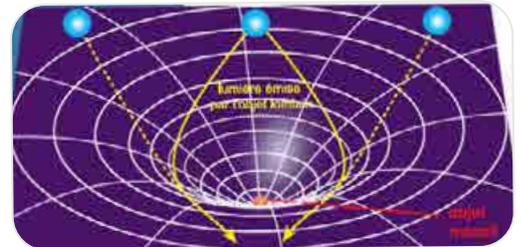


Le CNRS en Chine

La vie des laboratoires



N° 38
Automne
2023

Bureau du CNRS en Chine

Analyses

La recherche en SHS en Chine /
Enjeux démographiques en Chine /
Espace : océans, sursauts gamma
et Lune

Projets

IRP MicrobSea / IRN ELECTROSENS /
IRP FOM / IRP « Cancer, vieillissement
et hématologie » / Cours en ligne et
Covid-19 / Chimie atmosphérique-
pollution de l'air / Univers sombre

Visites

LAMOST / Université
Agricole de Nankin /
IOCAS / Université de
Zhengzhou

Sommaire

Editorial

3

Analyse

- La recherche en SHS en Chine continentale
- Les enjeux démographiques en Chine
- Océans, sursauts gamma et Lune

4-19

Cartographie

- Carte des structures chinoises en biologie et santé (partie 2)
- L'Institut de biophysique de la CAS
- L'Institut de génétique et de biologie du développement de la CAS
- L'Institut de microbiologie de la CAS

20-28

Projet

- IRP MicrobSea : la dismutation microbienne du soufre en milieu hydrothermal marin profond
- IRP FOM : Semi-conducteurs organiques phosphorés : vers les matériaux pour l'électronique et la photonique de demain
- IRP Cancer, vieillissement et hématologie : Pour mieux comprendre les mécanismes du cancer et du vieillissement
- IRN ELECTROSENS : *New Nanostructured Materials and Interfaces for Ultrasensitive*
- Les leçons en ligne ont aidé les étudiants pendant le COVID-19
- De l'éther atmosphérique à la chimie atmosphérique moderne... ou l'absolue nécessité de collaborations internationales
- Collaborations pour la compréhension de l'Univers sombre

30-57

Visite

- Le télescope LAMOST de la NAOC
- L'Université Agricole de Nankin
- L'Institut d'Océanologie de la CAS (IOCAS)
- L'Institut de Chimie de l'Université de Zhengzhou

58-59



Directeur de publication :

Philippe Arnaud

Responsable éditoriale :

Karine XIE

Graphisme et mise en page :

LI Xin

Contact : dei-beijing@cnrs.fr

Date de publication : sept. 2023

Bureau du CNRS en Chine, Ambassade de France en Chine, N°60 Tianze lu, Liangmaqiao, 3^e quartier diplomatique, District Chaoyang, 100600 Pékin
Tél : +86 10 8531 2264
cnrsbeijing.cnrs.fr



Photos de différents articles dans ce numéro.



Panicule de maïs (inflorescence mâle). Au laboratoire RDP (Reproduction et Développement des Plantes), toutes les pollinisations sont contrôlées. Le pollen frais du plant est récolté et déposé sur les soies (inflorescences femelles).

© Hubert RAGUET / RDP / ENS de Lyon / INRA / UCBL / CNRS Images

8

mois après la fin de la période Covid, la reprise des missions scientifiques du CNRS en Chine reste timide. Le premier semestre 2023 compte 6 fois moins de missions qu'en 2019 pour la même période. Toutefois, les multiples initiatives bilatérales pour relancer les coopérations scientifiques devraient stimuler les échanges. Ainsi, du côté français, le service scientifique de l'Ambassade de France à Pékin propose **une nouvelle série de programmes de mobilité** « Jeunes Talents France Chine », CAI Yuanpei « Découverte » et « Tremplin » et le programme Hubert Curien « PHC CAI Yuanpei 2024 »¹. La création d'un **centre virtuel de neutralité carbone franco-chinois** est également en cours. De son côté, la partie chinoise s'est montrée très active ces derniers mois. Ainsi, l'Académie des sciences de Chine (CAS) et le CNRS ont signé en juin à Paris un **accord quadripartite** (CNSA-CNES / CAS-CNRS) pour l'analyse conjointe des échantillons extraterrestres collectés lors de missions spatiales. Une nouvelle délégation de la CAS, conduite par son Président Hou JianGuo, est attendue au CNRS en octobre. Elle aura été précédée par des rencontres avec l'agence de financement de la recherche fondamentale chinoise, la NSFC, et par l'Académie chinoise des sciences sociales, la CASS.

La recherche en sciences humaines et sociales en Chine est précisément l'objet du premier article de cette nouvelle édition. Le pôle enseignement supérieur, recherche et innovation (ESRI) du service de coopération et d'action culturelle (SCAC) de l'Ambassade de France en Chine nous en dresse le contexte et les développements ainsi que les coopérations avec les pays occidentaux.

Selon Romain Jacquet, Conseiller pour les affaires sociales de cette même ambassade, **la Chine entre dans une période de transition démographique durable** commune aux pays développés. La baisse de la natalité et le vieillissement de la population sont autant d'enjeux pour les autorités chinoises.

Nous clôturerons cette première partie avec Mathieu Grialou, représentant du CNES en Chine et Conseiller spatial à l'ambassade, qui nous fait entrer au cœur de **la coopération spatiale chinoise à travers trois**

Bureau du CNRS en Chine

Editorial

thématiques : l'une sur la mesure des vagues des océans (mission CFOSaT), l'autre sur la détection des sursauts gamma (mission SVOM), et enfin sur la mission lunaire Chang'E 6.

Place ensuite à notre coopération scientifique structurée. Renouvelé en 2022, le projet de recherche international, « **IRP MicrobSea** », vise à améliorer notre connaissance et notre compréhension du catabolisme microbien en présence du soufre. Labélisé cette année, le réseau franco-chinois de recherche internationale « **IRN Electrosens** » promeut les activités de recherche communes axées sur le développement de nouvelles stratégies électrochimiques pour la (bio) détection à des niveaux de sensibilité très élevés. C'est avec la chimie du phosphore que nous poursuivons notre tour de la coopération avec le projet de recherche international sur les matériaux conjugués fonctionnels « **IRP FOM** » qui a pour objectif de synthétiser des nouveaux matériaux conjugués pour des développements en électronique plastique. Enfin, certes l'espérance de vie des populations augmente mais les années de vie supplémentaires ne sont pas toujours associées à une bonne santé. Les scientifiques chinois et français du projet de recherche international cancer, vieillissement et hématologie « **IRP CAH** » cherchent de nouvelles cibles moléculaires pertinentes pour traiter les cancers et les maladies liées au vieillissement.

Nous terminerons ce panorama des coopérations scientifiques par trois projets bilatéraux. Le premier s'est intéressé à **l'efficacité en Chine des cours en ligne** pendant la période du Covid-19. Les suivants nous rappellent toute l'importance des coopérations internationales pour relever des défis globaux comme celui de **la pollution atmosphérique** ou encore celui de **la formation et du développement de notre Univers**.

Nous ne remercierons jamais assez toutes les collègues et tous les collègues qui participent aux contenus de nos éditions.

Merci à vous et bonne lecture...



Philippe Arnaud

Directeur du bureau CNRS Chine

¹ Pour plus d'information :

<https://cn.ambafrance.org/programmes-de-cooperation-scientifique-franco-chinois>

Contact : science.pekin-amba@diplomatie.gouv.fr

La recherche en sciences humaines et sociales (SHS) en Chine continentale

Par le Pôle enseignement supérieur, recherche et innovation (ESRI),
Service de coopération et d'action culturelle (SCAC), Ambassade de France en Chine



Partie 1 - Le renforcement institutionnel et structurel des études en SHS depuis 2016

Dans un discours du 17 mai 2016, lors du symposium sur la philosophie et les sciences sociales, Xi Jinping, secrétaire général du parti communiste chinois (PCC) a mis l'accent sur le rôle essentiel de la philosophie et des sciences sociales dans la construction du socialisme à la chinoise, appelant à l'intégration des caractéristiques chinoises dans leur développement¹. Ce discours, suivi par d'autres propos et instructions dans des réunions et lettres publiques autour du développement de la recherche en SHS, démontre une volonté de l'État chinois de renforcer le soutien institutionnel à la recherche en SHS. En 2017, le Comité central du Parti a publié les « Avis sur l'accélération de la construction des sciences philosophiques et sociales aux caractéristiques chinoises », afin d'accélérer la construction d'un système disciplinaire, académique et discursif des SHS à la chinoise. Cette accélération se traduit par un pilotage national sous la direction du PCC, ainsi qu'une augmentation des ressources humaines et des fonds publics en soutien de la recherche SHS.

A. La mise en place d'un pilotage national de la recherche en SHS

En 2018, le Comité central du Parti a mis en place un **Groupe de pilotage national sur la philosophie et les sciences sociales** qui se charge de l'orientation et de la coordination du développement de la philosophie et des sciences sociales dans tout le pays. Le **Bureau national de la philosophie et des sciences sociales (NOPSS)** organisme permanent de ce Groupe, sous tutelle directe du Comité central du Parti, a pour missions principales : de mettre en œuvre les décisions du Comité central du Parti sur le travail en SHS, d'analyser et étudier la situation

de la recherche en SHS pour établir la stratégie nationale de développement à moyen et long terme, de coordonner et renforcer les équipes de recherche en SHS dans tout le pays, d'organiser le travail des centres de recherche, et de gérer le fonds national pour les sciences sociales. Au niveau régional et local, le NOPSS délègue ses missions aux bureaux de planification pour la philosophie et les sciences sociales des provinces et des municipalités, aux départements de recherche des écoles d'administration publique, à l'Académie chinoise des sciences sociales (CASS) ainsi qu'au département des sciences sociales du ministère de l'Éducation (MoE).

L'Académie chinoise des sciences sociales

Initialement le Pôle de la philosophie et des sciences sociales de l'Académie chinoise des Sciences, la CASS est devenue officiellement une institution de recherche indépendante en 1977. C'est l'**organisme de recherche le plus élevé hiérarchiquement (niveau ministériel) en Chine dans les sciences humaines et sociales, sous tutelle directe du Conseil des Affaires d'État**. Depuis sa création, les effectifs de la CASS ont fortement progressé passant de 2 200 à plus de 4 200 employés aujourd'hui dont 3 200 chercheurs. La CASS compte actuellement 31 unités de recherche et 45 centres de recherche qui couvrent presque 300 disciplines dont 120 disciplines clés, avec plus de 80 revues académiques et trois maisons d'édition spécialisées.

En 2017, l'**Université de l'Académie chinoise des sciences sociales (UCASS)** a été créée à Pékin. UCASS propose un cycle de formation universitaire complet (LMD). Pour se faire, UCASS s'est constituée à partir de l'école doctorale et de l'école de la Jeunesse de la CASS consacrées toutes deux à la formation de jeunes chercheurs.

Le département des sciences sociales du ministère de l'Éducation (MoE)

Le département des sciences sociales se charge de :

- **planifier et d'organiser la recherche** en philosophie et en sciences sociales dans les établissements d'enseignement supérieur.
- diriger et coordonner la participation des établissements d'enseignement supérieur (EES)² aux **grands projets nationaux de recherche en philosophie et en sciences sociales**.

Par ailleurs, des centres de recherche non gouvernementaux travaillent sur des sujets d'actualité. Depuis 2016, la recherche se développe rapidement dans tous ces types d'institutions.

B. L'augmentation des ressources humaines dans la recherche en SHS

Par rapport à l'année 2016, le nombre de chercheurs en sciences humaines et sociales a augmenté de 14% en 2021. Au niveau national, il y a plus de 513 000 chercheurs avec des titres intermédiaires ou supérieurs, parmi lesquels 433 000 en poste dans un établissement public. Le nombre d'institutions de recherche clés en sciences humaines et sociales a connu une croissance de 81% et le nombre de chercheurs a augmenté de 180% depuis 2016. En 2021, on compte un total de 3 640 institutions de recherches clés en SHS comprenant 140 000 chercheurs. Parmi ses institutions 964 sont de niveau ministériel (dont 510 du ministère de l'Éducation chinois). Les institutions privées se développent aussi rapidement, avec 58 000 chercheurs alors que ce chiffre était de 5 000 en 2016³.

² Les EES se chargent de la planification, l'organisation, la coordination et la gestion administrative de la recherche scientifique de l'université, en lien avec les services compétents des ministères (ministère de l'Éducation, ministère de la science et des technologies, etc.) ou des autorités locales. Dans les grandes universités les EES se composent d'un service de recherche scientifique subdivisé en (1) un secteur de sciences naturelles et exactes et (2) un secteur de sciences sociales.

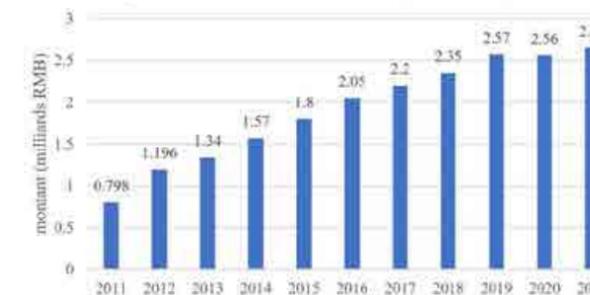
³ Xiaolin, W. (2021) Construire un système de philosophie et de sciences sociales polyvalent, multidisciplinaire et multifactoriel, NSSFC. Disponible à l'adresse : <http://www.nopss.gov.cn/n1/2021/0517/c437515-32105028.html> (Consulté le 25 juillet 2023).

^{4,5} Zhuwu, C. (2021) Le Fonds national des sciences sociales s'attache à jouer un rôle d'orientation, Jiangsu Think Tank Network. Disponible à l'adresse : http://www.jsthinktank.com/zhikuyanjiu/202104/t20210427_7065018.shtml (Consulté le 25 juillet 2023).

L'augmentation des ressources humaines a eu pour corollaire l'augmentation du nombre de publications et de productions scientifiques pendant la même période. Entre 2016 et 2021⁴, le nombre de productions scientifiques de haute qualité en sciences sociales à l'échelle nationale a dépassé le million, dont 104 000 monographies universitaires, 630 000 articles dans des revues spécialisées principales, 189 000 rapports de recherche, 53 000 brevets, 20 000 droits d'auteur de logiciels et près de 10 000 bases de données créées. Parmi ces réalisations, plus de 80% proviennent des universités et plus de 7% sont produites par des chercheurs du réseau de la CASS.

C. Le soutien financier institutionnel croissant, épine dorsale du développement de la recherche en SHS

Evolution du financement du Fonds national pour les sciences sociales (2011-2021)⁵



En 2016, le MoE et le ministère des Finances ont annoncé conjointement les « Mesures de gestion des fonds spéciaux du Plan pour la prospérité de la philosophie et des sciences sociales dans les établissements d'enseignement supérieur » afin de mieux soutenir la recherche en sciences humaines et sociales, de favoriser le développement disciplinaire, la formation des chercheurs avec des fonds spéciaux alloués par l'autorité centrale.

Si ces mesures de gestion sont une nouveauté, le soutien financier croissant aux SHS en Chine s'observe depuis les années 2000 avec une nette augmentation depuis 2011. En 2003, un « Plan pour la prospérité de la philosophie et des sciences sociales dans les établissements d'enseignement supérieur » a été publié dans l'objectif de renforcer l'enseignement et la recherche en sciences humaines et sociales dans les universités, notamment sur le plan financier. Ces dix dernières années, le Fonds national pour les sciences sociales a vu ses moyens augmenter tant en termes de montant de financement (5 millions RMB en 1986, 798 millions en 2011, et 2,65 milliards en 2021) qu'en nombre de projets de recherche acceptés (2 883 en 2011, et 5 141 en 2021).

¹ Xinhua (2016) Xi Jinping met l'accent sur les caractéristiques chinoises dans la philosophie et les sciences sociales. Disponible à l'adresse : http://french.xinhuanet.com/2016-05/17/c_135366367.htm (Consulté le 25 juillet 2023).

L'accroissement des moyens va de pair avec un fort encadrement du NOPSS sur le contenu des projets financés. Par exemple en ce qui concerne les projets soutenus par le Fonds national pour les sciences sociales, les sciences de gestion, d'économie appliquée et de droit sont les disciplines les plus financées en 2022 par rapport aux autres disciplines des SHS.

Les fonds publics en soutien à la recherche en SHS

Le Fonds national pour les sciences sociales

Créé en 1986, le fonds est le dispositif de financement le plus important dans le domaine des sciences humaines et sociales en Chine. Il est ouvert à tous les chercheurs en sciences humaines et sociales, et couvre 23 disciplines. Les thématiques prioritaires sont le socialisme et le marxisme, l'économie appliquée, les sciences juridiques, les sciences des ethnies, la littérature chinoise et les sciences de gestion.

Ce fonds est géré par le NOPSS qui publie annuellement une liste de « sujets nationaux », lesquels sont ensuite mis en place, évalués et traités au niveau local. Chaque année, plusieurs appels à projets sont lancés, accompagnés d'une liste de champs thématiques, de sous-thématiques, de sujets prioritaires, ainsi que de conseils pratiques.

Les projets se divisent en différentes catégories : les projets majeurs, les projets clés, les projets communs, les projets de jeunes chercheurs, les projets Ouest, et les projets spécifiques tels que le soutien à la traduction des ouvrages académiques chinois vers des langues étrangères, ou encore le soutien aux études rares ou en cours de disparition, etc. Le financement varie en fonction des types de projets : entre 600 000 et 800 000 RMB pendant 5 ans pour les projets majeurs, 350 000 RMB pour les projets clés et 200 000 RMB pour les autres types de projets. Ce fonds est également ouvert aux revues académiques de qualité.



Les fonds pour les sciences humaines et sociales du MoE

Le MoE dispose de fonds pour les sciences humaines et sociales qui sont ouverts aux enseignants-chercheurs des établissements d'enseignement supérieur.

Les projets se divisent en différentes catégories : les projets majeurs et stratégiques, les projets de recherche clés du MoE, les projets communs (projets planifiés, projets pour les jeunes chercheurs, projets co-financés), les projets Ouest, Xinjiang, Tibet, etc. et les projets de jeunes chercheurs.

Les montants accordés et le nombre de projets soutenus sont beaucoup moins importants que ceux issus du Fonds national pour les sciences sociales.

La durée des financements ainsi que leur montant sont déterminés en fonction de différents paramètres. L'évaluation des projets repose à la fois sur des critères quantitatifs et qualitatifs, les projets pluridisciplinaires posant des difficultés peuvent être soumis à un panel spécial composé d'experts de disciplines différentes.

Partie II – La coopération scientifique en SHS de la Chine avec les pays occidentaux

L'indicateur clé pour mesurer les coopérations sino-étrangères est la copublication dans les meilleures revues internationales.

À partir des années 2000, les chercheurs chinois ont été incités à viser en priorité les publications dans les meilleures revues internationales. La copublication dans ces dernières illustre de manière quantifiable le produit des diverses formes de coopération (coopération entre individus ou entre institutions, structures de recherche conjointes, réseaux etc.) (A). Elle permet également de mesurer la coopération sino-française par rapport à la coopération sino-étrangère avec les pays anglo-saxons et les pays européens (B).

A. La copublication : fruit de diverses formes de coopérations sino-étrangères

Les copublications en SHS se font à travers les travaux conjoints de chercheurs mais également à travers une structuration institutionnelle de la coopération permettant une production régulière d'articles et des échanges intellectuels fructueux entre les chercheurs de différentes institutions.

Exemples de laboratoires conjoints entre les pays européens et les institutions chinoises :

- Tsinghua-Groningen Research Cooperation on China-EU Relations (Pays-Bas) | *Sciences politiques*
- Joint Research Centre (JRC) on Urban Systems & Environment (Pays-Bas) | *études urbaines*
- Dutch Studies Centre Fudan-Groningen (Pays-Bas) | *sociologie et sciences politiques, histoire, économie*
- Sino Italian School of Design (Italie) | *design, économie, management*
- Galileo Galilei Institute (Italie) | *management, économie, sciences politiques*
- Sino-Spanish Campus at Tongji University (Espagne) | *design, architecture, études urbaines*
- Nordic Centre at Fudan University (Danemark, Islande, Suède, Norvège, Finlande) | *multidisciplinaire*
- International Institute for Environmental Studies à Nanjing (Suisse, Norvège, Finlande, États-Unis, Canada, Singapour, Royaume-Uni) | *sciences et politiques environnementales, études sur le développement*
- The Sino-Danish University Centre (Danemark) | *management et développement*
- Sino-German Centre for Research Promotion (Allemagne) | *management*
- Ecole française d'extrême orient à la CAS | *histoire, archéologie, anthropologie, philologie*
- Laboratoire scientifique international pour l'étude de l'archéologie et de la diversité naturelle en Asie de l'Est et du Sud-Est (France) | *archéologie*
- Joint Research Institute for Science and Society, CNRS (France) | *histoire, philosophie, éducation, sociologie*
- Sino-French archeological mission in Xinjiang (France) | *archéologie*

La coopération institutionnelle en recherche en SHS se fait traditionnellement à travers la mise en place de structures conjointes et de cotutelles de thèse. **Une structure conjointe** se définit par la volonté d'au moins deux institutions de recherche chinoise et étrangère de coopérer sur un domaine de recherche en signant un accord.

⁶ Données Scival 2013 à 2022 (Consulté le 25 juillet 2023).

⁷ Données Scival 2013 à 2022 (Consulté le 10 juillet 2023).

Les cotutelles de thèses sont également un autre dispositif de coopération en SHS. À ce titre, l'académie des sciences sociales d'Australie et l'académie des sciences sociales de Chine attribuent annuellement quatre bourses pour des cotutelles de thèse – en 2023 sur le développement urbain, les migrations, la protection environnementale, la sociolinguistique asiatique, etc. Côté français, le programme de financement « [Cai Yuanpei - PhD](#) » finance des cotutelles de thèses dans toutes les disciplines – le dépôt de dossiers dans le domaine des SHS est fortement encouragé.

À cela s'ajoute d'autres outils de coopération et de soutien à la recherche. La Chine a développé depuis le début des années 2000 avec plusieurs pays, dont les États-Unis et le Royaume-Uni, **des universités sino-étrangères et pluridisciplinaires** qui copublicent dans le domaine de la recherche SHS : *Duke Kunshan University* (194 publications en SHS), *The University of Nottingham Ningbo China* (969 publications), *Xi'an Jiaotong-Liverpool University* (852 publications), *Wenzhou-Kean University* (121 publications)⁶. En outre, à l'université de Tongji, notamment, le WHITRAP (*World Heritage Institute of training and research for the Asia and the Pacific Region*), vise à développer la recherche scientifique en Chine et en Asie du Sud-est en créant un cadre propice à la collaboration internationale.

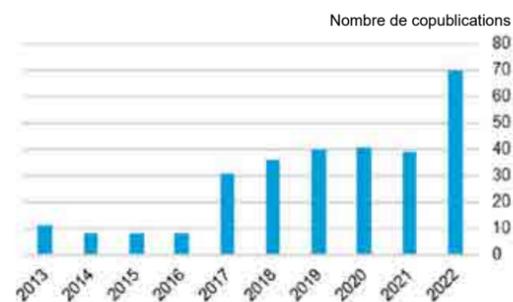
B. La France : une place clé dans les copublications avec la Chine en SHS appliquées

L'archéologie et la sociologie/sciences politiques sont les deux disciplines en Chine dans lesquelles les coopérations internationales sont les plus nombreuses, avec respectivement 53.5 % et 43.8 % des publications produites avec un partenaire étranger. En revanche, les études en transport (25.4 %) et en anthropologie (29 %) sont les moins internationalisées. Les États-Unis, le Royaume-Uni, le Canada et l'Australie copublicent le plus en SHS avec la Chine. À l'échelle de l'Union européenne l'ordre des pays européens qui co-publient avec la Chine sont 1/ l'Allemagne, 2/ les Pays-Bas, 3/ la France. La France se situe entre la 5^e et 16^e position selon les disciplines, et surtout à la 5^e place en **archéologie** et 6^e place en **bibliothèque et sciences de l'information**⁷.

Au regard des données de publications, **la coopération en science de l'information et bibliothèque** est plus prolifique avec les pays anglo-saxons mais la France se situe à la première place au niveau européen.

Les études urbaines et la géographie semblent constituer des champs en plein essor pour la coopération franco-chinoise. Effectivement, le nombre de publications conjointes connaît une augmentation depuis 2016 (malgré une baisse circonstancielle conséquente pour les études urbaines entre 2020 et 2021). Alors que la recherche sino-américaine est de loin la plus abondante, le facteur d'impact⁸ des copublications franco-chinoises est pourtant jusqu'à deux fois supérieur à celui des productions sino-étrangères.

