

# LES LAURÉATS DU PRIX DARGELOS 2015 : FRANCIS BERNARDEAU (85)

**Le prix Dargelos a été créé en 1994 par Mme Pierre Dargelos en hommage à son mari (1909). Il est décerné tous les deux ans par l'AX à un ou plusieurs auteurs de travaux scientifiques remarquables, X ou travaillant dans les laboratoires de l'X. Cette année les lauréats, Emmanuel Beaurepaire et Francis Bernardeau, ont reçu leur récompense lors du colloque « Imaginer, partager, oser » organisé le 10 décembre au CESE dans le cadre du 150<sup>e</sup> anniversaire de l'AX. Ils nous présentent leurs travaux.**

**F**RANCIS BERNARDEAU est directeur de l'Institut d'astrophysique de Paris, chercheur au CEA, et professeur chargé de cours à l'X. « L'étude des grandes structures de l'Univers est restée longtemps coincée entre constructions spéculatives et simulations numériques. Mon travail a contribué à l'enrichir d'approches et d'outils théoriques originaux », dit-il.

## LA RÉPARTITION DE LA MATIÈRE DANS L'UNIVERS

Son travail s'inscrit dans un vaste projet scientifique qui vise à établir le scénario de formation et d'évolution de ces structures, la manière dont la matière se répartit aux plus grandes échelles de

l'univers en galaxies, amas de galaxies, filaments, grands murs, etc. Les éléments du modèle actuel se sont mis en place à partir des années 1980 avec l'identification du mécanisme d'instabilité gravitationnelle comme moteur de formation. Une belle illustration en est la caractérisation de la signature typique du couplage gravitationnel attendu dans un fluide de poussière autogravitant dans un univers en expansion.

Les résultats récents obtenus avec le satellite *Planck* démontrent maintenant que les fluctuations de métriques vues sur la surface de dernière diffusion, à un moment où l'univers était très jeune, sont bien les précurseurs des grandes structures de l'univers local. Les mesures offrent un autre résultat fantastique : ces fluctuations n'ont pas pu être générées par un *mécanisme causal*. « Les seules explications invoquent un mécanisme dit d'inflation. Une partie de mon travail a consisté à en rechercher les signatures possibles, en confrontant les prédictions des modèles d'univers primordial et celles venant de la physique causale. »

## MATIÈRE NOIRE ET ÉNERGIE NOIRE

Le programme scientifique entrepris dès les années 1960 n'est pas achevé. Deux ingrédients indispensables au modèle, la « matière noire » (des particules sans doute



mais sans signature électromagnétique) et l'« énergie noire » (responsable de l'accélération tardive de l'expansion de l'univers) n'ont pas été identifiés par la physique des particules, laissant des trous dans le puzzle. On connaît déjà de la matière noire sous forme de neutrinos – mais en nombre insuffisant pour rendre compte des observations. Le cas de l'énergie noire est plus dramatique : nouvelle

forme de la matière ? modification de la gravité ? « Essayer d'en savoir davantage est l'enjeu de nombreux développements visant à utiliser les grandes structures comme laboratoire. C'est le volet le plus important du programme scientifique du satellite *Euclid* en cours de construction et

*« À la croisée de la théorie quantique des champs et de la relativité générale »*

dont je fais partie », dit-il. « Nous pourrions alors peut-être comprendre la phase d'inflation primordiale pendant laquelle sont nées les fluctuations de métriques.

Le mécanisme proposé, et le seul aujourd'hui corroboré par les observations, met en œuvre la théorie quantique des champs et la relativité générale, les deux fondements de la physique fondamentale construits au <sup>XX</sup>e siècle, mais dans un régime inédit : l'ensemble des grandes structures de l'univers serait vu comme une fluctuation quantique. C'est révolutionnaire. Je ne crois pas que la portée de cette idée, si elle devait être confirmée par les observations futures, ait été encore pleinement appréciée. » ■

## EMMANUEL BEAUREPAIRE

**E**MMANUEL BEAUREPAIRE est directeur de recherche au CNRS, en poste au laboratoire d'Optique et Biosciences (LOB) de l'X. « Le domaine de la microscopie des tissus est passionnant car, à l'interface de plusieurs disciplines telles que la physique, l'embryologie, les neurosciences voire la biomédecine, il vise à imaginer des méthodes permettant de rendre compréhensible ce qui est encore caché », dit-il.

