

Normalisation des Isothermes de Sorption des Différents Types de Riz

Yahia Khadraoui, Abdelali Terfous

Institut de mécanique, université A. Belkaid de Tlemcen B.P. 119 Tlemcen (13000) Algérie

Résumé –. *Les méthodes analytiques permettant l'obtention des équations qui décrivent les teneurs en eau des produits agro-alimentaires sont jusqu'à présent inexistantes; c'est pourquoi, les équations empiriques ont trouvé une large application. Cependant, l'expérimentation est inhérente à un ensemble d'insuffisances: sa complexité et pour certains produits, elle est pratiquement impossible. L'objet de ce travail est une approche globale de normalisation des isothermes de sorption exploitant les résultats expérimentaux du riz obtenus par différents auteurs. On utilisera des méthodes de similitude et des corrélations pour aboutir à des équations analytiques communes à tous les types de riz indépendamment de la température permettant la prévision des paramètres de calcul du séchage du riz.*

Abstract – *The analytical methods enabling the achievement of the equations which describe the water contents of the agricultural and food products are up to the present time non existent. This is why, the empirical equations found a large use. However, the experimentation is inherent in a number of inadequacies such as, its complexity and, for some products, it is practically impossible. The aim of this work, is a global approach of normalisation of the isothermal of sorption using the experimental results of rice obtained by different authors. We use similarity methods as well as correlation to lead to the common analytical equations to all types of rice independently from the temperature allowing the prevision of the drying parameters of rice.*

Mots clés : Teneur en eau - Isothermes de sorption – séchage –similitude hygroscopique

1. INTRODUCTION

L'étude des processus technologiques (traitement, transport et conservation) des produits capillaro-poreux et en particulier les produits agro-alimentaires n'est possible que si on a une forme analytique décrivant les variations des teneurs en eau de ces matériaux. La connaissance de ces données permet l'optimisation des méthodes de calcul des installations de traitement et de conservation de ces matériaux. Les méthodes analytiques permettant l'obtention des équations qui décrivent ces teneurs en eau sont jusqu'à présent inexistantes; c'est pourquoi, les équations empiriques ont trouvé une large application. Cependant, l'expérimentation est inhérente à un ensemble d'insuffisances: sa complexité et pour certains produits, elle est pratiquement impossible. Par conséquent, la construction directe de ces équations sur la base des données expérimentales limitées reste impossible. C'est pourquoi, on utilise des méthodes empiriques et semi-empiriques pour généraliser ces données expérimentales dans le but de construire des modèles mathématiques [1].

Le caractère des isothermes de sorption des produits capillaro-poreux, a été examiné dans plusieurs travaux parmi lesquels Luikov [2]. Il montre que ces isothermes sont en forme de S sans points singuliers. Dans les travaux [3], [4] et [5], les auteurs ont présenté des modèles mathématiques décrivant les processus de sorption; cependant, aucun de ces modèles ne peut correctement traduire la variation des valeurs de sorption en fonction de l'humidité de l'air. En sachant la complexité des processus de sorption de l'eau, liée avec le type de liaison de l'eau avec le produit [5], il est nécessaire de noter que les équations empiriques des isothermes présentées par les différents auteurs ne sont valables que dans les intervalles de paramètres pour lesquels elles sont obtenues. L'objectif de ce travail est de trouver une

approche globale de normalisation des isothermes de sorption du riz exploitant les résultats expérimentaux publiés dans les travaux [6].

2. PARTIE EXPERIMENTALE

Dans les travaux [6] sont publiés les données expérimentales de sorption des différents types de riz dans les intervalles de température de 273 à 303 K et d'humidité relative de l'air de 10 à 90 %. Les isothermes de sorption du riz sont en forme de S, sans points singuliers. Comme le montre le schéma (Fig.1), les valeurs de la teneur en eau des différents types de riz à des valeurs identiques de HR_{∞} diffèrent. Ceci est expliqué du fait que leurs compositions chimiques sont différentes et particulièrement la présence de l'albumen qui a une grande capacité hydrophile. La plus grande concentration de l'albumen se trouve dans le riz de perles avec 8,87%, la plus petite dans le riz Spaltchic : 6,93%. Les riz de Krasnodar 424, Coulant et de Kouban contiennent respectivement 8,08 ; 7,53 et 7,21%. La teneur en eau du riz augmente avec l'augmentation de l'albumen.

