est un vecteur d'amplitude constante mais dont la direction varie avec le temps<sup>3</sup>. C'est ce qu'on appelle un champ tournant.

Si on place un aimant permanent dans ce champ tournant, il suivra ce champ entraînant le rotor de la machine dans un mouvement de rotation (principe de fonctionnement des moteurs synchrones). Si on place un matériau conducteur au sein de ce champ, il sera le siège de courants induits dont on peut montrer, en vertu de la loi de Lenz, que les forces de Laplace qu'ils créent en interaction avec le champ magnétique sont telles qu'elles entraînent le rotor dans un mouvement de rotation à une vitesse nécessairement légèrement inférieure à celle du champ tournant (principe de fonctionnement des moteurs asynchrones).

On voit bien à travers cet exemple comment l'image peut aider à la compréhension du théorème fondamental qu'est, pour un électrotechnicien, le théorème de Ferraris. L'animation de cette image permet de visualiser les phénomènes physiques mis en jeu, fut-ce au travers d'une représentation symbolique. Elle développe chez l'étudiant une compréhension intuitive du fonctionnement des machines électriques sur laquelle l'enseignant peut s'appuyer pour la suite de son cours.

#### **4. MISE EN ŒUVRE DES OUTILS PÉDAGOGIQUES INTERACTIFS**

Apprécier et mesurer l'efficacité de ces outils interactifs nécessite de les éprouver face aux approches pédagogiques dans lesquelles ils prennent place et aux objectifs précis qui sous-tendent ces dernières.

##### **4.1. Des contextes pédagogiques... très différents !**

Les approches pédagogiques au cœur desquelles se sont insérés ces nouveaux outils diffèrent sensiblement pour les deux didacticiels.

Le didacticiel sur les convertisseurs électromécaniques s'adresse à un public de futurs ingénieurs électriciens et électromécaniciens en début de spécialisation (niveau bac +3 et bac +4). Ces étudiants ont suivi jusqu'ici un enseignement universitaire que l'on pourrait qualifier de « traditionnel » et qui repose principalement sur des exposés magistraux et sur des travaux pratiques d'application. Dans ce contexte, le didacticiel est avant tout un espace de visualisation et d'expérimentation de concepts souvent déjà largement explicités dans les cours magistraux.

Le didacticiel pour l'apprentissage des circuits électriques s'insère dans un contexte complètement différent. En effet, la faculté des sciences appliquées a entamé depuis bientôt quatre ans une révision complète des programmes de candidatures (1<sup>er</sup> cycle universitaire) par l'introduction de diverses méthodes de pédagogie active, centrée sur le double apprentissage par problèmes et par projets (APP) (Aguirre et *al.*, 2001). Dans ce type d'approche, l'enseignement est conçu comme la mise à disposition de l'étudiant d'occasions propices pour apprendre, développer une attitude active et s'investir personnellement. Le projet et les problèmes sont utilisés comme le moteur de l'apprentissage : ils sont soumis aux étudiants alors que tous les éléments nécessaires à leur résolution n'ont pas été transmis. L'apprenant identifie alors ses propres objectifs en termes de nouveaux apprentissages à effectuer. Dans une telle approche, les cours magistraux ont pour but de permettre *a priori* l'acquisition rapide des nouveaux concepts (nécessaires pour

aborder le projet et les problèmes), et *a posteriori* une restructuration ou une généralisation des connaissances acquises par ailleurs.

## 4.2. Insertion du site dans le dispositif pédagogique

Pour le didacticiel sur les convertisseurs électromécaniques, des séances encadrées basées sur un laboratoire virtuel ont été organisées en lieu et place des séances d'exercices traditionnelles : les étudiants, par petits groupes, cherchent les réponses aux questions posées dans l'énoncé. Un enseignant est présent dans la salle pour répondre aux questions qu'ils se posent, relatives tant à l'exercice qu'à l'un ou l'autre point de la matière qu'ils ne comprennent pas (Labrique S. et *al.*, 2002).

Le didacticiel sur les circuits a par contre été présenté comme un complément du cours, en accès libre individuel. Certains tuteurs<sup>4</sup> ont utilisé ce didacticiel devant le groupe pour expliquer des dispositifs similaires à ceux étudiés dans le cadre des problèmes ou du projet. D'autres l'ont simplement renseigné comme source d'information et de documentation pour les étudiants, les incitant à y chercher la réponse à certaines de leurs questions.

Les deux didacticiels sont par ailleurs totalement libres d'accès, et peuvent donc être consultés en dehors des activités évoquées ci-dessus (et nous verrons que les étudiants ne se sont pas privés de le faire).

## 5. ÉVALUATION : ÉTUDE D'IMPACT AUPRÈS DES ÉTUDIANTS

Les didacticiels ont fait l'objet d'études d'impact. L'objet de ces études n'était pas de mesurer l'impact de ces outils didactiques sur le niveau de compétence de nos étudiants. Cet impact est en effet difficile à isoler d'un certain nombre de facteurs exogènes qui en rendent la mesure difficile. L'enthousiasme (parfois le manque d'enthousiasme) des enseignants vis-à-vis des outils et leur capacité à les intégrer dans leur enseignement ont souvent plus d'influence sur les résultats des étudiants que les outils eux-mêmes. De plus, en prenant le parti d'un site en accès libre, nous nous interdisons toute possibilité d'effectuer des mesures avec des groupes tests ayant ou non l'outil à leur disposition.

L'enquête menée était donc essentiellement une enquête de perception par les étudiants. Elle comportait à la fois des questions prédéfinies avec cases à cocher et des questions ouvertes et de zones de commentaires libres. Les résultats des questions fermées sont présentés ici sous forme d'histogrammes dont les valeurs sont exprimées en % du nombre d'étudiants ayant répondu. Les indices ont la signification suivante :

- 3 Tout à fait d'accord ;
- 2 Plutôt d'accord ;
- 1 Plutôt en désaccord ;
- 0 En total désaccord ;
- X Sans opinion.

