

De véritables simulations accessibles en ligne pour l'enseignement des sciences et des techniques "L'applet learning"

YVES MOREAU

Centre d'Electronique et de Micro-Optoélectronique, Courrier 084 -Université Montpellier II
Université Montpellier II -34 095 – Montpellier cedex 5

ou

Institut Universitaire de Technologie de Béziers-Montpellier
Département Génie des Télécommunications et Réseaux

moreau@cem2.univ-montp2.fr

<http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau>

Résumé—Nous présentons ici une utilisation encore peu fréquente dans le domaine des sciences, de ce que peuvent offrir les outils *internet* : au-delà du simple affichage de documents fixes ou animés, au delà de la présentation active de processus scientifiques, de véritables simulations peuvent être effectuées en ligne par l'utilisation de logiciels de navigation dotés de machines virtuelles (tels que les logiciels usuels *Netscape*, *Opera* ou *Internet Explorer*).

Mots clés— Internet, simulations, applets java, enseignement à distance, e-learning.

I. INTRODUCTION

L'explosion d'Internet a été soutenue et accompagnée d'outils permettant l'affichage passif de textes ou de dessins voire de séquences sonores ou visuelles. La consultation en ligne de documents pédagogiques résout les problèmes de mise à jour, ainsi que les problèmes logistiques et financiers de la distribution des polycopiés. Les possibilités de liens associés (hypertexte) sont tout a fait adapté à une "consommation" personnalisée des explications. On trouve sur internet de nombreux "tutoriels" tirant parti de cette souplesse naturellement dans les domaines proches de l'internet (informatique, techniques multimédia) mais aussi dans beaucoup d'autres.

Internet est tout à fait adapté à la construction de réseau thématique organisant et regroupant des documents qui n'apparaissent plus comme des documents isolés mais comme un contenu complet mis à la disposition d'une communauté pédagogique^{1,2}

Au-delà de cette utilisation de l'internet, il est possible de tirer parti pour l'enseignement des nombreux outils développés pour l'internet.

Au sein des situations pédagogiques variées de l'apprentissage à distance³ : Télé-cours (video conférence), Télé TD (classe virtuelle interactive), Télé TP (ressources lourdes partagées), autoformation (Intranet Pédagogique), Téléprojet (Systèmes coopératifs), Jeux de rôle (e-learning), l'internet peut être présent comme support partout.

Nous présentons ici plusieurs exemples que nous avons développés, exploitant les possibilités actuelles mises en place avec l'internet qui utilisent ses outils mais qui peuvent être utilisés en dehors de l'internet, là aussi dans la plupart des situations pédagogiques définies ci-dessus.

II. LA PRESENTATION ACTIVE

L'explosion d'Internet s'est accompagné non seulement de "moteurs" permettant l'affichage passif de textes, de dessins ou d'animations consultables à distance. Ces contenus peuvent être produits grâce à des logiciels universels de conception de sites (DreamWeaver...), mais aussi grâce à des logiciels scientifiques (séquences animées de Maple par exemple). Dans ce cas, la quantité de données transmise limite l'usage à des connexions haut débit ou à l'enregistrement sur CD-ROM.

Une approche intéressante est l'emploi de moteurs capables de reconstituer à distance (chez l'utilisateur) des séquences animées (par exemple Macromedia Flash⁴). L'écriture de telles animations nécessitent peu de connaissance en programmation, en revanche les possibilités restent limitées à la visualisation accompagnées de quelques choix par l'utilisateur de scénarios. Une telle approche a surtout pour objet de réduire la quantité de données transmises sur le réseau.

On peut souligner que la plupart des outils (lecture et "moteurs") qui permettent la consultation de ces éléments sont gratuits, voire intégrés dans les systèmes d'exploitation, ce qui permet une diffusion large et répondant à un fonctionnement standardisé que tout utilisateur (ici l'enseigné) connaît. En revanche, la conception nécessite des outils payants (Acrobat writer, Helix Real Video Producer, DreamWeaver ...), elle est souvent évidemment plus difficile (l'enseignant doit-il acquérir des compétences multimédia? Doit-il travailler avec des experts externes?).

On pourra mentionner dans le cadre de l'utilisation de l'internet, les applications "administratives" de l'enseignement telle que la consultation de bases de données pour les emplois du temps, la gestion des comptes, et la consultation des notes. Nous avons développé un ensemble de "scripts php" qui

gènèrent dynamiquement un affichage personnalisé de type internet (html ou xml) des notes, moyennes, statistiques etc... à partir d'une base de données MySQL en ligne.

