



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Traitement de l'information : avancées et défis actuels

Journée commune SEE - Académie des sciences

27 janvier 2009



Comité de programme

Présidente : Odile MACCHI

Membre de l'Académie des sciences, Directeur de recherche émérite au LSS

Vice-président : Frédéric BARBARESCO

Président du Club SEE Signal, Image, Information, Décision

Membres : Alain APPRIOU

vice-Président de la SEE chargé des clubs techniques

François BACCELLI

Membre de l'Académie des sciences, Directeur de recherche à l'INRIA

Jacques BLANC-TALON

DGA - Mission pour la Recherche et l'Innovation scientifique

Juliette MATTIOLI

Responsable Laboratoire Mathématiques et Techniques de la Décision, Thales R&T

Erich SPITZ

Membre de l'Académie des technologies, ancien directeur R&D du groupe Thales

Michel TERRÉ

Professeur des Universités au Conservatoire National des Arts et Métiers

Organisation

Service des Colloques de l'Académie des sciences

Conception /réalisation, Académie des sciences, Marina Jimenez

Colloque organisé avec le soutien de

THALES



Présentation de la journée

Odile Macchi

Membre de l'Académie des sciences

Présidente du Comité de Programme du Colloque

Macchi.odile@orange.fr

Frédéric Barbaresco

Président du Club SEE 'Signal, Image, Information, Décision'

Vice-président du Comité de Programme du Colloque

frederic.barbaresco@thalesgroup.com

Ce colloque public sur le traitement de l'information dans ses interactions avec les mathématiques et la physique est organisé conjointement par l'Académie des sciences et la Société de l'Électricité, de l'Électronique et des Technologies de l'Information et de la Communication (SEE). Il a lieu à l'Institut de France et se place dans le cadre de la célébration des 125 ans de la SEE.

Il vient judicieusement à la suite de la séance de l'Académie du 9 octobre 2007 consacrée aux avancées en sciences de l'information (voir son programme en annexe).

Les sciences de l'information sont des disciplines jeunes et en plein développement. On pense immédiatement à la science informatique, car les outils qu'elle a mis à notre disposition ont révolutionné nos habitudes de vie et de travail, apportant de réels progrès à notre société. Cependant les nouvelles possibilités qu'elles offrent suscitent aussi des craintes.

Il est donc important de se forger une idée juste de ce que représente le traitement de l'information, et des défis posés à la science et à la société dans ce domaine. Or le traitement de l'information inclut des domaines peu familiers au grand public. Ainsi pour concevoir les nouveaux capteurs d'information, il faut parfois descendre au niveau de la physique atomique ; pour restaurer les informations qui sont distordues, noyées dans le bruit ou les interférences, il faut faire appel à des mathématiques élaborées, notamment aux théories du signal, de l'information et du codage. Et pourtant tout un chacun est concerné par les applications de ces disciplines : interprétation des images et signaux physiologiques les plus divers, réception des signaux de télécommunications, moteurs de recherche, analyse et stockage des sources sonores et vidéo, observation satellitaire, télédétection, contrôle non destructif etc.

Toutes ces questions sont clairement caractérisées par une étroite imbrication entre la recherche fondamentale et sa mise en œuvre dans des applications concrètes, les technologies correspondantes étant mises à la disposition du grand public dans des délais de plus en plus courts. D'où l'intérêt de la vision proposée au cours de cette journée publique, construite conjointement par l'Académie des sciences et la SEE, société savante d'ingénierie.

L'objectif de la journée n'est pas de présenter des résultats originaux, mais d'exposer un vaste panorama sur les derniers développements à la fois théoriques, appliqués et sociétaux du traitement de l'information, ainsi que ses enjeux et défis actuels. Le sujet sera éclairé par des scientifiques parmi les plus prestigieux, avec des regards croisés provenant de cultures différentes, mathématique et physique, académique et technique.

La table ronde ouvrira le débat sur de grandes questions de société, telles que le traitement des très grandes masses de données, leur sécurité et leur permanence, ou encore le coût énergétique du traitement de l'information, le partage du spectre entre les utilisateurs et même les questions nouvelles que posent les sciences de l'information au législateur.

En conclusion, ce colloque devrait aider les auditeurs de culture scientifique mais non spécialistes, à se forger une vision représentative des avancées actuelles et des enjeux les plus importants dans le domaine du traitement de l'information.

