

**DEPARTEMENT COMMUNICATIONS, IMAGES ET
TRAITEMENT DE L'INFORMATION- CITI**

<http://citi.telecom-sudparis.eu/>

Institut Mines-Telecom

Telecom SudParis

9, rue Charles Fourier
91 000 Evry

http://www.telecom-sudparis.eu/fr_accueil.html

Rapport d'activité de recherche 2015-2017

DEPARTEMENT COMMUNICATIONS, IMAGES ET TRAITEMENT DE L'INFORMATION- CITI

<http://citi.telecom-sudparis.eu/>

Rapport d'activité de recherche 2015-2017

Les domaines de compétence du Département CITI sont au cœur des technologies de l'information et de la communication. Les recherches s'articulent autour de méthodes de modélisations et traitements du signal et des images. Le positionnement des activités se situe entre les recherches universitaires et la recherche-développement. Certaines études sont ainsi applicatives et d'autres sont de type plus amont, sans être guidées par des applications immédiates. Les modélisations probabilistes et les méthodes statistiques de traitements font partie des outils privilégiés faisant largement appel aux formalismes mathématiques récents ou innovants. Les activités sont réparties dans deux groupes : "Statistique, signal, et communications", "Statistique, images, et optimisation".

Responsable du département : Wojciech PIECZYNSKI
Téléphone : 33 (0) 1 60 76 44 34
Fax : 33 (0) 1 60 76 44 33
Mail générique du département : CITI@telecom-sudparis.eu

Présentation générale du département

Le département Communications, Images et Traitement de l'Information (CITI) compte au 1^{er} janvier 2018 une assistante de gestion (AG) et 13 enseignants-chercheurs, dont 5 professeurs (P), 1 Professeur Emérite (PE), 1 directeur d'études (DR), 4 maîtres de conférences (MC), et 2 chargés d'enseignement et de recherche (CER).

Le département a été réorganisé en février 2017 :

- le groupe "Communications sans fil" est devenu groupe "Statistique, signal, et communications" (SSC);
- le groupe "Images et optimisation" est devenu groupe "Statistique, images, et optimisation" (SIO);
- Randal Douc a été nommé, à la place de Jean-Pierre Delmas partant à la retraite, adjoint au responsable du département ;
- Frédéric Lehmann a été nommé responsable du groupe SSC ;
- Emmanuel Monfrini a été nommé responsable du groupe SIO.

Yohan Petetin a rejoint le département en septembre 2015, en remplacement de Jean-Pierre Delmas, nommé Professeur Emérite. Daniel Clark a rejoint le département en septembre 2017, en remplacement de Roger Lamberti parti à la retraite.

Annuaire en janvier 2018

Nom, Prénom		Téléphone	URL web	Bureau	Groupe	Section CNU	Section CNRS
Bonnet Julie	AG	01 60 76 44 34		D 203			
Castella Marc	MC	01 60 76 41 71	url	D 205-02	SSC	61	7
Clark Daniel	MC	01 60 76 46 30		D 206	SSC	26	41
Delmas Jean-Pierre	PE	01 60 76 46 32	url	D 207	SSC	26	41
Desbouvries François	P	01 60 76 45 27	url	D 202	SSC	26	7
Douc Randal	P	01 60 76 45 29	url	D 204	SSC	26	41
Leclère Luc	CER	01 60 76 44 69		D 201	SIO		
Lehmann Frédéric	P	01 60 76 46 33	url	D 205-01	SSC	61	7
Letrou Christine	P	01 60 76 46 29	url	B 207	SSC	63	8
Monfrini Emmanuel	MC	01 60 76 40 56	url	D 207	SIO	26	41
Petetin Yohan	MC	01 60 76 47 39	url	D 202-01	SSC	26	7
Pieczynski Wojciech	P	01 60 76 44 25	url	D 205	SIO	26	41
Simon François	DR	01 60 76 46 31		B 208	SIO	26	41
Uro Marc	CER	01 60 76 46 11		B 201-01	SIO		

En janvier 2018 les membres du département dirigent, encadrent, ou co-encadrent dans le cadre de collaborations, 10 doctorants :

Nom Prénom	Collaborations	Encadrants CITI
Aussel Nicolas	Triagnosys, Allemagne	Yohan Petetin
Barbosa Serge	ENSIIE Evry	Randal Douc
Campbell Marc	Herriot Watt, Edimbourg	Daniel Clark
Gangloff Hugo	Telecom Strasbourg	Emmanuel Monfrini
Lamberti Roland	IMT Lille-Douai	François Desbouvries, Yohan Petetin
Li Haoyu	Centrale Lyon	Wojciech Pieczynski
Marmin Arthur	Centrale-Supelec	Marc Castella
Narykov Alexey	Herriot Watt, Edimbourg	Daniel Clark
Salaun Achille	Nokia	François Desbouvries, Yohan Petetin
Tor Kimsy	Telecom Paristech	Randal Douc

Les activités du département poursuivent des objectifs s'inscrivant dans les trois missions principales de L'institut Mines-Telecom, que sont l'enseignement, la recherche, le transfert et l'aide à l'innovation.

