

Étude des pertes de charge dans un lit fixe de particules non sphériques

Amara FEZOUA^a, Clémence NIKITINE^a, Marie-Line ZANOTA^a, Nik LYGEROS^a, Isabelle PITAULT^{a*} et Marie BASIN^b

^a Laboratoire de Génie des Procédés Catalytiques, UMR 5285, LGPC-CNRS-CPE Lyon, 43 bd du 11 Novembre 1918, 69616 Villeurbanne Cedex

^b Air Liquide CRCO, 1 chemin de la porte des loges, 78354 Jouy-en-Josas

Résumé

Cette étude concerne l'amélioration des procédés de production des gaz industriels mettant en œuvre des réactions catalytiques gaz/solide. Les réacteurs industriels sont des lits fixes et leur performance est souvent dépendante de la qualité des transferts de matière et/ou de chaleur qui se produisent lors de ces réactions catalytiques. Néanmoins, l'un des problèmes majeurs de ce type de réacteur est la perte de charge importante au sein des lits et par conséquent l'augmentation des coûts énergétiques. Ces limitations sont en général dues aux types de catalyseurs utilisés, qui, en fonction de leurs formes et/ou de leurs tailles, peuvent amplifier le phénomène.

Il s'agit donc ici de définir et de concevoir de nouvelles structures qui pourront être utilisées comme substrat pour les catalyseurs, en vue d'améliorer les performances des procédés actuels. Pour cela, une étude préliminaire a été réalisée sur des pâtes alimentaires car elles offrent une large gamme de formes géométriques qui peuvent servir comme modèle. Les premiers tests effectués nous ont permis de mettre en évidence l'effet du débit de gaz et de la porosité des lits sur les pertes de charge mais aussi de montrer le caractère aléatoire de l'empilement et son effet sur les pertes de charge. Enfin, cette étude a montré une différence entre les résultats expérimentaux et les solutions analytiques déterminées par des équations de type Ergun .

Mots-clés : Perte de charge, Catalyse hétérogène, Hydrodynamique

1. Introduction

Dans les domaines de l'énergie et de la chimie, les procédés mettant en œuvre des réactions catalytiques hétérogènes gaz/solide, telles que par exemple les oxydations ménagées ou partielles, ou gaz/liquide/solide, telles que par exemple les réactions d'hydrotraitement dans le raffinage pétrolier, sont sujets à des limitations ou des contraintes sur les pertes de charge. Or, les pertes de charge sont liées d'une part à la taille et la forme des particules mais peuvent être aussi liées au mode de remplissage des réacteurs créant des inhomogénéités dans les empilements. Dans ces procédés, les formes les plus courantes restent les sphères et les cylindres, voire les cylindres corrugués ou lobés [Boyer, 2007]. Des formes plus complexes, telles que les barillets, sont aussi utilisées pour les procédés en phase gaz avec de forts Reynolds. Pour ces formes, des études de Mécanique des Fluides Numériques (MFN) ont été réalisées pour estimer les transferts de chaleur dans les lits et les effets du nombre de trous des barillets. Cependant, les empilements sont de faible hauteur et ont été générés numériquement et les estimations des pertes de charge n'ont pas été réalisées [Nijemeisland, 2004].

Les catalyseurs étant les plus couramment sphériques, les estimations de pertes de charge dans les empilements granulaires catalytiques sont en général basées sur les équations d'Ergun [Ergun, 1952]. Pour prendre compte les effets de forme, des facteurs correctifs sont apportés aux coefficients A et B de

* Auteur à qui la correspondance devrait être adressée : isabelle.pitault@lgpc.cpe.fr

l'équation d'Ergun [Nemec, 2005]. Cependant, ces facteurs correctifs ont été estimés pour un nombre limité de formes simples et ne permettent pas de prédire les pertes de charges de formes plus innovantes, jamais testées. En parallèle, des auteurs tels que Boming Yu ont essayé d'introduire les dimensions fractales des empilements pour estimer les pertes de charge [Yu, 2008 ; Yu, 2001 ; Yu, 2002 ; Wu, 2007] . Mais, ces études aussi ne concernent que les formes simples telles que les sphères, les cylindres et les anneaux.