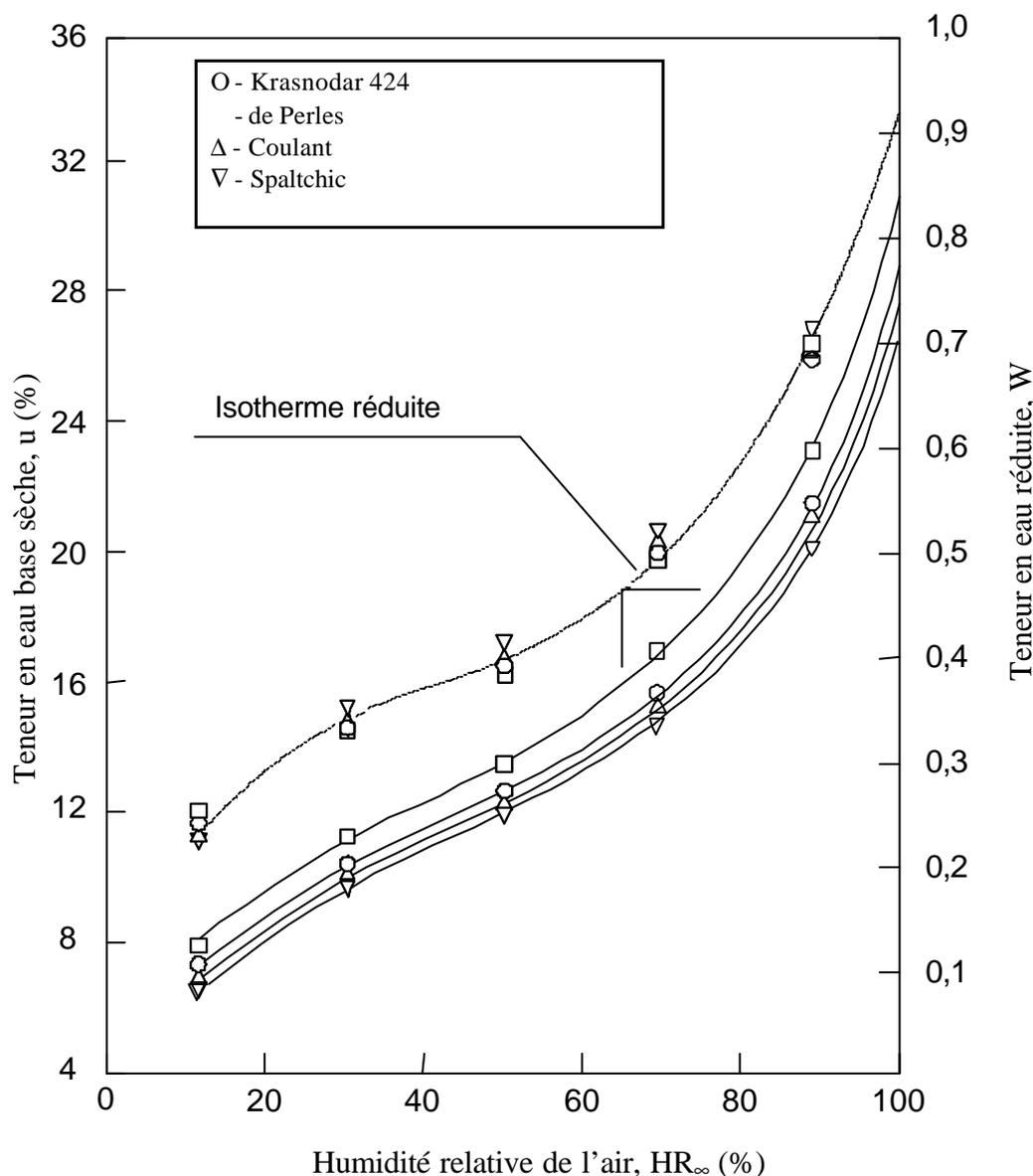


Fig.1 Isothermes expérimentales de sorption du riz à T = 293 K

3. ANALYSE DES DONNEES EXPERIMENTALES DE LA TENEUR EN EAU DU RIZ

Pour l'évaluation de la quantité d'eau contenue dans le matériau humide, on peut utiliser deux paramètres : la teneur en eau base sèche, exprimée en (kg/kg masse sèche):

$$u = \frac{G_E}{G_{MS}} = \frac{G_{MH} - G_{MS}}{G_{MS}} \quad (1)$$

et la teneur en eau base humide, exprimée en (kg/kg masse humide) :

$$w = \frac{G_E}{G_{MH}} = \frac{G_{MH} - G_{MS}}{G_{MH}} \quad (2)$$

La relation entre u et w est donc,

$$u = \frac{w}{1 - w} \quad (3)$$

La méthode de similitude hygroscopique est très utilisée en thermodynamique lors de l'étude des propriétés thermodynamiques des substances. Son utilisation permet de diminuer le volume des mesures expérimentales. Deux matériaux sont en similitude hygroscopique si le rapport de leur teneur en eau reste constant à des valeurs identiques de HR_∞ et T.

$$\frac{u_i(HR_\infty, T)}{u_1(HR_\infty, T)} = K_i = const \quad (4)$$

L'expérience montre que la similitude hygroscopique est observée dans les matériaux de structures physico-chimiques proches.

Dans le tableau 1, sont présentés les résultats de l'étude de similitude des différents types de riz sur l'isotherme 273 K, le riz de perles étant choisi comme référence.

Tableau 1. Résultats de l'étude de similitude des différents types de riz sur l'isotherme 273 K