En matière d'enseignement, les membres de CITI assurent la coordination des Domaines « Mathématiques » et « Signal et Communications », couvrant les modules de mathématiques, probabilités, statistique, calcul scientifique, communications numériques, traitement du signal, électromagnétisme, antennes, propagation, Les enseignants-chercheurs de CITI interviennent également dans la voie d'approfondissement de troisième année « Méthodes Statistiques et Applications » (<http://vap.telecom-sudparis.eu/msa/home.html>), dont une partie des enseignements est directement issue de leurs activités de recherche. Certains membres de CITI interviennent dans les formations extérieures : Randal Douc assure des enseignements à l'Ecole Polytechnique, Emmanuel Monfrini à Télécom Physique Strasbourg, Marc Castella, François Desbouvries, et Yohan Petetin interviennent dans le Master2 « Data Sciences - Santé, Assurance, Finance » à l'Université d'Evry, Marc Castella et Frédéric Lehmann dans le Master2 « Multimedia Networking » à l'Université Paris-Saclay, et Frédéric Lehmann dans le Master2 « Réseaux Optiques et Systèmes Photoniques », toujours à l'Université Paris-Saclay.

En matière de recherche, CITI poursuit classiquement un triple objectif :

(i) irriguer les enseignements et perfectionner leur niveau, notamment ceux des voies d'approfondissement ou des Master2;

(ii) contribuer à l'accroissement général des connaissances et assurer la formation par la recherche en encadrant des thèses de doctorat;

(iii) assurer des activités de veille et de transferts technologiques vers l'industrie et autres acteurs économiques.

En matière de valorisation des résultats académiques obtenus l'accent est mis sur les publications en revues internationales. Le transfert et l'aide à l'innovation s'effectuent principalement via co-encadrements des doctorants bénéficiant des bourses CIFRE.

Au plan des rattachements institutionnels, CITI est lié au CNRS par le biais de l'Unité Mixte de Recherche « SAMOVAR » (UMR 5157). Neuf enseignants-chercheurs du département CITI appartiennent à l'équipe TIPIC de cette UMR, dont les résultats ont été évalués positivement par l'AERES en Mai 2015.

CITI entretient différentes collaborations institutionnelles nationales et internationales (Université Paris VI, Université Herriot Watt, Edimbourg, Telecom ParisTech, Centrale-Supelec, Ecole Centrale de Lyon, l'Université de Lund en Suède, l'Ecole Militaire Polytechnique d'Alger, ENSA Tanger, Maroc, Université de Tel Aviv, Israël ...), industrielles (Thales, Safran, Quantcube)... CITI a également été impliqué dans un contrat ANR « PECUMIA ».

Les activités de recherche de CITI s'effectuent au sein de deux groupes: *Statistique, signal, et communications* (SSC, 8 membres permanents), et *Statistique, images, et optimisation* (SIO, 5 membres permanents);

Les thèmes de recherche du groupe «*Statistique, signal, et communications*»

- Déconvolution aux ordres supérieurs, séparation des sources ;
- Bornes de performances et gains en performances d'algorithmes apportés par la prise en compte de la noncircularité et la cyclostationarité de signaux de communications numériques ;
- Estimation des paramètres dans les chaînes de Markov cachées ;
- Analyse des algorithmes de filtrage et lissage particuliers ;
- Algorithmes de Monte Carlo séquentiels ;
- Optimisation de positions de capteurs en goniométrie champ lointain et champ proche, capteurs omnidirectionnels et directionnels, propagation libre et milieu conducteur ;
- Turbo-égalisation, décodage itératif ;
- Filtrage particulier ;
- Modèles de Markov Couple et Triplet à états continus ;
- Réception Ultra Large Bande Impulsionnelle ;
- Méthodes de modélisation électromagnétique et de modélisation de la propagation d'ondes ;
- Caractérisation de canaux de propagation par lancer de faisceaux gaussiens ;
- Antennes à lentille ou à réflecteurs.

De manière générale, les efforts de recherche du groupe concernent les problèmes de transmission de données. L'objectif général est de transmettre des quantités massives d'informations à hauts débits et de façon fiable, tout en permettant à de multiples utilisateurs d'accéder simultanément au médium de communication, ce dernier pouvant être une liaison satellite, une boucle radio, un câble dédié, ou encore une fibre optique. De tels problèmes impliquent une synergie entre, d'une part, des outils amont faisant appel à la théorie de l'information, la théorie des systèmes, et la théorie de l'estimation

et, d'autre part, des préoccupations plus concrètes ayant trait à l'analyse de complexité, aux équivalences algorithmiques et à la physique pour l'ingénierie.

Plus précisément, les différentes activités du groupe, développées pendant la période 2015-2017 autour des principaux acteurs cités, ont été les suivantes.

Jean-Pierre Delmas :

Un état de l'art sur des bornes de performance et des performances statistiques asymptotiques d'algorithmes génériques d'estimation de paramètres à valeurs complexes a fait l'objet d'un article tutorial [R5].