PROGRAMME

Traitement de l'information : avancées et défis actuels

27 janvier 2009

- 09h15 **OUVERTURE**
Alain BRAVO, Président de la SEE
Jean SALENÇON, Président de l'Académie des sciences
Alain APPRIOU, Odile MACCHI
- Session I Le traitement de l'information en interaction avec les mathématiques**
Président de séance : Michel TERRÉ
- 09h30-10h00 **Des signaux stationnaires en quel sens ?**
Patrick FLANDRIN, ENS Lyon
- 10h00-10h30 **Ondes, information et renversement du temps**
Mathias FINK, Membre de l'Académie des sciences, ESPCI Paris
- 10h30-11h00 **Mathématiques et traitement d'images : quelques exemples d'interaction**
Olivier FAUGERAS, Membre de l'Académie des sciences, ENS Paris et INRIA Sophia
- 11h00-11h30 **PAUSE**
- Session II Le traitement de l'information dans les télécommunications**
Présidente de séance : Juliette MATTIOLI
- 11h30-12h00 **La théorie de l'information et les télécommunications**
Claude BERROU, Membre de l'Académie des sciences, TELECOM Bretagne, Brest
- 12h00-12h30 **Les réseaux : l'information et l'espace-temps**
Philippe JACQUET, INRIA Rocquencourt
- 12h30-14h00 **DEJEUNER BUFFET**
- Session III Le traitement de l'information en interaction avec la physique**
Président de séance : Jacques BLANC-TALON
- 14h00-14h30 **Codes de correction d'erreurs et mécanique statistique**
Nicolas SOURLAS, ENS Paris
- 14h30-15h00 **Nouvelles architectures électroniques pour acquérir et traiter les images**
Michel PAINDAVOINE, Université de Bourgogne
- 15h00-15h30 **L'optique pour le traitement de signaux large bande**
Jean-Pierre HUIGNARD, THALES RT Palaiseau
- 15h30-16h00 **PAUSE**
Président de séance : Erich SPITZ
- 16h00-16h45 **Impact de la spintronique sur les technologies de l'information et de la communication**
Albert FERT, Prix Nobel, Membre de l'Académie des sciences, Université Paris Sud
- Session IV Table ronde**
Les défis en traitement de l'information pour la décennie à venir
- 16h45-17h45 *Organisateurs : François BACCELLI et Frédéric BARBARESCO,*
avec la participation de
Albert BIJAOU, Correspondant de l'Académie des sciences, Observatoire de la Côte d'Azur
Emmanuel, DESURVIRE, THALES, RT, Palaiseau
Pierre DUHAMEL, Laboratoire des Signaux et Systèmes, Gif-sur-Yvette,
Yves MEYER, Membre de l'Académie des sciences

RÉSUMÉS

Des signaux stationnaires en quel sens ?

Patrick Flandrin

Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure de Lyon, Université de Lyon

flandrin@ens-lyon.fr

Quoiqu'il soit omniprésent dans le domaine du signal et des images (et souvent un pré-requis pour de nombreuses tâches allant de l'analyse au traitement, en passant par la modélisation), le concept de stationnarité est avant tout une idéalisation qui n'est presque jamais observée en pratique. L'objectif de cet exposé est d'offrir un panorama sur plusieurs façons dont l'idée de stationnarité peut être reconsidérée en la plaçant dans des perspectives davantage réalistes. On s'attachera dans un premier temps aux possibilités offertes par des approches temps-fréquence qui, dans leurs développements récents, permettent une analyse exploratoire de données s'affranchissant de l'hypothèse de stationnarité et offrent ainsi une possibilité opérationnelle de test de cette dernière, en un sens relatif. Dans un deuxième temps, on élargira l'idée classique de stationnarité temporelle en l'étendant à d'autres formes d'invariances. On détaillera en particulier l'idée d'auto-similarité relative à l'invariance par changement d'échelle, sa mise en relation avec la stationnarité usuelle via la transformation de Lamperti et les généralisations possibles de cette dernière pour la prise en compte d'invariances brisées. On s'intéressera enfin à une notion de stationnarité généralisée relativement à un groupe de transformations « quelconque », et on conclura en discutant des cadres dans lesquels les différentes notions de (non-)stationnarités évoquées précédemment sont susceptibles de trouver des applications naturelles.

Plus que le détail des constructions proposées, ce sont les principes généraux qui les sous-tendent et les interprétations qui peuvent en être faites qui seront mises en avant dans l'exposé. Les résultats présentés s'appuieront pour part sur des travaux conduits en collaboration avec Pierre-Olivier Amblard (Gipsa-lab), Pierre Borgnat (ENS Lyon), Cédric Richard (UTT) et Jun Xiao (ENS Lyon & ECNU Shanghai), en particulier dans le cadre du projet ANR StaRAC (« Stationnarité relative et approches connexes »).

