

Transformer les déchets en ressources alimentaires pour le support vie spatial : le projet de thèse de Pierre Joris

Financé par un partenariat entre le CNES et l'INSA de Toulouse, la thèse de Pierre Joris vise à développer, à partir de micro-organismes, des systèmes de support de vie biorégénératifs et des matériaux de construction in situ pour les missions spatiales de longue durée. Retour sur un parcours doctoral singulier et sur les perspectives qui s'ouvrent à lui.



Pierre Joris devant les bioréacteurs du CNES

Aux origines d'une vocation scientifique

Pierre Joris entame son parcours académique en 2015 par une classe préparatoire intégrée à l'Université de Bordeaux, avant de rejoindre l'ENSMAC – École Nationale Supérieure de Matériaux, Alimentaire et Chimie – dans le cursus agroalimentaire et génie biologique. Très tôt attiré par les biotechnologies, il s'oriente vers la culture microbienne et la valorisation des micro-organismes pour la production de composés d'intérêt. Un premier stage en Belgique, au sein du groupe Puratos, lui permet d'optimiser un procédé de culture et confirme son goût pour l'expérimentation et le travail en laboratoire.

En 2020, il poursuit son parcours au Toulouse Biotechnology Institute (TBI) pour son stage de fin d'études, encadré par Nathalie Gorret et Stéphane Guillouet. Il y développe un système d'analyse en ligne par cytométrie en flux pour le suivi automatisé de cultures en bioréacteur, incluant l'échantillonnage, la dilution, le marquage et l'adaptation dynamique des paramètres via un programme informatique dédié. À l'issue de celui-ci, il intègre un projet en partenariat avec le Centre National d'Études Spatiales (CNES), et plus particulièrement le Spaceship FR, d'abord en tant qu'ingénieur d'études en 2021. Le Spaceship FR, coordonné par Alexis Paillet, est un projet du CNES soutenu par l'ESA qui a pour but de préparer l'exploration et les vols habités vers la Lune et Mars. Les résultats rapidement obtenus convainquent le CNES de prolonger le financement sur trois années supplémentaires, transformant ce projet d'ingénierie en doctorat.

Posons les bases !

L'enjeu principal de la thèse de Pierre Joris est de démontrer le potentiel de la bactérie *Cupriavidus necator* pour son intégration au sein d'un système de support-vie biorégénératif, embarqué à bord d'un vaisseau spatial ou intégré à une station lunaire ou martienne. L'objectif est de transformer les déchets organiques produits par les astronautes (urine, fèces, déchets alimentaires) en ressources utiles, afin de tendre vers une plus grande autonomie des missions de longue durée.

Avant d'aller plus loin, il convient de rappeler ce qu'est un système de support-vie. Un système de support-vie est un ensemble de technologies interconnectées, visant à maintenir des conditions favorables à la survie humaine en milieu confiné, comme c'est le cas pour la Station Spatiale Internationale (ISS). Bien que l'ISS recycle déjà jusqu'à 98% de son eau et contrôle finement la température, la pression et la composition des gaz, elle ne permet pas encore la production alimentaire. Or, pour des missions vers Mars ou pour une présence durable sur la Lune, l'intégration de procédés biologiques capables de produire des ressources sur place devient indispensable.

C'est précisément dans cette perspective que la bactérie *Cupriavidus necator* apparaît comme une candidate particulièrement intéressante. Cette bêta-protéobactérie Gram négative possède plusieurs atouts majeurs. Elle est capable d'accumuler des polyhydroxyalcanoates (PHA), des bioplastiques compostables servant de réserve de carbone, mais aussi de produire des « single-cell proteins », utilisables comme source alternative de protéines. En modulant les paramètres de culture, il est possible d'orienter sa production vers les protéines ou les bioplastiques, selon les besoins. Enfin, sa capacité à croître en chimiolitho-autotrophie – en utilisant le dioxyde de carbone comme source de carbone – permet d'envisager des fermentations sous atmosphère contrôlée, où le CO₂ est converti en biomasse ou en composés d'intérêt.

Protéines vs Bioplastiques

En contrôlant les paramètres nutritionnels du milieu de culture de *Cupriavidus necator*, il est possible d'orienter son métabolisme vers une production préférentielle de

bioplastiques ou de protéines, une modulation essentielle pour des applications visant soit des ingrédients alimentaires riches en protéines, soit des matériaux biodégradables.

