

CINETIQUE DE SECHAGE DES GRANULES DE FARINE DE MAÏS : ETUDE EXPERIMENTALE ET MODELISATION

Panel T BASSENE ^a, Salif GAYE ^a, André TALLA ^b, Vincent SAMBOU ^a

- a. Laboratoire d’Energétique Appliquée (LEA), Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), BP 5085 Dakar-Fann, Dakar, Sénégal
 b. Laboratoire d’Energétique, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP), BP 8390, Yaoundé, Cameroun

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la valorisation du procédé de séchage et de stockage des granulés de farine à base de céréales, nous sommes intéressés à l’étude de la cinétique de séchage des granulés de la farine de maïs. Au moyen d’une soufflerie à conditions aérauliques et thermiques bien contrôlées (35°C et 40°C pour les températures ; 2,0 m/s et 3,0 m/s pour les vitesses d’écoulement) des résultats expérimentaux de séchage par convection forcée des granulés de la farine de maïs ont été obtenus. Ils nous ont permis de déterminer l’évolution temporelle de la teneur en eau, le profil de la vitesse de séchage et d’identifier les différentes phases de séchage des granulés. Les paramètres caractéristiques du séchage ont été identifiés par la méthode de la Courbe Caractéristique de Séchage (CCS). Les corrélations semi-empiriques ont été établies par cette méthode et l’erreur relative entre les courbes simulées et les courbes expérimentales est de l’ordre de 17,17 %. Ce résultat montre que le modèle semi-empirique élaboré reproduit avec un écart modéré les résultats expérimentaux.

Mots Clés : séchage, cinétique de séchage, modélisation, Courbe Caractéristique de Séchage (CCS)

NOMENCLATURE

<p>E Erreur relative moyenne de déviation sur la teneur en eau du produit (%)</p> <p>m_f masse du produit en fin de séchage (en kg)</p> <p>m_t masse du produit à l’instant t (en kg)</p> <p>u_o vitesse à l’instant t = 0, ms⁻¹</p> <p>u_n vitesse finale ms⁻¹</p> <p>u_i vitesse à l’instant t_i ms⁻¹</p> <p>u_I vitesse en première phase ms⁻¹</p> <p>u_r vitesse réduite</p> <p>u_{ref} vitesse de référence</p> <p>\bar{X}_f Teneur en eau moyenne du produit en base sèche, kgeau.(kgms)⁻¹</p> <p>\bar{X} Teneur en eau moyenne du produit en base sèche kgeau.(kgms)⁻¹</p> <p>\bar{X}_{cr} la teneur en eau critique kgeau.(kgms)⁻¹</p> <p>\bar{X}_o teneur en eau initial kgeau.(kgms)⁻¹</p> <p>\bar{X}_{eq} teneur en eau d’équilibre kgeau.(kgms)⁻¹</p>	<p>X_r La teneur en eau réduite kgeau.(kgms)⁻¹</p> <p>Symboles :</p> <p>α Coefficient caracteristique du séchage du produit</p> <p>Indices/Exposants</p> <p>c_r Critique</p> <p>eq Equilibre</p> <p>0 Initial</p> <p>I Première phase</p> <p>m Moyenne</p> <p>t Instant de mesure</p> <p>r Réduite</p> <p>f anhydre</p> <p>i Numéro d’essai</p> <p>ref Référence</p> <p>p Nombre de points</p> <p>exp Expérimental</p> <p>mod modèle</p> <p>Etc ...</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1. INTRODUCTION

Dans le secteur agroalimentaire, de nombreux travaux ont été menés pour optimiser l’opération du séchage.