Des études d'optimisation de positions de capteurs en goniométrie champ proche [R16] et champ lointain à capteurs directifs dans un cadre de capteurs disposés dans un plan [R17] ont été menées. Une expression compacte interprétable de la borne de Cramer Rao de localisation de sources a été démontrée et analysée dans le cadre difficile de sources dite rectilignes [R29].

Une étude de gains en performances de plusieurs algorithmes apportés par la prise en compte de la cyclostationnarité et de la noncircularité conjointes de signaux de communications numériques ont été menées [R2]. Des applications ont été étudiées en partenariat avec le CNAM et Thales Communications-Security.

Dans la suite, on abordera les problématiques suivantes :

- Des études théoriques seront menées sur la cyclostationnarité, en particulier sur la détection optimale d'une forme d'onde en présence d'un bruit gaussien cyclostationnaire à temps continu et sur l'extension du théorème de Whittle dans le cadre de processus gaussiens cyclostationnaires à temps continu ;

- Des études de gains en performances de plusieurs algorithmes apportés par la prise en compte de la cyclostationnarité et de la noncircularité conjointes de signaux de communications numériques seront poursuivies. Des applications seront étudiées en partenariat avec le CNAM et Thales Communications-Security dans le cadre d'une thèse menée au CNAM ;

- La filtrage de Volterra sera appliqué dans le cadre du beamforming d'un point de vue MVDR et MMSE sous les aspects algorithmes et performances quantifiant les gains apportés par la non gaussianité et la non circularité aux ordres supérieurs de signaux de communications numériques.

Randal Douc :

Une classe de modèles volontiers utilisée dans des domaines aussi divers que le traitement du signal, la statistique liée aux génomes ou les mathématiques financières est constituée par des modèles à données latentes (ou non observées) tels que les chaînes de Markov cachées ou les modèles autorégressifs à régime markovien. Dans ce cadre, des propriétés de consistance et de normalité asymptotique de l'estimateur du maximum de vraisemblance ont pu être montrées et le comportement asymptotique du maximum de vraisemblance en Chaînes de Markov cachées est maintenant bien connu sous des conditions très générales incluant le cas non compact pour des modèles bien ou mal spécifiés. Ces résultats ont été étendus dans des modèles de comptage dirigés par les observations (Observation-driven time series models), modèles couramment utilisés en économétrie, et l'identification des maxima de la log-vraisemblance limite a pu être obtenu sous des conditions facilement vérifiables dans de nombreux modèles ([R7] et [R15]). Dans un cadre semi-paramétrique, les propriétés de consistance et normalité

asymptotique ont pu être obtenues pour le Quasi-Maximum de vraisemblance dans des modèles à données cachées sous des conditions très générales ([R26]).

Des outils généraux d'analyse des algorithmes de filtrage ou de lissage particuliers ont pu être développés dont le principe consiste à faire évoluer une population de particules à travers des étapes très simples de sélection-mutation pour approcher une famille de distributions d'intérêt. Dans la continuité de ce travail, nous avons analysé l'algorithme de Particle Gibbs ([R8]) et établi sous des conditions générales l'ergodicité uniforme de la chaîne correspondante. Une stabilisation de ces propriétés en fonction du temps a pu aussi être établie.

Nous avons enfin développé des outils de comparaison de divers algorithmes MCMC à augmentation de données basés sur la « covariance ordering » et les avons étendu à des chaînes inhomogènes. Ceci a permis en particulier d'analyser divers algorithmes liés aux modèles de mélange dont celui de Carlin et Chib et qui est un modèle typique à augmentation de données [R1].

Une des perspectives est le développement des algorithmes qui puissent résister à la grande dimension, soit que les observations soient nombreuses soit que la dimension des états cachés soit importante. Des résultats d'estimation de la variance de type « fixed lag » en filtrage particulière basée sur une seule famille de particules ont déjà été proposés et permettent de construire des intervalles de confiance insensibles aux nombres d'observations. Un travail en cours permet aussi de combiner aléatoirement des algorithmes dont le régime est choisi en fonction des régions d'exploration.

Frédéric Lehmann :

Les systèmes de transmission (de type communication ou radar), sont le plus souvent soumis à de fortes contraintes en termes de rapport signal sur bruit ou d'interférences, et nécessitent des algorithmes d'estimation et de détection performants. En modélisant ces dispositifs comme des systèmes dynamiques à état mixte discret/continu, les algorithmes d'inférence bayésienne distribués comme la propagation de croyance offrent un compromis performances/complexité avantageux. Dans le domaine des communications numériques, des résultats prometteurs ont été obtenus pour l'exploitation de la diversité dans les réseaux multi-relais [R14], dans le contexte de l'annulation d'interférences [R13], ainsi que pour l'estimation conjointe du canal et la poursuite de phase dans le contexte des communications optiques en régime non-linéaire [R11].

