

les défis du cea

Le magazine de la recherche et de ses applications

225

mars 2018

TOUT
S'EXPLIQUE

Supplément détachable
sur les impulsions lasers
femtoseconde et
attoseconde

02

L'INTERVIEW

◆ L'astrophysique et l'imagerie cérébrale progressent ensemble pour réduire le temps d'acquisition des images 3D ◆

04

ACTUALITÉ

◆ Collaboration CEA-HP autour de l'impression 3D ◆ Accord franco-chinois sur la R&D nucléaire ◆ Le Chili mise sur le solaire photovoltaïque ◆ Aledia lève 30 millions d'euros ◆ Des sciences pour tous les stagiaires de 3^e ◆ Le CEA dans le Top 100 mondial des acteurs de l'innovation ◆

06

SUR LE VIF

◆ Les JO 2018 en mode 5G, une première mondiale ◆ 117 millions de gènes du plancton découverts ! ◆ Projet JT-60SA : mission accomplie pour le CEA ◆

20

SCIENCES EN BRIEF

◆ La prévision des éruptions solaires désormais possible ? ◆ Du haut-débit dans les coins les plus reculés ◆ Un espoir dans le traitement de la cécité ◆ Découverte du plus ancien *Homo Sapiens* hors d'Afrique ◆ Vers une prothèse de genou connectée ◆ Des films polymères chauffants et transparents ◆ Du nouveau sur la résistance des plantes à la sécheresse ◆ Du tungstène pour muscler les STT-RAM ◆

23

KIOSQUE



12
DOSSIER

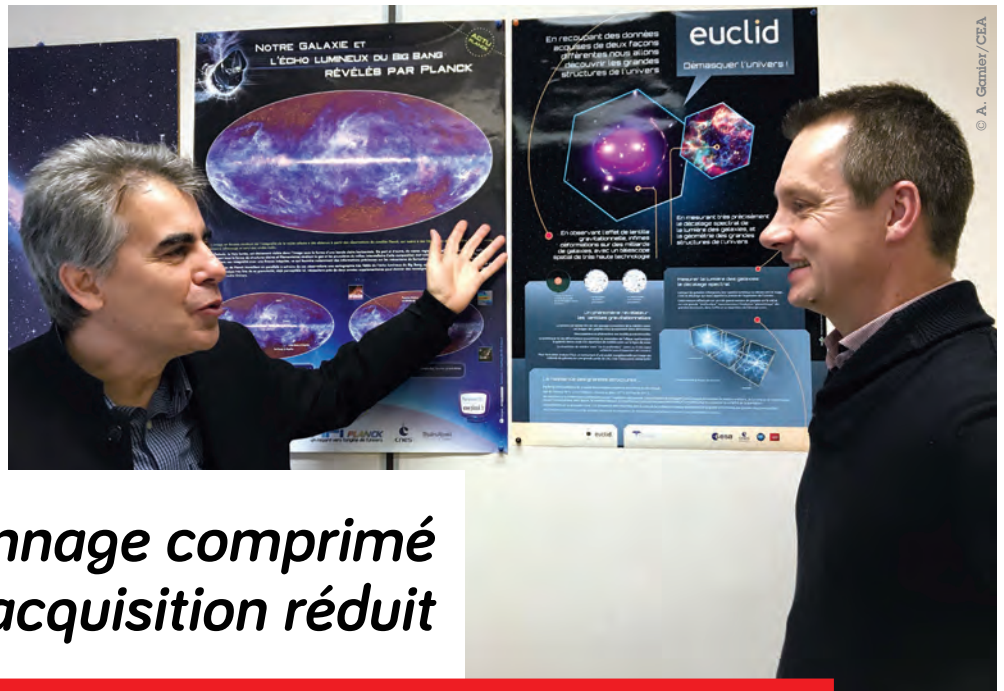
L'après Fukushima : l'expertise du CEA

JEAN-LUC STARCK,

Directeur de recherche au CEA-Irfu, notamment très impliqué dans la future mission spatiale Euclid dédiée à l'étude de l'énergie sombre et de la matière noire

PHILIPPE CIUCIU,

Expert-sénior du CEA-Frédéric Joliot, spécialiste de l'imagerie IRM et de l'analyse du fonctionnement cérébral



Échantillonnage comprimé pour temps d'acquisition réduit

Imaginez un spécialiste de la reconstruction 3D d'images issues d'observations astrophysiques venir en aide à un expert de l'imagerie IRM, au nom d'une problématique commune : réduire le temps d'acquisition d'images sans contraindre leur qualité. C'est tout l'enjeu du projet DRF Impulsion « Cosmic¹ ». À la clé, le développement d'un logiciel qui dépasse le cadre de ces disciplines et la préparation de la future génération d'IRM dont Iseult, en cours d'installation à NeuroSpin².

