

SYSTEME D'AIDE A L'ANALYSE SPECTRALE : COMMUNICATION ENTRE UN LOGICIEL DE TRAITEMENT DU SIGNAL GRAPHIQUE ET UN SYSTEME EXPERT

G. Lejeune, J. Liénard, P. Martini, N. Martin

CEPHAG/ENSIEG B.P. 46 - 38402 St-Martin-d'Hères Cedex - France

RESUME

Ce papier présente une partie du système d'aide à l'analyse spectrale dont l'objectif final est d'aider un utilisateur à choisir une méthode d'analyse appropriée avec des paramètres adaptés ainsi qu'à réaliser une interprétation du spectre estimé la plus complète possible par rapport au domaine d'application et à la méthode d'analyse. Il découle de cet objectif trois impératifs : une connaissance basée sur des techniques récentes, une interprétation autonome des spectres estimés et une forte interaction avec l'utilisateur. Afin de pouvoir les atteindre, il était nécessaire d'une part de réaliser une interface de communication entre le logiciel graphique, sur lequel est implanté un nombre conséquent de méthodes d'analyse spectrale, et un générateur de système expert, d'autre part de transformer le spectre estimé en une succession de symboles manipulables par le système expert.

ABSTRACT

This paper presents a part of a help system for spectral analysis. The final objective consists in helping an user to choose an adequate method with adapted parameters as also to realise a spectrum interpretation the more comprehensive with regard to the application domain and the analysis method. It follows three constrains : a knowledge based on recent techniques, an autonomous interpretation of the estimated spectrum and a strong interaction with the user. Then it was necessary on the one hand to realize a communication interface between the graphic software, on which a consequent number of spectral analysis method is implemented, and an expert system generator, in the other hand to convert the estimated spectrum into symbols comprehensive by the expert system.

INTRODUCTION

Les résultats présentés dans ce papier font partie du projet Analyse Spectrale Unifiée Intelligente dont la finalité est la réalisation d'un système d'aide à l'analyse spectrale de signaux stationnaires. L'évolution des méthodologies d'analyse spectrale génère une complexité croissante dans le choix et l'utilisation de ces techniques. Afin d'être accessible à des non-spécialistes, l'objectif du projet est la réalisation d'un système complet et convivial permettant la mise en oeuvre et l'interprétation d'un ensemble conséquent de méthodes récentes. Cette étude prolonge un travail théorique sur l'unification des méthodes d'analyse spectrale [ADNET 90]. Les méthodes concernées sont soit de type Fourier (Welch-Wosa, STUSE, Blackman-Tukey, Per-Cor), soit des techniques haute-résolution (Lagunas, AR, Prony, Tuft-Kumaresan, MUSIC, ...). Le choix des méthodes et des paramètres relevant plus de règles empiriques que de théorèmes mathématiques, nous avons fait appel aux techniques d'intelligence artificielle.

Les premiers travaux qui couplent le Traitement du Signal et l'Intelligence Artificielle, en particulier les systèmes experts, apparaissent dans le domaine de la parole [LESSER 77] [ERMAN 80]. Puis, de nombreuses études sont apparues dans différents domaines du signal. En particulier, nous citerons le traitement du signal adaptatif [HU 87], le traitement d'antennes optimisé par des algorithmes génétiques [Mc KLURKIN 88], l'interprétation de signaux géophysiques combinés avec des outils de traitement d'image et de reconnaissance de forme [CHIARUTTINI 88], [ROBERTO 90], l'identification de méthodes paramétriques [FAVIER 89] [SZAFNICKI 91], le traitement du signal en général [KARJALAINEN 88] et [BENTZ 85]. Directement liées à l'analyse spectrale d'un signal, [GABY 84] présente quelques réflexions sur la philosophie générale et la structure d'un tel système. La modélisation de la connaissance est très proche de celle que nous avons choisie : connaissance sur les méthodes, connaissance sur le signal (modèle, domaine,

