

## Le traitement du signal une discipline de haut niveau à large bande



Francis CASTANIE

### Un peu d'histoire

L'émergence du Traitement du Signal (TdS) comme une discipline à part entière ne peut pas être fixée avec précision, mais on peut la situer contemporaine de l'apparition des techniques de Transmissions Radioélectriques de l'Information, et du Radar, dans les années 1940. Ces « nouvelles techniques », en effet, ont mis en évidence que l'« Information », ou le « Message », pouvaient avoir des formes concrètes particulières qui ne se satisfaisaient pas du formalisme général des Mathématiques, ou même de la Théorie de l'Information. Les objets à traiter dans ces applications étaient des fonctions du temps, non reproductibles dans leur forme, et fortement perturbées par des phénomènes physiques peu ou pas connus : bruits de fond électroniques de composants, bruits radioélectriques atmosphériques ou cosmiques, propagations dans des milieux aléatoires, etc... La nécessité d'une formalisation spécifique au Signal a été clairement ressentie dès cette époque. Des noms de pionniers tels que Wiener ou Shannon, sont à associer à des probabilistes comme Kolmogorov et des théoriciens des Processus Stochastiques comme Lévy, Khintchine, ou Blanc-Lapierre, et aussi à des statisticiens tels que Wold et Yule.

La notion de Signal s'est nettement élargie depuis cette époque : initialement limitée aux fonctions scalaires du temps, elle s'est progressivement étendue aux fonctions à un nombre quelconque de dimensions (englobant ainsi ce que l'on appelle maintenant les **signaux multicapteurs**), et à des fonctions d'autres variables que le temps (ce qui a permis d'inclure dans le même cadre les signaux bi- et tri-dimensionnels particuliers que sont les **Images**). Pendant plusieurs décennies, le Traitement du Signal a gardé la marque de la discipline qui lui a donné

naissance, l'Électronique. Les moyens de traitement, mais aussi les méthodes et parfois jusqu'aux concepts ont été influencés par cette origine. Ainsi, les premières méthodes ont elles été centrées sur ce que l'électronique dominait bien, le traitement linéaire (ou filtrage) invariant. Il a fallu attendre le milieu des années 60, et la diffusion de moyens de calculs numériques, pour voir un enrichissement très important de l'éventail de méthodes, entraînant des recherches théoriques nouvelles libérées de toute référence aux moyens matériels d'application. Cette démarche, inverse de l'élégante approche intellectuelle traditionnelle qui consiste à construire le cadre théorique avant l'application, est souvent aujourd'hui celle du Traitement du Signal, tant en Recherche que dans l'Industrie.

L'adoption de systèmes de calcul numérique comme outil de base a eu un second effet très novateur : la discipline a importé des méthodes issues d'horizons scientifiques divers, tels que l'Automatique, l'Analyse Numérique ou l'Analyse des Données. Après une période d'importation « servile », la spécificité des problèmes rencontrés a conduit la communauté de TdS à faire évoluer ces méthodes, et avoir un apport original dans ces domaines traditionnels.

C'est encore en raison du caractère spécifique de ses applications que se sont développés des processeurs spécialisés pour le Traitement Numérique du Signal et des Images : le TdS est sans doute l'une des seules disciplines à posséder son propre parc de processeurs.

La souplesse que confèrent ces moyens numériques de calcul, les limites sans cesse reculées de ce qu'il est convenu d'appeler Traitement en Temps Réel, ont étendu le domaine des applications d'une manière presque explosive. Par ce recul continu des limites du faisable, le « Traiteur de Signal » actuel se trouve dans la situation enviable où la question

territoriale de sa discipline est la suivante : « Mais dans quel problème de Traitement de l'Information n'y a-t-il pas de Traitement de Signal ? »

## Des mathématiques à application directe

L'une des caractéristiques de la discipline est le niveau mathématique qu'elle requiert pour pouvoir être appliquée. Il est courant, dans le domaine des Sciences pour l'Ingénieur, d'observer un décalage important entre le niveau théorique nécessaire à la Recherche et celui qu'on utilise effectivement pour les applications industrielles. Dans le domaine du TdS, ce décalage est beaucoup plus faible qu'ailleurs, ou, dit autrement, le niveau théorique que doit posséder l'Ingénieur pour conduire des applications très concrètes est élevé. Cette situation présente quelques avantages : tout d'abord, il valorise réellement des études de type Bac + 5, par opposition à beaucoup de spécialités proches de l'outil informatique, dans lesquelles une formation à Bac + 3 est en réalité suffisante. Le paragraphe sur la Formation en TdS détaillera ce point. Ensuite et surtout, il permet aux Ingénieurs français d'occuper une place privilégiée dans le contexte international, essentiellement grâce à l'investissement mathématique qui caractérise nos cursus. A l'heure où l'ouverture européenne induit une compétition que l'on pressent difficile, cet avantage est sûrement déterminant.

L'arsenal des outils mathématiques est vaste, et s'étend au rythme de l'introduction de nouvelles applications. Il s'est pendant longtemps limité à l'Analyse Fonctionnelle (pensons à l'incontournable Transformée de Fourier), au Calcul des Probabilités et à la théorie des Processus Stochastiques. L'émergence des méthodes dites de Modélisation a amené la culture des Séries Chronologiques, les méthodes de Reconnaissance Automatique celle de l'Analyse des Données, tandis que le traitement de Signaux Non-Stationnaires a conduit à intégrer les méthodes récursives ou itératives de l'Automatique et l'Analyse Numérique. Les développements récents imposent maintenant de s'intéresser aux approches connexionnistes ou neuromimétiques, tandis que la boulimie de Temps-Réel nécessite un investissement important en Algorithmique et en Structure des Calculateurs. Des termes tels que la vectorisation ou la « systolisation » font maintenant partie du vocabulaire du Traiteur de Signaux.