Propos recueillis par Aude Ganier

Qui est venu chercher qui sur ce projet DRF Impulsion Cosmic initié fin 2016 ?

Philippe Ciuciu : À Neurospin, nous développons de nouvelles techniques d'acquisition des images IRM. Il s'agit de réduire leur temps d'acquisition ou, à temps constant, d'obtenir des images de bien meilleure résolution. Mais, dès l'instant où l'on modifie la structure de l'acquisition, il faut également traiter la problématique de la reconstruction de l'image car nous n'acquérons pas les données

pixels par pixels dans l'espace image. Il y a donc une nécessaire étape de reconstruction qui consiste à restituer l'image à partir de données collectées. Cette étape se complexifie lorsque l'on développe des stratégies d'acquisition originales. Nous savons que l'équipe de Jean-Luc avait d'excellentes compétences en reconstruction d'images 3D d'observations astrophysiques. L'idée était de transférer leur savoir-faire chez nous !

Jean-Luc Starck : Il y a plusieurs niveaux de compétences dans ce projet. Nous apportons en effet notre expertise sur les parties algorithmes, reconstruction image et représentation des données. Et l'équipe de Philippe a une grande expertise en génie logiciel et optimisation en code informatique. Je leur ai par exemple donné des codes que j'avais écrits il y a quelques années, et après leur travail d'optimisation, ces codes vont aujourd'hui dix fois plus vite, avec la même précision. C'était très enrichissant pour nos deux équipes de se rencontrer. Nous avons constaté un réel plaisir à les voir étudier ensemble des problèmes joints, à discuter des solutions. Ce contexte est bien différent des projets européens où il y a une grande pression administrative.

Là, nous avons le sentiment de « ne » faire « que » de la recherche, et sans contrainte !

P.C. : Au fil des discussions sur nos problématiques respectives, il est devenu évident que nous pouvions développer une plateforme logicielle commune, utilisable à la fois pour les images IRM et pour les images astrophysiques, précisément en **radio-interférométrie**. Et c'est ce que nous sommes parvenus à faire à travers le logiciel libre Pysap³.

J.-L. S. : L'aspect principal de nos recherches consiste dans la minimisation du nombre de mesures pour une qualité d'image requise. La théorie mathématique de « l'échantillonnage comprimé » nous donne un cadre idéal pour développer nos algorithmes.

DRF IMPULSION

Depuis 2016, la recherche fondamentale du CEA réunit, au sein d'une même direction (DRF), les sciences de la matière et les sciences du vivant. L'occasion d'encourager les transversalités entre les chercheurs, au sein de projets baptisés DRF Impulsion.

Notes :

1. Compressed Sensing for Magnetic resonance Imaging and Cosmology.
2. Centre de neuroimagerie en champ intense du CEA et de l'Inserm, à Paris-Saclay
3. Python Sparse data Analysis Package.

Cet échantillonnage comprimé doit ainsi permettre la réduction du temps d'acquisition des images...

J.-L. S. : Absolument, car le temps d'acquisition est lié au nombre de mesures. En interférométrie, nous utilisons des réseaux de télescopes : chaque paire de télescopes ne nous donne qu'une information partielle sur l'objet céleste que l'on étudie. La grande difficulté est alors d'obtenir une image de bonne qualité compte tenu de ces mesures très partielles.

P.C. : La réduction du temps d'acquisition en imagerie IRM est également très importante, surtout pour certaines pathologies ou pour la pédiatrie car les malades et les enfants ne tiennent pas longtemps en place dans un scanner IRM ! Et le mouvement induit des artefacts sur les images IRM.

Comment y parvenez-vous ?

J.-L. S. : Il y a deux étapes complémentaires : le choix de la position des mesures et la manière de reconstruire les images une fois les données acquises. Ces étapes peuvent sembler indépendantes mais la théorie de l'échantillonnage comprimé établit justement un lien entre l'espace mathématique de l'acquisition et l'espace mathématique de la représentation des données. Il s'agit d'un nouveau concept qui est une approche jointe de l'acquisition-reconstruction.

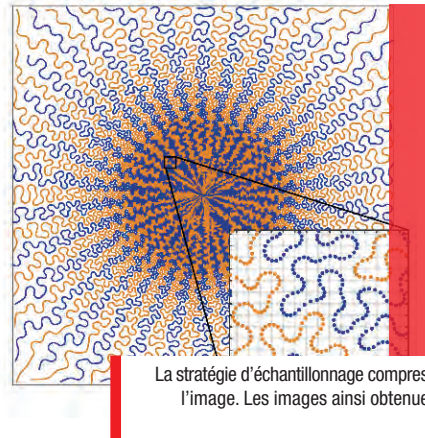
P.C. : Nous avons déjà développé des stratégies d'échantillonnage comprimé en IRM. Il nous restait à les coupler intelligemment à la reconstruction. C'est sur cet aspect que l'expertise de Jean-Luc et de son équipe nous a été très utile. Car nous avons pu améliorer nos résultats de manière significative.

