# Equipe Signal et Communications

## 1 Composition

**Membres permanents.**

- Antoine Chevreuil, Maître de Conférences,
- Philippe Loubaton, Professeur,
- Jean-Christophe Pesquet, Professeur, responsable,
- Christophe Vignat, Maître de Conférences.

**Doctorants.**

- Marc Castella, doctorant, début de thèse en Septembre 2001, allocataire normalien, sujet de thèse: “Séparation de sources non linéaires dans le cas de mélanges convolutifs”,
- Caroline Chaux, doctorante, début de thèse en Octobre 2003, financement: allocation MENRT, sujet de thèse: “Analyse de signaux par bancs de filtres $M$-bandes; applications au traitement de signaux sismiques”,
- Julien Dumont, doctorant, début de thèse en Novembre 2003, financement: bourse CIFRE avec France Telecom Recherche et Développement, sujet de thèse: ”Utilisation d’informations partielles dans les systèmes de communication multi-entrées / multi-sorties”,
- Jérome Gauthier, début de thèse en Octobre 2004, financement: bourse CIFRE avec l’Institut Français du Pétrole, sujet de thèse: ”Analyse, détection et filtrage de signaux et d’images par bancs de filtres; applications aux géosciences”.
- Pierre Jallon, doctorant, début de thèse en Septembre 2003, financement: allocation DGA-CNRS, sujet de thèse: ” Séparation aveugle de signaux cyclostationnaires”,
- Wided Miled, doctorante effectuant sa thèse à l’INRIA-Rocquencourt, début de thèse en Février 2004, financement: bourse INRIA, sujet de thèse : “Analyse d’images de scènes routières par approches multi-résolution pour la détection des obstacles routiers”,
- Belkacem Mouhouche, doctorant co-encadré par K. Abed-Meraïm de l’ENST Paris, début de thèse en Septembre 2002, financement: bourse CIFRE avec Wavecom, sujet de thèse: “Récepteurs avancés pour la liaison descendante de l’UMTS”,
- Teodora Petrisor, doctorante co-encadrée avec B. Pesquet-Popescu de l’ENST Paris, début de thèse en Novembre 2003, financement: bourse GET, sujet de thèse: “Décompositions en ondelettes redondantes pour le codage vidéo par descriptions multiples”.

**Ancien membres.**

- Philippe Ciblat, doctorant de 1996 à 2000, sujet: "Quelques problèmes d'estimation relatifs aux télécommunications non coopératives", devenir du doctorant: Maître de Conférences à l'ENST Paris.
- Walid Hachem, doctorant de 1997 à 2000, sujet: "Déconvolution autodidacte au second ordre de signaux vectoriels en présence de bruit additif", devenir du doctorant: Professeur associé à SUPELEC.
- Samson Lasaulce, doctorant de 1998 à 2001, sujet: "Estimation de canal et détection multi-utilisateurs pour les systèmes UMTS-TDD", devenir du doctorant: Chargé de recherches au CNRS.
- Mérouane Debbah, doctorant de 1999 à 2002, sujet: "Précodeurs linéaires pour les transmissions OFDM sans fils", devenir du doctorant: Maître de Conférences à l'Institut Eurecom.
- Sébastien Houcke, doctorant de 1999 à 2002, sujet: "Séparation autodidacte d'un mélange de sources émettant à des débits inconnus et éventuellement différents", devenir du doctorant: Maître de Conférences à l'ENST de Bretagne.
- Jean-Marie Chaufray, doctorant de 1999 à 2002, sujet: "Détection et démodulation de stations de bases dans un réseau UMTS", devenir du doctorant: Ingénieur à FranceTelecom Recherche et Développement.
- Pascal Bianchi, doctorant de 2000 à 2003, sujet: "Démodulation aveugle de modulations non linéaires à phases continues", devenir du doctorant: Professeur associé à SUPELEC.

## 2 Thèmes de recherche

Les thématiques de l'équipe concernent les communications numériques, la séparation de sources, la théorie de l'information, et l'analyse en ondelettes 2D.

**Communications numériques.**
Le premier volet de nos activités a concerné l'étude des récepteurs pour les systèmes CDMA et MC-CDMA (estimation de canal, récepteurs linéaires), ainsi que l'évaluation de leurs performances. Nous nous sommes en particulier intéressés au cas de systèmes de grandes tailles à codes aléatoires. Dans ce contexte, nous avons utilisé diverses techniques provenant de la théorie des matrices aléatoires de grande taille, et obtenu des résultats significatifs. Nous avons par ailleurs approfondi notre expertise des problèmes liés à la surveillance du spectre radio-électrique. Cette thématique, assez peu explorée dans la communauté, a permis la mise en évidence de problèmes peu conventionnels de traitement statistique du signal . Nos travaux ont bénéficié d'un soutien conséquent de la DGA et de Thalès Communication via trois allocations DGA-CNRS et deux contrats.

**Séparation de sources.**
Nos travaux ont principalement concerné les techniques de séparation de mélanges convolutifs de sources par maximisation de fonctions de contrastes. Alors que la très grande majorité des travaux existants s'intéressent à des signaux sources obtenus par filtrage de suites indépendantes et identiquement distribuées, nous avons considéré le cas de signaux stationnaires non linéaires, mais aussi cyclostationnaires du fait de leur pertinence dans le contexte de l'écoute passive.

**Théorie de l'Information.**
Nos travaux ont porté sur les inégalités entropiques et sur une famille d'entropies généralisées. Nous avons notamment obtenu une extension de l'inégalité de la puissance entropique à une famille de lois dicrètes; une généralisation des inégalités sur les informations de Fisher dans les systèmes linéaires a été étudiée. Nous

avons entrepris l'étude des entropies de Rényi et Tsallis en caractérisant leurs lois maximisantes et leur applicabilité au problème de l'égalisation aveugle.

**Analyse en ondelettes 2D.**
Des recherches sont menées sur divers développements récents de la théorie des ondelettes en vue de la restauration et de la compression d'images. Les champs d'applications envisagés sont variés : imagerie multispectrale, analyse d'images sismiques (en liaison avec l'Institut Français du Pétrole), compression vidéo,... Nos contributions portent aussi bien sur la conception de trames d'ondelettes appropriées aux traitements considérés que sur la définition de nouveaux estimateurs non linéaires tirant profit des spécificités des décompositions espace-échelles. Parmi les estimateurs étudiés, mentionnons des approches d'optimisation convexe sous contraintes, lesquelles sont calculées de manière adaptative, en fonction des données.

En termes de perspectives, chacune des thématiques présentées plus haut est suffisamment riche pour pouvoir être poursuivie dans le cadre du prochain quadriennal. Nous comptons toutefois investir davantage le domaine des grandes matrices aléatoires en abordant des problèmes de traitement statistique des signaux multivariables liés à nos problématiques dans le cas, en pratique très fréquent, où la dimension des vecteurs observés est du même ordre de grandeur que le nombre d'observations. Dans ce contexte, certaines techniques d'estimation paramétrique usuelles fournissent des estimateurs non consistants, et doivent donc être repensées. Bien que certains résultats soient déjà disponibles [1], il reste un travail très important à accomplir afin de disposer d'outils statistiques bien adaptés à nos contextes applicatifs.

# 3 Résultats

## 3.1 Communications numériques.

**Membres permanents:** A. Chevreuil, Ph. Loubaton.

**Doctorants participant ou ayant participé:** P. Bianchi, J.M. Chaufray, Ph. Ciblat, M. Debbah, J. Dumont, W. Hachem, S. Houcke, P. Jallon, S. Lasaulce, B. Mouhouche.

Du fait de l'explosion du secteur des télécommunications, les problèmes liés à la conception de la couche physique des systèmes de communication numériques ont connu depuis une dizaine d'années un grand regain d'intérêt. Nous développons donc depuis cette date des méthodologies avancées de traitement statistique du signal appliquées au domaine des communications numériques. Après avoir effectué divers travaux relatifs à l'estimation et à l'égalisation aveugles de canaux de transmission (voir par exemple [15], [14], [38], [13] pour les articles les plus récents), nos travaux dans la période 2001-2004 ont concerné d'une part des problèmes d'estimation aveugle peu conventionnels rencontrés dans le contexte de la surveillance du spectre radio-électrique, et d'autre part la conception et l'étude des performances de systèmes à accès multiples à répartition par les codes (CDMA) dont l'importance est liée au développement des systèmes de communication mobiles de troisième génération (CDMA 2000, UMTS) et de quatrième génération.

### 3.1.1 Estimation aveugle pour la surveillance du spectre radio-électrique.

Les recherches développées dans le cadre de ce thème sont motivées par des problèmes applicatifs rencontrés dans la surveillance du spectre radio-électrique. Dans ce contexte, il convient de détecter un ou plusieurs émetteurs actifs dans une bande de fréquence donnée, et d'obtenir le plus d'informations possible sur leurs caractéristiques techniques. Nous nous intéressons en particulier à l'estimation de paramètres techniques tels

[1] V.L. Girko, "An introduction to Statistical Analysis of Random Arrays", VSP, The Netherlands, 1998

que le rythme des symboles, la valeur de la fréquence porteuse, l'indice de modulation dans le cas de modulations de fréquence à phase continue, ou la nature de la constellation utilisée par les symboles. Cet axe de recherche est soutenu par la DGA (3 thèses financées par des allocations DGA-CNRS ([3], [6], [1]) ont été soutenues entre 2000 et 2003, et une quatrième thèse de ce type est en cours) et par Thalès-Communications (2 contrats entre 2001 et 2003 liés à la thèse de P. Bianchi).

Lorsque le signal reçu est modulé linéairement par un train de symboles, le rythme symbole est le plus souvent estimé en remarquant qu'il coïncide avec la plus petite fréquence cyclique du signal reçu. Il est donc possible de l'estimer en maximisant dans le domaine cyclique la norme d'un vecteur construit à partir de coefficients de corrélations cycliques estimés. Nous avons étudié en détail les propriétés asymptotiques des estimateurs de ce type (consistance, normalité asymptotique) en remarquant qu'ils sont définis en maximisant un périodogramme, et en adaptant les résultats connus en la matière à notre contexte un peu particulier. Nous avons également évalué les variances asymptotiques des estimateurs de façon à mettre en évidence l'impact de paramètres tels que le nombre de corrélations cycliques prises en compte sur leurs performances ([17]). Ces techniques ont été adaptées au contexte de l'estimation de la porteuse du signal reçu dans [16].

