

Optimisation de la déshydratation osmotique des tranches de carottes dans une solution de saccharose concentrée en utilisant la Méthodologie des Surfaces de Réponse

A. Ferradji ¹, F.S Aït Chaouche ¹, D. Belhachat ¹ and A. Malek ²

¹ Département de Technologie Alimentaire, Ecole Nationale Supérieure Agronomique
Avenue Hassan Badi, El Harrach 16000, Alger, Algérie

² Centre de Développement des Energies Renouvelables, 'CDER'
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah 16340, Alger, Algérie

(reçu le 10 Décembre 2017 - accepté le 20 Décembre 2017)

Résumé - La méthodologie des surfaces de réponse a été utilisée pour la détermination des conditions optimales permettant le maximum de perte en eau et de réduction du poids et un minimum de gain en solide au cours de la déshydratation osmotique des carottes dans une solution concentrée de saccharose. Les expériences ont été réalisées en utilisant le Plan Box-Behnken. Les variables indépendantes de la déshydratation osmotique sont la température (25 - 65 %), la durée du traitement (30 - 45 min.), la concentration de la solution de saccharose (45 - 65% w/w) et le blanchiment (0 - 180 s). Le procédé de déshydratation osmotique a été optimisé pour la perte d'eau, la réduction de poids et le gain en soluté. Les conditions optimales de la déshydratation osmotique des carottes sont obtenues à : une température de 55 °C, une concentration de 60 °Brix, un blanchiment de 30 secondes et une durée de déshydratation de 180 min. Dans ces conditions, le pourcentage de la perte en eau et en poids et le pourcentage du gain en solide sont respectivement de 75.32 % (g/100 g poids initial), 84.38 % (g/100 g poids initial) et 11.76 % (g/100 g poids initial).

Abstract - Response Surface Methodology was used to determine optimal conditions for maximum water loss and weight reduction and minimum gain in solids during osmotic dehydration of carrots in a concentrated sucrose solution. The experiments were carried out the Box-Behnken Plan. Variables independent of osmotic deshydration are temperature (25 - 65 %), duration of treatment (30 - 45 min.), concentration of sucrose solution (45 - 65% w/w) and bleaching (0 - 180 s). The osmotic dehydration process has been optimized for water loss, weight reduction and solute gain. The optimal conditions for osmotic dehydration of carrots are obtained at: a temperature of 55 ° C, a concentration of 60 ° Brix, a bleaching of 30 seconds and a dehydration time of 180 min. Under these conditions the percentage of water loss and weight and the percentage of the gain in solid are respectively 75.32 (g / 100 g initial weight), 84.38 (g / 100 g initial weight) and 11.76% (g / 100 g initial weight).

Keywords: Optimization - Osmotic dehydration - Carrots - Sugar solution - Response surface methodology

1. INTRODUCTION

La production de la carotte, *Daucus Carota* appartenant à la famille des *Apiacées*, est évaluée annuellement en Algérie à environ 200000 qx. Les principales variétés cultivées à grande échelle sont la Nantaise, Muscade, Touchon, Napoli, Presto, Premia. La production est destinée généralement au marché du frais. Au point de vue culinaire les carottes sont incorporés dans les recettes des plats traditionnels tels que les tajines et le couscous.

En ce qui concerne la conservation des carottes, plusieurs travaux ont porté sur la technique de la déshydratation osmotique dans des solutions fortement concentrées de saccharose et de sel [1, 2, 3]. Au cours de la déshydratation osmotique, le contact du produit avec la solution concentrée conduit à deux transferts de matière simultanés à

contre courant: un important départ d'eau du produit vers la solution et un faible transfert de soluté de la solution vers le produit.

L'évolution de perte en eau et du gain en substances solides solubles au cours de la déshydratation osmotique dépend d'une part des propriétés des tissus végétaux et du mode de découpe des produits et d'autre part des conditions de traitement, essentiellement la température, la durée, le mode de mise de contact des phases, la concentration et la composition de la solution [4, 5]. Une synthèse des connaissances sur la déshydratation osmotique des fruits a été réalisée par Bchir [6].

La cinétique en continu de la déshydratation osmotique des fruits et légumes est souvent étudiée par le modèle mathématique proposé par Azuara [7, 8] et l'optimisation de ce procédé par la méthodologie des surfaces de réponse [9].