Des examens en ligne peuvent aussi être conçus sur la base de scripts demandant des réponses simples à des questions.

Il est aussi concevable de développer des scripts php qui effectuent en ligne des simulations de type scientifique, si les ressources de calcul nécessaires ne sont pas trop importantes.

Dans ce cas, contrairement au javascript et aux simulations présentées dans les paragraphes suivants, les calculs sont effectués sur le serveur et non chez le "client" (étudiant consultant).

Si les calculs sont trop importants, une exécution à base d'interprétations de script n'est plus possible, le langage Java (différent du Javascript) est un véritable langage de programmation et nous a permis de développer des applications comparables à ce que l'on peut écrire en C++ mais qui peuvent être exécutées localement grâce à un simple navigateur du type Internet explorer, Netscape ou Opera pourvu (c'est le cas général) d'une "machine virtuelle java".

III. SIMULATIONS DIDACTIQUES (APPLET LEARNING)

Les applets Java () développées sont utilisées pour certaines, comme démonstration-expérience en support de cours, et pour d'autres comme expérimentations virtuelles. Leur implantation sur le réseau permet aussi aux étudiants ou internautes intéressés, de les reprendre dans d'autres environnements. A ce jour, sont accessibles outre la classique synthèse de Fourier (avec support auditif !), la convolution, le filtrage par ondelettes, la technique ADSL, le calcul des modes optiques, la propagation guidée en optique intégrée (plusieurs méthodes), l'accès multiple par code (CDMA) utilisée en téléphonie troisième génération.

L'acquisition des connaissances (ou la science au sens originel) suit une démarche illustrée par le tableau 1. La réalité n'est connue que sous une forme perçue par l'homme. A partir de la perception, un modèle qui est souvent une représentation idéalisée est construit. Dans le domaine des sciences, l'outil permet de traduire en équations (relations entre des grandeurs) la perception sur la base de concepts qui restent souvent simples tel que bilan ou proportionnalité et d'hypothèses simplificatrices : Par exemple l'équation de diffusion repose sur le principe : plus l'écart de température entre deux points est grand par rapport à leur distance, plus le flux de chaleur du point chaud vers le point froid est important, ceci se traduit par flux proportionnel au gradient et par transformation mathématique à l'équation sous sa forme usuelle.

Selon que l'on s'intéresse au phénomène physique en tant que tel ou aux conséquences (valeurs résultats) pour pouvoir les exploiter plus tard, on effectue une modélisation cognitive ou prédictive. Les deux formes ont leur particularité, leur "coût" en ressource mathématique et/ou informatique et si la simulation est plus proche de la seconde forme : boîte noire où l'intérêt est focalisé sur les sorties, elle apparaît aussi en tant que mise en oeuvre d'une modélisation cognitive. Le fonctionnement simulé est avec plus ou moins de réalisme une

démonstration, mais aussi une entité permettant l'interactivité qui autorise l'évaluation de grandeurs de sorties.

