Application des surfaces minimales triplement périodiques (TPMS) pour la conception de nouveaux internes des colonnes

HOMEM ALVES CESAR RIBEIRO Gregory[1], MEYER Michel[1], ROUZINEAU David[1]

Affiliation 1 : Laboratoire de Génie Chimique, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse

Contexte

Dans les technologies de contacteurs gaz-liquide, les garnissages ou structures internes, qui permettent l'interaction entre les phases, ont un rôle fondamental sur l'efficacité et la capacité des colonnes de séparation. L'objectif du design d'un garnissage est basé principalement sur deux critères : maximiser l'aire interfaciale par unité de volume tout en minimisant les pertes de charge. Afin d'atteindre ces critères, des nouvelles formes de garnissage ont été développées en alternative aux garnissages structurés à plaques. Parmi les nouvelles géométries étudiées, les structures complexes à base de fils représentent une approche innovante et favorable pour la séparation gaz-liquide. De plus, la fabrication additive s'est montrée une technique performante en flexibilité et temps de conception, permettant la production de ces formes complexes.

La structure Tetraspline (TS), développée au Laboratoire de Génie Chimique de Toulouse, est une géométrie périodique à base de fils suivant une forme tétraédrique. Les résultats expérimentaux montrent que le TS peut atteindre une performance en perte de charge et HEPT comparable au garnissage de référence de Sulzer Chemtech (Mellapak M250Y), tout en ayant une aire de surface spécifique inférieure à ce dernier (Kawas et al., 2021). Basée sur cet apport des structures complexes à base de fils et les avantages de l'impression 3D, cette étude se concentre sur une nouvelle approche de conception d'internes à partir des surfaces minimales triplement périodiques (TPMS).

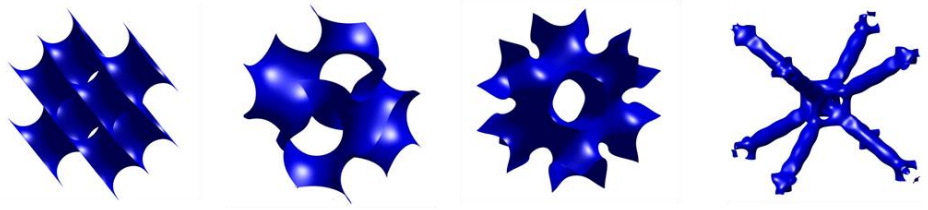
Les surfaces minimales triplement périodiques (TPMS)

Divisant l'espace en deux domaines, les TPMS ont une courbure moyenne nulle tout au long de la surface, étant naturellement lisses et régulières. De telles propriétés géométriques ont été exploitées dans le génie des procédés, surtout dans les technologies d'échangeurs de chaleur (Al-Ketan et al., 2021). La représentation conventionnelle des TPMS est basée sur des équations implicites de surface composées par des fonctions trigonométriques.

L'intérêt d'utiliser les TPMS pour concevoir des nouveaux internes de colonnes se justifie par trois aspects : la continuité de la surface (objet autosupporté), la paramétrisation par équations de la structure et la courbure minimale en tout point. La conception à partir des équations apporte une flexibilité capable d'aboutir plus facilement à des formes plus complexes, qui pourront ensuite être fabriquées par impression 3D. La minimisation de la courbure moyenne aurait également un effet positif sur la stabilité du film liquide couvrant la surface du garnissage, impactant l'efficacité de transfert de matière.

Méthodologie de conception

L'objectif est d'identifier une géométrie similaire à des structures à base de fils, comme le TS, à partir de la forme mathématique caractéristique des TPMS. Pour cela, une combinaison des formes classiques « gyroïde » et I-WP de Schoen et « diamant » de Schwarz a été exploitée. En combinant les équations propres de chaque surface, une nouvelle forme a été proposée, nommée *TPMS 1*. Dans le cas étudié, la surface divise l'espace entre un domaine solide (garnissage) et un domaine vide (fluide). Les formes des TPMS sont montrées en Figure 1.



a) b) c) d)

Figure 1 : Cellules basiques des surfaces minimales triplement périodiques (TPMS) : a) Surface "diamant" de Schwarz ; b) Surface "gyroïde" de Schoen ; c) Surface "I-WP" de Schoen ; d) TPMS 1

Le *TPMS 1* présente une forme octaédrique avec des « brins » cylindriques ayant des ondulations. Dans les intersections, une géométrie complexe représente une zone de mélange et de redistribution du liquide. Pour une cellule basique de taille 1 cm, l'aire de surface spécifique du *TPMS 1* est de $243\ m^2m^{-3}$ avec un taux de vide de $94{,}2\%$.

Dans une deuxième étape de conception, des modifications supplémentaires ont été rajoutées à l'équation caractéristique du *TPMS 1*, en utilisant l'interface du logiciel de DAO *nTopology*. Les modifications ont permis de définir le rayon moyen des « brins » et l'angle entre les « brins » et l'axe verticale. De plus, pour éviter les passages libres de gaz à travers la structure, une déformation axiale sinusoïdale a été appliquée au *TPMS 1*, permettant la fermeture des passages verticaux. Une des formes modifiées est représentée en Figure 2, pour un garnissage cylindrique. La déformation axiale sinusoïdale est observée en Figure 2a), l'absence des passages verticales observée en Figure 2b) et la forme cylindrique du garnissage en Figure 2c).

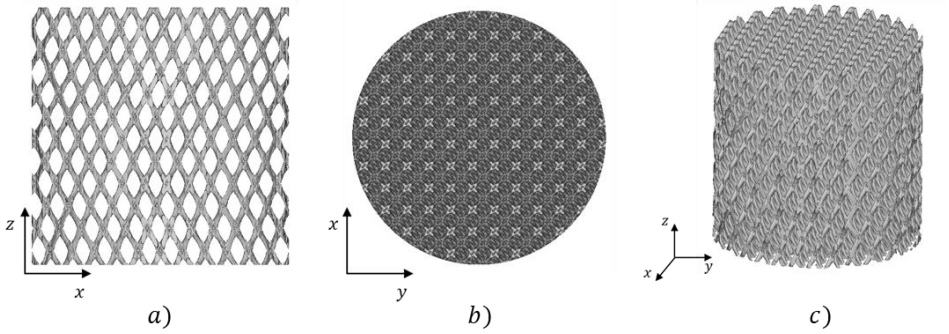


Figure 2 : TPMS 1 modifiée (réglage de rayon et angle des « brins » et déformation sinusoïdale)

Observations et perspectives

L'application des TPMS pour la conception de structures complexes à base de fils s'est montrée possible. L'approche par équations pour la conception de la géométrie a apporté des possibilités supplémentaires en termes de paramétrisation, menant à des nouvelles formes complexes. La performance des différentes configurations du *TPMS 1* en perte de charge et transfert de matière sera ensuite analysée par simulation CFD et par étude expérimentale au LGC.

Références bibliographiques

Al-Ketan, O., Ali, M., Khalil, M., Rowshan, R., Khan, K.A., Abu Al-Rub, R.K.; Forced Convection Computational Fluid Dynamics Analysis of Architected and Three-Dimensional Printable Heat Sinks Based on Triply Periodic Minimal Surfaces, *J. Therm. Sci. Eng. Appl.*, 2021

Kawas, B., Mizzi, B., Dejean, B., Rouzineau, D., Meyer, M.; Design and conception of an innovative packing for separation column – Part II: Design and characterization of a wire-based packing. *Chem. Eng. Res. Des*., 2021, 169, 189–203