Ainsi l'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude de la cinétique de la déshydratation osmotique de ce légume et de son optimisation en utilisant la méthodologie des surfaces de réponse.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel végétal

Les carottes utilisées pour l'expérimentation sont de la variété Nantaise provenant de la région de la Mitidja (Alger).

2.2 Protocole expérimental

Les carottes sont lavées, séchées et découpées en dés. Elles subissent un blanchiment dans de l'eau bouillante durant 0, 30, 60, 120 et 180 secondes, puis refroidies dans de l'eau glacée afin d'arrêter l'effet du blanchiment. La durée de trempage des échantillons dans la solution de métabisulfite de sodium à 1 % est de 60 secondes. Les échantillons sont aussi trempés dans une solution de maïzena à 2.5 % pendant 4 minutes.

Les carottes sont par la suite déshydratées par osmose à 25, 35, 45, 55 et 65 °C dans une solution concentrée de saccharose à 45, 50, 55, 60 et 65 °Brix pour les durées de 30, 60, 120, 180 et 240 minutes. Le rapport échantillon / solution de déshydratation est de 1 :4. La solution de saccharose contenant les échantillons est placée dans un bain marie qui est déposé sur un agitateur réglé à une vitesse de 150 oscillations par minute.

Les échantillons sont retirés à des intervalles périodiques. L'excès de la solution de saccharose est éliminé par du papier absorbant. Après cette opération, les échantillons sont pesés et remis dans la solution osmotique pour effectuer la déshydratation en continu. A la fin des durées de déshydratation, la teneur en eau est déterminée par un humidimètre à infrarouge de marque Sartorius.

2.2.1 Réhydratation

La teneur en eau de carottes déshydratées par osmose est de 48.9 %. A l'aide d'une soufflerie de laboratoire réglée à une température de 40 °C, la teneur en eau est réduite à 22.03 %.

La réhydratation des carottes séchées a été effectuée en trempant 10 à 12 g d'échantillon dans 300 ml d'eau à température ambiante pendant 12 heures. Après réhydratation, les échantillons sont débarrassés de l'excès d'eau en utilisant du papier absorbant et pesés. Le rapport de réhydratation est calculé comme suit:

$$\text{Rapport de réhydratation} = \frac{\text{Poids après le séchage}}{\text{Poids après la réhydratation}} \quad (1)$$

2.2.2 Cinétique de déshydratation osmotique en continu :

L'évolution de la perte en eau et du gain en solide au cours de la déshydratation osmotique est déterminée par le modèle mathématique de Azuara [9]. Les équations utilisées pour le calcul des pourcentages de la perte en eau (PE) et en poids (PP) et du gain en substances solides solubles (GS) au cours du transfert de masse à contre courant sont les suivantes:

$$PE = \frac{S_1 \times t \times PE_e}{1 + S_1 \times t} \quad (2)$$

$$GS = \frac{S_2 \times t \times GS_e}{1 + S_2 \times t} \quad (3)$$

Où: PE: quantité d'eau éliminée du produit au temps t (g/100g). GS: quantité des substances solides soluble transférée au produit au temps t (g/100g). PE_e : quantité des substances solides soluble transférée au produit à l'équilibre, GS_e : Pourcentage du gain en solide à l'équilibre. t : temps en sec., S_1 : constante liée à la perte en eau, S_2 : constante liée au gain en solide. La perte en poids (PP) durant la déshydratation osmotique est calculée par la différence entre la perte en eau (PE) et le gain en soluté (GS):

$$PP = PE - GS \quad (4)$$

2.2.3 Plan expérimental et analyse statistique

La méthodologie des surfaces de réponse (MSR) a été utilisée pour évaluer les principaux effets du procédé de la déshydratation osmotique sur la perte en eau (PE) et le gain en solide (GS) dans les carottes. Un plan composite central a été utilisé pour les variables indépendantes suivantes: température (25 - 65 °C), temps de traitement (30 – 240 minutes), concentration de solution de saccharose (45 - 65 %) et blanchiment (0–180 secondes) (**Tableau 1**). Les 30 expériences générées sont analysées par la méthodologie des surfaces de réponse en utilisant le logiciel Statistica v10 .

