

## Présentation du projet

### 1) Le projet

SESAME est l'acronyme de consiStent ESTimation And large randOM matrixEs. C'est un projet financé par l'agence nationale de la recherche pour 4 ans (2008-2011). Il s'inscrit dans le programme MDCO car il traite de très grandes matrices de données, auxquelles les outils statistiques habituels ne s'appliquent pas.

Le projet SESAME est un projet académique. Il s'insère dans la thématique large du traitement statistique du signal, et plus précisément dans le développement d'outils méthodologiques pour l'étude des communications numériques sans fil.

Depuis la fin des années 1990, la théorie mathématique des grandes matrices aléatoires s'est avérée particulièrement bien adaptée pour modéliser la complexité et l'aléa inhérents aux communications numériques sans fil. Tout au long de la décennie passée, de nombreux développements mathématiques ont accompagné l'étude des performances des réseaux sans fil et récemment, le besoin de développer des outils statistiques, dans le contexte particulier des communications sans fil où la dimension des observations est souvent du même ordre que le nombre d'observations disponibles, a motivé le développement du projet SESAME.

Dans ce poster, nous en détaillerons 3 aspects particuliers :

- (a) Les applications statistiques en traitement d'antennes bande étroite ;
- (b) La radio cognitive ;
- (c) Applications au CDMA et au traitement de canaux spatio-temporels.

### 2) Institutions

- Centre National de la Recherche Scientifique & Télécom Paristech
- Université Paris Est - Marne La Vallée
- Ecole Supérieure d'Electricité
- EURECOM

### 3) Personnes

- Pascal Bianchi (MDC, Télécom Paristech)
- Laura Cottatellucci (MDC, Eurécom)
- Walid Hachem (DR CNRS, Télécom Paristech)
- Mérouane Debbah (Prof. Supélec)
- Philippe Loubaton (Prof. Univ. Paris Est)
- Jamal Najim (CR CNRS, Télécom Paristech, Coordonnateur)
- Dirk Slock (Prof. Eurécom)

## Réalisations

1) **Réalisations** Le projet SESAME a donné lieu à une importante production scientifique qui est disponible sur <http://perso.telecom-paristech.fr/~najim/anr-sesame/>. Les publications illustrent pour partie la collaboration entre les membres de SESAME. Une à deux réunions annuelles ont réuni tous les membres du projet.

- ✓ **Publications** : ~ 15 articles pour revues internationales à comité de lecture ; ~ 22 articles pour conférences internationales à comité de lecture ;
- ✓ **Délivrables** : 6 livrables tels que prévus dans la planification du projet
- ✓ **Colloque** : organisation d'un colloque international (3 jours) sur les grandes matrices aléatoires.

### 2) Faits marquants

- ✓ Tutoriel à la conférence EUSIPCO (European Signal Processing Conference), Barcelone 2011 [Hachem, Loubaton, Najim]
- ✓ Tutoriel à la conférence ICASSP (International Conference on acoustics, Speech, and Signal Processing), Prague 2011 [Couillet, Debbah]
- ✓ Livre "Random Matrix Methods for Wireless Communications", par M. Debbah et R. Couillet qui s'inscrit dans la thématique de l'ANR
- ✓ Keynote speaker "Random Matrices for Cooperative Spectrum Sensing : Some recent results", par J. Najim, Conférence Physcomnet, Seoul 2009.

### 3) Animation scientifique

- ✓ Organisation d'un colloque "Large Random Matrices and their applications" à Télécom Paristech (octobre 2010)
- ✓ Organisation d'une session spéciale à la conférence Statistical Signal Processing (juin 2011)
- ✓ Invitation d'**experts du domaine** :
  - Alan Edelman, professeur au Massachusetts Institute of Technology (USA),
  - Xavier Mestre, chercheur au Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya,
  - Boaz Nadler, chercheur au Weizmann Institute (Israël),
  - Jack Silverstein, professeur à la North Carolina State University (USA).
- ✓ Soutien auprès des **scientifiques juniors / doctorants / postdoctorants**
  - A. Kammoun, M. Kharouf, J. Jakubowitz, J. Yao [Télécom Paristech], G. Alfano, R. Couillet, J. Hoydis [Supélec], P. Vallet [Univ. Paris-Est].