Par ailleurs, dans le domaine du traitement radar, une étude des algorithmes d'optimisation de forme d'onde pour les systèmes multi-statiques a été initiée. Ces travaux sont menés conjointement avec THALES Air Systems dans le cadre de la thèse CIFRE de Fabien Arlery.

De plus, une collaboration scientifique avec le Pr. Yuriy Shmaliy de l'université de Guanajuato (Mexique) est en cours sur les traitements statistiques à base de filtres FIR et leurs extensions aux modèles à sauts. En particulier, le Pr. Yuriy Shmaliy a pu effectuer un séjour en tant que professeur invité avec un financement de la DRFD.

Le problème de l'accès massif généré par le trafic émanant de l'internet des objets constitue un enjeu majeur des télécommunications du futur. Une réponse possible à ce défi consiste à exploiter au mieux le caractère sporadique des émissions en provenance des objets en proposant des représentations parcimonieuses. Cependant, ce paradigme présente ses contraintes propres, à savoir qu'une station de base doit être en mesure de détecter conjointement l'identité des objets qui transmettent et les données transmises. De nouveaux modèles probabilistes ainsi que les traitements algorithmiques associés seront abordés.

Christine Letrou :

L'activité de recherche en propagation cherche à exploiter différentes représentations temps-fréquence dans le domaine spatial et spectral associé (appelé "espace des phases").

La formulation du Lancer de Faisceaux Gaussiens (LFG) à partir de frames de Gabor, initiée à TSP, et d'abord validée pour la propagation en espace libre, a fait l'objet de développements et de tests pour l'analyse de champs en environnements complexes. La méthode de LFG a été confrontée à la méthode d'Equation Parabolique et à la Méthode des Moments pour la simulation de la propagation en environnement urbain, en particulier pour des applications de Radar terrestre, dans le cadre du projet ASTRID PECUMIA (Propagation Électromagnétique en Configuration Urbaine par des Méthodes Innovantes Asymptotiques) financé par la DGA, mené en collaboration avec la PME NOVELTIS et avec Thales (Thales Air Systems). Cette confrontation a permis de valider la méthode de LFG, en particulier son algorithme de redécomposition sur les surfaces diffractantes, pour le calcul des champs dans la zone d'ombre de bâtiments parallélépipédiques, en présence d'un sol conducteur. La confrontation avec la Méthode des Moments et la méthode d'Optique Physique rapide itérative (FIPO) ont permis par ailleurs de démontrer que cet algorithme de LFG avec redécomposition permet d'obtenir une précision équivalente à la méthode FIPO, dans le cas de problème de réflexions multiples en champ proche avec diffraction.

La collaboration avec l'Université de Tel-Aviv autour de l'algorithme d'Optique Physique rapide MLPO (décomposition hiérarchique multi-niveaux) s'est enrichie d'échanges avec Vladimir Khaikin, du Special Astrophysical Observatory - Russian Academy of Science (SAO-RAS), autour de la modélisation de l'antenne du système RATAN 600, dans sa configuration conçue pour des observations dans le domaine millimétrique. Il s'agit d'une des plus grandes antennes au plan mondial, ce qui constitue un défi pour la simulation électromagnétique. La formulation de l'algorithme MLPO, modifiée de façon à pouvoir traiter le rayonnement en champ proche et les systèmes multi-rélecteurs, a été validée par comparaison avec des mesures et avec une méthode de rayons, dans le domaine centimétrique, et son efficacité a été démontrée pour des problèmes de diffraction en champ proche de taille aussi grande que 10^6 .

L'algorithme MLPO fait l'objet d'une collaboration non seulement avec l'Université de Tel-Aviv mais aussi avec le Special Astrophysical Observatory (RAS) en Russie pour la simulation de la très grande antenne du radiotélescope RATAN600. A cette occasion, la méthode va être enrichie d'une formulation "champ proche" itérative. Le calcul de champs focaux en vue d'applications d'imagerie focale est également en cours d'étude. Une nouvelle formulation de "partition spectrale" devrait permettre de généraliser le Lancer de Faisceaux Gaussiens à partir de frames au cas d'antennes non directives, et de problèmes de diffraction. Une thèse en cours et des projets de collaboration avec Thalès devraient permettre de valider cette approche. La méthode pourrait alors être testée sur des problèmes de propagation en milieu urbain ou semi-urbain.

Yohan Petetin et François Desbouvries :

Plusieurs améliorations des méthodes de Monte Carlo séquentielles (appelées également filtrage particulaire) ont été proposées dans le cadre du co-encadrement de la thèse de Roland Lamberti en collaboration avec l'IMT Lille-Douai.

La première concerne l'utilisation de techniques de réduction de variance temporelles (contrairement aux techniques de réduction de variance spatiales habituellement utilisées) tandis que la seconde se focalise sur le mécanisme de ré-échantillonnage utilisé dans ces méthodes. Plus précisément, une technique de rééchantillonnage dite rééchantillonnage indépendant a été introduit dans [R27] et vise à lutter contre

l'appauvrissement de l'approximation Monte Carlo dans des modèles informatifs ou à grande dimension.