Tableau 1: Niveaux de différentes variables sous la forme codée et non codée pour la déshydratation osmotique des carottes

Variables indépendantes	Niveaux et pairs				
	-2	-1	0	1	2
Température (°C)	25	35	45	55	65
Temps (min)	30	60	120	180	240
Concentration (°Brix)	45	50	55	60	65
Blanchiment (s)	0	30	60	120	180

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Evaluation de la cinétique en continu de la déshydratation osmotique des tranches des carottes

La figure 1 présente l'évolution des pourcentages de perte en poids (PP), perte en eau (PE) et du gain en substances solubles solides (GS) calculés par les équations (1), (2) et (3). Au cours de la déshydratation osmotique, effectuée à 65 °C dans une solution de saccharose de 65 °Brix, les morceaux de carottes perdent beaucoup plus d'eau qu'ils ne gagnent de saccharose. Dans ces conditions après 60 min, la perte en eau et le gain en substances solides solubles atteignent respectivement 84.38 % et 11.76 %.

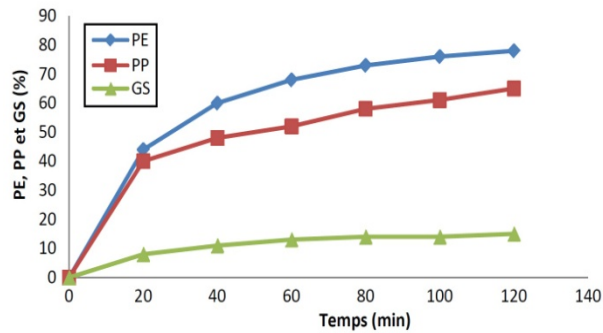


Fig. 1: Variation de la perte en eau (PE), de la perte en poids (PP) et du gain en solides (GS) au cours de la déshydratation osmotique à 45°C et à 55 °Brix de saccharose

3.2 Optimisation de l'effet des variables indépendantes (température, temps, concentration, blanchiment) sur la perte en eau et le gain en solides en utilisant la méthodologie des surfaces de réponse

3.2.1 Diagramme de Pareto

Le diagramme de Pareto permet de fixer une limite entre les facteurs influents et non influents. Pour notre étude, la limite est fixée à $P=0.05$ (figure 2). Ainsi en ordonnant les valeurs absolues des coefficients du t-student par ordre décroissant, le diagramme de Pareto nous montre que les quatre facteurs sont influents pour le gain en substances solides solubles.

On constate que le deux facteurs les plus influents sur le gain en substances solides solubles (GS%) sont, le blanchiment et la concentration de la solution de saccharose.

Sur la figure 3, le diagramme de Pareto révèle que les paramètres les plus influents par ordre décroissant sur la perte en eau (PE%) sont la température, le temps, la concentration et le blanchiment.

