

Complexité des sonars biologiques et traitement du signal

Par B. ESCUDIÉ

Les éditorialistes des deux précédents numéros de **TS** se sont interrogés sur l'avenir et le bouturage de notre discipline. L'un d'eux, J. L. Lacoume, a même médité sur le caractère fractal et arborescent de son évolution qui s'accorde semble-t-il à la notion de progrès. En les rejoignant, interrogeons-nous ici sur la croissance fractale d'une « langue particulière » de la discipline traitement du signal : l'étude des signaux émis par les systèmes SONAR biologiques tant aériens que marins.

L'intérêt pour les études d'analyse des signaux SONAR biologiques s'est manifesté en Europe depuis plus de 20 ans. L'étude des systèmes SONAR animaux a débuté aux États-Unis par les travaux de Galambos et Griffin en 1939. Ce n'est qu'en 1967 qu'un premier colloque interdisciplinaire tenu à Frascati (Italie) put réunir à ce sujet biologistes, acousticiens et traiteurs de signaux, à l'instigation de R. G. Busnel, spécialiste de la delphinologie. Depuis, des réunions périodiques ont permis l'échange entre spécialistes des différentes disciplines. L'apport des équipes françaises en Traitement du Signal s'est manifesté grâce à l'appui de la DRME-DRET, puis du CNRS dans le cadre de la RCP 445 (1977-1985).

Pour des raisons de commodité d'expérimentation, l'action de l'équipe française a surtout porté sur l'étude des systèmes SONAR aériens des chauves-souris. Dans la perspective pluridisciplinaire de telles études il faut distinguer deux types d'approches expérimentales. Les unes, conduites en laboratoire, relèvent le plus souvent des études de neuroacoustique décrivant les récepteurs auditifs de l'animal et leur mode de fonctionnement, les autres conduites sur site enregistrent les signaux SONAR opérationnels dus à l'animal en tentant de les relier aux conditions pratiques de vol. Une telle démarche est essentiellement pluridisciplinaire car elle nécessite le plus souvent de confronter les résultats des deux approches envisagées.

L'analyse théorique des situations ainsi étudiées peut se conduire selon deux procédures parallèles. La première, qui fut pratiquée le plus souvent par les traiteurs de signaux européens et américains, consiste à utiliser des modèles de réception classiques sous l'hypothèse de conditions linéaires additives; les signaux parasites sont alors décrits précisément en vue d'approcher les conditions naturelles observées. A ce stade la qualité de l'observation des signaux SONAR et de la description des cibles est fondamentale. On retrouve là le couplage expérience/théorie si bien décrit depuis C. Bernard jusqu'à A. Lichnerowicz, en passant par H. Poincaré. Sous l'hypothèse (conjecturale ou non selon les auteurs) de récepteur cohérent les modulations d'amplitude et de fréquence des signaux SONAR se justifient lors des phases de détection, localisation, poursuite et capture de la proie par la chauve-souris. La fonction d'Ambiguïté retard DOPPLER et la représentation conjointe en temps et fréquence jouent alors un rôle fondamental lors d'une telle analyse. La seconde procédure couple l'observation opérationnelle et l'étude neuroacoustique de

laboratoire pour tenter de décrire les systèmes étudiés par des voies différentes. Elle s'illustre actuellement dans les neurosciences par la mise en place de modèles ou de systèmes de Traitement du Signal dits « Neuromimétiques ». Des essais récents en ont montré tout l'intérêt dans le filtrage et la séparation de signaux. De même les tentatives actuelles de représentation des signaux sur des bases orthogonalisables de « filtres à surtension constante », ou « ondelettes » relèvent de cette approche, tout en utilisant une étude fonctionnelle rappelant le premier procédé décrit ci-dessus.