HR _∞ , %	Valeurs u et coefficients de similitude K _i en fonction du type de riz									
	de Perles		Krasnodar 424		Coulant		Spaltchic		Kouban	
	u ₁ %	K ₁	u ₂ %	K ₂	u ₃ %	K ₃	u ₄ %	K ₄	u ₅ %	K ₅
30	12,11	1,00	11,23	0,9273	11,11	0,9174	10,86	0,8968	11,48	0,9480
50	14,42	1,00	13,89	0,9632	13,64	0,9459	13,51	0,9369	13,76	0,9542
70	18,06	1,00	17,10	0,9468	16,96	0,9391	16,69	0,9241	16,96	0,9391
90	25,79	1,00	23,76	0,9213	23,61	0,9155	23,15	0,8976	23,46	0,9096
Val. . . moy K _m (isoth. 273 K)		1,00		0,9314		0,9222		0,9078		0,9279
Ecart relatif entre K _i et K _m , %			max.	3,56				2,67		
			min.	-3,41				-3,20		

L'erreur relative maximale des K_i par rapport aux valeurs moyennes K_m , pour chaque type de riz, ne dépasse pas 5%. Les mêmes corrélations entre K_i et les valeurs moyennes K_m se conservent pour les autres températures. En conséquence, les différents types de riz présentés sont en similitude hygroscopique d'erreur $\pm 5\%$.

Pour l'analyse des données expérimentales et la construction des isothermes générales de sorption des matériaux en similitude hygroscopique, on introduit un paramètre sans dimension appelé teneur en eau réduite :

$$W = \frac{u}{u_{os}} \quad (5)$$

On peut conclure, des deux relations (4) et (5) que, deux matériaux en similitude hygroscopique possèdent les mêmes valeurs de W à des paramètres identiques de l'air humide.