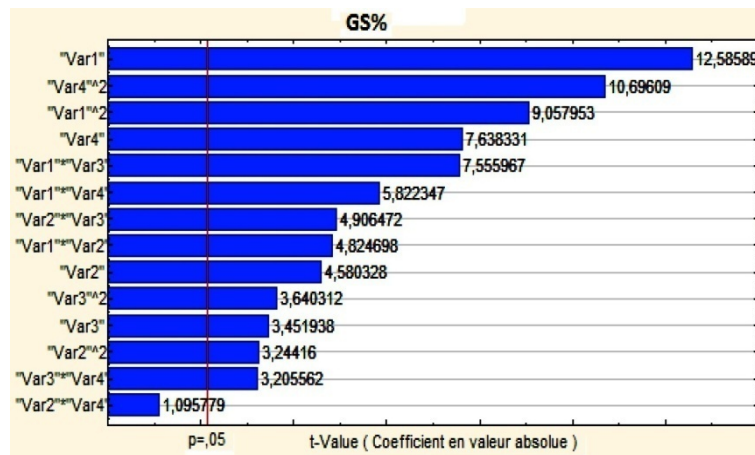


Fig. 2: Diagramme de Pareto pour le gain en solides

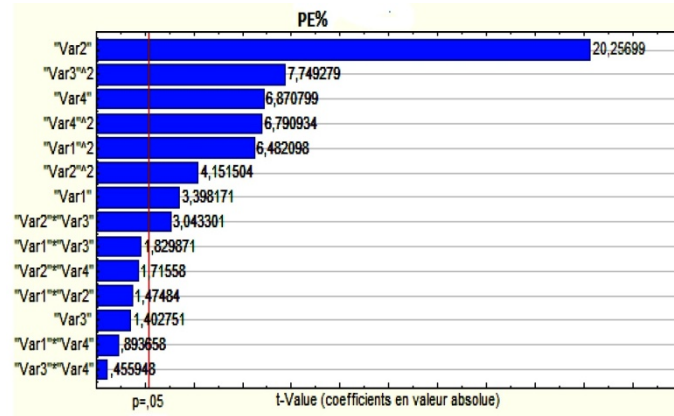


Fig. 3: Diagramme de Pareto pour la perte en eau.

3.2 Ajustement du modèle

Les valeurs de R^2 indiquent que plus de 95 % des données expérimentales sont compatibles avec les valeurs des données prévues par le modèle (**Tableau 3**) et seulement moins de 5% de l'ensemble des variations ne sont pas expliquées par le modèle.

L'expression mathématique de la relation à la réponse avec les variables sont indiqués ci-dessous.

$$\begin{aligned} PE = & +78.29+1.43 \times A+8.50 \times B-0.59 \times C+2.88 \times D+0.76 \times A \times B \\ & -0.94 \times A \times C+0.46 \times A \times D-1.56 \times B \times C-0.88 \times B \times D \\ & +0.23 \times C \times D-2.54 \times A^2-1.63 \times B^2-3.04 \times C^2-2.67 \times D^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PP = & +65.20+2.94 \times A+9.07 \times B-0.20 \times C+2.64 \times D-0.69 \times A \times B \\ & -2.27 \times A \times C-0.15 \times A \times D-2.11 \times B \times C-0.59 \times B \times D \\ & -0.35 \times C \times D-1.85 \times A^2-1.84 \times B^2-2.87 \times C^2-1.80 \times D^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} GS = & +14.85-1.57 \times A+0.57 \times B-0.43 \times C+0.95 \times D-0.74 \times A \times B \\ & +1.15 \times A \times C+0.89 \times A \times D+0.75 \times B \times C-0.17 \times B \times D \\ & -0.49 \times C \times D-1.06 \times A^2-0.38 \times B^2-0.42 \times C^2-1.25 \times D^2 \end{aligned}$$

Où PE, PP et GS sont respectivement la perte en eau (%), la perte en poids (%) et le gain en solides (%) et A, B, C, and D sont respectivement les valeurs codées des variables testées suivantes: blanchiment (s), température (°C), temps (min), concentration de la solution de saccharose (%p/p).

Plus l'amplitude de la valeur de F est élevée et celle de P est faible, plus le coefficient correspondant est significatif. Les valeurs de 'Prob>F' inférieures à 0.0500 indiquent que les facteurs du modèle sont significatifs.

Les valeurs supérieures à 0.05 indiquent que les facteurs du modèle ne sont pas significatifs.

Pour cette étude, A, B, C, D, AB, AD, A², C² : A, B, C, D, AB, AD, A², B², C² et A, B, C, D, AB, AD, BC, CD, A², B², C², D² sont les termes du modèle ayant des effets significatifs respectivement sur PE, PP et GS.

Les effets linéaires, quadratiques et interactives de toutes les variables sur la réponse sont évalués par l'analyse de la variance du modèle quadratique de surface de réponse.

Le signe et l'amplitude des coefficients précisent les effets des variables sur la réponse. Le signe négatif du coefficient signifie que la réponse diminue lorsque la variable augmente, tandis que le signe positif indique une augmentation de la réponse.

Pour l'interaction positive, le niveau de l'une des variables interactives pourrait augmenter pendant que l'autre diminue afin d'aboutir à une valeur constante de la réponse.

3.2.1 Effet sur la perte en eau

Les p-valeurs indiquent que les termes A, B, D, BC, A², B², C² et D² ont des effets significatifs ($p < 0.05$) sur la perte en eau pendant le processus de la déshydratation osmotique.

L'amplitude relative des coefficients d'estimation indique l'effet positif de la température de la solution osmotique (8.50), suivi par la concentration de la solution (2.88) et par le blanchiment (1.43) et elle indique aussi l'effet négatif de la durée du processus (-0.59).