### VISUALISER LE DÉVELOPPEMENT DES CELLULES DANS LEUR ENVIRONNEMENT

L'équipe du LOB est aujourd'hui reconnue dans le domaine de la microscopie optique non-linéaire, ou multiphotonique, et ses applications. Cette méthode développée à partir des années 1990 repose sur l'utilisation de lasers femtosecondes infrarouges. On visualise ainsi les tissus biologiques intacts sur des profondeurs de l'ordre du demi-millimètre avec précision, dans les trois dimensions, et on peut donc étudier les cellules dans leur environnement naturel. On peut réaliser une imagerie sans marquage en exploitant les propriétés optiques non-linéaires naturelles des tissus : par exemple pour visualiser des structures fibrillaires (collagène, muscles, tubuline) par génération de second harmonique, et les interfaces et accumulations de lipides par génération de troisième harmonique. « Nous avons effectué l'analyse théorique de ces contrastes, et développé des applications en dermatologie, ophtalmologie et embryologie. »

Un domaine d'application que le LOB a contribué à ouvrir est l'imagerie des tissus en développement. On étudie ainsi de petits organismes au stade embryonnaire, ou des tissus plus

complexes comme le système nerveux. « Nous avons obtenu la première description quantitative des divisions cellulaires au cours des trois premières heures du développement du poisson zèbre en collaboration avec le centre CNRS de Gif-sur-Yvette, et mis en évidence une boucle de rétroaction mécanique-génétique dans le développement précoce de la drosophile en collaboration avec l'Institut Curie. »

### DES MÉTHODES DE MARQUAGE MULTICOULEURS

Des innovations technologiques ont permis d'accélérer la vitesse d'imagerie (d'une image par seconde à 50) et de visualiser simultanément de nombreux signaux différents (imagerie « en couleur »). Un projet en cours avec l'Institut de la vision étudie la formation du système nerveux chez la souris avec des méthodes de marquage multicolore. L'enregistrement d'images de grands volumes (plusieurs millimètres cubes) de tissu cérébral avec une résolution cellulaire doit permettre d'analyser la formation du cerveau en termes de connectivité et de lignages cellulaires avec une précision inédite. « Ces problématiques, et le développement des méthodes d'imagerie, amènent des problèmes considérables et nouveaux de gestion et d'analyse de grandes quantités de données. »

### DES PROJETS COLLABORATIFS EN MARCHÉ

Grâce à un réseau de collaborations, d'autres applications sont en cours d'exploration, en biologie fondamentale (morphogénèse embryonnaire,

biomécanique, développement cardiaque précoce) ou sur des projets à portée plus biomédicale (imagerie de la peau et de la cornée oculaire humaines). Les avancées en biologie du développement permettent également une meilleure compréhension de pathologies cancéreuses ou neurologiques.

Les méthodes développées au LOB trouvent

aussi des applications industrielles, par exemple en cosmétique.

Enfin, cette activité s'inscrit dans la dynamique du campus Paris-Saclay : « Notre équipe coordonne notamment

un projet d'équipement d'excellence sélectionné dans le cadre des investissements d'avenir : la mise en place d'une plate-forme d'innovation méthodologique en microscopie multi-échelle

du vivant. » Et l'extension récente du centre de recherche de l'X va permettre d'attirer de nouveaux chercheurs travaillant à l'interface entre la biologie et d'autres domaines scientifiques et technologiques, et de continuer à produire des contributions importantes. » ■



*« Analyser la formation du cerveau avec une précision inédite »*