Evolution des copublication France-Chine dans le domaine «Géographie, planification et développement»



En archéologie, la coopération avec la France est la plus fructueuse. La moyenne de l'impact des copublications est très élevée (11.51) et surtout plus élevée que celle des pays copubliant le plus avec la Chine. Deux structures conjointes franco-chinoises (voir exemples de structures conjointes ci-dessus) travaillent actuellement dans cette discipline et d'autres par le passé ont permis de mener des missions communes. 53.5 % des

publications chinoises en archéologie sont des copublications internationales. Toutefois, depuis 2020 les copublications internationales dans ce domaine sont à la baisse de l'ordre de 35-40% entre 2020 et 2022 notamment dues à l'impossibilité des missions pendant la période covid. Il y a donc un potentiel dans la reprise des échanges humains pour continuer à coopérer dans cette discipline autrefois hautement internationalisée.

La coopération scientifique franco-chinoise en SHS reste toutefois en deçà du niveau de coopération constaté dans d'autres disciplines scientifiques. En effet, sur 56 structures conjointes seulement 3 sont dans ce domaine. Selon Scival, le nombre de copublications en sciences humaines et sociales⁹ s'est élevé à un peu plus de 1000 entre 2018 et 2022, alors que pour les disciplines des mathématiques et des sciences de l'informatique il était respectivement de 3277 et de 4639. Dans l'agenda politique de relances des échanges humains, la coopération en SHS est un enjeu prioritaire de la coopération bilatérale franco-chinoise. Depuis 2021 l'ambassade a notamment mis en place un Fonds pour les sciences humaines et sociales finançant des séjours de recherche de 3 à 6 mois pour renforcer la coopération dans ce domaine. ☘



Complétez votre information sur nos différents supports



Consultez notre [site web](#) et découvrez les coopérations du CNRS en Chine avec la [carte interactive](#) :

<https://cnrsbeijing.cnrs.fr/>



Edition 2018 de [l'état des lieux de la coopération du CNRS avec la Chine](#).



Le magazine « [Le CNRS en Chine](#) », édité en français et en chinois, donne la parole aux acteurs de la coopération à travers leurs actualités, leurs projets, des dossiers thématiques, des analyses, etc.

Le Pôle Enseignement Supérieur, Recherche et Innovation (ESRI) de l'ambassade de France en Chine apporte un accompagnement aux chercheurs français dans le cadre de la coopération scientifique entre la France et la Chine continentale.

Le Pôle ESRI a mis en place depuis 2021 plusieurs programmes de soutien au développement de la coopération scientifique dans le domaine prioritaire des SHS.

Contact ESRI : science.pekin-amba@diplomatie.gouv.fr

Tous les détails relatifs aux programmes de soutien à la coopération franco-chinoise sont accessibles sur le site de l'Ambassade de France à Pékin (<https://cn.ambafrance.org/programmes-de-cooperation-scientifique-franco-chinois>).

⁸ Impact normalisé des citations, soit le ratio de citations reçues par rapport à la moyenne mondiale des citations reçues par des publications similaires.

⁹ Scival regroupe dans le domaine des sciences humaines et sociales 23 disciplines n'incluant pas notamment les arts et humanités, l'économie, l'économétrie, la finance, les sciences de la décision...

Les enjeux démographiques en Chine

Par Romain Jacquet



Romain JACQUET, Conseiller pour les affaires sociales près l'ambassade de France en Chine.

Romain Jacquet est directeur d'hôpital, et a occupé de nombreuses fonctions de direction au sein des centres hospitaliers universitaires de Marseille, Paris, Montpellier et Nîmes.

Il a exercé dans le domaine de l'enseignement supérieur et de la recherche, en tant que secrétaire général de l'ANR sur le Sida et les hépatites virales, et en tant que directeur général de l'Université de Montpellier.

Il a été administrateur national de la Croix-Rouge Française, membre du bureau exécutif.

Etat des lieux : vieillissement et principales tendances démographiques aujourd'hui en Chine.

Les tendances issues du recensement décennal 2010-2020 confirment les principaux enjeux démographiques bien connus en Chine.

Les dernières données disponibles, issues du 7^e recensement décennal couvrant la période de 2010 à 2020, confirment plusieurs tendances démographiques de fond au sein de la population chinoise :

En termes de répartition géographique, la Chine est toujours confrontée à des écarts importants et durables d'attractivité entre les provinces développées de l'Est et le reste du pays. Sur la période, les provinces du **Guangdong, Zhejiang, Jiangsu, Shandong et Henan** ont connu la plus forte augmentation. Les deux provinces du Guangdong et du Shandong comptant plus de 100 millions d'habitants et neuf provinces entre 50 et 100 millions d'habitants. La plus forte baisse est visible dans les trois provinces du Nord-est (**Liaoning, Jilin, Heilongjiang**) qui ont connu une diminution

de 11 millions de personnes, sans doute en raison d'un climat difficile, de la mise en œuvre rigoureuse de la politique de l'enfant unique et du manque d'opportunités économiques dans ces régions moins intégrées au commerce international et soumises aux aléas des grandes entreprises nationales industrielles.

Cette répartition a également des implications sur la gestion des migrations internes qui continuent d'augmenter pour atteindre officiellement 493 millions de personnes (vivant ou travaillant dans un lieu différent de celui de leur enregistrement). Parmi elles, la population flottante (流动人口) vivant dans une province différente de son lieu d'enregistrement continue d'affluer vers les villes et contribue à l'augmentation du taux d'urbanisation (64% de la population).

Ces mobilités internes témoignent des enjeux de la réforme du hukou (户口). Ce système d'enregistrement en fonction du lieu de naissance hérité de l'époque impériale et formalisé par la République populaire de Chine (RPC) en 1958, utilisé comme **outil de contrôle des mouvements migratoires internes**, a longtemps contribué à précariser les migrants issus des campagnes sans pour autant dissuader l'exode rural.

Historique des politiques relatives au planning familial

1949 - 1957 : depuis l'établissement de la République populaire de Chine, la population est passée de 540 millions en 1949 à 640 millions en 1957. Pendant 8 ans, le taux de natalité reste au-dessus de 30‰, avec en moyenne 6 enfants par couple, entraînant mécaniquement une forte augmentation de la population (100 millions d'augmentation nette en 8 ans).

1962 - 1970 : 170 millions d'augmentation nette en 8 ans.

1971 - 1980 : première phase du planning familial, le slogan de l'époque est « un enfant n'est pas assez, deux c'est bien, trois c'est trop ». Le nombre de naissances par femme passe de 5,4 en 1971 à 2,2 en 1980.

1980 : début de la politique de l'enfant unique.

2014 : deux enfants autorisés si un des parents est lui-même enfant unique.

2016 : ouverture complète sans restriction à deux enfants par couple.

2021 : incitation au 3^e enfant avec la publication de la « Décision sur l'optimisation de la politique d'accouchement pour promouvoir le développement équilibré de la population à long terme ».

Assoupli à plusieurs reprises, il ne comporte plus aujourd'hui de distinction entre « hukou agricole » et « non-agricole » mais constitue toujours un outil de distinction à plusieurs égards (accès aux services sociaux de base ; aux universités prestigieuses...) à Pékin, Shanghai et Canton.

La précarité des populations migrantes a par ailleurs été encore renforcée par les effets de la politique du « zéro covid » durant laquelle les confinements ont pesé sur les conditions de travail et de vie des travailleurs migrants, sans aucune compensation.



L'écart entre les hommes (51,24%) et les femmes (48,76%) demeure et le ratio s'établit en 2020 à 105,07 hommes pour 100 femmes.

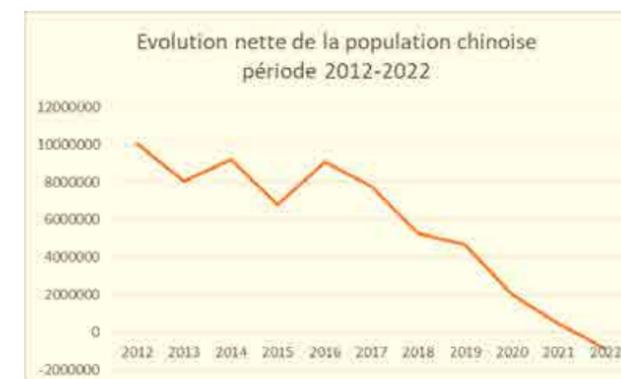
Pour autant, en tendance, le ratio à la naissance diminue témoignant d'une amélioration de la structure démographique, notamment en raison d'une baisse des pratiques sélectives (avortements, non-enregistrement des filles).

Le recensement confirme par ailleurs la prépondérance de l'ethnie Han qui compte pour 91,11% de la population totale malgré une augmentation de 0,4% de la part des minorités entre 2010 et 2020.

Le vieillissement de la population a été plus rapide qu'anticipé et constitue la principale tendance à surveiller dans les prochaines années.

En janvier 2023, pour la première fois depuis 1961, les autorités ont officiellement confirmé une diminution de la population chinoise, qui s'élevait fin 2022 à 1,41175 milliard (en baisse de 850 000 par rapport à 2021). Bien que prévisible, cette décroissance de population est intervenue plus tôt qu'anticipée par les autorités. Cela induit d'ores et déjà plusieurs effets visibles : la population active (16-59 ans) est déjà en baisse depuis dix ans et les plus de 60 ans représentent aujourd'hui 19% de la population totale contre 13% en 2010. A terme, la part des plus de 65 ans pourrait passer de 12% à 21% en quinze ans.

Ce nouveau contexte démographique, à présent commun aux pays d'Asie du Nord-est, fait peser plusieurs incertitudes dans le contexte particulier de la Chine, notamment s'agissant de la poursuite de sa trajectoire économique. Ce dernier pèse



en effet sur la croissance potentielle à travers la contraction de la main d'œuvre disponible, et, à terme sur la demande intérieure déjà entravée par des tendances accentuées à l'épargne. La pression démographique pèse également sur l'équilibre des comptes sociaux. Dès 2019, un rapport de l'Académie chinoise des sciences sociales estimait que le fonds national de la sécurité social et son fonds de réserve (d'environ 6000 milliards de RMB) s'épuiserait d'ici 2035. L'augmentation des dépenses de santé due au vieillissement de la population, auquel s'est ajoutée l'épidémie du Covid, a encore accéléré cette tendance.

Le tableau ci-dessous et le graphique précédent illustrent bien cette baisse continue depuis plus d'une décennie : Ainsi, **depuis 2016, le nombre de naissance a été quasiment divisé par deux, passant de 18 millions par an à environ 9,5 millions.**

Evolution de la natalité sur les 10 dernières années					
Année	Taux de natalité	Nombre de naissances	Nombre d'augmentation nette de la population	Taux d'augmentation naturelle de la population	Nombre de personnes de 65 ans et plus
2012	14.57‰		10 060 000	7.43‰	127 770 000
2013	13.03‰		8 040 000	5.9‰	132 620 000
2014	13.83‰		9 200 000	6.71‰	139 020 000
2015	11.19‰		6 800 000	4.93‰	145 240 000
2016	13.57‰	17 860 000	9 060 000	6.53‰	150 370 000
2017	12.64‰	17 230 000	7 790 000	5.58‰	159 610 000
2018	10.86‰	15 230 000	5 300 000	3.78‰	167 240 000
2019	10.41‰	14 650 000	4 670 000	3.32‰	177 670 000
2020	8.52‰	12 000 000	2 040 000	1.45‰	190 640 000
2021	7.52‰	10 620 000	480 000	0.34‰	200 560 000
2022	6.77‰	9 560 000	-850 000	-0.6‰	209 780 000

Source : Agence nationale chinoise des statistiques

Dans ce contexte, les autorités chinoises ont lancé plusieurs axes de réformes : relance de la natalité, réforme des retraites, et réforme de l'assurance-maladie

Les évolutions du « planning familial » : de la politique de l'enfant unique aux expérimentations locales de politiques natalistes.

La politique de « planification des naissances » (计划生育政策) a constitué l'instrument privilégié de régulation de la croissance démographique. Après deux premières expérimentations (en 1956-1957 et 1962-1966) cette planification s'est stabilisée dans les années 70 autour de la politique dite de « mariages tardifs, naissances rapprochées et peu nombreuses » (晚稀少). A l'origine, le système prévoyait des dispositions différentes pour les populations urbaines

(âge minimal pour le mariage de 25 ans pour les femmes et 28 ans pour les hommes, deux enfants maximum par couple) et rurales (limite d'âge fixée à 23 et 25 ans, maximum de trois enfants). A partir de 1979, la règle a rapidement été durcie et les naissances uniques (一胎政策) sont devenues la règle pour tous, à l'exception des minorités ethniques officiellement reconnues par la RPC, avec pour objectif (non-atteint) de limiter la population à 1,2 milliard d'habitants en 2000. **Aux grés des besoins et des contestations, l'application de cette règle a régulièrement connu exemptions et assouplissements**, les principales ayant eu lieu en 1984 (autorisation d'un deuxième enfant pour les familles rurales) et en 2002 (régularisation du deuxième enfant en échange de paiement).

Depuis dix ans, les autorités assument une politique nataliste proactive. Après l'abandon officiel de la politique de l'enfant unique en 2015, le 14e plan quinquennal (2021-2025), adopté en mars 2021, fait du « renforcement de l'inclusivité des politiques de soutien à la fécondité » (增强生育政策包容性) une priorité autour de trois axes : l'augmentation du potentiel de fécondité, la réduction des coûts liés à la parentalité, l'amélioration des services de soutien et d'accompagnement. En conséquence, la loi sur la population et la planification des naissances a été révisée en août 2021 pour tenir compte des nouvelles orientations, principalement pour offrir la possibilité à tous les couples d'avoir un troisième enfant et faire disparaître les restrictions d'âge pour le mariage qui doit à présent être « approprié ». Cette même révision prévoit par ailleurs des dispositions sur les méthodes contraceptives et contre la stérilité ; sur l'allongement des congés maternité (dans la limite des 128 jours légaux) et sur la création d'un congé parental ainsi que des incitations financières (versement de prestations sociales, avantages fiscaux et en nature sur l'accès aux logements et la prise en charge des personnes âgées notamment).

Suite à l'annonce de janvier 2023, le rythme des initiatives s'est encore accéléré ces derniers mois :

• **Au niveau national, les initiatives visant à relancer la natalité découlent de plusieurs textes publiés en 2021 et 2022.**

Les politiques mises en œuvre s'appuient notamment sur la « **décision sur l'optimisation de la politique d'accouchement pour promouvoir le développement équilibré de la population à long terme** » publié par le Comité central du Parti communiste et le Conseil des affaires d'Etat le 20 juillet 2021. En août 2022, 17 départements (dont

la NHC et la *National Development and Reform Commission*) du Conseil d'Etat ont également publié conjointement le « **guide pour l'amélioration et la mise en œuvre des mesures de soutien actif à la maternité** ». Les **mesures incitatives** mises en place s'articulent notamment autour des dispositifs suivants : subventions d'Etat et réduction d'impôts, à l'achat de logements, construction d'écoles maternelles, mise en place d'un véritable congé de maternité, facilitation de l'accès de gardes d'enfants à domicile, promotion de modèles et d'organisation du travail plus flexibles, permettant d'assurer une meilleure conciliation vie privée-vie professionnelle, autorisation des techniques de procréation médicalement assistée,...

• **Au niveau local, les autorités chargées de la mise en œuvre des directives nationales lancent des plans d'expérimentations :**

Le Guangdong, Shanghai et la province du Sichuan ont été parmi les premières à annoncer des mesures, notamment en faveur des couples non-mariés.

On peut également citer certaines **initiatives sectorielles lancées dans plusieurs provinces** ces derniers mois :

- **Subventions aux familles**

En janvier 2023, la Commission de la santé de la municipalité de **Shenzhen**, dans la province du **Guangdong**, a proposé d'accorder des **subventions pour la garde d'enfants** de manière différenciée et progressive : les familles à un enfant peuvent recevoir environ 1000 euros, les familles à deux enfants 1500, et 2500 pour trois enfants.

En janvier 2023, la province du **Shandong** a proposé une **allocation mensuelle de garde d'enfants** de l'équivalent de 90 euros par enfant pour les familles ayant deux ou trois enfants nés après le 1er janvier 2023 dans la ville, ainsi qu'une allocation de subsistance supplémentaire de 30 euros par mois pour ceux qui perçoivent l'allocation de subsistance minimale, jusqu'à ce que l'enfant ait trois ans.

La province du **Jiangsu** a décidé de subventionner les charges sociales payées par les femmes à hauteur de 50 % pour la naissance d'un deuxième enfant et de 80 % pour la naissance d'un troisième enfant.

- **Soutien aux services de garde d'enfants**

Afin de promouvoir le développement de services de garde d'enfants, **Pékin, Shanghai, Shenzhen, ou Haikou** (province de Hainan) ont mis en place des mesures **d'exonération de TVA** pour les crèches, les jardins d'enfants et les institutions communautaires.

- **Allongement de la durée des congés parentaux**

Selon la réglementation nationale en vigueur, les femmes ont droit à 98 jours de **congés de maternité**, mais de plus en plus de provinces l'ont étendu à 158 jours, mais aussi le congé de paternité à environ 15 jours. Le « congé parental complémentaire rémunéré » est également devenu une pratique courante dans le pays, chaque conjoint bénéficiant généralement de 5 à 20 jours de congés supplémentaires par an jusqu'à ce que l'enfant ait trois ans, et avec des possibilités de pose très souples comme à **Chongqing** par exemple.

- **Aides au logement**

Les **provinces du Jiangsu, du Fujian, du Hebei, du Heilongjiang et de Jilin** ont proposé que les familles soient priorisées au regard du nombre d'enfants lors de l'attribution de logements locatifs publics.

Hangzhou, dans le Zhejiang, a proposé que les familles avec trois enfants soient également prioritaires lors des attributions de logements publics à la vente.

A ce stade, les annonces en faveur de la relance de la natalité ont suscité des réactions très modérées chez les plus jeunes. Ces derniers font principalement valoir d'une part, les **coûts liés à la parentalité (alors que la Chine à un coût moyen parmi les plus élevés au monde)** qui s'ajoutent à la prise en charge des seniors dépendants de petits-enfants uniques, d'autre part, la difficulté de concilier la parentalité et une vie professionnelle exigeante ainsi que de fortes préoccupations sur l'impact de ces mesures sur l'émancipation et les droits sexuels et reproductifs des femmes.

- **Perspective de réforme du système de retraites**

Ces dernières semaines ont également été marquées par un regain de l'attention portée aux réformes en cours du système des pensions

de retraite dans le **prolongement des mesures annoncées dans le 14^e plan quinquennal**. Les réflexions se poursuivent sur l'âge du départ à la retraite (actuellement l'un des plus bas d'Asie avec 55 ans pour les femmes - 50 ans pour les femmes travaillant dans des conditions difficiles - et 60 ans pour les hommes, qui pourrait être porté à 65 ans), ainsi que sur la durée et le modèle de cotisation. Cette réforme suscite des débats et inquiétudes, notamment dans le contexte de chômage important des jeunes.

Pour mémoire, **le système chinois des retraites se caractérise par trois dispositifs de cotisation** :

→ **Premier dispositif** : « Retraite de base », avec cotisation fixe employeur (16% de la masse salariale) et salarié (8% du salaire imposable) ;

→ **Deuxième dispositif** : « Retraite complémentaire », avec une cotisation employeur (8%) et salarié (4%), mais qui ne couvre à l'heure actuelle que seulement 27 millions de salariés, soit moins de 7% des assurés sociaux ;

→ **Troisième dispositif** : « Assurance privée personnelle » : Cette assurance privée est une capitalisation souscrite par un individu en fonction de ses moyens, avec des avantages fiscaux. Cette option vient d'être mise en place en 2022.

La réforme en cours découle également d'une **pression accrue liée à l'urbanisation croissante du pays** et à **l'augmentation exponentielle des travailleurs migrants**. En juin 2018, le Conseil des affaires d'État a proposé la mise en place d'un système central de coordination afin d'équilibrer les charges des fonds entre les régions. Cette gestion centralisée est en vigueur pour le régime de retraite de base des salariés du privé depuis janvier 2022.

Le projet de réforme doit ainsi aller au bout de l'harmonisation des dispositifs et acter l'allongement de la durée de cotisation et de départ à la retraite. Les textes pourraient être publiés dans les prochains mois, mais la mise en œuvre ne serait effective qu'en 2025.

La réforme en cours de l'assurance-maladie

Début 2023, plusieurs manifestations ont eu lieu dans différentes villes (notamment à Wuhan et Dalian) portant sur la réforme des remboursements des soins. Les manifestants protestent contre l'impact d'une réforme adoptée il y a près de trois ans, pour limiter les effets du vieillissement sur le système d'assurance maladie et visant à favoriser la prise en charge par des comptes individualisés au détriment des comptes collectifs qui prévalaient auparavant. Les manifestants s'estiment lésés par la mise en œuvre de cette réforme qui impacte le montant des cotisations et dont les effets sur le remboursement des médicaments portent aujourd'hui préjudice aux seniors les plus précaires.

Pour mémoire, **le système d'assurance maladie de base créé en 1998 comprend deux piliers** :

- des **comptes personnels obligatoires**, qui permettent principalement de financer les services ambulatoires généraux et les consultations médicales ;
- un **fonds commun** financé par les employeurs, qui sert principalement à couvrir les frais d'hospitalisation.

Compte tenu du vieillissement de la population et d'une demande croissante de soins de santé, il apparaît de plus en plus difficile de faire face aux besoins de services ambulatoires. **Les restes à charge dans le cadre des hospitalisations risquent mécaniquement d'augmenter**, provoquant ainsi de réelles craintes au sein d'une population âgée.

Conclusion :

La Chine entre dans une période de **transition démographique durable** commune aux pays développés mais qui aura été plus rapide que le vieillissement progressif qu'a notamment connu l'Europe. Le pays va ainsi passer dans les toutes prochaines années à **un statut de pays vieillissant**, avec une part de personnes âgées de plus de 60 ans supérieure à 18%.

Si la priorité accordée à **la relance de la natalité** ne fait aucun doute, il se dégage également du discours officiel une prise de conscience sur le fait que cette nouvelle tendance devrait être durable et difficile à inverser. Dans ce contexte, et au-delà des impacts sociaux et sociétaux que cette tendance de fond va entraîner dans les années à venir, **les réformes difficiles des systèmes de retraites et de protection sociale apparaissent inévitables à court terme.** ☹️

Océans, sursauts gamma et Lune

Trois thématiques au cœur de la coopération spatiale franco-chinoise

Par Mathieu Grialou



Mathieu Grialou est en poste à l'Ambassade de France à Pékin depuis septembre 2022 en tant que **Conseiller Spatial et Représentant du CNES** (Centre National d'Etudes Spatiales), où il coordonne la coopération spatiale franco-chinoise en liaison avec l'équipe des Affaires Internationales du CNES à Paris.

Le **secteur spatial chinois** a connu au tournant du siècle une forte accélération impulsée par une volonté politique clairement affichée. Aujourd'hui la Chine dispose d'un programme spatial riche et varié qui lui permet de mériter pleinement le qualificatif de puissance spatiale. Les projets spatiaux, souvent onéreux et complexes, se prêtent naturellement à des coopérations internationales, qu'elles soient bilatérales ou multilatérales. Ni la Chine ni la France ne sont exemptes de cette tendance et **les deux pays entretiennent depuis vingt-cinq ans une coopération dans ce domaine**.

Cette coopération spatiale franco-chinoise est régie par un accord intergouvernemental signé en 1997, toujours en vigueur, qui désigne le CNES (Centre national d'études spatiales) et la CNSA (Administration spatiale nationale de Chine) comme agences de mise en œuvre. Les premiers échanges au début des années 2000 ont permis de faire émerger deux grandes missions conjointes : **le satellite d'océanographie CFOSat** (*China France Oceanography Satellite*) et **le satellite d'astrophysique SVOM** (*Space Variable Objects Monitoring*). Ces deux projets ont été complétés ultérieurement par une coopération sur la mission lunaire **Chang'E-6**.

Océanographie spatiale

Le satellite CFOSat a été lancé le 29 octobre 2018 à partir de la base chinoise de Jiuquan, dans le désert de Gobi. Défini sur la base d'une plateforme de l'industriel chinois CAST (*China Academy of Space Technology*) fabriquée à Pékin, il emporte



■ Illustration du satellite CFOSat
© CNES/iil./SATTLER Oliver, 2017

deux instruments radars. Le premier, **SWIM** (*Surface Waves Investigation and Monitoring*), a été développé par la France (*Thales Alenia Space*) et mesure **les propriétés des vagues** (direction, longueur d'ondes) grâce à ses six faisceaux rotatifs.

Le second, **SCAT** (*Wind SCATterometer*), a été développé sous responsabilité chinoise et mesure **l'intensité du vent de surface et sa direction**. Aujourd'hui, près de cinq ans après son lancement, ce satellite continue

d'orbiter autour de notre Terre et fournit des données aux scientifiques du monde entier. Les deux agences se sont entendues pour poursuivre son opération au moins jusqu'à la fin de l'année 2024. Les données de CFOSat, recueillies par des stations de réception chinoises et françaises, ont en premier lieu une fonction opérationnelle en permettant **des prévisions plus fiables de l'état de la mer**. Elles améliorent aussi notre compréhension de certains processus géophysiques, comme les vents et vagues au cœur des cyclones tropicaux, les interactions océan-atmosphère, les vagues en océan hauturier et en régions côtières, les interactions vagues-courant ou encore la détection des signatures des glaces de mer.