Devant une telle extension du substrat mathématique, on est en droit de s'interroger sur l'applicabilité de la discipline qu'il soutient. Curieusement, le TdS est l'un des domaines où l'application est la plus proche des formulations théoriques qui la sous-tendent. Si cela n'est pas sans poser de problèmes de Formation Initiale ou Continue, cela donne la satisfaction rare de « voir » immédiatement les résultats concrets de la formulation. Il n'y a souvent pas d'alternative à une formulation mathématiquement correcte des problèmes ; dans de nombreuses appli-

cations, aucun « bricolage » intellectuel pragmatique ne permet de les conduire jusqu'à leur terme.

## Et la formation en TdS ?

L'un des messages véhiculé par ces lignes est que, par delà le caractère séduisant de l'outil Traitement du Signal, il existe un réel problème de Formation. Ce problème doit être considéré, comme à l'accoutumé, sous ses 2 aspects Formation Initiale ou Continue. La perception des nécessités la discipline en enseignement des 2 types est très claire et lucide, de la part de la communauté de chercheurs et industriels qui la dynamisent. Des initiatives ont été prises, au travers de Sociétés Savantes telles que la S.E.E. — Société des Électriciens et Radioélectriciens — pour la France (édition d'un Annuaire national des cours et formations en TdS), ou EURASIP — European Association for Signal Processing — pour l'Europe (organisation de cours thématiques).

Les besoins sont ressentis par le monde socio-économique à 2 niveaux compétence : culture générale, ou spécialisation. Pour le *premier niveau*, qui doit permettre la veille technologique de l'ingénieur, et son éventuelle spécialisation ultérieure, les Écoles d'Ingénieurs du secteur EEAI sont pourvues de formations adéquates, qui sont données en général dans les 1<sup>re</sup> et surtout 2<sup>e</sup> années d'Écoles (cursus type ENSI). Les formations universitaires de type Maîtrise accusent, pour la plupart d'entre elles un très net retard : à l'exception de certaines M.S.T. et de rares Maîtrises E.E.A., le TdS reste encore nettement une spécialité des Écoles. Le *niveau spécialisation*, qui doit amener l'élève-ingénieur à tangenter le niveau Recherche, est l'apanage des Écoles qui ont développé leurs Laboratoires dans cette direction. Des options TdS existent dans de telles Écoles, en 3<sup>e</sup> année. Ces options présentent souvent un couplage fort avec des D.E.A.

Les enseignements de spécialisation ont, jusqu'à une date récente, été focalisés sur ces diplômes. Le TdS apparaît en effet comme l'un des domaines où la **Formation par la Recherche** est particulièrement adéquate : le niveau théorique dont il a été traité plus haut ne s'acquiert en profondeur qu'au travers d'un travail de thèse. La très forte implication du secteur industriel dans la conduite concertée et le financement des thèses en font un outil très efficace à la fois de *formation et de transfert de connaissances*.

Les formations par voie de Doctorat présentent une faiblesse évidente pour les partenaires socio-économiques, la durée de la thèse, qui maintenant s'étend en moyenne à 3 ans. Si elle est bien adaptée à la formation d'ingénieurs d'études à haut niveau de compétence et de spécialisation, elle ne répond pas au besoin d'un flux important de diplômés ingénieurs d'un très bon niveau en TdS. Un second besoin non satisfait par le système doctoral est celui de la **Formation Continue**. Il existe bien sûr des stages courts dans tous les centres de formation continue.

Mais l'enrichissement rapide des techniques et leur très large ouverture, qui ont été évoqués dans le présent article, exigent une autre réponse du système éducatif. Nous assistons maintenant à l'éclosion, ou au renforcement, de formations de longue durée (plusieurs mois à 1 année) dans de nombreux établissements d'enseignements supérieurs, qui sont ouvertes tant aux jeunes diplômés qu'aux salariés. Elles permettent d'acquérir soit une double compétence, soit une spécialisation en TdS.

Ces nouvelles formations, auxquelles viennent s'ajouter une augmentation du flux de jeunes diplômés suivant une option TdS en formation initiale, est la réponse que l'Enseignement Supérieur propose, à la mesure de forte croissance de la demande de cette compétence par le secteur industriel.

### **En guise de conclusion**

L'ouverture incessante de nouveaux champs d'applications, et l'extension continue du domaine méthodologique, contribuent à créer un climat dynamique

et une cohésion chez les « traiteurs de signaux », que n'est pas encore venu émousser une taille de communauté trop grande. L'avenir des Recherches théoriques et finalisées est très prometteur, et l'interfertilisation avec des domaines thématiques éloignés demeure l'une des marques de l'ouverture de notre discipline (on sent poindre quelques très fortes inclinations vers les systèmes experts, les grammaires formelles etc...). L'un des problèmes persistents du TdS est la difficulté du transfert des connaissances vers le secteur industriel, et de ne pas laisser se creuser un écart trop grand entre la Recherche et l'Industrie.

L'auteur aura réussi sa mission d'information s'il a su montrer dans ce bref article comment le système éducatif contribue à la résolution de ces difficultés, par un effort particulier le domaine de la Formation en Traitement du Signal <sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Une version plus complète de cet article, illustrée de nombreux exemples d'application, a été publiée dans la revue Canal.N7, n° 17, Sept. 1990, pp. 28-36.