



# Séchage en couche mince des granulés de farine de mil : étude expérimentale et modélisation

Panel T BASSENE <sup>a</sup>, Salif GAYE <sup>a</sup>, André TALLA <sup>b</sup>, Vincent SAMBOU <sup>a</sup>

*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*

<sup>1</sup>pbassene@hotmail.com

<sup>2</sup>sgaye2@yahoo.fr

<sup>3</sup>andre\_talla@yahoo.fr

<sup>4</sup>vinsambou@yahoo.fr

## Résumé

Dans le cadre de la valorisation du procédé de séchage et de stockage des granulés de farine à base de céréales les cinétiques de séchage des granulés de mil en couche mince ont été étudiées au moyen au moyen d'une soufflerie à conditions aérauliques et thermiques bien contrôlées. Les expériences sont effectuées à des températures différentes de l'air de séchage (40°C, 50°C, 60°C) et pour des échantillons de diamètre  $2,5 \text{ mm} < d_1 < 3,15 \text{ mm}$  et  $5 \text{ mm} < d_2 < 6,30 \text{ mm}$ , en utilisant une vitesse d'air constante de 1,0 m/s. Les résultats ont montré l'absence des phases de mise en régime thermique et à vitesse constante, tout le processus se faisant en phase de séchage à vitesse décroissante. Pour représenter l'évolution de la teneur en eau du produit nous avons utilisé dix modèles empiriques. La qualité de l'ajustement de chaque modèle a été évaluée en utilisant le coefficient de corrélation ( $R^2$ ), l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et la moyenne de la somme des erreurs quadratiques ( $\chi^2$ ). Parmi ces modèles le modèle modifié de Henderson et Pabis est le meilleur modèle pour décrire le comportement dans le séchage des granulés de farine de mil.

*Mots Clés : cinétique de séchage, modélisation, séchage*

## I. INTRODUCTION

Les céréales constituent la principale nourriture des paysans des régions sahéliennes d'Afrique en général. En particulier, les paysans sénégalais concernés représentent plus de 60% de la population nationale. On note une forte demande de produits céréaliers en milieu urbain. Cet intérêt subit et un peu inattendu pour les céréales locales naguère délaissées, est intéressant pour l'agriculture et l'agroalimentaire sénégalais. Il va permettre de trouver enfin assez de débouchés pour ces céréales locales et donc de redynamiser leur culture notamment celle du mil.

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]. Le séchage en couche mince a été largement utilisé pour traiter plusieurs produits, tels que les matériaux de particules comme les céréales, les graines et les fruits, où les conditions sont favorables pour un transfert rapide de chaleur et de masse. Il a été considéré comme une méthode économique de séchage en comparaison avec d'autres techniques et un grand nombre de travaux ont été publiés pour différents types produits [2][3][4][5][6][7][8][9][10]. Cependant une connaissance approfondie des paramètres de transfert (transfert de chaleur et de masse, la diffusion) et le comportement au séchage du produit notamment à sécher sont considérés comme indispensables pour la conception, la simulation et l'optimisation du processus de séchage en

utilisant la modélisation mathématique [11]. Les modèles mathématiques se sont révélés très utiles dans la conception, dans l'amélioration des systèmes de séchage et dans l'analyse des phénomènes de transfert de masse impliqués au cours du séchage. Ils décrivent les phénomènes de séchage d'une manière unique, quels que soient les mécanismes de contrôle et ont été utilisés pour estimer les temps de séchage de plusieurs produits et de généraliser les courbes de séchage [12]. Il est alors nécessaire d'avoir un modèle précis, capable de prédire les taux d'élimination de l'eau et décrivant le séchage de chaque produit dans les conditions courantes utilisées dans les installations commerciales normales pertinentes [13].