Côté français, l'équipe scientifique est centrée autour du **LATMOS**¹ (Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales, à Paris et Guyancourt), qui a proposé l'instrument SWIM, mais inclut aussi d'autres partenaires comme l'**IFREMER** (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), **Météo-France** ou encore le **SHOM** (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine). Ces instituts se retrouveront à Nanjing en novembre 2023, avec leurs homologues chinois, pour la **4^e réunion de l'équipe scientifique CFOSat**.

L'intérêt pour les océans est aussi illustré par une coopération portant sur le programme chinois **Haiyang** (« océans »), pour lequel plusieurs satellites de la série Haiyang-2 du centre NSOAS (*National Ocean Satellite Application Service*) sont équipés d'antennes et récepteurs français **DORIS** (Détermination d'Orbite et Radio-positionnement Intégré par Satellite) qui permettent de mesurer leur trajectoire orbitale avec une grande précision. En retour, les données des missions Haiyang-2 sont intégrées par le CNES dans le système français **AVISO** de traitement multi-missions des données altimétriques et dans le système européen **COPERNICUS**, enrichissant ainsi ces bases de données.



■ L'instrument SWIM du satellite CFOSat
© CNES/GRIMAUULT Emmanuel, 2017

La Chine contribue d'ailleurs elle-même à l'infrastructure du **réseau terrestre de DORIS**, un système initié dans les années 1980 par le CNES et l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière), en partenariat avec le GRGS (Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale) : elle héberge en effet une des (cinquante) antennes réparties sur notre globe, dans l'Institut de Géodésie et de Géophysique de l'Académie des sciences (CAS) à Jiefeng dans la province du Hubei.

Astrophysique

En parallèle de cette coopération en océanographie spatiale, résolument tournée vers la Terre et ses enjeux climatiques à court terme, se distingue un autre volet de coopération tourné vers **la compréhension de l'Univers lointain**. La future mission **SVOM** est une mission d'astronomie visant à **détecter les sursauts gamma de l'Univers**. Il s'agit de placer en orbite, à 600 km d'altitude autour de la Terre, un satellite dédié à l'observation de ces phénomènes, parmi les plus énergétiques de l'Univers, qui résultent de l'explosion d'étoiles massives (plus de vingt fois la masse du soleil) mais aussi de la fusion d'objets compacts comme les étoiles à neutrons ou les trous noirs. **La Chine est responsable du satellite**, fabriqué par l'institut SECM (*Shanghai Engineering Center for Microsatellites*) de la CAS et du lancement sur une fusée Longue Marche 2C à partir de la base de Xichang dans la province du Sichuan.

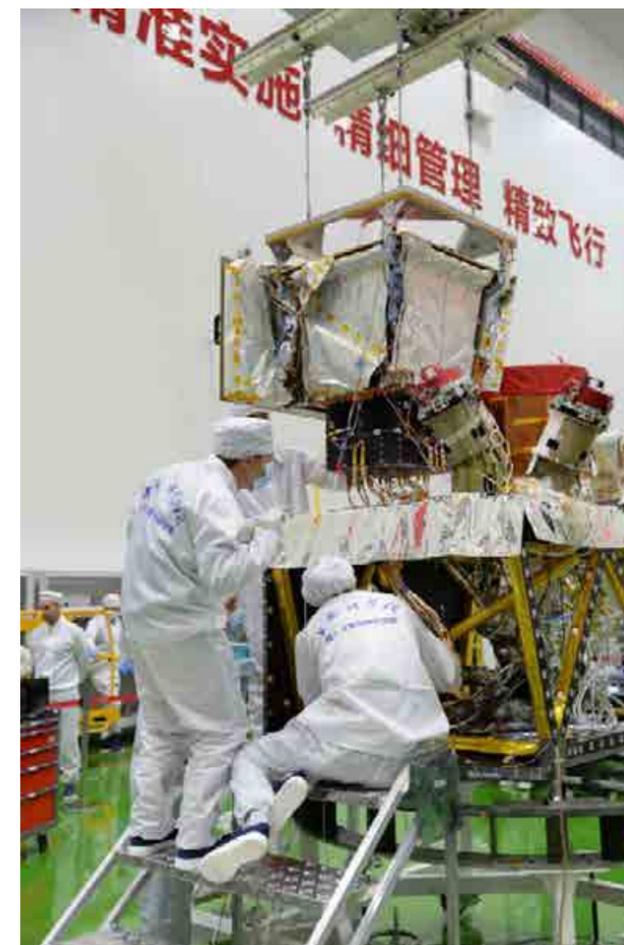
La conception et la réalisation des instruments et des composantes terrestres sont partagés entre la Chine et la France. **La contribution française** est développée en partenariat avec des laboratoires du **CEA** (Département d'astrophysique) et du **CNRS**, dont l'**IRAP**² (Institut de recherche en astrophysique et planétologie à Toulouse), le **LAM**³ (Laboratoire d'astrophysique de Marseille), l'**APC**⁴ (Laboratoire astroparticules et cosmologie à Paris) et l'**IAP**⁵ (Institut d'astrophysique de Paris).

Le satellite SVOM est doté de quatre instruments dont deux conçus et réalisés par la France : **ECLAIRS**, une caméra à champ large (de déclenchement) X et gamma, et **MXT**, un télescope à champ étroit en rayons X de basse énergie. Quand un sursaut gamma sera détecté par ECLAIRS, le satellite se réorientera en quelques minutes pour compléter les observations avec les autres instruments chinois VT et GRM.

¹ LATMOS : UMR 8090
² IRAP : UMR 5277
³ LAM : UMR 7396
⁴ APC : UMR7164
⁵ IAP : UMR 7095



■ Intégration de la caméra du télescope MXT de SVOM
© CNES/DE PRADA Thierry, 2021



■ Assemblage de l'instrument ECLAIRS sur SVOM à Shanghai
© CNES



■ Illustration de l'alunisseur Chang'E6 © CNSA

L'information sera également transmise au sol (via un réseau terrestre VHF développé par le CNES) en moins d'une minute afin que le sursaut soit étudié par des télescopes robotiques dédiés et de grands télescopes.

Aujourd'hui, le projet est dans sa dernière ligne droite, puisque les instruments français ont été intégrés au mois d'avril sur le satellite à Shanghai et **le lancement est prévu au printemps 2024**. De manière indirecte, cette mission permet également au CNES d'être partie prenante de la mission chinoise (intégrant une contribution européenne) **Einstein Probe** (qui sera lancée fin 2023), car l'agence française met à disposition le réseau d'antennes VHF développé pour la mission SVOM. Enfin, cette coopération SVOM s'insère, du point de vue scientifique, dans le projet de recherche international (IRP) **TianGuan** consacré à **l'étude du ciel transitoire et l'astrophysique** des hautes énergies, ainsi qu'à **la dynamique des galaxies**.

Exploration du système solaire

Lors de la visite en Chine du Président Emmanuel Macron au mois de janvier 2018, un mémorandum a été signé entre le CNES et la CNSA, pour amplifier la coopération autour de **la lutte contre le changement climatique et l'exploration du système solaire**. Il s'est concrétisé par une coopération sur la mission lunaire chinoise **Chang'E-6**, où le CNES fournira le

spectromètre **DORN** (*Detection of Outgassing Radon*). Cet instrument est réalisé par l'IRAP pour **détecter sur la Lune des éléments volatils** présents dans son exosphère, et plus particulièrement le radon (le nom de l'instrument est un clin d'œil à la première mise en évidence du radon-222 par le chercheur allemand Friedrich Ernst Dorn). Sur la Lune, les émanations de radon (gaz radioactif produit de manière continue dans le sol lunaire par la décroissance radioactive de l'uranium), varient temporellement et spatialement pour des raisons encore énigmatiques qu'il reste à élucider.

Le spectromètre DORN, adapté aux conditions de températures de cette mission, va détecter les particules alpha (i.e. des noyaux d'hélium) émises par le radon et le polonium, l'un de ses descendants radioactifs, lors de leur désintégration. Ces particules alpha (entre 5 et 10 MeV) seront captées par des détecteurs silicium formant une surface totale de 40 cm², orientés vers le ciel et le sol lunaire, la détection pouvant s'effectuer sur quelques dizaines voire centaines de mètres autour de l'atterrisseur. L'étude du radon permettra **d'étudier le dégazage de la Lune et le transport des gaz et de la poussière dans l'exosphère lunaire**, un environnement fragile qui pourrait être rapidement perturbé par des missions futures. Celle-ci permettra également d'affiner **les mesures d'uranium** de la surface de la Lune.

Cette coopération est la première du genre dans le domaine de l'exploration du système solaire entre la France et la Chine, et devrait aboutir au déploiement du premier instrument français à la surface de la Lune.

Selon le responsable scientifique, Pierre-Yves Meslin, elle « nous a permis d'apprendre à travailler avec de nouveaux partenaires qui ont une organisation et des méthodes de travail très différentes des nôtres, mais qui ont pour le moment été couronnées de succès sur toutes les missions lunaires et martiennes entreprises jusqu'à présent par la Chine ».

Cette coopération sur la Lune est complétée par la mise en place d'une coopération sur l'analyse conjointe des **échantillons extra-terrestres** ramenés sur Terre par les missions chinoises. Elle s'est matérialisée cette année lorsque la Chine a offert à la France, lors de la visite présidentielle du 7 avril à Pékin, des échantillons lunaires prélevés par la mission Chang'E-5. Il s'agit d'1,5 grammes de sol lunaire, surfacique mais aussi

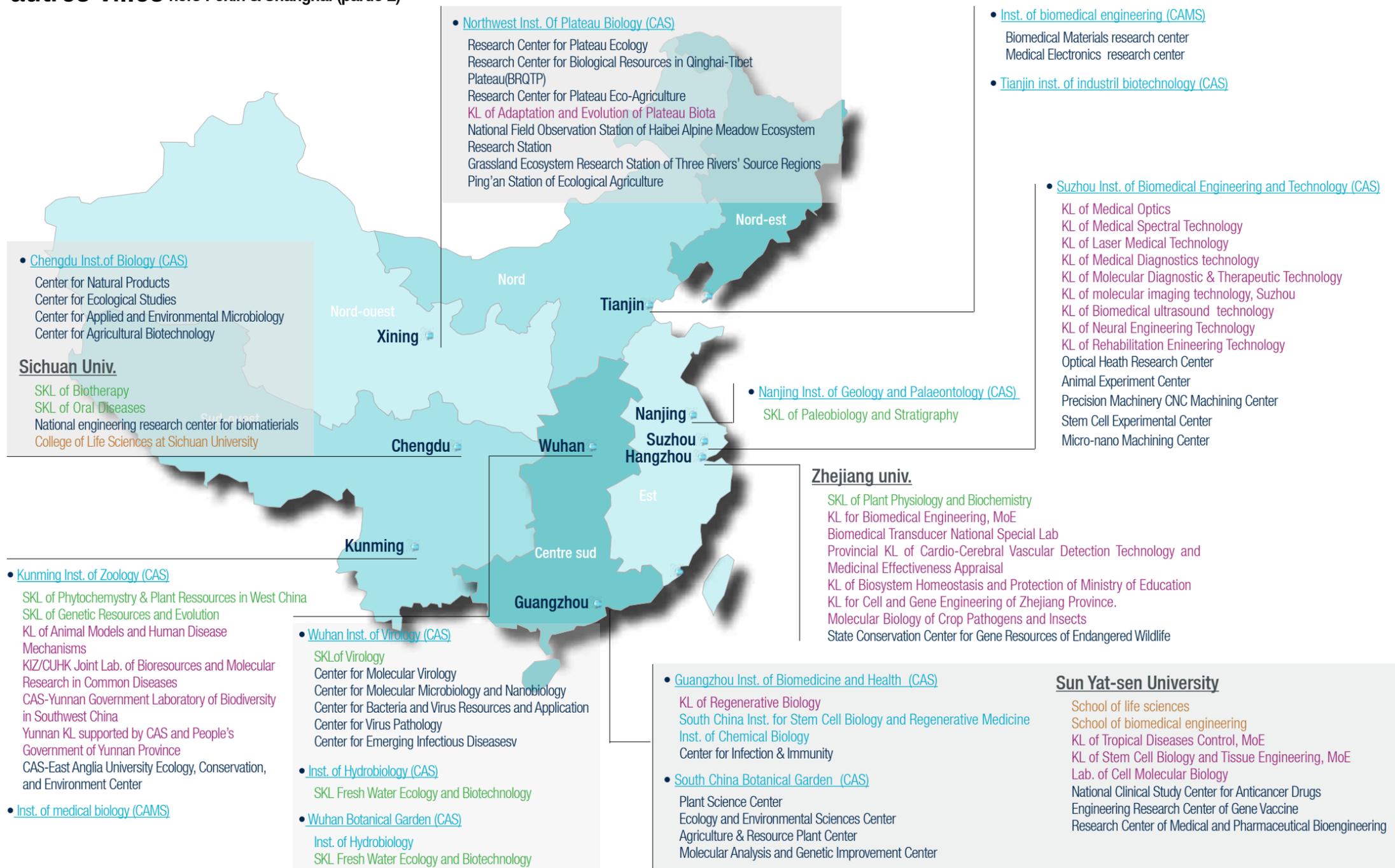
prélevé en profondeur, qui sont pour l'instant stockés au **MNHN** (Muséum national d'histoire naturelle) en attendant d'être analysés par la communauté scientifique française. Dans la foulée, **une déclaration CNSA-CAS-CNRS-CNES** scellant cette coopération a été signée le 22 juin 2023 à Paris en présence des deux Premiers Ministres. Cette relation s'inscrit, dans sa globalité, dans le cadre de l'**IRP MOONGas** du CNRS, avec pour la partie française le **CRPG** (Centre de recherches pétrographiques et géochimiques) de l'Université de Lorraine et l'**IPGP** (Institut de physique du globe de Paris).

Alors que la Chine et la France s'appêtent à célébrer en 2024 **les soixante ans de l'établissement de leurs relations diplomatiques**, ce panorama de la coopération bilatérale illustre la bonne santé de leur partenariat dans ce domaine scientifique. A l'avenir, le CNES et la CNSA continueront d'échanger dans le cadre mis en place par l'accord intergouvernemental, afin de trouver de nouveaux sujets d'intérêt commun et de dessiner la trajectoire de la coopération future. ☘



■ Instrument DORN devant son installation de test à l'IRAP.
© IRAP (CNRS, UT3, CNES)

Carte des principales structures chinoises en biologie et santé : autres villes hors Pékin & Shanghai (partie 2)*



- 3 académies
- 41 instituts et jardins
- 8 universités
- 6 écoles
- 69 centres
- 32 SKLabs
- 49 KLabs

Pour en savoir plus, consultez nos cartes pour tous les domaines sur <https://cnrsbeijing.cnrs.fr/cartographie/>

* Retrouvez la partie 1 dans le numéro 37.

Recherche académique en médecine

Quelques chiffres* (2019-2022)

+ 551 202 publications, impact de citation de 1.06

+ 3 896 954 citations

Principales Institutions/Universités chinoises dans ce domaine (en nombre de publications)

- Université Shanghai Jiaotong (27 155)
- Académie chinoise des sciences médicales (26 414)
- Université médicale de la capitale (25 961)
- Université Fudan (24 739)
- Université de Pékin (24 397)

17,7% en coopération internationale

• Etats-Unis	48,2%
• Royaume-Uni	12,5%
• Hong Kong	9,9%
• Australie	9,6%
• Canada	7,5%
• Allemagne	7,4%
• Japon	5,7%
• Italie	4,0%
• France	3,9%
• Pays-Bas	3,7%

*Source : scopus.com

L'Institut de biophysique de l'Académie des sciences de Chine

Par le bureau du CNRS en Chine



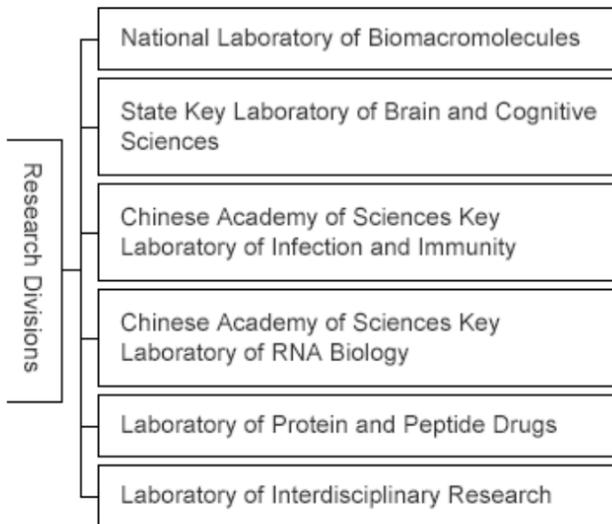
■ Institut de Biophysique de la CAS @IBP-CAS



Institute of Biophysics
Chinese Academy of Sciences

En 2019, l'Institut comptait **113 encadrants diplômés**, plus de **1 800 étudiants** y ont été formés, dont 435 doctorants, 211 étudiants en master, 6 étudiants étrangers et 66 stagiaires postdoctoraux.

L'institut héberge notamment :



■ 2 laboratoires clés nationaux :

- Laboratoire national des biomacromolécules
- Laboratoire clé d'État des sciences du cerveau & cognitives

■ 2 laboratoires clés de la CAS :

- Laboratoire clé d'infectiologie et d'immunologie
- Laboratoire clé de biologie de l'ARN

■ 1 Laboratoire des Médicaments Protéiques et Peptides (LPPD) dont le *Beijing Engineering and Technology Research Center for Biomacromolecule Drug Transformation* et le *CAS Engineering Laboratory for Nanozyme*

L'Institut de biophysique (IBP)¹ (ex Institut de biophysique expérimentale de Pékin) de l'Académie des sciences de Chine a été créé en 1958 à Pékin par le professeur **Bei Shizhang**, biologiste renommé et membre de la CAS. C'est aujourd'hui une institution nationale de premier plan pour les recherches en biologie cellulaire, radiobiologie, enzymologie, biologie structurale, biologie membranaire, neurobiologie, cybernétique et ingénierie biologique et biophysique.

L'IBP héberge actuellement 80 laboratoires couvrant un large spectre de recherches, de l'étude des **protéines aux neurosciences en passant par les sciences cognitives, l'infectiologie et l'immunologie, la biologie des acides nucléiques**, ... Les objectifs de transfert technologique et d'innovation sont centraux et concernent aussi bien la mise au point d'équipements, de technologies clés, de méthodes expérimentales, que la synthèse de produits biopharmaceutiques et ou le développement de diagnostics. En 2010, l'Institut était classé comme l'une des institutions les plus innovantes de la CAS.

L'Institut de biophysique est étroitement associé à l'**École en sciences de la vie** de l'Université de l'Académie des sciences de Chine (UCAS), où il participe aux **programmes pour les diplômes de doctorat et de maîtrise** et constitue une base de formation pour les doctorants de la CAS. Il coopère avec de nombreux instituts affiliés à la CAS comme l'Institut de zoologie, l'Institut de génétique et de biologie du développement, l'Institut de microbiologie, l'Institut de génomique de Pékin et l'Institut de psychologie.

¹ <http://english.ibp.cas.cn/index.html>

■ 1 Laboratoire de Recherche Interdisciplinaire (LIR) dont le *Beijing Engineering Technology Research Center for Biomedical Molecular Detection*

L'Institut de biophysique abrite le **CAS Protein Science Core Facility Center**, qui est la plus grande plateforme d'instruments dédiée à la recherche en biologie de la CAS dans la région de Pékin. Le centre fournit non seulement un soutien technique aux chercheurs de l'institut, mais propose également des services à d'autres institutions à travers le pays et à l'étranger.

L'IBP héberge également la **Société de Biophysique de Chine** qui édite trois revues *Biophysics Reports*, *Protein & Cell* and *Progress in Biochemistry and Biophysics*; les deux dernières étant référencées dans SCI.

L'Institut accorde une grande importance à la coopération et aux échanges internationaux qu'il développe avec des organisations dans 16 pays dans le monde.

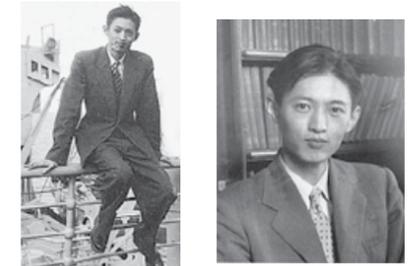
Directeur actuel : **Xu Ruiming** 许瑞明

Trois personnalités phares de l'Institut



Bei Shizhang 贝时璋 1903-2009 biophysicien chinois, membre de l'Académie chinoise des sciences, est considéré comme le pionnier de la biophysique en Chine.

- <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/209660831800100201> ;
- https://en.wikipedia.org/wiki/Bei_Shizhang



Zou Chenglu 邹承鲁 1923-2006 biochimiste chinois académicien de la CAS et de l'Académie mondiale des sciences (TWAS) qui a apporté d'importantes contributions à la synthèse de l'insuline. Il a remporté le prix TWAS de biologie en 1992 pour son étude pionnière de la cinétique d'inhibition des enzymes et a été six fois lauréat du *State Natural Science Award*.

https://www.wikiwand.com/en/Chen-Lu_Tsou



Liang Dongcai 梁栋材 (1932) est un chercheur en biophysique moléculaire, homme politique et académicien de la (CAS). Il a établi le premier ensemble de programmes pour le développement de l'analyse de la structure monocristalline de petites molécules et l'étude de la structure cristalline des macromolécules biologiques en Chine. Premier chercheur en Chine à s'intéresser au domaine de la cristallographie aux rayons X.

https://yswk.csd.l.ac.cn/qiantai/Shouye_zhanshi.action?id=1980C37

L'Institut de génétique et de biologie du développement de l'Académie des sciences de Chine

Par le bureau du CNRS en Chine



@IGBD

L'Institut de génétique et de biologie du développement (IGDB-CAS) de l'Académie des sciences de Chine (*Institute of Genetics and Developmental Biology*) a été fondé en 2001 par la fusion de trois instituts de la CAS, l'Institut de génétique, l'Institut de biologie du développement et l'Institut Shijiazhuang de modernisation agricole.

Les recherches qui y sont développées utilisent des **modèles végétaux et animaux** pour étudier le **contrôle génétique** de la croissance et du développement, l'**expression génique**, la **transduction du signal**, la **génomique** structurale et fonctionnelle, la **biotechnologie**, la sélection moléculaire, la bio-informatique et la **biologie des systèmes**.

IGDB compte une **centaine d'encadrants** chercheurs auxquels s'associent plus de **300 autres chercheurs** et techniciens, **150 employés** administratifs, **600 étudiants diplômés** et environ **130 stagiaires post-doctoraux**. L'Institut accueille **5 académiciens** de la CAS et 30 lauréats des prix du *National Science Fund for Distinguished Young Scholars*. Quatre équipes de recherche ont reçu le soutien du *Fonds de recherche créative* de la NSFC.

L'enseignement y est également présent à travers six programmes de maîtrise et de doctorat en sciences, deux programmes de maîtrise en agriculture et un programme de recherche postdoctorale en biologie.

Directeur actuel : [YANG Weicai](#) 杨维才

Organisation de la recherche

Les travaux de recherche s'organisent autour de **8 laboratoires nationaux** ou clés et de **6 centres de recherche** :



Transfert de technologies

Innover est un objectif de recherche à l'IGDB, en particulier dans les domaines de l'**agriculture** et de la **santé** avec des contributions significatives en **biosécurité**, en **agriculture économe en eau** ou encore en **agronomie**, en mettant l'accent sur la productivité des cultures et l'amélioration de la qualité. Pour renforcer l'application et la commercialisation des résultats de la recherche, l'Institut a établi des partenariats avec, entre autre, la *Kweichow Moutai Company* et la *Beijing Tong Ren Tang Chinese Medicine Company*.

Coopérations internationales

L'Institut entretient de nombreuses coopérations avec des instituts, des universités et des entreprises du monde entier. Il est au cœur d'un **réseau de recherche** et d'innovation en bio-élevage associant la Chine avec le Brésil, l'Argentine, Cuba, le Venezuela, le Mexique et d'autres pays. L'IGDB est également membre du CEPAMS¹. Ce centre de recherche associe, au Royaume Unis, le *John Innes Centre* et du côté chinois deux Instituts de la CAS : l'**Institut de génétique et de biologie du développement** et l'**Institut de physiologie des plantes et d'écologie**.

Publications

En 2022, les chercheurs de l'IGDB ont publié **512 articles indexés dans SCI**, dont huit dans *Cell*, *Nature* et *Science*. **105 brevets** ont été validés dont 7 brevets PCT internationaux.

L'IGDB est éditeur de trois revues de la société chinoise de génétique, *Journal of Genetics and Genomics*, *Hereditas* (Beijing) et *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. [✂](#)

¹ <https://www.cepams.org/>



@IGBD

L'Institut de microbiologie de l'Académie des sciences de Chine

Par le bureau du CNRS en Chine



■ @IMCAS



■ Institut de microbiologie de l'Académie chinoise des sciences à Pékin

L'Institut de microbiologie de l'Académie chinoise des sciences (IMCAS), *Institute of Microbiology of CAS*, a été fondé en 1958, avec la fusion de l'Institut de mycologie appliquée et des laboratoires de microbiologie de Pékin, affiliés à la CAS.