Le projet, dans lequel s'insère cette étude, a pour but de définir de nouvelles formes de structures catalytiques pour les procédés de production de gaz industriels. Or, la fabrication de nouvelles formes étant extrêmement coûteuse, il est nécessaire de développer des méthodologies pour pouvoir estimer a priori les propriétés des empilements avant de définir des formes à fabriquer. Les procédés visés mettent en jeu des réactions catalytiques gaz-solide qui peuvent être limitées par plusieurs phénomènes : transferts de chaleur et de matière, pertes de charge importantes au sein des réacteurs, durée de vie des catalyseurs (empoisonnement, vieillissement, frittage, etc...). Ces limitations sont directement liées au catalyseur, à son activité mais aussi à la forme de son support. En effet, en fonction de sa géométrie, le lit catalytique génère des pertes de charges plus au moins importantes. De plus, les transferts de chaleur et de matière dépendent essentiellement de la surface accessible offerte par ces matériaux catalytiques.

L'objectif des travaux en cours est donc d'étudier les phénomènes hydrodynamiques en fonction de la topologie des lits catalytiques. Principalement, le défi consistera à développer de nouvelles structures catalytiques offrant d'une part une grande surface d'échange et d'autre part générant de faibles pertes de charge.



Cet article présente uniquement l'étude préliminaire qui a été réalisée sur des structures classiques sur une unité de laboratoire afin de valider le protocole expérimental et de faciliter la recherche de nouvelles structures. Ce travail s'insère dans un projet plus vaste incluant la recherche de formes géométriques innovantes permettant, entre autres, l'amélioration de l'hydrodynamique des réacteurs, des mesures expérimentales dans un pilote à l'échelle 1/6^{ème} sur quelques formes qui seront fabriquées et une estimation, par extrapolation, des performance du réacteur industriel.

2. Partie expérimentale

2.1 Substrats

Afin d'orienter le choix de ces nouvelles structures à produire, il était nécessaire de trouver des objets offrant une large gamme de formes et de tailles et une tenue mécanique similaire à celle de support catalytique classique (alumine, cordiérite), mais présentant un coût moindre. Les pâtes alimentaires se sont révélées être des très bons candidats car ce sont des structures facilement fabriquées par extrusion, très disponibles et très économiques et présentant une gamme importante de tailles et de formes. Elles nous ont permis de tester plusieurs formes et de voir l'effet de la géométrie sur l'hydrodynamique du réacteur. Le tableau 1 montre les différentes caractéristiques des pâtes utilisées dans l'étude préliminaire.

Tableau 1. Caractéristiques géométriques des pâtes

	D _{ext} (m)	D _{int} (m)	h (m)	L=V _p /S _p (m)	d _p (m)
Cylindres creux lisses 	2,9·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³	2,9·10 ⁻³	0,345·10 ⁻³	2,1·10 ⁻³
	4,5·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³	4,5·10 ⁻³	0,436·10 ⁻³	2,6·10 ⁻³
	6,0·10 ⁻³	3,6·10 ⁻³	6,5·10 ⁻³	0,506·10 ⁻³	3,0·10 ⁻³
Cylindres creux ondulés 	4,5·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³	4,5·10 ⁻³	0,405·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³
	8,6·10 ⁻³	6,1·10 ⁻³	9,0·10 ⁻³	0,527·10 ⁻³	3,2·10 ⁻³

2.2 Mesure de la densité des substrats

La masse volumique des structures étudiées a été déterminée par une méthode massique en 3 étapes :

- Un récipient jaugé A est rempli d'heptane jusqu'au trait de jauge et est pesé. On obtient une masse M1.
- Une masse M2 de structures (pâtes alimentaire ici) est pesée.

- Cette masse M2 est introduite dans le récipient A et l'on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'heptane. On obtient une masse M3.

