Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 102 (1976)

Heft: 24

Artikel: Absorption d'un gaz par un liquide sur des surfaces plastiques et métalliques

Autor: Javet, Philippe / Schneider, Bernard / Ponter, Antony B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72963

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Absorption d'un gaz par un liquide sur des surfaces plastiques et métalliques[1]

par PHILIPPE JAVET, BERNARD SCHNEIDER et ANTONY B. PONTER, Lausanne

1. Introduction

L'absorption est une opération unitaire de transfert de matière, dans laquelle un constituant est transféré de la phase gazeuse à la phase liquide. Cette opération est conduite en continu, en général dans une colonne, comportant un garnissage permettant de mettre en contact intime les deux phases entre lesquelles doit se faire le transfert. La figure 1 représente le schéma d'une colonne d'absorption à garnissage. Dans le cas du lavage d'un gaz, ne comportant qu'une très faible concentration du composant à absorber, on peut écrire $\dot{L}_e = \dot{L}_s$ et $\dot{G}_e = \dot{G}_s$.

Un modèle suffisant pour décrire les phénomènes se déroulant dans une colonne d'assez grandes dimensions de ce type a été développé par Lewis et Whitman [1][2], [2] : c'est le modèle à deux films schématisé à la figure 2. La résistance totale au transfert est située dans deux minces films, l'un du côté gaz, et l'autre du côté liquide. A l'interface, l'équilibre pression partielle dans le gaz, P_i — concentration dans le liquide c_i — est atteint. Dans le cas général, on a donc deux résistances distinctes pour le transfert, l'une située dans le gaz, due au fait qu'il faut transférer les molécules à absorber du sein du gaz vers l'interface, et l'autre dans le liquide, due au fait qu'il faut transporter les molécules ayant passé l'interface vers l'intérieur du liquide. La vitesse globale du phénomène d'absorption, et donc son rendement ou son efficacité, dépendra de la combinaison de ces deux résistances en série. Si le gaz est peu soluble (CO_2, O_2, N_2), le film liquide sera rapidement saturé, et le transfert sera lent du côté liquide. On dira que le transfert global est limité ou contrôlé par le film liquide.

Si le gaz est très soluble, par contre (NH_3, HCl), le film gazeux sera appauvri, et le phénomène global sera contrôlé par le transfert dans le gaz [3].

L'absorption de SO_2 dans l'eau est caractérisée par des résistances du film gazeux et du film liquide, qui sont du même ordre de grandeur. Du point de vue de l'efficacité de l'absorption, il est donc nécessaire de diminuer autant que possible les résistances et du côté gaz, et du côté liquide. On peut caractériser cette « efficacité » au niveau des deux films en termes de conductivité de surface, appelée coefficient de transfert de matière k. Cependant, dans une colonne continue, il est souvent plus intuitivement satisfaisant de parler de la hauteur sur laquelle la concentration moyenne du gaz à épurer aura été abaissée à la valeur d'équilibre $c_i - p_i$, appelée H_{oG}. Cette hauteur correspond donc à la longueur de colonne nécessaire pour obtenir un étage théorique d'épuration. Lorsque les deux « résistances » au transfert sont comparables, cette hauteur dépendra de la combinaison de leurs valeurs relatives.

[1] Texte d'un exposé présenté par Ph. Javet à la deuxième Journée de Génie chimique SIA - EPFL, le jeudi 11 décembre 1975. Certains des résultats du présent mémoire ont été publiés dans *Verfahrenstechnik 10* (1976) n° 3, p. 125-129.

[2] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

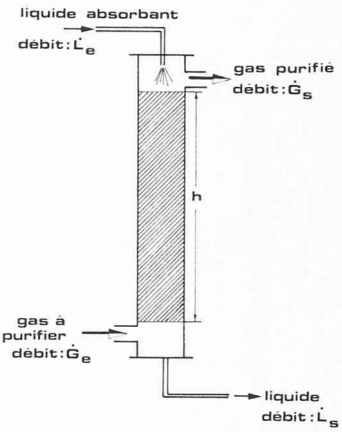

Fig. 1. — Schéma d'une colonne d'absorption.