information-a-priori), transformation du signal en symboles. Le système en cours de développement inclut un nombre réduit de méthodes et ne traite qu'un seul type de signal. [LI 85] et [MORIZET 88] ont réalisé un système à partir des méthodes Welch-Wosa, Blackman-Tukey, AR, ARMA et Prony, système qui demande une forte participation de l'utilisateur quant à l'interprétation. Peu de critères et aucune interprétation automatique des résultats sont intégrés. Par la suite, les mêmes auteurs ont réalisé d'autres systèmes en synthèse de filtre numérique [NIE 91]. [BARBO 90] a développé une base de connaissances pour assister les ingénieurs dans l'utilisation d'un logiciel d'analyse d'un signal issu de vibrations de structure. Axé sur le choix de paramètres et non sur le choix de méthodes, [BITAR 92] a mis au point une procédure de contrôle de paramètres de méthodes temps-fréquence afin de traiter des signaux réels nécessitant des résolutions fréquentielles variables.

Dans notre projet, nous avons particulièrement travaillé sur l'interprétation autonome d'un spectre, ce qui n'est pas du tout limitatif sur l'interaction éventuelle de l'utilisateur. Cet article ne développe pas la stratégie d'analyse choisie mais présente uniquement deux parties du système. L'une dans le paragraphe suivant décrit l'interface développée entre le logiciel graphique MUSTIG, sur lequel ont été développés tous les algorithmes d'analyse spectrale, et le générateur de système expert. Cette interface, originale de par le langage de MUSTIG, réalise une communication permanente entre les deux logiciels afin de transférer les informations concernant les méthodes choisies par le système expert et, en retour, les paramètres issus de l'analyse.

Lorsqu'une méthode d'analyse spectrale a été choisie par le système expert, cette méthode est activée sur MUSTIG par l'intermédiaire de l'interface. Un spectre est alors affiché à l'écran. Un ensemble de traitements transforme cette courbe numérique en attributs qui sont ensuite transmis au système expert.

Le paragraphe II présente trois méthodes réalisant cette transformation.



I - INTERFACE DE COMMUNICATION

Si un signal est confié à un expert pour en faire l'analyse, l'expert doit disposer d'un système de traitement qui lui permette de mettre en œuvre les méthodes et les algorithmes qu'il possède. Sa démarche est alors une démarche expérimentale classique : il commence par visualiser le signal, puis essaye la ou les méthodes qui lui paraissent les mieux adaptées au signal, compare les résultats de ces méthodes, change des paramètres, ... Cette philosophie a été motrice dans la réalisation de notre système. Les méthodes d'analyse spectrale sont présentées sous forme d'un graphe immédiatement visible dès que le système expert le construit.

A chaque fois que le système expert donne la main à l'utilisateur, pour une demande de confirmation par exemple, celui-ci peut alors, au vu de l'ensemble des méthodes déjà essayées, rajouter des opérateurs en un endroit quelconque du graphe en construction s'il veut visualiser ou comparer des résultats non montrés précédemment, bénéficiant ainsi pleinement de la compilation incrémentale - interactivité efficace et rapide.

Par rapport à un autre choix plus classique que nous aurions pu faire (bibliothèque de programmes FORTRAN et langage de lignes de commande), le choix de MUSTIG a d'une part simplifié, mais d'autre part compliqué, le dialogue entre système expert et outil; la simplification évidente réside dans la gestion complète de la mémoire "données" par l'outil, avec la possibilité de récupération des signaux en n'importe quel point du graphe sans que cette opération ait été prévue à l'avance (par une écriture dans un fichier par exemple), grâce à l'aspect "Flot de données" du langage. Mais une complexité non négligeable vient du caractère graphique de MUSTIG, ce qui pose des problèmes de placement automatique des boîtes sur l'écran, avec des choix de regroupement de boîtes en macros pour éviter un trop grand encombrement de l'écran. Nous présentons dans cet article l'interface réalisée avec un générateur de système expert, SMECI développé sous Le-Lisp.

Un protocole de communication a été mis en place [FOURNIER 1992]. Des sockets UNIX sont échangés entre les deux process, MUSTIG et SMECI, pouvant tourner sur des machines différentes. On a fait le choix de deux process communicants, plutôt que d'un process maître. Pour éviter un blocage complet, on a dû créer un troisième process pour tuer les deux autres en cas de panne. Au démarrage, MUSTIG est maître; pendant la demande d'aide, SMECI devient maître, sauf durant les périodes d'attente de confirmation ou de choix par l'utilisateur pendant lesquelles MUSTIG reprend la main.