Une deuxième thématique concerne l'étude de modèles de réseaux de neurones profonds adaptés au caractère séquentiel des problèmes faisant intervenir l'arrivée de nouvelles observations au cours du temps. Plus précisément, ces modèles, appelés réseaux de neurones récurrents, et dont les bonnes performances restent encore incomprises, sont étudiés dans le cadre d'un co-encadrement de thèse avec les Nokia Bell Labs. L'objet de cette thèse est d'étudier en quoi ces modèles peuvent être pertinents pour la prédiction d'alarmes dans des réseaux de communication.

Yohan Petetin :

Une troisième thématique développée porte sur l'apprentissage statistique. D'une part, l'utilisation des réseaux de neurones profonds ont été étudiés pour la reconnaissance d'environnement à partir de signaux audio. D'autre part, dans le contexte d'un co-encadrement de thèse de Nicolas Aussel avec l'entreprise Triagnosys et le département Informatique, les recherches portent en partie sur le développement d'algorithmes d'apprentissage statistique pour la prédiction de panne de systèmes embarqués dans les avions. Actuellement, cet axe de recherche se focalise sur des approches dites « federated learning » dans lesquelles les données d'apprentissage ne suivent pas nécessairement la même distribution suivant les agents considérés.

A travers les diverses recherches menées dans le groupe SSC, y compris celles mettant en jeu des collaborations industrielles, il se dégage un intérêt pour des sujets clairement identifiés, les modélisations statistiques et numériques pouvant donner lieu à des développements très généraux indépendants de l'application.

Les thèmes de recherche du groupe «*Statistique, images, et optimisation*»

- Modèles de Markov couples et triplets à états discrets ;
- Filtrage et lissage exacts dans les systèmes linéaires à sauts ;
- Segmentation statistique non supervisée d'images.

Emmanuel Monfrini :

Les études des modélisations probabilistes et des traitements statistiques d'images ont été poursuivies. En particulier, le travail tourne autour de l'apport des modèles de Markov triplet dans ce genre d'application. Ces études ont permis de mettre en évidence la robustesse des modélisations markoviennes triplet, en particulier pour la segmentation non supervisée d'images texturées de l'œil, partiellement altérées ainsi qu'en imagerie astronomique.

L'étude sur l'intérêt des modèles de chaînes de Markov triplet appliquées à la biométrie a permis de proposer des méthodes novatrices dans le domaine de la reconnaissance de l'iris. Ces travaux sont compilés dans la thèse de Meriem Yahiaoui soutenue à TSP le 11 juillet 2017.

Ces méthodes ont également été appliquées dans le cadre de la segmentation d'images hyperspectrales de champs profonds obtenues grâce au nouvel outil MUSE du Very Large Telescope européen. Ces travaux, effectués dans le cadre de la thèse de Jean-Baptiste Courbot, sont réalisés dans le cadre de l'ERC Grant MUSICOS en collaboration avec l'Université de Strasbourg et l'Université de Lyon.

Les résultats présentés dans la thèse d'Ivan Gorynin permettent d'étendre aux cas du filtrage, du lissage et de la prédiction à travers des modèles innovants de calcul exact des

solutions bayésiennes [R28, R23]. Ces modèles permettent d'éviter le recours aux méthodes de Monte-Carlo, parfois trop coûteuses en temps de calcul.

Les travaux sur cette période ont permis de mettre en lumière de nouvelles pistes sur la manière d'envisager la non markovianité du processus caché à travers les modèles de Markov triplet. Approfondir ce travail permettra de nourrir les applications à l'extraction de données sur cube d'images microtomographiques dans le cadre des maladies cardiovasculaire et poursuivre le travail sur l'imagerie astronomique hyperspectrale.

Wojciech Pieczynski :

Les études des modèles de Markov triplets permettant l'utilisation de la théorie de l'évidence dans un contexte markovien ont abouti aux modélisations générales, aussi bien dans le cas des chaînes [R21] que celui des champs [R12]. En particulier, une nouvelle variante des champs de Markov évidentiels a été appliquée avec succès à la segmentation non supervisée d'images non stationnaires avec bruit non Gaussien [R20] ;

L'utilisation des champs de Markov triplets pour modéliser la non stationnarité au niveau du bruit plutôt qu'au niveau de l'image des classes a donné des résultats encourageants [R19] ;

Les extensions successives de la méthode « iterative conditional estimation » (ICE) ont abouti à une démarche générale permettant, dans un modèle de Markov couple ou triplet à états cachés discrets, de déterminer les formes des lois marginales et des copules définissant un modèle, ainsi que d'estimer les paramètres correspondants [R18] ;

Pour X, Y processus caché et observé, les deux à états continus, l'introduction des processus de Markov triplets (X, R, Y) - avec R à états discret - a ouvert la voie à la conception de nombreux modèles originaux. Certains, dont l'originalité est de supposer la markovianité de (R, Y) plutôt que celle de (R, X) systématiquement admise dans les modèles classiques, permettent des traitements (filtrage, lissage, prédiction) analytiques et donc rapides [R4]. Un des intérêts de tels modèles triplets est leur pouvoir d'approcher tout système (X, Y) markovien non gaussien, non linéaire, ce qui en fait une alternative aux méthodes particulières [R23], [R28].