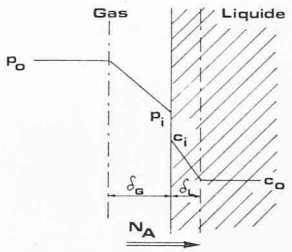

Fig. 2. — Nomenclature pour la théorie du double film [1], [2].

Pour l'absorption de SO_2 dans l'eau, il est relativement facile d'obtenir la valeur individuelle des résistances des films gazeux et liquides et ceci grâce à un artifice chimique, qui consiste à remplacer l'eau d'absorption par de la soude caustique. Dès son contact avec l'interface, le SO_2 est alors fixé chimiquement par la soude, sous forme de bisulfite et de sulfite [3], et le film liquide ne se sature pas tant qu'il reste un excès de NaOH. Cette manière de faire permet donc d'éliminer la résistance liquide, et donc d'estimer la résistance du gaz, ou le coefficient de transfert du côté gaz, ou encore la hauteur d'une unité de transfert si seul le film gazeux contrôle l'absorption : H_G.

Ces considérations ont des implications sur la technologie du procédé d'absorption. Pour le SO_2, on cherchera à avoir une turbulence élevée du gaz, pour diminuer la résistance du film gazeux, et simultanément un bon mélange du liquide pour éviter que celui-ci ne se sature, au voisinage de l'interface. C'est ce que doit accomplir le corps de remplissage.

Mais cette seule distinction, basée sur les résistances de film, est trop schématique et trop sommaire pour rendre compte complètement du fonctionnement d'une colonne d'absorption. En effet, le transfert global dépendra également de la surface de contact des deux phases entre lesquelles se déroule l'échange. On peut dire que le transfert sera d'autant plus efficace que la surface de l'interface gaz-liquide sera élevée. Or le corps de remplissage peut augmen-

ter cette surface, à condition qu'il soit mouillé par le liquide. Pour un bon transfert, il faut donc chercher à atteindre un haut degré de mouillage.

Cette dernière considération semble imposer que la surface solide du corps de remplissage doit être une surface à haute énergie, telle un métal, où l'eau s'étale en film mince, et qu'elle ne saurait être constituée d'un plastique, surface à faible énergie, qui conduit à des angles de contact élevés. Cependant, il ne faut pas oublier qu'une faible énergie de surface est liée à une faible adhérence du liquide sur la surface. De ce fait, le flux gazeux pourra arracher aisément des gouttelettes qui formeront alors un brouillard à haute surface spécifique et donc intéressant pour le transfert. Il est de ce fait nécessaire d'aller voir de plus près les phénomènes qui se déroulent, et de caractériser de façon plus détaillée l'absorption sur l'un ou sur l'autre des deux types de surfaces, dont les propriétés principales peuvent être résumées par : métal : haute énergie de surface → formation de film mince → bon mouillage ; plastique : faible énergie de surface → mauvais mouillage, mais faible adhérence → formation de gouttelettes → haute surface spécifique.

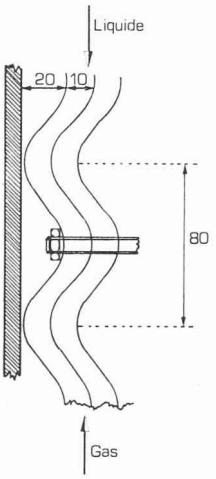

Fig. 3. — Schéma du corps de remplissage utilisé.