A l'activation de la demande d'aide par l'utilisateur, qui se fait très simplement en sélectionnant une borne sur laquelle se trouve le signal à analyser et en activant le menu "Aide SMECI", une vérification de cohérence est d'abord réalisée entre les boîtes d'analyse contenues dans la Bibliothèque de MUSTIG et celles connues par SMECI (mêmes noms, même nombre de bornes et de paramètres, ...). La suite des échanges entre les deux process a été codifiée en un ensemble de procédures, en C d'un côté, en Le-Lisp de l'autre. Ces procédures constituent un "mini-langage" tout à fait général pour faire interagir un simulateur graphique et un système expert.

Sans entrer dans les détails, nous allons cependant donner une idée des requêtes ultérieures de SMECI (cf. figure 1). Ce sont en fait des équivalents des actions d'un utilisateur humain confronté à MUSTIG pour :

- construire le graphe;
- modifier les paramètres;
- créer une liaison entre 2 boîtes;
- demander un calcul;
- sortir un signal dans un module d'impression.

Il existe en plus des fonctions pour créer des macros, pour les ouvrir ou les fermer, les verrouiller ou les déverrouiller.

Les fonctions délicates à écrire en raison des problèmes de positionnement sur l'écran ont été les fonction de construction du graphe et de création de liaison entre 2 boîtes. Des algorithmes relativement simples ont été utilisés pour résoudre ce problème (on positionne de gauche à droite et de haut en bas, et on crée les liaisons les plus directes possibles), et un travail ultérieur consistera à reprendre ces choix pour donner le meilleur aspect possible aux graphes construits. Grâce à cette boîte à outils de communication, l'ajout de nouvelles méthodes dans la base de données SMECI est une opération relativement aisée.

La "Session d'aide" sera effectuée par SMECI par la suite des commandes suivantes:

```
boite_methode_1=poser_boite("methode1",fenetre_session_d_aide)
modifier_parametre (boite_methode_1,1,1.0)
modifier_parametre (boite_methode_1,2,3.0)
relier_boites(Borne(boite_signal_source),Borne(boite_methode_1))
activer_boite(boite_methode_1) qui va dire à MUSTIG de lancer
le calcul à partir de la boîte boite_methode_1
boite_methode_2=poser_boite("methode2",fenetre_session_d_aide)
modifier_parametre(boite_methode_2,1,128.0)
relier_boites(Borne(boite_signal_source),Borne(boite_methode_2))
activer_boite(boite_methode_2) qui va dire à MUSTIG de lancer
le calcul à partir de la boîte boite_methode_2.
```

Autres fonctions :

- Lecture des paramètres :

lire_parametre(<boite>,<num_param>) permet l'opération inverse de lecture d'un paramètre, et sera utilisée dans une étape ultérieure pour signaler à SMECI une modification d'un paramètre par l'utilisateur.

- Sortie d'un signal dans un module d'impression

lire_signal(<borne>) qui va permettre de récupérer dans SMECI le signal présent sur la borne <borne>.