Cette opération consiste à rationaliser à la fois la consommation de l’énergie nécessaire et la sauvegarde de la qualité du produit séché [1]. Les mécanismes de

séchage sont complexes à d'écrire du fait que les transferts de chaleur et de masse sont étroitement imbriqués. La complexité des mécanismes mis en jeu et le caractère variable des produits à sécher (nature, forme, propriétés physiques) empêchent de trouver un modèle unique susceptible de représenter toutes les situations [2]. Le choix d'un modèle à priori pour décrire l'intégralité d'une courbe de séchage peut également s'avérer un handicap dans le cas d'un produit présentant différentes phases de séchage. Ces raisons ont poussées de nombreux auteurs [3-7] à opter pour la méthode de la Courbe Caractéristique de Séchage qui caractérise les cinétiques de séchage sans faire l'hypothèse préalable sur la forme. Cette méthode est très utilisée pour d'écrire le comportement des produits alimentaires pendant le séchage.

L'objectif principal de cette étude est de faire une analyse complète des courbes de séchage des granulés de farine de maïs obtenues pour différentes conditions d'air de séchage. Avec l'approche expérimentale nous cherchons le modèle qui traduit le mieux les courbes expérimentales.

2. FORMULATION MATHÉMATIQUE

Pour comparer les différentes cinétiques de séchage il est souvent préférable d'utiliser des grandeurs réduites. Pour cela on peut, pour chaque série de conditions opératoires fixées (T_a , HR, V_a), représenter le transfert d'humidité entre l'air et le produit à sécher par la courbe décrivant l'évolution de la teneur en eau réduite X_r en fonction du temps t . On peut également représenter la vitesse de séchage ($-d\bar{X}/dt$) en fonction de \bar{X} .

Les pesées successives au cours du temps permettent de déterminer l'évolution de la masse du produit au cours d'une opération de séchage. Les teneurs en eau moyennes sont ensuite déduites en appliquant la relation suivante :

$$\bar{X} = \frac{m_t}{m_f} (\bar{X}_f + 1) - 1 \quad (1)$$

La teneur en eau réduite X_r est définie par :

$$X_r = \frac{\bar{X} - \bar{X}_{eq}}{\bar{X}_{cr} - \bar{X}_{eq}} \quad (2)$$

\bar{X}_{cr} représente la teneur en eau critique ou teneur de transition entre la phase à vitesse constante et la phase à vitesse décroissante. Dans le cas des produits biologiques, plusieurs auteurs [8-10] révèlent qu'il est difficile de localiser la première phase de séchage et suggèrent d'assimiler la teneur en eau critique \bar{X}_{cr} à la teneur en eau initial X_0 .

\bar{X}_{eq} représente la teneur en eau d'équilibre du produit avec l'air de séchage et est la limite vers laquelle tend la teneur en eau \bar{X} en fin de séchage. La valeur de \bar{X}_{eq} est un paramètre qui apparaît en particulier dans les modèles permettant de prévoir l'évolution de la teneur en eau d'un produit au cours de son séchage. [5]

Les valeurs de \bar{X}_{eq} utilisées dans cet article sont obtenues par extrapolation des courbes expérimentales de la vitesse de séchage ($-d\bar{X}/dt$) en fonction de la teneur en eau \bar{X} . La teneur en eau d'équilibre \bar{X}_{eq} est

considéré être la valeur de \bar{X} qui annule la vitesse de séchage ($-d\bar{X}/dt$) et la teneur en eau critique est prise égale à la teneur en eau initial du produit.

La vitesse de séchage en un point donné est obtenue numériquement en appliquant les équations suivantes.

A l'instant initial $t=0$, nous avons :

$$u_o = \left(-\frac{d\bar{X}}{dt} \right)_o = \frac{\bar{X}_o - \bar{X}_1}{t_1 - t_o} \quad (3)$$

A l'instant final, nous avons :

$$u_n = \left(-\frac{d\bar{X}}{dt} \right)_n = \frac{\bar{X}_{n-1} - \bar{X}_n}{t_n - t_{n-1}} \quad (4)$$

Aux instants intermédiaires t_i , i variant de 1 à $n-1$, la vitesse de séchage est calculée par la relation :

$$u_i = \left(-\frac{d\bar{X}}{dt} \right)_i = \frac{1}{2} \left(\frac{\bar{X}_{i-1} - \bar{X}_i}{t_i - t_{i-1}} + \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_{i+1}}{t_{i+1} - t_i} \right) \quad (5)$$

