

PAROLES DE CHERCHEUR

Redouane BORSALI est directeur de recherche de classe exceptionnelle (DRCE) au CNRS, directeur de l'Institut Carnot PolyNat et group leader au laboratoire CERMAV (Université Grenoble Alpes – CNRS) dans le domaine de l'auto-assemblage de glycopolymères. Ses recherches sont centrées aujourd'hui autour de **matériaux biosourcés** obtenus à l'aide d'une chimie respectueuse de l'environnement, pour la **conception de films** (ou surfaces) **hautement nano-organisés et fonctionnalisés** et de glyconanoparticules. Ces matériaux biosourcés à haute valeur ajoutée trouvent leurs applications dans différents domaines, dont la **bio-nano-électronique**.



Portrait du chercheur. Source : Redouane BORSALI

Racontez-nous votre parcours. Comment en êtes-vous venu à étudier les copolymères biosourcés ?

Cela remonte à ma thèse de doctorat, qui portait sur les copolymères, plus précisément sur la différence entre les mélanges de polymères et les copolymères à blocs : qu'est-ce qui change dans les propriétés de ces matériaux quand on accroche ensemble deux molécules (ou blocs) A et B pour en faire un copolymère à blocs AB ? A l'époque, je travaillais sur les polymères de synthèse uniquement : j'étais à Strasbourg, à l'Institut Charles-Sadron (ex-CRM), qui est une référence des polymères dans le monde et qui est l'une des premières unités propres de recherche du CNRS. Je suis ensuite passé par le CERMAV [Centre de recherches sur les macromolécules végétales, basé à Grenoble]

pour travailler sur les polymères naturels, puis par deux prestigieux organismes situés dans la Silicon Valley, en Californie : à l'Université de Stanford, pour travailler sur l'ADN, et au centre de recherche Almaden d'IBM, pour travailler sur les cristaux liquides.

Ce sont **deux mondes parallèles** : certains travaillent sur des polymères issus du pétrole, d'autres sur des molécules d'origine naturelle. Et comme j'ai eu la chance de travailler dans les deux domaines, ça me paraissait logique de faire des copolymères biosourcés, où on accroche une molécule synthétique à une molécule naturelle.

A l'époque, quand j'ai lancé ce projet au LCPO [Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques] à Bordeaux, la communauté scientifique nationale et internationale, tant académique qu'industrielle, a accueilli mes idées et mes premiers travaux avec beaucoup de **scepticisme** : on me disait que c'était très compliqué de travailler sur des polymères naturels au vu de leur polydispersité, du contrôle de leur masse molaire, de leur rigidité et d'autres paramètres moins étudiés que pour les polymères synthétiques.

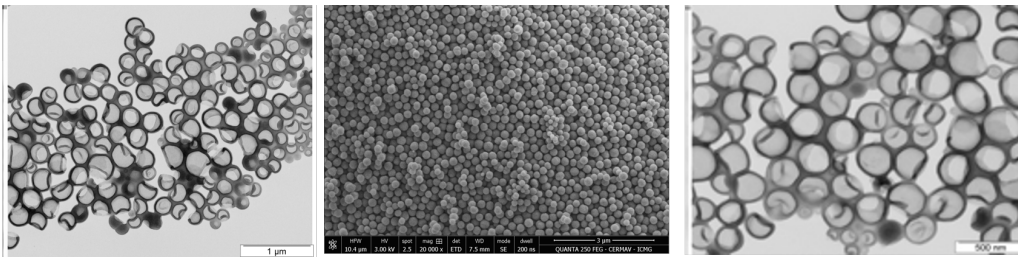
Même si je partageais ces difficultés avec la communauté scientifique polymériste, mon optimisme et ma volonté de travailler dans un domaine où très peu de chercheurs s'aventurent ont payé, car aujourd'hui on se rend compte que ces copolymères biosourcés sont beaucoup plus faciles à faire et à étudier, et qu'ils ont finalement beaucoup d'avantages quand on les compare à leurs équivalents issus du pétrole.

Quel genre d'avantages ?

Faire des surfaces ou films nano-organisés avec une approche *bottom-up* nécessite, par exemple, un auto-assemblage de copolymères à blocs présentant une incompatibilité suffisante, de sorte à ce qu'il y ait une micro-séparation de phase ayant pour résolution ou domaine organisé la taille d'un bloc. Or les copolymères synthétiques ont une incompatibilité faible entre les blocs. Si on persiste à utiliser ces mêmes copolymères synthétiques pour atteindre une haute résolution, on a besoin d'une chimie très lourde pour **les rendre**

incompatibles artificiellement.