Nous le verrons, un certain nombre de divergences apparaissent entre les opinions données sur les deux didacticiels. Celles-ci s'expliquent en grande partie par la différenciation des objectifs pédagogiques qui sous-tendent les deux contextes d'enseignement dans lesquels ils se sont insérés.

### **5.1. S'il y avait une chose à garder ?**

Dans le cas du site sur les convertisseurs électromécaniques, les animations sont plébiscitées par 85 % des étudiants qui les citent spontanément (question ouverte) comme étant l'apport essentiel du site : ils jugent ces animations « *bien pensées* »<sup>5</sup>, « *très claires* », « *très utiles* », « *interactives* », et estiment qu'elles leur permettent de mieux saisir les nuances, mais surtout de « *visualiser* » les concepts.

Les étudiants de 1<sup>er</sup> année distinguent par contre la nécessité d'un support de cours et des exemples de résolution de circuits illustratifs. Le site actuel rencontre mal le premier besoin : les étudiants ont peur de s'être perdus dans les méandres des liens hypertextes et d'avoir omis de voir un point de la matière.

Dans une pédagogie active, les animations proposées peuvent en outre apparaître comme redondantes par rapport aux APP, et donc moins fondamentales pour l'étudiant, alors qu'elles comblent un vide dans l'enseignement plus classique.

### **5.2. D'autres types d'outils interactifs vous seraient-ils utiles dans votre processus d'apprentissage ?**

Les demandes relatives au site sur les convertisseurs électromécaniques se concentrent essentiellement sur l'implémentation de FAQs (« Frequently Asked Questions ») qui reprennent les réponses aux questions les plus fréquemment posées par les étudiants. Ils regrettent d'avoir à attendre leur tour pour poser leurs questions à l'enseignant présent dans la salle et souhaiteraient que l'ordinateur réponde à toutes leurs questions. Ils plaident également pour un renforcement des QCM, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif (questions posées « aléatoirement », portant sur différents chapitres, graduation des questions de difficulté croissante) avec l'objectif clair et à court terme d'aider à la préparation de l'évaluation finale (qui

est également réalisée sous cette forme). L'idée d'implémentation de problèmes ou d'exercices non résolus pour encourager l'étudiant à chercher par lui-même est globalement bien acceptée par les étudiants mais sans enthousiasme excessif.

La demande des étudiants de première année se concentre plutôt sur l'implémentation de modules d'auto-évaluation et d'exercices corrigés, qui font effectivement cruellement défaut au stade actuel de développement du didacticiel sur les circuits.

On peut cependant noter que, dans les deux cas, la demande des étudiants porte sur la mise à disposition d'outils multimédias qui présente un caractère fortement interactif (QCM, animations, exercices) au détriment des leçons et exposés (même pour les étudiants insérés dans un dispositif de pédagogie active où les cours magistraux sont loin d'être abondants). Concernant ce type d'outils pédagogiques, ceci confirme bien que le principal apport perçu par les étudiants réside dans l'interactivité proposée.

### 5.3. Complémentarité texte de référence/outils interactifs

Bien que la lisibilité des pages et des équations, le découpage des pages et le rythme de lecture ne soient pas remis en cause par la majorité des étudiants, la lecture à l'écran pose un certain nombre de problèmes : les didacticiels sont plutôt vus comme complémentaires des livres de référence. Cette complémentarité est évidemment beaucoup plus évidente dans le cas du site sur les convertisseurs électromécaniques (figure 6), puisque le site et le livre de référence ont été conçus par la même équipe d'enseignants.

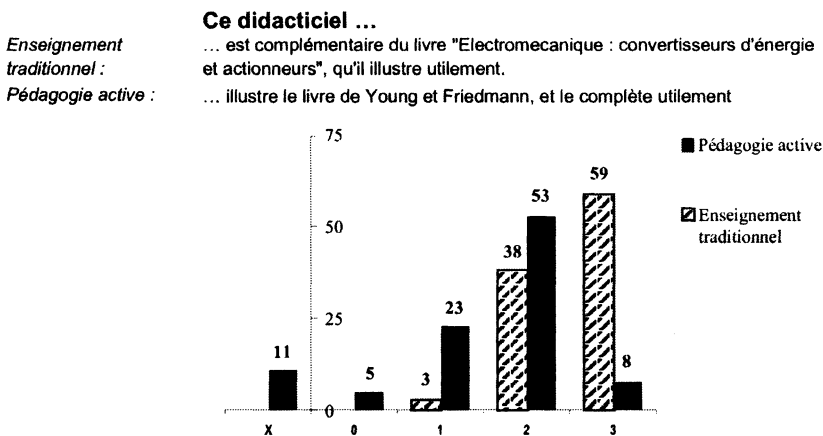


Figure 6. Résultats de l'enquête menée auprès des étudiants

Ceci confirme que les outils multimédias et interactifs ne se substituent pas à un texte de référence mais l'illustrent utilement. Le support papier reste indispensable. Comme le dit un étudiant, les textes imprimés « *donne(nt) une meilleure vue d'ensemble et il est plus simple de comparer deux feuilles de papier que 2 pages web* ». Les livres, syllabi, photocopiés apportent également une réponse à l'angoisse exprimée par certains étudiants de ne pas avoir tout vu, et à leur difficulté de se faire une vue d'ensemble de la matière. Notre postulat de départ sur l'intérêt d'associer étroitement un livre et un site Internet est donc validé par les étudiants.

#### **5.4. Utilisation du didacticiel**

La possibilité d'utiliser ce site Internet pour l'auto-apprentissage ou la formation à distance est rejetée par les étudiants évoluant au sein d'un enseignement traditionnel

- qui soulignent l'importance du travail en groupes, avec la possibilité d'échanges à 2 ou 3 étudiants devant un même écran ;
- qui jugent essentielle la présence d'un enseignant dans la salle, car ce dernier peut répondre aux questions suscitées par l'exercice, mais qui s'éloignent du spectre des réponses implémentées dans le laboratoire virtuel.