Un ratio de masse peut ainsi être calculée par l'équation 1 :

$$d = \frac{M_2}{(M_1 + M_2 - M_3)} \quad (1)$$

L'heptane est utilisé pour la mesure des densités afin d'éviter la formation de petites bulles à l'intérieur des trous des pâtes et aussi le gonflement des structures qui fausserait la valeur de la densité.

La masse volumique des structures a été déterminée à partir de la masse volumique de l'heptane et du facteur d suivant l'équation 2.

$$\rho_{p\grave{a}te} = d \cdot \rho_{heptane} \quad (2)$$

Le tableau 2 résume les résultats obtenus.

Tableau 2. Masse volumiques des pâtes

Pâtes	Cylindres creux				
	Lisse (2,9x2,9 mm)	Lisse (4,5x4,5 mm)	Ondulé (4,5x4,5 mm)	Lisse (6,0x6,5 mm)	Ondulé (8,6x9,0 mm)
ρ (kg/m ³)	1395	1416	1361	1465	1382

La porosité du lit a été déterminée à l'aide de l'équation 3.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{lit}}{\rho_{p\grave{a}tes}} \quad (3)$$

2.3 Montage expérimental

Les expériences ont été effectuées sur un pilote dédié (Figure 1).

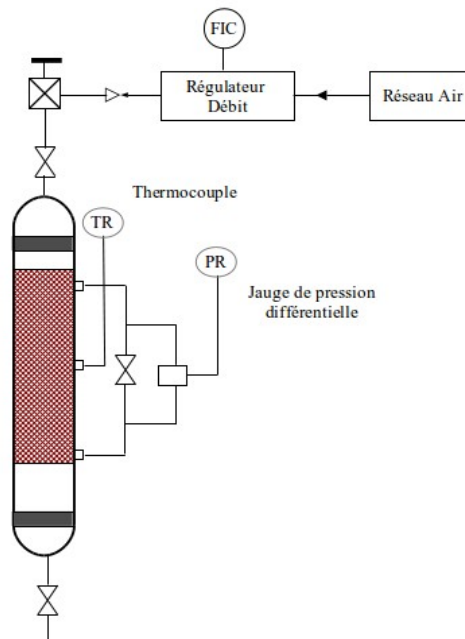


Figure 1. Schéma du pilote expérimental

Ce dispositif est constitué d'un réacteur cylindrique de 5,8 cm de diamètre et 70 cm de hauteur. Trois piquages dans le réacteur permettent d'effectuer une mesure de température et de différence de pression.

Ainsi, il est possible de déterminer la perte de charge en trois positions distinctes : sur l'ensemble du lit, sur la partie haute ou sur la partie basse de celui-ci. La phase gaz utilisée est de l'air avec un débit pouvant varier de 0 à 13 m³/h (soit une vitesse de 0 à 1,5 m/s). Deux méthodes de remplissage ont été utilisées : en vrac ou avec une vibreuse (Retsch DR100/75) pour observer l'effet de l'empilement sur les pertes de charge. La validation de ce montage a été effectuée en mesurant les pertes de charge sur un lit de billes calibrées de 2 mm de diamètre.

3. Résultats et discussion

Pour modéliser nos résultats expérimentaux, nous avons eu recours à l'équation d'Ergun [Ergun 1952] qui permet de décrire la variation des pertes de charges en régime laminaire et turbulent. Cette équation largement commentée dans la littérature [Bird, 2002 ; Luckos, 2011 ; Martin, 1978 ; Li, 2011] est définie par l'équation (4) :

$$\frac{\Delta P}{H} = A \frac{\mu(1-\varepsilon)^2 u}{d_p^2 \varepsilon^3} + B \frac{\rho_f(1-\varepsilon) u^2}{d_p \varepsilon^3} \quad (4)$$

Les constantes A et B sont liées à la forme géométrique du substrat et à l'empilement et valent respectivement de 150 et 1,75 pour des particules sphériques. Les équations (5) et (6) permettent d'explicitier les coefficients A et B pour des cylindres et des cylindres creux respectivement [Nemec, 2005].