La méthode de la courbe caractéristique de séchage consiste à représenter la totalité des points expérimentaux obtenus pour les différentes conditions d'air de séchage maintenues constantes tout le long des essais. Les vitesses réduites sont obtenues sous la forme:

$$u_r = \left(-\frac{d\bar{X}}{dt} \right)_r = \frac{u}{u_l} = f(X_r) \quad (6)$$

u_l représente la vitesse en première phase quand cette phase est identifiable. Cette phase peut être déterminée en utilisant une corrélation qui inclut les conditions aérodynamique externes et en prenant en compte le caractère déformable des produits biologiques ou en utilisant l'analogie des transferts de chaleur et de masse à travers la couche limite d'une source totalement mouillée.

On impose intuitivement une expression mathématique à la fonction $f(X_r)$; cette fonction doit vérifier les propriétés suivantes :

$$\begin{cases} f(X_r) = 0 \text{ pour } X_r = 0 \\ 0 < f(X_r) < 1 \text{ pour } 0 < X_r < 1 \\ f(X_r) = 1 \text{ pour } X_r = 1 \end{cases}$$

3. METHODOLOGIE

3.1. PREPARATION DU PRODUIT A SECHER

Le produit à sécher (*granulé de la farine de maïs*) est préparé à partir de la farine de maïs. La farine est obtenue à partir de graines de maïs et moulues par des moulins classiques que l'on trouve dans les marchés et dans les villages. La fabrication du produit consiste à humidifier la farine puis à la rouler à la main afin d'obtenir des grains dont les dimensions dépendent de la qualité et du produit recherché. La fabrication des grains peut comprendre une phase de fermentation plus longue. La farine est en effet souvent stockée une nuit avant le roulage du matin et il se produit une fermentation naturelle..

3.2 METHODOLOGIE

Pour envisager une représentation du séchage des produits par une courbe caractéristique, les courbes de séchage doivent être obtenues par expérience dans des conditions constantes en température sèche et humidité et en vitesse d'écoulement de l'air. Le dispositif expérimental utilisé est une soufflerie à air appelée veine de séchage, qui permet d'avoir un écoulement d'air avec des caractéristiques aérodynamiques bien contrôlés et que l'on peut faire varier pour conduire l'étude expérimentale.

Le dispositif expérimental comprend :

- un ventilateur axial entraîné par un moteur ;
- une batterie de chauffage comportant des résistances qui permettent de chauffer l'air ;
- une veine d'essais de section $175 \times 175 \text{ mm}^2$ de longueur 200 mm ;
- un convergent à l'entrée de la gaine pour mieux canaliser le flux d'air ;
- une centrale d'acquisition de données connectée à un micro-ordinateur doté du logiciel pour la gestion de la centrale, le stockage et le traitement des données ;
- un humidificateur ;
- un emplacement pour faire entrer le produit à sécher ;
- une balance électronique de précision $\pm 0.1\text{g}$;
- quatre sondes de mesure thermo-hygro-métriques dont deux sont placés avant et après le produit; les deux derniers mesurent la température sèche et la température humide de l'air ambiant ;
- un anémomètre pour le contrôle de la vitesse d'écoulement d'air dans la veine d'essai.



Figure 1: Photo du Dispositif expérimental

3.3 PROCEDE EXPERIMENTAL

Dans un premier temps, les conditions de séchage souhaitées, à savoir la température T_a , l'humidité relative HR et la vitesse de l'air sont fixées

En variant les ouvertures d'aspirations de l'air frais par le ventilateur, on contrôle le débit et la température de l'air de séchage pendant toute la durée de l'opération

Un anémomètre placé à la sortie du séchoir permet de mesurer la vitesse de l'air de séchage et donc de connaître le débit du ventilateur.