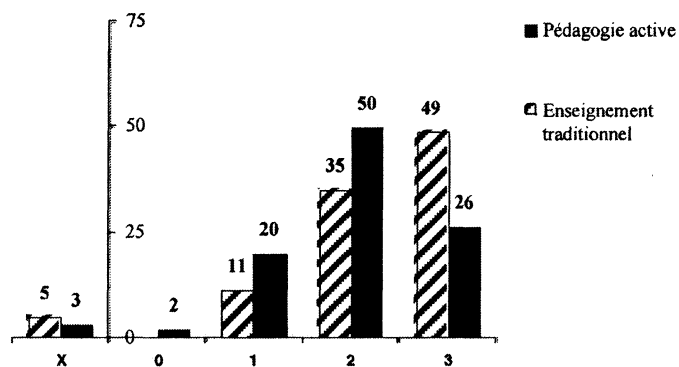
Pourtant, beaucoup d'étudiants se connectent hors séance ou envisagent de le faire<sup>9</sup> : cet accès ne se substitue pas aux séances encadrées, mais leur permet de préparer les laboratoires réels et surtout de les refaire virtuellement, de mieux comprendre les notions vues en cours. À la lecture des statistiques de fréquentation du site, ce travail de relecture se fait essentiellement à la veille des périodes d'évaluation.

Les étudiants intégrés dans le cadre d'une pédagogie active, ont plutôt utilisé ce didacticiel individuellement. Il n'est dès lors pas intervenu dans le travail de groupe et le dialogue avec l'enseignant. Il est vrai que dans le cadre de la pédagogie mise en place, l'apprentissage par projets et le travail de groupe sont déjà fortement présents. Par contre, le didacticiel semble avoir joué un rôle essentiel pour la compréhension des notions vues en cours, de nouveau plus particulièrement en période d'évaluation (figure 7).



### Utilisation du didacticiel

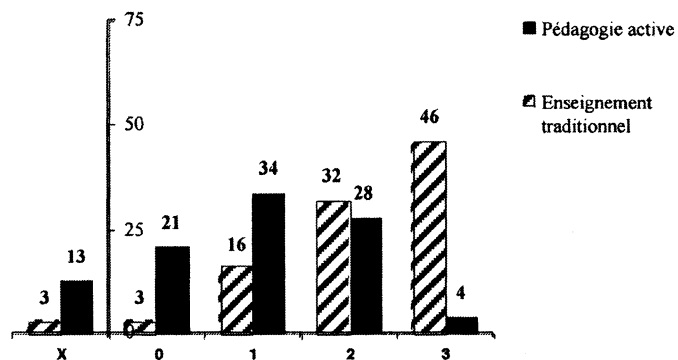
- 1 Le didacticiel est complémentaire du cours : il m'a été utile pour mieux comprendre les notions vues aux cours



- 2 Je me suis servi du didacticiel pour ...

*Ens. traditionnel* : ... préparer ou mieux comprendre les laboratoires réels

*Péd. active* : ... résoudre les problèmes ou dans le déroulement du projet



- 3 Je me suis servi du didacticiel pour préparer les évaluations

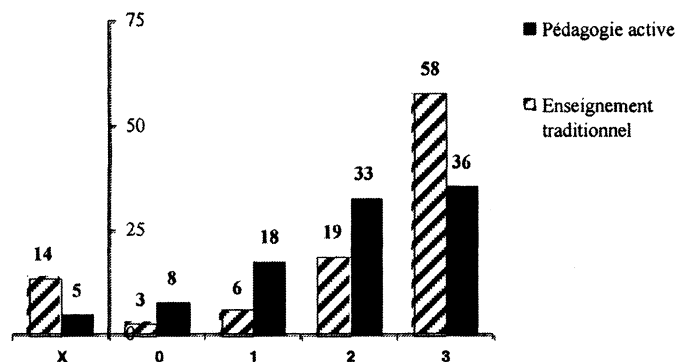


Figure 7. Résultats de l'enquête menée auprès des étudiants

## 5.5. Utilité de ce type de didacticiels

Pour les étudiants au sein d'un enseignement traditionnel, plusieurs facteurs d'efficacité des outils interactifs ont été relevés dans leurs réactions :

- l'ordinateur facilite une approche progressive, « à son propre rythme » ;
- l'attitude de l'étudiant est plus active, et plus orientée vers la compréhension que vers le calcul ;
- la mise à disposition d'un corrigé de l'exercice libère l'enseignant présent en séance qui se consacre alors aux questions de fond relatives à la compréhension de la matière.

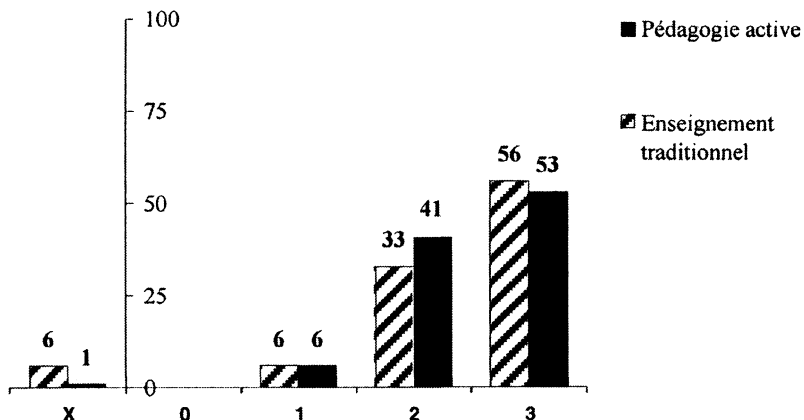
Les étudiants de candidature ont plutôt ressenti ce didacticiel comme complémentaire de la nouvelle pédagogie, comblant l'impression de manque de « bases théoriques et scientifiques solides », et de « supports de cours adéquats et suffisants » ressentis par leurs prédécesseurs<sup>7</sup>. Cette complémentarité a été spontanément relevée dans leurs commentaires : aucune question prédéfinie ne faisait allusion à ce point.