$$A = \frac{150}{\varphi^{3/2}} \quad ; \quad B = \frac{1.75}{\varphi^{4/3}} \quad (5)$$

$$\text{Avec } \varphi = \left(\frac{36\pi V_p^2}{S_p^3} \right)^{1/3}$$

$$A = 150 \left[\frac{\varepsilon^3}{\left(1 - (1-\varepsilon) \left(\frac{V_{fc} - mV_i}{V_p} \right) \right)^3} \right] \left[\frac{S_{fc} + mS_i}{V_p} \frac{d_p}{6} \right] \quad ; \quad B = 1.75 \left[\frac{\varepsilon^3}{\left(1 - (1-\varepsilon) \left(\frac{V_{fc} - mV_i}{V_p} \right) \right)^3} \right] \left[\frac{S_{fc} + mS_i}{V_p} \frac{d_p}{6} \right]^2 \quad (6)$$

Pour voir l'effet de l'empilement sur la porosité générée par les pâtes, nous avons comparé deux types de remplissage : vrac et avec vibreuse. Le tableau 3 montre les résultats obtenus pour chaque type de remplissage. Pour démontrer la répétabilité des essais, chaque expérience a été réalisée trois fois (l'écart-type est inférieur à 0,3%).

Tableau 3. Effet du remplissage sur la porosité des pâtes

Pâtes	Cylindres creux				
	Lisse (2,9x2,9 mm)	Lisse (4,5x4,5 mm)	Ondulé (4,5x4,5 mm)	Lisse (6,0x6,5 mm)	Ondulé (8,6x9,0 mm)
$\varepsilon_{\text{vrac}}$	0,40	0,51	0,54	0,61	0,66
$\varepsilon_{\text{vibreuse}}$	0,39	0,52	0,54	0,61	0,66

Le tableau 3 montre que le type de remplissage n'a pas d'effet sur la porosité du lit. Cependant, avoir la même porosité ne veut pas dire forcément avoir la même perte de charge dans le réacteur. En effet, la perte de charge va dépendre à la fois de la porosité du lit mais surtout l'orientation des structures dans l'empilement. Pour vérifier si l'empilement a un effet sur la perte des charges, nous avons mesuré cette dernière pour toutes les structures et pour les deux remplissages (vrac et vibreuse) (Figure 2).

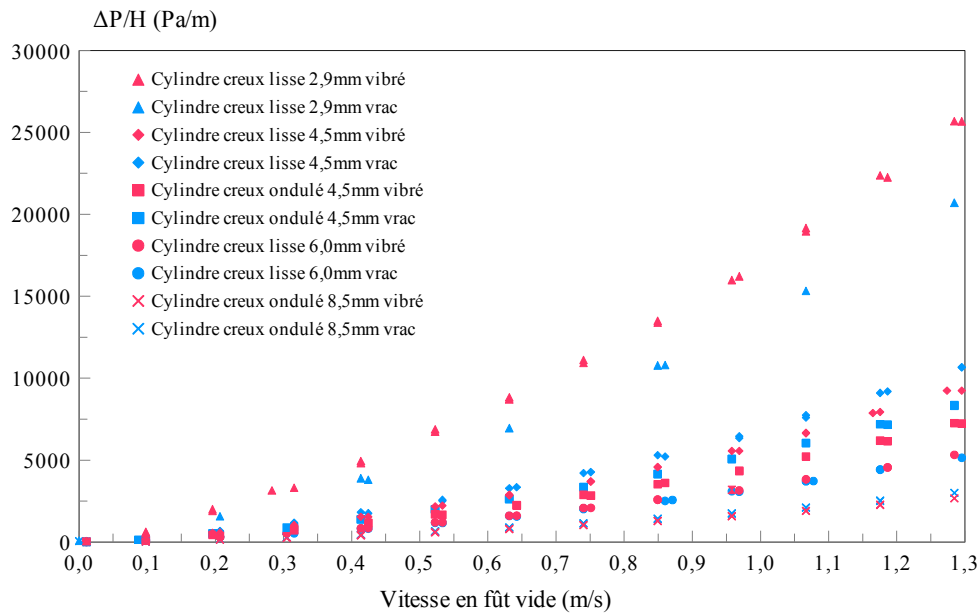


Figure 2. Variation de la perte de charge en fonction de la vitesse en fût vide et de la géométrie des pâtes