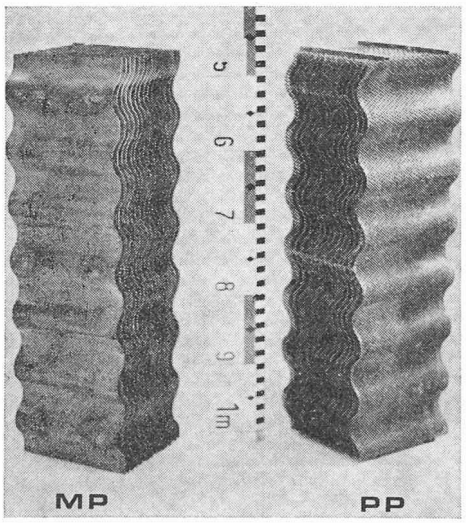

Fig. 4. — Un élément des corps de remplissage en tôle de fer pleine (MP) et en tôle perforée (PP).

2. Mesures effectuées, appareillage

Pour comparer l'effet de ces deux types de surface sur l'absorption, des corps de remplissage constitués de paquets de tôles ondulées fixées ensemble à une distance de 10 mm et constituant un paquet de 55 cm de hauteur et de 17 × 17 cm de section ont été construits. La figure 3 représente un schéma de ce corps de remplissage. La longueur d'onde de l'ondulation était de 80 mm, et son amplitude de 20 mm. Quatre paquets de ce type peuvent prendre place dans la colonne, l'un sur l'autre ; chaque paquet étant entassé sur le précédent avec un angle de 90°. Trois types de surface ont été étudiés :

1) le métal nu : tôles de Fe désignée par MP ;
2) le métal perforé (∅ 3 mm, écartement 5 mm) désigné par PP (fig. 4) ;
3) surface recouverte d'un film PTFE collé avec une résine époxy, désigné par PT (fig. 5).

Le schéma de l'installation de mesure est donné à la figure 6.

L'air produit par un ventilateur à haute pression est humidifié par pulvérisation d'eau en 2, l'excès d'eau étant

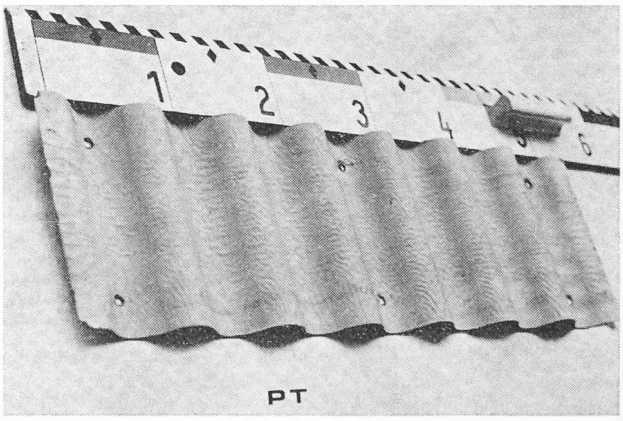

Fig. 5. — Photographie d'une tôle du remplissage PT.

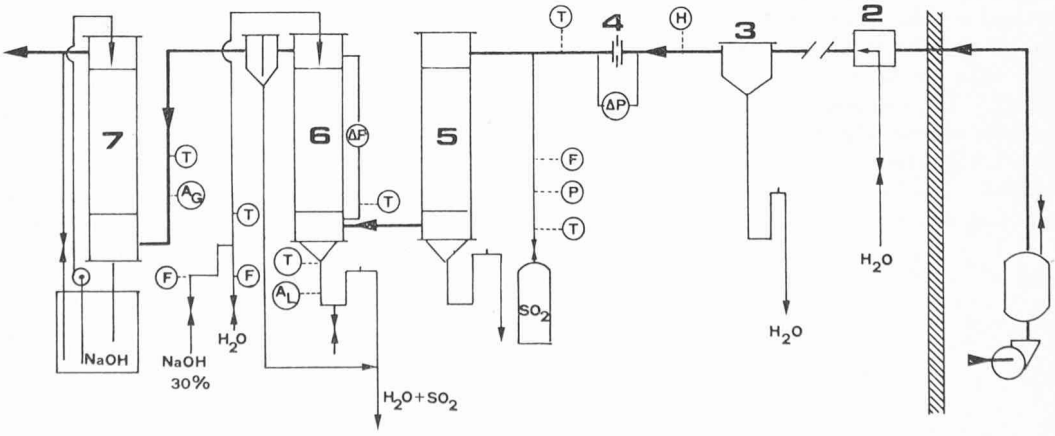

Fig. 6. — Schéma de l'installation de mesure. Pour les symboles, voir texte.

