

L'utilisation d'Internet pour la démonstration et la simulation de techniques utilisées en télécommunications : de Fourier à l'ADSL.

Yves MOREAU^{*}, Jérôme GALY^{**}

^{*}Centre d'Electronique et de Micro-Optoélectronique, Courrier 084 -Université Montpellier II

^{**}Laboratoire d'Informatique et de Robotique de Montpellier
Université Montpellier II -34 095 – Montpellier cedex 5

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, la présentation active de processus scientifiques, la modélisation, les simulations peuvent être effectuées en ligne par l'utilisation de logiciels de navigation dotés de machines virtuelles (tels que les logiciels usuels *Netscape* ou *Internet Explorer*).

Mots clés : Internet, simulations, applet java, ADSL, optique intégrée, convolution.

1. Introduction

Nous avons développé des applets Java, 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.

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 même être reportées sur pages HTML pour former un cours complet à distance !

Le paragraphe 2 donne quelques éléments sur les applets java. Nous décrivons au paragraphe 3, 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

au paragraphe 4 d'autres applications développées dans un but pédagogique.

2. Applets Java

L'explosion d'Internet s'est accompagné non seulement d'outils permettant l'affichage passif de textes ou de dessins mais aussi d'outils actifs telles que des applications exécutant de véritables programmes sur l'ordinateur serveur et/ou client (local). Les données peuvent être recalculées localement pour des animations ce qui réduit la quantité de données transmise sur le réseau. Le calcul local rend aussi plus souple la gestion de base de données. Une liste non exhaustive de ces outils comprend le *php*, le *javascript*, les programmes *cgi* et la machine virtuelle java.

Le langage évolué associé Java[1], 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 (Netscape, Internet explorer, Mouilla...)

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*).

3. De Fourier à 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 [2], présente une "machine hydraulique" faisant varier *a priori* sinusoidalement le niveau d'un premier réservoir, voir figure 1. Un deuxième réservoir communique avec le premier grâce à un tuyau à débit limité, son niveau tente de suivre le premier.

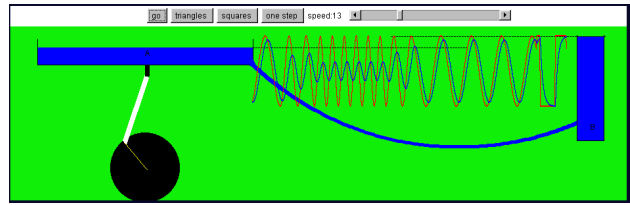


Figure 1: Machine - filtre passe-bas

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 peut apparaître.

On pourra par exemple tracer le diagramme de Bode 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).

Une autre simulation (beaucoup plus difficile du point de vue calcul) est effectuée de façon implicite: 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 permet de 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...

La traditionnelle décomposition et synthèse de Fourier a été reprise, agrémentée dans notre applet[3] 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 mathématiques : cosinus et sinus ou parties réelles et imaginaires.

Il est possible pour un utilisateur d'effectuer de réelles simulations de façon très simple, sans "l'intendance" que réclame l'utilisation d'un logiciel de calcul scientifique.

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

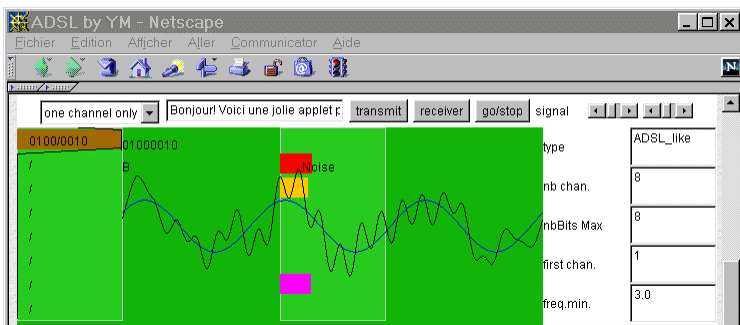


Figure 2: Fenêtre d'émission, un seul canal avec bruits dans d'autres sous bande de fréquence

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 [4] (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.

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.

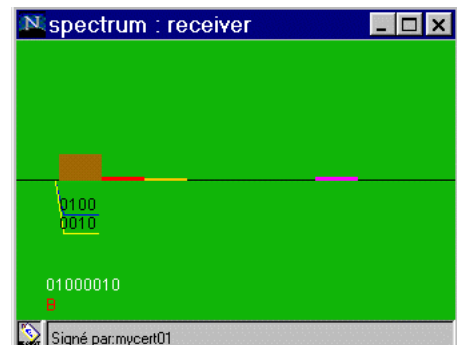


Figure 3: Fenêtre de réception :un seul canal. Chaque groupe de quatre bits correspond à une amplitude soit du cosinus, soit du sinus.

La démonstration peut continuer avec quelque 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).

Le signal ADSL est affiché (figure 4) lors de sa construction par modulation d'amplitude en quadrature.

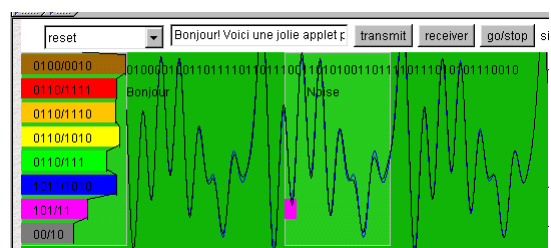
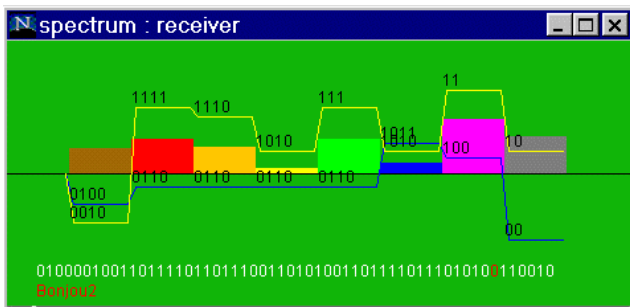


Figure 4: Signal ADSL avec huit sous-bandes dont la septième est bruitée.

La fenêtre de réception (fig.5) 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 5: 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.

4. Autres applets

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[5]. Outre les ondelettes, le calcul des modes optiques et leur propagation, présentées précédemment[6][7] 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 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 sur l'acquisition de paramètres le lancement d'un "thread d'animation" etc.

5. Conclusion

L'intérêt pédagogique de la simulation et de la visualisation grâce à des applets est démontré, il est lié à de nombreux avantages :

- Eventail d'applications large,
- Aspect visuel est important,
- Rapidité de l'exécution, voisine de programmes écrits en C depuis l'apparition de la compilation "Just In Time"

Et surtout simulations accessibles par Internet, outil attractif, apprécié et utilisé par les générations récentes d'étudiants.

Nous ne saurions trop encourager les enseignants à développer ce type d'approche et les institutions de les y inciter.

Références

- [1] <http://www.javasoft.com>
- [2] <http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/machine/>
- [3] <http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/fourier/>
- [4] <http://www.cem2.univ-montp2.fr/~moreau/adsl/>
- [5] Y.Moreau, J.Porque, P. Coudray, P.Etienne, R.Kribich, Int'l Conf. SPIE, **3780**, Denver, USA, (1999).
- [6] Y.Moreau, R.Kribich, P. Coudray, Colloque CETSIS-EEA'99, 229-232, Montpellier (1999).
- [7] Y.Moreau, R.Kribich, P. Coudray, JET'99, invited paper, 183-188, Nice-Sophia-Antipolis, (1999).