La figure 2 confirme la tendance attendue à savoir l'augmentation des pertes de charge avec l'augmentation de la vitesse en fût vide et la diminution de la porosité. En effet, plus la structure est petite, plus la porosité est faible et plus la perte de charge augmente. De plus, une structure lisse crée plus de pertes de charge que la même structure ondulée (Figure 3a et 3b). Cette différence est certainement engendrée par la forme extérieure des cylindres ondulés qui augmentent la porosité (0,54 pour la structure ondulée 4,5x4,5 mm contre 0,51 pour la même structure lisse) et donc réduisent les pertes de charges. Mais la présence de ces ondulations entraînerait aussi une forte turbulence augmentant la perte de charge. La compétition des deux phénomènes pourrait selon la structure induire des variations de pertes de charge différentes.

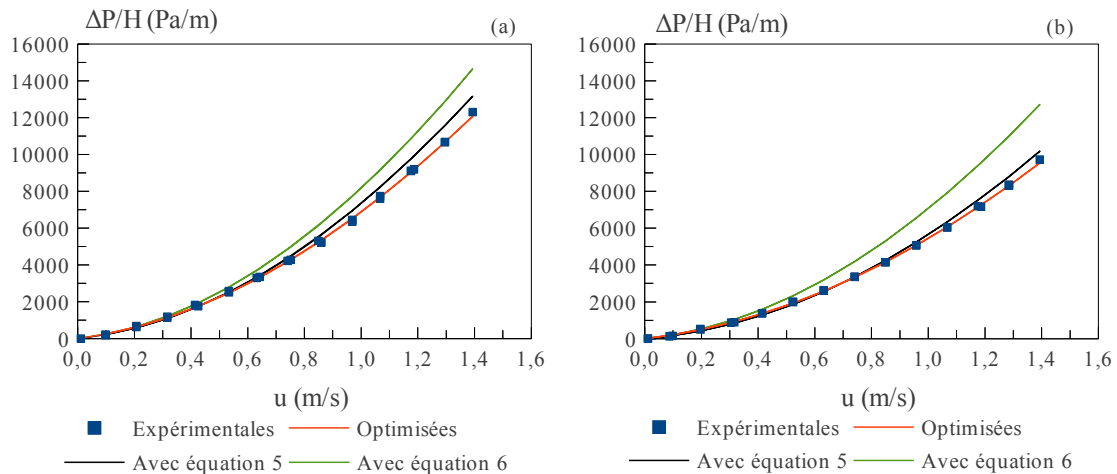


Figure 3. Variation de la perte de charge en fonction de la vitesse en fût vide pour (a) les cylindres creux lisses de 4,5mm de diamètre (b) les cylindres creux ondulés de 4,5mm de diamètre. Comparaison des trois calculs des paramètres A et B avec les données expérimentales.

Les coefficients A et B du Tableau 4 ont été obtenus de trois manières différentes : en utilisant les équations 5 ou 6 ou en minimisant la somme des moindres carrés des pertes de charge expérimentales et

simulées. Pour les trois méthodes, la compressibilité des gaz a été prise en compte. Pour l'estimation de A et B obtenus à partir de l'expérience, l'équation 7 a été utilisée.

$$\frac{\Delta P}{H} = \frac{\sqrt{2HC + P_s^2} - P_s}{H} \quad (7)$$

Avec $C = \frac{RT}{M} \frac{(1-\varepsilon)^3}{d_p^3 \varepsilon^3} \mu^2 (A Re_p + B Re_p^2)$ et $Re_p = \frac{G d_p}{\mu}$