Le ventilateur fait circuler de l'air à travers trois résistances électriques où il est chauffé. Une fois les conditions expérimentales stabilisées, le produit à sécher est posé sur une plaque en aluminium placée parallèlement à l'écoulement de l'air chaud. Le cadre et les parois latérales du support sont en tôle noire. Ce support permet un bon passage de l'air en dessous et au dessus de la plaque d'aluminium.

Pour suivre les pertes de masse du produit au cours du séchage, on a effectué les mesures de poids par intervalle de temps données. La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre la teneur en eau souhaitée (stabilisation du poids du produit).

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET COMMENTAIRES

L'objectif de l'étude expérimentale est la détermination de la cinétique de séchage des granulés de farine de maïs. Pour cela, nous avons fait des essais de séchage dans des conditions de température et d'écoulement bien maîtrisées.

4.1 EVOLUTION DE LA TENEUR EN EAU EN FONCTION DU TEMPS

La courbe de la figure 2 présente l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps pour une température de $T=35^\circ\text{C}$ et une vitesse de l'air de $v = 2 \text{ m/s}$.

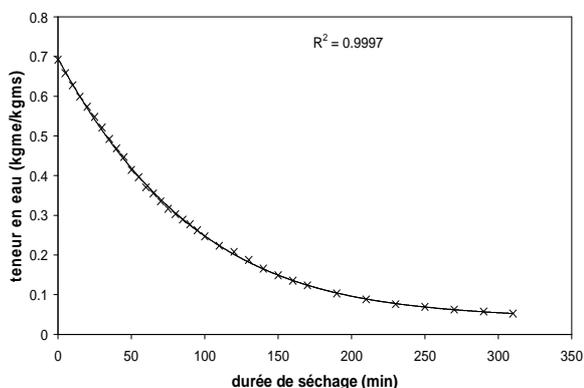


Figure 2 : Evolution de la teneur en eau X en fonction du temps pour $T = 35^\circ\text{C}$ et $v = 2 \text{ m/s}$

Elle est marquée par une baisse de plus en plus faible de la teneur en eau du produit et cela jusqu'à la fin du séchage du produit. Cette courbe est approchée par un polynôme de degrés 4 d'équation :

$$X(t) = 5.10^{-11} \cdot t^4 - 6.10^{-08} \cdot t^3 + 3.10^{-05} \cdot t^2 - 0,0068 \cdot t + 0,6955$$

avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9997$ et une erreur relative de 6,30%

4.2 ETUDE DE LA VITESSE DU SECHAGE EN FONCTION DE LA TENEUR EN EAU X

La vitesse de séchage du produit est déterminée par la pente à chaque instant de la courbe de l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps. Cette pente a été obtenue en dérivant le polynôme de la courbe de tendance. La figure 3 présente l'évolution de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau pour une température de $T = 35^\circ\text{C}$ et une vitesse de l'air de $v = 2$

m/s.

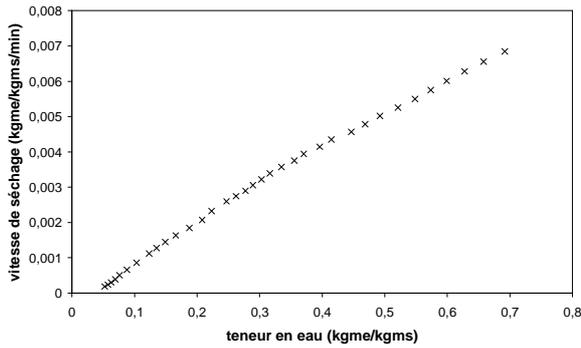


Figure 3 : Evolution de la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau

Elle met en évidence la phase de séchage à vitesse décroissante qui traduit l'évaporation de l'eau liée plus ou moins fortement à la matière sèche du produit. L'absence de la phase de séchage à vitesse constante s'explique par le fait que le produit à sécher avait une activité initiale mesurée de 0,9 qui est bien différente de 1.