Session I - Le traitement de l'information en interaction avec les mathématiques

Ondes, information et renversement du temps

Mathias Fink

*Laboratoire Ondes et Acoustique – École Supérieure de Physique et de Chimie
Industrielles de la Ville de Paris*

mathias.fink@espci.fr

Les méthodes de communications et les méthodes d'imagerie ont un point commun : elles font appel, toutes les deux, à l'utilisation d'ondes comme vecteurs d'information. On montrera que la réversibilité de la propagation des ondes joue un rôle fondamental dans ces techniques. On décrira, en particulier, l'intérêt des méthodes de renversement temporel pour traiter les problèmes de propagation et d'échange d'informations en milieu complexe.

Session I - Le traitement de l'information en interaction avec les mathématiques

Mathématiques et traitement d'images : quelques exemples d'interaction

Olivier Faugeras

Membre de l'Académie des sciences

École Normale Supérieure Paris et INRIA Sophia Antipolis

olivier.faugeras@inria.fr

Les mathématiques et le traitement d'images ont tissé dans la dernière décennie des liens étroits et féconds. Je montrerai comment les solutions modernes du problème de la segmentation d'images, c'est-à-dire de l'identification automatique de zones pertinentes, font appel à des résultats mathématiques issus de la théorie du repère mobile, la géométrie riemannienne et les solutions de viscosité de certaines équations aux dérivées partielles. J'illustrerai mon propos en partie à l'aide d'exemples posés par l'imagerie cérébrale. Ce sera l'occasion d'insister sur l'importance de ces technologies d'imagerie et de faire quelques remarques sur un domaine en émergence, l'interface cerveau/machine.

Session II - Le traitement de l'information dans les télécommunications

La théorie de l'information et les télécommunications

Claude Berrou

Membre de l'Académie des sciences

Telecom Bretagne, Brest

Claude.Berrou@telecom-bretagne.eu

La théorie de l'information, en tant que science établie, a tout juste soixante ans. Elle a été à l'origine de nombreuses innovations technologiques et du formidable essor des télécommunications qui ont été son champ d'application principal. Cependant, si la théorie de l'information fournit les bases conceptuelles, les modèles et les outils d'analyse des systèmes de communication, elle ne donne pas directement les clés des solutions pratiques. Ce n'est pas une science déductive.

Les algorithmes mis en œuvre dans les systèmes de télécommunications modernes s'appuient sur des avancées pluridisciplinaires qui offrent à la théorie de l'information les méthodes et les moyens d'appliquer sous des formes variées le premier de ses commandements : la diversité. Les standards mondiaux les plus récents tels que 3G, WiFi ou WiMax exploitent des techniques de diversité temporelle, fréquentielle et spatiale qui leur permettent de fonctionner dans des conditions toujours plus difficiles de rapport signal à bruit et d'interférences.

Un exemple récent de croisement réussi de connaissances issues de plusieurs disciplines : mathématiques, physique et électronique est donné par le "principe turbo" qui régit le traitement distribué et probabiliste de l'information dans les récepteurs de télécommunications. La première application du principe turbo a concerné le codage correcteur d'erreurs (diversité temporelle) et a débouché sur l'invention des turbocodes.

La théorie de l'information ne se réduit toutefois pas à ses seules applications en télécommunications. Puisque l'information est au cœur des systèmes vivants et artificiels qui communiquent et évoluent, les progrès réalisés par cette jeune science s'avèrent aujourd'hui de bien plus large portée. Ces progrès seront notamment très utiles au développement des sciences cognitives.

Session II - Le traitement de l'information dans les télécommunications

Les réseaux : l'information et l'espace-temps

Philippe Jacquet

INRIA, Rocquencourt

philippe.jacquet@inria.fr

Nous allons explorer le modèle des réseaux de télécommunications et marquer comment ces derniers ont évolué en un siècle à partir des contributions essentielles de la physique, des mathématiques et de l'informatique. L'apport de l'informatique a permis de maîtriser la complexité croissante des télécommunications quand elles doivent assurer plusieurs millions de connexions simultanées, très diversifiées et indifféremment réparties dans l'espace. C'est la situation actuelle d'internet et de l'internet sans fil. Nous regarderons plus particulièrement les problèmes d'interaction entre les réseaux sans fil et l'espace et le temps, et examinerons la perspective future d'innover chaque hectare par plusieurs gigabits par seconde.