En 50 ans de développement, IMCAS est devenu la plus grande institution de recherche en **sciences microbiologiques** de Chine.

Depuis 2008, l'Institut réorganise sa recherche fondamentale, stratégique et prospective en **trois domaines interconnectés : ressources microbiennes, biotechnologie microbienne, immunologie pathogènes**, pour répondre aux besoins nationaux en matière de modernisation industrielle, de développement agricole, de santé humaine, de protection de l'environnement, etc. Initialement situé dans le quartier des universités de *Haidian (Zhongguancun)*, la quasi-totalité du campus actuel (*CAS Life Science Park*) est basée, depuis 2007, près du village olympique de Pékin.

L'IMCAS emploie plus de 490 personnes, dont plus de 288 chercheurs (7 académiciens de la CAS). 467 étudiants sont diplômés de l'IMCAS.

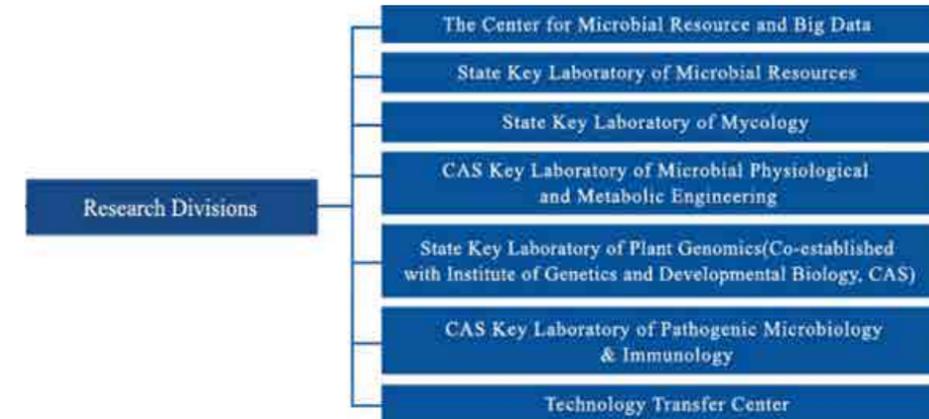
Actuel Directeur général : **QIAN Wei** 钱韦



■ @IMCAS

L'IMCAS est composé de 5 laboratoires et de 2 principaux centres :

- **Laboratoire Clé d'État des Ressources Microbiennes** ([SKLMR](#) : *State Key Laboratory of Microbial Resources*)
- **Laboratoire Clé d'État de Mycologie** ([SKLM](#) : *State Key Laboratory of Mycology*)
- **Laboratoire Clé d'État de Génomique Végétale** ([SKLPG](#) : *State Key Laboratory of Plant Genomics/ Lab conjoint entre l'IMCAS et l'Institut de Génétique et Biologie du Développement de la CAS*)
- **Laboratoire Clé d'État de Microbiologie Génie Physiologique et Métabolique** ([CAS Key Laboratory of Microbial Physiological and Metabolic Engineering](#))
- **Laboratoire Clé d'État de Microbiologie Pathogène et Immunologie** ([CAS Key Laboratory of Pathogenic Microbiology and Immunology](#))
- **Centre de ressources biologiques** (IMCAS-BRC *Biological Resources Center Institute of Microbiology Chinese Academy of Sciences*)
- **Centre de collecte générale de cultures microbiologiques de Chine** de la CAS ([CGMCC](#) - *China General Microbiological Culture Collection Center-CAS*)



■ Organisation des départements de recherche de l'Institut de microbiologie de la CAS

L'IMCAS possède le plus grand herbier fongique d'Asie avec près de **500000 spécimens** et la plus grande **collection de cultures microbiologiques** en Chine avec plus de **41000 souches**. Il dispose d'une bibliothèque spécialisée de plus de **50 000 livres** ou revues et d'une bibliothèque électronique de plus de **29000 livres et revues électroniques** en chinois et en anglais. Il édite les revues académiques suivantes : *Acta Microbiologica Sinica*, *Microbiology China*, *Mycosystem* et *Chinese Journal of Biological Engineering* (en chinois et en anglais).

Trois sociétés académiques nationales sont actuellement affiliées à l'IMCAS

- La Société chinoise de microbiologie
- La Société chinoise de mycologie
- La Société chinoise de biotechnologie

Coopération internationale

L'Institut attache également une grande importance à la coopération avec la communauté scientifique internationale et les industries. Depuis 2008, l'IMCAS a mis en œuvre **50 projets de coopération internationale** et **40 projets de recrutement de talents et d'échanges internationaux**.

- Ex. de coopérations avec la France : **Institut national de la recherche agronomique** (conception d'un procédé fongique industriel environnemental propre intégrant la gestion de l'eau pour la valorisation des déchets agricoles dans l'industrie papetière) ; **Aventis Co./Bayer Ltd.** (substance métabolique microbienne de l'antivirus) ; **Université de Cergy Pontoise** (comparaison de différentes transglutaminases pour catalyser la transition sol-gel des protéines).

- En 2010, l'IMCAS a été élu institut hôte du [World Data Center for Microorganisms](#).

- En 2012, il a coopéré avec *Royal Holloway*, Université de Londres et a lancé [Fungal Names](#), un **site Web international d'enregistrement des noms fongiques**, une base de données d'espèces fongiques chinoises.

- En mars 2013, le **Centre d'excellence en biotechnologie CAS-TWAS** a été créé à l'IMCAS. Chaque année, il organise plusieurs rencontres internationales en microbiologie pour promouvoir la communication et les échanges au sein de la communauté internationale. ☘

Le Centre de ressources biologiques (IMCAS-BRC)

Le **Centre de ressources biologiques** de l'Institut de microbiologie de l'Académie chinoise des sciences (IMCAS-BRC) a été créé en intégrant le **Centre général de collecte de cultures microbiologiques de Chine (CGMCC)**.

La mission de l'IMCAS-BRC est de servir d'infrastructure publique pour la collecte de cultures, la recherche et l'utilisation de micro-organismes et de **soutenir les innovations biotechnologiques**.

S'appuyant sur les équipes de recherche du *State Key Laboratory of Microbial Resources* (SKLMR) et du *CAS Key Laboratory of Systematic Mycology and Lichenology*, IMCAS-BRC se consacre notamment au développement de la **banque de ressources microbiennes**.

IMCAS-BRC a établi des collaborations avec de nombreux centres de collecte de cultures dans le monde. Il fournit des universités, des institutions et des industries.

Le Centre de collecte générale de cultures microbiologiques de Chine (CGMCC)

Fondé en 1979 et financé par la CAS, CGMCC est maintenant classé parmi les 10 meilleurs centres de collecte de cultures au monde.

Ce centre abrite le plus grand herbier fongique d'Asie avec plus de 500 000 spécimens et la plus grande collection de cultures de Chine avec 41 000 isolats de micro-organismes (espèces de bactéries, actinomycètes, champignons, levures etc.) ; 2 banques métagénomiques comprenant 750 000 clones préservés. Il coopère avec les centres de collecte de cultures du monde entier dans le cadre d'un échange de souches et d'une étude collaborative sur les ressources microbiennes.



Laboratoire clé d'État des ressources microbiennes (SKLMR)

SKLMR mène des recherches fondamentales et appliquées sur les ressources microbiennes

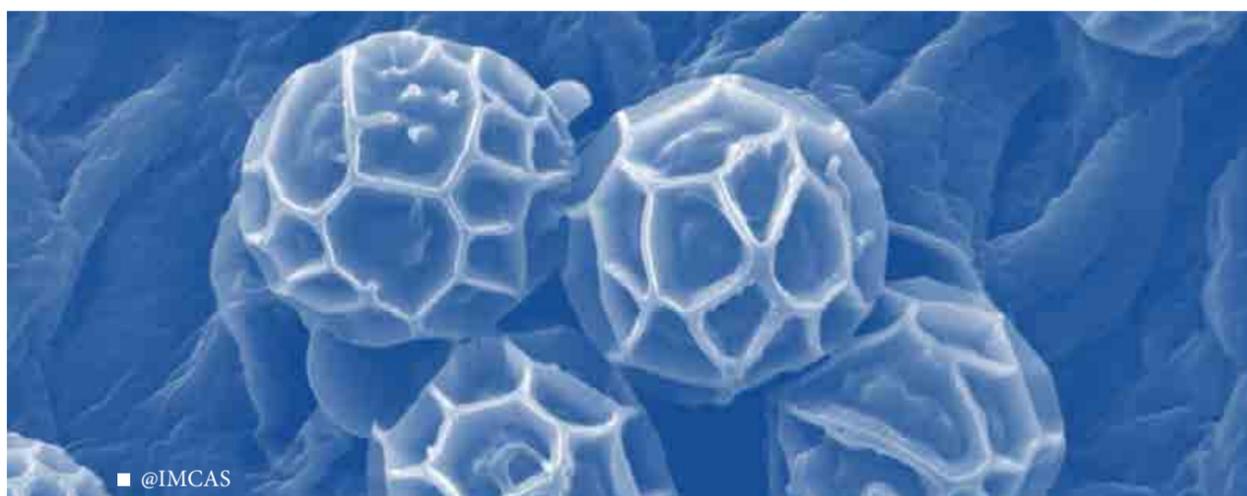
et leurs exploitations biotechnologiques en mettant l'accent sur les aspects suivants :

- Collecte, évaluation et fonctions écologiques des ressources microbiennes
- Biologie et mécanismes adaptatifs des extrémophiles
- Biosynthèse et régulation métabolique des substances bioactives microbiennes
- Biocatalyse et bioconversion microbiennes.

SKLMR se compose actuellement de 25 groupes de recherche avec un total de 90 employés, 140 étudiants (doctorants et masters) et 10 post-doctorants.

Axes de recherche

- Diversité et fonctions écologiques d'importants micro-organismes environnementaux
- Mécanismes génétiques et physiologiques des archées extrémophiles
- Substances bioactives microbiennes et régulation métabolique
- Enzymologie microbienne et biotechnologie
- Molécule unique et recherche microfluidique



Retrouvez notre Revue de presse

<https://cnrsbeijing.cnrs.fr/pressechine/>

Bulletin de veille

du CNRS en Chine et en Mongolie

Dans la presse chinoise en septembre 2023

Le bureau du CNRS à Pékin fait une revue de presse hebdomadaire de la politique et des grandes orientations en R&D&I en Chine et en Mongolie

Retrouvez la liste complète des articles sur notre site : <https://cnrsbeijing.cnrs.fr/pressechine/>

A la une

La campagne des IEA, destinés à l'exploration de nouveaux champs de recherche et de partenariats à l'international, est ouverte jusqu'au 28 septembre 2023. Accessible sur la nouvelle plateforme NOA, le dépôt de candidature se fait à l'adresse suivante : <https://noa.cnrs.fr>. Des informations sur cet appel peuvent être consultées en français et en anglais.

Le projet chinois STCF : Super Tau-Charm Factory

(08-09-2023) La Chine prévoit de construire Super Tau-Charm Factory (STCF), un collisionneur électron-positon pour tester le modèle standard de la physique des particules avec des détails sans précédent. Si approuvé, sa construction pourrait commencer à Hefei en 2026 et devrait durer 5 ans. Le coût de ce projet : 618 millions de dollars (576 M d'Euros).

L'Académie de Dunhuang récompensée par l'UNESCO

(07-09-2023) L'UNESCO a attribué à l'Académie de Dunhuang, un « Certificat de contribution exceptionnelle », en reconnaissance de ses travaux de conservation des grottes de Mogao inscrites au patrimoine mondial en 1987. Ces grottes abritent plus de 2 000 sculptures colorées et 45 000 m2 de fresques.

IRN MicrobSea : La dismutation microbienne du soufre en milieu hydrothermal marin profond

Par Karine Alain



Karine Alain est Directrice de recherche au CNRS, au sein de l'unité **Biologie et Ecologie des Ecosystèmes marins Profonds (BEEP)**, UMR6197 CNRS/UBO/Ifremer, Plouzané, France.

Depuis 2018, elle dirige le laboratoire franco-chinois **MicrobSea** (IRP 1211), **Laboratoire de microbiologie des grands fonds**.

Le cycle du soufre au niveau des écosystèmes hydrothermaux marins : Un cycle central connectant les microbiomes, la biogéochimie et les édifices minéraux.

Le soufre est un élément omniprésent dans les environnements hydrothermaux marins et joue un rôle central dans les principales **réactions cataboliques microbiennes**¹ impliquées dans la production primaire, le recyclage et la dégradation terminale de la matière organique. **Dans les écosystèmes hydrothermaux** (Figure 1), **le soufre est abondant** et se trouve dans divers états d'oxydation (par exemple H_2S , FeS , FeS_2 , S^0 , SO_3^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, SO_4^{2-}) dans les roches des cheminées, les fluides hydrothermaux, l'eau de mer environnante, ainsi que dans les espaces interstitiels et les fractures du sous-sol. Il est par conséquent utilisé comme donneur d'électrons ou accepteur terminal d'électrons dans les réactions de production d'énergie. Les taxons microbiens oxydant le soufre, réduisant le soufre et réduisant le sulfate des habitats hydrothermaux marins sont bien décrits, de même que les voies cataboliques utilisées. La plupart des modèles du cycle biologique du soufre sont basés sur ces réactions.

Cependant, une autre réaction d'oxydoréduction impliquant des espèces de soufre, plus largement méconnue, a lieu dans cet écosystème unique : **la dismutation microbienne du soufre**². Cette réaction pourrait contribuer de manière significative aux flux de soufre des écosystèmes naturels, notamment

hydrothermaux. Depuis quelques années, une partie des travaux de l'IRP **MicrobSea** impliquant le *Key Laboratory in Marine Genetic Resources of the 3rd Institute of Oceanography (TIO) of China, Ministry of Natural Resources of China* (Xiamen, Fujian, Chine) et le laboratoire de **Biologie et Ecologie des Ecosystèmes marins Profonds (BEEP)** (Plouzané, France), vise à améliorer notre connaissance et notre compréhension de ce catabolisme microbien.



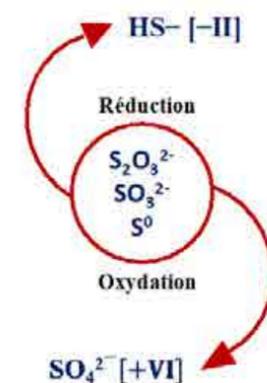
■ Figure 1. Photographie d'un fumeur noir actif au niveau d'une source hydrothermale océanique profonde. Copyright IFREMER (2007). <https://image.ifremer.fr/data/00569/68070/>

¹ Le catabolisme est l'ensemble des réactions de dégradations de composés par un organisme, s'accompagnant d'une production d'énergie.

² La dismutation est une réaction chimique dans laquelle une espèce joue à la fois le rôle d'oxydant et de réducteur.

La dismutation microbienne du soufre : définition, état de l'art

La dismutation des composés inorganiques soufrés est un catabolisme anaérobie³ producteur d'énergie, qui peut être assimilé à une fermentation inorganique. C'est une réaction d'oxydo-réduction où un composé inorganique soufré présentant un état d'oxydation intermédiaire est simultanément réduit et oxydé, conduisant à la formation de 2 produits soufrés, l'un plus réduit et l'autre plus oxydé que le composé de départ (Figure 2). Les formes les plus étudiées permettant la dismutation du soufre sont le soufre élémentaire (S^0), le thiosulfate ($S_2O_3^{2-}$) et le sulfite (SO_3^{2-}), qui peuvent être oxydés en sulfate (SO_4^{2-}) et réduits en sulfure (HS^-).



■ Figure 2. Représentation schématique des principales réactions de dismutation des composés inorganiques soufrés. Les principaux substrats sont indiqués dans le cercle (thiosulfate, sulfite, soufre élémentaire) et les produits finaux de la réaction et leur état d'oxydation sont indiqués par des flèches.

Il est difficile de **dater l'apparition de ce catabolisme microbien** sur Terre en se basant sur l'enregistrement géologique des isotopes du soufre. Les données isotopiques du soufre dans les roches datant de l'Archéen⁴ et la présence de microfossiles dans les formations géologiques anciennes suggèrent que la dismutation microbienne du soufre serait un métabolisme microbien ancien et pourrait dater de 3,5 Ga selon certains auteurs ou être apparue entre 1,45 et 1,3 Ga selon d'autres auteurs. Bien que la dismutation microbienne du soufre semble être un métabolisme assez primitif, **elle n'a été mise en évidence que récemment** (en 2012), en milieu hydrothermal profond. Avant le début de nos travaux, nous ne savions pas dans quelles niches de l'écosystème hydrothermal ce catabolisme pouvait être thermodynamiquement favorable.

³ Se dit de micro-organismes qui se développent uniquement en l'absence d'oxygène.

⁴ L'Archéen correspond à la 2^{ème} époque géologique du Précambrien (de -3,85 à -2,5 milliards d'années).

⁵ La phylogénie correspond à l'étude des liens de parenté entre les êtres vivants sur la base de leur capital génétique.

Par ailleurs, vu que ce catabolisme a été relativement peu étudié, la diversité des taxons capables de dismuter des composés inorganiques soufrés est loin d'être appréhendée dans son ensemble et **les voies cataboliques de cette réaction ne sont que partiellement élucidées**.

La méconnaissance des mécanismes moléculaires qui sous-tendent ce processus empêche l'application de méthodes d'investigation génomique pour identifier et quantifier les taxons mettant en œuvre ce processus dans les habitats naturels. La part de la dismutation dans les flux d'espèces soufrées des habitats naturels par rapport à ceux de la sulfo-oxydation et de la sulfato-réduction n'est pas connue, car **la dismutation des composés soufrés est confondue avec ces voies dans les bilans globaux**, puisqu'elle conduit à la production de sulfates et de sulfures. La chronologie de l'apparition de la dismutation du soufre et de la sulfato-réduction n'est pas non plus établie, car les données sur les isotopes du soufre dans les archives géologiques anciennes n'ont pas permis de tirer une conclusion sans équivoque. Enfin, **les interactions de ces taxons sulfo-dismutants avec la géosphère n'ont pas encore été étudiées**.

Questions scientifiques

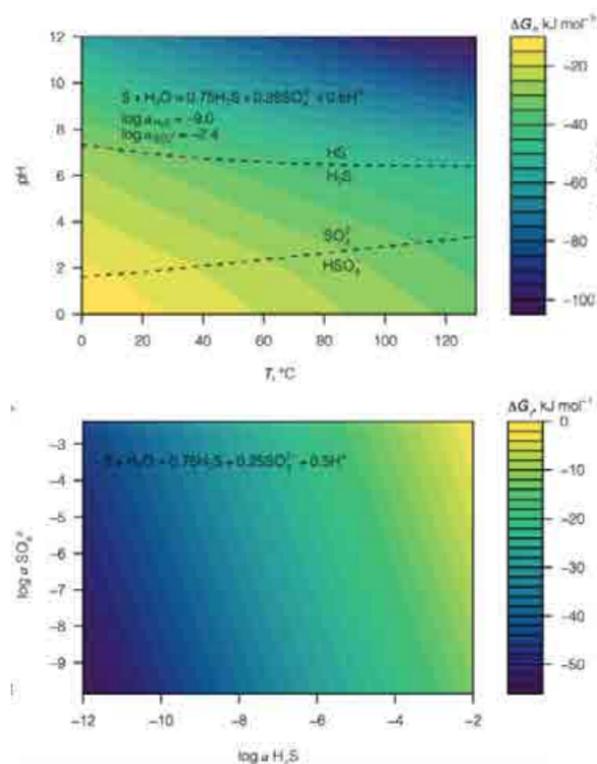
Les travaux menés conjointement entre la France et la Chine dans le cadre de l'IRP **MicrobSea** visent à **apporter des éléments de connaissance sur la dismutation microbienne des composés inorganiques soufrés**. Ils sont organisés autour de cinq questions majeures :

- La réaction de dismutation du soufre élémentaire est-elle favorable dans l'écosystème hydrothermal ?
- Quelle est la diversité phylogénétique⁵ des taxons qui réalisent cette réaction dans les écosystèmes hydrothermaux ?
- Quel est le capital génomique de ces taxons et quels sont les voies métaboliques et les intermédiaires chimiques de cette réaction ?
- La génomique évolutive peut-elle fournir des indices sur l'histoire évolutive de la dismutation du soufre par rapport à celle de la sulfato-réduction ?
- Quelles sont les interactions des taxons sulfo-dismutants avec la géosphère ?

Prédictions thermodynamiques

Pour déterminer si la réaction de dismutation du soufre est exergonique⁶ dans les cheminées hydrothermales marines, nous avons d'abord calculé la variation d'énergie libre de Gibbs de la dismutation du soufre élémentaire dans l'eau de mer pour un large éventail de températures, pH, salinités, pressions, concentrations de sulfure et de sulfate, en faisant varier les variables par paires et en gardant les autres fixes.

Nous avons montré que **la réaction est exergonique** (de -9 à -110 kJ par mol) dans presque toutes les combinaisons de conditions physico-chimiques testées, sauf lorsque la concentration en sulfure atteint 10 mM dans une niche où la température est inférieure à 5°C (réf.1).



■ Figure 3. Énergie libérée par la dismutation du S⁰ en fonction (i) de la température et du pH, dans l'eau de mer ; (ii) des activités du sulfure et du sulfate. Alain et al., 2022 Environmental Microbiology 24(5), 2210-2219. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15975>.

Ensuite, nous avons **calculé l'énergie libre de Gibbs de la dismutation du soufre** avec des ensembles de données réelles provenant de **4 sites hydrothermaux différents**, situés dans une variété de contextes géologiques contrastés, comprenant des systèmes hydrothermaux basaltiques, des bassins arrière-arcs, des systèmes hydrothermaux ultramafiques⁷ et des

systèmes volcaniques sous-marins. Nous avons effectué les calculs pour du fluide pur et de l'eau de mer pure, ainsi que pour trois points de la zone de mélange entre l'eau de mer pure et le fluide hydrothermal pur. Nos résultats montrent que **la dismutation du soufre est thermodynamiquement favorable à la production d'énergie** dans la plupart des niches hydrothermales, sinon toutes, où la température est compatible avec la vie (réf.1).

Diversité des taxons dismutant les composés inorganiques soufrés

A ce jour, il y a eu relativement peu de tentatives d'isolement de souches dismutant des composés inorganiques soufrés à partir d'échantillons provenant de sources hydrothermales marines.

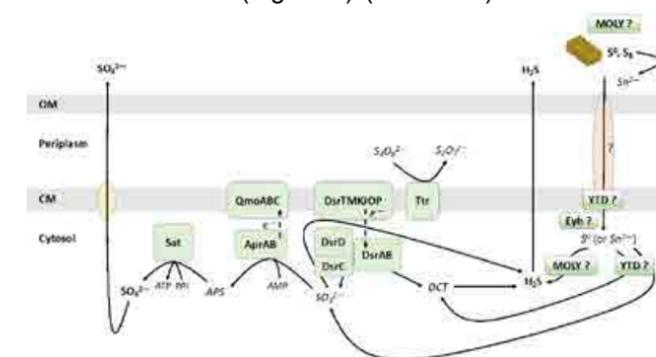
Les premières souches isolées au début des années 2010 étaient toutes **des bactéries thermophiles** et appartenaient aux phyla des *Desulfobacterota* et *Nitrospirota*. Plus récemment, nous avons isolé des souches de *Desulfobacterota* mésophiles capables de dismuter du soufre élémentaire et du thiosulfate. Enfin, très récemment, **WANG Shasha et SHAO Zongze** ont démontré que des taxons bactériens mésophiles omniprésents dans les écosystèmes hydrothermaux, affiliés aux genres *Sulfurovum* et *Sulfurimonas* (*Campylobacterota*), étaient également capables de se développer par dismutation du soufre élémentaire et du thiosulfate (réf.2), alors que ces genres étaient auparavant connus pour se développer par sulfoxydation.

Ces résultats suggèrent que **la capacité à dismuter les composés inorganiques soufrés** est répandue chez les taxons microbiens peuplant les écosystèmes hydrothermaux marins.

Voies cataboliques de la dismutation du soufre

Les recherches menées à ce jour suggèrent qu'il existe **différentes voies de dismutation du soufre**. Aucune voie complète de dismutation du soufre élémentaire n'a été décrite pour l'instant, bien que plusieurs études aient été menées en vue de tenter de les élucider. En particulier, on ne sait pas quels **enzymes/mécanismes** participent à la première étape de la dismutation du S⁰. Dans l'état actuel des connaissances, la plupart des enzymes identifiées comme étant impliquées dans le processus de dismutation sont des enzymes communes à la voie de réduction dissimilatrice du sulfate (réf.3.4.5.6). Les travaux de génomique comparative que nous

avons menés sur les souches thermophiles d'origine hydrothermale (*Thermosulfuriphilus ammonigenes*, *Thermosulfurimonas dismutans*, *Thermosulfurimonas F29*, *Thermosulfurimonas marina*, *Dissulfurirhabdus thermomarina* et *Dissulfurimicrobium hydrothermale*) vont dans ce sens (Figure 4) (réf.3.4.5.6).