Et c'est là que les copolymères biosourcés trouvent toute leur place et utilité. En effet, en substituant les copolymères synthétiques à 100% par des copolymères dont une partie est naturelle, on arrive très rapidement et **sans aucune modification chimique** à un haut niveau d'incompatibilité. Cette incompatibilité permet de créer beaucoup plus facilement des films nano-organisés à haute résolution, même avec une petite masse. Et qui dit petite masse dit petit domaine de structuration. C'est comme ça qu'avec mon équipe



Nanoparticules. Source : Redouane BORSALI

à Grenoble nous réussissons maintenant à créer des films nano-organisés à 5 nanomètres et même 3 nanomètres de résolution, alors que par exemple pour le polystyrène-PMMA [polyméthacrylate de méthyle, aussi connu sous son nom commercial Plexiglas] on est bloqués à 20 nanomètres pour 15 000 en masse. En résumé, on arrive à de **meilleurs résultats qu'avec les copolymères entièrement synthétiques**, avec moins d'efforts et en se servant de molécules respectueuses de l'environnement.

C'est très important pour les industries de la micro-électronique, comme Toshiba, Tokyo Electron ou Hitachi, qui ont des **besoins croissants en miniaturisation**. Toshiba a ainsi demandé à visiter nos locaux à Grenoble, peu de temps après nos premières publications et notre premier brevet, ce qui a donné lieu à une collaboration avec eux (via le Dr AZUMA Tsukasa, manager) dans divers aspects de la microélectronique, par exemple la DSA [directed self-assembly].

Comment se passent vos relations avec ces partenaires industriels ?

C'est difficile de généraliser. En parallèle de mes activités au CERMAV, je suis aussi directeur de l'Institut Carnot PolyNat, et le but de cet institut est justement de travailler avec les industriels. Cette volonté d'aller

vers les industriels pour valoriser mes recherches est sûrement venue de mon expérience à IBM. Plutôt que d'écrire des articles, même importants, qui finissent souvent au fond d'un tiroir, travailler avec les industriels permet de valoriser ses travaux, de manière à ce qu'ils bénéficient à la société.

Les relations sont différentes entre les partenaires français et européens d'une part et ceux à l'international d'autre part. Ça reste plus abordable avec la France et l'Europe pour signer des contrats. Avec les Japonais, on a moins de choses en volume mais ça **prend beaucoup de temps** pour les convaincre car il y a souvent

une hiérarchie très importante ; et malheureusement, il arrive qu'ils nous donnent leur accord, mais trop tard : les équipes des côtés français et japonais ont évolué et se sont engagées, entre temps, dans d'autres projets. La France

peut aussi être lente pour ce qui est de l'administratif. Ça nous est arrivé avec Toshiba il y a 7 ou 8 ans.

Toutefois, aujourd'hui les choses évoluent dans le bon sens avec la mise en place des instituts Carnot et une politique volontariste du CNRS en termes d'innovation et de relations avec les industriels.

Vous êtes le pilote d'un nouvel IRP avec National Taiwan University (NTU) intitulé « Nouveaux Biomatériaux ultra-nanostructurés et étirables pour la conception des dispositifs bio-électroniques », qui commence en janvier 2021 pour une durée de 5 ans. Comment a commencé ce partenariat avec Taïwan ?

Ma relation avec Taïwan a commencé via le Japon. Historiquement, j'ai des partenariats avec l'Université de Hokkaido, par exemple avec le Prof. SATOH Toshifumi, depuis une quinzaine d'années, et les échanges entre le Japon et Taïwan sont très importants.

J'ai été invité il y a une dizaine d'années à un workshop commun entre les deux pays, à Sapporo. J'y ai rencontré le Prof. CHEN Wen-Chang, avec qui je travaille depuis et qui est le pilote taïwanais de ce nouvel IRP. Il est spécialisé dans les dispositifs et les mémoires à transistor. **On a tout de suite vu que nos travaux étaient complémentaires**. On a d'abord commencé avec un échange CNRS-MOST [Ministère taïwanais de la science et des technologies], qui consistait en de petites missions de part et d'autre. Cela a donné lieu à un certain nombre d'articles de haut niveau dans des revues importantes, puis à une ANR internationale France-Taiwan. On a montré que ces copolymères biosourcés pouvaient facilement s'intégrer dans les dispositifs de

mémoire à transistor avec une efficacité beaucoup plus importante que les copolymères synthétiques. Nos travaux ont finalement été récompensés en 2018 par le **Prix de la Fondation scientifique franco-taiwanaise** (Grand prix de l'Académie des Sciences, France).