Par contre, tous les étudiants, quel que soit le contexte pédagogique, confirment que ces didacticiels, et en particulier les outils interactifs, favorisent une meilleure compréhension et une approche plus intuitive de la matière. Tous soulignent le bon rapport « compétences acquises/temps investi ».

Autre résultat très important à nos yeux : le souhait massif exprimé par les étudiants que ce type d'initiative pédagogique soit étendue à d'autres domaines enseignés aux ingénieurs, ce qui prouve que ce type d'outils leur apporte une aide véritable dans leur processus d'apprentissage (figure 8).

### Cette initiative pédagogique...

1 ... est très utile



## 2 ... mériterait d'être étendue à d'autres domaines enseignés aux ingénieurs

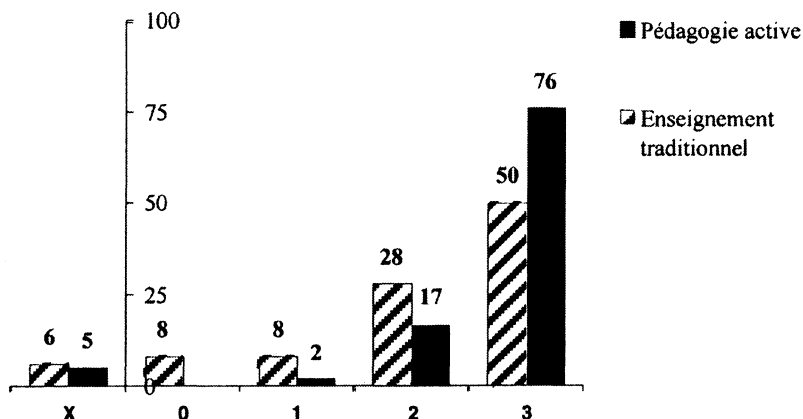


Figure 8. Résultats de l'enquête menée auprès des étudiants

On remarquera, à ce titre, que les étudiants issus d'une pédagogie active, s'ils sont moins enthousiastes sur les outils, sont plus demandeurs d'une extension à d'autres domaines que les étudiants au sein d'un enseignement traditionnel.

### 5.6. Un public exigeant...

À la lecture des commentaires libres, on notera que les étudiants se montrent très exigeants. Ils demandent toujours plus en quantité et en qualité et ne pardonnent aucune erreur. Il s'agit d'un public d'étudiants ingénieurs, habitués aux nouvelles technologies, dont les réactions sont exemptes d'une certaine fascination liée à la nouveauté de ces outils. Cependant, conscients de la quantité de travail nécessaire à la réalisation de tels outils, leurs remerciements sont nombreux, et l'initiative pédagogique est généralement très appréciée.

## 6. APPORT DES TIC

Ces réactions sont un outil précieux pour alimenter notre réflexion sur le dispositif pédagogique mis en place et apporter des pistes de réponses aux questions que nous nous posons : les TIC représentent-elles un réel apport au niveau de l'apprentissage ? Induisent-elles une nouvelle attitude de l'étudiant et/ou de l'enseignant ? Redéfinissent-elles les relations entre les trois pôles du triangle didactique : savoir, apprenant, enseignant ?

En nous appuyant sur les résultats de l'étude d'impact décrits plus haut ainsi que sur les observations faites sur le terrain (attitude des étudiants

et des formateurs lors des séances, statistiques d'accès au site, résultats obtenus aux examens), nous sommes en mesure de tirer de notre expérience quelques premières conclusions sur le rôle des TIC dans le processus d'apprentissage de nos étudiants.

## 6.1. Acquisition de compétences de haut niveau

Selon la taxonomie de Bloom, l'apprentissage cognitif serait un processus comportant plusieurs niveaux. Les objectifs éducationnels y sont présentés comme un ensemble hiérarchisé de types de savoir et de capacités allant du comportement simple et concret jusqu'au comportement complexe et abstrait.

Les catégories de comportement établies par Bloom pour chaque niveau se révèlent extrêmement utiles non seulement pour énoncer les objectifs de l'enseignant sur le plan cognitif, mais également pour évaluer la réalisation des objectifs que nous nous étions fixés.

Six niveaux d'apprentissage sont définis, allant de la simple acquisition de connaissances à l'acquisition de compétences d'évaluation (figure 9).

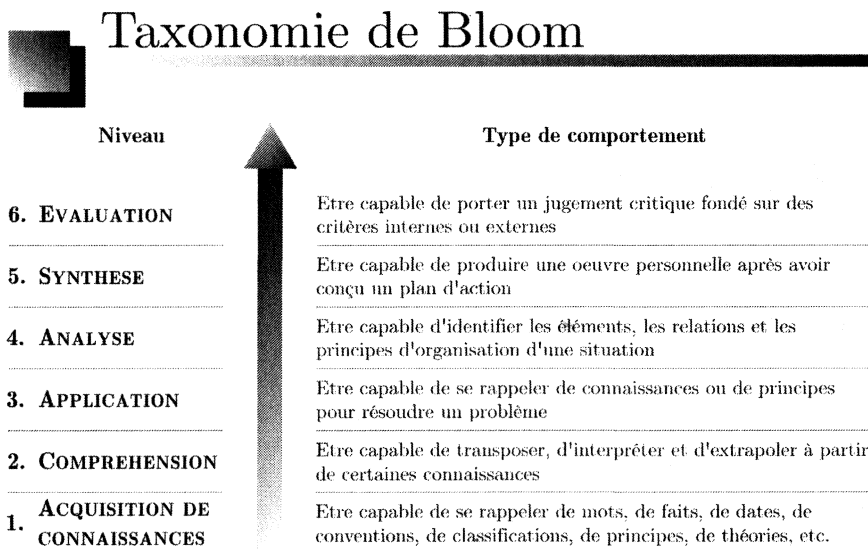


Figure 9. La taxonomie de Bloom

Au travers tant des réactions des étudiants que de notre propre vécu d'enseignant, il est très rapidement apparu que les TIC facilitent, voire rendent possible l'acquisition de compétences de niveau intermédiaire (figure 10).