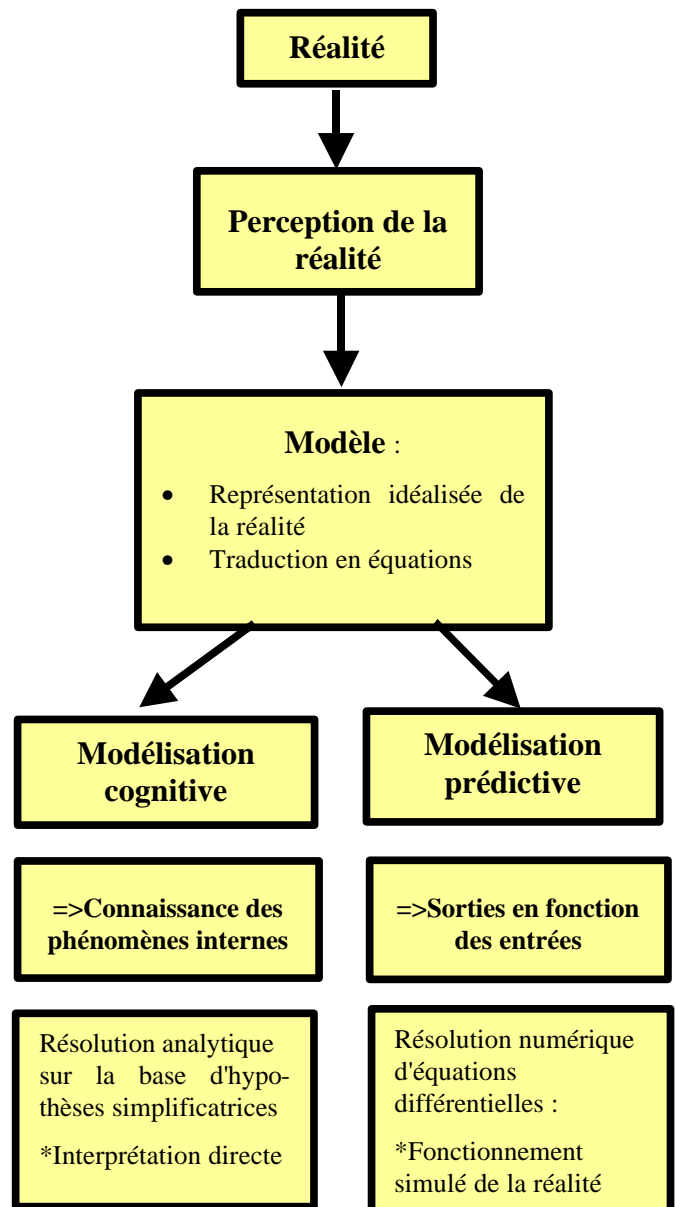


Tableau 1 : De la réalité aux simulations

Les simulations présentées sont conçues avec un fonctionnement interactif en boucle infinie:

- Entrée de paramètres
- Calcul
- Observation des sorties
- Modification d'un ou plusieurs paramètres
- Calcul etc...

Les démonstrations à l'aide d'applets Java constituent un outil adapté qui complète les explications orales de l'enseignant lors des cours, quoique ces dernières puissent être reportées sur pages HTML pour former un cours complet à distance !

Le paragraphe suivant donne quelques éléments sur les applets java. Nous décrivons ensuite, trois applets : *de Fourier*

à l'ADSL que l'on peut pédagogiquement enchaîner. La connexion ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) y est présentée sous son aspect modulation multiporteuse perturbée par un bruit non blanc. Nous citons brièvement d'autres applications développées dans un but pédagogique.

IV. APPLETS JAVA

Le langage évolué associé Java[5], orienté objet, reprend pratiquement les possibilités et les avantages du C++ et permet de façon analogue à celui-ci le calcul scientifique avec résolutions numériques d'équations etc. Java intègre aussi les outils d'interfaçage homme-machine traditionnels tels que fenêtres, boutons, menus ...

Le chargement du code compilé java ("applet") est la seule information transmise depuis le site (de l'ordre de quelques dizaines de Kilo-octets). L'interprétation du code et l'exécution du programme sont effectuées localement de façon transparente sur l'ordinateur de l'utilisateur consultant le site à l'aide de son navigateur internet.

Si les applications à base d'animations et/ou de consultations de bases de données sont nombreuses, il existe à notre connaissance peu d'applications Java tournées vers le calcul scientifique.

L'intérêt pédagogique est lié à quatre aspects :

- Programmes accessibles par Internet, outil attractif, apprécié et utilisé par les nouvelles générations d'étudiants.
- aspect visuel bien développé, lié à la multiplicité des classes d'objets inclus dans l'environnement Java
- intégration directe des explications scientifiques : une applet java est habituellement lancée depuis une page d'hypertexte («HTML») tout à fait adaptée aux explications hiérarchisées et renvois vers d'autres rubriques.
- Utilisation gratuite.

D'autres avantages peuvent être mentionnés comme la mise à jour aisée des programmes, et la possibilité d'une exécution sur des machines différentes (PC sous Windows, PC sous Linux, MacIntosh, station SUN etc.)

La rapidité d'exécution est maintenant voisine de celle de programmes écrits en langage C ou C++, essentiellement depuis l'apparition de nouvelles techniques logicielles: compilation du code à la première utilisation lors d'une session (compilation *Just In Time*).

Code	Pentium III 1.33 GHz	Athlon 1GHz
Java - Interpreted	5.83 sec	5.18 sec
Java – Client Hotspot JIT	0.897	0.541
Java – Server Hotspot JIT	0.921	0.574
C++	0.800	0.402
FORTRAN	0.820	0.572

Tableau 2: Durées d'exécution de calculs de tri, selon le langage de programmation utilisé.