Les travaux menés s'attachent ainsi à optimiser les conditions nutritionnelles, en particulier le ratio carbone/azote du milieu de culture. Un ratio faible favorise l'accumulation de protéines dans la biomasse, tandis qu'un ratio élevé stimule la synthèse et le stockage de PHA pour la production de bioplastiques.

La biomasse obtenue est caractérisée à l'aide de plusieurs approches analytiques complémentaires. La teneur en protéines est déterminée par la méthode de Dumas, qui mesure l'azote total après combustion de l'échantillon, puis convertit cette valeur en contenu protéique sur matière sèche. Les bioplastiques sont quantifiés par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme, après une étape de méthanolyse acide des polymères intracellulaires. Les PHA étudiés sont principalement le polyhydroxybutyrate (PHB) et le polyhydroxyvalérate (PHV), deux polymères d'intérêt pour la mise au point de biopolymères techniques.

En parallèle, des analyses protéomiques sont réalisées afin d'explorer, à l'échelle moléculaire, l'impact des conditions nutritionnelles sur l'expression enzymatique et l'organisation des voies métaboliques.

Des performances confirmées

Au laboratoire, dans un bioréacteur de deux litres opérant en continu à une concentration de biomasse de 5 g/L, *Cupriavidus necator* atteint une teneur allant jusqu'à 55% de protéines sur matière sèche. À cette échelle expérimentale, une telle productivité permettrait de couvrir environ 20 à 40% des besoins quotidiens en protéines d'un astronaute.

À l'inverse, en conditions nitrato-respiratoires, où les nitrates remplacent l'oxygène comme accepteur d'électrons, la bactérie est capable de produire d'importantes quantités de bioplastiques. Un atout majeur pour les missions spatiales, où l'oxygène constitue une ressource limitée.

Explorer au-delà du spatial

À côté de sa thèse, Pierre Joris s'est engagé dans plusieurs expériences enrichissantes, à commencer par être représentant des doctorant-e-s au Conseil de politique du Collège Doctoral « Sciences, Technologies, Santé ». Un rôle qui lui permet d'appréhender plus finement les mécanismes de gouvernance universitaire et les enjeux liés au doctorat. De plus, il participe à Ma Thèse en 180 secondes en 2024, une aventure unique qui lui a permis de sortir du cadre du laboratoire, de rencontrer d'autres scientifiques et de renouer avec ses compétences théâtrales.

Pierre Joris poursuit ses recherches en post-doctorat, toujours avec le soutien du Spaceship, où il explore l'intégration des ressources disponibles in situ pour les missions spatiales. Il étudie notamment la capacité des micro-organismes à utiliser la régolithe lunaire ou martienne, cette couche de poussière rocheuse présente à la surface des astres.

Sa prochaine étape professionnelle le mène à Copenhague, où il rejoint l'Université technique du Danemark (DTU), pour un second post-doctorat. S'il demeure fidèle à la culture microbienne, domaine qui le passionne, ses recherches s'orienteront désormais vers la conception de bioprocédés durables comme la production de polymères à partir de substrat à 1 carbone, en dehors du champ des applications spatiales.

Conseils d'un jeune chercheur

Aux futurs doctorants et doctorantes, Pierre Joris adresse un message : « *Se lancer, oui, mais en prenant le temps de choisir la bonne équipe et le bon encadrement* ». Selon lui, réaliser un stage de six mois ou occuper un poste d'ingénieur au sein du laboratoire avant d'entamer une thèse constitue un véritable atout, permettant de vérifier l'adéquation scientifique et humaine du projet, tout en étant pleinement opérationnel dès les premiers mois.

Quant aux doctorantes et doctorants en cours de parcours, il les invite à profiter pleinement de ces années exigeantes mais formatrices. Séminaires, formations complémentaires, initiatives entrepreneuriales, engagement institutionnel ou actions en faveur de l'éco-responsabilité... Autant d'opportunités d'élargir ses compétences et de donner à la thèse une dimension qui dépasse le seul cadre académique.

Pour en savoir plus :

TBI : www.toulouse-biotechnology-institute.fr/

Spaceship FR : <https://cnes.fr/projets/spaceship>

Pierre Joris

piejo@dtu.dk

www.linkedin.com/in/pjbioprocess/

<https://urlr.me/r8fj2F>