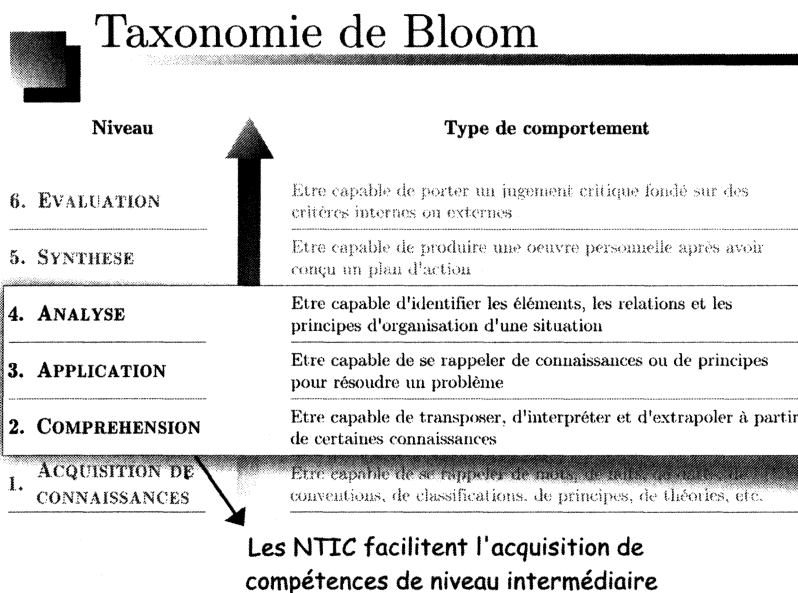


Figure 10. **Les TIC facilitent l'acquisition de compétences de niveau intermédiaire**

- Par rapport à l'approche classique (cours et travaux pratiques), souvent très mathématique, l'approche de la matière par le biais de ces outils multimédias est plus intuitive, et se traduit par une meilleure compréhension des phénomènes étudiés : les données présentées sous forme d'animations sont acquises plus facilement, ce qui permet d'accéder plus rapidement au niveau de la compréhension. En particulier pour les étudiants au cœur d'une pédagogie active, les TIC facilitent un apprentissage rapide des notions de base : ce point est crucial car les étudiants doivent, en quelques heures, assimiler les notions fondamentales indispensables pour pouvoir aborder les problèmes et le projet (au terme du projet, ils devront être capables de concevoir, construire et tester un circuit électrique pour une application donnée, tel que le flash d'un appareil photo), alors que la notion même de circuit électrique est totalement nouvelle pour la plupart d'entre eux.
- L'interactivité proposée par ces outils développe chez l'étudiant le sens de la recherche, de l'expérimentation : loin de se cantonner à l'étude de cas qui leur est suggérée, nous voyons les étudiants tester l'influence des valeurs de différents paramètres, même celles irréalistes (conduisant à des valeurs de courants ou de tension destructrices pour la machine, et signifiées comme telle dans l'applet java). Il a d'ailleurs fallu, par rapport aux premières versions, canaliser le choix des paramètres et imposer des limites (physiques et géométriques) pour que cet espace d'expérimentation reste proche des conditions réelles.

• On remarque un souci de profondeur de la part des étudiants : libérés de leur rôle de « *gratte-papier* », les étudiants concentrent leurs efforts à une compréhension plus profonde, à une analyse beaucoup plus fine, que dans une séance de travaux pratiques traditionnelle, ce que traduit la qualité des questions posées à l'enseignant. Par rapport à un laboratoire réel, les étudiants se focalisent sur la compréhension des phénomènes, sur les compétences à acquérir, au-delà du fait d'obtenir « *des résultats numériques corrects* ».

Ces observations, qui tendent à prouver que les TIC facilitent l'acquisition de compétences de niveau intermédiaire, que sont la compréhension, l'application et l'analyse, confirment l'étude de l'« hypertextualité » faite par Fastrez (2002). Selon lui, l'« hypertextualité » modifie le rapport au savoir : là où l'étudiant peut voir le contenu d'un livre comme un propos ayant sa cohérence globale propre, formant un tout à appréhender, le contenu hypertexte induirait une conception du savoir comme quelque chose à construire par soi-même, à partir de sa propre exploration. La restitution de la structure voulue par l'auteur cède la place à un savoir reconstruit par l'utilisateur. Cette analyse, qui s'applique à la réticulation, spécificité de l'hypertexte, nous semble également pertinente si nous l'appliquons à l'espace d'exploration offert à l'étudiant au travers des applets java.

L'acquisition de ces compétences de niveau intermédiaire que nous avons observées tant au cours des séances encadrées que lors des évaluations finales, découlerait donc d'une plus grande implication de l'étudiant dans la construction de son savoir, car, toujours selon Fastrez (2002), les hypermédias sont des outils plus exigeants envers l'utilisateur que les médias traditionnels.

## 6.2. De nouvelles relations au sein du triangle didactique

La manière de mettre en œuvre les outils interactifs que nous avons développés est déterminante pour la réalisation des objectifs pédagogiques que nous nous fixons : l'utilisation que les étudiants ont jugée la plus efficace de ces outils multimédias interactifs s'est faite en salle, par petits groupes autour d'un ordinateur, en présence d'un professeur, d'un assistant ou d'un tuteur. L'enseignant est disponible pour guider les étudiants dans leur démarche, approfondir certains points et répondre, comme l'expriment eux-mêmes les étudiants, « *aux questions auxquelles l'ordinateur ne répond pas* ».

Dans le cas des étudiants provenant d'un enseignement traditionnel, saturés de cours théoriques et de séances d'exercices classiques, ces outils sont l'occasion d'échanges entre les étudiants, incités à travailler par petits groupes. Les interactions et les débats s'enrichissent autour de ces nouveaux outils. L'espace offert d'expérimentation et d'application des concepts théoriques jusque là introduits et savamment agencés par le professeur, est également un véritable moteur dans le processus d'apprentissage de ces étudiants.