Certains résultats d'une collaboration avec le laboratoire Latim, Brest (INSERM - U 1101) dans le domaine des modélisations markoviennes d'images pour segmentation des images médicales PET/CT à des fins de suivi des évolutions de tumeurs ont été publiés dans [R30].

Les études des modèles de Markov triplets seront continuées dans plusieurs directions. Les récentes chaînes de Markov triplets permettant le filtrage et le lissage exacts en présence des sauts seront utilisées pour approcher divers systèmes non linéaires et non gaussiens, après avoir au préalable étendu ces derniers aux modèles couples. La volatilité stochastique en finances et la poursuite seront parmi les applications visées. Les premières relations avec la théorie de l'évidence seront étendues aux modèles plus généraux et intégrées, si possible, dans les modèles à sauts. L'intégration des copules dans les modèles à sauts sera étudiée dans le cadre de leur choix automatique, permettant des traitements non supervisés dans des cadres généraux. Les méthodes obtenues seront comparées aux méthodes fondées sur les MCMC, comme le filtrage particulière. Enfin, le problème de l'estimation des paramètres, d'importance déterminante pour les applications pratiques, sera abordé.

Bien que le point de départ des recherches menées au sein du groupe SIO soit essentiellement lié aux modélisations utilisées en traitements d'images et du signal au sens large, les modèles et les méthodes proposés sont généraux et peuvent être utilisés dans de nombreux autres domaines où se présentent des problèmes de restauration ou

de prédiction, comme l'économie, la finance, la biologie, la santé, la météorologie, l'écologie, la physique,...

Valorisations Contractuelles et Collaborations Industrielles

- collaboration avec Thales Communications (Colombes) dans le cadre d'une bourse CIFRE ;
- collaboration avec Quantcube (Paris) dans le cadre d'une bourse CIFRE ;
- co-encadrement d'une thèse financée par ONERA, centre de Châtillon ;
- Projet ANR « ASTRID » ;
- Projet PECUMIA ;
- Triagnosys (Allemagne), co-encadrement de la thèse de Nicolas Aussel ;
- Nokia Bell Labs, encadrement de la thèse d'Achille Salaun.

Collaborations nationales

Sur le plan académique, les collaborations nationales de CITI impliquent :

- Ecole Polytechnique ;
- les Ecoles de l'INSTITUT TELECOM ;
- Ecole Centrale de Lyon ;
- le CNRS : participation aux activités du GDR-PCR Information Signal-Image-viSion (ISIS) et du GDR Ondes du CNRS ;
- Centrale-Supélec/L2S ;
- Laboratoire I3S, Université de Nice Sophia-Antipolis ;
- Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes (IETR, UMR CNRS 6164) ;
- ONERA, centre de Châtillon ;
- le CNAM Paris (laboratoire CEDRIC) ;
- Télécom Physique Strasbourg (Université de Strasbourg) ;
- Laboratoire Latim - INSERM, U 1101, Brest.

Collaborations internationales

Sur le plan académique, les collaborations internationales de CITI impliquent :

- L'Université Herriot-Watt, Edimbourg, Royaume Uni ;
- L'Université de Tel-Aviv, Israël ;
- L'Université de Melbourne, Australie ;
- Ben Gurion University of the Negev ;
- Special Astrophysical Observatory - Russian Academy of Science (SAO-RAS)
- Instituto Militar en Engenharia, Rio de Janeiro, Brésil ;
- L'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie ;
- Ecole Militaire Polytechnique, Alger, Algérie ;
- L'Université de Lund, Suède ;
- L'Université des Sciences et de la Technologie d'Oran - Mohamed-Boudiaf, Algérie ;
- Université de Guanajuato, Mexique (visites du Professeur Yuriy Shmaliy) ;
- Université de Tartu, Estonie (visite du Professeur Yuri Lember).

Formation doctorale

8 thèses de doctorat ont été soutenues au cours de la période 2015-17 :

Tepmony SIM, Estimation du maximum de vraisemblance dans les modèles de Markov partiellement observés avec des applications aux séries temporelles de comptage, thèse de Telecom ParisTech, co-encadrée par François Roueff, Telecom ParisTech, et Randal Douc, Telecom SudParis, soutenue à Telecom ParisTech le 8 mars 2016.

Fabien Arlery, Formes d'ondes MSPSR, traitements et performances associés, thèse de l'UPMC, co-encadrée par Rami Kassab, Thales Air Systems, et Frédéric Lehmann, TelecomSudParis, soutenue le 1 décembre 2017.

Rémi Chauvat, Étude de liaisons SISO, SIMO, MISO et MIMO à base de formes d'ondes FBMC-OQAM et de récepteurs Widely Linear, thèse du CNAM, Paris, co-encadrée par Pascal Chevalier (CNAM) et Jean-Pierre Delmas (TelecomSudParis), soutenue au CNAM le 31 mars 2017.

