

PHENOMENE DE TRANSFERT DE MATIERE DANS L'EXTRACTION PAR SOLVANT DE L'HUILE A PARTIR DE LA GRAINE D'ARACHIDE

Cheikh T. MBAYE⁽¹⁾, Dominique DEPEYRE⁽²⁾, Arsène ISAMBERT⁽²⁾,
Demba SOW⁽¹⁾

*(1) Laboratoire de Biotechnologie. Ecole Supérieure Polytechnique Université Cheikh
Anta Diop. BP 5085 Dakar SENEGAL.*

*(2) Laboratoire de Chimie et de Génie des procédés. Ecole Centrale Paris. Chatenay-
Malabry, 92295 FRANCE*

(Reçu le 25 février 1998 - Révisé le 25 janvier 1999)

Summary : The phenomena of diffusion extraction of oil seed examined in the lights peanut oil solvent extraction. The mass transfert model used is a synthesis of limit layer model and penetration model. The results closely follow experiences results excepted in the beginning of extraction where deviation is noted. The determination of diffusion coefficient gives a constant value. Peanut kernels were prepared and extracted in a such a manner as to meet the condition required by the diffusion theory derived from Fick's law. The techniques and conclusion presented may be of assistance in studying extraction from other oil seed systems.

Key words : peanut, oil, solvent extraction, mass transfer, modelisation

I - INTRODUCTION

Dans l'opération d'extraction, la graine d'arachide est représentée comme un système composé d'un support insoluble constitué par la matière solide et un soluté qui est l'huile à extraire, soluble dans un solvant. Le soluté dissout doit diffuser vers l'extérieur du solide. La principale difficulté rencontrée dans l'étude de telle opération est la détermination du coefficient de transfert de matière[1].

En général, les modèles de prévision des coefficients de transfert de matières sont basés soit sur l'hypothèse que la vitesse de diffusion du soluté dans le fluide au contact de l'interface est grande de telle sorte

que le gradient de concentration gouvernant le transfert est établi instantanément (modèle couche limite), soit qu'au contraire ce gradient ne cesse de changer durant l'exposition de l'élément du fluide à l'interface du fait d'une vitesse de diffusion lente dans cet élément au regard du temps caractéristique (modèle de pénétration). Dans cette étude, nous avons utilisé une synthèse de ces modèles pour mieux rendre compte des observations expérimentales.

II - TRANSFERT DE MATIERES ENTRE DEUX PHASES

Les opérations de séparation par transfert de matière du système diphasique constituent un des problèmes les plus complexes de la physico-chimie macroscopique [2]. Elles se font souvent avec des écoulements turbulents auxquels s'ajoutent des phénomènes de transfert de chaleur et de matière qui dépendent eux-mêmes des écoulements et peuvent, en retour, les modifier [3]. Or, la mécanique des fluides elle-même ne connaît pas de solutions exactes des équations de Naviers-Stokes dans le cas général d'un fluide en écoulement turbulent [4]. On est donc conduit à utiliser des modèles pour décrire ces écoulements.

II.1 - Modèle de la couche limite

Ce modèle établi par Lewis [5] repose sur les hypothèses suivantes :

- La phase considérée est partagée en deux régions distinctes. Le cœur de la phase où l'agitation turbulente entraîne une concentration constante selon la direction normale de l'axe de transfert et une couche mince au voisinage de l'interface dite couche limite où le fluide est en écoulement laminaire.

- Dans la couche limite le transfert de matière est gouverné par une diffusion unidimensionnelle stationnaire.

- L'équilibre est réalisé à l'interface.

L'hypothèse du flux gouverné par la diffusion moléculaire stationnaire signifie que le régime stationnaire est établi instantanément dans la couche limite.

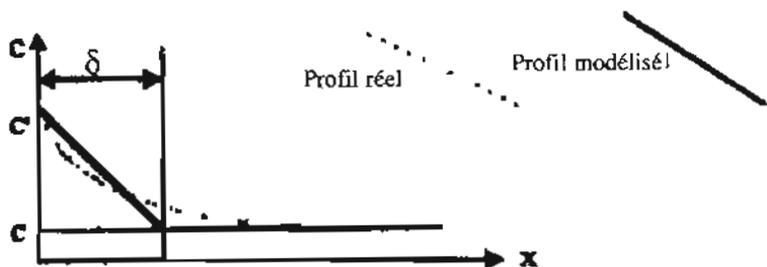


Figure 1 : Modèle de la couche limite. Profil de la courbe de concentration C du soluté suivant la direction du transfert.

Le coefficient de transfert est donné par [5] :
$$E = \frac{C_1}{C_1 - C} \frac{D}{\delta}$$

E = coefficient de transfert de matière

C_1 = concentration totale

C = concentration à l'instant t

D = coefficient de diffusion

δ = épaisseur de la couche mince

Le modèle de la couche limite fournit un coefficient de transfert proportionnel au coefficient de diffusion D .