L'attitude des étudiants change d'ailleurs radicalement : ils sont beaucoup plus actifs qu'à une séance d'exercices classique. L'aspect « ludique » des animations, la navigation à travers le site, suscitent une participation accrue des étudiants. Les nouvelles technologies influent donc également dans la relation de l'apprenant au savoir : par l'hypertextualité et l'interactivité qu'elles proposent, nous l'avons vu, elles influencent la manière dont l'apprenant va acquérir des connaissances.

L'attitude des enseignants est également appelée à changer. La qualité des questions posées et le dialogue qui s'instaure les condamnent à renoncer à une transmission unidirectionnelle du savoir pour devenir véritablement partenaires dans le processus d'apprentissage.

Alors que les méthodes traditionnelles se focalisent sur le processus d'enseignement, axé de façon privilégiée sur la relation savoir-enseignant, et sur la transmission structurée de ce savoir aux étudiants, l'introduction des nouvelles technologies devient le catalyseur de nouvelles relations au sein du triangle didactique, et induit une focalisation sur l'apprenant. Le processus d'apprentissage, qui porte sur le rapport direct savoir-apprenant est privilégié. L'enseignant devient l'organisateur de situations et de conditions externes d'apprentissage par lesquelles il met en relation savoir et apprenant en jouant un rôle de médiateur (figure 11).

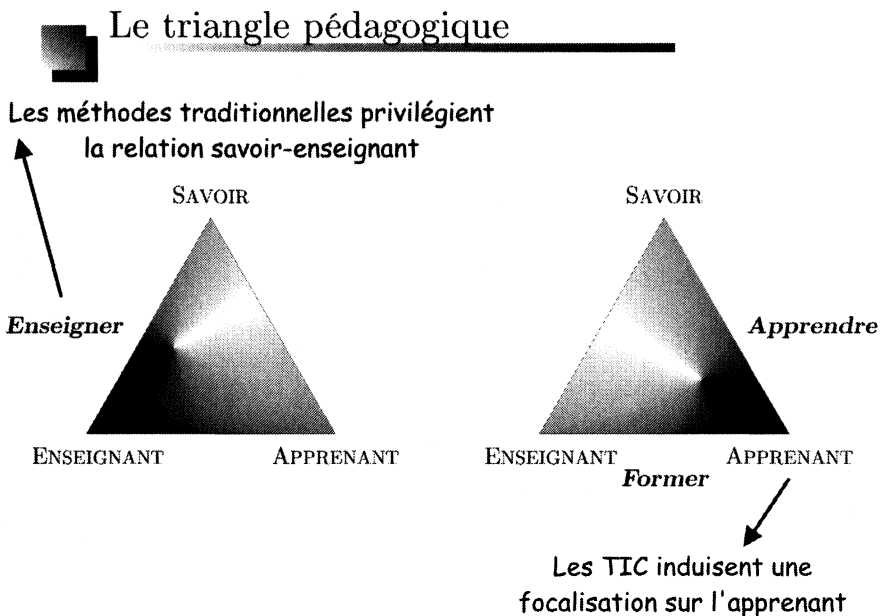


Figure 11. Les méthodes traditionnelles privilégient la relation savoir-enseignant, les TIC induisent une focalisation sur l'apprenant

Cette focalisation sur l'apprenant est également révélée par l'utilisation à distance de ces outils. En effet, la disponibilité des didacticiels en dehors des heures de cours permet idéalement aux étudiants de préparer la séance encadrée, mais surtout de revenir par la suite sur des points qu'ils n'avaient pas parfaitement compris. C'est dans ces conditions que la capacité offerte à l'apprenant de progresser à son propre rythme est la mieux exploitée. Le site Internet joue alors un rôle essentiel dans le processus de restructuration des connaissances acquises au cours ou lors du projet : les étudiants peuvent « expérimentalement » voir ce que ces connaissances avaient de général ou de particulier lorsqu'elles s'appliquent à d'autres dispositifs ou systèmes électriques.

Cette focalisation sur l'apprenant doit donc être au cœur de la conception même des outils multimédias, qui doivent, ainsi que le résume très justement Linard (2002) :

- lui laisser assez d'autonomie pour qu'il puisse lui-même explorer le nouveau domaine et « essayer pour voir » ;
- lui fournir les repères cognitifs nécessaires pour juger, évaluer et corriger les résultats de ses actes, en référence aux savoirs établis mais aussi dans l'interaction avec les partenaires (enseignants, pairs, institution).

### **6.3. Le rôle des TIC dans le processus d'apprentissage, entre savoir-faire et savoir-devenir**

Parce qu'elles offrent à l'étudiant la possibilité de travailler par expérimentation, essais et erreurs, les TIC permettent d'atteindre en peu de temps des niveaux relativement élevés du savoir. Parce que le processus d'apprentissage se focalise sur l'étudiant lui-même, elles modifient fondamentalement sa relation au savoir : de simples réceptacles de connaissances (savoir, savoir-faire) dans une pédagogie traditionnelle, il s'élève au savoir-être en s'impliquant davantage dans la construction de son propre savoir.

Il serait vain cependant d'imaginer que ce type d'outils pédagogiques suffit pour atteindre les niveaux de savoir les plus élevés (savoir-devenir) : ils ne permettent pas, pris isolément, d'acquérir les niveaux de synthèse et d'évaluation, grâce auxquels l'étudiant pourra produire une œuvre personnelle et porter un jugement critique. C'est là le rôle du projet, qui est présent dans notre dispositif de formation de nos étudiants tant dans l'enseignement traditionnel (Grenier et *al.*, 2000) que dans l'approche active.