Session III - Le traitement de l'information en interaction avec la physique

Codes de correction d'erreurs et mécanique statistique

Nicolas Sourlas

Laboratoire de Physique Théorique de l'École Normale Supérieure, Paris

sourlas@gmail.com

Je vais d'abord montrer la correspondance mathématique entre codes de correction d'erreurs et certains modèles mathématiques de la physique des systèmes désordonnés.

Les méthodes de la mécanique statistique donnent un nouvel éclairage sur les propriétés des codes. En particulier on peut ainsi étudier les turbocodes et les codes de parité de faible densité et montrer l'existence pour ces codes d'un seuil du rapport signal sur bruit au delà duquel il est possible de communiquer avec une probabilité d'erreur arbitrairement faible.

Ce seuil correspond à une transition de phase dans le modèle physique qui correspond au code. La valeur du seuil peut être calculée avec les méthodes de la mécanique statistique.

Je montrerai par la suite comment l'invariance d'échelle pour des systèmes de taille finie, observée au voisinage d'une transition de phase, peut être utilisée pour relier entre elles les probabilités d'erreurs au voisinage du seuil lors de la transmission de mots de tailles différentes.

Je parlerai enfin du comportement «vitreux » des algorithmes de décodage au voisinage du seuil.

Session III - Le traitement de l'information en interaction avec la physique

Nouvelles architectures électroniques pour acquérir et traiter les images

Michel Paindavoine

Laboratoire d'Électronique, Informatique et Image, Université de Bourgogne, Dijon

paindav@u-bourgogne.fr

L'accroissement considérable de la quantité d'information visuelle numérique disponible place la science du signal et de l'image au centre de notre société du numérique, et ceci dans des applications très variées comme le cinéma numérique, la santé, les télécommunications, les bases de données images et vidéo, la biométrie, la télésurveillance,....

Les recherches en traitement du signal et des images conduisent généralement à des algorithmes qui sont implantés sur des stations de travail afin de simuler leur comportement principalement du point de vue fonctionnel. Néanmoins, les applications qui utilisent ces algorithmes nécessitent de réaliser ces implantations sur des architectures électroniques spécifiques car il s'agit de respecter des contraintes temps réel multiples (périodicités, latences) et des contraintes d'embarquabilité (nombre de processeurs, surface des circuits intégrés spécifiques, consommation).

Dès lors que nous abordons l'adéquation algorithme/architecture pour le traitement des images, il est nécessaire de considérer cette adéquation depuis le début de la chaîne, c'est à dire le capteur, en passant par l'unité de traitement capable d'effectuer l'algorithme désiré sous les contraintes spécifiées par l'application.

C'est pourquoi, il faut déterminer une architecture de traitement adéquate, souvent parallèle. Cette architecture pouvant être intégrée au sein même du capteur, ce qui est le cas dans plusieurs réalisations de rétines électroniques, un couplage fort apparaît entre l'acquisition et le traitement des informations. Mais cette architecture peut aussi être décentrée par rapport au site de l'acquisition et dans ce cas, le système réalisé s'apparente plus à un système de vision sur puce ou VSOC (Vision System On Chip).

Les prochaines générations de systèmes intégrant un capteur vidéo vont profiter des technologies d'intégration des photodétecteurs, des convertisseurs analogiques/numériques et des ressources de mémorisation.

Les avancées récentes de ces technologies permettent d'envisager la conception de nouvelles architectures de calcul innovantes capables de supporter des traitements d'images évolués près du capteur d'image avec une consommation électrique très faible grâce au parallélisme massif des processeurs de calcul.

Session III - Le traitement de l'information en interaction avec la physique

L'Optique pour le traitement des signaux large bande

Jean Pierre Huignard (avec les contributions de Daniel Dolfi et Jean Chazelas)

THALES Research and Technology France – Palaiseau

THALES Airborne Systems – Elancourt

Jean-Pierre.Huignard@thalesgroup.com

La mise en œuvre de technologies optoélectroniques pour le traitement parallèle ou à très haut débit de l'information constitue un sujet d'intérêt dans les laboratoires et de nombreuses fonctions exploitant les propriétés physiques des ondes optiques sont réalisées.

Les concepts de base reposent sur la capacité à moduler à très haute fréquence une onde porteuse optique issue d'une source laser et à réaliser facilement le spectre d'un signal spatial bidimensionnel ou l'analyse spectrale d'un signal temporel. Par ailleurs l'optique permet d'interconnecter des processeurs sans interférence des canaux de transmission en espace libre ou en mode guidé. Cette propriété spécifique est importante dans des architectures massivement parallèles où les informations peuvent être multiplexées en longueur d'onde.