4.3 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE L'AIR SUR LA VITESSE DE SECHAGE

En faisant varier d'un essai à un autre la température de séchage, nous mettons en exergue l'influence de ce paramètre sur la vitesse de séchage. La figure 4 présente la variation de la vitesse de séchage en fonction de la teneur pour différentes températures. Plus la température de l'air augmente plus la vitesse de séchage croît

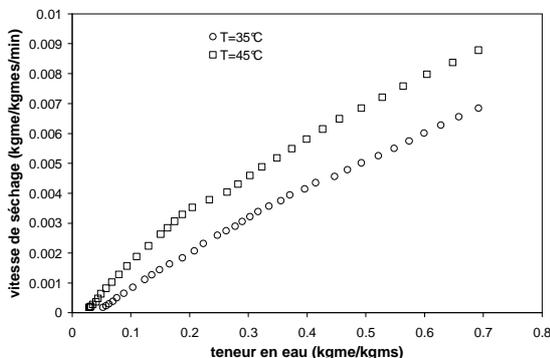


Figure 4 : Influence de la température de l'air sur la vitesse de séchage

Ceci résulte d'une part de l'augmentation du flux de chaleur apporté par l'air au produit et d'autre part de l'accélération de la migration interne de l'eau. L'accroissement de la température du produit modifie non seulement l'activité de l'eau mais exerce aussi une influence sur le coefficient de diffusion et dans une moindre mesure sur l'enthalpie de vaporisation.

4.4 INFLUENCE DE LA VITESSE DE L'AIR SUR LA VITESSE DE SECHAGE

L'influence de la vitesse de l'air est mise en évidence en changeant d'un essai à l'autre la vitesse de l'écoulement de l'air. La figure 5 montre l'influence de la vitesse de l'air sur la cinétique de séchage du produit : la rapidité du séchage augmente quand la vitesse passe de 2 à 3 m/s.

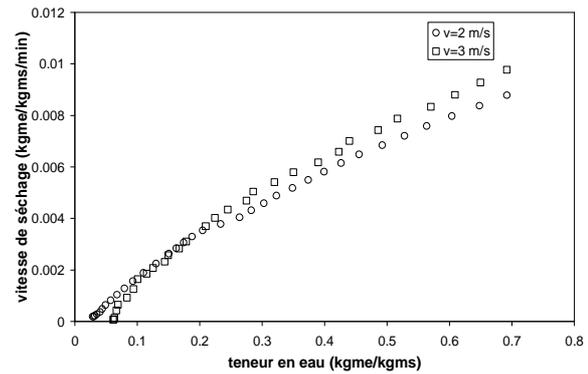


Figure 5 : Influence de la vitesse de l'air sur la vitesse de séchage

Une augmentation de la vitesse du fluide d'entraînement a pour effet d'accélérer la vitesse de séchage. Ceci est essentiellement dû à une augmentation de la convection à la surface du produit avec la vitesse de l'air. Cette différence n'est pas très significative au niveau de la courbe expérimentale et ceci peut s'expliquer par la différence relativement faible de la vitesse de l'air séchant.

Bien que notre dispositif expérimental ne permette pas de fixer les valeurs exactes pour l'humidité relative de l'air, la littérature indique que son action n'est sensible que si la phase à allure constante existe.

Les phases de mise en régime thermique et à vitesse constante n'apparaissent pas sur les courbes de séchage du produit. La phase de mise en régime thermique dure le temps nécessaire pour que la température du produit se stabilise, elle n'apparaît pas sur les courbes de séchage des produits biologiques. La phase à vitesse constante traduit l'évaporation en régime permanent de l'eau libre à la surface du produit, elle est spécifique aux produits riches en eau (activité $a_w=1$).

5 .MODELISATION

L'objectif consiste à modéliser la vitesse de séchage selon l'approche « courbe caractéristique de séchage » (CCS). Il s'agit de déterminer si, en dépit de la complexité des phénomènes au niveau microscopique (c'est-à-dire dans les pores du milieu) il est possible d'obtenir au niveau macroscopique une certaine simplicité d'interprétation des résultats expérimentaux [7], et un même modèle de comportement de produits étudiés. La modélisation de la courbe de séchage nécessite la détermination de la teneur en eau initial et de la vitesse en phase initiale u_i . Plusieurs auteurs préconisent l'utilisation de la méthode dite des «corrélation», la méthode de simulation par un produit capillaire-poreux de même nature et la méthode directe [7]. En réalité, pour les produits biologiques étudiés qui subissent des déformations et une contraction au cours du séchage, aucune des trois méthodes énumérées n'est réellement satisfaisante.