retiré en 3. Le débit est déterminé par la perte de charge dans un diaphragme 4, puis le SO_2 est ajouté en quantité déterminée (en général 0,2 %) par son débit, sa pression et sa température. Dans une première colonne 5 à garnissage, sèche, les deux gaz sont soigneusement mélangés, puis envoyés dans la colonne d'absorption elle-même 6. Le gaz sortant est débarrassé de ses dernières traces de SO_2 dans une colonne de garde 7, alors qu'un échantillon est prélevé pour analyse.

Le liquide (eau ou NaOH) est alimenté au haut de la colonne et réparti, par un distributeur, en film sur les tôles du remplissage. Un échantillon du liquide sortant est prélevé pour analyse. La perte de charge peut être mesurée par des manomètres.

De plus amples détails expérimentaux sont reportés dans une autre publication [4].

3. Résultats

Parmi les résultats obtenus [4] trois aspects permettent de mettre en lumière les caractéristiques d'absorption sur des surfaces plastiques. Ce sont :

1) Les pertes de charge : $\frac{\Delta p}{h}$, qui mesurent le transfert d'impulsion hydrodynamique d'une phase à l'autre.
2) Les hauteurs d'unités de transfert H_G ou H_{oG}, qui mesurent le transfert de matière d'une phase à l'autre.
3) L'efficacité globale tenant compte des deux aspects ci-dessus.

3.1 *Pertes de charge*

Les résultats obtenus sur le remplissage MP sont donnés à la figure 7, on distingue les trois segments qui correspondent aux hypothèses qu'avait avancées Sarchet [5]. Sur la même figure sont représentées d'une part les pertes de charge de la colonne sèche et, d'autre part, aux fins de comparaison, celles reportées dans la littérature pour des grilles [6], [7] et des anneaux de Raschig [5].

Dans le premier segment, le film liquide continu sur les tôles du remplissage diminue de la valeur de son épaisseur la section libre pour le passage du gaz. Cette augmentation de la vitesse superficielle rend compte des pertes de charge plus élevées, mais de même pente que celle observées en colonne sèche. Le liquide, en écoulement continu, n'est pas mélangé par le gaz.

Dans le deuxième segment, une partie de l'énergie du gaz est transférée au liquide, qui s'en trouve mélangé. La pente est plus élevée. Cette région est en général caractérisée par son nom anglais de « overloading ».

Le troisième segment correspond au début de l'engorgement de la colonne qui ne correspond pas, comme dans les remplissages à haute porosité, à une pente infinie. Cependant, cette région est instable.

Les courbes de perte de charge sur les remplissages MP sont donc interprétables comme découlant de la formation d'un film liquide continu.

Pour le remplissage recouvert de PTFE (PT) les résultats sont donnés à la figure 8. Sur ce remplissage, non mouillé par l'eau, on constate immédiatement que les Δp sont beaucoup plus élevés. Ceci parce que, dès les faibles débits, des gouttelettes sont arrachées du support. Cet arrachement, d'une part observable à l'œil, est confirmé par le fait que l'on n'a pas de régions où les Δp de la colonne mouillée sont parallèles à ceux de la colonne sèche. Dès les petits débits, liquides et gazeux, les deux flux interfèrent et la région d'engorgement disparaît elle aussi, probablement à cause de l'écoulement sur les parois.

On a donc dans ce cas un type d'écoulement fondamentalement différent, que nous appelerons discontinu (écoulement en filets ou « rivulet flow »), par opposition à l'écoulement continu sur les plaques métalliques. Du point de vue des pertes de charge, ce type d'écoulement est donc caractérisé par

— des Δp élevés,

— un seul segment.