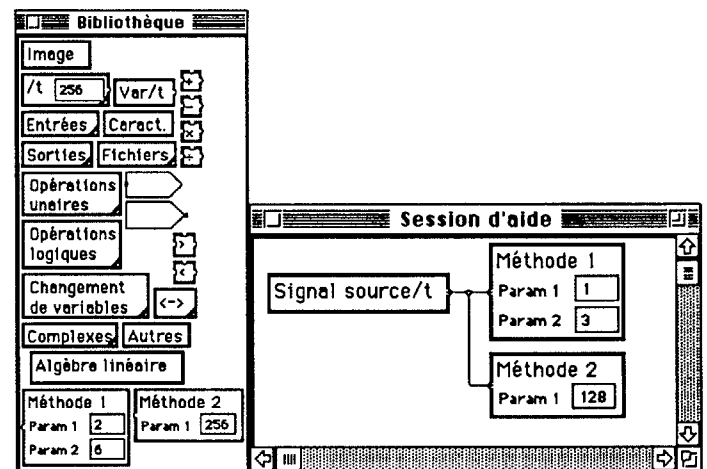


fig. 1: Exemple simplifié de construction d'une session d'aide

II - TRANSFORMATION DSP-SYMBOLES

Le système expert en cours de développement est basé sur la comparaison des différentes estimations de la densité spectrale de puissance, afin d'effectuer une analyse itérative du signal. Cette comparaison s'effectue à la fois sur les critères caractéristiques de la méthode utilisée (le biais, la variance, la résolution, les fuites d'énergie...), sur les informations éventuellement connues sur le signal, ainsi que sur celles des courbes issues des estimateurs.

La transformation de signaux en symboles permet de décrire de façon simple mais complète ce que voit un expert humain en une courbe donnée. Cette étape essentielle a pour but d'extraire les informations pertinentes des différentes estimations spectrales afin de forger la description symbolique la plus complète possible de la densité spectrale de puissance (DSP). [NII

82], [GABY 84], [CHARPILLET 92] et [DESTE 93], accentuent leurs travaux sur la manipulation des symboles après transformation. [KONVALINKA 90] est le seul à proposer une nouvelle technique de transformation. Notre approche, très différente, consiste à extraire l'information en termes de *motifs élémentaires* et de *tendance générale*. En effet, un expert en traitement du signal utilise les représentations graphiques des estimées spectrales pour en extraire les "pics" et les "bosses" significatifs, ainsi que son allure générale, et non des valeurs numériques.

2.1 - Motifs élémentaires

Pour étudier une DSP, l'expert s'intéresse d'abord aux pics et aux bosses émergeant de la courbe puis à des motifs présentant des caractéristiques particulières (pic de dynamique très importante, bosse très large...). Il effectue donc rapidement un seuillage sur la courbe et tente ensuite de classer les différentes informations présentes dans cette courbe selon des critères simples de caractérisation des pics.

Ainsi, l'extraction de motifs élémentaires dans la courbe comporte deux tâches bien distinctes, menées de front, une de seuillage et une de classification.

2.1.1 - Seuillage

Cette première méthode consiste donc à calculer un seuil afin de séparer le signal "utile" d'une grande partie des motifs d'amplitudes faibles. Cependant, ce seuillage effectué sur le spectre se doit d'être à la fois automatique et optimal (i.e. fortement dépendant du signal à traiter) afin de s'affranchir de la partie supposée non significative du spectre. Pour un critère de seuillage (% du maximum ou % de l'énergie totale), le système fait varier le seuil et, pour chaque seuil, relève le nombre de pics qui en émerge. La courbe alors obtenue représente un histogramme cumulé à échantillonnage variable du nombre de pics présents dans le spectre. Cette méthode fournit une courbe très stable, fonction en escalier croissante à plateaux relativement larges, décrivant la variation du nombre de pics en fonction du seuil. Elle permet une détection automatique d'un plateau particulier définissant l'intervalle le plus stable en terme de pics détectés. Ce seuil correspond à un bon compromis entre conserver le maximum d'informations utiles dans la courbe et rejeter le plus grand nombre d'informations bas-niveau. Un exemple de seuillage est donné à la figure 2. L'estimateur de DSP utilisé est de type périodogramme. La première courbe représente la DSP visualisée en fréquence réduite. La deuxième courbe représente l'histogramme cumulé des pics (en abscisse le seuil, en ordonnée le nombre de pics détectés) qui permet d'extraire automatiquement le seuil.

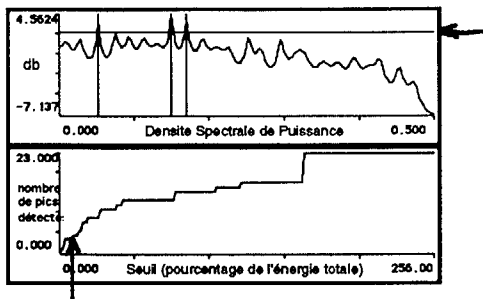


fig. 2 : seuillage effectué sur un signal constitué de 3 sinusoïdes noyées dans un bruit coloré (RSB = 0 db)

Le système conserve 3 pics sur 23 présents dans la courbe (cf barres verticales), conformément aux résultats obtenus par l'expert, ce qui revient à conserver 96,8 % de l'énergie totale.