Les approches cycliques sont réputées pour être peu performantes dans le cas, en pratique très fréquent, où le signal reçu a un très faible excès de bande. Nous avons donc développé (thèse de S. Houcke [6]) une approche complètement différente consistant à chercher à estimer conjointement le débit symbole et extraire les symboles transmis. Pour ceci, nous échantillonnons le signal reçu à un rythme variable, et adaptons sur les diverses versions échantillonnées un égaliseur aveugle maximisant une fonction de contraste. Nous avons alors établi que la période symbole coïncide avec la période d'échantillonnage pour laquelle le critère de contraste mesuré en sortie de l'égaliseur est maximum ([28]), et proposé un algorithme très performant, mais relativement complexe, permettant de mettre en oeuvre cette idée. Cette technique a également été étudiée dans un cadre multi-sources ([29]).

Enfin, nous avons étudié des problèmes du même type dans le cadre spécifique des modulations de fréquences à phase continues (modulations CPM, thèse de P. Bianchi, [1]), peu abordé dans la littérature. Dans ce contexte, le problème le plus délicat consiste à estimer un paramètre appelé indice de modulation. Pour ceci, nous avons proposé une approche basée sur le fait que l'inverse de l'indice coïncide avec la plus petite puissance à laquelle il faut élever le signal reçu afin d'y faire apparaitre une composante sinusoidale. Afin de se faire une idée claire des performances de cette approche, nous avons entrepris une étude des propriétés asymptotiques de l'estimateur qui fait apparaitre un comportement très inhabituel (loi limite non gaussienne, vitesse de convergence en l'inverse de la fenêtre d'observation, [8]). Cette idée a ensuite été utilisée pour mettre en évidence un estimateur conjoint de l'indice, du résidu de porteuse, et de la période symbole ([9]). Les paramètres de la modulation étant estimés, nous nous sommes intéressés à la restitution des symboles transmis par l'émetteur. Lorsque la réception du signal est perturbée par un canal de propagation sélectif en fréquence, il convient de compenser l'effet du canal par un égaliseur aveugle. Nous avons donc considéré le problème de l'égalisation aveugle de signaux CPM, qui en dépit de son importance dans le contexte de l'écoute passive, n'avait pas été beaucoup étudié par le passé. Les signaux CPM étant de module 1, nous avons tout naturellement étudié le comportement de l'algorithme du module constant, et montré que contrairement au contexte des modulations linéaires, son utilisation ne permettait pas nécessairement de compenser le canal ([8]).

A l'exception du travail [29], nous nous sommes intéressés au cas où la bande de fréquence analysée ne contient qu'un seul émetteur. Dans le cas où plusieurs émetteurs différents interfèrent dans la bande, les techniques que nous avons développées ne fonctionnent pas. Lorsque le récepteur dispose de plusieurs capteurs, il est potentiellement possible de séparer spatialement les signaux qu'ils transmettent afin de se ramener au cas mono-émetteur. Ce point fait l'objet de la thèse de Pierre Jallon, et sera développé dans le paragraphe consacré à nos travaux en séparation de sources.

### 3.1.2 Conception de récepteurs et évaluation de performances pour les systèmes CDMA.

L'accès multiple à répartition par les codes (CDMA) est un mode d'accès multiple dans lequel on fait transiter à tout instant tous les utilisateurs du système (en fait d'une même cellule) dans la même bande de fréquence. Les signaux convoyés par les différents émetteurs sont multipliés par des fonctions orthogonales entre elles, et peuvent être séparés au niveau du récepteur en effectuant des produits scalaires pertinents. Cette vision d'un récepteur CDMA est cependant quelque peu idyllique car l'orthogonalité entre les signaux correspondants à chaque utilisateur n'est en pratique jamais assurée, d'une part en raison de l'asynchronisme inévitable existant entre ces signaux dans le cas des communications montantes (communications des mobiles à destination d'un récepteur situé au niveau d'une station de base), et d'autre part du fait que même dans le cas synchrone, la présence d'un canal de transmission dispersif entre émetteur(s) et récepteur(s) détruit l'orthogonalité. Il convient donc d'étudier des récepteurs plus sophistiqués, nécessitant l'estimation et la compensation des canaux de transmission entre les divers émetteurs et le récepteur, et dans chaque type d'application, de mettre en évidence le bon compromis performances / complexité. Ces problèmes sont évidemment similaires à ceux que l'on rencontre dans les systèmes mono-utilisateurs, mais ils sont considérablement compliqués par le caractère multi-utilisateurs du système. L'importance de cette thématique est renforcée actuellement par le développement du système de troisième génération UMTS qui est basé sur le CDMA. Nos travaux ont en particulier fait l'objet de collaborations et contrats industriels : les thèses de S. Lasaulce ([7]) et M. Debbah ([4]) ont été financées ou co-financées par le centre de recherche de Motorola de Saint-Aubin, la thèse de J.M. Chaufray ([2]) a été financée par Thalès-Communications, et celles de B. Mouhouche et J. Dumont font l'objet d'une convention Cifre avec la société Wavecom et FranceTelecom Recherche et Développement, respectivement. Nous avons par ailleurs participé au projet RNRT DOLIE piloté par la Sagem (2000-2002) destiné à étudier la faisabilité du CDMA pour les transmissions haut débit sur le réseau électrique, ainsi qu'au projet IST du 5ème PCRD ANTIUM piloté par Thalès-Communications (2001-2003) au sein duquel nous avons développé des algorithmes permettant d'étudier finement les scénarios de brouillage dans les futurs réseaux UMTS.

En termes de résultats académiques, nos travaux ont plus particulièrement été consacrés au problème de l'estimation de canal, et à celui de l'application de techniques issues du domaine des grandes matrices aléatoires à l'évaluation des performances des différents récepteurs.

<u>Estimation de canal dans les systèmes CDMA.</u> L'une des causes limitant le plus les performances d'un système CDMA est la présence d'un canal de propagation à trajets multiples entre l'émetteur et le récepteur. Afin de pallier la perte d'orthogonalité entre codes que le canal produit, il convient de l'estimer et de compenser son effet. Pour ceci, l'émetteur transmet des symboles pilotes grâce auxquels l'équivalent temps discret du canal peut être estimé de façon basique. En pratique, les performances de cet estimateur conventionel sont insuffisantes dès que la charge du système est quelque peu conséquente. Nous avons donc tout d'abord cherché à mettre en évidence des estimateurs plus performants utilisant conjointement les symboles pilotes et le signal reçu correspondant à la transmission de données inconnues ([30]). L'utilisation de ce type d'approche, dite semi-aveugle, ne peut toutefois être envisagée que dans le cas d'un système CDMA dont les codes sont invariants dans le temps. Puisque cette condition n'est pas respectée dans le contexte de systèmes importants tels que IS-95 ou l'UMTS, nous avons considéré une toute autre approche basée sur l'observation bien connue que la connaissance des propriétés statistiques du second ordre du canal permet, grâce à un filtrage de Wiener ou une procédure de réduction de rang, d'améliorer les performances de l'estimateur conventionnel. Nous nous sommes donc intéressés au problème de l'estimation consistante des statistiques du canal. La plupart des travaux existants proposent pour cela d'estimer la matrice de covariance du canal par la matrice de covariance empirique de l'estimateur conventionnel. Cependant, cet estimateur n'est pas consistant, et nous

avons montré comment la présence d'un code de scrambling pouvait être utilisée pour mettre en évidence un estimateur consistant ([12]).

Matrices aléatoires et évaluation des performances de récepteurs. Le second volet de nos recherches actuelles concerne l'évaluation des performances des grands systèmes CDMA. Notre préoccupation rejoint des travaux récents menés à Berkeley (D. Tse [2]) et Princeton (S. Verdu [3]) visant à analyser les performances de certains récepteurs linéaires. Dans ce contexte, l'indicateur de performance le plus naturel est le rapport signal à interférence plus bruit (SINR) en sortie du récepteur. Son évaluation analytique est tout à fait triviale, mais la formule le définissant, qui dépend de façon complexe des codes d'étalement alloués aux divers utilisateurs, n'est quasiment pas exploitable. On ne peut en particulier pas l'utiliser pour analyser, autrement que par de lourdes simulations, l'impact sur les performances de paramètres tels que la charge du système, la politique de contrôle de puissance, l'existence de récepteurs multi-capteurs, le compromis entre codage et étalement....Afin de résoudre ce problème, Tsé et Verdu ont proposé de modéliser la matrice formée des codes d'étalement par une matrice aléatoire à coefficients indépendants et identiquement distribués (i.i.d.), et de s'intéresser au comportement du SINR quand le nombre d'utilisateurs et le facteur d'étalement convergent vers l'infini à un rythme comparable. Il a été établi que ceci peut se ramener à étudier la distribution des valeurs propres de grandes matrices aléatoires formées à partir d'entrées i.i.d. Grâce à divers résultats, on peut alors établir que le SINR converge presque sûrement vers une quantité déterministe, ne dépendant évidemment pas de la réalisation particulière de la matrice des codes. De plus, le SINR est donné par une formule explicite qui permet de bien comprendre l'influence des paramètres les plus importants sur les performances du récepteur. Si le modèle de matrice de code i.i.d. permet de bien représenter la réalité dans le cas d'une liaison montante asynchrone, il constitue un modèle tout à fait inapproprié pour décrire les matrices utilisées dans les liaisons descendantes, qui sont quasiment toujours orthogonales. Nous nous sommes donc intéressés aux mêmes questions, mais quand on remplace les codes i.i.d. par les matrices aléatoires orthogonales les plus courantes, i.e. celles dont la loi de probabilité est uniforme sur le groupe des matrices unitaires (distribution de Haar). Dans ce contexte, les outils statistiques sont d'une nature tout à fait différente, et nous avons utilisé des résultats issus de la théorie des probabilités libres afin de parvenir à analyser les SINR de différents types de récepteurs et à établir qu'ils convergent également vers une quantité déterministe. Ce travail a été mené dans le cadre des systèmes CDMA ([11]) et des systèmes MC-CDMA ([20], [21]); voir également l'article de synthèse issu de la conférence invitée [41]. Nous avons également abordé de la même manière le problème de l'évaluation des performances de récepteurs de complexité réduite basé sur la technique du filtrage de Wiener à rang réduit, qui consistent à estimer le symbole courant en le projetant sur un sous-espace de petite dimension, appelée rang du récepteur, formé à partir du signal observé. En utilisant des résultats relatifs au comportement asymptotique de certains polynômes orthogonaux, nous avons mis en évidence l'impact du rang sur les performances du récepteurs ([40], [43], [44]). D'une façon générale, l'utilisation des grandes matrices aléatoires dans le domaine des communications numériques et du traitement statistique du signal nous semble être une direction de recherche très prometteuse. En effet, la plupart des résultats qui ont été obtenus jusqu'à maintenant ne concernaient que des modèles simples ne représentant pas toujours fidèlement la réalité. Afin de traiter des scénarios plus réalistes, il convient d'adapter les résultats mathématiques existants, voire même de développer de nouvelles approches. Compte tenu de l'ampleur de la tâche, nous collaborons avec d'autres équipes du domaine, notamment dans le cadre du réseau d'excellence NEWCOM, et avec des mathématiciens spécialistes des matrices aléatoires. Nous avons en particulier mis en place, en collaboration avec J. Najim (LTCI), l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques MALCOM (Application des Matrices Aléatoires à l'Evaluation des Performances des Systèmes de Communication) associant des jeunes chercheurs que nous avons formé (Ph. Ciblat, M. Debbah, W. Hachem, S. Lasaulce) et des mathématiciens de très haut niveau (O. Khorunzhy de l'université de Versailles, L. Pastur de l'Institut de Physique des Basses Températures à Kharkov). Par ailleurs, nous avons invité un mois à l'UMLV V. Girko qui est sans doute l'un des tous premiers