Dans l'une ou l'autre des deux procédures le chercheur finit par se poser la question suivante : « comment sortir des modèles très classiques de la détection et de l'estimation optimales ? » Il est en effet utile de remettre tant soit peu en cause des modèles quasi paradigmatiques tels : récepteur à maximum de vraisemblance en présence de « bruit blanc gaussien », échos formés sur des cibles spéculaires, propagation idéale, ... Obtenir des modèles relativement neufs passe souvent par l'observation de conditions opérationnelles. Pour étudier un système SONAR de chauve-souris on doit souvent décrire des situations de Réverbération à large bande dues à des obstacles localisés et distribués en position et vitesse (buissons, feuilles, brindilles, ...), des mouvements relatifs du prédateur et de la proie à vitesse et accélération variables, des échos formés par des cibles (proies) « diffractantes » de section efficace essentiellement variable au cours du temps, ... De même l'étude des récepteurs neuroacoustiques demandent l'analyse de systèmes dispersifs (cochlée) réalisant des analyses en temps et fréquence, des systèmes codant par voie binaire des signaux en vue de leur séparation ou de l'extraction de paramètres. Tous ces points incitent à sortir de situations bien connues pour envisager des modèles plus complexes mais aussi plus riches en information. Des besoins nouveaux apparaissent alors en représentation et analyse des signaux : représentations conjointes en temps-fréquence, en espace fréquence spatiale, les transformations polynomiales de la variable temps, la fonction d'Ambiguïté généralisée, ...

Les modèles de récepteurs employés amènent souvent à se poser la question de leur optimalité ! En ces termes la question ne correspond peut-être pas à une analyse pertinente de la situation. Un système optimal est décrit relativement à un critère et pour des paramètres caractéristiques fixés ou évoluant peu dans une plage de valeurs connue. Or les systèmes SONAR biologiques ont à faire face à des situations multiples et variées. La solution retenue est vraisemblablement robuste, soit quasi invariante en performances pour une grande zone de variation des paramètres. La propriété de tolérance à l'effet DOPPLER des systèmes SONARS biologiques aériens en est un exemple. Le système peut fort bien être sous-optimal pour un critère donné mais posséder une forte tolérance quant aux variations de paramètres caractéristiques des situations rencontrées. Le caractère évolutif des signaux SONAR pratiquement observés révèle le caractère non stationnaire des situations rencontrées : l'animal adapte en permanence ses moyens d'investigation aux circonstances : navigation, localisation spatiale, poursuite, capture, ...

L'adaptation des signaux acoustiques animaux au milieu de propagation est un fait connu que l'on commence à analyser. Ainsi une corneille est capable de transmettre des messages élémentaires sur des distances de l'ordre du kilomètre ou plus, d'autres exemples peuvent être fournis pour des oiseaux divers. De même la baleine à bosse émet des « chants » modulés en basse fréquence (20-250 Hz) se propageant sur plusieurs centaines de milles nautiques grâce à une adaptation au chenal profond de propagation existant dans l'Atlantique. Ces signaux, malgré leur rusticité apparente permettent le

codage et la transmission d'information. D'autres cétacés, tel le marsouin, utilisent un SONAR basse fréquence, dont les signaux semblent bien adaptés au milieu marin. Tous ces faits incitent dans une perspective pluridisciplinaire à une critique des modèles envisageables et à prendre en compte les possibilités d'adaptativité.

En pratiquant une telle approche le chercheur est conduit à démêler l'écheveau des situations naturelles et notamment les multiples signaux observés. Si une telle complexité peut rebuter le spécialiste habitué à des situations académiques, il ne faut pas oublier que le Traitement du Signal est une branche de la Physique, science expérimentale par définition. J. Fourier dans une lettre à G. Monge indiquait, qu'à son avis, l'observation de la nature était la source d'études nouvelles pouvant conduire à des résultats inattendus. Si décourageant que puisse paraître le fouillis des signaux naturels, et notamment celui des signaux d'origine biologique, c'est à leur sujet que peuvent se développer des procédés nouveaux qui n'ont pas encore la renommée nécessaire à leur diffusion. Quant aux applications, les diverses techniques de l'Acoustique sous-marine et aérienne en recèlent les potentialités qui commencent actuellement à éclore. Seule la poursuite de cet effort de recherche permettra à terme d'envisager des approches non usitées, soit des « langues nouvelles ».

B. ESCUDIÉ
U.A. 346 C.N.R.S.,
Laboratoire Traitement du Signal,
ICPI, 25, rue du Plat,
69288 Lyon Cedex 02.