Tableau 4. Comparaison des coefficients d'Ergun

	structure cylindre creux lisse 4,5 mm			structure cylindre creux ondulé 4,5 mm		
	Équation 5	Équation 6	optimisation sur l'expérience	Équation 5	Équation 6	optimisation sur l'expérience
A	319	350	401	298	361	416
B	3,3	3,7	2,8	3,0	3,8	2,5

Les courbes de perte de charge obtenues avec ces trois méthodes ont été représentées sur les Figures 3. Il est à noter que, même sur des formes géométriques simples type cylindres creux, les corrélations obtenues dans la littérature ne sont pas forcément applicables. En effet, l'équation 5 préconisée pour les cylindres pleins semble mieux adaptée pour représenter nos points expérimentaux que l'équation 6 préconisée pour les cylindres creux. De plus, le calcul de la perte de charge à partir des coefficients A et B obtenus par les équations 5 ou 6 montre une différence entre un lit de cylindres lisses et un lit de cylindres ondulés plus importante que celle observée expérimentalement.

La structure 2,9x2,9 mm induit, avec les deux types de remplissage (vrac et vibreuse), une porosité constante (Tableau 3) mais une perte de charge très différente (par exemple pour un débit de 7,8 m³/h, une différence de 28 mbar/m est observée entre les deux types de remplissage). Cela confirme que la perte de charge est aussi liée à l'orientation des structures dans le lit. La vibreuse permet d'avoir probablement un empilement plus ordonné et par conséquent les structures peuvent être statistiquement plus empilées horizontalement et ainsi offrent moins de section de passage au gaz. Pour les autres structures, la vibreuse n'a pas eu d'effet prononcé ; certainement à cause de leur poids trop important par rapport à l'intensité de vibration.

Enfin, il existe aujourd'hui des outils mathématiques qui permettent de générer des empilements de particules de forme et de taille donnée. Parmi ces outils, le plus connu est la méthode MED (Méthode des Éléments Discrets). Une fois l'empilement généré, il est directement implémenté sur un logiciel de mécanique des fluides, type MFN, pour étudier son hydrodynamique. Néanmoins, ce type de méthode ne génère pas un empilement réel. Pour s'affranchir de cette contrainte, nous avons décidé de procéder différemment. Un essai préliminaire d'analyse d'image 2D de l'empilement a été réalisé sur un échantillon de pâtes (cylindre lisse de 4,5 x 4,5mm) et nous a permis de déterminer la porosité de l'empilement. Une résine a été coulée sur un empilement de pâtes, cet échantillon a été ensuite découpé à la scie à fil puis scanné. L'analyse d'image est réalisée avec la toolbox « image processing » du logiciel Matlab. Sur la figure 5 sont représentées les différentes étapes de cette analyse. Dans un premier temps, par application d'une succession de filtres, le contraste est augmenté afin de bien différencier les parties résine et pâtes alimentaires. Après seuillage et détection de la zone d'intérêt, l'image est nettoyée. Par dilatation et érosion successive, les petits objets sont supprimés et les éclats dans la résine dus à la découpe sont bouchés. La dernière étape consiste à déterminer les contours et calculer les aires de chacune des deux parties (noir et blanc) afin d'en déduire la porosité. La valeur de porosité de la tranche observée est de 0,497. Elle est en accord avec la porosité moyenne du lit déterminée précédemment (voir tableau 3). Ce résultat nous encourage à poursuivre le développement de nos méthodes d'analyse pour obtenir plus d'informations sur l'empilement. En effet, pour l'instant, la porosité est la seule donnée obtenue. À partir de la forme des ellipses, il est possible de remonter aux angles d'inclinaisons des structures et donc à une représentation plus précise de l'empilement. Cette étape est en cours de développement. Elle est complexe du fait des nombreux artefacts que présente le traitement d'une image obtenue à partir du scanner.