La figure 9 représente les résultats sur le remplissage en tôle perforée. Le type d'écoulement et les pertes de charge représentent une combinaison des deux types extrêmes précédents : à faible débit, l'écoulement est continu sous forme d'un film liquide, alors qu'à débit plus élevé le

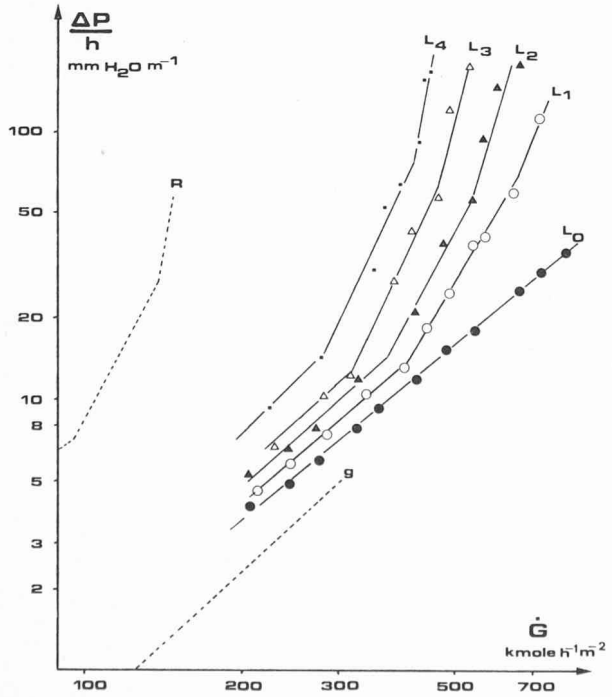

Fig. 7. — Pertes de charge du remplissage MP.

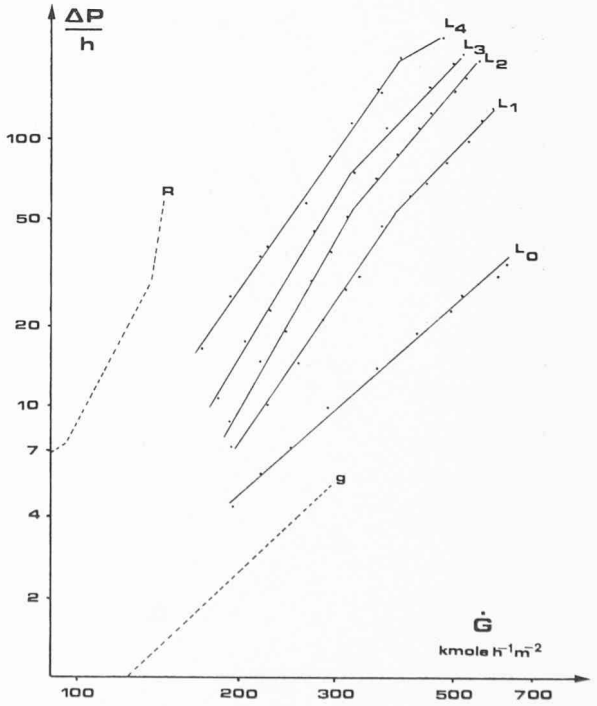

Fig. 8. — Pertes de charge du remplissage PT.

TABLEAU 1

Remplissage	MP A	MP α	PT A	PT α	PP A	PP α	Raschig A	Raschig α	Grilles A	Grilles α
Débits										
$\dot{L} = 20\,800$	$0{,}77 \cdot 10^{-7}$	3,3	$0{,}17 \cdot 10^{-5}$	2,9	$0{,}5 \cdot 10^{-12}$	5,5				
$= 45\,000$	$0{,}67 \cdot 10^{-7}$	4,0	$0{,}2 \cdot 10^{-6}$	3,4	$0{,}1 \cdot 10^{-10}$	5,1				
$= 69\,200$	$0{,}43 \cdot 10^{-6}$	4,2	$0{,}23 \cdot 10^{-6}$	3,8	$0{,}3 \cdot 10^{-10}$	5,1				
$= 100\,400$	$0{,}18 \cdot 10^{-9}$	4,5	$0{,}2 \cdot 10^{-4}$	2,7	$0{,}8 \cdot 10^{-8}$	4,3				
$\dot{L} = 48\,500$ $95 < \dot{G} < 135$							$0{,}23 \cdot 10^{-6}$	3,8		
$\dot{L} = 19\,500$ $\dot{G} < 300$									$0{,}17 \cdot 10^{-3}$	1,8

passage du gaz à travers les perforations du métal provoque une rupture du film liquide analogue à celles observées dans l'écoulement discontinu.

