



HAL
open science

Écoulement transversal de poudres cohésives en four tournant : étude expérimentale et modélisation

Marie Debacq, André Feugier, Didier Hartmann, Fabrice Patisson, Jean-Léon Houzelot, Denis Ablitzer

► **To cite this version:**

Marie Debacq, André Feugier, Didier Hartmann, Fabrice Patisson, Jean-Léon Houzelot, et al.. Écoulement transversal de poudres cohésives en four tournant : étude expérimentale et modélisation. Congrès de la Société Française de Génie des Procédés - SFGP2001, SFGP, Oct 2001, Nancy, France. pp.103-110. hal-01500234

HAL Id: hal-01500234

<https://hal.science/hal-01500234>

Submitted on 14 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

ÉCOULEMENT TRANSVERSAL DE POUDRES COHÉSIVES EN FOUR TOURNANT : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET MODÉLISATION

M. DEBACQ^{1,2}, A. FEUGIER³, D. HARTMANN⁴, F. PATISSON¹, J.L. HOUZELOT², D. ABLITZER¹

¹ Laboratoire de Science et Génie des Matériaux Métalliques (UMR 7584),
Ecole des Mines de Nancy, Parc de Saurupt, 54042 NANCY cedex

² Laboratoire des Sciences du Génie Chimique (UPR 6811),
ENSIC, 1 rue Grandville, BP 451, 54001 NANCY cedex

³ F.B.F.C., Direction Technique, B.P. 1114, 26140 ROMANS cedex

⁴ COGEMA, B.P. 16, 26701 PIERRELATTE cedex

thème : 9

mots clés : four tournant, loi de déchargement, releveur, poudre cohésive, analyse d'image.

introduction

Au cours du cycle du combustible nucléaire, l'uranium sous forme d'hexafluorure est enrichi par diffusion gazeuse. A la sortie de l'usine d'enrichissement, l' UF_6 appauvri doit être converti en U_3O_8 pour permettre un stockage garantissant la sécurité (conversion réalisée par COGEMA) ; tandis que l' UF_6 enrichi est converti en UO_2 pour la fabrication des pastilles destinées aux réacteurs des centrales nucléaires (fabrication réalisée par F.B.F.C.). Ces deux conversions sont en réalité identiques (U_3O_8 est un produit intermédiaire de la transformation $UF_6 \rightarrow UO_2$), et réalisées dans des réacteurs très similaires : l' UF_6 est hydrolysé en phase gazeuse dans un réacteur vertical, puis la poudre d' UO_2F_2 formée est convertie en U_3O_8 solide (ou UO_2 solide) dans un four tournant légèrement incliné par rapport à l'horizontale.

L'écoulement transversal des poudres dans ces fours tournants conditionne fortement les échanges de chaleur et de matière, en particulier au niveau de la qualité et de la durée du contact gaz / solide. En nous appuyant sur les techniques d'analyse d'image, nous avons mesuré expérimentalement la loi de déchargement des releveurs. Parallèlement, en nous appuyant sur les travaux antérieurs, nous avons calculé théoriquement cette loi à l'aide de considérations géométriques. Enfin nous avons utilisé cette loi pour calculer la répartition moyenne de la poudre dans un section transversale de four.

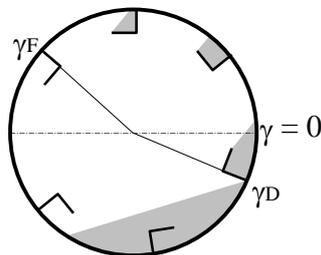
revue des travaux antérieurs

L'étude de l'écoulement transversal d'une charge solide dans un four tournant a fait l'objet de nombreuses publications. La plupart concernent le mouvement de cette charge dans des fours le plus souvent dépourvus d'équipements internes. On peut citer en particulier les travaux de Henein.

Kelly et Blumberg ont tout d'abord déterminé théoriquement puis vérifié expérimentalement une loi de déchargement (relation entre le chargement d'un releveur –la fraction de volume de poudre contenue dans un releveur– et sa position angulaire). A partir de cette loi, ils calculent la surface de contact gaz / solide.

étude expérimentale

Dans la présente étude, le mouvement transversal des poudres d' UO_2F_2 , d' U_3O_8 type COGEMA, d' U_3O_8 type FBFC et d' UO_2 a été examiné en détail, tout d'abord à température ambiante dans deux maquettes, représentant chacune une tranche du four industriel correspondant, avec le même diamètre et les mêmes équipements internes. Le mouvement transversal des poudres est filmé à l'aide d'un caméscope numérique à travers la face en verre prévue à cet effet. Puis les films obtenus sont analysés de manière semi-automatique : sur chaque image, on mesure la fraction ξ de poudre contenue dans un releveur en fonction de sa position angulaire γ . La loi de déchargement ainsi obtenue est invariante avec le taux de remplissage, la vitesse de rotation, le type de poudre ou de four utilisé. Ainsi, dans les domaines de variation explorés; $\xi = 0,00012 \cdot (\gamma_F - \gamma)$ entre $\gamma_D = -18^\circ$ et $\gamma_F = 131^\circ$. γ_D et γ_F sont respectivement les angles de début et de fin de déchargement, comme illustré ci-dessous.