■ Figure 4. Voie hypothétique de la dismutation du S⁰ chez les taxons thermophiles d'origine hydrothermale sur la base de leur contenu génomique et d'analyses fonctionnelles effectuées sur des taxons sulfo-dismutants d'origine sédimentaire. Allieux, et al., 2022 Microbial Genomics 8, 000865. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000865>

Des analyses fonctionnelles (transcriptomique, protéomique comparative) sont actuellement en cours afin de confirmer si les hypothèses proposées sur la base des analyses génomiques sont fondées. Il s'agit de déterminer quelles enzymes sont impliquées dans la dismutation du S⁰ et quels sont les intermédiaires chimiques de la réaction.

Conclusions, perspectives

A ce jour, nous ne savons toujours pas si la dismutation des composés soufrés est un catabolisme microbien important au sein de l'écosystème hydrothermal marin. Nos travaux se poursuivent en vue de le déterminer. Néanmoins, nos résultats ont permis d'améliorer notre compréhension de ce catabolisme.

En effet, nos travaux ont révélé que **la dismutation du soufre est exergonique à proximité des cheminées hydrothermales marines**. De plus, nous avons démontré que des micro-organismes thermophiles et mésophiles capables de se développer par dismutation de composés inorganiques soufrés sont présents dans les habitats hydrothermaux. En outre, nous avons montré que certains genres bactériens ubiquitaires⁸ et abondants en milieu hydrothermal sont capables de se développer par dismutation de composés inorganiques soufrés. Dans l'état actuel des connaissances, nous ne sommes pas encore en mesure de dire si ces taxons expriment ce catabolisme *in situ* ou non.

Pour l'instant, **les voies cataboliques de la dismutation du soufre ne sont pas entièrement résolues et sont de toute évidence multiples**. Aucun marqueur génomique universel spécifique de la dismutation des composés soufrés n'a été trouvé à ce jour, et on ne sait toujours pas s'il existe des marqueurs spécifiques. Toutefois, des marqueurs génomiques putatifs de la dismutation du soufre ont été proposés (réf.3.4). Des études fonctionnelles sont en cours en vue de finir de décrypter ces voies cataboliques. Parallèlement à cela, des études viennent d'être amorcées en vue de retracer l'histoire évolutive de la dismutation du soufre par rapport à celle de la sulfato-réduction. Leur objectif est de déterminer lequel de ces catabolismes est le plus ancien et si le catabolisme de dismutation du soufre est monophylétique⁹ ou apparu plusieurs fois par convergence évolutive. Enfin, dans un futur proche, nous allons explorer les interactions des taxons sulfo-dismutants avec la géosphère en vue de déterminer si ces microorganismes favorisent les précipitations d'espèces minérales et/ou altèrent les minéraux des parois des cheminées hydrothermales. **La dismutation microbienne du soufre est loin d'avoir révélé tous ses secrets !** ☞

Références

¹ Alain, K., Aronson, H.D., Allieux, M., Yvenou, S. & Amend, A. (2022). Sulfur disproportionation is exergonic in the vicinity of marine hydrothermal vents. *Environmental Microbiology*. 24(5), 2210-2219. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15975>.
² Wang, S., Jiang, L., Xie, S., Alain, K., Wang, Z., Wang, J., Liu, D. & Shao, Z. (2023). Disproportionation of inorganic sulfur compounds by mesophilic chemolithoautotrophic *Campylobacterota*. *mSystems*. 8(1), e0095422. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00954-22>
³ Allieux, M., Yvenou, S., Godfroy, A., Shao, Z., Jebbar, M. & Alain, K. (2022). Genome analysis of a new sulphur disproportionating species *Thermosulfurimonas* strain F29 and comparative genomics of sulfur-disproportionating bacteria from marine hydrothermal vents. *Microbial Genomics*. 8, 000865. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000865>
⁴ Yvenou, S., Allieux, M., Slobodkina, A., Slobodkina, G., Jebbar, M. & Alain, K. (2022). Genetic potential of *Dissulfurimicrobium hydrothermale*, an obligate sulfur-disproportionating thermophilic microorganism. *Microorganisms*. 10, 60. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010060>.
⁵ Allieux, M., Jebbar, M., Slobodkina, G., Slobodkina, A., Moalic, Y., Frolova, A., Shao, Z. & Alain, K. (2021). Complete genome sequence of *Thermosulfurimonas marina* sp. nov., an anaerobic thermophilic chemolithoautotrophic bacterium isolated from a shallow hydrothermal vent. *Marine Genomics*, 55, 100800. <https://doi.org/10.1016/j.margen.2020.100800>.
⁶ Allieux, M., Yvenou, S., Slobodkina, G., Slobodkina, A., Shao, Z., Jebbar, M., & Alain, K. (2020). Genomic characterization and environmental distribution of a thermophilic anaerobe *Dissulfurirhabdus thermomarina* SH388^T involved in disproportionation of sulfur compounds in shallow sea hydrothermal vents. *Microorganisms*, 8(1132), 1-14. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081132>

⁶ Une réaction exergonique est une réaction chimique spontanée qui libère de l'énergie, un travail, vers son environnement.

⁷ Se dit d'une roche magmatique contenant beaucoup de métaux (fer, magnésium, etc.) comme on en trouve dans le manteau terrestre.

⁸ Se dit d'espèces que l'on rencontre dans des milieux écologiques très différents (= cosmopolite).

⁹ Caractéristique d'un groupe d'espèces descendant d'un unique ancêtre commun.

IRP FOM

Semi-conducteurs organiques phosphorés : vers les matériaux pour l'électronique et la photonique de demain

Par Pierre-Antoine Bouit, Jeanne Crassous, Muriel Hissler, respectivement Chargé de recherche, Directrice de recherche et Professeure à l'ISCR - UMR CNRS 6226, Université de Rennes 1.



Le projet de recherche international FOM

Le projet FOM "Functional Organo-phosphorus Conjugated Materials and Catalysis" (Matériaux conjugués fonctionnels et catalyseurs organophosphorés) associe trois laboratoires :

- l'Institut des Sciences Chimiques de Rennes (UMR 6226, CNRS – Université de Rennes)
- l'International Phosphorus Laboratory, Université de Zhengzhou
- State Key Laboratory of Organometallic Chemistry, Université de Shanghai.

Cet IRP fait suite à un Laboratoire International Associé (LIA) créé en 2009 entre l'Université de Rennes 1 et l'université de Zhengzhou. C'était à l'époque le premier du genre créé avec la Chine !

Le but de ce projet est de **synthétiser des nouveaux matériaux conjugués pour des développements en électronique plastique**. Un des objectifs est de synthétiser **de nouvelles briques moléculaires** incorporant différents atomes de phosphore, mais plus généralement des hétéroatomes (N, Si, S, O...). La spécificité de la chimie des hétéroéléments permet d'accéder facilement à une grande diversité de structures moléculaires et ainsi à une optimisation efficace des propriétés des matériaux.

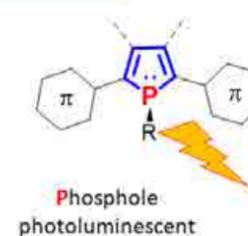
Cet projet commun s'appuie sur les savoir-faire respectifs des différentes équipes

- L'équipe basée à **Zhengzhou** s'appuie sur les compétences du Professeur **DUAN Zheng** ; il est installé depuis septembre 2007 sur le nouveau Campus de l'Université de Zhengzhou. Ce groupe, auquel appartenait également le Professeur **François Mathey** (voir encadré), possède une expertise internationalement reconnue dans la synthèse d'hétérocycles phosphorés tels que **les phospholes** (cycles à 5 chaînons), **les phosphinines** (cycles à 6 chaînons) ou **les phosphirènes** (cycles à 3 chaînons).

Il s'appuie également sur sa connaissance des espèces moléculaires du phosphore hautement réactives telles **les phosphinidènes** ce qui a permis d'accéder à une grande variété de réactions permettant l'obtention de dérivés organophosphorés inédits. Ces méthodes de synthèse sont généralement simples à mettre en œuvre et très efficaces. En outre, le groupe chinois possède une compréhension profonde de la réactivité et du comportement en chimie de coordination de ces espèces phosphorées en s'aidant des calculs théoriques.

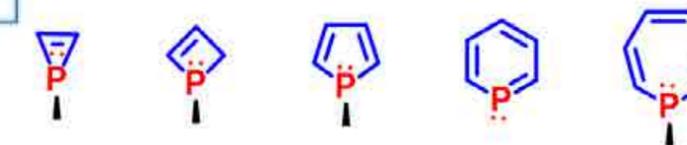
- Le groupe du Professeur **LIU Yuanhong**, basé à Shanghai, est reconnu pour le développement de **nouvelles méthodes catalytiques organo-métalliques**. Ce groupe utilise **la chimie de l'or et du nickel** pour synthétiser de nouveaux métallacycles

Notre savoir-faire:



Diode électroluminescente organique (électronique plastique)

L'objectif de l'IRP:



Diversité de structure Phosphorés -> diversité de propriétés

Figure 1. Stratégie d'ingénierie moléculaire suivie dans le cadre de l'IRP

ou **des systèmes π conjugués fonctionnels**. Ce groupe a également développé des catalyses **organo-métalliques** pour activer des alcènes et des alcyne à partir de métaux de transition.

- Le groupe basé à Rennes initialement dirigé par le Pr. **Régis Réau**, puis par la Pr. **Muriel Hissler**, dispose d'un savoir-faire dans **la synthèse et l'étude physico-chimique des systèmes monomériques et oligomériques** incorporant des unités phosphorées, soufrées et azotées. L'une des molécules « phare » du groupe est **le phosphole** (cycle à 5 chaînons phosphorés, voir Figure 1).

Ce groupe a également développé une expérience dans l'organisation des systèmes π conjugués à l'état solide, en utilisant la chimie de coordination, et dans les aspects de chiralité de systèmes π conjugués hétéroatomiques et organométalliques. Enfin, le groupe a entretenu une collaboration fructueuse avec des physiciens français (école Polytechnique, *Orgatech Platform*) qui possèdent l'expertise nécessaire pour insérer les semi-conducteurs préparés dans des dispositifs (opto)-électroniques organiques (diodes luminescentes, transistors, cellules solaires ...).

Principaux résultats obtenus dans le cadre de l'IRP :

La conception et l'élaboration de dispositifs moléculaires pour **l'opto-électronique** (diodes électroluminescentes organiques (OLEDs), cellules photovoltaïques, capteurs, batteries...) est actuellement un domaine de recherche

de pointe. La mise au point de ces dispositifs n'est possible que si l'on arrive à contrôler les propriétés des molécules semi-conductrices qui les composent et à les organiser macroscopiquement. Dans cette perspective, **les systèmes π -conjugués** ont reçu une attention toute particulière.

L'intérêt porté à ces systèmes π -conjugués date des années 1970 avec la découverte de **la conductivité du polyacétyle dopé**. Ces matériaux organiques combinent les avantages **des polymères plastiques** (facilité de préparation, bonnes propriétés mécaniques) et les propriétés électroniques et optiques **des semi-conducteurs inorganiques**. Depuis les années 90, ces composés sont utilisés notamment comme couches actives d'OLEDs, de cellules solaires ou de transistors.

Le développement de ces nouvelles applications repose sur la capacité des chimistes à **synthétiser de nouvelles molécules pour obtenir des nouveaux matériaux stables** ayant des propriétés physico-chimiques diverses. Certaines de celles-ci, telles que la conductivité, les longueurs d'onde d'absorption ou d'émission sont directement reliées à l'écart énergétique entre les orbitales dites frontières. Dans le but de moduler ces propriétés, l'introduction d'hétéroatomes tels que **le phosphore** permet l'apparition **de nouvelles propriétés géométriques ou électroniques**, directement liées à la nature de l'élément. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les travaux de l'IRP FOM.

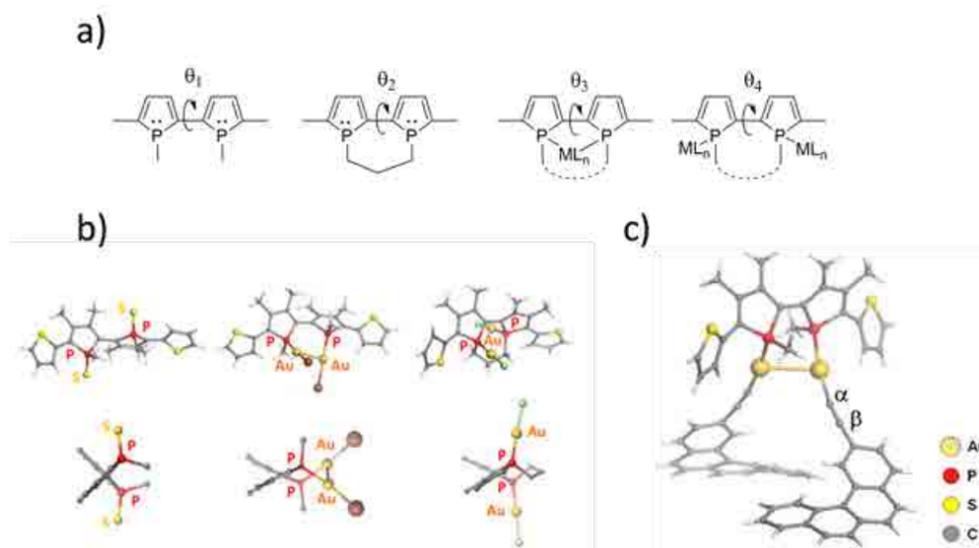


Figure 2. Stratégie de modification du bandgap de matériaux en utilisant la chimie de coordination de systèmes bis-phospholes et organisation contrôlée dans l'espace de ligands hélicoïdaux par le biais des atomes d'or.

Le phosphole (Figure 1) est un cycle phosphoré dont la synthèse et l'étude des propriétés physiques sont parfaitement maîtrisés à la fois au sein du laboratoire français et chinois. Dans le domaine de l'optoélectronique moléculaire, l'un des enjeux est de **comprendre comment modifier une structure chimique à l'échelle de la molécule** pour optimiser les propriétés macroscopiques du matériau correspondant. Dans le cadre de ce projet, la **chimie de coordination de l'atome de phosphore** a été utilisée afin de moduler finement l'écart de bande (*bandgap*¹) des matériaux pour en faire des semi-conducteurs particulièrement adaptés à la préparation de **diodes lumineuses blanches**, qui sont **un enjeu majeur dans le domaine de l'électronique**.

Le premier résultat majeur obtenu dans le cadre de cet IRP fut le **développement de nouveaux semi-conducteurs à base de systèmes bis-phospholes** (Figure 2a) pour les diodes électroluminescentes blanches. En outre, les bis-phospholes coordonnés aux atomes d'or(I) (Figure 2b et c) ont permis d'organiser dans l'espace des ligands hélicoïdaux de manière contrôlée, grâce à des interactions métal-métal établies entre les deux atomes d'or (interactions aurophiles). Nous avons ainsi pu étudier en détails les conséquences de cet arrangement particulier (Figure 2c) sur les propriétés optiques liées à la chiralité (propriétés dites « chiroptiques »).

Les premiers résultats majeurs de l'IRP ont ainsi été obtenus en utilisant le phosphole (cycle à 5 chaînons)

comme brique de base, en s'appuyant sur les savoir-faire respectifs internationalement reconnus des laboratoires français et chinois engagés dans le projet. Cependant, la richesse de la chimie du phosphore fait qu'il est possible de modifier la taille de ce cycle, ce qui a des répercussions majeures sur ses propriétés géométriques et électroniques et donc sur celle des matériaux correspondants.

Un résultat marquant obtenu dans le cadre du consortium fut d'utiliser pour la première fois des cycles à 4 chaînons (phosphètes, Figure 3) pour préparer des systèmes pi-conjugués. Le **phosphète** permettant une délocalisation électronique moindre que le phosphole, l'écart de bande est plus grand et la lumière émise par le matériau se trouve donc dans le domaine du bleu (une diminution de l'écart énergétique induit une émission de lumière du bleu vers le rouge). L'émission de lumière bleue représente également un enjeu majeur pour le domaine des OLEDs.

Cette stratégie de préparation de cycles de tailles diverses a été étendue à toute une chimiothèque de composés possédant des cycles allant de 6 à 8 chaînons (Figure 3), là encore en s'appuyant sur les compétences en chimie de synthèse et hétérochimie des groupes français et chinois. Les structures à base de cycles phosphorés à 7 chaînons (phosphépine, voir figure) s'avèrent particulièrement intéressantes car le cycle à 7 n'est pas planaire (contrairement aux phospholes par exemple), ce qui modifie grandement les propriétés et peut induire notamment de l'hélicité et donc des propriétés chiroptiques.

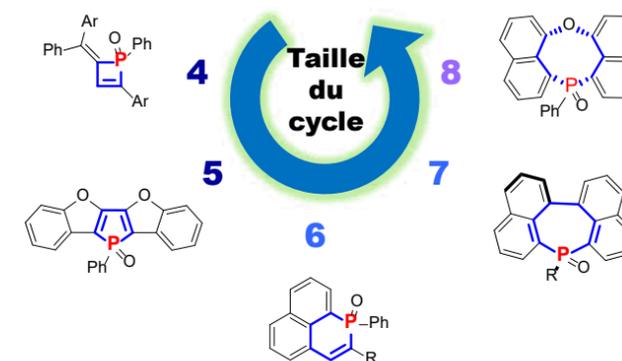


Figure 3. Exemples de composés hétérocycliques phosphorés de tailles variées possédant des propriétés optoélectroniques.

Dans le cadre de cet IRP, de nouveaux composés moléculaires phosphorés ont pu être synthétisés et testés pour leurs propriétés optoélectroniques. Ce travail est rendu possible par la synergie de compétences entre les équipes françaises et chinoises, **permettant la synthèse de molécules inédites**. De plus, les échanges d'étudiant.e.s dans le cadre de l'IRP permettent à ces derniers de découvrir de nouvelles méthodes de travail ainsi qu'un cadre de vie complètement différent, ce qui enrichit fortement leur formation. ☘

Références significatives:

2,2-Biphospholes: Building Blocks for Tuning the HOMO–LUMO Gap of π -Systems Using Covalent Bonding and Metal Coordination. H. Chen, W. Delaunay, L. Yu, D. Joly, Z. Wang, C. Lescop, D. Tondelier, B. Geffroy, Z. Duan, M. Hissler, F. Mathey, R. Réau, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 214–217.

2-Dihydrophosphete: A Platform for the Molecular Engineering of Electroluminescent Phosphorus Materials for Light-Emitting Devices. H. Chen, S. Pascal, Z. Wang, P.-A. Bouit, Z. Wang, Y. Zhang, D. Tondelier, B. Geffroy, R. Réau, F. Mathey, Z. Duan, M. Hissler, *Chem. Eur. J.* **2014**, 20, 9784–9793.

Bimetallic Gold(I) Complexes with Ethynyl-helicene and Bis-phosphole Ligands: Understanding the Role of Aurophilic Interaction in their Chiroptical Properties. M. El Sayed Moussa, H. Chen, Z. Wang, M. Srebro-Hooper, N. Vanthuyne, S. Chevance, C. Roussel, J. A. G. Williams, J. Autschbach, R. Réau, Z. Duan, C. Lescop, J. Crassous, *Chem. Eur. J.* **2016**, 22, 6075–6086.

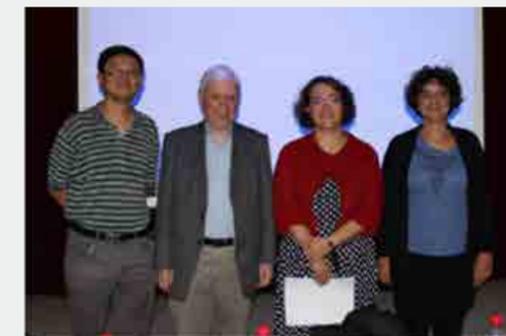
Blue Electrofluorescence Properties of Furan-Silole Ladder Pi-Conjugated Systems. H. Chen, M. Denis, P.-A. Bouit, Y. Zhang, X. Wei, D. Tondelier, B. Geffroy, Z. Duan, M. Hissler *Appl. Sci.* **2018**, 8, 812.

Le Professeur **François Mathey** est décédé le 8 décembre 2020. F. Mathey fut le premier directeur côté chinois du LIA FOM en 2009. Il a été avant tout **un pionnier de la chimie du phosphore** de renommée internationale. Ses travaux sur la réactivité d'hétérocycles phosphorés tels que les phospholes ou les phosphinines et leurs intermédiaires de synthèse continuent d'inspirer de nombreux chimistes de par le monde.

Pour l'ensemble de ses contributions scientifiques majeures (plus de 600 articles), il a notamment obtenu **la médaille d'argent du CNRS** et fut nommé « **Membre de l'Académie des Sciences** » en France et « **Académicien étranger de l'Académie des Sciences de Chine** ». L'ensemble des membres de l'IRP souhaite donc lui rendre hommage ainsi qu'avoir une pensée pour son épouse et leurs enfants.



■ Repas convivial lors d'un meeting à Rennes



■ Directors (Prof F. Mathey, Prof M. Hissler) and co-directors (Prof. D. Zheng and Dr. J. Crassous) of FOM ALL. Photo prise lors d'un meeting à Zhengzhou

¹ En anglais, propriété de la matière déterminant si un matériau sera isolant, semi-conducteur ou conducteur

IRP « Cancer, vieillissement et hématologie »

Pour mieux comprendre les mécanismes du cancer et du vieillissement

Hôpital Ruijin affilié à l'Université Jiaotong, Shanghai

Par Eric Gilson



Eric Gilson, Professeur à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, PU-PHCE (Université Côte d'Azur (UCA), Département de Génétique Médicale, CHU Nice. Directeur de l'IRCAN (Institut de Recherche sur le Cancer et le Vieillissement, Nice), Eric Gilson est internationalement reconnu pour ses travaux pionniers sur les télomères et les liens avec le cancer et le vieillissement.

Le **Projet de recherche international « Cancer, Aging and Hematology »** (IRP CAH) a pour mission de développer des projets innovants visant à identifier et à valoriser de nouvelles cibles moléculaires et cellulaires pertinentes pour **traiter les cancers et les maladies liées à l'âge**. Ce projet est coordonné par le Pr. **Eric GILSON** et le Pr **LU Yiming** à l'hôpital Ruijin de Shanghai. Son originalité est de fédérer des équipes de recherche travaillant sur quatre des plus importants mécanismes biologiques impliqués dans les cancers et le vieillissement : **la modification post-traductionnelle des protéines, les télomères, l'épigénétique et la régulation de l'angiogenèse**.

Présentation des équipes de recherche

En Chine, le **point focal de l'IRP CAH** est localisé au sein de l'hôpital *Ruijin* à Shanghai et associe cinq équipes conjointes :

Du côté français, la co-direction de ces équipes est assurée par :

- **Pr. Eric Gilson** (Directeur de l'IRCAN (Institut de Recherche sur le Cancer et le Vieillissement Nice), Université Côte d'Azur, UMR7284, Inserm U1081)
- **Pr. Hugues Blaudin de Thé** (Membre de l'Académie des Sciences, Collège de France)
- **Dr. ZHU Jun** (UMR 7241 Inserm U1050)
- **Dr. Saadi Khochbin** (Université Grenoble Alpes, UMR5309)
- **Pr. Guilhem Bousquet** (Université Paris Cité, Inserm U942)

Du côté chinois, la co-direction est assurée par des médecins-chercheurs de l'hôpital *Ruijin*, affilié à l'école de médecine de l'Université *Jiaotong*

- **Pr. CHEN Zhu** (Membre de l'Académie Chinoise des Sciences, ancien vice-Président du Comité permanent de l'Assemblée populaire nationale)
- **Pr. CHEN Saijuan** (Membre de l'Académie Chinoise d'Ingénierie, Directrice du *Shanghai Institute of Hematology*)
- **Pr. ZHAO Weili** (première co-Directrice du *Shanghai Institute of Hematology*, Vice-Présidente de l'Hôpital *Ruijin*),
- **Pr. LU Yiming** (Directeur du Pôle Sino-Français de Recherche en Sciences de la Vie et du Génomique, co-directeur de l'IRP CAH),
- **Pr. YE Jing** (*Department of Geriatrics*, co-Directrice du "*Medical Center of Aging*" de Shanghai),
- **Pr. WANG Kankan, Pr. ZHOU Jun et Pr. MI Jianqing** (*Shanghai Institute of Hematology*)

« **l'IRP CAH est un véritable continuum de recherche allant du fondamental aux applications médicales dans le domaine du cancer et du vieillissement.** »

A travers des contributions équilibrées entre les laboratoires français et chinois, basées sur une parfaite complémentarité, tant conceptuelle que méthodologique, les équipes de l'IRP CAH peuvent développer, dans un environnement intellectuel et technologique d'excellence, **un véritable continuum de recherche** allant du fondamental aux applications médicales dans le domaine du cancer et du vieillissement.