[2] D.Tse, S. Hanly, IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, no. 2, pp. 641-657, March 1999
[3] S. Verdu, S. Shamai, IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, no. 2, pp. 622-640, March 1999

spécialistes de ces questions.

## 3.2 Séparation de sources.

**Membres permanents:** A. Chevreuil, Ph. Loubaton, J.-C. Pesquet.

**Doctorants participant ou ayant participé:** M. Castella, S. Houcke, P. Jallon.

### 3.2.1 Présentation de la problématique.

Dans de nombreuses applications, on observe un signal vectoriel $\mathbf{y}(n)$ de dimension $N$ qui peut être modélisé comme la sortie d'un système linéaire $K$-entrées / $N$-sorties inconnu excité par un signal vectoriel $\mathbf{s}(n)$ non observable, de dimension $K$. Autrement dit,

$$\mathbf{y}(n) = \sum_k \mathbf{H}_k \, \mathbf{s}(n-k)$$

où $\sum_k \mathbf{H}_k z^{-k}$ est la fonction de transfert du système. Les composantes de l'entrée $\mathbf{s}(n)$ représentent des signaux dus à des sources indépendantes qui se propagent dans un milieu, tandis que le système linéaire inconnu approxime l'effet de la propagation dans le milieu. Dans un contexte de ce type, le problème de la séparation de sources consiste à tenter de reconstituer les signaux sources, c'est-à-dire les composantes de $\mathbf{s}(n)$, à partir de la seule connaissance du signal observé. L'une des applications possibles de cette problématique est celle de l'écoute passive déjà évoquée plus haut dans le cas où plusieurs émetteurs interfèrent dans la bande passante analysée. Il existe cependant bien d'autres contextes où la séparation de sources est un problème pertinent, par exemple la prise de son multi-locuteurs, le contrôle non destructif, l'analyse de certains types d'images,...

La majorité des travaux qui ont été consacrées à ce problème ont considéré le cas où les composantes de $\mathbf{s}(n)$ sont des suites indépendantes et identiquement distribuées (i.i.d. en abrégé) non gaussiennes. Dans ce contexte, on peut généraliser simplement les approches basées sur la maximisation de fonctions de contrastes introduites dans le contexte de la déconvolution aveugle. Deux approches de la séparation de sources i.i.d par fonction de contraste peuvent être distinguées:

- Les approches de séparation par bloc consistent à chercher un filtre $N$–entrées / $K$–sorties de fonction de transfert $\mathbf{G}(z)$ maximisant une fonction bien choisie $J(\mathbf{G})$ s'exprimant en fonction des statistiques du signal $\mathbf{r}(n) = [\mathbf{G}(z)]\mathbf{y}(n)$. Des fonctions de coût dont le maximum est atteint si et seulement chaque composante de $\mathbf{r}(n)$ est une version retardée et/ou pondérée de chaque composante de $\mathbf{s}(n)$ ont ainsi été mises en évidence [34]. Cependant, la plupart de ces fonctions doivent être maximisées sous une contrainte portant sur $\mathbf{G}(z)$ permettant d'assurer que la même source n'est pas extraite plusieurs fois. La contrainte la plus fréquemment rencontrée est celle de para-unitarité, i.e. $\mathbf{G}(e^{2i\pi f})\mathbf{G}(e^{2i\pi f})^* = \mathbf{I}_K$. Bien entendu, l'ensemble des filtres para-unitaires est d'une nature complexe, et y maximiser une fonction n'est en pratique pas facile.

- Les approches par déflation (aussi qualifiées d'approches séquentielles), proposées à l'origine dans [4] consistent à extraire la première source, à identifier et soustraire sa contribution au signal $\mathbf{y}(n)$ afin de former un nouveau mélange convolutif de $K-1$ sources. L'étape initiale peut alors être répétée $K-1$ fois pour séparer toutes les sources. Afin d'extraire la première source, on cherche une fonction de transfert $\mathbf{g}(z)$ $N$–entrées / 1–sortie maximisant une fonction bien choisie $J(\mathbf{g})$ s'exprimant en fonction des statistiques du signal scalaire $r(n) = [\mathbf{g}(z)]\mathbf{y}(n)$. Comme dans les approches par bloc, on peut mettre en évidence facilement des fonctions $J$ dont le maximum est atteint si et seulement si $r(n)$ coïncide avec

[4] N. Delfosse, Ph. Loubaton, Signal Processing, 45, 1995, pp. 59-83

l'une des composantes de $\mathbf{s}(n)$ à un retard près. L'exemple le plus simple est la valeur absolue du kurtosis de $r(n)$ définie par

$$J(r) = \left| \frac{c_4(r(n))}{(\mathbb{E}(|r(n)|^2))^2} \right| \tag{3.1}$$

où $c_4(r(n))$ représente le cumulant d'ordre 4 de la variable aléatoire $r(n)$.

Ces approches s'étendent immédiatement aux signaux sources qui sont des processus linéaires, c'est-à-dire des signaux obtenus par filtrage linéaire de suites i.i.d. non gaussiennes. En effet, il suffit de remplacer dans tout ce qui précède les signaux sources $s_k$ par les suites i.i.d. $\nu_k$ qui les engendrent pour se ramener au cas i.i.d. Les algorithmes de séparation décrits plus haut reconstituent alors les $\nu_k$ (c'est-à-dire des versions filtrées particulières des $s_k$) à un retard près.

### 3.2.2 Résultats obtenus.

L'hypothèse suivant laquelle les signaux sources sont des suites i.i.d. ou des processus linéaires est assez restrictive en pratique. Nous nous sommes donc intéressés à la séparation des mélanges convolutifs de signaux stationnaires (classe beaucoup plus large que celle des processus linéaires) par des techniques de fonctions de contraste.

Dans le cadre des approches par bloc, une partie non négligeable des contrastes considérés dans le cas i.i.d. ne fonctionne plus dans le cas stationnaire. Nous avons cependant montré qu'il était possible d'aborder le problème dans le domaine spectral, par une approche originale. De nouveaux contrastes fréquentiels s'exprimant à l'aide des polyspectres des observations ont ainsi été proposés dans [10]. L'équivalence de ces critères avec des formes temporelles a également été montrée, dans certains cas, ce qui permet la construction d'une vaste classe de contrastes pour des sources non i.i.d. L'un des inconvénients de cette approche est néanmoins de requérir un pré-blanchiement des données. Une autre difficulté est qu'il est nécessaire de mettre en oeuvre des algorithmes d'optimisation [14] permettant d'éviter les maximas locaux parasites que présentent généralement ces contrastes par bloc.

Une façon de pallier ces problèmes est de recourir à des approches séquentielles où les sources sont estimées les unes après les autres. Nous avons en particulier établi dans [40] que la plupart des contrastes utilisés dans le cas i.i.d. par les approches par déflation continuaient à être valides, la différence étant que l'algorithme d'optimisation fournit des versions filtrées des signaux sources. Des alternatives à ces méthodes de déflation ont également été envisagées afin de limiter les phénomènes d'accumulation d'erreurs au fil des itérations et d'accélérer la convergence des algorithmes d'optimisation mis en œuvre. Ces travaux réalisés pendant la thèse de M. Castella ont montré qu'il pouvait être avantageux de remplacer la méthode de moindres carrés utilisée dans la déflation pour soustraire les sources déjà extraites, par une procédure de décorrélation [16]. Il a également été souligné l'intérêt de techniques de post-optimisation où les contraintes sont relaxées au voisinage d'une solution afin de réduire l'erreur d'estimation. Dans le cadre d'une collaboration avec E. Moreau (ISITV-Toulon), une autre voie prometteuse a été prospectée qui consiste à maximiser des "contrastes avec référence" [13] employant des cumulants croisés du type $c_4\big(r(n), r(n), z(n), z(n)\big)$ entre une estimation $r(n)$ d'une source et un signal de référence $z(n)$. Ce dernier peut être choisi comme une version filtrée quasiment quelconque des sources. L'intérêt de cette approche est de conduire à des critères quadratiques dont la maximisation est aisée.

Les signaux générés par des systèmes de communication numérique ne sont pas stationnaires, mais cyclostationnaires. Afin de pouvoir utiliser des techniques de séparation de sources dans le contexte de l'écoute passive, nous étudions le problème de la séparation de sources cyclostationnaires (thèse de P. Jallon). Par rapport au cas stationnaire, deux difficultés nouvelles apparaissent. Il faut tout d'abord revoir les fonctions de contraste du cas stationnaire puisque, souvent basées sur les statistiques du signal de sortie du séparateur, leur expression fait apparaitre une dépendance temporelle. A titre d'exemple, le kurtosis défini par (3.1) dépend de l'instant $n$. Comme les filtres séparateurs sont invariants au cours du temps, il est évidemment hors de question de maximiser ce contraste à chaque instant car les filtres obtenus dépendraient alors du temps. Il faut donc reconsidérer les fonctions de contraste du cas stationnaire de façon à les rendre invariantes au cours du temps. Dans le contexte du kurtosis, nous avons par exemple établi dans [37] que la maximisation de

$$J'(r) = \left| \frac{< c_4(r(n))) >}{(< \mathbb{E}(|r(n)|^2)) >)^2} \right| \tag{3.2}$$

permet d'extraire un signal source. Le symbole $< >$ désigne l'opérateur de moyenne temporelle défini par $< u(n) >= \lim_{N \to +\infty} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} u(n)$.