Ainsi la cinétique de séchage des matériaux peut être décrite en utilisant des modèles mathématiques, qui décrivent les phénomènes d'une manière unifiée. Par conséquent, dans cette article, le séchage en couche mince des granulés de farine de mil a été étudié. Cependant, à notre connaissance, il existe peu d'informations dans la littérature sur le comportement du séchage des granulés de mil en couche mince. Ainsi les objectifs de cette étude sont :

- étudier l'influence de la température et de la taille des granulés sur les cinétiques de séchage du produit,
- déterminer le modèle mathématique le mieux approprié pour représenter le séchage du produit,

## II. PRODUIT ET METHODOLOGIE

### A. GRANULES DE LA FARINE DE MIL

Les granulés sont préparés à partir de la farine de mil. La farine est obtenue à partir de graines de mil qui sont 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 du produit recherché. Les tailles des granulés sont obtenues en utilisant un système de tamis.

### B. METHODOLOGIE

1) *DISPOSITIF EXPERIMENTAL* : Pour envisager une représentation du séchage des produits, les courbes de séchage doivent être obtenues par expérience dans des conditions constantes en température sèche, 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 aérothermiques 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 x 175 mm<sup>2</sup> et 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 emplacement pour faire entrer le produit à sécher ;
- une balance électronique de précision  $\pm 0.1g$  pour le suivi de l'évolution de la masse au cours du séchage ;
- un anémomètre pour le contrôle de la vitesse d'écoulement d'air dans la veine d'essai.



Figure 1: Photo du Dispositif expérimental

2) *PROCEDE EXPERIMENTAL* : Dans un premier temps, les conditions de séchage souhaitées, à savoir la température  $T$ , l'humidité relative  $HR$  et vitesse de l'air  $V$  sont fixées. En variant la tension du 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. Pour suivre les pertes de masse du produit au cours du séchage, on a effectué les mesures de poids par intervalle de temps de 5 min. 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).

## III. FORMULATION MATHÉMATIQUE ET ANALYSE DES DONNÉES

### A. 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 ( $T$ ,  $HR$ ,  $V$ ), représenter le transfert d'humidité entre l'air et le produit à sécher par la courbe décrivant l'évolution de la teneur en eau  $X$  en fonction du temps  $t$ . On peut également représenter la vitesse de séchage en fonction de la teneur en eau. Les pesées successives au cours du temps permettent de déterminer l'évolution de la masse du produit au cours d'une opération de séchage. La teneur en eau  $X$  à chaque instant est définie par :

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

où  $m_t$  et  $m_f$  représentent respectivement la masse à chaque instant et la masse finale du produit,  $X_f$  représente la teneur en eau final du produit.

La teneur en eau réduite  $X_R$  est définie par :

$$X_R = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

où  $X_t$  représente la teneur en eau à chaque instant  $t$ ,  $X_0$  et  $X_e$  représentent respectivement la teneur en eau initiale et la teneur en eau d'équilibre du produit en base sèche. Cependant  $X_e$  est relativement petit comparé à  $M_t$  et à  $M_0$ , l'expression de  $X_R$  peut être ramener à  $X_R = X_t/X_0$  [2][3][4][7][12][14][15].

### B. ANALYSE DES DONNÉES

Un certain nombre de modèles semi-empiriques ont été proposés pour représenter l'évolution de la teneur en eau d'un produit à teneur en eau supposée uniforme soumis à des conditions d'air de séchage constantes. Dans nos travaux nous avons utilisé dix modèles semi-empiriques présentés dans le tableau I. La qualité de l'ajustement de chaque modèle a été évalué en utilisant le coefficient de corrélation ( $R^2$ ), l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et la moyenne de la somme des erreurs quadratiques ( $\chi^2$ ). Où (RMSE) et  $\chi^2$  comparent la différence entre les rapports d'humidité prévus sur les rapports d'humidité expérimentales. Le meilleur ajustement est défini par la plus grande valeur de  $R^2$  et les valeurs plus faibles de (RMSE) et  $\chi^2$ . Ces paramètres peuvent être calculés comme suit:

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{R_{exp,i}} - X_{R_{pre,i}})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{R_{exp,i}} - X_{R_{pre,i}})^2}{N - n} \quad (4)$$

où  $X_{R_{exp,i}}$  représente la teneur en eau réduite obtenue expérimentalement et  $X_{R_{pre,i}}$  la teneur en eau réduite obtenue avec le model,  $N$  est le nombre de points de mesure et  $n$  le nombre de paramètres[14][16][17].