Néanmoins il est possible de définir une courbe caractéristique de séchages en utilisant à la place de u_i une valeur de référence u_{ref} vitesse en «début de

séchage » qui correspond à une humidité \bar{X}_{ref} du produit étudié [10]. Dans notre étude nous avons utilisé comme référence le premier point de mesure. A partir

des considérations nommées ci-dessus, l'équation (6) peut se mettre sous la forme :

$$u_r = \left(-\frac{d\bar{X}}{dt} \right)_r = \frac{u}{u_{ref}} = \left(\frac{\bar{X} - \bar{X}_{eq}}{\bar{X}_{ref} - \bar{X}_{eq}} \right)^\alpha \quad (7)$$

Il est en général envisagé les fonctions de types polynomiaux ou de type puissance pour représenter les courbes caractéristiques de séchage. Nous avons dans cette partie utilisée les fonctions puissances présentées sous la forme simple :

$$f(X_r) = X_r^\alpha \quad (8)$$

Où l'exposant α doit être déterminé par identification avec les résultats expérimentaux obtenus.

L'équation (7) peut alors s'écrire sous la forme

$$-\frac{d\bar{X}}{dt} = u_I X_r^\alpha \quad (9)$$

En intégrant l'équation (8) nous obtenons :

$$\bar{X}(t) = \bar{X}_{eq} + \left[(\bar{X}_{cr} - \bar{X}_{eq})^{1-\alpha} - \frac{(1-\alpha)u_I}{\bar{X}_{cr} - \bar{X}_{eq}} t \right]^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (10)$$

Pour identifier la meilleur valeur de α , caractéristique du produit étudié, nous avons utilisé une méthode analytique. La procédure est la suivante : les points (\bar{X}, u) et les valeurs u_{ref} , \bar{X}_{ref} et \bar{X}_{eq} sont connus et

permettent de calculer u_r et \bar{X}_r à l'instant t . On déduit pour chaque point expérimental une valeur α_t telle que

$$\alpha_t = \left(\frac{\ln u_r}{\ln \bar{X}_r} \right) \quad (11)$$

Pour chaque expérience de séchage, à des températures différentes, réalisées sur un produit, la moyenne α_m est calculée à partir de l'expression :

$$\alpha_m = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \alpha_i \quad (12)$$

La valeur du paramètre α caractéristique du séchage est donnée par la moyenne des α_m . La valeur ainsi identifiées pour le produit est donnée dans le tableau 1 :

Tableau 1. Identification des paramètres du produit étudié

\bar{X}_{crm}	\bar{X}_{eqm}	u_{ref}
0,69204	0,0323	0,0080
Vitesse de l'air en m/s	Temperature en °C	α_m
2	35	0,8598
2	45	0,7619
3	35	0,5491
3	45	0,7594
α		0,7955

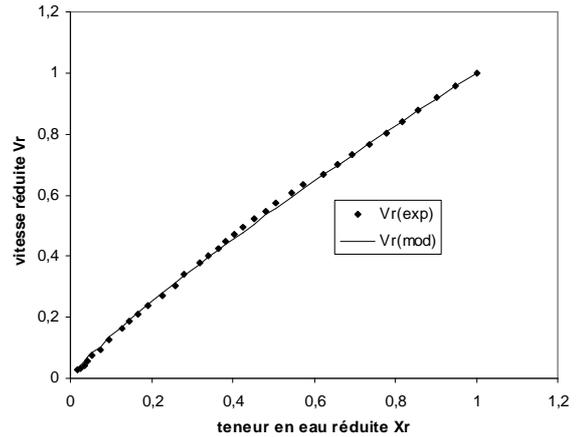


Figure 6 : Courbe de la vitesse réduite en fonction de la teneur en eau réduite pour V = 2 m/s et T = 35°C