Jean-Baptiste Courbot, Traitement statistique d'images hyperspectrales pour la détection d'objets diffus : application aux données astronomiques du spectro-imageur MUSE. Thèse de l'Université de Strasbourg, co-encadrée par Christophe Collet (Telecom Strasbourg, directeur de thèse), Roland Bacon (Centre de Recherche Astrophysique de Lyon), et Emmanuel Monfrini (Telecom SudParis), soutenue à Telecom Strasbourg le 13 octobre 2017.

Ivan Gorynin, Bayesian state estimation in partially observable Markov processes, thèse de l'Université Paris-saclay, co-encadrée par Emmanuel Monfrini et Wojciech Pieczynski (Telecom SudParis), soutenue le 13 décembre 2017.

Mustapha Sadok, Exploitation de la noncircularité pour les transmissions et l'écoute passive, thèse de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris, encadrée par Jean-Pierre Delmas (Telecom SudParis), soutenue le 15 décembre 2017.

Meriem Yahiaoui, Modèles statistiques avancés pour la segmentation non supervisée des images dégradées d'iris, thèse de l'Université Paris-Saclay, encadrée par Bernadette Dorizzi et Emmanuel Monfrini (Telecom SudParis), soutenue à TSP le 11 juillet 2017.

Fei Zheng, Learning and smoothing in switching Markov models with copulas, thèse de l'École Centrale de Lyon, co-encadrée par Stéphane Derrode (ECL) et Wojciech Pieczynski (Télécom SudParis), soutenue l'ECL le 18 décembre 2017.

Prix et distinctions

- « Prix de thèse DGA 2016 » reçu par Florian Maire le 24 novembre 2016. Thèse « Détection et la classification de cibles multispectrales dans l'infrarouge » co-encadrée par Randal Douc (CITI, TSP), Eric Moulines (Polytechnique), et Sidonie Lefebvre (ONERA), soutenue le 14 février 2014 à Evry ;

- Hugo Gangloff a reçu le 4 décembre 2017, de la part de SEE, le Trophée Ile-de-France « Jeunes André Blanc-Lapierre » pour son rapport de stage de fin d'études à Telecom Sudparis intitulé «Segmentation et classification de stents dans l'artère fémorale superficielle par imagerie microtomographique», co-encadré par Christophe Collet (Telecom Strasbourg) et Emmanuel Monfrini (CITI, TSP) ;

- l'article "M. Y. Boudaren and W. Pieczynski, Dempster-Shafer fusion of evidential pairwise Markov chains, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 24, No. 6, pp. 1598-1610,

December 2016" a reçu le prix du meilleur article algérien de l'année 2017 en Computer Science & Engineering.

Publications

Au cours de la période 2015-2017 les enseignants-chercheurs publiant du département CITI ont fait paraître 30 articles de revues et 41 articles d'actes de conférences. La liste des articles d'actes de conférences peut être consultée au <http://citi.telecom-sudparis.eu/fr/publications/>

Publications en revues

- [R30] H. Hanzouli-Ben Salah, J. Lapuyade-Lahorgue, D. Benoit, J. Bert, P. Lambin, A. Van Baardwijk, E. Monfrini, W. Pieczynski, D. Visvikis, and M. Hatt, A framework based on hidden Markov trees for multimodal PET/CT image co-segmentation, *Medical Physics*, Vol. 44, No. 11, pp. 5835-5848, October, 2017.
- [R29] H. Abeida and J.-P. Delmas, Direct derivation of the stochastic CRB of DOA estimation for rectilinear sources, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 24, No 10, pp. 1522-152 October 2017.
- [R28] I. Gorynin, S. Derrode, E. Monfrini, and W. Pieczynski, Fast smoothing in switching approximations of non-linear and non-Gaussian models, *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol. 114, pp. 38-46, October 2017.
- [R27] R. Lamberti, Y. Petetin, F. Desbouvries, and F. Septier, Independent resampling sequential Monte Carlo algorithms, *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 65, No. 20, pp. 5318-5333, October 2017.
- [R26] R. Douc, K. Fokianos, and E. Moulines, Asymptotic properties of quasi-maximum likelihood estimators in observation-driven time series models, *Electronic Journal of Statistics*, Vol. 11, No. 2, pp. 2707-2740, July 2017.
- [R25] J.-B. Coubot, V. Mazet, E. Monfrini, and C. Collet, Extended faint source detection in astronomical hyperspectral images, *Signal Processing*, Vol. 135, pp. 274-283, June 2017.
- [R24] F Lehmann and A. Berthet, A factor graph approach to digital self-interference mitigation in OFDM full-duplex systems, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 24, No. 3, pp. 344-348, March 2017.
- [R23] I. Gorynin, S. Derrode, E. Monfrini, and W. Pieczynski, Fast filtering in switching approximations of nonlinear Markov systems with applications to stochastic volatility, *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 62, No. 2, pp. 853-862, February 2017.
- [R22] J.-B. Courbot, E. Rust, E. Monfrini, and C. Collet, Vertebra segmentation based on 2-step refinement, *Journal of Computational Surgery*, Vol. 4, No. 1, pp. 1-22, December 2016.
- [R21] M. Y. Boudaren and W. Pieczynski, Dempster-Shafer fusion of evidential pairwise Markov chains, *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Vol. 24, No. 6, pp. 1598-1610, December 2016.
- [R20] M. Y. Boudaren, L. An, and W. Pieczynski, Unsupervised segmentation of SAR images using Gaussian mixture hidden evidential Markov fields, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 13, No. 12, pp. 1865-1869, December 2016.
- [R19] A. Habbouchi, M. Y. Boudaren, A. Aissani, and W. Pieczynski, Unsupervised segmentation of Markov random fields corrupted by nonstationary noise, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 23, No. 11, pp. 1607-1611, November 2016.
- [R18] S. Derrode and W. Pieczynski, Unsupervised classification using hidden Markov chain with unknown noise copulas and margins, *Signal Processing*, Vol. 128, pp. 8-17, November 2016.