#### IV.RESULTATS EXPERIMENTAUX ET COMMENTAIRES

##### A.INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

Les courbes des fig.1 et 2 présentent respectivement l'évolution de la teneur en eau réduite des granulés en fonction du temps pour des températures de 40°C, 50°C et 60°C avec une vitesse de l'air asséchant constant de  $V=1$  m/s, utilisant des échantillons de diamètre 2,5 mm  $< d_1 < 3,15$  mm et 5 mm  $< d_2 < 6,30$  mm .

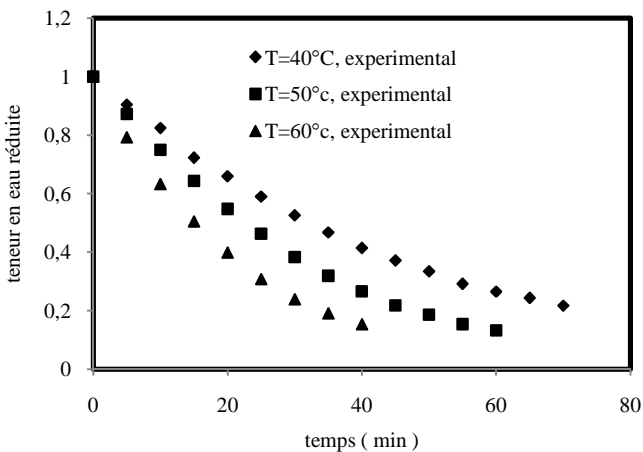


Figure 2 : influence de la température sur la variation de la teneur en eau pour un échantillon de diamètre 2,5 mm  $< d_1 < 3,15$  mm et  $V=1$  m/s

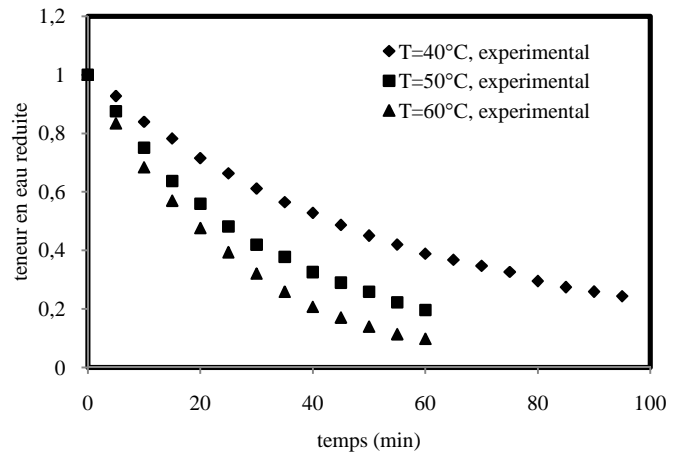


Figure 3 : influence de la température sur la variation de la teneur en eau pour un échantillon de diamètre 5 mm  $< d_2 < 6,30$  mm et  $V=1$  m/s

Les courbes sont marquées par une baisse de plus en plus faible de la teneur en eau du produit et cela jusqu'à la fin du séchage de ce dernier. Elles mettent 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. 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. Dans le cas des produits biologiques, plusieurs auteurs révèlent qu'il est difficile de localiser la première phase de séchage [18][19][20][21].

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. Plus la température de l'air augmente plus la vitesse de séchage croit.

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.