Johnstone et Singh ont proposé de représenter les différents segments des courbes de perte de charge par l'équation :

$$\frac{\Delta p}{h} = A \cdot \dot{G}^{\alpha}$$

Le domaine de travail intéressant pour l'absorption est situé dans le segment « overloading », et les valeurs des paramètres A et α, pour ce segment, sont données au tableau 1.

3.2 *Transfert de matière*

La hauteur globale de l'unité de transfert en fonction du débit gazeux $\dot{G}$ pour les deux remplissages métalliques PP et MP est donnée à la figure 10. On y constate d'une part la très haute efficacité du type PP et, d'autre part, pour le remplissage MP, que les HUT ont tendance à augmenter avec $\dot{G}$ et à diminuer avec L. D'autre part, les valeurs de H_{oG} sont faibles de 0,2 m (PP) à 1 m (MP, L_1), et c'est précisément le remplissage ayant une forme d'écoulement intermédiaire entre continu (film) et discontinu (filets) qui conduit aux meilleures performances.

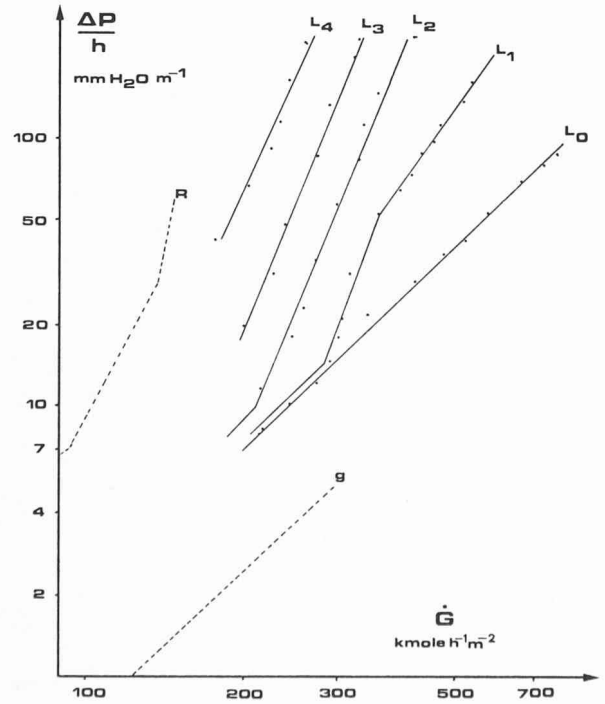

Fig. 9. — Pertes de charge du remplissage PP.

La figure 10 représente aussi les résultats de transfert de matière obtenus avec la surface PTFE. On remarquera d'une part les hauteurs d'unité de transfert beaucoup plus élevées, c'est-à-dire les efficacités moins bonnes obtenues avec ce type de remplissage. D'autre part, les pentes négatives obtenues montrent que l'écoulement discontinu a *augmenté* le transfert du côté liquide. Un bon mélange des couches liquides est donc atteint avec ce type de remplissage.

Une des raisons de l'efficacité moins élevée du remplissage à faible énergie de surface réside dans le fait qu'une partie de la phase liquide s'écoulant sur le remplissage est chassée sur la paroi. Ce liquide s'écoulant sur les parois ne participe que peu au transfert global, et constitue évidemment un des inconvénients d'une surface PTFE.