Les travaux de recherche ont permis de valider de nombreuses architectures de traitement optoélectronique de l'information mais leur développement a nécessité des avancées technologiques importantes des composants clés que sont : les sources laser compactes, les interfaces d'entrée tels que les modulateurs spatiaux de lumière rapides, les détecteurs matriciels. Une architecture de processeur optoélectronique doit par ailleurs prendre en compte l'évolution rapide des capacités de calcul numérique des composants à base de silicium qui sont par exemple, parfaitement adaptés à un traitement local des pixels d'une image.

L'objectif de cet exposé sera de souligner les évolutions technologiques récentes des composants optoélectroniques associés à des fonctions de traitement numérique. Ils constituent la base de nouveaux dispositifs hybrides optique / électronique de traitement de l'image ou du signal modulé à très large bande.

Dans ce cadre on développera plus particulièrement les architectures suivantes :

La reconstruction d'image par codage de la pupille de l'objectif de prise de vue qui rend l'image insensible aux effets de défocalisation.

L'holographie numérique qui permet après calcul la restitution d'images 3D par diffraction à partir d'un écran matriciel cristal liquide à haute résolution.

Le traitement optoélectronique des signaux radio fréquence sur porteuse optique, en particulier pour contrôler la phase et le retard des signaux radars. Ces principes sont étendus à des fonctions d'analyse spectrale et au traitement tout optique des impulsions ultracourtes.

Les technologies clés de ces architectures de traitement hybride optoélectronique seront présentées ainsi que leur potentiel d'évolution vis-à-vis des besoins de performances dans des systèmes complexes de traitement de l'information.

Session III - Le traitement de l'information en interaction avec la physique

Impact de la spintronique sur les technologies de l'information et de la communication

Albert Fert

Prix Nobel

Membre de l'Académie des sciences

Unité Mixte de Physique CNRS/Thales, Palaiseau et Univ. Paris-Sud, Orsay

albert.fert@thalesgroup.com

La spintronique, qui exploite l'influence du spin sur la conduction électrique et prend racine dans des recherches fondamentales sur les propriétés de transport des métaux ferromagnétiques, s'est développée après la découverte de la Magnétorésistance Géante (GMR) en 1988 et est aujourd'hui en pleine expansion. Elle a des applications importantes. L'utilisation de la GMR à la lecture des disques durs est la plus connue. Elle a conduit à une augmentation considérable des densités de stockage d'information.

Aujourd'hui la spintronique se développe sur de nombreux axes. Le transfert de spin, par exemple, permet de manipuler l'aimantation d'un ferromagnétique sans appliquer de champ magnétique mais seulement par transfert de moment angulaire de spin amené par un courant électrique. Il sera bientôt appliqué à l'écriture de mémoires magnétiques (MRAM pour nos ordinateurs) et à la génération d'ondes hyperfréquence (application en télécommunications). La spintronique associant matériaux magnétiques et semiconducteurs et la spintronique moléculaire se développent également. L'exposé passera en revue les avancées récentes et leur potentiel technologique.

ANNEXE

Dans le cadre des séances publiques de l'année 2007, l'Académie des sciences a déjà organisé la séance suivante sur le sujet voisin

Avancées en Sciences de l'Information

le 9 octobre 2007

L'enregistrement vidéo ainsi que le programme complet de cette conférence est visible sur le site de l'Académie des sciences.

http://www.academie-sciences.fr/conferences/seances_publices/html/gasi_09_10_07.htm

Programme

*14h30 **Introduction par François Baccelli**, de l'Académie des sciences.*

*14h35 **Georges Gonthier**, Centre de recherche commun INRIA-Microsoft Research
"Le théorème des quatre couleurs: ingénierie d'une preuve formelle".*

*15h05 **Gilles Schaeffer**, CNRS - Laboratoire d'informatique de l'Ecole polytechnique
"Arbres couvrants canoniques, des géométries aléatoires à la compression de maillages".*

*15h35 **Patrice Abry**, CNRS - ENS Lyon
"Invariance d'échelle pour la modélisation du trafic Internet".*

*16h05 **Laurent Massoulié**, Thomson
"Diffusion épidémique d'information dans les réseaux pair-à-pair".*

*16h35 **Frédéric Cazals**, INRIA Sophia, projet Geometrica
"Modèles et algorithmes pour la description des interactions macro-moléculaires : le triptyque biophysique - géométrie - statistiques".*

*17h05 **Sylvain Soliman**, INRIA Rocquencourt, projet Contraintes
"Langages formels pour la biologie systémique dans la machine abstraite biochimique BIOCHAM".*