2.1.2 - Classification

La deuxième tâche de notre système consiste à caractériser la courbe selon les critères permettant une classification significative de l'information. Les motifs élémentaires sont regroupés selon des critères de ressemblance. Ces critères de caractérisation des pics sont la hauteur, la largeur, l'énergie, la dynamique, ... Pour chaque pic, on calcule les valeurs de ces critères, et pour chaque critère, on effectue ensuite une classification automatique des pics [SAPORTA 1991]. La distance utilisée est la distance euclidienne. La classification est effectuée en minimisant l'énergie intraclasse. Un exemple de classification est donné à la figure 3. La courbe représente la DSP estimée par un modèle AR, et visualisée en fréquence réduite. Ici, le critère de caractérisation choisi est la hauteur.

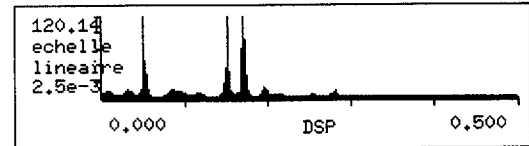


fig. 3 : classification d'un signal constitué de 3 sinusoïdes noyées dans un bruit coloré (RSB = -3 db)

Le système a donc regroupé les pics au sein de trois classes principales, une classe importante contenant les pics de très bas niveau et deux autres classes correspondant à des pics plus hauts.

2.2 - Tendance générale

La deuxième approche concerne la répartition générale de l'énergie dans la courbe. Il s'agit en effet de dégager pour chacune des courbes son allure globale. La méthode utilisée ici est basée sur un filtrage large bande de la fonction d'autocorrélation du signal. La fenêtre appliquée sur la fonction d'autocorrélation est une fenêtre de pondération de type Hamming, Hanning ou Blackman-Harris. Ce traitement simple permet de caractériser de manière automatique la répartition d'énergie dans une DSP. Cette méthode est utilisée en complément de la recherche de motifs élémentaires. Un exemple d'approche générale est présentée à la figure 4. La première courbe représente la densité spectrale de puissance visualisée en fréquence réduite. La deuxième courbe décrit la densité spectrale de puissance filtrée.

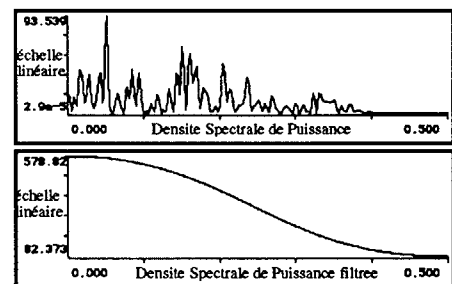


fig. 4 : extraction de la tendance générale d'un signal composé de 3 sinusoïdes noyées dans un bruit coloré (RSB = -7 db)

Ces trois méthodes sont intéressantes car elles font intervenir des traitements totalement automatiques et cependant très dépendants du spectre à décrire. Le critère de seuillage adopté, les critères de classification automatique ainsi que la méthode de filtrage ont été testés sur différents types de signaux reflétant une palette relativement complète de signaux synthétiques (somme de sinusoïdes dans un bruit blanc ou coloré, modèles ARMA, AR ou MA bruités, ...) et aussi sur des signaux réels (signaux en 1/f, signaux d'engrenage, de cavitation...) à l'aide de différents estimateurs de DSP (Welch-Wosa, Blackman-Tukey, AR, ...).



La figure 5 représente un exemple de session d'aide dans l'état actuel du développement.