#### TABLEAU I: LES MODELES SEMI-EMPIRIQUES UTILISES

N°	Nom du modèle	Modèle
1	Newton	$X_r = \exp(-kt)$
2	Page	$X_r = \exp(-kt^n)$
3	Henderson and Pabis	$X_r = a \exp(-kt)$
4	Logarithmique	$X_r = a \exp(-kt) + c$
5	Two term	$X_r = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$
6	Diffusion approach	$X_r = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$
7	Modified Henderson and Pabis	$X_r = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
8	Two term exponentiel	$X_r = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$
9	Wang and Sing	$X_r = 1 + at + bt^2$
10	Midilli et al	$X_r = a \exp(-kt^n) + bt$

**B. INFLUENCE DE LA TAILLE DES GRANULES**

L'influence de la taille des granulés est mise en évidence en changeant d'un essai à l'autre le diamètre des granulés.

Les fig. 3 et 4 montrent l'influence de la taille des granulés sur la cinétique de séchage du produit : la rapidité du séchage augmente quand la taille diminue. Des résultats analogues ont été obtenus dans l'étude du séchage de produits agroalimentaire [10][16]. La réduction du diamètre des granulés accélère la migration de l'eau de l'intérieur vers la surface du produit et une diminution de la surface d'échange favorise l'augmentation du transfert de chaleur entre l'air et le produit.

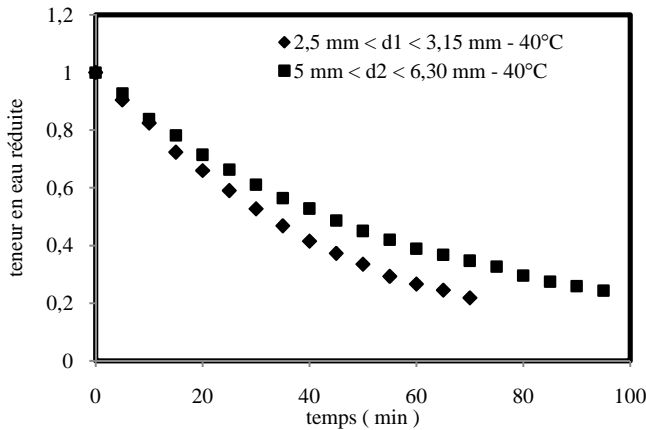


Figure 4 : influence de la taille des granulés sur la vitesse de séchage pour T=40°C et V=1 m/s

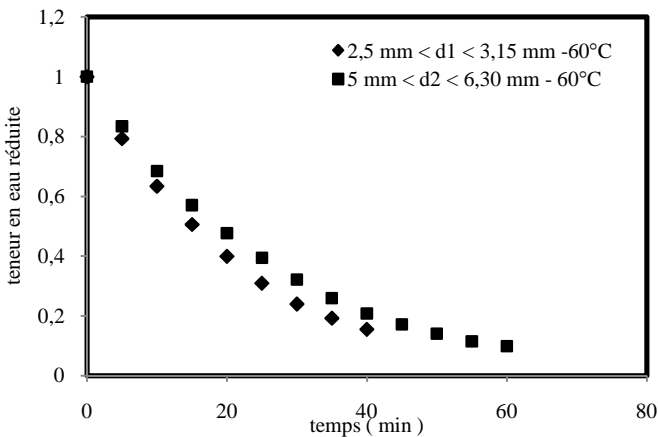


Figure 5 : influence de la taille des granulés sur la vitesse de séchage pour T=60°C et V=1 m/s

**C. MODELISATION**

Les données relatives aux résultats expérimentaux de la teneur en eau réduite ont été ajustées par les 10 modèles mathématiques figurant sur le tableau I.

Les valeurs du coefficient de corrélation ( $R^2$ ) de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et de la moyenne de la somme des erreurs quadratiques ( $\chi^2$ ) pour les différentes températures d'air fixées et une vitesse constante de 1 m/s déterminées par une analyse de régression non linéaire sont présentés dans le tableau II. Dans tous les cas les valeurs de  $R^2$ ,  $\chi^2$  et RMSE sont comprises respectivement entre 0,99915 et 0,99996; 0,000014 et 0,000318; 0,002333 et 0,016406. Comme le montre le tableau II, la valeur la plus élevée de  $R^2$  et les plus faibles valeurs de  $\chi^2$  et RMSE ont été obtenus à partir du modèle modifié de Henderson et Pabis à 60°C. En conséquence, il est le modèle le plus approprié pour représenter la courbe de séchage des granulés de mil. La fig.6 représente les variations de la teneur en eau réduite expérimentale et celles données par le modèle modifié de Henderson et Pabis pour différente température d'air de séchage et pour des échantillons de diamètre 2,5 mm <  $d_1$  < 3,15mm.