La hauteur d'une unité de transfert d'un remplissage renseigne sur son efficacité physique. Cependant, pour se faire une idée plus précise de l'intérêt que peut avoir un nouveau type de remplissage et de son domaine d'application, il est nécessaire de tenir compte simultanément de la hauteur d'unité de transfert et des pertes de charge. En multipliant H_{oG} par $\frac{\Delta p}{h}$ (perte de charge par unité de

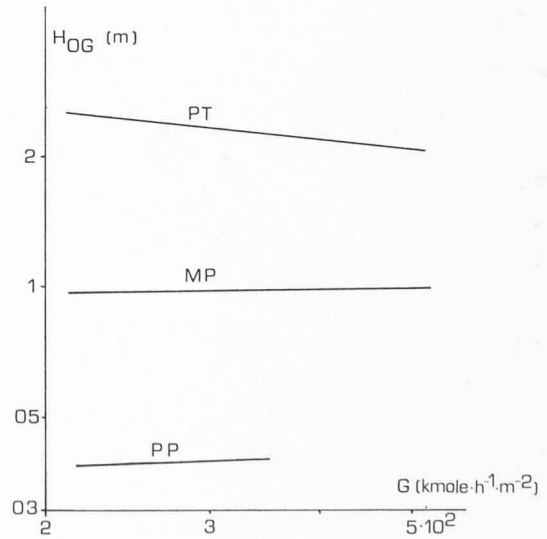

Fig. 10. — Hauteur globale de l'unité de transfert H_{oG}, pour les trois types de surface.

longueur), on obtient une expression possédant les unités d'une énergie par unité de volume (Joule m^{-3}) et qui représente physiquement l'énergie à fournir par unité de volume de la colonne, pour obtenir une unité de transfert. Les remplissages comparés selon ce critère seront d'autant plus efficaces économiquement parlant que leur valeur caractéristique sera basse.

Sur la base de résultats publiés dans la littérature, on peut établir une comparaison des résultats précédents et de ceux de divers auteurs. La figure 11 montre cette comparaison. On doit noter tout d'abord que la comparaison est faite sur la base des hauteurs de transfert rapportées au film gazeux, car la littérature est plus riche d'exemples calculés sur cette base.

On remarque que les défauts inhérents à une surface PTFE apparaissent avec une clarté particulière dans cette représentation. Le remplissage PT est celui qui donne la moins bonne caractéristique.

A faibles débits, le plus intéressant de nos remplissages a été le PP, mais son domaine d'intérêt est limité.

Pour une utilisation dans un domaine de $\dot{G}$ plus large, c'est le remplissage MP qui est le meilleur.

Les valeurs reportées dans la littérature pour divers systèmes sont désignées par g_1, g_2, g_3 et g_4 qui représentent divers types de grilles [6], [7], [8]. La lettre R désigne des essais faits avec des anneaux de Raschig [5], [9] qui d'ailleurs seraient inutilisables aux hautes vitesses de gaz employées dans cette étude.

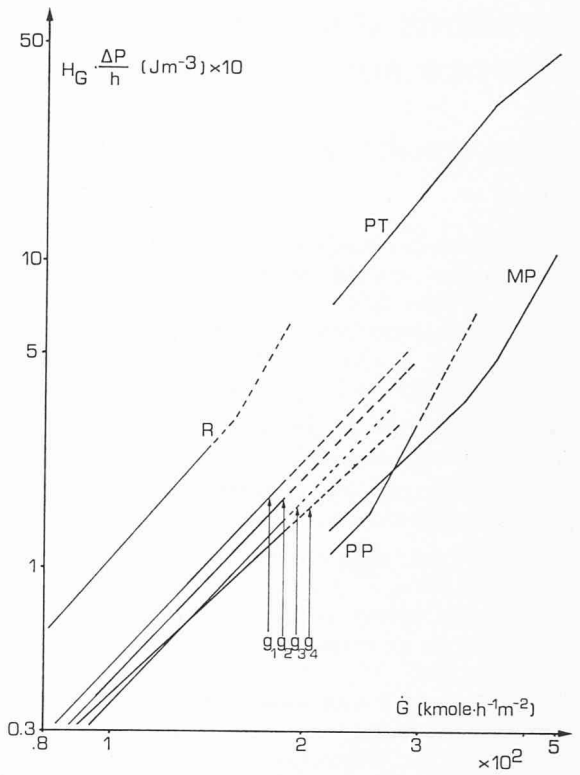

Fig. 11. — Comparaison de l'efficacité combinée de divers remplissages.