- [R17] H. Gazzah, J.-P. Delmas, S. M. Jesus, Direction-finding arrays of directional sensors for randomly located sources, *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 52, No. 4, pp. 1995-2003, November 2016.
- [R16] J.-P. Delmas, M. N. El Korso, H. Gazzah, M. Castella, CRB analysis of planar antenna arrays for optimizing near-field source localization, *Signal Processing*, Vol. 127, pp. 117-134, October 2016.
- [R15] R. Douc, F. Roueff, and T. Sim, The maximizing set of the asymptotic normalized log-likelihood for partially observed Markov chains, *Annals of Applied Probability*, Vol. 26, No.4, pp. 2357-2383, August 2016.
- [R14] F. Lehmann, A factor graph approach to iterative channel estimation, detection, and decoding for two-path successive relay networks, *IEEE Wireless Communications*, Vol. 15, No. 8, pp. 5414-5429, August 2016.
- [R13] F. Lehmann, A message-passing receiver for OFDM-based self-interference-limited networks, *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 65, No. 8, pp. 6136-6145, August 2016.
- [R12] M. Y. Boudaren, L. An, and W. Pieczynski, Dempster-Shafer fusion of evidential pairwise Markov fields, *International Journal of Approximate Reasoning*, Vol. 74, pp. 13-29, July 2016.
- [R11] F. Lehmann, Y. Frignac, and P. Ralantanis, Semi-blind joint phase tracking, parameter estimation and detection in the context of nonlinear channels with memory, *Signal Processing*, Vol. 122, pp. 75-86, May 2016.
- [R10] M. Y. Boudaren and W. Pieczynski, Unified representation of sets of heterogeneous Markov transition matrices, *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Vol. 24, No. 2, pp. 497-503, 2016.
- [R9] M. Yahiaoui, E. Monfrini, and B. Dorizzi, Markov Chains for unsupervised segmentation of degraded NIR iris images for person recognition, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 82, No. 2, pp. 116-123, October 2016.
- [R8] F. Lindsten, R. Douc, and E. Moulines, Uniform ergodicity of the Particle Gibbs sampler, *Scandinavian Journal of Statistics*, Vol. 42, No. 3, pp. 775-797, September 2015.
- [R7] R. Douc, F. Roueff, and T. Sim, Handy sufficient conditions for the convergence of the maximum likelihood estimator in observation-driven models, *Lithuanian Mathematical Journal*, Vol. 55, No. 3, pp. 367-392, July 2015.
- [R6] Y. Petetin and F. Desbouvries, Bayesian conditional Monte Carlo Algorithm for nonlinear time-series state estimation, *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 63, No. 14, pp. 3586-3598, July 2015.
- [R5] J.-P. Delmas and H. Abeida, Survey and some new results on performance analysis of complex-valued parameter estimators, *Signal Processing*, Vol. 111, pp. 210-221, June 2015.
- [R4] N. Abbassi, D. Benboudjema, S. Derrode, and W. Pieczynski, Optimal filter approximations in Conditionally Gaussian Pairwise Markov Switching Models, *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 60, No. 4, pp. 1104-1109, April 2015.
- [R3] C. Vergé, C. Dubarry, P. Del Moral, and E. Moulines, On parallel implementation of sequential Monte Carlo methods : the island particle model, *Statistics and Computing*, Vol. 25, No. 2, pp. 243-26, March 2015.
- [R2] J.-P. Delmas, P. Chevalier, S. Sallem, and M. Sadok, Récepteurs SIMO MLSE Widely Linear, *Traitement du Signal*, Vol. 32, No. 1, pp. 7-37, Mars 2015.
- [R1] R. Douc, F. Maire, and J. Olsson, On the use of Markov chain Monte Carlo methods for the sampling of mixture models: a statistical perspective, *Statistics and Computing*, Vol. 25, No. 1, pp. 95-110, January 2015.