La tableau ci-dessous issu d'un article⁶ de JC Schatzman démontre la rapidité de java avec compilateur JIT, par rapport au C et au Fortran sur un tri (Quicksort) de 1 048 576 nombres en format flottant 64 bits. L'avantage de C++ n'est que de l'ordre de 15%.

V. DE FOURIER A L'ADSL

Des logiciels ont donc été développés pour expliquer visuellement les notions nécessaires à la compréhension des techniques modernes utilisées en télécommunications. L'un de ceux-ci [7], présente une "machine hydraulique" où le niveau d'un premier réservoir peut varier sinusoidalement à une vitesse choisie par "l'expérimentateur", le réservoir de gauche sur la figure 1. Un deuxième réservoir communique avec le premier grâce à un tuyau à débit limité, son niveau tente de suivre le premier.

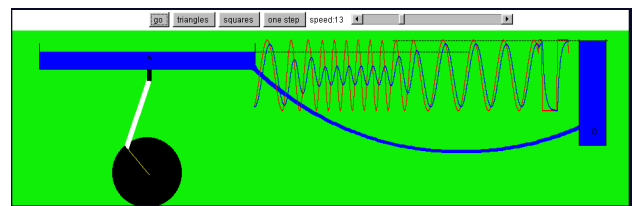


Figure 1: Machine –filtre passe-bas

On peut observer que les variations de niveau du second réservoir n'ont pas la même amplitude, et ceci d'autant plus que le mouvement est rapide (la vitesse est ajustable). De plus un retard (déphasage) apparaît. Le niveau du second réservoir est le résultat d'une équation différentielle (débit fonction de l'écart des niveaux, lui-même fonction du débit). Cette équation différentielle est résolue numériquement en temps réel.

On pourra par exemple tracer le diagramme de Bode (amplitude et déphasage fonction de la fréquence) pour cette machine en comprenant concrètement pourquoi l'amplitude est limitée à haute fréquence (très courant dans la nature), ou pourquoi un retard apparaît dans le mouvement élémentaire sinusoidal, et comment ceci se traduit pour un signal plus complexe : signal carré ou signal triangulaire que l'on peut aussi expérimenter (voir figure 1).

Dans cette applet, une autre simulation (beaucoup plus difficile du point de vue calcul!) est effectuée: Le profil du tuyau suit le mouvement, il est régi par une équation différentielle qui est celle aussi des lignes de télécommunications entre les poteaux !

Cette applet devrait faire comprendre le mécanisme du filtrage passe-bas grâce à des phénomènes plus tangibles (concrets) que ce que l'on connaît en électronique du type charge et décharge de condensateur. On reprend d'ailleurs ici l'analogie que les physiciens du dix-neuvième siècle utilisaient vraisemblablement, d'après les termes qu'ils ont choisis : résistance, capacité, courant...

Cette approche par analogie ("découverte métaphorique") est importante dans l'enseignement traditionnel, mais elle apparaît encore plus importante dans ce type d'enseignement

fondé sur des simulations: le concepteur doit trouver les images et métaphores adaptées au vecteur utilisé.

La traditionnelle décomposition et synthèse de Fourier a été reprise, agrémentée dans notre applet[8] d'une synthèse sonore illustrant ici aussi la terminologie : harmoniques, octave etc. L'utilisateur peut lui-même essayer de composer les harmoniques de façon à reconstituer un signal par exemple carré, ou demander à l'ordinateur de les calculer. Il peut les modifier, les supprimer et/ou les entendre...

La décomposition est celle des électroniciens : amplitude et phase, plutôt que celle des mathématiciens : cosinus et sinus ou parties réelles et imaginaires.

Il est possible pour un utilisateur d'effectuer de réelles simulations de façon très simple, ou tout au moins avec une mise en oeuvre standardisée (celle de la navigation sur internet). *L'intendance* que réclame l'utilisation d'un logiciel de calcul scientifique, et qui constitue souvent un écran entre l'étudiant et le contenu à étudier, est éliminée.

L'enseignement de techniques modernes de télécommunications peut encore illustrer le type de démonstration vivante que peuvent offrir les applets.