Elles contribuent à des études cliniques de grande envergure grâce à la création du **centre de recherche clinique de l'hôpital Ruijin** (« *National Research Center for Translational Medicine* ») dont les objectifs sont en directe adéquation avec les thématiques de l'IRP. Récemment, elles bénéficient d'un partenariat avec le « *Medical Center of Aging* » ouvert en 2021 par l'hôpital *Ruijin* à Shanghai, créant **les conditions d'une recherche d'excellence dans le domaine du vieillissement**. Dans le cadre de cette thématique émergente, il faut noter l'organisation conjointe sino-française de *webinars* mensuels ouverts à l'international (*International online Seminars on Aging Research* ou ISAR, chaque premier mercredi du mois).

Cette dynamique médico-scientifique favorise également l'échange entre les laboratoires chinois et français des meilleurs étudiants ainsi que des jeunes chercheurs et médecins talentueux. Ces mobilités ont été soutenues deux fois par le programme **Cai Yuanpei** du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche. Il faut aussi signaler que l'équipe conjointe de l'IRP CAH travaillant sur les télomères bénéficie actuellement **d'un soutien de l'Inserm** pour une bourse doctorale à travers le programme thématique de coopération (TCP) *InterAging*.

Historique de la collaboration avec la Chine

En continuité d'une histoire partagée de longue date entre la communauté médicale française et chinoise depuis la création de l'hôpital *Ruijin* en 1907 par une congrégation religieuse française et du succès mondial qu'a constitué le traitement des leucémies promyélocytaires par la combinaison de deux thérapies ciblées, issus des travaux pionniers des Pr. H. de THE et Z. CHEN, il s'est établi **une véritable dynamique de collaboration** et une précieuse confiance réciproque entre les scientifiques français et chinois qui permet des avancées majeures dans le domaine de **la prévention et du traitement du cancer et d'autres maladies liées à l'âge**.

C'est ainsi que le « **Pôle Sino-Français de Recherche en Sciences de la Vie et du Génomique** » a été créé en 2002 avec pour vocation d'intégrer des programmes de recherche bilatéraux. En 2015, le « **Pôle** » a été soutenu par la création du **LIA « Hématologie et cancer »** intégrant quatre équipes conjointes. Depuis 2019, le LIA est devenu l'**IRP « Cancer, Aging and Hematology »** (CAH) et s'est enrichi d'**une nouvelle équipe dans le domaine de l'épigénétique**. Il faut souligner que l'IRP CAH bénéficie de l'extraordinaire environnement francophone de l'École de Médecine affiliée à l'hôpital *Ruijin* et à l'Université *Jiaotong* qui maintient **un cursus francophone pour les étudiants médecins chinois**, filière dont est issu les principaux acteurs chinois du LIA, les Pr. Z. CHEN, ancien ministre de la santé de la République populaire de Chine, S. CHEN directrice du « *State Key laboratory* » en **Génomique** qui héberge les locaux de l'IRP et Y. LU., le co-directeur de l'IRP.

Les avancées médico-scientifiques récentes de l'IRP CAH

Les télomères comme minuteur du vieillissement

Grâce aux progrès médicaux et socio-économiques, l'espérance de vie des populations humaines augmente. Toutefois, les années de vie supplémentaires sont en fait souvent passées en mauvaise santé. Le vieillissement est le principal facteur de risque de développer un large éventail de maladies chroniques ainsi que des cancers. **Ce processus continu et progressif pose donc des problèmes médicaux majeurs mais ses mécanismes biologiques sont encore mal connus.**

L'équipe « *Signalisation télomérique dans le vieillissement et le cancer* » co-dirigée par les Pr. Eric GILSON, PU-PH à l'Université Côte d'Azur et au CHU de Nice, Pr. LU Yiming et Pr. YE Jing de l'hôpital *Ruijin* s'intéresse au **rôle des extrémités de chromosome, ou télomères, dans le cancer et le vieillissement**. Les télomères sont soupçonnés de jouer un rôle clef dans le cancer et le vieillissement car leur structure, qui détermine la capacité des cellules à se diviser, subit une série de modifications au cours du développement qui contribuent à la réalisation de ces processus (Figure 1).

Nous avons récemment publié une série d'études nées de notre collaboration montrant qu'un facteur télomérique essentiel, appelé TRF2, peut agir en dehors des télomères en régulant l'expression des gènes impliqué dans le fonctionnement des neurones tels que le gène *PPP2R2C*, une isoforme neuronale



■ Figure 1. Les télomères sont les structures nucléoprotéiques qui coiffent l'extrémité des chromosomes et qui assurent la stabilité des chromosomes. Ils sont programmés pour être progressivement altérés au cours de la vie, un processus déclenché tôt au cours du développement. L'équipe « Signalisation télomérique dans le vieillissement et le cancer » a réalisé une série d'études montrant que la protéine TRF2, en plus de ses fonctions télomériques de protection des chromosomes, contrôle de nombreux mécanismes biologiques impliqués dans le vieillissement, comme la stabilité de l'hétérochromatine, le fonctionnement des mitochondries et l'immunité. Ces résultats donnent du crédit à l'idée que les télomères se comportent comme des minuteurs entraînant dans leur dysfonctionnement progressif différentes altérations biologiques conduisant au vieillissement.

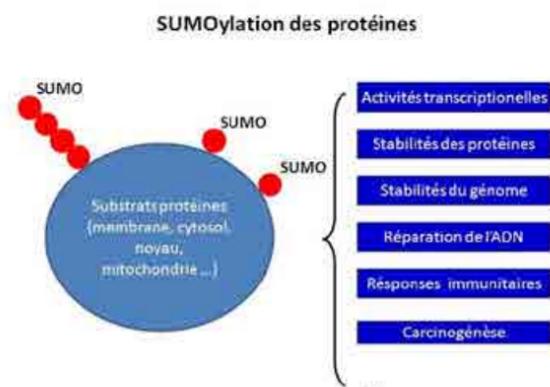
des sous-unités régulatrices de la phosphatase 2A dont nous avons montré chez le poisson zèbre qu'elle était impliquées dans le développement du cerveau de manière dépendante de TRF2 (1) et dans les changements de comportement liés à l'âge (2). Les fonctions extra-télomériques de TRF2 ne s'arrêtent pas là et sont aussi impliquées dans l'intégrité des mitochondrie (3) et de l'hétérochromatine (4) (5). **Comment ces fonctions extra-télomériques sont couplées aux changements de la structure des télomères et quel rôle elles jouent dans le développement, le vieillissement et les maladies liées à l'âge** est la question centrale à laquelle nous nous attachons maintenant. Nous nous attachons à traduire ces découvertes d'amont en applications cliniques avec un accent particulier sur le développement de petites molécules ciblant **TRF2 pour des thérapeutiques de nouvelle génération contre les pathologies liées à l'âge.**

Modification post-traductionnelle et hématopoïèse

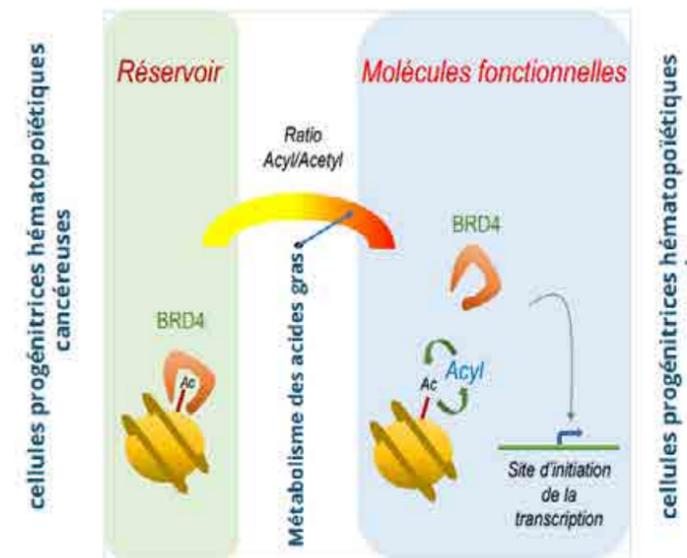
L'hématopoïèse nécessite la production de cellules souches, la prolifération et le maintien de progéniteurs pluripotents, ainsi que l'engagement et la maturation de la lignée. Beaucoup de facteurs transcriptionnelles sont impliquées dans ce processus.

Les modifications post-traductionnelles des protéines jouent un rôle clé sur la régulation de leurs fonctions. La sumoylation est un type important de modification post-traductionnelle impliquant une famille d'enzymes spécialisées qui favorisent la modification covalente de résidus lysine spécifiques sur la protéine cible, avec des monomères ou des polymères de sumo (Small ubiquitin-like modifier). La sumoylation des protéines de substrat est souvent associée à une inhibition transcriptionnelle.

Au cours des dernières années, l'équipe « *Sumoylation and hematopoiesis* » co-dirigée par le **Pr. Hugues de THE** (Collège de France), le **Dr. ZHU Jun** (CR1 CNRS, CIRB UMR 7241, INSERM U1050) et le **Pr. ZHOU Jun** (Hôpital *Ruijin*) a identifié plusieurs facteurs transcriptionnelles comme substrats de sumoylation, Irf2bp2b(6) et Zbtb14(7). Leur sumoylation est non seulement indispensable pour leurs propriétés dans la transcription, mais aussi pour leurs fonctions dans l'hématopoïèse ou la cardiogénèse. On a aussi trouvé que la *Ring Finger Protein 4* (rnf4), une petite Ubiquitine ligase liée à la sumoylation, est aussi impliquée pendant la myélopoïèse chez le poisson-zèbre (8).



■ Figure 2. L'hématopoïèse est régulée par des modifications post-traductionnelles des protéines. La sumoylation en est un des types importants impliquant une famille d'enzymes spécialisées qui favorisent la modification covalente de résidus lysine spécifiques sur la protéine cible avec des monomères ou des polymères de sumo (*Small ubiquitin-like modifier*).



■ Figure 3. Exemple de mécanisme épigénétique des cancers

Le facteur régulateur de la transcription, BRD4 reconnaît et fixe les histones acétylées (Ac sur les boules jaunes). Le métabolisme des acides gras permet l'occurrence alternative de l'acétylation et des acylations (comme butyrylation, crotonylation, etc...). Cette situation limite l'interaction de BRD4 avec la chromatine et rend la molécule disponible pour réguler la transcription des gènes spécifiques. En revanche, la présence prolongée du groupement acétyl (Ac) sur les histones en l'absence du métabolisme des acides gras, immobilise BRD4 sur la chromatine et rend les cellules incapables de réguler l'expression de leurs gènes essentiels, ce qui pourrait favoriser l'émergence du cancer.

Epigénétique des leucémies aiguës lymphoblastiques

La leucémie lymphoblastique aiguë (LLA) est une maladie hématologique maligne qui résulte de la prolifération clonale de précurseurs lymphoïdes engagés dans les lignées des cellules B ou T. La LLA est le type de cancer le plus fréquent chez les enfants, dont 85 % sont des LLA à cellules B (LLA-B). Les anomalies génétiques sont depuis longtemps utilisées comme biomarqueurs pour déterminer le comportement clinique, stratifier les traitements et prédire les résultats. Bien que l'utilisation de protocoles de chimiothérapie intensive et stratifiée ait considérablement améliorée la survie à long terme, certains patients développent une résistance à la chimiothérapie et/ou subissent une rechute avec des résultats médiocres. En outre, des rechutes peuvent survenir chez des patients initialement classés à faible risque. Cette situation nous incite à découvrir de nouveaux biomarqueurs et de nouvelles approches thérapeutiques.

Dans ce contexte, l'équipe « *Epigénétique des leucémies aiguës lymphoblastiques* » co-dirigée par le **Dr. Saadi Khochbin**, Directeur de Recherche de Classe Exceptionnelle au CNRS (Université Grenoble Alpes, UMR 5309) et le **Pr. Mi Jianqing** de l'hôpital *Ruijin* développe deux lignes de recherche.

La première implique la découverte et validation multicentrique des biomarqueurs définis dans différentes cohortes indépendantes de patients (9, 10, 11). La validation de ces outils de stratification

permettrait une prise en charge beaucoup plus efficace des patients atteints de LLA en termes de stratification du risque et de thérapies personnalisées.

Le deuxième axe propose un projet de recherche original visant à relier les troubles du métabolisme et les dérégulations épigénétiques dans les LLA de type B et T. En particulier, les travaux récemment réalisés par cette équipe montrent le rôle de l'activité mitochondriale dans la programmation oncogénique du génome associée à l'émergence des LLA de type B (12).

Au-delà de cette leucémie, ce travail propose **de nouveaux concepts très importants, concernant le rôle des modifications chimiques des histones par acétylation**, connues et étudiées depuis longtemps, et le lien entre le métabolisme et la dynamique de la chromatine. En particulier, ce travail montre que l'acétylation des histones ne se produit jamais seule et qu'elle est constamment alternée par des groupements chimiques voisins à chaînes plus longues (3 à 6 carbones). Un équilibre dicté par le métabolisme contrôle la vitesse de ces alternances et la régulation fine et physiologique des gènes, et une rupture de cet équilibre pourrait être à l'origine de la programmation oncogénique des cellules.

Cette découverte ouvre la voie à de nouvelles solutions thérapeutiques basées sur une modification ciblée du métabolisme de la cellule pour contrecarrer ce mécanisme oncogène. ☘

Les équipes française et chinoise de l'IRP CAH forment un consortium interdisciplinaire unique dont la collaboration a une longue histoire de succès sur des dimensions spécifiques du cancer et du vieillissement. Ils sont reconnus pour leur excellence dans leur domaine. Ce projet est donc idéalement placé pour servir de catalyseur et élargir la coopération sino-française dans le domaine biomédical à d'autres collaborations à travers la Chine.

Références/publications :

1. Y. Ying *et al.*, The non-telomeric evolutionary trajectory of TRF2 in zebrafish reveals its specific roles in neurodevelopment and aging. *Nucleic Acids Res* 50, 2081-2095 (2022).
2. J. Xing *et al.*, Protein phosphatase 2A activators reverse age-related behavioral changes by targeting neural cell senescence. *Aging Cell* 22, e13780 (2023).
3. J. D. Robin *et al.*, Mitochondrial function in skeletal myofibers is controlled by a TRF2-SIRT3 axis over lifetime. *Aging Cell* 19, e13097 (2020).
4. A. Mendez-Bermudez *et al.*, Genome-wide Control of Heterochromatin Replication by the Telomere Capping Protein TRF2. *Mol Cell* 70, 449-461 e445 (2018).
5. A. Mendez-Bermudez *et al.*, Selective pericentromeric heterochromatin dismantling caused by TP53 activation during senescence. *Nucleic Acids Res* 50, 7493-7510 (2022).
6. L. Wang *et al.*, Interferon regulatory factor 2 binding protein 2b regulates neutrophil versus macrophage fate during zebrafish definitive myelopoiesis. *Haematologica* 105, 325-337 (2020).
7. Y. Deng *et al.*, Zbtb14 regulates monocyte and macrophage development through inhibiting pu.1 expression in zebrafish. *Elife* 11, (2022).
8. L. Wang *et al.*, RNF4 regulates zebrafish granulopoiesis through the DNMT1-C/EBPalpha axis. *FASEB J* 32, 4930-4940 (2018).
9. L. J. Peng *et al.*, Ectopic expression of a combination of 5 genes detects high risk forms of T-cell acute lymphoblastic leukemia. *BMC Genomics* 23, 467 (2022).
10. L. J. Peng *et al.*, Optimized outcome prediction of oncogenetic mutations in non-early T-cell precursor acute lymphoblastic leukemia. *Immunobiology* 227, 152205 (2022).
11. M. Xi *et al.*, Chidamide inhibits the NOTCH1-MYC signaling axis in T-cell acute lymphoblastic leukemia. *Front Med* 16, 442-458 (2022).
12. M. Gao *et al.*, Metabolically controlled histone H4K5 acylation/acetylation ratio drives BRD4 genomic distribution. *Cell Rep* 36, 109460 (2021).

Exposition du bureau du CNRS en Chine

Vivre Autrement
别样生活

10^{ème} édition du Mois franco-chinois de l'environnement du 26 septembre au 31 octobre 2023.



Légende et crédit photo : Des travaux inter-espèces (La drosophile et la fleur d'arabidopsis thaliana) prouvent que les fonctions du gène TCTP (*Translationally Controlled Tumor Protein*) sont communes aux animaux et aux végétaux. Des pistes s'ouvrent dans la compréhension du développement des organes et dans la recherche contre le cancer. © Florian BRIOUDES/CNRS Images
Source texte : CNRS/IPBES/FAO/UICN/Presse scientifique

图片说明和来源：通过跨物种（果蝇和拟南芥花）的研究，证明了TCTP基因在动物和植物中的功能是共通的。这为我们对器官发育的理解以及癌症研究开辟了新的途径。

Vivre Autrement

别样生活

De nombreuses menaces environnementales, écologiques, énergétiques, sanitaires, ... pèsent sur notre planète et ses habitants. Pour y répondre il nous faut repenser notre quotidien et nos habitudes, adapter notre façon de produire et de consommer. Il nous faut également développer, innover dans de nouvelles technologies, de nouvelles énergies, de nouveaux transports plus respectueux de notre environnement.

Il nous faut « VIVRE AUTREMENT ».



众多环境、生态、能源和健康等方面的威胁影响着我们的地球及其居民。为了应对这些威胁，我们需要重新思考我们的日常生活和习惯，调整我们的生产和消费方式。我们还需要在新技术、新能源和新交通等领域进行开发和创新，以更好地保护我们的环境。

因此，我们需要“别样生活”。

Santé des plantes et agriculture durable
植物健康与可持续农业

Multiplication des catastrophes naturelles
自然灾害的增长

Perte accélérée de la biodiversité
生物多样性的加速流失

Développer les transports propres
发展清洁能源

Réduire les déchets et la pollution
减少垃圾和污染

Investir dans les énergies renouvelables
投资可再生能源

IRN ELECTROSENS

New Nanostructured Materials and Interfaces for Ultrasensitive Electrochemical (Bio)-Sensing

Par Neso Sojic



Neso Sojic, Directeur français de l'IRN ELECTROSENS. Il est professeur des universités à Bordeaux-INP au sein du groupe Nanosystèmes Analytiques (NSYSA) de l'Institut des Sciences Moléculaires (ISM)¹.

Présentation de l'IRN ELECTROSENS

L'IRN ELECTROSENS repose sur un réseau interdisciplinaire de 7 équipes de recherche chinoises à Changchun, Pékin, Nanjing, Shanghai et Tianjin et de 3 équipes de recherche (UMR CNRS) à Grenoble, Paris et Bordeaux. Le coordinateur pour la Chine est le Professeur **WANG Erkang** de l'Institut de chimie appliquée de Changchun (CAS)². L'IRN réunit des laboratoires français et chinois reconnus internationalement dans différents domaines : systèmes électrochimiques, conception et structuration des interfaces, caractérisation des matériaux à l'échelle nanométrique (nanoparticules, couches minces et nanostructures), plateformes analytiques et biocapteurs.

L'objectif scientifique de cet IRN franco-chinois créé en 2023 est de coordonner et de promouvoir les activités de recherche communes axées sur le **développement de nouvelles stratégies électrochimiques pour la (bio) détection ultrasensible**, basées sur la conception, la fabrication et la caractérisation de **matériaux et d'interfaces nanostructurés**. En effet, distinguer des molécules aux propriétés physico-chimiques presque identiques, suivre leur évolution avec une

haute résolution spatio-temporelle, les détecter ou les imager au niveau cellulaire voire subcellulaire dans des environnements complexes, en allant même jusqu'au niveau de la molécule unique, sont quelques-uns des défis scientifiques actuels ayant un fort impact sociétal.

En bref, les objectifs de cet IRN sont les suivants :

- Elargir et pérenniser les collaborations scientifiques sur la détection électrochimique ultrasensible et les biocapteurs.
- Organiser des ateliers conjoints et des écoles thématiques.
- Promouvoir les échanges d'étudiants et de chercheurs permanents.
- Préparer des propositions conjointes à des appels à projet.

Contexte scientifique

Pour améliorer la sensibilité des mesures, **l'électrochimie et les techniques électrochimiques ont été couplées aux nanotechnologies** pour optimiser l'efficacité des réactions de transfert d'électrons et développer de nouveaux biocapteurs et plates-formes analytiques permettant la détection ultrasensible de différents analytes dont des biomarqueurs essentiels pour le diagnostic. En effet, la pandémie de Covid-19 a mis en évidence **le besoin urgent de nouvelles stratégies bioanalytiques pour la détection des agents pathogènes**. Il est également important de mentionner que les maladies d'origine alimentaire sont une des principales causes d'hospitalisation dans le monde. Par exemple, ce besoin a été mis en évidence en France en mars 2022 avec les conséquences dramatiques de l'infection par

Escherichia Coli. L'Autorité européenne de sécurité des aliments et le Centre européen de prévention et de contrôle des maladies ont indiqué en 2017 que la **campylobactériose** chez l'homme (infection de l'intestin provoquée par la bactérie *Campylobacter*) est la maladie d'origine alimentaire la plus fréquemment signalée dans l'Union Européenne.

Dans ce contexte, **la production de biocapteurs croît de manière exponentielle**, la moitié étant des biocapteurs à base d'enzymes catalytiques, l'autre moitié étant des biocapteurs d'affinité. Dans la plupart des biocapteurs développés jusqu'à présent, l'électrochimie est présente et classée en méthodes potentiométriques, ampérométriques, voltampérométriques, impédimétriques et électrochimiluminescentes (ECL). Les nanomatériaux se sont développés au fil des ans et constituent désormais un apport essentiel pour les grandes avancées scientifiques. La biodétection basée sur des **matériaux nanostructurés** (surfaces à haute densité, matériaux stables et biocompatibles) est un domaine de recherche interdisciplinaire très concurrentiel mais très fructueux. Ces dernières années, les biocapteurs électrochimiques et les plates-formes analytiques intégrant des matériaux nanostructurés ont été utilisés comme de puissantes méthodes analytiques en raison de leur facilité d'utilisation, de leur rentabilité, de leur sensibilité, de leur sélectivité, de leur rapidité de réponse, de leur facilité de fabrication et de leur portabilité.

Parmi les stratégies d'amplification du signal les plus prometteuses, on peut citer l'utilisation de matériaux nanostructurés et de biomatériaux tels que les nanostructures métalliques poreuses, les nanoparticules, les fullerènes, les nanotubes de carbone, les nanotubes inorganiques ou les macromolécules biologiques, les nanocristaux semi-conducteurs, les nanoparticules dopées, etc. En effet, ils offrent plusieurs avantages, notamment d'énormes rapports surface/volume, des propriétés de transport favorables et des effets de confinement résultant des dimensions à l'échelle nanométrique.

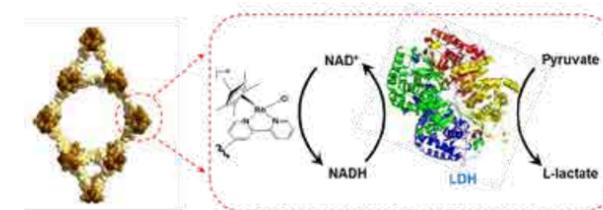
Programme scientifique

L'électrochimie et les techniques électroanalytiques permettent de répondre à ces défis scientifiques et à ces besoins dans le diagnostic grâce à la compréhension des mécanismes fondamentaux de transfert d'électrons, au développement de nouveaux biocapteurs, de laboratoires sur puce et de plateformes analytiques exploitant des approches innovantes pour la détection ultrasensible de cibles biologiques avec une affinité et une sélectivité élevées.

Le programme scientifique de l'IRN ELECTROSENS couvre **trois axes de recherche clés** à l'interface entre l'électrochimie et les nanomatériaux pour la biodétection :

1) Nanostructuration et caractérisation des interfaces électrochimiques

Le contrôle précis de la structuration de la surface de l'électrode à l'échelle nanométrique joue un rôle crucial dans le développement de biocapteurs électrochimiques à haute performance, de laboratoires sur puce et de plateformes électroanalytiques pour la détection d'analytes cibles et d'agents pathogènes. Les signaux électrochimiques sont très souvent limités en termes de courant par la surface active de l'électrode. L'utilisation d'électrodes poreuses est un moyen de contourner ces limitations. Les activités dans ce domaine se concentrent sur le développement d'**électrodes macro- et mésoporeuses** avec un contrôle structural remarquable (Figure 1). Cependant, la forte motivation pour la conception de matériaux d'électrodes à l'échelle nanométrique n'est pas seulement axée sur l'amplification du signal via l'activité catalytique et la conductivité, mais aussi sur **l'amélioration de la sélectivité** et la mise en place d'interactions optimisées entre les éléments de reconnaissance (c'est-à-dire les réactifs chimiques ou biologiques) et **les biomolécules ou les agents pathogènes ciblés**. La fabrication de nanostructures ou de nanocomposites fonctionnels directement sur la surface de l'électrode avec des propriétés parfaitement contrôlées est un axe de recherche prometteur pour résoudre les problèmes susmentionnés.