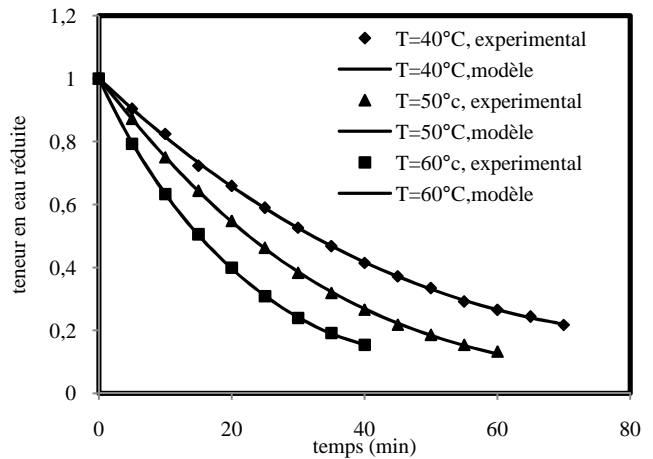


Figure 6 : variation de la teneur en eau réduite expérimentale et modélisée par le modèle modifié de Henderson et Pabis pour un échantillon de diamètre 2,5 mm <  $d_1$  < 3,15 mm et V=1m/s

TABLE II: VALEURS STATISTIQUES DES MODELES SEMI-EMPIRIQUES

Modèles	T	Diamètres					
		2,5 mm < d <sub>1</sub> < 3,15 mm			5 mm < d <sub>2</sub> < 6,30 mm		
		R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE	R <sup>2</sup>	χ <sup>2</sup>	RMSE
Newton	40°C	0,99969	0,000063	0,007642	0,99931	0,000121	0,010723
	50°C	0,99915	0,000292	0,016406	0,99932	0,000109	0,010049
	60°C	0,99987	0,000027	0,004872	0,99979	0,000053	0,006980
Page	40°C	0,99980	0,000027	0,004867	0,99975	0,000030	0,005180
	50°C	0,99992	<b>0,000014</b>	0,003477	0,99957	0,000065	0,007392
	60°C	0,99991	0,000018	0,003690	0,99988	0,000023	0,004371
Henderson and Pabis	40°C	0,99967	0,000045	0,006241	0,99915	0,000099	0,009428
	50°C	0,99891	0,000191	0,013279	0,99927	0,000111	0,009682
	60°C	0,99986	0,000028	0,004693	0,99976	0,000048	0,006372
Logarithmique	40°C	0,99973	0,000041	0,005707	0,99982	0,000021	0,004220
	50°C	0,99965	0,000069	0,007304	0,99976	0,000039	0,005453
	60°C	0,99991	0,000019	0,003603	0,99988	0,000024	0,004288
Two term	40°C	0,99974	0,000042	0,005573	0,99986	0,000018	0,003773
	50°C	0,99993	0,00002	0,00332	0,99977	0,000042	0,005369
	60°C	0,99992	0,000022	0,003475	0,99976	0,000059	0,006372
Diffusion approach	40°C	0,99983	0,000026	0,004522	0,99929	0,000146	0,011152
	50°C	0,99915	0,000292	0,015273	0,99975	0,000044	0,005806
	60°C	0,99987	0,000027	0,004872	0,99979	0,000063	0,006980
<b>Modified Henderson and Pabis</b>	40°C	0,99986	0,000027	0,004010	0,99987	0,000019	0,003647
	50°C	0,99993	0,000020	0,003288	0,99977	0,000052	0,005285
	60°C	<b>0,99996</b>	<b>0,000016</b>	<b>0,002333</b>	<b>0,99994</b>	<b>0,000018</b>	<b>0,003133</b>
Two term exponential	40°C	0,99976	0,000033	0,005362	0,99929	0,000138	0,011152
	50°C	0,99915	0,000318	0,016406	0,99974	0,000041	0,005866
	60°C	0,99987	0,000031	0,004872	0,99979	0,000058	0,006980
Wang and Singh	40°C	0,99982	0,000025	0,004671	0,99881	0,000167	0,012276
	50°C	0,99994	0,000011	0,003088	0,99854	0,000240	0,014254
	60°C	0,99945	0,000140	0,010433	0,99882	0,000367	0,015949
Midilli et al	40°C	0,99985	0,000024	0,004188	0,99977	0,000027	0,004808
	50°C	0,99992	0,000016	0,003378	0,99975	0,000045	0,005588
	60°C	0,99991	0,000023	0,003585	0,99989	0,000025	0,004153