La valeur de la teneur en eau correspondant à $HR_\infty = 100\%$ est difficile à déterminer expérimentalement ; c'est pourquoi, dans la majorité des cas, cette valeur est obtenue par extrapolation des données expérimentales [7]. La teneur en eau maximale du riz de perles choisi comme base aux paramètres $T = 273 \text{ K}$ et $HR_\infty = 100\%$ est $u_{bs} = 0,349 \text{ kg/kg}$ masse sèche, cette valeur est utilisée pour le calcul de la teneur en eau en forme réduite $W = W(HR_\infty, T)$. Pour les autres sortes de riz, leurs valeurs u_{os} (tableau 2) sont calculées avec les données expérimentales et l'isotherme réduite de base à l'aide de la relation suivante:

$$u_{os} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{u_{ei}}{W_i} \quad (6)$$

où n est le nombre de points expérimentaux et les valeurs W_i sont déterminées à partir de l'isotherme réduite

Tableau 2. Les valeurs u_{os} en fonction des différents types de riz

Type de riz		Krasn odar 424		Coulant		Spaltchic		Kouban	
HR _∞ %	W	u _e , %	u _e /W %	u _e , %	u _e /W %	u _e , %	u _e /W %	u _e , %	u _e /W %
10	0,2378	7,8748	33,1122	6,9519	29,2314	6,4963	27,3157	8,1081	34,0932
30	0,3467	11,2347	32,4042	11,1111	32,0477	10,8647	31,3371	11,4827	33,1196
50	0,4126	13,8952	33,6766	13,6364	33,0493	13,5074	32,7367	13,7656	33,3626
70	0,5186	17,0960	32,9641	16,9591	32,7000	16,6861	32,1737	16,9591	32,7000
90	0,7392	23,7624	32,1437	23,6094	31,9367	23,1527	31,3190	23,4568	31,7303
Val. moy. u _{os} , %		32,59		31,70		30,93		32,65	

La comparaison des valeurs u_c calculées par la formule $u_c = W \cdot u_{os}$ avec les valeurs expérimentales [6] est présentée sur le tableau 3. L'erreur relative calculée par la formule:

$$\delta u = \frac{u_e - Wu_{os}}{u_e} \cdot 100\% \quad (7)$$

se trouve dans l'intervalle $\pm 5\%$.

Tableau 3. Comparaison des valeurs calculées de la teneur en eau avec les valeurs expérimentales

Type de riz	Spaltchic			Coulant		
HR _∞ , %	u _e , %	u _c , %	δ u , %	u _e , %	u _c , %	δ u , %
30	10,86	10,723	+ 1,26	11,11	10,990	+ 1,08
50	13,51	12,762	+ 5,5	13,64	13,079	+ 4,1
70	16,69	16,041	+ 3,9	16,96	16,440	+ 3,07
90	23,15	22,865	+ 1,23	23,61	23,434	+ 0,74

4. COURBE CARACTERISTIQUE ET L'EQUATION A UN SEUL PARAMETRE

L'étude des données expérimentales de la teneur en eau des différents types de riz est effectuée à l'aide de la méthode des courbes caractéristiques [8]

$$u = u(\bar{H}) \quad (8)$$

$\bar{H} = H / H_{os}$ _ La hauteur réduite du pore équivalent, égale au rapport de la hauteur du pore équivalent H aux paramètres de l'air humide sur la hauteur du pore équivalent H_{os} correspondant à T=273 K et HR_∞ =100%. La hauteur du pore équivalent H est déterminée à partir de la loi de Kelvin. Les caractéristiques thermophysiques de sorption sont calculées avec les valeurs suivantes[8]: H_{os} = 123,784 Å, le rayon du pore équivalent (modèle sphérique) est égal à 90 Å.

L'utilisation de la relation $W=W(\bar{H})$ (Fig.2) élargit la possibilité de la méthode puisque, la courbe caractéristique en coordonnées adimensionnelles possède non seulement l'invariance de la température mais aussi du type de riz, ce qui permet pour sa construction d'utiliser les données expérimentales de tous les différents types de riz en similitude hygroscopique indépendamment de la température.