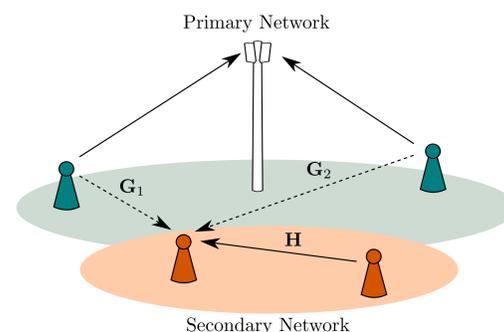
## Thématiques de recherche

### ✓ Applications statistiques en traitement d'antennes

Un problème important en traitement d'antennes consiste à estimer les directions d'arrivée de signaux reçus par un réseau d'antennes. Dans le cas où le nombre d'antennes  $N$  est petit devant la taille  $M$  de l'échantillon, l'algorithme MUSIC (Multiple Signal Classification) a apporté une solution satisfaisante à ce problème. Il est fondé sur la connaissance d'un certain sous-espace propre de la matrice de covariance  $\mathbb{E}\mathbf{y}_{-m}\mathbf{y}_{-m}^H$ , où  $\mathbf{y}_{-m}$  est une série temporelle stationnaire (vectorielle de dimension  $N$ ). Cette matrice étant en général inconnue, elle est traditionnellement remplacée par son estimée  $\hat{\mathbf{R}} = M^{-1} \sum_{m=1:M} \mathbf{y}_{-m}\mathbf{y}_{-m}^H$ . Malheureusement, ce remplacement n'est plus pertinent quand les dimensions  $M$  et  $N$  sont comparables. Dans ces situations, il est souvent plus pertinent de supposer qu'elles convergent vers l'infini au même rythme. L'estimée  $\hat{\mathbf{R}} = M^{-1} \sum_{m=1:M} \mathbf{y}_{-m}\mathbf{y}_{-m}^H$  n'est alors plus consistante et l'algorithme MUSIC doit être alors complètement repensé. L'alternative proposée dans le cadre de SESAME est l'algorithme G-MUSIC qui s'avère efficace dans le régime asymptotique considéré. Cet algorithme prend sa source dans la théorie des matrices aléatoires et celle de l'estimation.

### ✓ Radio cognitive

Le spectre radio est une ressource limitée. La multiplication des communications sans fil et la demande toujours croissante en débit initiée par les nouveaux usages ont motivé une gestion plus flexible de la ressource spectrale. La radio cognitive est l'ensemble des techniques développées dans cette perspective. Dans le cadre du projet SESAME, de nombreux aspects statistiques propres à la radio cognitive ont été abordés : estimation, détection, etc. L'originalité des problèmes posés provient de la spécificité des données disponibles dans le cadre de communications liées à la radio cognitive. Le schéma ci-dessous illustre la détection dans le cadre d'un réseau secondaire, non prioritaire, qui teste l'absence de signal envoyé par le réseau primaire, qui est prioritaire :



A nouveau, ce sont les matrices aléatoires qui jouent un rôle crucial dans la modélisation et l'analyse de ces aspects.

### ✓ Communications sans fil CDMA & Traitements spatio-temporels

- ▷ Développement de la preuve de la conjecture que la capacité d'un système CDMA complètement asynchrone est la même qu'un système CDMA synchrone au niveau des symboles mais qui n'est pas synchrone au niveau des chips.
- ▷ Développement d'un nouvel algorithme d'estimation améliorée de matrices de covariance spatio-temporelles exploitant la structure bande-bloc Toeplitz (ou circulante) en temporel et le rang réduit du spectre en fréquence. Application à la déréverbération en signaux audio multi-microphone et au traitement des signaux (par ex. estimation du canal en aveugle) de communication radio multi-antenne avec préfixe cyclique.

## Conclusion

Le projet SESAME est un projet ANR qui s'inscrit, par son périmètre, dans la continuité du projet ACI (Action Concertée Incitative) MALCOM (2004/07). Au delà de la production scientifique, largement conforme au cahier des charges initial, les thématiques explorées par SESAME font l'objet d'un intérêt soutenu de la part de la communauté scientifique.

D'un point de vue du traitement du signal et des communications numériques, le projet SESAME a développé des aspects statistiques novateurs, grâce à la mise en place d'un cadre méthodologique adéquat. Les contributions méthodologiques de SESAME sont ou seront directement utilisées dans l'exploration de thématiques prometteuses en communications numériques telle que l'optimisation de la ressource spectrale (Radio cognitive), la sobriété énergétique dans les communications numériques (écoradio), etc. D'un point de vue des mathématiques associées, c'est à dire principalement au niveau de la théorie des grandes matrices aléatoires, le projet SESAME a contribué à la diffusion des modèles matriciels utilisés en communications numériques auprès de la communauté probabiliste. Il a également permis de jeter des ponts avec la communauté statistique.

Au bilan, le projet SESAME a contribué à cristalliser sur la scène scientifique nationale nombre de compétences fortes à l'interface entre les sciences de l'ingénieur et les mathématiques appliquées. Il a articulé les travaux des différentes équipes françaises travaillant sur le sujet.

Le projet SESAME a également participé à la formation de jeunes scientifiques, par des aspects de soutien financier mais aussi par des aspects d'encadrement scientifique, à travers les nombreuses réunions et manifestations scientifiques organisées.