**NOMENCLATURE**

a, b, c, n	Coefficients des modèles utilisés	N	Nombre de points expérimentaux
k, k <sub>0</sub> , k <sub>1</sub> , g, h	Constantes des modèles utilisées (s <sup>-1</sup> )	n	Nombre de constantes du modèle
m <sub>f</sub>	Masse final (kg)	R	Constante des gaz parfaits (J/mol.K)
m <sub>t</sub>	Masse à l'instant t (kg)	RMSE	l'erreur quadratique moyenne
X <sub>t</sub>	Teneur en eau à l'instant t (kgm <sub>sèche</sub> /kgm <sub>eau</sub> )	R <sup>2</sup>	Coefficient de corrélation
X <sub>0</sub>	Teneur en eau initial (kgm <sub>sèche</sub> /kgm <sub>eau</sub> )	T	Température absolue (K)
X <sub>e</sub>	Teneur en eau d'équilibre (kgm <sub>sèche</sub> /kgm <sub>eau</sub> )	t	Temps de séchage (min)
X <sub>R</sub>	Teneur en eau réduite	χ <sup>2</sup>	moyenne de la somme des erreurs quadratiques
X <sub>Rpre,i</sub>	Teneur en eau réduite prédite		



## VI. CONCLUSION

La cinétique de séchage en couche mince des granulés de la farine de mil a été étudiée au moyen d'une soufflerie à conditions aérodynamiques 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 et la taille des granulés sont les facteurs qui influencent la cinétique de séchage. L'analyse statistique des résultats expérimentaux lissés par dix modèles semi-empiriques a montré que le modèle modifié de Henderson et Pabis est le plus approprié pour la description des cinétiques de séchage des granulés de farine de mil. La valeur la plus élevée du coefficient de corrélation ( $R^2$ ) et les plus basses valeurs de l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et la moyenne de la somme des erreurs quadratiques ( $\chi^2$ ) ont été trouvées pour une température de 60°C et un diamètre 2,5 mm <  $d_1$  < 3,15 mm.