Le comportement de la charge solide pouvant être différent à température ambiante et aux températures rencontrées dans le procédé, il est nécessaire d'étudier le déchargement d'un releveur à différentes températures. Nous avons mis en œuvre une installation spécifique dans un four approprié, pour quantifier le déchargement des différentes poudres dans un releveur unique monté sur un axe. Il n'y a pas d'influence notable de la température sur le déchargement de UO_2F_2 (dans le domaine de température où UO_2F_2 ne se décompose pas). Dans le cas des oxydes d'uranium, la loi de déchargement vers $600-800^\circ C$ est $\xi = 0,00035 \cdot (\gamma_F - \gamma)$, entre $\gamma'_D = 84^\circ$ et γ_F .

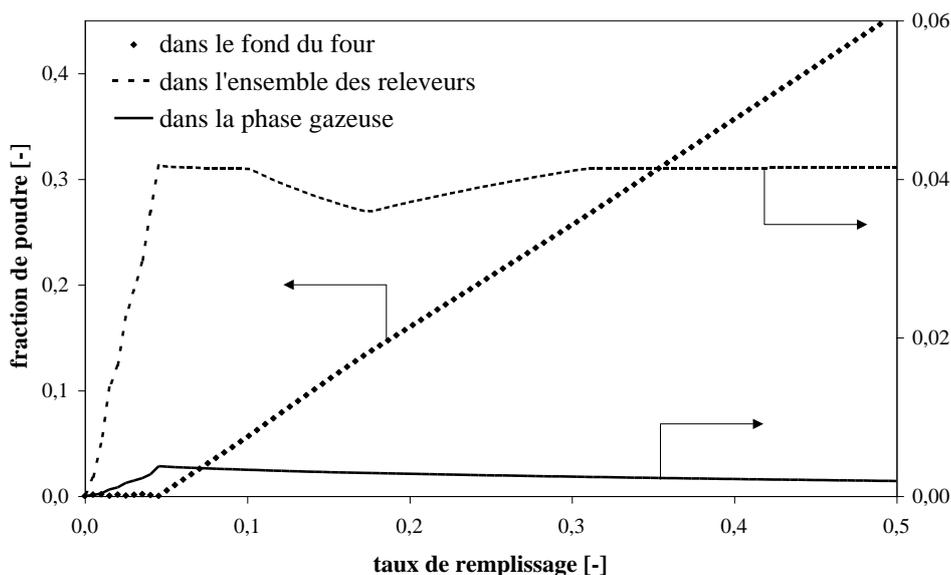
Pour les poudres cohésives étudiées, il est très difficile de définir une taille de particule, et par conséquent de calculer une vitesse de chute à travers le gaz. Nous avons donc opté pour une mesure directe de cette

vitesse, à l'aide du montage utilisé pour les déchargements à chaud. On mesure directement sur les films obtenus une vitesse de chute de l'ordre de 1 m/s.

modélisation

Si l'on fait l'hypothèse d'un angle d'avalanche δ constant, il est possible de calculer géométriquement la fraction ξ de poudre contenue dans un releveur en fonction de sa position angulaire γ . On distingue 4 domaines présentant des géométries différentes, et limités par 5 positions particulières, soit 9 expressions de ξ qui ne seront pas détaillées ici. A partir de ces expressions, nous avons calculé la loi de déchargement, et nous avons comparé les résultats obtenus avec les résultats expérimentaux. Étant donnée la forte dispersion des mesures d'angle d'avalanche, plusieurs valeurs de δ ont été testées : la valeur moyenne mesurée (68°), la valeur calculée ($\delta = \gamma_F - 90^\circ = 41^\circ$), et une valeur moyenne intermédiaire (55°). Les deux courbes correspondant à $\delta = 41^\circ$ et $\delta = 68^\circ$ encadrent la plupart des mesures expérimentales, et pour la valeur intermédiaire $\delta = 55^\circ$, on a un bon accord entre l'approche théorique et les résultats expérimentaux.

La loi de déchargement d'une part, et la vitesse de chute d'autre part, complétées par des considérations géométriques, nous permettent de calculer, pour un taux de remplissage Z et une vitesse de rotation ω données, la fraction de poudre η_R relevée par l'ensemble des releveurs, la fraction de poudre η_G présente dans le gaz, ainsi que la fraction η_F de poudre restant dans le fond du four. La procédure de calcul ne sera pas détaillée ici. Les résultats indiquent que, dans les conditions de fonctionnement des fours industriels, la fraction η_G est toujours très faible. Le graphique ci-dessous illustre les variations des trois fractions η_F , η_R et η_G avec le taux de remplissage dans le four COGEMA pour de la poudre d' U_3O_8 . La vitesse de rotation a très peu d'influence sur η_R , tandis que η_G varie proportionnellement à ω^{+1} .



Ces informations sont précieuses dans le cadre d'une modélisation globale du procédé, en particulier elles permettent d'accéder à la valeur de toutes les surfaces d'échange thermique, et de quantifier l'influence des aspects diffusionnels sur les réactions chimiques mises en jeu.

Blumberg W., Schünder E.U., Transversale Schüttgutbewegung und konvektiver Stoffübergang in Drehrohren - Teil 1 / Ohne Hubschaufeln - Teil 2 :Mit Hubschaufeln, Chemical Engineering and Processing, vol. 35, pp. 395-404 ; 405-411 (1995)

Henein H., Brimacombe J.K., Watkinson A.P., Experimental Study of Transverse Bed Motion in Rotary Kilns, Metallurgical Transactions B, vol. 14B, pp. 191-205 (1983)

Kelly J.J., O'Donnell P., Flight design in rotary dryers, Drying technology, vol. 10, n° 4, pp. 979-993 (1992)