

Biopesticides

Leandro RESTREPO

Travail de bachelor 2025

Microtechniques - Ingénierie biomédicale

Professeure : Laure JEANDUPEUX

Expert : Gianni FIORUCCI

Description

Ce travail de bachelor s'inscrit dans le projet de recherche « Enhance » (numéro de projet SNF-10002724), qui développe des alternatives durables aux fongicides de synthèse pour l'agriculture.

La stratégie du projet repose sur le biocontrôle : un consortium bactérie-champignon est encapsulé dans des microcapsules d'hydrogel d'alginate pour protéger les cultures. Bien que prometteuse, cette approche est freinée par un verrou technologique majeur : le faible débit de production de ces capsules, qui empêche une application à grande échelle.

Ce travail lève cet obstacle en optimisant une puce microfluidique et en mettant en œuvre un procédé de gélification interne innovant. Les objectifs sont d'atteindre un débit de production supérieur à 660 capsules/minute, avec un diamètre moyen inférieur à 500 μm et une haute uniformité ($\text{CV} < 10\%$).

Déroulement

Le projet se déroule en trois phases principales :

- Conception et fabrication : conception d'un moule pour une géométrie "flow-focusing", fabrication par impression 3D (SLA) et réplique de la puce en PDMS par lithographie douce
- Validation du procédé : test du principe de gélification interne à l'échelle macroscopique pour valider la réaction chimique, puis génération et solidification des hydrogels sur le montage microfluidique complet
- Caractérisation et analyse : validation dimensionnelle de la puce ; analyse de la taille, de l'uniformité et de la forme des hydrogels ; modélisation de l'influence des pressions de contrôle sur le diamètre final

Résultats

Le procédé développé est une réussite et surpasse les objectifs du cahier des charges. Le débit de production est multiplié par sept, atteignant 4414 capsules/minute (cible > 660). Les hydrogels produits respectent les spécifications avec un diamètre moyen de 480 μm (cible $\leq 500\ \mu\text{m}$) et une monodispersité exceptionnelle (CV de 2.8 %, cible $< 10\%$). Une forte corrélation linéaire ($R^2 = 0.83$) est établie entre le ratio des pressions et la taille finale des capsules, ce qui assure un procédé prédictif, robuste et contrôlable.



Figure 1 : visualisation de la formation d'une goutte à la jonction « flow-focusing » de la puce microfluidique, cœur du procédé de production

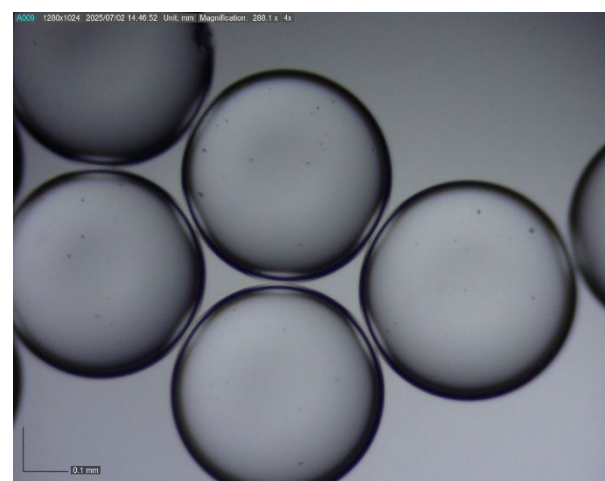


Figure 2 : microcapsules d'hydrogel d'alginate obtenues après gélification, montrant une excellente sphéricité et une haute uniformité

Discussion : conclusions et perspectives

Ce travail valide un procédé microfluidique qui lève le principal verrou technologique du projet « Enhance ». Le débit de production des hydrogels atteint 4414 capsules/minute tout en assurant une qualité optimale (diamètre 480 μm , CV 2.8 %). Le procédé est prédictif et robuste, offrant une base solide pour la suite. Les perspectives se concentrent sur l'amélioration de la fabrication de la puce, le passage à l'échelle par parallélisation, la stabilisation des capsules par enrobage et, enfin, la validation biologique du biopesticide.