■ Figure 1. Régénération bioélectrochimique du cofacteur NADH sur des réseaux métallo-organiques (ou metal-organic frameworks, MOF)

2) Biocapteurs électrochimiques

Un second axe de recherche qui sera exploré porte sur le développement d'**une nouvelle plateforme nanoporeuse**, biofonctionnalisable et biodégradable, constituée de films minces de copolymères à blocs biosourcés pour la conception de capteurs d'affinité électrochimiques (Figure 2). Ces matériaux nanostructurés avec des nanopores d'orientation

¹ L'Institut des Sciences Moléculaires (ISM) rassemble une communauté de chercheurs organiciens et physico-chimistes intéressés par les édifices moléculaires, et travaillant sur leur conception, synthèse, caractérisation, réactivité et analyse dans divers environnements. L'ISM est une Unité Mixte de Recherche CNRS/Université de Bordeaux/Bordeaux INP Aquitaine, dépendant de la Délégation Régionale Aquitaine (DR 15).

² Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, <http://english.ciac.cas.cn/>.

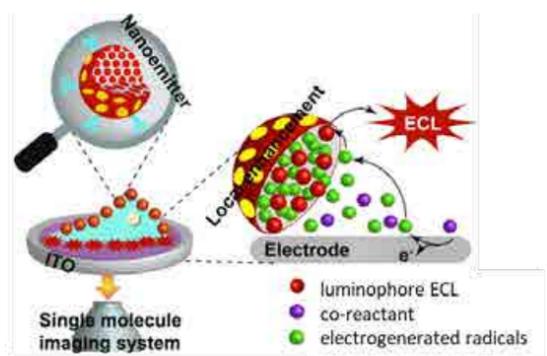
contrôlée, déposés sur une surface conductrice, permettent d'immobiliser une sonde de reconnaissance biologique spécifique dans les pores pour la détection électrochimique, avec une grande sensibilité et spécificité, de macromolécules biologiques telles que des protéines, de l'ADN ou des bactéries.



■ Figure 2 : Fonctionnalisation d'électrodes par des glyconanoparticules fluorescentes auto-assemblées.

3) Détection et imagerie par électrochimiluminescence

L'électrochimiluminescence (ECL) est une émission de lumière déclenchée par une réaction électrochimique. Elle ne nécessite pas de sources lumineuses et convient parfaitement aux analyses de routine entre autres pour le diagnostic clinique, l'analyse alimentaire ou l'analyse environnementale. Grâce à son excellent rapport signal-sur-bruit, à sa sensibilité élevée, à sa configuration optique simplifiée et au contrôle électrochimique précis de la réactivité dans l'espace et dans le temps, elle est devenue une méthode analytique puissante, en particulier pour



■ Figure 3 : Détection et imagerie de biomolécules individuelles sur cellules vivantes par ECL en utilisant des nanoparticules dopées

les diagnostics cliniques, avec environ 2 milliards d'immunodosages effectués chaque année dans le monde pour les maladies cardiaques et infectieuses, la maladie d'Alzheimer, les marqueurs tumoraux ou de la thyroïde, etc. Comme l'ECL fournit une lecture optique, elle évolue actuellement d'une technique (bio) analytique pure vers une méthode d'imagerie.

La microscopie ECL est un domaine de recherche qui se développe rapidement. Récemment, une grande attention a été portée à l'imagerie ECL d'entités uniques, des cellules aux nanoparticules et molécules individuelles (Figure 3). Dans le domaine de l'ECL, les différents partenaires s'intéressent à la conception et à la caractérisation de nouveaux nanomatériaux actifs, à l'évaluation des performances analytiques des systèmes de détection ainsi qu'au développement de l'imagerie ECL ultrasensible. [↗](#)

Partenaires de l'IRN ELECTROSENS

Partenaires français :

- Institut des Sciences Moléculaires (ISM), UMR 5255, CNRS, Université de Bordeaux, Bordeaux INP, Pessac, France.
- Département de Chimie Moléculaire (DCM), UMR 5250, CNRS, Université Grenoble Alpes, Grenoble, France.
- Laboratoire Interfaces Traitements Organisation et Dynamique des Systèmes (ITODYS), UMR 7086, CNRS, Université Paris Diderot, Paris, France.

Partenaires chinois :

- Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin.
- College of Chemistry, Beijing Normal University, Pékin.
- Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Zhongguancun, Pékin.
- State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, Nanjing University, Nanjing.
- School of Environmental & Biological Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing.
- Shanghai Key Laboratory of Green Chemistry and Chemical Processes, East China Normal University, Shanghai.
- Research Center for Analytical Sciences, Tianjin Key Laboratory of Biosensing and Molecular Recognition, Nankai University, Tianjin, China.

Les cours en ligne ont aidé les étudiants pendant l'épidémie de COVID-19

Par Andrew Clark



Prof. Dr **Andrew Clark** est Directeur de Recherche au CNRS à la *Paris School of Economics* (PSE). L'un de ses principaux thèmes de recherche est la **microéconomie appliquée**, et plus particulièrement, **l'analyse du marché du travail** en faisant appel aux données sur la satisfaction dans le travail et dans la vie.

D'autres domaines de recherche sont la modélisation de la fonction d'utilité, les interactions sociales et l'apprentissage social ou la qualité de l'emploi.

Introduction

Une des conséquences majeures de la pandémie de Covid19 a été l'instauration de périodes de confinements dans plusieurs pays, afin de réduire les contacts sociaux et freiner la propagation du coronavirus. Parmi les mesures de confinement, la fermeture des écoles a conduit à la mise en oeuvre d'autres méthodes d'enseignement pour palier à la perturbation de l'éducation des élèves. Une de ces méthodes a été **les cours en ligne**.

Notre étude sur **la performance scolaire des élèves en Chine pendant la pandémie** ("*Compensating for Academic Loss: Online Learning and Student Performance during the COVID-19 Pandemic*", publiée dans *China Economic Review* en 2021) a souligné que ces cours en ligne ont effectivement compensé en partie la fermeture des écoles et l'arrêt des cours en présentiel.

Les résultats des examens après le confinement ont été meilleurs pour les élèves qui ont suivi les leçons pré-enregistrées que pour ceux qui ont travaillé seuls. Les leçons pré-enregistrées par les meilleurs professeurs du district scolaire ont eu un effet plus positif sur les résultats d'examen que celles pré-enregistrées par les professeurs de la propre école des élèves. L'enseignement en ligne a été notamment avantageux pour les élèves qui étaient en difficulté avant la fermeture des écoles ; les élèves avec un haut niveau de réussite scolaire avant la pandémie ont obtenu de bonnes notes après le confinement, indépendamment de l'apport des leçons en ligne. **L'enseignement en ligne a empêché une plus grande inégalité dans la performance scolaire des enfants.**

Données de notre étude

Afin d'évaluer l'effet des cours en ligne sur la performance scolaire pendant la pandémie, nous avons comparé des écoles qui ont appliqué des réponses éducatives différentes suite à leur fermeture imposée. Nous avons analysé des données administratives pour trois écoles intermédiaires situées en Chine dans la ville de **Bâisè** (百色) (province du Guangxi). Pendant le confinement de sept semaines, de la mi-février au début avril 2020, ces trois écoles, que nous appellerons écoles A, B, et C, ont chacune appliqué une réponse éducative différente et décrite ci-dessous.

Ecole	Pratiques éducatives pendant le confinement
A	L'école A a demandé à ses élèves de travailler seuls et de passer en revue les leçons des semestres précédents. Il n'y avait pas de soutien particulier pour les élèves, pas de suivi de leur progression, pas de devoirs, et pas de ressources éducatives supplémentaires.
B	L'école B a utilisé une plateforme d' apprentissage en ligne fournie par le rectorat local. Les élèves devaient suivre les cours en ligne pré-enregistrés par leurs enseignants habituels . Ces cours passaient en revue le contenu des cours des semestres précédents. Les élèves avaient des devoirs hebdomadaires à rendre, avec un retour de notes et des commentaires. La plateforme d'apprentissage a été utilisée par les enseignants pour suivre le progrès et la participation des élèves.
C	Dans l'école C, l' apprentissage en ligne était conduit de la même façon que l'école B, à une différence près : les cours en ligne dans l'école C étaient pré-enregistrés par les meilleurs professeurs de la ville de Bâisè, et fournis par le district scolaire.

Nous avons traité les données sur la **performance scolaire de 1,835 élèves** dans leur neuvième année de scolarité dans les écoles A, B et C. Ces élèves ont commencé l'école intermédiaire en septembre 2017. L'analyse de leurs résultats d'examen s'est portée sur cinq matières obligatoires (**Chinois, Mathématiques, Anglais, Politique, et Histoire**), enseignées tous les semestres. Les neuf premiers examens de ce cycle ont eu lieu entre 2017 et 2019. Le dixième, le dernier du premier semestre de la neuvième année de scolarité s'est déroulé entre le 6 janvier et le 10 janvier 2020, soit juste avant le premier cas de COVID-19 de la ville de Bâisè, le 24 janvier 2020. Le onzième examen de ce cycle s'est tenu entre le 9 avril et le 12 avril 2020, après la réouverture des écoles le 6 avril, soit après le confinement qui a été imposé de la mi-février au début avril.

Les étudiants dont on évalue la performance scolaire sont inscrits dans le même district scolaire. Leurs environnements scolaires sont similaires, et le contenu des examens et la méthode d'évaluation anonyme sont identiques. Les résultats des examens sont directement comparables entre les trois écoles, ce qui aide à l'évaluation des différentes pratiques scolaires (deux types de leçons en ligne dans les écoles B et C, et aucun enseignement à distance dans l'école A) pendant le confinement.

Les élèves dont on a évalué la performance scolaire étaient inscrits dans le même district scolaire. Leurs environnements scolaires étaient similaires. Le contenu des examens ainsi que la **méthode d'évaluation anonyme étaient identiques**. Les résultats des examens, comparables entre les trois écoles, ont permis l'évaluation des différentes pratiques scolaires pendant le confinement : deux types de cours en ligne dans les écoles B et C, et aucun enseignement à distance dans l'école A.

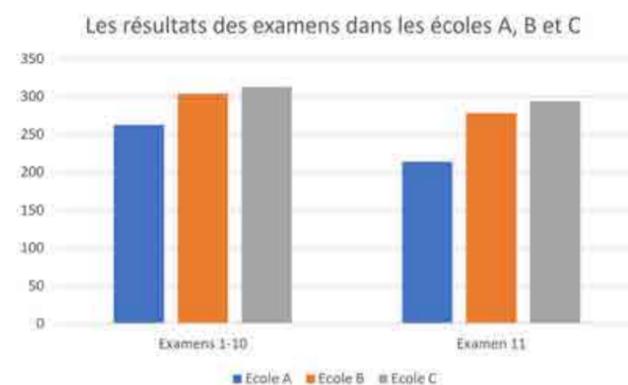
Nous avons comparé la performance des élèves dans les trois écoles en faisant appel à une méthode appelée différence-en-différences. Intuitivement, dans un premier temps nous calculons les écarts en termes de résultats scolaires entre les écoles dans la période avant la pandémie (c.-à-d. les examens 1-10). Ensuite nous nous demandons si ces écarts sont différents pour les résultats de l'examen 11, après le confinement. Toute évolution des écarts est interprétée comme une conséquence des différentes pratiques scolaires pendant le confinement.

Résultats

Le Graphique 1 ci-dessous donne une synthèse de nos résultats. Trois des cinq examens sont notés sur une échelle de 0 à 120 et les deux autres sur une échelle de 0 à 100, pour un score total dans les cinq matières qui va de 0 à 560. **Le volet gauche du Graphique 1 montre la performance scolaire pré-pandémie des élèves dans les trois écoles.** Des écarts évidents existaient alors entre ces écoles. Ainsi, le score moyen pour les examens 1-10 était 40 points plus bas dans l'école A par rapport à l'école B. Ce score moyen pour l'école C était 10 points plus haut que dans l'école B.

Le volet droit du Graphique 1 montre ensuite la performance scolaire à l'examen 11 qui a eu lieu en avril 2020 après le confinement. De toute évidence, la pandémie a eu un impact négatif sur les résultats. Ceux de l'école A ont chuté de 50 points ; ceux des écoles B et C ont également chuté, mais dans une moindre mesure (une chute de 20 points par rapport à la période avant la pandémie).

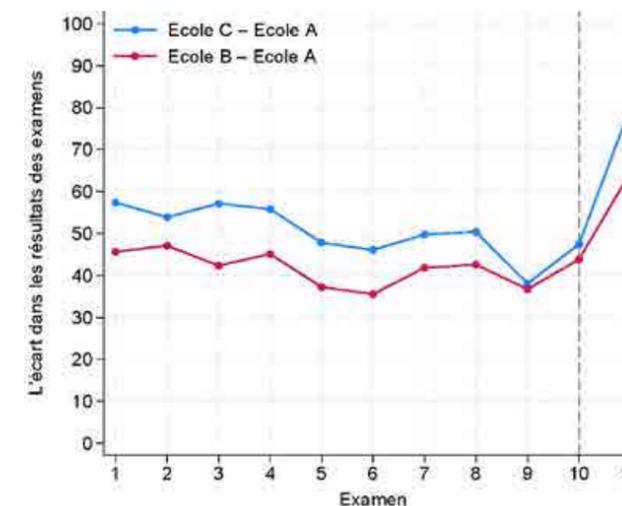
En référence à ces résultats, il apparaît que **les cours en ligne semblent avoir atténué la baisse de performance scolaire consécutive à la fermeture des écoles.**



■ Graphique 1 : La performance scolaire dans les écoles A, B et C avant et après la fermeture des écoles.

Il est à remarquer que cette interprétation des données pourrait être erronée si les résultats dans les trois écoles avaient déjà commencé à s'écarter avant la pandémie. Par exemple, si l'écart entre les écoles étaient plus accentué dans l'examen 10 que dans l'examen 9, et dans l'examen 9 plus que dans l'examen 8, et ainsi de suite. Si tel devait être le cas, les résultats pour l'examen 11 refléteraient plutôt la suite d'une tendance pré-pandémie que l'effet des mesures éducatives prises par les écoles pendant le confinement.

Le graphique 2 ci-après réfute cette hypothèse en montrant l'évolution **des écarts de performance** des écoles B et C, par rapport à l'école A, pour chacun des examens. La performance scolaire relative dans les trois écoles était stable jusqu'à l'examen 10, mais s'est ensuite beaucoup accentuée pour l'examen 11. Nous en déduisons que la meilleure performance scolaire des écoles B et C est liée à la mise en place des cours en ligne.



■ Graphique 2 : Les écarts de performance scolaire (par rapport à l'école A)

Par ailleurs, nos résultats montrent également une meilleure performance scolaire des élèves de l'école C, où les cours en ligne ont été pré-enregistrés par les meilleurs professeurs de la ville de Bâisè. Ce constat souligne l'importance **des compétences pédagogiques des professeurs, dans une situation où l'interactivité directe avec les élèves n'est pas possible.**

Notre étude montre aussi que le bénéfice tiré des cours en ligne n'est pas identique pour tous les élèves. Ainsi,

en l'absence de différence entre garçons et filles, entre les élèves de zones urbaines et rurales, les cours ont été plus profitables aux élèves ayant accès à un ordinateur qu'à ceux qui ont suivi les cours par le biais de leur téléphone portable.

Enfin, l'aptitude scolaire des élèves a joué également un rôle. Les meilleurs élèves, en référence à leurs résultats dans les examens 1-10, ont continué à avoir des bonnes notes, peu importe les pratiques éducatives de leurs écoles pendant le confinement. En revanche, les élèves les plus en difficulté ont le plus profité des cours en ligne. En d'autres termes, **les cours en ligne ont eu un effet modérateur sur l'augmentation de l'inégalité éducative pendant la pandémie de COVID-19.**

Discussion

Les cours en ligne pré-enregistrés représentent un substitut efficace à l'enseignement en classe quand celui-ci n'est pas possible. L'accès centralisé des cours en ligne bénéficie aux écoles qui font ainsi l'économie d'un temps de préparation de leurs programmes en ligne. Les cours en ligne devraient être disponibles pour chaque élève, quand cela est nécessaire, avec une priorité donnée à ceux qui sont les plus en difficulté. L'investissement dans l'accès généralisé à un ordinateur à domicile contribuerait probablement à diffuser de façon plus égale les bénéfices de l'enseignement en ligne. 🌀



De l'éther atmosphérique à la chimie atmosphérique moderne... ou l'absolue nécessité de collaborations internationales

Par Christian George



Christian George, Directeur de recherche au CNRS, IRCELYON UMR5256, CNRS-UCBL.

Ses recherches portent sur les mécanismes des réactions hétérogènes ayant lieu dans les basses couches atmosphériques. En particulier, il étudie les réactions photochimiques impliquant les aérosols issus de la conversion chimiques des polluants organiques et les processus à l'interface air/mer.

Que de chemin parcouru !



L'éther dans lequel vibre la lumière, à la surface de notre sphéroïde, est un des trois gaz simples constitutifs de l'atmosphère terrestre et de la plupart des corps de notre globe », c'est ainsi que démarre l'article de **P.F.P. Delestre**, publié en 1877, qui relate la découverte de **l'éther atmosphérique**. Cette lecture vous fera peut-être sourire et c'est bien logique. Car que de chemin parcouru ! Tout d'abord avec de nombreuses découvertes individuelles. Par exemple, en 1879, **Alfred Cornu** mettait en évidence que la lumière solaire arrivant au sol ne comportait pas de rayonnement au-dessous de 300 nm. Puis en 1919, **Charles Fabry** et **Henri Buisson** démontrèrent que la présence d'une couche de 5 mm d'ozone pur à la pression atmosphérique expliquait cette absence. Durant les décennies suivantes, **les études de la couche d'ozone et de sa destruction** ont stimulé de nombreux travaux collaboratifs afin d'aboutir à des protocoles internationaux visant à la protéger... elle est désormais censée se régénérer.

C'est également autour des années 1960 (avec quelques largesses dans la chronologie exacte), que de **grands centres urbains**, comme Londres et Los Angeles, ont connus de terribles épisodes de pollution aux origines variées et relatives aux conditions météorologiques locales. Et voilà que naissent les préoccupations, fortement justifiées, locales ou régionales de la qualité de l'air.

« Nous ne pouvons pas nous passer d'un air respirable ! »

En effet, faisons un petit jeu... : arrêtons de respirer pour voir si nous pouvons nous passer d'air. Évidemment, c'est impossible ! Nous ne pouvons pas nous passer d'un air respirable. Celui-ci l'est pourtant de moins en moins depuis les débuts de la révolution industrielle au XIXe siècle.

Ainsi, sur cette époque relativement récente, l'Homme a trouvé plusieurs moyens d'introduire suffisamment de substances nocives dans l'air qu'il respire. **Les transports routiers, l'industrie, le chauffage** en sont les principales sources. Ils émettent des gaz, notamment du **monoxyde d'azote** (NO) et des **composés organiques volatils** (COV) lesquels désignent, de manière schématique, tout ce qui contient au moins un atome de carbone... sauf le dioxyde de carbone (CO₂). Puis avec l'étincelle du rayon de soleil aux longueurs d'ondes permises suite à l'absorption de l'UV intense par la couche d'ozone, se met en place des cycles photochimiques très efficaces (car catalytiques) impliquant les oxydes d'azote et les COV aboutissant à la formation... d'ozone (O₃) et des particules ultrafines. Ainsi, **des réglementations qui ont vu le jour concernant les émissions polluantes** dans l'atmosphère ont été d'une efficacité remarquable pour éliminer des substances telles que **le plomb** ou **le soufre** ou pour en réduire d'autres comme **les oxydes d'azote**. Ces résultats concrets démontrent l'intérêt de faire dialoguer science et politique.



■ Une vue de Shanghai lors d'un épisode de pollution © C. George

Tout d'abord considérée comme une pollution régionale, cette dégradation de la qualité d'air est généralisée et doit être considérée comme un processus transfrontière. Ainsi, de l'échelle du domicile personnel jusqu'à la planète dans son ensemble, les activités humaines ont durablement et profondément modifié l'atmosphère. Nous serions même entrés dans **une nouvelle ère géologique, l'anthropocène**, qui signifie « l'ère de l'humain ». Ce concept a été proposé par **Paul Crutzen**, prix Nobel de chimie en 1995, et par **Eugène Störmer**, biologiste, afin d'insister sur le fait que l'influence de l'Homme sur l'environnement a atteint un niveau tel que l'ensemble des processus biophysiques terrestres s'en voient affectés.

Devenu le centre de production mondiale, **la Chine fut évidemment très durement touchée par cette détérioration de la qualité de l'air**. Nous avons tous dans l'esprit des images montrant les mégapoles chinoises sous une épaisse couche d'air orangé (liée

en partie à la présence d'oxyde d'azote) et sans visibilité (du fait d'intense concentration en particules ultrafines).

Mais ce sont là des images du passé (ou presque) car **la qualité de l'air s'améliore désormais en Chine...** et le CNRS a joué un rôle dans cette amélioration en soutenant des ateliers d'échange entre chercheurs français et chinois... **les Sino-French Joint Workshop (SFJW)**.

Avec une pression anthropique croissante en Chine au fil des années, les mégapoles chinoises ont dû faire face, dans les années 2000, à des niveaux de pollution sans précédent...amenant la chimie atmosphérique dans des régimes de concentrations inconnus, donnant une importance à de nombreux processus insoupçonnés. Afin de s'échapper de cette *terra incognita*, un seul moyen... amener la chimie atmosphérique dans une ère nouvelle via de nombreuses collaborations internationales.

Des liens constructifs et de confiance mis en place entre différents sites chinois et français

C'est ainsi qu'en 2008, sous l'impulsion de **Abdelwahid Mellouki** (CNRS-Orléans) et **CHEN Jianmin** (Université de Fudan), parmi d'autres, avec le soutien fort de l'Académie Chinoise des Sciences et du CNRS, s'est tenu le **premier colloque sino-français sur la chimie atmosphérique (SFJW2008)**. Avec près d'une centaine de participants, cherchant à se connaître et à se comprendre (certains diront à s'approprier), ce fut finalement une première prise de contact entre deux communautés aux modes de fonctionnement différents. Une première barrière à surmonter fut la langue, en effet en 2008, le besoin d'une traduction simultanée était essentiel. Mais finalement, la volonté d'avancer ensemble sur cette thématique scientifique a été plus forte. Partageant, des intérêts communs les chimistes atmosphériques français et chinois se sont retrouvés tous les deux ans depuis (ou presque), en alternance en Chine et en France, et avancent désormais ensemble afin de faire avancer notre savoir et notre compréhension sur notre bien commun qu'est l'atmosphère.

En effet, des échanges et des liens très forts de confiance et constructifs se sont mis en place entre différents sites chinois et français. Ils concernent aussi bien des mesures en laboratoire, afin de **comprendre tel mécanisme réactionnel** ayant lieu dans la troposphère (très souvent spécifique aux conditions de l'Asie du sud-est en général), que des travaux pour améliorer des outils numériques ou leur emploi pour **prédire l'évolution de la composition de l'air**. Ils incluent également des **participations conjointes à des campagnes** d'observations sur le terrain.



■ A. Mellouki présentant des priorités scientifiques lors d'une séance plénière © C. George

Ainsi, des progrès incroyables ont été réalisés, tant sur des aspects fondamentaux que dans leur traduction en termes de réglementation de la qualité de l'air en Chine. Avec un engagement très fort de nos collègues chinois, la qualité de l'air s'améliore désormais en Chine avec **un niveau en particules ultrafines en décroissance sur plusieurs années**. Bien entendu, cela doit être soutenu dans le temps afin de porter définitivement ses fruits.

La prochaine édition française de ces colloques est prévue en 2024, année du 60^{ème} anniversaire de l'établissement des relations diplomatiques entre la Chine et la France¹. Certains diront, mais pourquoi continuer si l'objectif est atteint ? Ceci n'est que partiellement vrai, car **les diminutions observées concernent les émissions primaires de polluants**, à savoir ceux directement émis par une activité anthropique. Et comme l'atmosphère est un milieu complexe, la diminution de telle émission n'implique pas un bénéfice directement relié, pour preuve **les niveaux d'ozone augmentent** désormais en Chine.

Cette situation s'explique par l'origine des polluants concernés. Certains sont ainsi **des polluants primaires**, comme **les oxydes d'azote**, liés directement à la combustion (chauffage, moteurs thermiques...), tandis que d'autres, comme **l'ozone** sont issus de **transformations photochimiques** et ne sont donc pas émis dans la troposphère mais formés in situ. **Ces transformations chimiques secondaires** ont lieu dans l'atmosphère, sous l'action du soleil, de la chaleur, de l'humidité et prennent parfois leur temps. L'impact polluant d'une émission dans l'atmosphère n'est ainsi pas systématiquement en relation directe avec le moment et le lieu de sa production. Cela est typiquement le cas pour **les pics d'ozone**, qui ne se situent pas toujours dans les espaces urbains où circulent les véhicules qui contribuent à la production de cette pollution.

Ainsi, **la pollution secondaire** est diffuse par nature et difficile à appréhender. Ses sources sont multiples et changeantes, donc difficiles à réguler, avec des impacts bénéfiques et d'autres qui le sont moins selon les actions entreprises. **Elles relèvent de phénomènes non linéaires**, c'est-à-dire qu'une diminution de 50 % d'une émission polluante ne conduira pas forcément à 50 % de réduction de la pollution concernée, ni à une réduction de son extension spatiale dans l'atmosphère.