Chaque méthode d'enseignement répond à la réalisation d'objectifs différents dans la taxonomie de Bloom (figure 12). Les cours magistraux se révèlent efficaces dans l'apprentissage aux niveaux élémentaires de la taxonomie (le savoir). L'apprentissage par le projet est indispensable pour atteindre les niveaux les plus élevés (capacité de synthèse et d'évaluation,



savoir-devenir). Entre les deux, il est indispensable de fournir à l'étudiant des lieux propices où il puisse acquérir les compétences intermédiaires. C'est le rôle traditionnellement dévolu aux séances d'exercices et de laboratoires encadrées. Or le volume de ces heures de travaux dirigés a régulièrement été revu à la baisse dans les programmes de formation. D'une part parce que ce type d'enseignement est coûteux en termes de ressources humaines et d'autre part parce qu'il était nécessaire de faire de la place aux enseignements par projets.

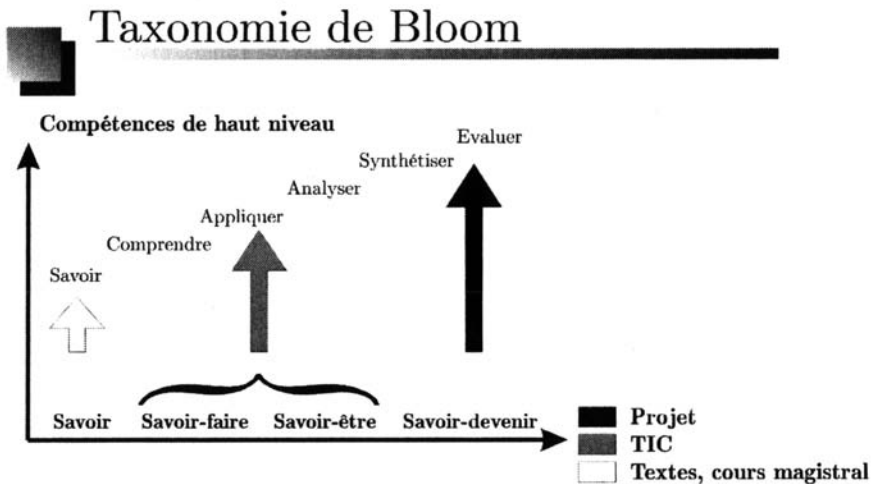


Figure 12. Le rôle des TIC dans le processus d'apprentissage : entre savoir et savoir-devenir

Négliger l'apprentissage de ces niveaux intermédiaires de savoir serait cependant une erreur. L'apprenant, « constructeur de son savoir », ne peut se borner à recevoir passivement les connaissances transmises par l'enseignant : pour s'élever aux niveaux de savoir les plus élevés, il doit assembler et structurer les matériaux (les savoirs) que l'enseignant lui a fournis. Ils ne doivent pas seulement s'accumuler dans son esprit mais s'ordonner correctement. Devenir une construction et ne pas simplement rester un tas de briques et de poutres. Passer cette étape, c'est souvent perdre du temps ensuite à corriger ou compléter une mauvaise perception d'une notion, à réparer et consolider des fondations mal posées. Et comme l'enseignant ne dispose pas d'assez de temps pour effectuer ce travail pour chacun de ses étudiants, il en est réduit à sélectionner ceux qui ont réussi à construire correctement leurs savoirs inférieurs avant de pouvoir continuer à bâtir. Que deviennent alors ceux qui ont échoué dans cette étape ? Dans nos sociétés où l'accès à la connaissance est souvent le moteur du progrès économique et social, où l'enseignement de masse a l'impérieuse nécessité d'élever un

maximum de personnes vers les plus hauts niveaux de compétence, cette sélection par l'échec est-elle encore acceptable ?

Les nouvelles technologies de l'information peuvent aider les étudiants à structurer leurs savoirs. Parce qu'elles facilitent la compréhension des notions théoriques par une approche plus intuitive, offrent aux étudiants un espace de recherche et d'expérimentation et suscitent un renouvellement du dialogue apprenant/enseignant, elles sont jugées plus efficaces par les étudiants que les traditionnelles séances encadrées pour atteindre les mêmes objectifs cognitifs. Elles ne peuvent cependant pas les remplacer totalement. D'une part parce qu'il serait dangereux de remplacer tous les laboratoires réels par des laboratoires virtuels et former ainsi des étudiants en ingénierie qui ne soient jamais confrontés à l'expérimental (à moins bien sûr que cette confrontation ne soit prévue à l'occasion d'un projet). D'autre part et surtout parce que notre pratique d'enseignement a montré que les outils multimédias s'avéraient d'autant plus efficaces qu'ils étaient justement utilisés au cours de ces séances encadrées. Leur efficacité accrue, la possibilité offerte aux étudiants de manipuler davantage, parce que virtuellement, les concepts fondamentaux et d'ainsi se les approprier, à leur propre rythme, permettent cependant de réduire le nombre de ces séances encadrées. Elles libèrent ainsi du temps pour que l'étudiant aille plus loin tant dans la qualité que dans l'étendue de ses connaissances.

Les trois méthodes d'enseignement que nous avons évoquées (cours magistral, TIC, projet) ne doivent donc pas se comprendre dans le cadre classique de l'application de plus en plus précise et circonstanciée de concepts théoriques généraux, mais bien dans un processus d'interaction permanente entre trois types d'enseignement, qui apportent chacun leur contribution spécifique dans le processus d'apprentissage. C'est dans cette interaction bien comprise qu'une intégration harmonieuse des TIC au cœur de notre enseignement permettra d'en exploiter au mieux le potentiel.

## 7. CONCLUSION

Recueillir les réactions des étudiants est utile pour appréhender comment ils perçoivent et s'approprient les outils pédagogiques multimédias. Deux sites ont été testés, conçus par la même équipe, mais destinés à des publics immergés dans deux contextes pédagogiques différents : une pédagogie relativement classique (cours magistraux, exercices et laboratoires) pour le site sur les convertisseurs électromécaniques (machines électriques), une pédagogie active basée sur l'apprentissage par problèmes et par projets pour le site sur les circuits électriques.

Les premiers résultats font apparaître une très bonne réceptivité des étudiants à l'introduction des TIC. Le site ne se substitue cependant pas dans

leur esprit aux cours magistraux et aux supports qui leur sont associés (syllabi, photocopiés, livres). Ils restent demandeurs d'une revue exhaustive et structurée de la matière sur laquelle ils seront interrogés (des connaissances qu'ils doivent acquérir). Le confort de lecture du support papier est également déterminant.