4. Conclusions

Les corps de remplissage métalliques étudiés possèdent un intérêt indiscutable en absorption, par rapport aux corps de remplissage traditionnels. Les remplissages à basse énergie de surface, par contre, sembleraient moins intéressants. Ils provoquent en effet des pertes de charge notablement plus élevées que les corps de remplissage métalliques, et leur efficacité pour le transfert de matière n'atteint pas non plus celle observée sur d'autres types de remplissage. Cependant, il est nécessaire de préciser trois points importants :

1) Du fait de la faible adhérence du liquide sur le PTFE, une partie importante du débit liquide peut s'écouler sur les parois de la colonne, et ne participer de ce fait que peu au transfert. On peut noter que d'une part des colonnes de dimensions plus élevées (⌀ de la colonne : 17 cm) diminueront l'importance de ce phénomène. D'autre part, il est nécessaire d'avoir sur les parois une énergie de surface ≪ que celle du remplissage.

2) Les essais faits avec un remplissage (PP) où l'écoulement hydrodynamique était intermédiaire entre l'écoulement continu (film) sur une surface mouillée et l'écoulement discontinu (gouttes) du PTFE ont montré qu'entre ces deux extrêmes se trouve un domaine optimal où l'on peut tirer avantage des caractéristiques de ces deux types d'écoulement.

3) Les essais décrits ici n'ont porté que sur une seule géométrie, qui, pour être bonne, n'est peut-être pas optimale, et d'autre part sur des surfaces homogènes, soit entièrement métal, soit entièrement PTFE. Un travail d'optimalisation est nécessaire pour trouver la meilleure configuration.

Références Bibliographiques

[1] J. Lewis : *J. Ind. Eng. Chem. 8*, 825 (1916).

[2] W. G. Whitman : *Chem. and Met. Eng. 29*, 146 (1923).

[3] D. W. van Krevelen, P. J. Hoftijzer : *Chem. Eng. Sci. 2*, 145 (1953).

[4] B. Schneider : Thèse de doctorat EPFL nº 214 (1975).

[5] B. R. Sarchet : *Trans Am. Inst. Chem. Eng. 38*, 253 (1942).

[6] M. C. Molstad, L. F. Parsly : *Chem. Eng. Progress 46*, 20 (1950).

[7] W. S. Norman : *Trans. Inst. Chem. Eng. 29*, 226 (1951).

[8] H. F. Johnstone, A. D. Singh : *Ind. Eng. Chem. 29*, 286 (1937).

[9] M. C. Molstad, R. G. Abbey, A. R. Thompson, J. F. McKinney : *Trans. Am. Inst. Chem. Eng. 38*, 387 (1942).

Adresses des auteurs

Philippe Javet, professeur
Bernard Schneider, Dr ès sc.
Antony B. Ponter, professeur
Institut de génie chimique de l'EPFL
Rue du Centre
1025 Saint-Sulpice

A nos abonnés

Nos abonnés trouveront encarté dans ce numéro un bulletin de versement, destiné à leur permettre le renouvellement de leur abonnement. Comme il ne sera pas envoyé de facture séparée, nous les invitons à utiliser ce bulletin avant la fin de l'année, afin d'éviter les frais d'un remboursement postal. Les prix des abonnements demeurent inchangés pour 1977. Nous profitons de remercier ici nos abonnés de l'appui qu'ils nous témoignent par leur fidélité.

Les membres des sections vaudoise, genevoise et jurassienne de la SIA ne sont pas concernés, le montant de leur abonnement à prix réduit étant perçu avec les cotisations SIA.