II. 2 Modèle de la pénétration

Ce modèle établi par Higbie [6] est fondé sur les hypothèses suivantes :

- Le cœur de la phase à laquelle on applique le modèle est parfaitement agité ;
- Des tourbillons issus du cœur viennent à l'interface et y séjournent tous un temps identique au cours duquel ils échangent de la matière avec l'autre phase par des mécanismes de diffusion moléculaire unidirectionnelle avant de retourner se mélanger avec le cœur de la phase ;
- Les temps de réaction sont tels que le profil stationnaire de concentration n'est pas établi ;
- L'équilibre est réalisé à l'interface ;

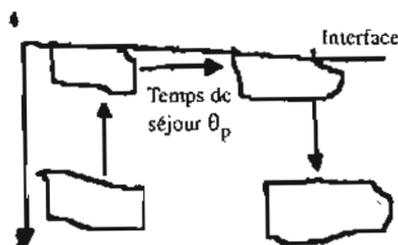


Figure 2 : Cycle suivi par un élément

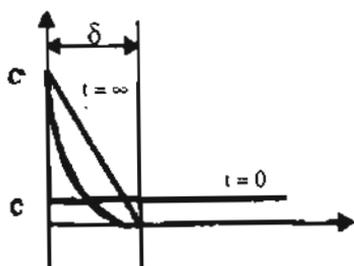


Figure 3 : Profil de la concentration de soluté suivant la direction de transfert

Si nous considérons le cas où la concentration du constituant est suffisamment faible pour que la contre-diffusion soit sans influence, la seconde loi de Fick décrivant le transfert prend la forme :

$$\frac{\partial C(t, x)}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C(t, x)}{\partial x^2} \right)$$

Les conditions aux limites appropriées sont :

$$C(t, 0) = C', \forall t \in 0, \text{ ce qui caractérise l'équilibre à l'interface ;}$$

$$C(0, Z) = C, \forall Z > 0 ;$$

$C(t, \infty) = C, \forall t \in 0$, car la profondeur de l'élément est supposée infinie devant la distance concentrée de la pénétration du soluté.

L'intégration de l'équation ci-dessus conduit à :

$$C(t, x) = C + (C' - C) \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot \theta_p}}} \right) \right]$$

$\theta_p = \text{temps de séjour}$

$$\text{avec } \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int \exp(-x^2) \cdot dx$$

$$\text{Le coefficient de transfert moyen est donné par : } E = 2 \cdot \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot \theta_p}}$$

II. 3 Modèle de transfert utilisé

Le modèle de la couche limite fournit un coefficient de transfert proportionnel à D , tandis que celui de la pénétration donne un coefficient proportionnel à $D^{1/2}$. Or, quand seuls des phénomènes de diffusion limitent le transfert, les coefficients expérimentaux de diffusion sont proportionnels à D^n avec n compris entre 0,5 et 0,9 [7].

Le modèle utilisé est le modèle synthétique couche limite / pénétration. Il est réalisable en admettant une pénétration moyenne, ce qui revient à donner à l'élément participant au transfert par diffusion moléculaire une épaisseur finie Δx .

La condition aux limites $C(t, \infty) = C$ devient $C(t, \Delta x) = C$

L'intégration de l'équation de la diffusion avec les nouvelles conditions aux limites donne [8] :

$$E = \frac{q}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(n-1)^2} \exp\left[-(2n+i)\pi^2 \frac{Dt}{(2a)^2}\right]$$

q = quantité de l'huile par unité de volume ou de poids de matière solide

q_0 = quantité initiale d'huile dans le solide

a = demi-épaisseur de l'écaïlle

en posant que le coefficient de transfert de matière E est égale au quotient de la quantité d'huile par unité de volume ou de poids de matière à un instant t (q) sur la quantité initiale d'huile dans le solide (q_0).

Les séries de cette équation convergent rapidement. Sauf pour les

très petites valeurs de t où on ne peut considérer que le premier terme.

$$E = \frac{q}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-\pi^2 \frac{Dt}{(2a)^2} \right]$$

La courbe $\log E = f(t)$ est une droite dont la pente sera utilisée pour déterminer le coefficient de diffusion.

III - EXPERIMENTATION

III.1 Préparation de l'échantillon

Les extractions ont été effectuées avec des graines d'arachide cultivées au Sénégal. Les graines décortiquées et les amandes avec la peau entassées verticalement dans un paquet en papier. Le paquet d'arachide est d'abord mis au réfrigérateur pendant une heure. Ensuite, on le charge de paraffine ordinaire pour imbiber les amandes. La réfrigération a pour but de protéger les amandes contre tout effet de chaleur quand elles sont en contact avec la paraffine en fusion. (56°C).