La courbe caractéristique générale du riz a pour équation:

$$W = A.\exp(B.\bar{H}^M) + C.\exp(D.\bar{H}^N) \quad (9)$$

Par les méthodes d'optimisation non linéaire, on détermine les valeurs des coefficients A,B,M,C,D et N . Les valeurs sont reportées au tableau 4.

Tableau 4 : Valeurs des coefficients de l'équation caractéristique du riz.

A	B	M	C	D	N
0,197637	1,57943	0,904514	-7,43945	-28,3466	0,937664

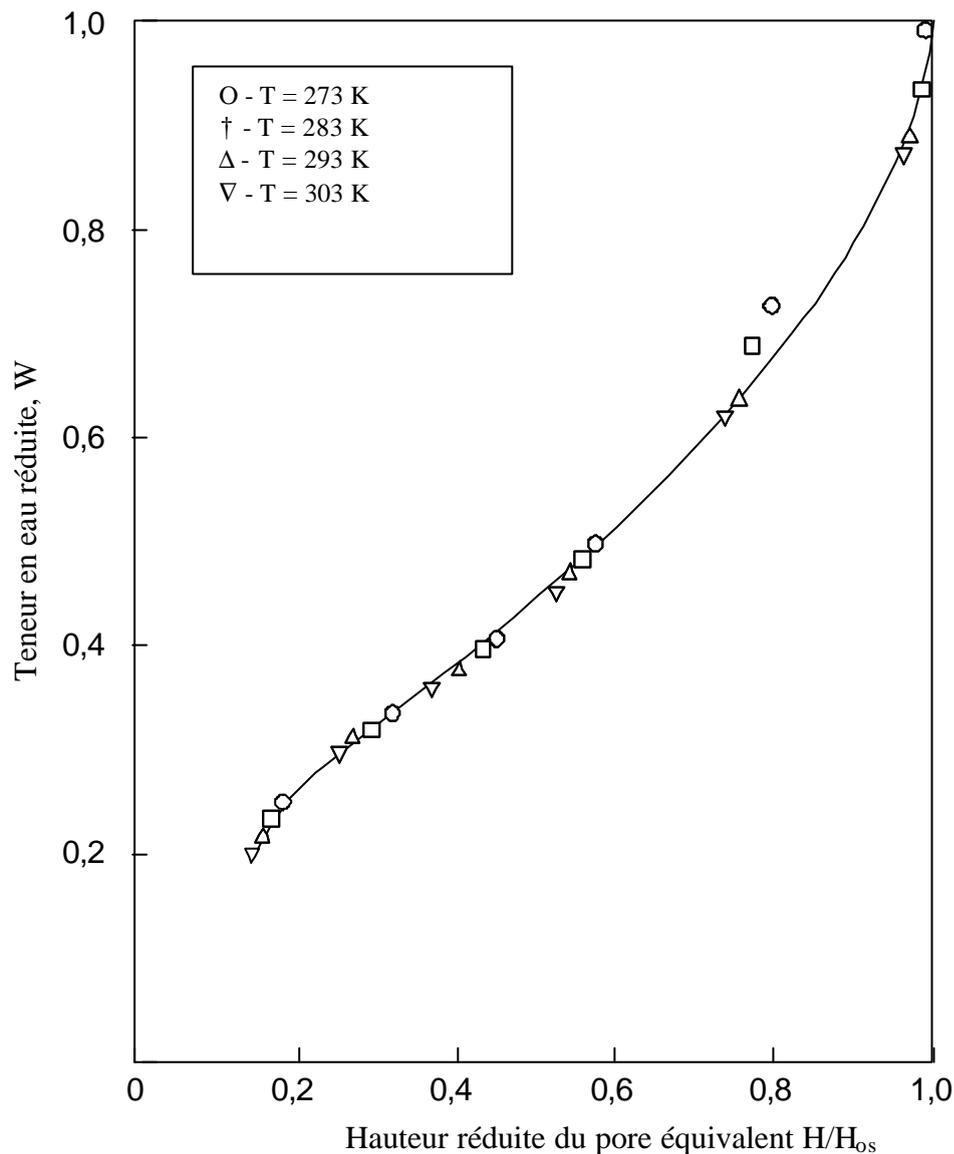


Fig. 2 : Courbe caractéristique des différents types de riz

L'erreur relative moyenne quadratique est égale à 2,78 % (tableau 5).