Le deuxième problème posé par la présence de signaux cyclostationnaires concerne l'estimation des fonctions de contraste. En effet, les estimateurs des divers moments et statistiques utilisés dans le cas stationnaire pour évaluer les fonctions de contraste les plus usuelles ne convergent pas vers les valeurs souhaitées. Dans ces conditions, on ne maximise pas les bonnes fonctions, et les performances des méthodes de séparation peuvent en être gravement affectées. A titre d'exemple, estimer de façon consistante $< c_4(r(n)) >$ nécessite l'estimation des fréquences cycliques du signal observé, problème statistique qui est parfois difficile à résoudre.

Afin de contourner cette difficulté, nous avons montré que l'approche d'estimation/égalisation conjointe mise en évidence dans [28] pouvait être généralisée dans le cas multi-sources ([29]) quand les signaux sources sont des modulations linéaires. L'algorithme résultant de [29] étant très complexe à mettre en oeuvre, l'approche que nous étudions actuellement consiste à mettre en évidence des fonctions de contrastes dont l'estimation consistante ne pose aucun problème, et qui, au moins dans certains cas, permettent de séparer des sources cyclostationnaires. C'est par exemple le cas de la fonction définie par

$$\left| \frac{< \mathbb{E}(|r(n)|^4) >}{(< \mathbb{E}(|r(n)|^2) >)^2} - 2 \right|$$

qui s'estime simplement, et se comporte comme une fonction de contraste dans le cas où les signaux à séparer ont des fréquences cycliques différentes ([37]), ou encore de la fonction

$$\frac{< \mathbb{E}(|r(n)|^4) >}{(< \mathbb{E}(|r(n)|^2) >)^2}$$

qui fonctionne si les signaux sources sont obtenus en modulant linéairement des symboles de module constant. Ces exemples montrent que l'on peut être en mesure de séparer certains mélanges de sources cyclostationnaires par le biais d'approches dont la complexité et les performances sont du même ordre de grandeur que dans le cas stationnaire. Il reste cependant à accomplir un travail important afin d'identifier clairement les situations permettant de mettre en oeuvre des solutions de ce type.

## 3.3 Théorie de l'Information.

**Membre permanent:** C. Vignat.

Notre activité de recherche en théorie de l'information concerne l'étude des notions d'entropie et d'information de Fisher dans leurs applications à certains problèmes de communications.
Si $X$ est une variable aléatoire de densité de probabilité $f_X(x)$, nous avons abordé l'étude des entropies de Rényi $H_X^{(\alpha)}$ définies de la façon suivante pour tout $\alpha \geq 0$ :

$$H_X^{(\alpha)} = \frac{1}{1-\alpha} \int f_X^{\alpha} dx$$

Remarquons que cette famille inclut l'entropie de Shannon $H_X = -\int f_X(x)dx$ comme cas particulier lorsque $\alpha \to 1$.

Nous avons évalué la possibilité d'utiliser ces entropies de Rényi dans le cadre de la déconvolution aveugle [51]. Cette étude a mis en évidence le rôle fondamental de l'inégalité de puissance entropique - dont aucune extension aux entropies de Rényi n'est actuellement connue - pour la construction d'une fonction de contraste réaliste : l'égalisation d'un canal basée sur les entropies de Rényi avec $\alpha \neq 1$ implique la maîtrise de la norme infinie du canal équivalent; dans le cas de l'entropie de Shannon, l'application de l'inégalité de la puissance entropique permet l'égalisation à condition que la norme 2 du canal équivalent soit contrainte, ce qui correspond à un schéma beaucoup plus réaliste.

Soit $J_X$ l'information de Fisher associée à la variable aléatoire $X$ définie par

$$J_X = \int (\frac{f'_X}{f_X})^2 f_X dx$$

L'inégalité de la puissance entropique est une conséquence de la propriété de sous-additivité de l'information de Fisher, qui s'écrit

$$J_{X+Y}^{-1} \geq J_X^{-1} + J_Y^{-1}$$

oú $X$ et $Y$ sont deux variables aléatoires indépendantes. R. Zamir [5] a proposé une extension au cas multidimensionnel de ce résultat, de la forme

$$J_{AX}^{-1} \geq A J_X^{-1} A^T$$

- où A est une matrice $m \times n$ de rang plein avec $m \leq n$ - et a caractérisé les cas d'égalité. Avec J.-F. Bercher [43], nous avons apporté une nouvelle preuve simplifiée de ces résultats, basée sur certaines propriétés de la fonction score; cette approche met de plus en évidence l'importante notion de composante identifiable d'un système linéaire non-inversible.

Dans le cadre d'une collaboration avec Peter Harremoes, nous avons étudié la possibilité d'étendre au cas des probabilités discrètes des inégalités établies uniquement dans le cas continu. Nous avons d'abord proposé [27] une extension au cas de certaines lois discrètes d'un résultat dû à Cover [6] dans le cas Gaussien : étant donné un canal additif instantané, il s'agit de caractériser la loi optimale des données que l'émetteur doit adopter afin de maximiser l'information transmise en présence d'un brouilleur de loi fixée. Nous avons ensuite proposé une extension [26] de l'inégalité de la puissance entropique au cas de certaines lois discrètes, à savoir au cas de lois binômiales de paramètre 1/2.

Une collaboration avec A. Hero, du département E.E.C.S. de l'université du Michigan, a permis l'étude des lois multidimensionnelles maximisantes, sous contrainte de covariance, des entropies de Rényi. Ces lois avaient été identifiées par Kapur, en 1988, comme des lois de Cauchy généralisées, mais dans le cas d'une matrice de covariance unité uniquement. Nous avons notamment étudié les représentations stochastiques des variables aléatoires associées [27] et caractérisé leurs transformations par convolutions [52, 44].
Les entropies de Rényi sont des fonctions monotones des entropies de Tsallis, introduites en 1988 par C. Tsallis [7] dans le domaine de la thermostatistique, afin de modéliser certains systèmes complexes. Nous avons entrepris des collaborations avec deux chercheurs de cette communauté (A. Plastino, Université de La Plata, J. Naudts, Université d'Anvers) afin d'évaluer les apports que peut susciter une approche physique de ces problèmes d'optimisation.

## 3.4 Analyse en Ondelettes 2D.

**Membre permanent:** J.-C. Pesquet.

---

[5] R. Zamir, "A Proof of the Fisher Information Matrix via a Data Processing Argument", IEEE trans. on Information Theory, IT 44, 3, pp. 1246-1250, 1998

[6] T. Cover and J. A. Thomas, Elements of Information Theory. Wiley, 1991, Ex.1 p.263

[7] C. Tsallis, J. Stat. Phys. 52 (1988) 479

**Doctorants participant ou ayant participé:** C. Chaux, J. Gauthier, W. Miled, T. Petrisor.

L'analyse en ondelettes et ses applications constituent l'un des principaux thèmes de recherche de la communauté du Traitement du Signal et des Images, depuis une quinzaine d'années. Au cours de cette période, les transformations en ondelettes ont été généralisées sous diverses formes, notamment dans le but de mieux décrire les structures géométriques présentes dans les images. Dans le même temps, les besoins applicatifs se sont multipliés, particulièrement en restauration et en compression d'images, faisant ainsi apparaître de nouvelles problématiques.
Une part importante de notre travail concerne l'imagerie multi-composantes et est menée en collaboration avec A. Benazza-Benyahia (Sup'Com Tunis). Dans ce contexte, on dispose de plusieurs images de la même scène recueillies par des capteurs de caractéristiques (longueur d'onde, résolution,...) différentes. Ce type de situation se produit typiquement dans les systèmes d'imagerie satellitaires multi- ou hyperspectraux. Il existe alors des redondances/dépendances fortes entre les images correspondant aux différentes bandes spectrales. L'exploitation de ces relations inter-bandes permet d'espérer des performances accrues par rapport aux traitements actuels qui sont le plus souvent effectués sur chaque image prise isolément.
Dans le cadre de la compression de données satellitaires, nous avons souligné l'intérêt de l'utilisation d'analyses en ondelettes vectorielles, permettant de mieux réduire les redondances inter-bandes, tout en fournissant une approche de codage progressif. Pour la construction de ces nouvelles représentations des images satellitaires, nous avons montré qu'il était possible d'exploiter des bancs de filtres vectoriels mis en œuvre sous forme de *lifting* [5]. Ces structures permettent une conception très souple des opérateurs de décomposition et intègrent notamment une prédiction vectorielle des signaux, combinant les différentes bandes. Des simulations ont montré que ces méthodes conduisent à un gain de performances significatif, aussi bien pour un codage avec perte que sans perte. Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'inclure dans le lifting des opérateurs de troncature ("integer to integer") qui n'altèrent cependant pas les propriétés de reconstruction parfaite [4]. D'autres non-linéarités peuvent également être introduites, par exemple de façon à préserver les contours des objets au cours d'une analyse multirésolution. Des liens peuvent être établis entre ces approches et une discrétisation de méthodes espace-échelle reposant sur la résolution d'équations aux dérivées partielles [6].
Dans les nouveaux systèmes de satellite tels que SPOT 5, un échantillonnage en quinconce des données est réalisé pour certaines bandes. Par ailleurs, ce type de sous-échantillonnage se prête à la conception d'analyses adaptatives où les filtres sont optimisés sans contrainte de séparabilité. Il semble donc intéressant d'étudier de manière plus précise ce type de schémas d'analyse en quinconce [3].