Il en résultera un bloc compact d'où seront prélevées, à l'aide d'un microtome réglable, des couches de différentes épaisseurs. Seules les sections coupées au milieu de l'amande seront utilisées pour l'expérimentation. Ceci pour optimiser la surface de contact et pour avoir des écailles les plus homogènes possibles. Les échantillons sont imbibés d'une grande quantité de paraffine. La paraffine doit donc être infiniment soluble dans le solvant utilisé pour pouvoir l'éliminer par lavage rapide de quelques secondes.

III. 2 Conduite de l'extracteur

L'extracteur utilisé est un extracteur Soxhlet de 70 ml de volume renfermant une cartouche poreuse en cellulose de 25 \times 80 mm qui va contenir l'échantillon. A l'extrémité inférieure de l'extracteur, il y a un ballon rond de 250 ml, tandis qu'à l'extrémité supérieure est montée un ampoule cylindrique à robinet de 100 ml par laquelle se fera l'ali-

mentation du solvant. Le solvant va donc traverser la matière solide et descendre par gravimétrie. Le miscella est recueilli dans le ballon rond.

Au bout d'un temps t d'extraction, on enlève la cartouche pour la faire sécher. La cartouche contenant l'échantillon est d'abord placée pendant 1 heure sous la hotte pour enlever toute trace de solvant, puis dans un four à 130°C durant 3 heures pour éliminer toutes traces d'humidité. Ensuite, afin d'achever le déshuilage, on la plonge dans une bouteille à col large contenant une grande quantité de solvant frais pendant 24 heures avant de la sécher sous la hotte au four. Le solvant utilisé est l'hexane commercial qui a une densité $d_{20} = 0,686$ et une température d'ébullition $E_b = 68^{\circ}\text{C}$. Toutes les expériences ont été effectuées à la température ambiante de $27 - 28^{\circ}\text{C}$.

Les expériences ont été réalisées avec des séries d'échantillon d'épaisseur différente.

- série 1 : échantillon ayant une épaisseur de 0,020 cm
- série 2 : échantillon ayant une épaisseur de 0,025 cm
- série 3 : échantillon ayant une épaisseur de 0,040 cm
- série 4 : échantillon ayant une épaisseur de 0,050 cm

IV - RESULTATS ET DISCUSSION

Quatre séries d'extraction ont été réalisées avec des échantillons d'épaisseurs différentes pour déterminer q/q_0 en fonction du temps. L'étude des courbes expérimentales obtenues et leur comparaison avec la courbe théorique basée sur la loi de Fick mettent en évidence un certain nombre de considérations sur les phénomènes de transfert de matière dans l'extraction par solvant de l'huile d'arachide.

• Les courbes expérimentales se décomposent en deux parties très distinctes constituées par deux droites de pentes différentes (figure 5). Ce qui peut laisser croire que le transfert de matière se fait en deux phases :

- les premières minutes d'extraction sont caractérisées par une droite à forte pente. La vitesse d'extraction de l'huile est très grande.

- après $t = 10$ minutes, on observe une droite de pente plus douce, l'extraction devient plus lente.

• La comparaison des courbes expérimentales avec la courbe théorique indique que seule la deuxième phase suit la loi de Fick (figure 4). excepté les dix premières minutes, l'extraction de l'huile à partir de la graine d'arachide suit la loi de Fick. La valeur des coefficients de diffusion des différents échantillons déterminés à partir des courbes expérimentales (figure 5) est donnée par le tableau 1. On peut remarquer que la valeur des coefficients de diffusion est sensiblement constante et donc indépendante de l'épaisseur de l'écaille en accord avec la loi de Fick.

Echantillon	Epaisseur (en cm)	Coefficient de diffusion (en $\text{cm}^2 / \text{seconde}$)
Série 1	0,020	$6,9 \cdot 10^{-9}$
Série 2	0,025	$7 \cdot 10^{-9}$
Série 3	0,030	$6,5 \cdot 10^{-9}$

Tableau 1 : Valeurs des coefficients de diffusion en fonction de l'épaisseur de l'écaille

• On peut expliquer la déviation à la loi de Fick observée dans la première phase par le fait qu'en plus du phénomène de diffusion, pendant les premières minutes de l'extraction de l'huile est récupérée par lavage des blessures occasionnées à l'amande lors de la préparation de l'échantillon. Cependant, on note que la vitesse de récupération de l'huile par lavage change d'un échantillon à un autre. Il serait intéressant de faire une étude microscopique des écailles pour essayer de mieux comprendre cette phase de diffusion qui ne respecte pas la loi de Fick.