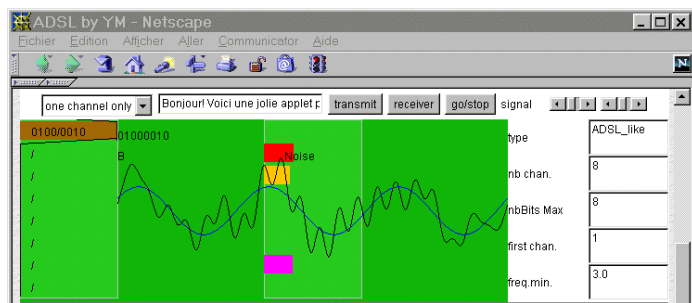


Figure 2: Fenêtre d'émission, un seul canal avec bruits dans d'autres sous bande de fréquence

Après une familiarisation avec la décomposition et la synthèse Fourier [3], l'étudiant pourra expérimenter la modulation en quadrature Q.A.M. très utilisée, par exemple par les modems ordinaires des PC. La figure 2 montre le signal QAM construit par l'applet [9] (menu <one channel> et bouton <transmit>) sur l'écran du navigateur Netscape). Un texte quelconque de l'utilisateur est codé en ASCII: les quatre premiers bits sont traduits en un niveau d'amplitude (parmi seize) d'une cosinusoïde tandis que les quatre bits suivants modulent une sinusoïde. On peut noter à cette occasion que les cosinus et sinus ne sont pas porteurs d'information en même temps au cours de la période, ce qui permet de transmettre deux informations en partage temporel implicite. Cette technique est largement utilisée : système NTSC et PAL en télévision par exemple.

La fenêtre de réception (bouton <receiver>) fait apparaître le décodage en sortie : amplitude de la cosinusoïde, amplitude de la sinusoïde et puissance spectrale ainsi que les bits restitués et le texte. Les calculs sont effectués par corrélation : mesure de l'importance d'une composante = intégrale (dite de *recouvrement*) du signal multiplié par cette composante de base.

On peut simuler la présence de bruit dans le canal, en ajoutant plus ou moins de bruit (contrôlé à la souris) dans la bande de fréquence concernée et/ou dans une autre bande. On expérimente ainsi l'effet sur le signal et sur la réception : bits erronés apparaissant en rouge.

La démonstration peut continuer avec huit (ajustable) canaux en parallèle (au lieu des 256 de la norme ADSL!) caractérisés chacun par une fréquence porteuse multiple d'une fréquence de base (ADSL:4,125 kHz). Les premiers multiples ne sont pas utilisés dans la norme pour laisser libre la bande téléphonique usuelle (POTS).

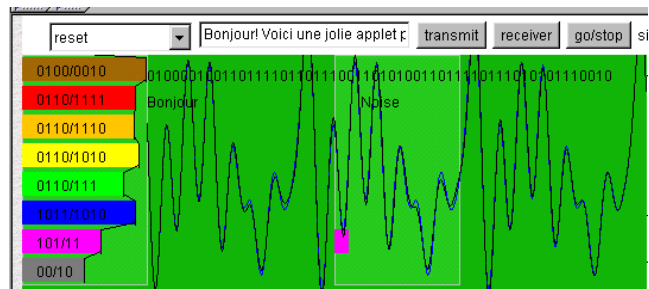


Figure 3: Signal ADSL avec huit sous-bandes dont la septième est bruitée.

Le signal ADSL est affiché (figure 3) lors de sa construction par modulation d'amplitude en quadrature.

La fenêtre de réception (fig.4) analyse le signal bruité transmis et reconstitue le flot de bits donc le texte, par une analyse parallèle sur tous les canaux, en fait une transformée de Fourier rapide est effectuée. L'expérimentateur peut introduire (à l'aide la souris) du bruit sur certains canaux (simulant une perturbation) entraînant quelques erreurs au niveau de la réception. L'expérimentateur peut réduire (à la souris) le nombre de bits transmis sur le canal perturbé pour restaurer une transmission sans erreur (au prix d'une réduction du nombre de bits transmis, donc d'un débit binaire plus faible).