Un autre point fort de notre activité concerne le débruitage d'images. Le principe des méthodes de régression par ondelettes est de concentrer l'information utile sur un nombre réduit de coefficients qu'il est possible de discriminer du bruit par des estimateurs non linéaires. Suivant les transformations en ondelettes appliquées et les techniques d'estimation employées, diverses méthodes sont obtenues. La façon la plus simple de procéder a été proposée par D. Donoho [8] dans les années 90 et consiste à seuiller les coefficients issus de la décomposition du signal bruité, sur une base orthonormale d'ondelettes. Cette approche initialement justifiée pour un bruit gaussien peut être étendue à des bruits non gaussiens. Nous avons ainsi montré dans [3], en utilisant une approche bayésienne, que des seuillages spécifiques sont obtenus pour des distributions de bruit gaussiennes généralisées (GG) et de Cauchy, quand les coefficients d'ondelettes du signal utile sont supposés suivre une loi GG. Des résultats similaires ont été établis lorsqu'on fait l'hypothèse que le signal appartient à un certain espace de Besov [31].
L'inconvénient de ces méthodes bayésiennes est de supposer la connaissance parfaite de la loi *a priori* des données à estimer. Lorsque cette hypothèse est mise en défaut, des erreurs de modélisation apparaissent et peuvent être amplifiées par les méthodes numériques auxquelles on doit souvent recourir, ne serait-ce que pour estimer les hyperparamètres de ces lois. Une approche permettant de contourner ces problèmes consiste à se donner une structure d'estimateur non linéaire qui peut être obtenue à partir de considérations

[8] D. L. Donoho and I.M. Johnstone, "Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage", *Biometrika*, no. 81, pp. 425-455, 1994.

bayésiennes (par exemple, une modélisation Bernouilli-gaussienne des coefficients d'ondelettes) et d'optimiser les paramètres de l'estimateur de façon à directement minimiser le risque. Cette technique se révèle plus robuste car elle permet de réduire l'impact des imprécisions pesant sur le modèle. Elle n'est cependant applicable que si le risque, qui dépend naturellement des données originales (donc inconnues), peut lui-même être estimé de manière consistante. Or, dans le cas d'un coût quadratique et d'un bruit additif gaussien, le principe de Stein [9] permet d'effectuer une estimation non biaisée du risque. Cette stratégie a été employée avec succès dans des problèmes de débruitage d'images satellitaires multispectrales [1]. Un estimateur multivarié est alors appliqué aux coefficients d'ondelettes de façon à prendre en compte les dépendances statistiques existant entre les bandes spectrales. Des simulations exhaustives nous ont permis de comparer notre méthode aux approches concurrentes actuelles et ont démontré ses excellentes performances. Ces travaux devraient se poursuivre dans le cadre de l'ACI MULTIM (2004-2007) où l'objectif est de résoudre des problèmes plus complexes de restauration/déconvolution d'images multispectrales pouvant provenir non seulement de sources satellitaires mais aussi astronomiques. Une autre voie de recherche consiste également à généraliser les estimateurs que nous avons proposés de façon à tirer parti des dépendances inter-échelles [2].
Une façon différente d'appréhender les problèmes de restauration consiste à rechercher l'image comme la solution d'un problème d'optimisation sous contrainte. Si l'on observe

$$y = Hx + u$$

où $x$ est l'image originale, $u$ désigne le bruit et $H$ l'opérateur de dégradation (flou par exemple). On détermine l'image restaurée $\hat{x}$ de façon à minimiser une fonctionnelle $J$ sous la contrainte que $\hat{x}$ appartienne à certains ensembles de contraintes $(S_i)_{i\in I\subset\mathbb{N}}$ traduisant l'information *a priori* dont on dispose sur la solution (par exemple, bornes inférieure et supérieure sur les composantes de $x$). On a souvent intérêt à choisir $J$ et les $(S_i)_{i\in I}$ convexes pour pouvoir disposer d'algorithmes d'optimisation efficaces. Ainsi, si l'on se place dans un espace de Hilbert muni d'une norme $\|\cdot\|$, $J\ :\ x \mapsto \|y - Hx\|^2$ constitue un critère usuel. Dans ce cadre, notre contribution a porté sur la proposition d'ensembles de contraintes servant à conférer une certaine régularité à l'image restaurée. Nous avons notamment considéré l'appartenance à des boules BV (Bounded Variation). La méthode que nous avons développée présente l'avantage par rapport à l'approche historique de Rudin et Osher [10], de pouvoir gérer simultanément un nombre arbitraire de contraintes convexes supplémentaires [18]. L'algorithme proposé en collaboration avec P. Combettes (Univ. Paris 6) présente une convergence très rapide et peut être parallélisé. D'autres ensembles de contraintes tels que des boules de Besov ont également été étudiés. Rappelons que ces boules s'expriment facilement dans le domaine ondelettes. Une limitation des contraintes envisagées est cependant de nécessiter la détermination des rayons des boules, ce qui conduit à réaliser une étude statistique préalable portant sur la classe d'images traitées. Pour éviter cette démarche, nous cherchons à proposer d'autres formes de contraintes pouvant être définies à partir de coefficients d'ondelettes ou de gradients directionnels, et qui sont calculées automatiquement à partir de l'image observée. Nous avons, en particulier, considéré des contraintes de type hyperplan affine dont les caractéristiques peuvent être estimées, dans un contexte de bruit gaussien, à l'aide du principe de Stein déjà évoqué. Une analyse statistique asymptotique a été effectuée pour fournir des intervalles de confiance sur la solution obtenue [19]. Comme perspective à ce travail, il pourrait être intéressant de s'attaquer à des problèmes de restauration d'archives cinématographiques, dans le prolongement de la spécialité de Master ouverte en 2004 au pôle de Val d'Europe de l'Université de Marne la Vallée.
Une autre voie d'amélioration des méthodes de compression/restauration à l'aide d'ondelettes consiste à sortir du cadre assez restrictif des décompositions sur des *bases* d'ondelettes. Ces dernières années ont ainsi vu émerger d'autres types de transformations (curvelets, bandelettes,...). Notre équipe a fait porter ses efforts sur la construction de trames ("frames") de fonctions appropriées à l'analyse d'images. Dans le cadre de la thèse de C. Chaux, nous avons présenté une extension au cas $M$-bandes des travaux concernant la construction de

[9] C. M. Stein, "Estimation of the mean of a multivariate normal distribution," *Ann. Stat.*, no 9, pp. 1135-1151, 1981.
[10] L. I. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi, "Nonlinear total variation based noise removal algorithms," *Physica D,* vol. 60, pp. 259–268, 1992.

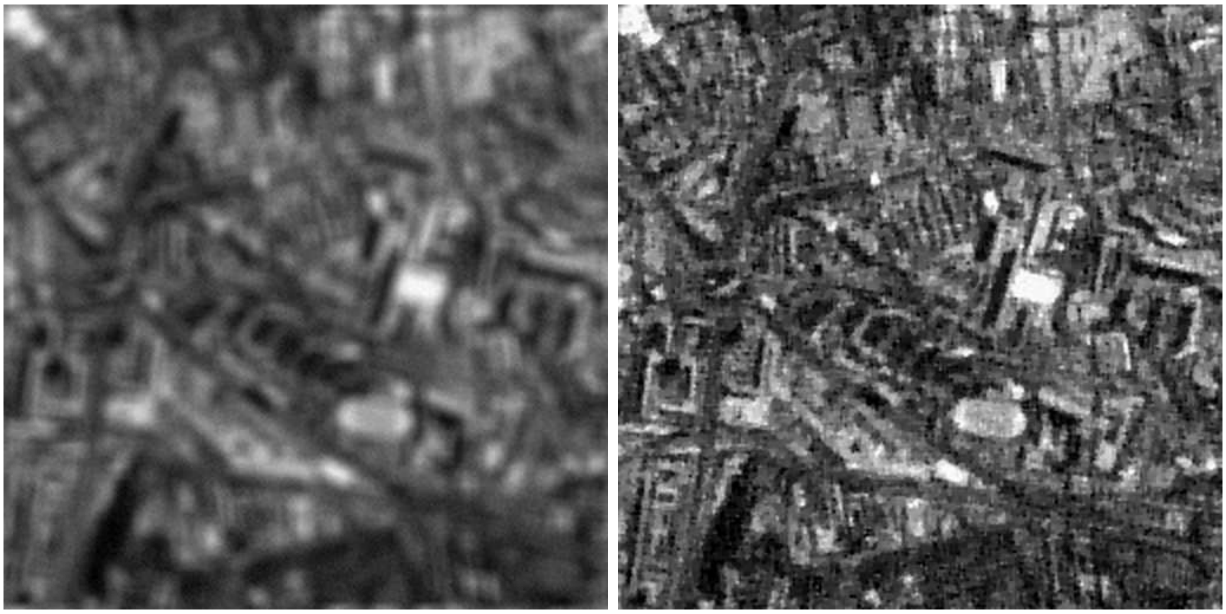

Figure 1: Images satellitaires dégradée (à gauche) et restaurée (à droite) à l'aide d'une contrainte d'appartenance à une boule BV.

décompositions en ondelettes formant des paires de Hilbert [21]. Ces représentations présentent de nombreux avantages notamment en terme d'analyse invariante par translation et de directionnalité $2D$. Nous avons établi les conditions que doivent satisfaire les bancs de filtres en arbre dual servant à l'analyse/la synthèse des signaux traités. Nous avons également fourni une justification théorique des pré-traitements qu'il est nécessaire d'appliquer à des données discrètes. Ces décompositions introduisant typiquement une redondance d'un facteur 2, elles constituent des trames à partir desquelles on peut aisément calculer une reconstruction optimale. Des applications de ces outils à des données sismiques sont en cours, en collaboration avec l'Institut Français du Pétrole. La thèse de T. Petrisor (menée en liaison avec le LTCI-ENST Paris) considère d'autres types de trames d'ondelettes, dans le but de développer des algorithmes de codage à descriptions multiples de séquences vidéo. Ces techniques sont utiles pour assurer un codage robuste dans des réseaux où peuvent se produire des pertes de paquets.
En amont de ces thèmes, on peut mentionner quelques études théoriques visant à déterminer les caractéristiques statistiques (cumulants) des coefficients d'ondelettes de certains processus aléatoires non stationnaires [41].

# 4 Activités

## 4.1 Contrats

### 4.1.1 Contrats industriels.

- Contrat (en collaboration avec E. Moulines, ENST Paris) de 120 KF avec Motorola (Novembre 98/ Octobre 2001) correspondant à l'encadrement de la thèse de S. Lasaulce ([7]).

- Participation au projet RNRT DOLIE (150 KF pour l'UMLV, Janvier 2000/ Juin 2002). Objet du projet : évaluer la faisabilité du CDMA pour la transmission haut débit sur le réseau électrique.