5. CONCLUSION

Les propriétés hygroscopiques de tous les types de riz étudiés sont en similitude hygroscopique entre eux avec l'erreur $\pm 5\%$. La courbe caractéristique possède non seulement l'invariance de la température mais aussi du type de riz ; ce qui permet de prévoir les valeurs des teneurs en eau d'autres types de riz si on détermine les valeurs de leurs teneurs en eau u_{0s} . L'équation peut être aussi utilisée pour le calcul des teneurs en eau de tous les types de riz étudiés lors des calculs des processus de transfert de masse et de chaleur.

Tableau 4. Comparaison entre les valeurs W calculées par la relation (9) et les valeurs déterminées à partir de l'isotherme réduite

HR _∞ , %	T = 273,15 K			T = 283,1 K		
	W	W _c	δW,%	W	W _c	W,%
10	0,23782	0,24802	-4,29	0,23209	0,23343	- 0,58
30	0,34670	0,33837	2,40	0,33238	0,32198	3,16
50	0,41261	0,41643	-0,92	0,40115	0,40479	- 0,91
70	0,51862	0,51207	1,26	0,50430	0,49843	1,16
90	0,73925	0,70889	4,11	0,72493	0,69268	4,45
δW moyen quadratique	3,17			2,45		

HR _∞ , %	T= 293,15 K			T = 303,15 K		
	W	W _c	δW,%	W	W _c	δW,%
10	0,21776	0,21751	0,12	0,20341	0,20005	1,66
30	0,31805	0,30845	3,02	0,30086	0,29688	1,32
50	0,37822	0,39338	- 4,01	0,36963	0,38195	- 3,33
70	0,48711	0,48530	0,37	0,46418	0,47262	- 1,82
90	0,67335	0,67704	- 0,55	0,65043	0,66191	- 1,77
δW moyen quadratique	2,62			2,83		
dW moyen quadratique de tous les Points, %						2,78

NOMENCLATURE

u	teneur en eau base sèche (kg/kg)	T	température (K)
G _E	masse de l'eau dans le matériau (kg)	W	teneur en eau réduite
w	teneur en eau base humide(kg/kg)	G _{MS}	masse du matériau sec (kg)
H	hauteur du pore équivalent (Å)	G _{MH}	masse du matériau humide (kg)
HR _∞	humidité relative de l'air (%)		

Indices

e	expérimentale
c	calculé
os	relative aux paramètres
	T ₀ = 273 K et HR _∞ = 100 %

REFERENCES

- [1] Y. Khadraoui, “ *Analyse des données expérimentales des différents types de riz* ”. 9^{ème} Journées Internationales de la Thermique (JITH). 15-18 septembre 1999 – Belgique (acceptée).
- [2] Luikov A.V., “ *Transfert de masse et de chaleur* ”, M., Transport, 1981, 240p.
- [3] Brunauer S., Emmet P.H., Teller E., “*Adsorption of gases in multimolecular layers*”, J. Am. Chem.Soc.,60,309-319,1938
- [4] Bizot H., “ *Model to construct sorption isotherms* “, Physical properties of foods, Applied Sciences Publishers, London and New-York, pp.43-54, 1983
- [5] Luikov A.V., Théorie de séchage, M., Energie, 1968,472p.
- [6] Proudnikova G.N. , Kachevskaya L.F.,” *Propriétés hygrosopiques de nouveaux sortes de riz* ”, Nouvelles VOUZOV de technologie alimentaire, 1988, pp.67-69.
- [7] Guido M.G., Développement des méthodes de généralisation des propriétés thermodynamiques des matériaux hygrosopiques, Thèse de doctorat, Odessa 1985.
- [8] Zagaroika V.A., Golikov A.A., Thermodynamique et thermophysique des matériaux humides,Kiev,1995,