Tableau 2: Conditions expérimentales et valeurs de réponse observées Plan Composite Central

Niveaux	Blanchiment	Température	Temps	Concentration	PP	PE	GS
1	1.00	1.00	1.00	-1.00	61.36	73.22	11.03
2	0.00	0.00	0.00	0.00	65.2	78.29	14.85
3	1.00	1.00	-1.00	1.00	75.32	84.38	11.76
4	-1.00	1.00	1.00	1.00	65.07	72.57	10.88
5	-2.00	0.00	0.00	0.00	52.76	65.36	13.8
6	0.00	0.00	0.00	0.00	65.2	78.29	14.85
7	-1.00	-1.00	1.00	1.00	52.06	66.83	12.69
8	0.00	0.00	0.00	0.00	65.2	78.29	14.85
9	-1.00	-1.00	-1.00	1.00	43.45	59.45	18.42
10	-1.00	1.00	1.00	-1.00	58.62	71.57	13.57
11	1.00	1.00	1.00	1.00	64.39	78.67	13.61
12	0.00	0.00	0.00	2.00	62.84	74.47	12.17
13	1.00	-1.00	1.00	-1.00	46.89	54.15	8.9
14	-1.00	-1.00	1.00	-1.00	44.04	56.62	12.96
15	1.00	1.00	-1.00	-1.00	67.93	76.17	7.34
16	2.00	0.00	0.00	0.00	65.62	73.54	8.01
17	0.00	2.00	0.00	0.00	77.71	90.13	15.32
18	0.00	0.00	0.00	0.00	65.2	78.29	14.85
19	-1.00	1.00	-1.00	-1.00	62.64	75.71	12.36
20	0.00	-2.00	0.00	0.00	40.75	56.09	17.98
21	0.00	0.00	0.00	-2.00	55.93	63.46	8.11
22	0.00	0.00	2.00	0.00	56.57	66.58	12.08
23	1.00	-1.00	-1.00	-1.00	47.81	58.24	8.37
24	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00	35.13	52.62	16.93
25	0.00	0.00	0.00	0.00	65.2	78.29	14.85
26	0.00	0.00	0.00	0.00	65.2	78.29	14.85
27	1.00	-1.00	1.00	1.00	51.39	62.96	12.74
28	0.00	0.00	-2.00	0.00	53.62	68.34	14.79
29	1.00	-1.00	-1.00	1.00	56.53	63.04	12.03
30	-1.00	1.00	-1.00	1.00	65.82	77.59	14.09

Ainsi ces résultats indiquent que la perte en eau augmente avec l'augmentation de la température de la solution osmotique, de la concentration de la solution et du blanchiment. Tous les termes quadratiques ont des effets non significatifs sur la perte en eau comparés aux termes linéaires des variables du processus.

Les interactions du 'blanchiment et la température', du 'blanchiment et la concentration' et du 'temps et de la concentration' ont un effet significatif, tandis que les interactions du 'blanchiment et le temps', de la 'température et du temps', de la température et de la concentration' et ont un effet non significatif sur la perte en eau.

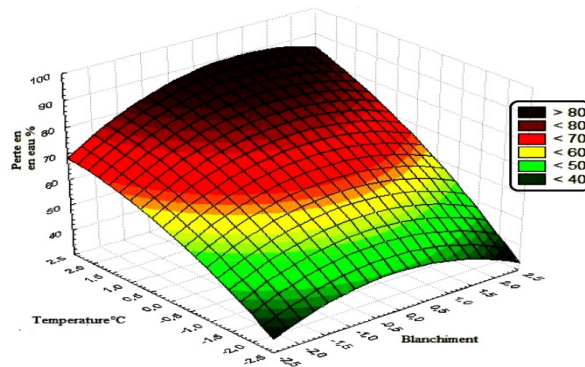


Fig. 4: Surface de réponse de l'effet de température et du blanchiment sur la perte en eau des carottes déshydratées dans un sirop de saccharose