Quels sont ces résultats ?

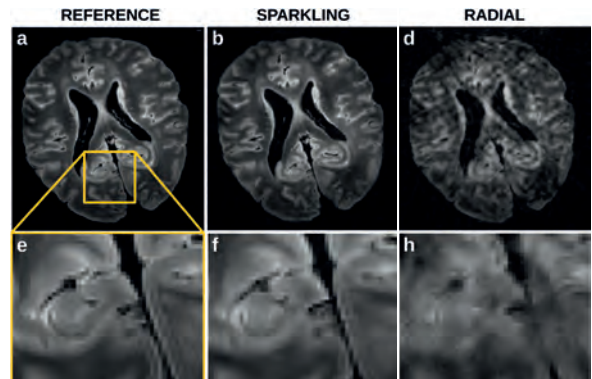
P.C. : Par exemple, prenons une coupe *post-mortem* de cerveau humain, avec une résolution de 400 x 400 microns, qui est la taille de chaque pixel. Son temps d'acquisition, avec une stratégie classique, est de 2 minutes 20 secondes, ce qui s'avère trop long ;

surtout qu'il faut multiplier par 200 cette durée pour acquérir toutes les coupes du cerveau. Grâce à la nouvelle stratégie, nous sommes capables de réduire cette durée à 9 secondes, en gardant la même qualité d'image reconstruite. Nous avons encore

tels volumes de données à une cadence d'une image 3D toutes les 2 secondes. Nous combinerons alors la double expertise de Jean-Luc en imagerie 3D et multi-spectrale pour l'adapter au contexte de « l'IRMf 3D+temps ».



La stratégie d'échantillonnage comprimé par « sparkling » est un balayage particulier de l'espace mathématique représentant l'image. Les images ainsi obtenues (b et f) sont de qualité similaire à a et e, obtenues sans échantillonnage comprimé, et bien meilleures que d et h acquises selon une stratégie de « balayage radial ».



© C. Lazzarus, A. Vignaud, P. Cluiclu /CEA

des efforts à faire, notamment pour accéder à une résolution isotrope en trois dimensions, soit 400 x 400 x 400 microns car dans l'exemple précédent l'épaisseur de coupe était de 2 millimètres. C'est fondamental pour atteindre la très haute résolution et voir des structures très fines dans le cerveau, comme l'hippocampe qui dégénère précocement dans la maladie d'Alzheimer.

J.-L. S. : Nous disposons également de codes informatiques pour reconstruire ces données en 3D qui devraient répondre aux besoins de Philippe. Nous sommes en train de les intégrer au logiciel Pysap dans le cadre de la deuxième année de notre projet.

P.C. : Tous ces développements, ainsi que l'installation en cours à NeuroSpin de l'IRM corps entier à 11,7 teslas, le plus puissant au monde, vont nous permettre d'accéder au fonctionnement cérébral à une résolution encore inexplorée (500 microns isotrope). Il s'agira de localiser les activations neuronales au sein des couches corticales, un projet phare que je co-dirige avec Nicolas Boulant. Pour ce faire, ces stratégies 3D d'acquisition seront même étendues au contexte « 3D+temps de l'IRM fonctionnelle » afin d'obtenir de

Votre plateforme logicielle intéresse sûrement d'autres chercheurs...

J.-L. S. : Nous avons en effet rapidement découvert que nos solutions logicielles pourraient intéresser des chercheurs au-delà de nos activités. C'est sans doute ce qui a motivé la direction de la recherche fondamentale à investir sur nos développements, en actant en octobre 2017 le recrutement pérenne d'une personne à temps complet.

P.C. : Nous avons en effet été contactés par différents chercheurs du CEA, notamment grenoblois, afin d'utiliser notre code pour d'autres applications telles que la microscopie et la tomographie électroniques. C'est dans ce contexte qu'a germé l'idée, au sein de la direction de la recherche fondamentale du CEA, d'organiser une journée dédiée à l'échantillonnage comprimé. Cette première rencontre, le 31 janvier dernier, a rassemblé une cinquantaine de personnes. Cela a permis de formaliser cinq projets qui, s'ils sont financés par le CEA, auront accès au logiciel Pysap et à notre expertise pour adapter à façon les codes de reconstruction. L'impact de Pysap n'en sera que plus fort ! ♦

Notions clé

IRM

Technique d'imagerie reposant sur la localisation spatiale d'un signal de résonance magnétique nucléaire émis par le spin d'un atome d'hydrogène, le plus souvent, lorsqu'on lui applique un champ magnétique.

Radio-interférométrie

Méthode de mesure exploitant les interférences intervenant entre plusieurs ondes cohérentes entre elles.