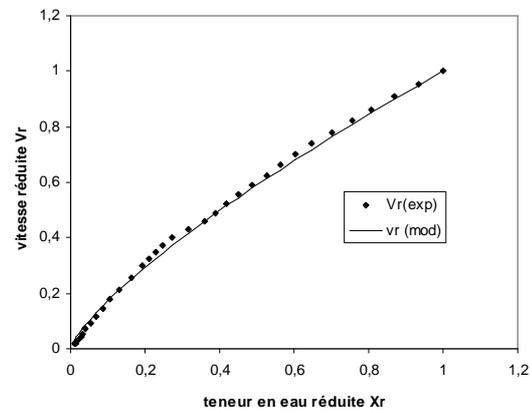


Figure 7 : Courbe de la vitesse réduite en fonction de la teneur en eau réduite pour V = 2 m/s et T = 45°C

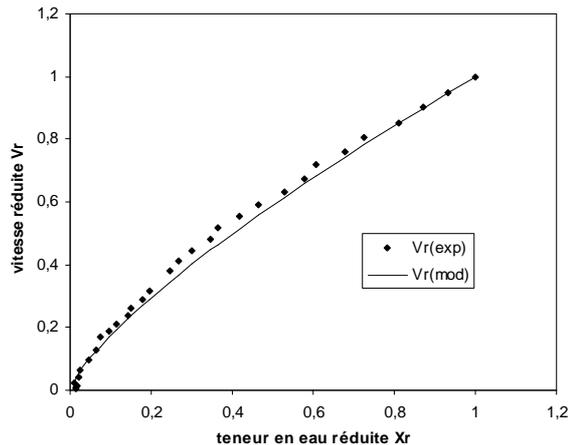


Figure 8 : Courbe de la vitesse réduite en fonction de la teneur en eau réduite pour V = 3 m/s et T = 45°C

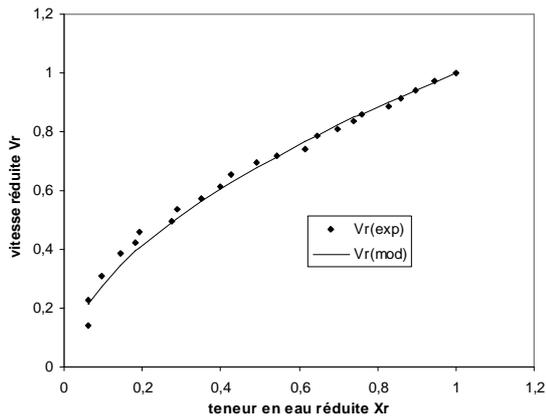


Figure 8 : Courbe de la vitesse réduite en fonction de la teneur en eau réduite pour $V = 3 \text{ m/s}$ et $T=35^\circ\text{C}$

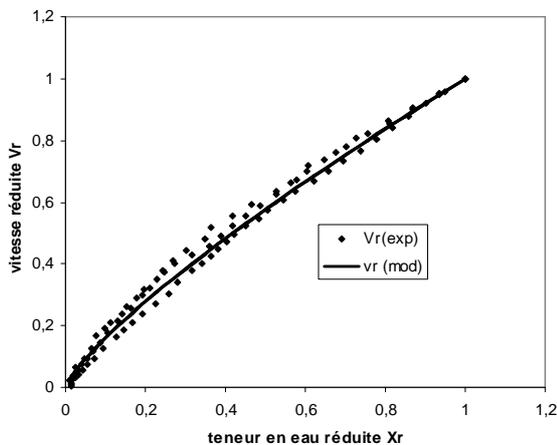


Figure 9 : Courbe caractéristique de séchage (CCS) du granulé de la farine de maïs

L'erreur relative moyenne de déviation enregistrée sur l'évolution de la teneur en eau entre les résultats expérimentaux et ceux obtenus par l'équation (10) est calculée à partir de l'expression :

$$E(\%) = \frac{100}{p} \sum_{i=1}^p \left| \frac{\bar{X}_{\text{exp}} - \bar{X}_{\text{mod}}}{\bar{X}_{\text{exp}}} \right| \quad (12)$$

Où p est le nombre de points de mesure au cours d'un essai de séchage. La valeur de E obtenue est 17,17 %. Certains auteurs estiment qu'une valeur calculée au voisinage de 10% traduit une bonne simulation des résultats expérimentaux [7].