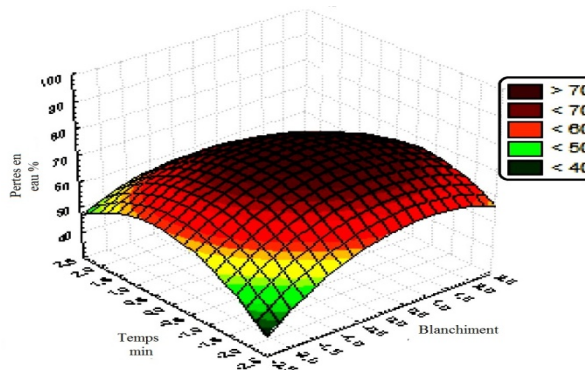


Fig. 5: Surface de réponse de l'effet du temps et du blanchiment sur la perte en eau des carottes déshydratées dans un sirop de saccharose

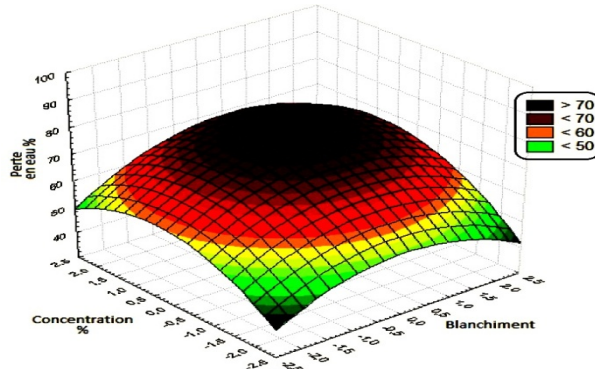


Fig. 6: Surface de réponse de la concentration et du blanchiment sur la perte en eau des carottes déshydratées dans un sirop de saccharose

3.2.2 Effet sur le gain en solides

Les p-valeurs indiquent que les termes A, B, C, D, AB, AC, AD, BC, CD, A², B², C² et D² ont des effets significatifs ($p < 0.05$) sur le gain en solide pendant la déshydratation osmotique.

L'amplitude relative des coefficients d'estimation indique l'effet positif de la concentration de la solution osmotique (0.95) et l'effet négatif du blanchiment (-1.57), suivi par la température de la solution (-0.57) et par la durée de processus (-0.43).

Ces résultats montrent que le gain en solide augmente avec l'augmentation de la concentration et diminue avec l'augmentation du blanchiment, de la température et de la durée de l'immersion des échantillons dans la solution concentrée du saccharose.

Les termes quadratiques du blanchiment, du temps et de la concentration ont des effets négatifs, tandis que la température a un effet significatif sur le gain de solides. Les interactions du 'blanchiment et la température', du 'blanchiment et le temps', 'blanchiment et la concentration' et de la 'température et du temps' ont un effet significatif, tandis que les interactions de la 'température et de la concentration' et du 'temps et de la concentration' ont un effet non significatif sur le gain de solide.

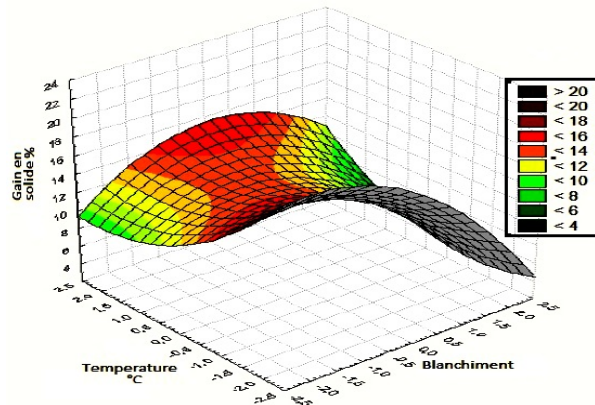


Fig. 7: Surface de réponse de l'effet de température et du blanchiment sur le gain en solides des carottes déshydratées dans un sirop de saccharose