- Participation au projet européen IST ANTIUM (65 KE pour l'UMLV, Janvier 2001/Décembre 2003). Objet du projet : développer un équipement susceptible d'analyser les scénarios de brouillage dans les réseaux UMTS/FDD.

- Participation au projet LOLITA2 financé par la DGA (25 KE pour l'UMLV, Janvier 2001/Juin 2002). Objet des travaux de l'UMLV : mettre en évidence des algorithmes de démodulation aveugle de modulations CPM.

- Contrat avec Thalès Communication correspondant à l'encadrement de la thèse de J.M. Chaufray [2] (150 KF, Octobre 1999, Septembre 2002).

- Contrat avec Thalès Communication correspondant à l'encadrement de la thèse de P. Bianchi [1] (25 KE, Octobre 2000, Septembre 2003).

- Contrat avec Thalès Communication correspondant à la réalisation d'une tâche dans un contrat confidentiel (45KE, Janvier 2003, Décembre 2003).

- Contrat avec FranceTelecom Recherche et Développement correspondant à l'encadrement de la thèse de J. Dumont (27 KE, Novembre 2003, Octobre 2006).

- Contrat avec l'Institut Français du Pétrole correspondant à l'encadrement de la thèse de J. Gauthier (18 KE, Octobre 2004, Septembre 2007).

#### 4.1.2 Financements institutionnels (ACI, Réseaux d'excellence,...)

- Participation à un projet MathSTIC (Algorithmes parallèles de décomposition pour la restauration d'images satellitaires) en 2002.

- Contrat ONR (Office of Naval Research, USA) avec Drexel University (Philadelphie) sur la séparation de sources, 2000-2004.

- Partenaires d'un contrat de coopération franco-tunisien (CMCU) portant sur le thème "Auto-similarités : théorie et applications", impliquant 7 laboratoires tunisiens et 13 français, 2002-2004.

- Participation et co-responsabilité de l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques MALCOM (Application des Matrices Aléatoires à l'Evaluation de Performances des Systèmes de Communication Numériques), 2004-2006.

- Participation à l'ACI Nouvelles Interfaces des Mathématiques MULTIM (Nouvelles méthodes mathématiques pour la restauration d'images multi-canaux), 2004-2006.

- Participation (A. Chevreuil, Ph. Loubaton) au Réseau d'Excellence NEWCOM (Network of Excellence in Wireless Communications) du 6ème PCRD (à partir de 2004).

### 4.2 Diffusion

#### 4.2.1 Livres.

Nous avons participé à 2 ouvrages du traité IC2:

- "Signal et Télécommunications", Hermès Science, 2004, coordonné par Ph. Loubaton.

- "Le Traitement d'Images", Hermès Science, 2003, Chapitre "Ondelettes et Traitement d'Images" écrit par B. Pesquet-Popescu et J.C. Pesquet.

#### 4.2.2 Organisation de sessions spéciales dans des conférences.

Ph. Loubaton a organisé les sessions spéciales suivantes:

- ”Large random matrices in digital communications and signal processing” à la conférence EUSIPCO-2004, Vienne, 2004,
- ”Large random matrices and performance evaluation of large digital communication systems” qui se déroulera à la conférence ICASSP-2005, Philadelphie, 2005.

### 4.3 Collaborations

#### 4.3.1 Collaborations nationales.

- Service Radio-Electricité de Supelec (W. Hachem)
- Laboratoire Jacques-Louis Lions, Université Paris 6 (P. Combettes)
- Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var (E. Moreau)
- Laboratoire de Modélisation et Calcul, Institut d'Informatique et Mathématiques Appliquées de Grenoble (A. Antoniadis)
- Laboratoire Traitement et Communication de l'Information, CNRS-ENST Paris (Ph. Ciblat, E. Moulines, J. Najim, B. Pesquet-Popescu)
- Laboratoire des Signaux et Systèmes, CNRS-SUPELEC (S. Lasaulce)
- Département Communications Mobiles, Institut Eurecom (M. Debbah)

#### 4.3.2 Collaborations internationales.

- Département Mathématiques Appliquées, Signal et Communications, Ecole Supérieure des Communications de Tunis (A. Benazza-Benyahia)
- Département d'Electrical and Computer Engineering de l'Université de Caroline du Nord (H. Krim)
- Département d'Electrical and Computer Engineering de Drexel University, Philadelphie (A. Petropulu)
- Département d'Electrical Engineering and Computer Science de l'Université du Michigan (A. Hero)
- Département d'Electrical Engineering and Computer Science de l'Université de Minneapolis (G. Giannakis)
- Département de Mathématiques de l'Université de Copenhague (P. Harremoes)
- Département de Physique de l'Université d'Anvers (J. Naudts)
- Institut de Mathématique de l'Université de Kiev (V. Girko)

### 4.4 Activités doctorales

Ph. Loubaton et J.-C. Pesquet sont responsables d'un cours intitulé “Bancs de filtres et applications” dans le cadre du Master Recherche Automatique et Traitement du Signal de l'Ecole Doctorale STITS (Univ. Paris 11). Par ailleurs, Ph. Loubaton est responsable d'un cours intitulé “Traitement Statistique du Signal pour les Communications” dans le cadre du Master Recherche Telecom et Réseaux de l'Ecole Doctorale STITS (Univ. Paris 11).

### 4.5 Rayonnement

**Au niveau national.**

- J.-C. Pesquet a été membre de la commission thématique Signal et Circuits Intégrés associés du RNRT de 1999 à 2002, et Ph. Loubaton est membre de cette même commission depuis 2003.
- Ph. Loubaton a été membre élu (2000-2003), puis membre nommé (à partir de 2004) de la section 61 du Conseil National des Universités.

**Au niveau international.**

- Ph. Loubaton a été Editeur Associé à IEEE Transactions on Signal Processing de 1998 à 2001, à IEEE Communication Letters de 2000 à 2002, et est Editeur Associé à IEEE Transactions on Signal Processing depuis Novembre 2004. J.-C. Pesquet est Editeur Associé à IEEE Signal Processing Letters depuis Janvier 2004.
- Ph. Loubaton a été membre du comité technique "Signal Processing for Communications" de la IEEE Signal Processing Society entre 1998 et 2004, et J.-C. Pesquet est membre du comité technique "Signal Processing Theory and Methods" de la IEEE Signal Processing Society depuis 2002.
- J.-C. Pesquet a été co-Technical Chairman de la conférence ICASSP-2005.
- A. Chevreuil et Ph. Loubaton sont membres du réseau d'excellence NEWCOM (Network of Excellence in Wireless Communications, 6ème PCRD).

# 5 Publications.

### 5.1 Articles de revue


[1] D. Alpay, A. Chevreuil, and Ph. Loubaton. An extension problem for discrete time periodically correlated stochastic processes. *J. of Time Series Analysis*, 22(1):1–11, January 2001.

[2] D. Alpay, B. Freydin, and Ph. Loubaton. An extension problem for discrete-time almost periodically correlated stochastic processes. *Linear Algebra and its applications*, 308(1–3):163–181, 2000.

[3] Anestis Antoniadis, David Leporini, and Jean-Christophe Pesquet. Wavelet thresholding for some classes of non-Gaussian noise. *Statistica Neerlandica*, 56(4):434–453, Dec. 2002.

[4] Amel Benazza-Benyahia and Jean-Christophe Pesquet. A unifying framework for lossless and progressive image coding. *Pattern Recognition*, 35:627–638, 2002.

[5] Amel Benazza-Benyahia, Jean-Christophe Pesquet, and Mohamed Hamdi. Vector lifting schemes for lossless coding and progressive archival of multispectral image. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 40:2011–2024, Sept. 2002.

[6] Amel Benazza-Benyahia, Jean-Christophe Pesquet, and Hamid Krim. A nonlinear diffusion-based 3-band filter bank. *IEEE Signal Processing Letters*, 10:360–363, December. 2003.

[7] J.-F. Bercher and C. Vignat. Estimating the entropy of a signal with applications. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(6):1687–1694, 2000.

[8] P. Bianchi, Ph. Loubaton, and F. Sirven. Non data aided estimation of the modulation index of continuous phase modulations. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 52(10):2847–2861, October 2004.

[9] Olivier Cappé, Eric Moulines, Jean-Christophe Pesquet, Athina Petropulu, and Xueshi Yang. Long-range dependence and heavy-tail modeling for teletraffic data. *IEEE Signal Processing Magazine*, pages 14–27, May 2002.

[10] Marc Castella, Jean-Christophe Pesquet, and Athina P. Petropulu. A family of frequency- and time-domain contrasts for blind separation of convolutive mixtures of temporally dependent signals. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 2004. To appear.

[11] J.-M. Chaufray, W. Hachem, and Ph. Loubaton. Asymptotic analysis of optimum and sub-optimum CDMA downlink MMSE receivers. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2004. to appear in November.

[12] J.-M. Chaufray, Ph. Loubaton, and P. Chevalier. Consistent estimation of Rayleigh fading channel second order statistics in the context of the wideband CDMA mode of the UMTS. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 49(12):3055–3064, December 2001.

[13] A. Chevreuil, Ph. Loubaton, and L. Vandendorpe. Transmitter induced cyclostationarity: analysis based on a MMSE-DF equalizer. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(11):3072–3086, November 2000.

[14] A. Chevreuil, Erchin Serpedin, Ph. Loubaton, and G. Giannakis. Blind channel identification and equilization using non-redundant periodic modulation precoders: performance analysis. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(6):1570–1586, June 2000.

[15] Ph. Ciblat, A. Chevreuil, and Ph. Loubaton. Alpha repetition-modulation and blind second order identification. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(11):3153–3161, November 2000.

[16] Ph. Ciblat, Ph. Loubaton, E. Serpedin, and G.B. Giannakis. Asymptotic analysis of blind cyclic correlation based symbol rate estimation. *IEEE Trans. on Information Theory*, 48(7):1922–1934, July 2002.

[17] Ph. Ciblat, Ph. Loubaton, E. Serpedin, and G.B. Giannakis. Performance analysis of blind carrier offset estimation for non-circular transmissions through frequency-selective channels. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 50(1):130–140, January 2002.

[18] Patrick L. Combettes and Jean-Christophe Pesquet. Image restoration subject to a total variation constraint. *IEEE Trans. on Image Processing*, 13(9):1213–1222, Sept. 2004.