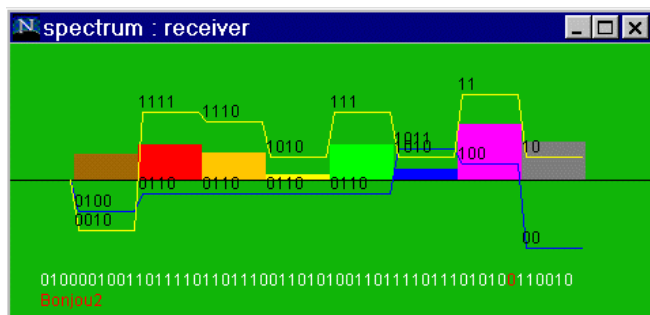


Figure 4: Réception d'un signal ADSL : une erreur sur le septième canal, elle peut être corrigée en réduisant le nombre de bits transmis sur ce canal.

Cette applet a connu une utilisation en "expérience de cours" en premier cycle et troisième cycle.

VI. AUTRES APPLIETS

D'autres simulations sont accessibles sur le site Internet pour la présentation d'autres techniques, ou pour l'expérimentation pratique, ou encore pour des calculs plus complexes utilisés en recherche[10]. Outre les ondelettes, le calcul des modes

optiques et leur propagation, présentées précédemment[11][12] sont utilisés à l'IUP Optoélectronique. D'autres logiciels sont développés ou en cours de développement pour l'enseignement du traitement du signal (la convolution) ou d'autres techniques de télécommunications (l'accès multiple C.D.M.A).

La figure 6 présente une simulation de propagation optique relativement complexe (équation de Helmholtz), exécutée en ligne. Les paramètres tels que la longueur d'onde, les indices de réfraction, les dimensions peuvent être modifiés en ligne. La simulation permet d'évaluer le rôle des différents paramètres. Une expérimentation virtuelle (analogue à une expérience de travaux pratiques) peut ainsi être effectuée. Les ressources de calcul sont pour l'instant incompatibles avec l'utilisation de logiciels scientifiques non dédiés (Matlab, Maple, Mathematica), le choix d'une approche java est ici parfaitement justifié.

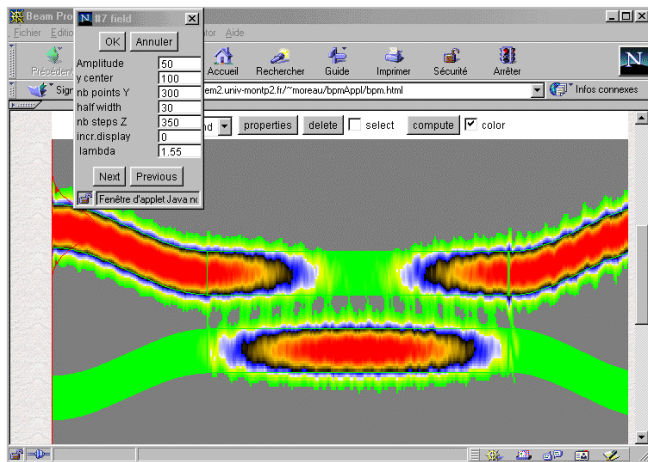


Figure 5 : Simulation d'un coupleur optique : la lumière injectée dans l'un des guides passe dans l'autre guide par combinaison d'un mode pair et d'un mode impair se propageant à des vitesses différentes.

La maturation du logiciel oblige aussi l'enseignant à réfléchir sur la communication pédagogique à effectuer, probablement beaucoup plus que lors de la préparation d'un enseignement traditionnel.

Nous démontrons aussi une méthodologie de programmation fondée sur l'approche objet qui convient au développement relativement rapide de telles applications : réutilisation de "méthodes" adaptées au calcul scientifique et à leur présentation... Chaque problème est caractérisé par une boucle infinie où après l'initialisation d'un ensemble de données, l'applet lance un calcul, affiche les conséquences du calcul, attend la modification de données... La classe problème ou Data peut rassembler un grand nombre de méthodes réutilisables : l'acquisition de paramètres, le lancement d'un "thread d'animation" etc.

VII. EVOLUTION DU ROLE DE L'ENSEIGNANT

Une grande interrogation accompagne ces démarches : qui va concevoir, qui va développer le contenu, sachant que selon le type de produit, des compétences sont nécessaires:

- en conception de contenus médiatisables (sens de la métaphore...)
- en scénariste capable d'anticiper les réactions d'un auditoire non présent
- en communication, différentes de celles nécessaires pour un cours traditionnel,
- en présentation assistée par ordinateur (conception de site),
- en écriture de script (programmation),
- en développement d'applications.
- en gestion des ressources (video, son etc..)
- en gestion de travail d'équipe pluridisciplinaire