« Cette non-linéarité et les interactions entre qualité de l'air, activités humaines et changement climatique sont très complexes et représentent une réelle difficulté pour les acteurs politiques qui doivent arbitrer entre différents intérêts. »

Mieux comprendre la chimie de l'air apparaît ainsi essentiel pour décrire la composition atmosphérique urbaine, modéliser son évolution et construire les réglementations les plus adaptées possible. Les colloques SFJW ont donc pour objectif de maintenir ces recherches au meilleur niveau possible.

En effet, si des progrès notables ont été enregistrés ces dernières années dans le contrôle de la pollution

atmosphérique, la vision associée reste trop souvent réglementaire. Or, il est essentiel de ne pas délaissier la recherche dans ce domaine en se préparant à l'émergence de nouveaux type de pollution. Cette recherche est à la fois fondamentale et stratégique. Ainsi, espérons que les futurs colloques SFJW stimuleront les échanges collaboratifs pour le meilleur de nos pays respectifs. ☘



■ Les participants au colloque franco-chinois ayant eu lieu à Lyon © C. George

¹ Date non définie à ce jour

Collaborations pour la compréhension de l'Univers sombre

Par Charling Tao



Charling Tao est Directrice de recherche émérite au **Centre de Physique des Particules de Marseille (CPPM)** de l'IN2P3-CNRS et professeure émérite au **département d'astronomie de l'Université Tsinghua (DoA)**¹, après avoir été directrice du *Center of Astrophysics* entre 2010 et 2017.

Introduction : Lancement réussi de la mission satellite EUCLIDE le 1^{er} juillet 2023

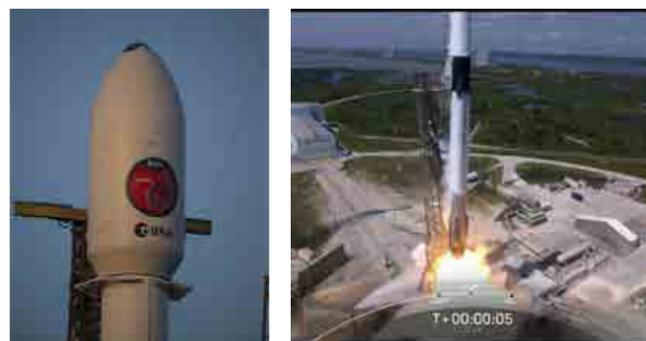
Le satellite européen **EUCLIDE** a été lancé avec succès le 1^{er} juillet 2023 de Cap Canaveral, en Floride, par une fusée *SpaceX Falcon9*. Pour quelqu'un qui travaille sur ce projet depuis sa préparation (2008), ce lancement réussi a été un énorme soulagement et nous mettons la dernière main aux programmes d'analyse.

La plupart des cosmologistes européens participent à ce projet et la liste des laboratoires français est trop longue à citer ici.

La destination du satellite est le point numéro 2 de Lagrange situé à 1,5 millions de kms de la Terre, qu'il atteindra à la fin juillet 2023, après 4 semaines de voyage.

Les 2 instruments scientifiques à bord sont une caméra dans une large bande VISible (le VIS) et un spectromètre et photomètre dans l'Infra-rouge proche (*Near Infrared SPectrometer NISP*) qui ont été construits, testés et livrés par le Consortium EUCLIDE à l'Agence Spatiale Européenne (ESA). La NASA a fourni les détecteurs Infra-rouge du NISP.

La mission « Euclide », du nom du géomètre Grec de l'Antiquité, obtiendra après 6 ans d'observation la **cartographie 3D la plus importante de l'Univers**, produite par l'observation dans l'espace de plus d'un tiers du ciel et la mesure de la forme, de la position et de la distance de millions de galaxies jusqu'à 10 milliards d'années-lumière.



Le projet a pour but de répondre plus précisément à 2 questions fondamentales de la Physique :

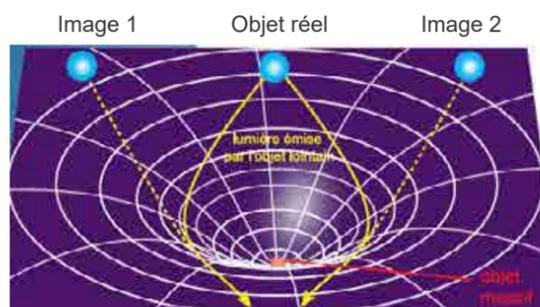
■ **De quoi est composé l'Univers?** Nous savons déjà que la matière dont nous sommes constitués ne représente que 4-5% de la densité d'énergie de l'Univers, et que le reste est de la matière noire à 25% et de l'énergie noire à 70% environ, « noire » signifiant « inconnue », non visible. EUCLIDE améliorera les résultats actuels de manière significative.

■ **La Relativité Générale d'Einstein (GR) a-t-elle une constante cosmologique** ou est-elle une nouvelle forme d'énergie répulsive, ou bien la GR doit-elle être modifiée pour décrire la gravitation ?

Pour répondre à ces questions, les instruments d'EUCLIDE vont mesurer plusieurs sondes dont les 2 principales sont **les effets de lentilles gravitationnelles** postulées par la GR d'Einstein et les corrélations entre les positions des galaxies.

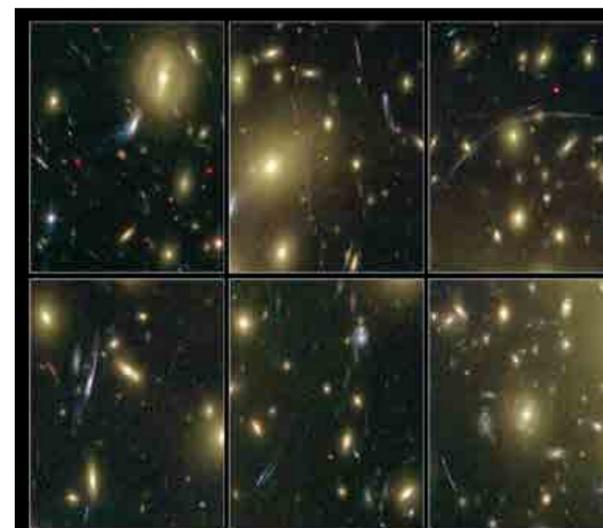
Effets de lentilles gravitationnelles

La GR prédit que les trajectoires de la lumière émise par les galaxies sont courbées par la gravité.



On distingue plusieurs effets de lentilles gravitationnelles, dont :

- **Les fortes**, qui produisent des effets spectaculaires (arcs, croix d'Einstein, etc...). Le premier arc a été observé la première fois dans les années 1970.



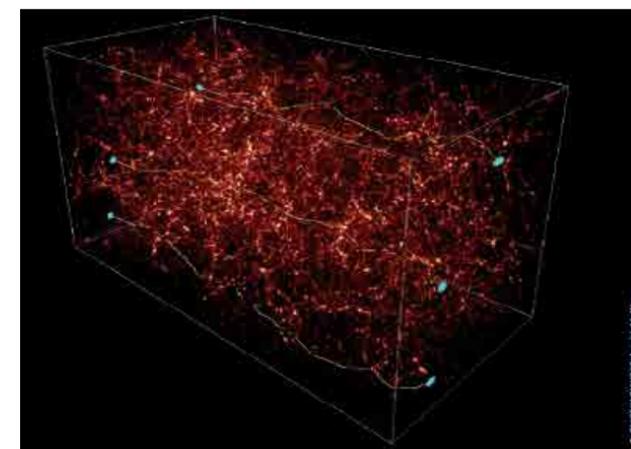
Un exemple de la multitude des effets de lentille gravitationnelle forte par le seul amas de galaxies, Abell 1689

Les objets les plus étendus et brillants de ces images sont des galaxies appartenant à l'amas de galaxies. Chaque image est un zoom de différents secteurs du même amas, observé par le télescope spatial *Hubble*. On y distingue une quantité d'arcs gravitationnels. La plupart des petits arcs sont des images de sources différentes, les arcs les plus grands sont en général composés de plusieurs images de la même source.

- L'effet de **lentille faible** déforme la forme des galaxies. Les déformations dépendent des distances des galaxies et des distances avec les masses intermédiaires. Ces mesures de distances permettent de contraindre les paramètres cosmologiques. C'est un effet faible, et qui n'apparaît que par une étude statistique d'un grand nombre de galaxies, ce que permettra EUCLIDE dans l'espace, car la qualité de l'image dans l'espace est moins sujette aux effets atmosphériques.

Référence des images sur les lentilles gravitationnelles : Article de Yannick Mellier, le responsable du projet EUCLIDE, paru dans *Reflète de la Physique* N° 1 (2006) 5-9

¹ Charling Tao, a été directrice du *Center for Astrophysics* du département de Physique de l'Université *Tsinghua* de 2010 à 2017. L'Université l'a chargée de définir puis mettre en oeuvre un plan de développement de l'astronomie à *Tsinghua*. Le département d'Astronomie a été créé officiellement en 2019.



■ **Simulation numérique de la propagation de la lumière dans l'Univers et les déflexions gravitationnelles multiples induites par la matière autour de la trajectoire.** La taille de la simulation est d'environ 1 milliard d'années lumière de côté. Au départ des particules de matière noire sont disposées de manière aléatoire. Des fluctuations croissent et amorcent la formation des structures sous l'effet de la gravitation.

Les structures rouges et blanches montrent la distribution de matière noire. Plus elles sont claires, plus la structure est dense. Aux grandes échelles, la structuration est filamenteuse. Les lignes jaunes décrivent les **géodésiques** (trajectoires) suivies par les photons (la lumière) et qui sont déformées par la matière. Les ellipses bleues illustrent la **forme des galaxies** depuis l'émission de la lumière à gauche de l'image jusqu'à la réception sur le télescope à droite. Leur élongation et leur orientation apparente ont été modifiées sous les effets cumulés de toutes les déflexions gravitationnelles.

Distribution des grandes structures de l'Univers (galaxy clustering)

Les cosmologistes étudient principalement **les galaxies, leur formation, leur évolution, et leur distribution**. Les galaxies se regroupent en amas de galaxies, puis en superamas, séparés par des grands espaces vides. La distance entre galaxies présente un pic autour de 150 Mega-parsec (le parsec est une unité de distance, utilisée usuellement par les astronomes ; c'est une combinaison des mots parallaxe et arc seconde et vaut environ 3.26 années-lumière)

L'observation en 2005 de ce pic (dit des oscillations acoustiques baryoniques-BAO, **les baryons constituent l'essentiel de la matière qui nous compose**) confirme le modèle « standard » de la cosmologie avec de la matière noire et une constante cosmologique.

Quelques contributions chinoises à EUCLIDE:

Plus de 3000 chercheurs et ingénieurs, techniciens ont participé à la préparation de la mission EUCLIDE de par le monde et s'apprêtent à analyser les données qui devraient arriver d'ici un an. De nombreux étudiants ou post-doctorants chinois ont contribué à cette préparation. Certains ont été formés par les laboratoires Européens et participent aujourd'hui au développement de cette science en Chine.

Voici quelques-uns de ces jeunes chercheurs que j'ai le plaisir de vous présenter. Même s'ils n'ont pas travaillé en France, ce sont des collaborateurs qui visitent aussi nos laboratoires français et plusieurs d'entre eux sont actifs dans l'IRN franco-chinois **Tianguan en Astrophysique** (auparavant LIA Origins), dirigés par **François Hammer** et l'académicien **WU Xiangping** (qui se sont connus lors du séjour en postdoc du Professeur Wu en France à la fin des années 80).



SHAN Huanyuan est un spécialiste des effets dits « faibles » de lentilles gravitationnelles. Huanyuan a été mon postdoc en Chine à l'Université de *Tsinghua*, et a continué comme postdoctorant à l'EPFL de Lausanne et à l'université de Bonn avant de rentrer en Chine où il est un des « dix mille » talents de Shanghai. Il continue à travailler sur les

effets de lentilles gravitationnelles, principalement sur le projet satellite chinois CSST (*Chinese Space Telescope*), un équivalent/complément à EUCLIDE, dont le lancement est prévu pour 2025. Huanyuan est aussi un membre actif du **SKA Chine** (*Square Kilometer Area*) un projet de radiotélescope international.



ER Xinzong a travaillé à l'Observatoire de Rome de 2014 à 2017. Il a participé à l'élaboration des outils d'analyse des formes des galaxies, en charge de la calibration et l'analyse des biais dus aux gradients de couleur.

Depuis il est professeur au **SWIFAR, centre d'astrophysique de l'Université du Yunnan** qui a construit un télescope, le **MEPHISTO**.

Xinzong est en particulier responsable des transients pour **MEPHISTO**, comme je l'ai été pour EUCLIDE jusqu'en juin 2023.

C'est un sujet d'actualité en cosmologie, et au-delà, car les transients permettent aussi de mieux comprendre l'Univers primordial, et la formation des galaxies.



HU Bin a travaillé sur les modèles théoriques d'énergie noire décrivant les grandes structures, l'autre sonde principale d'Euclide avec les lentilles gravitationnelles faibles. Il est maintenant professeur à l'Université Normale de Pékin. Les codes qu'il a écrits (eg EFTCAMB) sont un des outils officiels sélectionnés par EUCLIDE pour l'analyse des données de

« *galaxy clustering* ».

Cette sonde donne aujourd'hui avec la mesure du pic des « oscillations acoustiques des baryons » (BAO) les meilleures contraintes sur la constante cosmologique.

La mesure des BAO peut se faire aujourd'hui avec différents types de galaxies : (LRG Galaxies rouges lumineuses, ELG Galaxies à lignes d'émission, quasar, etc...), et leurs vides cosmiques associés), ce qui permet d'améliorer encore les contraintes cosmologiques.



XIA JunQing a participé au groupe théorique comme postdoctorant au SISSA en Italie. Les données d'EUCLIDE croisées avec celles des fluctuations de température et les résultats des grandes structures de l'Univers contraindront de manière précise les paramètres décrivant l'Univers et son

évolution. Ses études portent surtout sur l'identification de l'énergie noire, sur l'univers primordial et sur la matière noire. Il a rejoint aujourd'hui le département d'Astronomie de *Beijing Normal University*.

J'ai connu Junqing comme étudiant en thèse à l'Institut Hautes Energies de Pékin (IHEP) sous la tutelle du Prof. **ZHANG XinMin**. Notre groupe de Marseille (CPPM) et celui de l'IHEP avons été parmi les précurseurs des méthodes de contraintes multi-sondes des paramètres cosmologiques en 2004. Nous avons initié ensemble une collaboration fructueuse, et formé de nombreux étudiants devenus aujourd'hui responsables de groupes importants en Chine, dont **ZHAO GongBo**, directeur adjoint du **NAOC** (*National Observatory of China*).



LI Nan est un astronome avec de sérieuses compétences en informatique. A l'université de Nottingham, il a développé des algorithmes de « *machine learning* » et un programme plus classique de simulation MCMC (*Markov Chain Monte Carlo*) appelé *PyAutolens* pour trouver et modéliser

des effets de lentilles gravitationnelles « fortes ». Dans ces événements, la lumière d'une galaxie est amplifiée et déviée et peut donner des arcs et plusieurs images de la même galaxie.

Depuis son retour en Chine au NAOC, il travaille sur le projet spatial chinois CSST pour lequel il est responsable du « *end-to-end pipeline* » (suite de logiciels de bout en bout) pour l'analyse automatique des lentilles gravitationnelles fortes.

Les données EUCLIDE et CSST, vont multiplier par plusieurs ordres de grandeur le nombre des lentilles fortes actuellement observées, ce qui nous fournira une nouvelle sonde pour la détermination des paramètres cosmologiques.

Par ailleurs, nous avons mis en place un groupe de travail entre les 3 différents projets spatiaux de cosmologie, (EUCLIDE, CSST le projet chinois dont le lancement est prévu en 2025 et *Roman* le projet américain qui devrait être lancé plus tard en 2027). Une des premières publications a été menée par le Prof. **FAN Zuhui**, son équipe au SWIFAR, une équipe internationale avec des laboratoires du CSST, et des membres d'EUCLIDE dont des chercheurs français du **CEA Saclay**, de l'**IAP** et mon laboratoire le **CPPM** (**Centre de physique des Particules de Marseille**).

« La complémentarité des projets plus que la compétition est importante pour la science. »

Comme scientifiques sur des projets différents, nous sommes parfois en compétition, mais ce qui importe à la fin, c'est comment obtenir les meilleurs résultats pour

Astronomie Matière Noire

La matière noire est une composante importante de notre modèle cosmologique actuel. Nous l'imaginons constituée de particules élémentaires encore inconnues. Mais ces particules n'ont pas encore été observées même si les nombreux effets gravitationnels observés nous permettent de postuler leur existence. Une alternative serait une modification du modèle de la gravité.

Pour une physicienne formée en physique des particules, l'hypothèse de nouvelles particules au-delà du modèle dit « standard », est alléchante, mais les recherches ont été infructueuses à ce jour. Au cas où les nombreux projets actuels verraient un signal, il faudrait encore montrer que ces particules forment la matière noire de notre Galaxie. Nous développons depuis de longues années un détecteur « directionnel » qui permettrait de « signer » l'origine galactique. En effet, statistiquement, les événements devraient pointés vers la constellation du Cygne, proche du centre galactique.

Notre collaboration franco-chinoise (CNRS/IN2P3, principalement le LPSC Laboratoire de Physique Subatomique et Cosmologie de Grenoble et *Tsinghua U.* avec l'IHEP en Chine) a démontré la faisabilité de détecter des traces de recul de noyaux de quelques keV. Le premier module fonctionne dans le laboratoire souterrain de Modane et nous développons des contacts avec des laboratoires de Shanghai et **USTC à Hefei** pour la fabrication des détecteurs et passer à une échelle plus importante, ouvrant la voie à une astronomie directe, de la matière noire (sous réserve de l'existence de ces particules). ☘

mieux comprendre l'Univers, et cela passe souvent par une mise en commun des données. Et nous étudions ensemble comment optimiser les résultats scientifiques par une analyse combinée, et définir les meilleures stratégies d'observation pour les télescopes qui seront lancés plus tard.

Visite au télescope LAMOST de la NAOC



■ Visite du Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope (LAMOST) de la NAOC.

Le **LAMOST** « Large Sky Area Multi-Object Fibre Spectroscopic Telescope (Guo Shoujing Telescope 郭守敬望远镜) est l'un des grands projets scientifiques nationaux entrepris par l'Académie des Sciences de Chine (CAS). Il s'agit d'un télescope de Schmidt à réflexion localisé à la station Xinglong, à 250km à l'ouest de Pékin dans la province du Hebei. L'installation est gérée par les **Observatoires astronomiques nationaux de Chine (NAOC)**. Approuvée par la Commission nationale pour le développement et la réforme (NDRC) en octobre 1997, la construction du LAMOST a commencé en septembre 2001 et s'est achevée en octobre 2008.

Son système optique utilise à l'extrémité nord, un miroir réfléchissant d'une taille de 5.72m par 4.40m composé de 24 sous-miroirs hexagonaux. A l'extrémité Sud se trouve un autre miroir composé de 37 sous-miroirs hexagonaux. Le miroir primaire et la surface focale sont fixés sur leurs bases terrestres respectives, tandis que le correcteur réfléchissant suit le mouvement des objets célestes qui sont observés lors de leur passage au méridien. Cette installation nationale ouverte à la communauté astronomique a été conçue pour **l'étude spectroscopique de 10 millions d'étoiles de la Voie lactée et des millions de galaxies.**

La visite du télescope LAMOST par le bureau du CNRS en Chine s'est inscrite dans le cadre du développement de coopérations internationales souhaité par les autorités chinoises et d'accès aux grands instruments et plateformes technologiques du pays.

Visite à l'Université Agricole de Nankin

Visite du bureau à l'Université Agricole de Nankin (NAU) organisée dans le cadre du nouveau **Projet de recherche international IRP M-Agri¹**. Ce projet est coordonné du côté français par **Philippe Vandenkoornhuysse**, Professeur à l'Université Rennes 1 et membre du laboratoire ECOBIO CNRS UMR 6553, et du côté chinois par le Professeur **LING Ning** de la NAU. Le projet de coopération scientifique vise à répondre aux besoins alimentaires dans un contexte de croissance humaine et de pression environnementale.

L'Université Agricole de Nankin est un établissement d'enseignement supérieur clé au niveau national, directement affilié au Ministère chinois de l'éducation (MoE). Avant tout centrée sur **les domaines de l'agriculture et des sciences de la vie**, la NAU propose également des programmes en sciences, économie, gestion, ingénierie, sciences humaines et droit auxquels se rajoutent quatre disciplines jugées d'intérêt national en lien avec les sciences humaines et culturelles, les ressources agricoles et les sciences de l'environnement, la protection des plantes et la médecine vétérinaire. L'université qui abrite 66 plateformes de recherche souhaite développer ses coopérations et ses échanges internationaux. NAU entretient des partenariats avec plus de 150 universités et instituts de recherche dans plus de 30 pays ou régions.



■ Visite à l'Université Agricole de Nankin (NAU) avec le Professeur LING Ning et son équipe et le Professeur Philippe Vandenkoornhuysse, responsables chinois et français de l'IRP CNRS M-Agri.

¹ Pour en savoir plus sur l'IRP M-AGRI, voir le numéro 36 du magazine « Le CNRS en Chine ».

Visite à l'Institut d'Océanologie de la CAS (IOCAS)



■ Rencontre à l'IOCAS et visite du musée de biologie marine avec le Professeur Yuan Zhao et son équipe.

L'**Institut d'océanologie de l'Académie des sciences de Chine (IOCAS)**, situé à Qingdao dans la province du Shandong, a été fondé en 1950. Il compte aujourd'hui près de **500 personnels** scientifiques et techniques. **Cinq laboratoires clés** y développent des recherches dans les domaines de la biologie marine expérimentale, l'écologie marine et sciences de l'environnement, l'étude de la circulation océanique et des vagues, la géologie marine, et la corrosion et protection marines. Pour conduire ses campagnes, l'Institut dispose d'une flotte comprenant trois navires de recherche.

Par ailleurs, l'IOCAS héberge **le plus grand musée en Chine des spécimens biologiques marins**. Sa collection, la plus complète en Asie, compte plus de 778 000 spécimens. Depuis sa création, l'Institut a établi des relations constantes avec des instituts de recherche scientifique dans plus de 40 pays ou régions du monde.

Le projet de recherche international (IRP) DYF2M² a pour objectif d'améliorer les connaissances dans le domaine de **l'écologie microbienne et la dynamique fonctionnelle des microorganismes marins**. Il associe en Chine plusieurs laboratoires clés de l'Institut d'océanologie de la CAS à Qingdao mais aussi le laboratoire d'écologie marine et environnement, et en France l'Institut méditerranéen d'océanographie à Marseille.

Visite de l'Institut de Chimie de l'Université de Zhengzhou

Créée en 2020, la **nouvelle Université de Zhengzhou (ZZU)** dans la province du Henan est le fruit de la fusion avec l'Université de technologie de Zhengzhou et de l'Université médicale du Henan. **Douze disciplines principales** y sont enseignées incluant la philosophie, l'économie, le droit, la gestion, les arts mais aussi la médecine clinique, les sciences physiques, l'ingénierie des matériaux et la chimie. En 2023, ZZU occupe le 46^{ème} place au classement des universités chinoises et se situerait entre la 151-200 place au niveau mondial³. Les nanosciences et nanotechnologies, l'ingénierie, les sciences de l'énergie, les sciences médicales ou encore la chimie sont ses domaines d'excellence.

Son campus accueille aujourd'hui plus de 50 000 étudiants de premier cycle et plus de 22 000 étudiants de troisième cycle. Une trentaine de programmes de doctorat y sont proposés. 2 500 étudiants internationaux provenant de plus de 116 pays et régions du monde y poursuivent des études.

La visite du bureau à ZZU s'inscrivait dans le cadre de la coopération autour du **projet de recherche international sur les Matériaux conjugués fonctionnels et catalyseurs**, IRP FOM⁴, qui associe en France l'Institut des sciences chimiques de Rennes et en Chine, le laboratoire clé d'état en chimie organométallique de l'Université de Shanghai et le laboratoire international du phosphore à l'Université de Zhengzhou.



■ Visite de l'Institut de chimie à l'université Zhengzhou avec le Professeur DUAN Zheng

² Pour en savoir plus sur l'IRP DYF2M voir le numéro 35 du magazine « Le CNRS en Chine ».

³ Selon le classement de Shanghai

⁴ Pour en savoir plus sur l'IRP FOM voir en pages 34-38 de ce magazine.



Bureau du CNRS en Chine,
Ambassade de France en Chine,
N°60 Tianze lu, Liangmaqiao,
3e quartier diplomatique, District
Chaoyang, 100600 BEIJING – PRC
Tél : +86 10 8531 2264
cnrsbeijing.cnrs.fr

Directeur de publication :

Philippe Arnaud

Responsable éditoriale :

Karine XIE

Graphisme et mise en page :

LI Xin

Contact : dei-beijing@cnrs.fr