En dépit de l'aspect ludique des animations et de la possibilité de manipulation qu'elles leur offraient, les étudiants n'ont pas trouvé dans l'utilisation du site la même motivation à progresser par eux-mêmes que leur apporte un projet.

Les TIC semblent donc avoir essentiellement leur place pour l'acquisition des compétences intermédiaires entre le savoir (la simple acquisition de connaissances) et le savoir-être (capacité de synthèse et d'évaluation). Le champ d'exploration qu'elles offrent, allant de la simple navigation de concepts en concepts à l'étude de ces concepts par manipulation virtuelle de leur représentation, développent les compétences de compréhension, d'application et d'analyse.

Ces outils deviennent également le catalyseur de relations nouvelles entre les trois pôles du triangle didactique en focalisant le dispositif pédagogique autour de la relation étudiants/savoirs. Cette focalisation sur l'apprenant doit donc être au cœur de la conception même des outils multimédias, qui doivent :

- laisser à l'étudiant assez d'autonomie pour qu'il puisse lui-même explorer le nouveau domaine et « essayer pour voir » ;
- lui fournir les repères cognitifs nécessaires pour juger, évaluer et corriger les résultats de ses actes : en référence aux savoirs établis mais aussi dans l'interaction avec les partenaires (enseignants, pairs, institution).

Coaliser les cours magistraux, les TIC et l'apprentissage par projets nous semble donc ouvrir la voie à une formation moderne, véritablement efficiente, des sciences de l'ingénieur. C'est dans cette interaction bien comprise qu'une intégration harmonieuse des TIC au cœur de notre enseignement permet d'en exploiter au mieux le potentiel.

Forts de cette première expérience, nous souhaitons continuer le développement de tels outils, étendre le public concerné et poursuivre l'étude entamée de leur perception par les étudiants.

Il serait notamment utile de pouvoir corréler cette perception avec le profil individuel des étudiants (leurs résultats lors de l'évaluation portant sur les cours où les TIC ont été introduits, leur parcours et leur taux de réussite antérieurs et d'autres critères sociaux économiques). Cela permettrait de pouvoir adapter ces outils (ou du moins certains d'entre eux) à des catégories beaucoup plus ciblées d'étudiants. Les TIC ouvriraient ainsi la porte à une certaine individualisation de l'enseignement, abandonnée depuis trop longtemps faute de moyens dans l'enseignement de masse et qui seule augmentera de façon significative le taux de réussite des études universitaires.

## Notes

1. Les applets sont des programmes écrits en langage java, encapsulés dans une page HTML. L'exécution de ce code java se fait *via* la « machine virtuelle » contenue dans les navigateurs compatibles (tel Microsoft Internet Explorer, Netscape ou Mozilla). Les étudiants peuvent donc, en salle didactique ou depuis leur ordinateur personnel, visualiser ces animations grâce à un simple navigateur Internet, sans l'installation d'aucun programme spécifique.

2. Les puissances manipulées en électrotechnique peuvent dépasser plusieurs kilowatts et s'avérer dangereuses, voire mortelles.

3. Le fait que l'amplitude du champ résultant est effectivement maximale dans la direction donnée par la somme des vecteurs représentatifs des champs créés par chacun des trois bobinages n'est pas démontrée mathématiquement dans le site. Ce résultat est cependant intuitivement admis par les étudiants : aucune question ne nous a été posée à ce sujet.

4. Dans le dispositif de pédagogie active mis en place pour le premier cycle, le tuteur est un enseignant qui « *accompagne le groupe d'étudiants durant une partie de son travail, suscite la réflexion théorique sur base de l'expérimentation pratique, propose des étapes de restructuration* » (Aguirre et al., 2001).

5. Les expressions en italique entre guillemets correspondent aux propres termes mentionnés par les étudiants dans leurs commentaires.

6. La possibilité de ne pas disposer chez soi d'une connexion Internet rapide peut constituer un frein pour certains étudiants

7. Ces deux commentaires entre guillemets sont extraits de l'enquête de la délégation étudiante à la commission permanente d'évaluation Candi 2000, qui a été menée au terme de la première année de mise en place de la pédagogie active, première année au cours de laquelle le didacticiel « circuits » n'était pas encore disponible.

## BIBLIOGRAPHIE

- GRENIER D., LABRIQUE F., BUYSE H. & MATAGNE E. (2001). *Électromécanique : convertisseurs d'énergie et actionneurs*. Paris, Dunod.
- YOUNG H. D. & FREEDMAN R. A. (2000). *Sears and Zemansky's University Physics*. Addison Wesley, Longman Inc.
- JACQMOT C., MILGROM E., RAUCENT B., SOUCISSE A., TRULLEMANS C. & VANDER BORGHT C. (2001). Devenir ingénieur par apprentissage actif. In *Actes du premier colloque de Pédagogie par Projet dans l'enseignement supérieur : enjeux et perspectives, Brest-ENST 27-29, GLAT (27-29 juin 2001)*.
- LABRIQUE S., GRENIER D. & LABRIQUE F. (2002). Outils interactifs pour l'enseignement des convertisseurs électromécaniques : développement et mise en œuvre. *Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes*, vol. 1, n° 6, pp. 1-15.
- GRENIER D., FISETTE P. & RAUCENT B. (2000). Fédérer des activités pédagogiques pour constituer un projet intégré en mécatronique : compte rendu d'innovation. *Didaskalia*, n° 16, pp. 163-178.
- FASTREZ P. (2002). Conception de dispositifs et changement de paradigme de formation. *Éducation permanente*, n° 152, pp. 31-41.
- LINARD M. (2002). Conception de dispositifs et changement de paradigme de formation. *Éducation permanente*, n° 152, pp. 143-153.

Cet article a été reçu le 07/11/2002 et accepté le 04/10/2003.