• Plus l'épaisseur de l'écaïlle augmente, moins le loi de Fick est respectée (Figure 6). Ainsi, pour la série avec une épaisseur de 0,050 cm, la pente de la courbe d'extraction à partir de laquelle on calcule le coefficient de diffusion approche zéro. Ce qui rend la détermination de D moins précise que dans le cas des écaïlle plus fines.

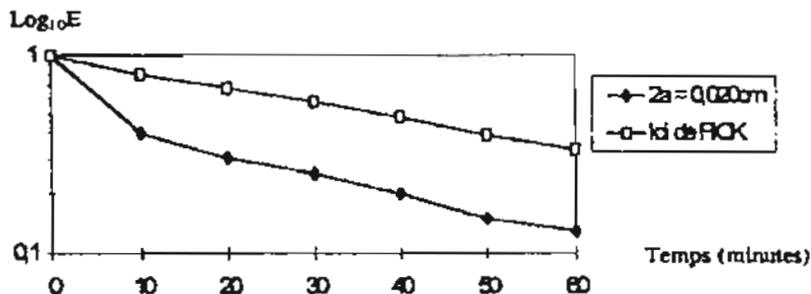


Figure IV : Comparaison entre courbe expérimentale et courbe de simulation

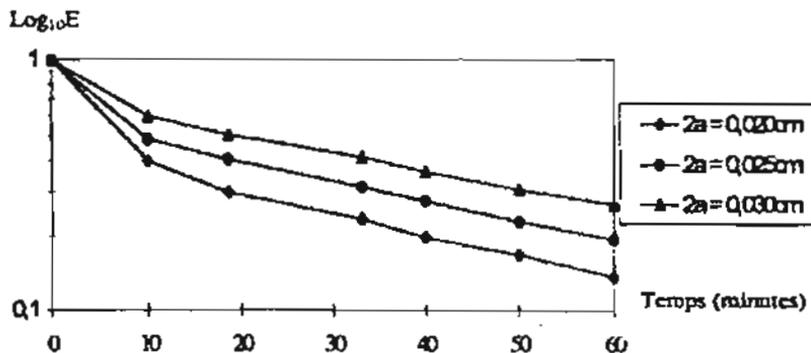


Figure V : Courbes expérimentales

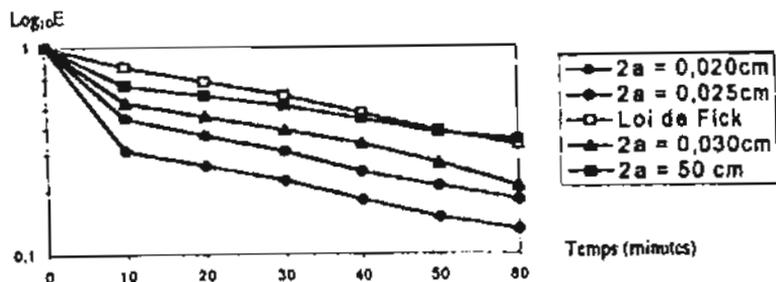


Figure VI : La loi de Fick n'est pas respectée pour les grosses écailles

V - CONCLUSION

Le modèle synthétique couche mince / pénétration représente assez bien le phénomène d'extraction par l'hexane de l'huile à partir de la graine d'arachide. Cependant, il serait intéressant de faire d'autres investigations pour trouver un support expérimental qui permettent de mieux expliquer la déviation notée au tout début de l'opération et d'étudier les phénomènes de diffusion en fonction de la structure cellulaire de l'écaille. Les résultats obtenus pourront être confortés par des expériences avec d'autres matières premières et en utilisant des solvants autres que l'hexane.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - Mbaye C.T. *Thèse de doctorat*, Ecole Centrale Paris, (1996)
- [2] - Azbel D., *Two phase flows in chemical engineering*. Cambridge university press, Cambridge (1991)
- [3] - Hestroni G., *Handbook of multiple phase systems*, McGraw, (1982)
- [4] - Pantelides C.C, Griters D., Morrisson K.R, Sargent R.W.H., *The mathematical modeling of transient systems, comp. Chem. Eng.*, (1988), Vol. 12 n°5, P. 449 - 454

- [5] - Lewis W. K., Whitman W. G., *Ind. Chem.* (1924), Vol. 16,
P. 1215-1223
- [6] - Higbie R., *Trans A. I. Ch. E. J.*, (1935). Vol. 31, 1148-1156
- [7] - Boucher D. F., Brier J. C. O., *Trans Am. Inst. Chem. Engers.*
(1982) vol. 38, P. 967.
- [8] - Mittal G. S., *Modelling and simulation of extraction processes.*
Proceeding of the 6th international Congress on Engineering and
Food, Japan, Blackie Academic & Professional, Chapman &
Hall, (1994), Vol 1, P. 301 - 303