BIBLIOGRAPHIE

- ADNET C., MARTIN N. : Unified and Intelligent Spectral Analysis, Proceeding of ICASSP, Albuquerque, New Mexico, USA, April 1990.
- ADNET C. : Unification des méthodes d'analyse spectrale en vue de la réalisation d'un système d'aide à l'analyse, Thèse de Doctorat de l'INPG, 1er octobre 1990.
- BARBO R., FERRI C. and SALVANESCHI P. : A knowledge - based interface to assist in signal analysis EUSIPCO, Barcelone, p 1731-1734, 1990.
- BENTZ B. : An automatic programming system for signal processing applications. Pattern recognition, vol. 18, n° 6, pp 491-495, 1985.
- BITAR N.N., NAWAB S.H., DORKEN E. et PANERAS D.E. : Integration of STFT and Wigner Analysis in a Knowledge - Bases System for Sound Understanding. IEEE Int. Conf. on Acoust., Speech and Signal Processing, ICASSP 92, San Francisco (USA), 1992.
- CHARPILLET F., FOHR D., GONG Y., HATON J. P. : A multi-agent model for signal interpretation, Signal Processing VI , pp. 559-562, 1992.
- CHIARUTTINI C. and ROBERTO V.SNA : A Knowledge -Based system for Seismic Network Signal Inerpretation . EUSIPCO, Grenoble, pp 1205-1209, 1988.
- DESTE O. : LVQ + CHARADE = Un exemple d'apports mutuels entre apprentissages numérique et symbolique, rapport ONERA 1993.
- ERMAN L.D., HAYES-ROTH F., LESSER V.R. and REDDY D.R. : The Hearsay - II Speech Understanding System : Integrating Knowledge to Resolve Uncertainty.ACM ComputingSurveys 12 (2) pp 213-53, 1980.
- FAVIER G. and P. SENGES A : knowledge - based system for CAD in automatic control and signal processing. IEEE Workshop on Computer Aided Control System Design. Tampa - Floride, 1989.
- FOURNIER P.Y., LANTREIBECQ E., BARBIER L. : Interface de communication MUSTIG-SMECI, Rapport CEPHAG, 1992.

- GABY J., HAYES M. : Artificial intelligence applied to spectrum estimation, International Conf. Acoust. Speech and Signal processing, pp. 13.5.1-13.5.4, 1984.
- HU Y.H., ABDALLAH A.H. : Knowledge - Based Adaptive Signal Processing International Conf. Acoust. Speech & Signal Processing. V4. p 1875-1878, 1987.
- KARJALAINEN M. and ALTOSAAR T. : Quicksig - An expert workstation for numeric and symbolic signal processing EUSIPCO - Grenoble - pp 1197-1200, 1988.
- KONVALINKA I., FILIPIC B. : Towards expert spectrum estimate, Signal Processing V, pp. 457-460, 1990.
- LEJEUNE G., LIENARD J., MUSTIG, GRETSI, Juan Les Pins, 1989.
- LESSER V.R. and ERMAN L.D. : A Retrospective view of the Hearsay -II Architecture Proceedings of IJCAI-77 pp 790-800, 1977.
- LI X., MORIZET-MAHOUDEAUX P. and GAILLARD P. : Expert system for spectral analysis.Proc. 10th colloque sur le Traitement du Signal et ses applications GRETSI, Nice, pp 991-996, 1985.
- McKLURKIN G.D., SHARMAN K.C. and DURRANI T.S. : Genetic Algorithms for spatial Spectral estimation. ASSP Workshop on Spectrum Estimation & Modeling - Minneapolis p. 318-322, 1988.
- MORIZET-MAHOUDEAUX P. and GAILLARD P. : Utilisation d'un système expert en Traitement du Signal : Aide au choix d'estimateurs de la densité spectrale de puissance. L'Onde Electrique, vol 68, n° 1, pp 90-97, 1988.
- NIE G.L., MORIZET-MAHOUDEAUX P. and GAILLARD P. : Application of the AI techniques to signal processing : a knowledge - based system for digital filters synthesis Signal Processing 23 pp 121-136, 1991.
- NII H.P., FEIGENBAUM E.A., ANTON J.J., ROCKMORE A.J. : Signal to symbols transformation : HASP/SIAP Case study, AI Magazine 3, pp. 23-35, 1982.
- ROBERTO V., PERON A., CHIARUTTINIC. and BRANCOLINI : G.Geophysical Signal Interpretation : a knowledge - based system. EUSIPCO, Barcelone, pp 1739, 1742, Sept. 1990.
- SAPORTA G. : Probabilités, Analyse des données et Statistique, ch. 12, pp 241-260, 1991.
- SZAFNICKI K. : Système à base de connaissances pour l'identification de procédés. Thèse de Doctorat de l'INPG, 1991.