[19] Patrick L. Combettes and Jean-Christophe Pesquet. Wavelet-constrained image restoration. *International Journal on Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, 2004. accepted for publication.

[20] M. Debbah, W. Hachem, Ph. Loubaton, and M. de Courville. MMSE analysis of certain large isometric random precoded systems. *IEEE Trans. on Information Theory*, 49(5):1293–1311, May 2003.

[21] M. Debbah, Ph. Loubaton, and M. de Courville. Asymptotic performance of successive interference cancellation in the context of linear precoded ofdm. *IEEE Transactions on Communications*, 52(9):1144–1448, September 2004.

[22] N. Delfosse and Ph. Loubaton. Adaptive blind separation of independent sources: a second order stable algorithm. *IEEE Trans. on Circuit and Systems*, 47(7):1056–1071, July 2000.

[23] W. Hachem, F. Desbouvries, and Ph. Loubaton. Identification of certain Noisy MA Models: New results. *System and Control Letters*, 39:237–43, 2000.

[24] W. Hachem, F. Desbouvries, and Ph. Loubaton. A MIMO channel blind identification algorithm in the presence of spatially correlated noise. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 50(3):651–661, March 2002.

[25] Frances Jane Hampson and Jean-Christophe Pesquet. Motion estimation in the presence of illumination variations. *Signal Processing: Image Communication*, 16(4):373–381, 2000.

[26] P. Harremoës and C. Vignat. An entropy power inequality for the binomial family. *Journal of Inequalities in Pure and Applied Mathematics*, 4(5, Article 93), 2003.

[27] P. Harremoës and C. Vignat. A Nash Equilibrium related to the Poisson Channel. *Communications in Information and Systems*, 3–3:183–190, 2004.

[28] S. Houcke, A. Chevreuil, and Ph. Loubaton. Blind equalization: case of an unknown symbol period. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 51(3):781–793, March 2003.

[29] S. Houcke, A. Chevreuil, and Ph. Loubaton. Blind source separation of a mixture of communication sources emitting at various baud-rates. *Transactions of IEICE*, E86–A(3):564–572, March 2003. Invited paper.

[30] S. Lasaulce, Ph. Loubaton, and E. Moulines. A semi-blind estimation technique based on second-order blind method for CDMA systems. *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.51(7):1894–1904, July 2003.

[31] David Leporini and Jean-Christophe Pesquet. Bayesian wavelet denoising: Besov priors and non-gaussian noises. *Signal Processing*, 81:55–67, 2001.

[32] Ph. Loubaton and E. Moulines. On blind multiuser forward link channel estimation by the subspace method: identifiability results. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(8):2366–2376, August 2000.

[33] A. Mansour, C. Jutten, and Ph. Loubaton. Adaptive subspace algorithm for blind separation of independent sources in convolutive mixtures. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(2):583–586, February 2000.

[34] Jean-Christophe Pesquet and Eric Moreau. Cumulant based independence measures for linear mixtures. *IEEE Trans. on Information Theory*, 47:1947–1956, Jul. 2001.

[35] Béatrice Pesquet-Popescu and Jean-Christophe Pesquet. Synthesis of bidimensional alpha-stable models with long-range dependence. *Signal Processing*, 82:1927–1940, 2002.

[36] Athina P. Petropulu, Jean-Christophe Pesquet, Xueshi Yang, and J. Yin. Power-law shot noise and its relationships with long-memory alpha-stable processes. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(7):1883–1892, July 2000.

[37] Florence Sagnard, Faroudja Bentabet, and Christophe Vignat. Theoretical study of methods based on ellipsometry for measurement of complex permittivity of materials. *Electronic Letters*, 22:1843–1845, October 2000.

[38] E. Serpedin, A. Chevreuil, G. Giannakis, and Ph. Loubaton. Blind joint estimation of carrier frequency offset and channel using non-redundant periodic modulation precoders. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 48(8):2389–2405, August 2000.

[39] E. Serpedin, Ph. Ciblat, G.B. Giannakis, and Ph. Loubaton. Performance analysis of blind carrier phase estimators for general QAM constellations. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 49(8):1816–1823, August 2001.

[40] C. Simon, Ph. Loubaton, and C. Jutten. Separation of a class of convolutive mixtures: a contrast function approach. *Signal Processing*, 81:883–887, 2001.

[41] Sami Touati and Jean-Christophe Pesquet. Some results on the wavelet packet decomposition of nonstationary processes. *Journal of Applied Signal Processing*, 2002(11):1289–1295, Nov. 2002.

[42] C. Vignat and J.-F. Bercher. Analysis of signals in the Fisher-Shannon information plane. *Physics Letters A*, 312(3):27–33, 2003.

[43] C. Vignat and J.-F. Bercher. On fisher information inequalities and score functions in non-invertible linear systems. *JIPAM*, 4(4, Article 17), 2003.

[44] C. Vignat, A. Hero, and J. Costa. About closedness by convolution of the Tsallis maximizers. *Physica A*, 340(1-3):147–152, September 2004.

[45] Y. Wang, E. Serpedin, Ph. Ciblat, and Ph. Loubaton. Performance analysis of a class of non-data aided carrier frequency offset and symbol timing delay estimators for flat-fading channels. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 50(9):2295–2305, September 2002.

### 5.2 Actes de conférences

[1] A. Benazza-Benyahia and Jean-Christophe Pesquet. An extended sure approach for multicomponent image denoising. In *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2004*, pages 945–948, Montréal, Canada, 17-21 May 2004.

[2] A. Benazza-Benyahia and Jean-Christophe Pesquet. An interscale multivariate map estimation of multispectral images. In *Proc. European Signal and Image Processing Conference, EUSIPCO 04*, Vienna, Austria, 6-10 Sept. 2004.

[3] A. Benazza-Benyahia, Jean-Christophe Pesquet, and H. Masmoudi. Block-based adaptive lifting schemes for multiband image compression. In *Wavelet Applications in Industrial Processing, Symposium Photonics East 2003, SPIE Conference*, volume 5266, pages 118–128, October 2003.

[4] Amel Benazza-Benyahia and Jean-Christophe Pesquet. Wavelet-based multispectral image denoising with Bernouilli-Gaussian models. In *IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, June 2003.

[5] Amel Benazza-Benyahia, Jean-Christophe Pesquet, and M.H. Gharbia. Adapted vector-lifting schemes for compression of polarimetric and multifrequency SAR images. In *IEEE 2003 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse*, July 2003.

[6] Amel Benazza-Benyahia, Jean-Christophe Pesquet, and H. Masmoudi. Block-based adaptive lifting schemes for lossless and progressive image coding. In *Third International workshop on Spectral Methods and Multirate Signal, SMMSP'03*, pages 207–211, September 2003.

[7] P. Bianchi, Ph. Loubaton, and F. Sirven. Performances of a non data-aided estimator of the modulation index of continuous-phase modulations. In *Proc. ICASSP-2002*, pages 2377–2380, May 2002.

[8] P. Bianchi, Ph. Loubaton, and F. Sirven. On the blind equalization of continuous phase modulated signals using a constant modulus algorithm. In *Proc. SPAWC 2003, Rome.*, pages 442–446, June 2003.

[9] P. Bianchi, Ph. Loubaton, and F. Sirven. Performances of a non data aided joint estimator of the technical parameters of continuous phase modulated signals. In *Proc. Globecom Communication Theory Symposium, San Francisco*, pages 1731–1735, December 2003.

[10] Pascal Bianchi, Philippe Loubaton, and François Sirven. Estimation aveugle du débit symbole de modulations cpm. In *Actes du Colloque Gretsi 2003*, pages 379–382, Septembre 2003.

[11] Marc Castella, Pascal Bianchi, Antoine Chevreuil, and Jean-Christophe Pesquet. Blind mimo detection of convolutively mixed cpm sources. In *Proc. European Signal and Image Processing Conference, EUSIPCO 04*, Vienna, Austria, 2004.

[12] Marc Castella, Antoine Chevreuil, and Jean-Christophe Pesquet. Séparation aveugle d'un mélange convolutif de sources non linéaires par une approche hiérarchique. In *GRETSI*, Paris, France, 2003.

[13] Marc Castella, Eric Moreau, and Jean-Christophe Pesquet. A quadratic miso contrast function for blind equalization. In *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing ICASSP 2004*, pages 681–684, Montréal, Canada, 2004.

[14] Marc Castella and Jean-Christophe Pesquet. Source separation of a class of non linear time series. In *IEEE-Eurasip Workshop on Non Linear Signal and Image Processing (NSIP)*, Grado, Italy, 2003.

[15] Marc Castella and Jean-Christophe Pesquet. An iterative blind source separation method for convolutive mixtures of images. In *Proc. International Conference on Independent Component Analysis, ICA 04*, Granada, Spain, 2004.

[16] Marc Castella, Jean-Christophe Pesquet, and Athina P. Petropulu. New contrasts for blind separation of non iid sources in the convolutive case. In *Proc. European Signal and Image Processing Conference, EUSIPCO 02*, pages 107–110, Toulouse, France, 2002.

[17] J.-M. Chaufray, W. Hachem, and Ph. Loubaton. Asymptotic analysis of optimum and sub-optimum CDMA downlink MMSE receivers. In *Proc. ISIT-2002*, page 189, June 2002.

[18] J.-M. Chaufray, Ph. Loubaton, and P. Chevalier. Consistent estimation of Rayleigh fading channel second order statistics in the context of the wideband CDMA mode of the UMTS. In *Proc. ICASSP-2001, Salt Lake City*, pages 2189–2192, May 2001.

[19] J.-M. Chaufray, Ph. Loubaton, and W. Hachem. Asymptotic analysis of optimum and suboptimum CDMA downlink MMSE receivers. In *Proceedings Seventh ISSPA Conf.*, pages 493–496, July 2003.

[20] Jean-Marie Chaufray, Philippe Loubaton, François Pipon, and David Depierre. Performances asymptotiques de récepteurs sur le lien descendant de l'UMTS-FDD. In *Actes du Colloque Gretsi 2003*, pages 243–246, Septembre 2003.

[21] Caroline Chaux, Laurent Duval, and Jean-Christophe Pesquet. Hilbert pairs of $m$-band orthonormal wavelet bases. In *Proc. European Signal and Image Processing Conference, EUSIPCO 04*, pages 1187–1190, Vienna, Austria, 6-10 September 2004.