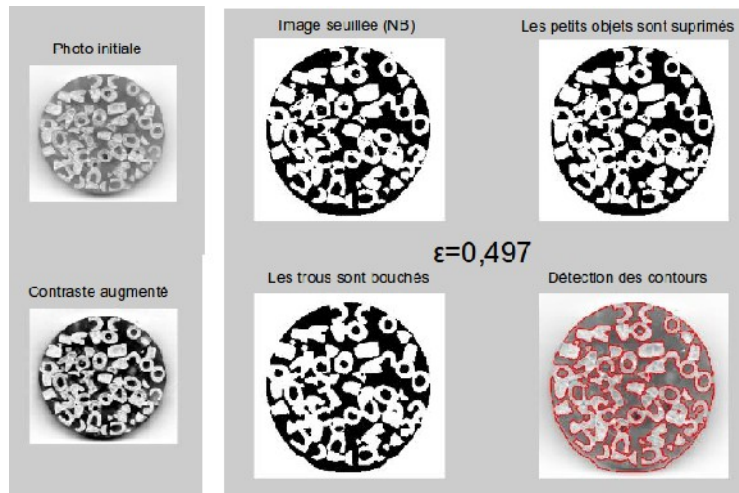


Figure 5. Différentes étapes de traitement d'image pour un empilement de pâtes

Afin de nous en affranchir, nous avons opté pour la tomographie qui permet d'avoir plus facilement et plus rapidement des images de la microscopie des empilements. Un petit réacteur en verre en cours de fabrication permettra pour des petites structures de générer un empilement qui sera tomographié et de réaliser sur le même empilement une mesure de perte de charge. Ainsi, une fois ces informations collectées, elles seront traitées par des méthodes mathématiques (Analyse d'Image) pour extraire des données sur l'empilement comme la porosité locale, la distribution du nombre de particules en fonction de leur angle d'orientation, les dimensions fractales des pores et des particules [Yu, 2008 ; Wu, 2007 ; Yu, 2002 ; Yu, 2001] afin de déterminer la répétabilité et les caractéristiques des différents types de remplissage. Ainsi, ces informations pourraient être reliées directement à la perte de charge mesurée.

3. Conclusion

Des pâtes alimentaires de différentes tailles et formes ont été utilisées pour étudier l'influence de la géométrie des substrats et de la porosité de l'empilement sur les pertes de charge. Les premiers résultats effectués sur un réacteur de 70 cm ont confirmé que les pertes de charges sont directement liées au débit du gaz et à la porosité du lit, mais pas uniquement. En effet, les différents remplissages réalisés en vrac et avec la vibreuse ont eu peu d'impact sur la porosité des lits. Cependant, nous avons constaté que sur les petites pâtes (cylindre creux 2,9 x 2,9 mm) le remplissage avec la vibreuse a conduit à des pertes de charges plus importantes que celui réalisé en vrac. Cela peut être lié à la taille des pâtes par rapport à la taille du réacteur et/ou au poids des pâtes par rapport à l'amplitude des vibrations.

Pour travailler dans des conditions proches des conditions industrielles, une maquette froide représentative d'un réacteur industriel (même gamme de vitesses d'écoulement, même gamme de nombres de Reynolds) a été conçue. Pour une meilleure appréhension des phénomènes, les empilements seront aussi étudiés par tomographie à l'aide d'un réacteur en verre spécialement réalisé pour mesurer les pertes de charge et suffisamment petit pour entrer dans un tomographe.

Remerciements

Nous remercions OSEO et le Fonds Unique Interministériel qui ont contribué au financement de cette étude réalisée dans le cadre du projet PAACS (Process and Advanced Associated Catalytic Structures) co-labélisé par les pôles de compétitivité Moveo et .par le Pôle Européen de la Céramique

Nomenclature

A	paramètre de la relation de perte de charge	B	paramètre de la relation de perte de charge
d	facteur pour le calcul des densités des pâtes (-)	D_{ext}	diamètre externe des pâtes (m)
D_{int}	diamètre interne des pâtes (m)	d_p	diamètre de particule équivalent à la sphère (m)
G	débit massique spécifique des fluides ($kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	h	longueur des pâtes (m)