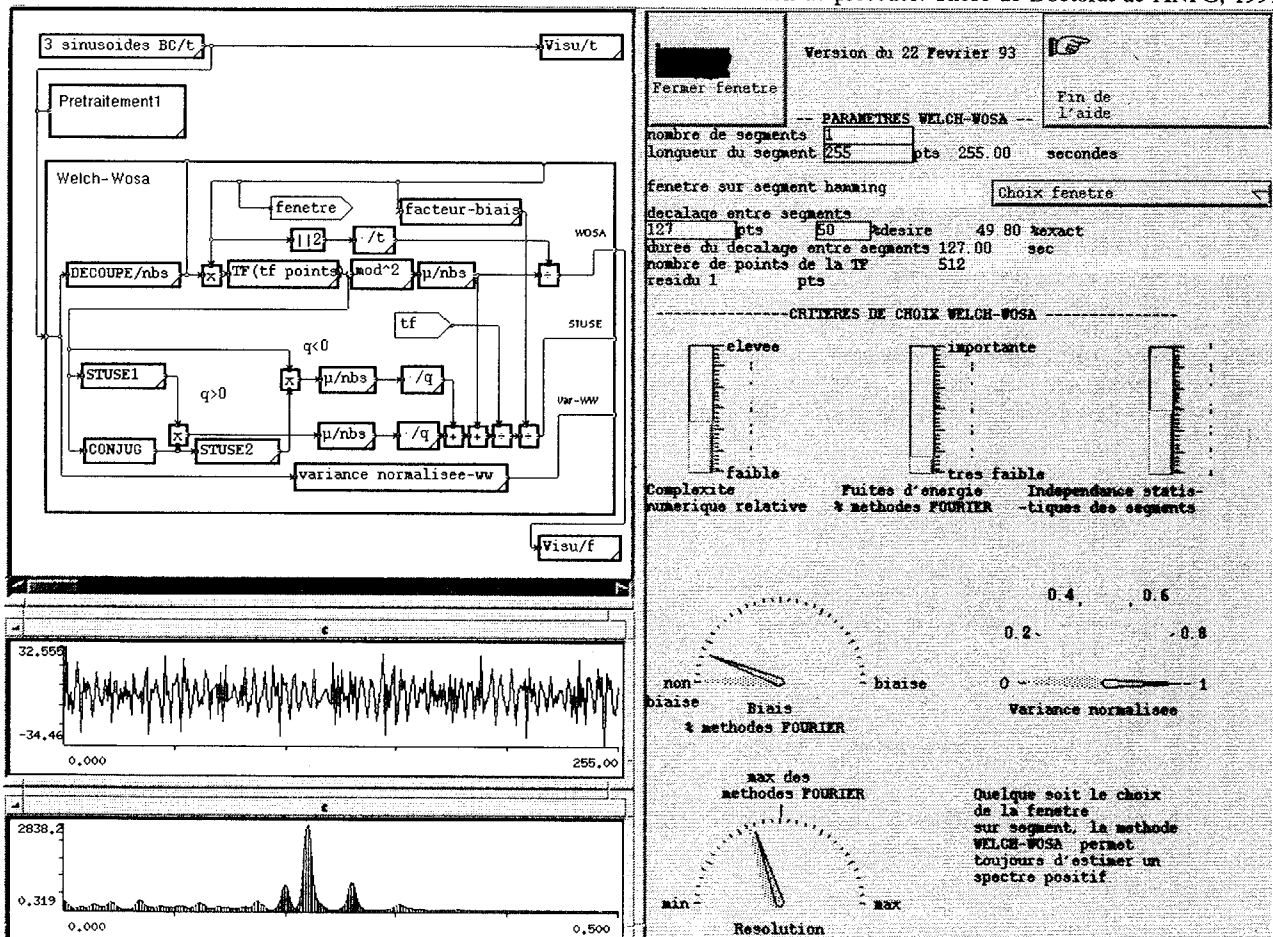


fig. 5 : exemple de session d'aide