L'enseignant est traditionnellement un homme orchestre² qui gère en temps réel un travail de documentaliste, concepteur de contenus, producteurs de transparents et polycopiés, animateur de groupe et validateurs d'acquis. L'enseignant, compte tenu de l'apparition de ces outils, devient un concepteur/auteur, un scénariste qui prévoit les réaction de l'auditoire, un producteur qui gère un ensemble de moyens, un animateur-formateur où la dimension temporelle a complètement évoluée : la préparation est beaucoup plus importante et devient comparable à la production télévisuelle (11 minutes effectives réalisées par jour, dit-on, de tournage pour une émission de télévision). Ceci est particulièrement marqué dans le cas du développement d'applets didactiques telles que celles présentées ci-dessous. Même s'il est envisageable que certains enseignants se spécialisent, un cours de plusieurs dizaines d'heures ne pourra être préparé par une seule personne, et nécessite une organisation par équipe avec éventuellement parties sous-traitées.

Nous n'avons pas abordé ici la validation des acquis, elle a un double rôle : une évaluation de la qualité de la transmission du savoir (*évaluation émetteur*), et une évaluation des connaissances acquises par l'étudiant toujours nécessaire (*évaluation récepteur*).

Le premier rôle peut être assigné aux e-mails entre l'enseignant et les enseignés ("hot line" en parallèle à un échange entre enseignés en dehors de tout contrôle mais qui s'est toujours avéré très efficace!). Le second rôle peut se traduire par l'emploi de questionnaires en ligne, mais d'autres formes peuvent être imaginées.

VIII. CONCLUSION

Bien qu'un grand nombre de questions restent aujourd'hui ouvertes au niveau de la logistique de production, la pédagogie par l'utilisation d'applets didactiques devrait se développer tant en enseignement à distance qu'en utilisation intranet ou locale où elle peut être intégrée dans les trois formes traditionnelles : cours, travaux dirigés, travaux pratiques. L'intérêt pédagogique de la simulation et de la visualisation grâce à des applets est démontré, il est lié à de nombreux avantages :

- Aspect visuel important,
- Interactivité, gestion temporelle adaptée (processus accéléré (géologie ?) ou ralenti (électronique)).

- Simulations véritablement fondées sur une modélisation, rapides, et qui n'est possible que grâce à la rapidité de l'exécution, voisine de programmes écrits en C.
- Consultations sur Internet, outil attractif, apprécié, utilisé et intégré par les générations récentes d'étudiants.
- Applicable à ne nombreux domaines.

Nous ne saurions trop encourager les enseignants à développer ce type d'approche à titre ponctuel et informel, mais cette approche ne trouvera un rythme efficace que si les institutions savent inciter les enseignants producteurs à travailler dans ce sens, et mettre en oeuvre la logistique nécessaire sans se réfugier dans le développement d'organisations hiérarchisées: Internet est avant tout un instrument décentralisé où la spontanéité créatrice parfois désordonnée plus que l'uniformité organisée, est la règle.

IX. REFERENCES

- [1] C.Glaize, J-P.Louis, Y. Danto, « La médiathèque e-EEA du Club EEA. Objectifs. Réalisation », cette conférence.
- [2] M. Robert, J.M. Thiriet, « Développement et évaluation d'outils pédagogiques en EEA dans un contexte Européen », Journées d'Etudes des Télécommunications, Nice-Sophia-Antipolis, 24-25 novembre 1999.
- [3] P. Prevot, « Les TICE et la formation à distance », Journées d'Etudes des Télécommunications, Lyon 6-7 décembre 2001
- [4] <http://www.echoecho.com/flash.htm>
- [5] <http://www.javasoft.com>
- [6] J.C.Schatzman, "Writing High Performance Java Code Which Runs as Fast as Fortran, C or C++", Proc. SPIE, vol. 4521 p.106,, Denver, August 2001
- [7] <http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/machine/>
- [8] <http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/fourier/>
- [9] <http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/adsl/>
- [10] Y.Moreau, J.Porque, P. Coudray, P.Etienne, R.Kribich Int'l Conf. SPIE, **3780**, Denver, USA, (1999).
- [11] Y.Moreau, R.Kribich, P. Coudray, Colloque CETSIS-EEA'99, 229-232, Montpellier (1999).
- [12] Y.Moreau, R.Kribich, P. Coudray, JET'99, invited paper, 183-188, Nice-Sophia-Antipolis, (1999).