H	distance entre les piquages de mesures (m)	L	longueur caractéristique des pâtes (m)
m	fraction de vide à l'int. de l'anneau offert au fluide	M	masse (kg)
\bar{M}	masse molaire moyenne des fluides (kg.mol ⁻¹)	P _s	pression de sortie du lit (Pa)
R	constante des gaz parfaits	S _{fc}	surface d'un cylindre creux supposé rempli (m ²)
S _i	surface interne de l'anneau du cylindre creux (m ²)	S _p	surface de particules (m ²)
T	température (K)	u	vitesse du gaz en fût vide (m.s ⁻¹)
V _{fc}	volume d'un cylindre creux supposé rempli (m ³)	V _i	volume interne de l'anneau du cylindre creux (m ³)
V _p	volume de particules (m ³)	ΔP	perte de charge (Pa)
ε	porosité du lit (-)	φ	facteur de forme (-)
μ	viscosité dynamique du fluide (Pa.s)	ρ _{pâtes}	masse volumique des pâtes (kg.m ⁻³)
ρ _{lit}	masse volumique du lit (kg.m ⁻³)	ρ _f	masse volumique du fluide (kg.m ⁻³)

Références

- Bird, R. B., W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, Transport Phenomena, Second Edition (2002)
Ergun, S., Chemical Engineering Progress 48 (1952) 89-94
Martin, H., Chemical Engineering Science 33 (1978) 919-919
Li, L., W. Ma, Transport Porous Media 89 (2011) 35-48
Luckos, A., J. R. Bunt, Fuel 90 (2011) 917-921
Nemec, D., J. Levec, Chem. Eng. Sci. 60 (2005) 6947-6957
Yu, B., Applied Mechanics reviews 61 (2008) 1-19
Yu, B., P. Cheng, International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) 2983-2993
Yu, B., J. Li, Fractals 9 (2001) 365-372
Wu, J., B. Yu, International Journal of Heat and Mass Transfer 50 (2007) 3925-3932
Boyer, C., C. Volpi, G. Ferschneider, Chem Eng Sci 62 (2007) 7026-7032
Nijemeisland, M., A. G. Dixon, E. H. Stitt, Chemical Engineering Science 59 (2004) 5185 – 5191

Study of pressure drop across a fixed bed of non-spherical particles

Amara FEZOUA^a, Clémence NIKITINE^a, Marie-Line ZANOTA^a, Nik LYGEROS^a, Isabelle PITAULT^{a**} et Marie BASIN^b

^a Laboratoire de Génie des Procédés Catalytiques, UMR 5285, LGPC-CNRS-CPE Lyon, 43 bd du 11 Novembre 1918, 69616 Villeurbanne Cedex

^b Air Liquide CRCD, 1 chemin de la porte des loges, 78354 Jouy-en-Josas

Abstract

Our study concerns the improvement of catalytic materials for gas solid reactions used in industrial processes. The reactors considered are fixed bed reactors and their performance usually depends on mass and heat transfer. One limitation of these processes could also be the pressure drop across the catalytic bed which could increase the power consumption and so the production cost. Usually, these limitations are due to the catalysts used, which, in function of their form and size, can completely amplify the phenomena.

Our project consists in the design and the optimization of new structures to use them as catalyst substrate, to enhance the current commercial processes performances. To start this study, commercial pasta were used, because they are easily produced by extrusion, they offer a wide range of form and are particularly cheap. Our preliminary study shows that there is a relationship between the pressure drop and the flow rate and the porosity of the bed. However the experimental results are not very close to the analytic solution obtained by Ergun's equation. The study highlights that the bed filling method is a parameter inducing different orientation angles of pellets and then different hydrodynamic behaviours.

Keywords : Pressure drop, Heterogeneous catalysis, hydrodynamics.

* Auteur à qui la correspondance devrait être adressée : isabelle.pitault@lgpc.cpe.fr