## REFERENCES

- [1] A. Benhamou, A. Idlimam, A. Lamharrar, B. Benyoucef, M. Kouhila, "Diffusivité hydrique et cinétique de séchage solaire en convection forcée des feuilles de marjolaine," *Revue des énergies renouvelables*, vol. 11, no. 1, pp. 75-85, Mars 2008.
- [2] G. B. Radhika, S. S. Satyanara, D. G. Rao, "Mathematical model on thin Layer of Finger Millet (Elusine coracana)," *Advance Journal of Food Science and Technology*, vol. 32, pp. 127-131, 2011.
- [3] Smail Meziane, "Drying kinetics of olive pomace in fluidized bed dryer," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, pp. 1644-1649, 2011.
- [4] Evin Duygu, "Thin layer drying kinetics of gundelia tournefortii L," *Food Bioprod Process*, 2011.
- [5] Fei Shen, Lin Peng, Yanzong Zhang, Jun Wu, Xiaohong Zhang, Gang Yang, Hong Peng, Hui Qi, Shihuai Deng, "Thin-layer drying kinetics and quality changes of sweet sorghum stalk for ethanol production as affected by drying temperature," *Industrial Crops and Products*, vol. 34, pp. 1588-1594, 2011.
- [6] I. E. Saeed, K. Sopian, Z. Zainol Abidin, "Thin Layer Drying of Rosell (I): Mathematical Modeling and Drying Experiments," *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 08 015*, vol. X, septembre 2008.
- [7] K. Sacilik, A. K. Elicin, "The thin layer drying characteristics of organic apple slices," *Journal of Food Engineering*, vol. 73, pp. 281-289, 2006.
- [8] H. Desmorieux, N. Decaen, "Convective drying of spirulina in thin layer," *Journal of Food Engineering*, vol. 66, pp. 497-503, 2005.
- [9] I. T. Togrul, D. Pehlivan, "Modeling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process," *Journal of Food Engineering*, vol. 58, pp. 23-32, 2004.
- [10] S. P. Madamba, H. R. Driscoll, A. K. Buckle, "The thin-layer drying characteristics of garlic slices," *Journal of Food Engineering*, vol. 29, pp. 75-97, 1995.
- [11] S. J. Balabis, E. Papanicolaou, N. Kyriakis, V. G. Belessiotis, "Evaluation of thin-layer drying models for describing drying kinetics of figs (Ficus carica)," *Journal of Food Engineering*, vol. 75, pp. 205-214, juin 2005.
- [12] K. E. Akpinar, Y. Bicer, "Mathematical modeling of thin layer drying process of long green pepper in solar dryer and under open sun," *Energy Conversion and Management*, vol. 49, pp. 1367-1375, février 2008.
- [13] M. J. Perea-Flores, V. Garibay-Febles, J. J. Chanona-Pérez, G. Calderon-Dominguez, J. V. Méndez-Méndez, E. Palacios-Gonzalez, G. F. Gutiérrez-Lopez, "Mathematical modeling of castor oil seeds (Ricinus Communis) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures," *Industrial Crops and Products*, vol. 38, pp. 64-71, 2012.
- [14] O. A. Dissa, D. J. Bathielo, H. Desmorieux, O. Coulibal, J. Koilidiati, "Experimental characterization and modeling of thin direct solar drying of amélie and brooks mangoes," *ENERGY*, vol. 36, pp. 2517-2527, 2001.
- [15] Ibrahim Doymaz, "Air-drying characteristics of tomatoes," *Journal of Food Engineering*, pp. 497-503, 2005.
- [16] J. S. Roberts, D. R. Kidd, O. P. Zakour, "Drying kinetics of grape seeds," *Journal of Food Engineering*, vol. 89, pp. 460-465, 2008.
- [17] Ibrahim Doymaz, "Convective drying kinetics of strawberry," *Chemical Engineering and Processing*, vol. 47, pp. 914-919, 2008.
- [18] E. Belahmidi, A. Belghit, A. Mrani, M. Kaoua, "Approche expérimentale de la cinétique des produits agro-alimentaires: Application aux peaux d'orange et à la pulpe de betterave," *Revue Générale de Thermique*, pp. 380-381, 444-453, 1993.
- [19] C. Ahouannou, Y. Jannot, B. Lips, A. Lallemand, "Caractérisation et modélisation du séchage de trois produits tropicaux : manioc, gingembre et gombo," vol. 20, pp. 413-432, 2000.
- [20] A. Talla, Y. Jannot, C. Kapseu, J. N. Nganhou, "Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage de fruits tropicaux. Application à la banane et à la mangue," *Sciences des Aliments*, vol. 21, pp. 499-518, 2001.
- [21] Y. Jannot, A. Talla, J. R. Puigalli, "Modeling of Banana Convective Drying by the Drying Characteristic curve (DCC) Method," *Drying Technology*, vol. 22, no. 8, pp. 1949-1968, 2004.