Compte tenu de l'ajustement du paramètre α , les courbes calculées (figures 6 à 8) sont en bon accord avec les résultats expérimentaux. A différentes conditions expérimentales, les cinétiques de séchage présentent une affinité que décrit la CCS du granulé de la farine de Maïs (figure 9). Ces courbes sont obtenues pour une valeur de $\alpha < 1$. Alors le mécanisme responsable de la migration de l'eau est un mécanisme de diffusion caractéristique des gels homogènes. Le séchage se déroule alors en un temps fini. [5][7]

6. CONCLUSION

La cinétique de séchage des granulés de la farine de maïs a été étudié au moyen d'une soufflerie à conditions aérauliques et thermiques bien contrôlées. Les

expériences effectuées à des conditions différentes de l'air asséchant, montrent que les courbes de séchage présentent l'allure décroissante et l'absence des phases de mise en température et à allure constante. La température de l'air asséchant est le facteur le plus influant sur la cinétique de séchage.

La méthode courbe caractéristique de séchage est une méthode pratique. Elle peut être utilisée pour représenter la cinétique de séchage des produits agroalimentaires, dont on ne connaît pas les caractéristiques physiques. La courbe caractéristique de séchage (CCS) obtenue permet de généraliser les données de cinétique de séchage des granulés de la farine de maïs et d'optimiser le dimensionnement des séchoirs adaptés au séchage des granulés de farine de céréales.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le programme WORDLD FEDERATION OF SCIENTISTS qui ont participé au financement de cette étude

REFERENCES

- [1] Benhamou A, Ildimam A, Lamharrar A, Benyoucef B., Kouhila M. Diffusivité hydrique et cinétique de séchage solaire en convection force des feuilles de marjolaine. Revue des énergies renouvelables vol 11 N°1 (2008) 75-85
- [2] Bossart L Contribution à l'optimisation du séchage en lit fluidisé, Thèse Docteur en Sciences Appliquées, service de Génie Chimique Université Libre de Bruxelles (ULB) (2003).
- [3] Desmorieux H, Decaen N, Convective drying of spirulina in thin layer Journal of Food Engineering 66 (2005) 497-503
- [4] Desmorieux H, Diallo C, Coulibaly Y Operation simulation of a convective and semi-industrial mango dryer Journal of Food Engineering 89 (2008) 119-127
- [5] Talla A, Jannot Y, Kapseu C, Nganhou J, Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage de fruits tropicaux. Application à la banane et à la mangue. Sciences des Aliments, 21(2001) 499-518
- [6] Jannot Y, Talla A, Nganhou J, Puigalli J.R., Modeling of Banana Convective Drying by the Drying Characteristic curve (DCC) Method, Drying Technology vol.22, N°08 (2004), 1949-1968;
- [7] Ahouannou C, Jannot Y, Lips B, Lallemand A, Caractérisation et modélisation du séchage de trois produits tropicaux : manioc, gingembre et gombo. Sciences des Aliments 20 (4/5) (2000) 413-432.
- [8] Desmorieux H, Moyne C, Analysis of dryers performance for tropical foodstuffs using characteristic drying curve concept. Drying 92, Elsevier: Amsterdam; (1992) 834-843.
- [9] Belahmidi E, Belghit A, Mrani A, Kaoua M, Approche expérimentale de la cinétique des produits agroalimentaires: Application aux peaux d'orange et à la pulpe de betterave. Revue Générale de Thermique (1993) , 380-381, 444-453.