[22] Ph. Ciblat, Ph. Loubaton, E. Serpedin, and G.B. Giannakis. Performance of non-data aided carrier offset estimation for non-circular transmissions through frequency-selective channels. In *Proc. ICASSP-2000, Istanbul*, pages 2525–2528, June 2000.

[23] P.-L. Combettes and Jean-Christophe Pesquet. Constraint construction in convex set theoretic signal recovert via stein's principle. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2004*, pages 945–948, Montréal, Canada, 2004.

[24] P.-L. Combettes and Jean-Christophe Pesquet. Estimating first-order finite-difference information in image restoration problems. In *IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2004*, Singapore, 24-27 October 2004.

[25] Patrick L. Combettes and Jean-Christophe Pesquet. Image deconvolution with total variation bounds. In *Proc. of the Seventh International Symposium on Signal Processing and Its Applications, Paris*, pages 441–444, July 2003.

[26] Patrick L. Combettes and Jean-Christophe Pesquet. Incorporating total variation information in image recovery. In *Proc. of the IEEE International Conference on Image Processing, Barcelona*, pages 373–376, September 2003.

[27] J.-A. Costa, A.O. Hero, and C. Vignat. A characterization of the multivariate distributions maximizing Renyi entropy. In *IEEE International Symposium on Information Theory, Lausanne*, page 263, July 2002.

[28] M. Debbah, W. Hachem, Ph. Loubaton, and M. de Courville. Asymptotic performance analysis for redundant block precoded OFDM systems. In *Proceedings of the 11th IEEE Statistical Signal Prcoessing Workshop, Singapore*, pages 389–392, August 2001.

[29] M. Debbah, W. Hachem, Ph. Loubaton, and M. de Courville. MMSE analysis of certain large isometric random precoded systems. In *2001 Information Theory Workshop, Cairns, Australia*, pages 158–160, September 2001.

[30] M. Debbah, Ph. Loubaton, and M. de Courville. Spread OFDM performance with MMSE equalization. In *Proc. ICASSP-2001*, pages 2385–2388, May 2001.

[31] M. Debbah, Ph. Loubaton, and M. de Courville. Linear precoders for OFDM wireless communications with MMSE equalization: facts and result. In *Proc. Eusipco 2002, Toulouse*, September 2002.

[32] E. Grosicki, K. Abed-Meraim, P. Loubaton, and J.-M. Chaufray. Comparison of downlink mobile positioning methods for the UMTS FDD mode without using IPDL periods. In *Proceedings Seventh ISSPA Conf., Paris*, pages 347–350, July 2003.

[33] W. Hachem, F. Desbouvries, and Ph. Loubaton. Blind channel estimation for CDMA systems: an induced cyclostationarity approach. In *Proc. ICASSP-2000, Istanbul*, pages 2477–2480, June 2000.

[34] J. Hattay, A. Benazza-Benyahia, and Jean-Christophe Pesquet. Adaptive lifting schemes using variable-size block segmentation. In *Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems, ACIVS 2004*, Brussels, Belgium, 31 Aug.-3 Sept. 2004.

[35] S. Houcke, A. Chevreuil, and Ph. Loubaton. Joint blind equalization and estimation of the symbol period: a contrast function approach. In *Proc. ICASSP-2001, Salt Lake City*, pages 2545–2548, May 2001.

[36] S. Houcke and Ph. Loubaton. A weighted linear prediction approach for the blind CDMA forward link channel estimation. In *Proc. ICASSP-2000, Istanbul*, pages 2937–2940, June 2000.

[37] Pierre Jallon, Antoine Chevreuil, Philippe Loubaton, and Pascal Chevalier. Separation of convolutive mixtures of cyclostationary sources: a contrast function based approach. In *Proc. ICA'04*, Grenade, Spain, September 2004.

[38] S. Lasaulce, Ph. Loubaton, and E. Moulines. Performance of a subspace based semi-blind technique in the UMTS TDD mode context. In *Proc. ICASSP-2000, Istanbul*, pages 2481–2484, June 2000.

[39] S. Lasaulce, Ph. Loubaton, E. Moulines, and S. Buljore. Training-based channel estimation and de-noising in the UMTS TDD mode. In *Proc. VTC Fall, Atlantic-City*, pages 1908–1911, October 2001.

[40] Ph. Loubaton and W. Hachem. Asymptotic analysis of reduced rank wiener filters. In *Proc. Information Theory Workshop 2003, Paris*, pages 328–331, April 2003.

[41] Philippe Loubaton. Asymptotic distribution of large random matrices and performance analysis of large CDMA systems. In *Proceedings of Seventh ISSPA, Paris*, pages 205–214, July 2003. Invited Conference.

[42] P. Maillé, M. Debbah, Ph. Loubaton, and M. de Courville. Asymptotic analysis of successive versus parallel interference cancellation schemes for block precoded OFDM. In *Proceedings of the 2001 Allerton Conference.*, 2001.

[43] B. Mouhouche, Ph. Loubaton, and W. Hachem. Asymptotic analysis of reduced rank chip level MMSE equalizers in the downlink of CDMA systems. In *Proc. of IEEE Int. Conf. SPAWC 2004*, Lisbonne, Portugal, July 2004.

[44] B. Mouhouche, Ph. Loubaton, W. Hachem, and N. Ibrahim. Asymptotic analysis fo reduced rank downlink CDMA wiener receivers. In *Proc. of Conf. EUSIPCO-2004*, pages 201–204, September 2004.

[45] B. Mouhouche, K.A. Meraim, N. Ibrahim, and P Loubaton. Reduced-rank adaptive chip-level MMSE equalization for the forward link of long-code DS-CDMA systems. In *Proceedings. Seventh ISSPA Conf*, pages 497–500, July 2003.

[46] Belkacem Mouhouche, Philippe Loubaton, Walid Hachem, Karim Abed-Meraim, and Nicolas Ibrahim. Analyse asymptotique de certains filtres de wiener à rang réduit. In *Actes du Colloque Gretsi 2003*, pages 163–166, Septembre 2003.

[47] F. Sagnard, D. Seetharamdoo, and C. Vignat. Reflection ellipsometry for in-situ measurements of complex permittivity and thickness of a single-layer material at microwave frequencies: Theory and experiments. In *32nd EUMC, Milan*, September 2002.

[48] F. Sagnard, C. Vignat, V. Moncourtois, and E. Rolland. Détermination de la permittivité complexe de matériaux de construction dans le domaine micro-onde : Comparaison des méthodes de fresnel et d'ellipsométrie micro-onde par réflexion. In *Journées Nationales Microondes, (JNM), Poitiers Futuroscope*, Mai 2001.

[49] Sami Touati and Jean-Christophe Pesquet. Wavelet estimation of cyclospectra. In *Proc. International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Hong Kong*, pages 289–292, April 2003.

[50] C. Vignat and J.-F. Bercher. Matrix Fisher inequalities for non-invertible linear systems. In *IEEE International Symposium on Information Theory, ISIT 2002, Lausanne*, page 237, July 2002.

[51] C. Vignat and J.-F. Bercher. A Renyi entropy convolution inequality with application. In *EUSIPCO 2002, Toulouse*, 2002.

[52] C. Vignat, J. Costa, and A. Hero. On solutions to multivariate maximum alpha-entropy problems. In *Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag*, volume 2683, pages 211–228, July 2003.

[53] Y. Wang, E. Serpedin, Ph. Ciblat, and Ph. Loubaton. Performance analysis of blind carrier frequency offset and symbol timing delay estimators in flat-fading channels. In *Proc. ICASSP-2001, Salt Lake City*, pages 2321–2324, May 2001.

## 5.3 Chapitres dans un livre collectif


[1] Ph. Loubaton, E. Moulines, and P.A. Regalia. *Subspace Methods for Blind Identification and Deconvolution*, volume I of *Signal Processing Advances in Wireless Communications*, chapter 3. Prentice-Hall, 2000.

[2] Béatrice Pesquet-Popescu and Jean-Christophe Pesquet. *Techniques de l'Ingénieur, traité Télécoms, TE 5 215-1*, chapter Ondelettes et applications. Août 2001.

[3] Béatrice Pesquet-Popescu and Jean-Christophe Pesquet. *Ondelettes et traitement d'images*, chapter Le traitement des images, pages 193–213. Paris : Hermès Science, 2003.


## 5.4 Thèses et habilitations


[1] Pascal Bianchi. *Démodulation aveugle de modulations non linéaires à phases continues.* Thèse de doctorat, Université de Marne–la–Vallée, 2003. Jury : P. Comon, P. Duhamel, C. Le Martret, P. Loubaton, P. Regalia, F. Sirven, G. Tantot.

[2] Jean-Marie Chaufray. *Détection et démodulation de stations de bases dans un réseau UMTS.* Thèse de doctorat, Université de Marne–la–Vallée, 2003. Jury : P. Chevalier, P. Forster, J.-F. Hélard, C. Jutten, P. Loubaton, F. Pipon, D. Slock.

[3] Philippe Ciblat. *Quelques problèmes d'estimation relatifs aux télécommunications non coopératives.* Thèse de doctorat, Université de Marne–la–Vallée, 2000. Jury : O. Besson, P. Duhamel, M. Granger, P. Loubaton, E. Moulines, P. Regalia, G. Vezzosi.

[4] Mérouane Debbah. *Précodeurs linéaires pour les transmissions OFDM sans fils.* Thèse de doctorat, ENS de Cachan, 2002. Jury : J.-C. Belfiore, E. Biglieri, G. Caire, M. de Courville, P. Duhamel, P. Larzabal, P. Loubaton.

[5] Walid Hachem. *Déconvolution autodidacte au second ordre de signaux vectoriels en présence de bruit additif.* Thèse de doctorat, Université de Marne–la–Vallée, 2000. Jury : K. Abed-Meraim, F. Desbouvries, P. Duhamel, P. Loubaton, P. Regalia, A. Richard, D. Slock.

[6] Sébastien Houcke. *Séparation autodidacte d'un mélange de sources émettant à des débits inconnus et éventuellement différents.* Thèse de doctorat, Université de Marne–la–Vallée, 2002. Jury : A. Chevreuil, P. Comon, C. Jutten, C. Le Martret, P. Loubaton, E. Moreau, G. Tantot.

[7] Samson Lasaulce. *Channel estimation and multiuser detection for TD-CDMA systems.* PhD thesis, ENST, 2001. Jury : J.-C. Belfiore, S. Buljore, P. Duhamel, P. Loubaton, E. Moulines, D. Slock.