C'est comme ça que l'idée a germé pour ce nouvel IRP. Ça fait d'ailleurs plusieurs années qu'on réfléchit à comment construire un projet d'envergure sur le long-terme. Comme le Prof. CHEN Wen-Chang est doyen à NTU et très dynamique, il a beaucoup de coopérations à travers le monde, dont le Japon. NTU a donc construit un nouveau bâtiment, le **Green Material Institute** ; notre IRP va occuper les deux derniers étages. Ce sera pour nous l'occasion de poursuivre nos travaux en nano-bio-électronique, sur les **dispositifs du futur**, par exemple les mémoires à transistor, les OLED [diodes électroluminescentes organiques], le photovoltaïque... Le financement des doctorants et des postdoctorants passera probablement par nos universités et des industriels, et j'espère par le CNRS et le MOST. Concernant les industriels, leur intégration sera d'autant plus facilitée par la signature en amont d'un accord-cadre entre l'Institut Carnot PolyNat et NTU (une plaque du logo de l'Institut Carnot PolyNat est fièrement affichée à l'entrée du laboratoire).

On souhaite faire de ce nouveau laboratoire un **hub sur les matériaux biosourcés** pour attirer les industriels taiwanais et japonais et à terme intégrer des chercheurs venus de laboratoires japonais, que ce soit de Hokkaido ou de Kanazawa. Je pense par exemple au Prof. TAKAHASHI Kenji, de l'Université de Kanazawa, spécialiste des matériaux cellulosiques et des liquides ioniques. Des équipes de recherche venues d'autres pays (Singapour, Australie...) pourraient se joindre à ce hub dans un futur proche.

La direction prise est donc celle d'une coopération trilatérale entre la France, le Japon et Taiwan ?

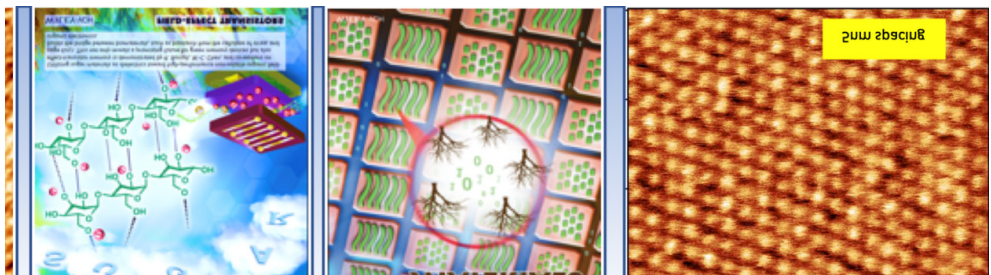
Exactement, il y a une **forte synergie** entre les trois pays, et chacun y trouve son compte. Si je dois résumer, les Japonais (équipe du Prof. SATOH T., Université de Hokkaido) sont très compétents en chimie des polymères, notamment la chimie des sucres ; mon équipe est experte dans la physico-chimie de ces systèmes, de leur auto-assemblage et de leur organisation sous forme de nanoparticules ou de films hautement nanostructurés ; les Taiwanais (équipe du Prof. CHEN W.-C., NTU), qui maîtrisent le côté ingénierie, en font des dispositifs. On publie régulièrement

ensemble, on organise des workshops dans les trois pays, ce qui montre notre complémentarité et surtout notre vision et nos objectifs : avancer dans ce domaine important des matériaux biosourcés et former les jeunes chercheurs (masters, doctorants et post-doctorants) qui seront les leaders de demain.

Je suis évidemment très content de ma collaboration avec le Japon puisque mes travaux de recherche et la vision que je partage avec mes collègues chercheurs académiques et industriels japonais dans ce domaine ont été récompensés par le **Prix international 2020 de la SPSJ** [Society of Polymer Science, Japan]. Cette collaboration se poursuit à travers différents projets scientifiques et de courts séjours de professeur invité dans différentes universités japonaises, notamment à Hokkaido et à Kanazawa.

Dans quelle mesure l'épidémie de COVID-19 a-t-elle impacté cette coopération ?

La pandémie n'a pas empêché de se contacter, d'écrire des articles – ça m'a même permis de presque rattraper mon retard. En revanche, ça a vraiment **freiné la dynamique des nouvelles idées**. Les collaborations naissent le plus souvent de rencontres lors de congrès,



Couches minces. Source : Redouane BORSALI

de visites, de rencontres informelles autour d'un repas, bref d'échanges physiques, et ces échanges ne sont plus possibles. Bien sûr, on continue d'organiser des conférences de façon virtuelle, mais ce n'est pas pareil. Et c'est problématique, car dans le fonctionnement normal de la recherche, les doctorants et post-doctorants travaillent sur des sujets qu'on a commencé à évoquer il y a un, deux, trois ans. On ne voit pas encore les conséquences de cette **dynamique cassée** en termes de production scientifique, mais on la verra dans un ou deux ans.

Propos recueillis par Clément DUPUIS