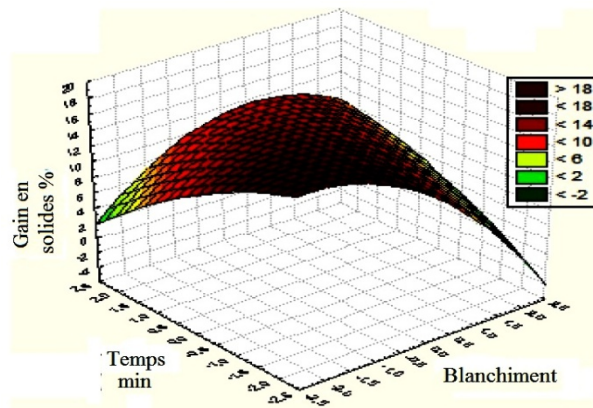


Fig. 8: Surface de réponse de l'effet du temps et de la concentration sur le gain en solides des carottes déshydratées dans un sirop de saccharose

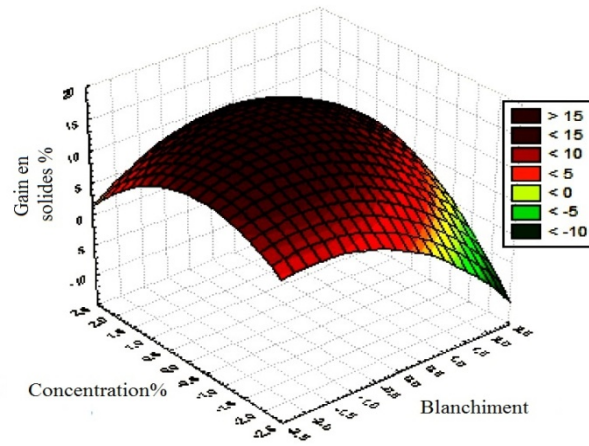


Fig. 9: Surface de réponse de l'effet du temps du blanchiment et de la concentration sur le gain en solide des carottes déshydratées dans un sirop de saccharose

Tableau 3: Analyse des variations (ANOVA) pour les surfaces de réponse quadratique

Source	PP			PE			GS		
	Coef.	MS	Pvalue	Coef.	MS	Pvalue	Coef.	MS	Pvalue
Modèle	65.20	2882.28	<0.0001	78.29	2574.13	<0.0001	14.85	227.69	<0.0001
A-	2.94	207.15	<0.0001	1.43	48.82	0.0040	-1.57	59.22	<0.0001
B	9.07	1975.99	<0.0001	8.50	1734.85	<0.0001	-0.57	7.84	0.0004
C	-0.20	1.00	0.6321	-0.59	8.32	0.1810	-0.43	4.45	0.0036
D	2.64	167.64	<0.0001	2.88	199.58	<0.0001	0.95	21.81	<0.0001
AB	-0.69	7.69	0.1965	0.76	9.20	0.1609	0.74	8.70	0.0002
AC	-2.27	82.40	0.0005	-0.94	14.16	0.0872	1.15	21.34	<0.0001
AD	-0.15	0.34	0.7803	0.46	3.38	0.3856	0.89	12.67	<0.0001
BC	-2.11	71.11	0.0009	-1.56	39.16	0.0082	0.75	9.00	0.0002
BD	-0.59	5.65	0.2645	-0.88	12.44	0.1068	-0.17	0.45	0.2905
CD	-0.35	1.97	0.5045	0.23	0.88	0.6550	-0.49	3.84	0.0059
A ²	-1.85	93.65	0.0003	-2.54	177.64	<0.0001	-1.06	30.67	<0.0001
B ²	-1.84	92.64	0.0003	-1.63	72.87	0.0009	0.38	3.93	0.0054
C ²	-2.87	226.17	<0.0001	-3.04	253.88	<0.0001	-0.42	4.95	0.0024
D ²	-1.80	88.78	0.0004	-2.67	194.97	<0.0001	-1.25	42.77	<0.0001
Manque		63.10			63.42	<0.0001		5.61	<0.0001
D'ajust									
R ²		63.10			63.42	0.0040		5.61	<0.0001
R ² ajusté		0.000			0.000	<0.0001		0.000	0.0004
R ² prédit		2945.38			2637.54	0.1810		233.30	0.0036

3.2.3 Aptitude à la réhydratation des carottes séchées et reprise de la forme

Les dés de carotte utilisés pour ce test ont été séchés auparavant, à une teneur en eau finale de 22.03 %. Au bout de 12h d'absorption d'eau, à une température ambiante de 28 °C la teneur en eau a augmenté jusqu'à 91.4 %. La récupération de la forme et de l'épaisseur des échantillons de carottes serait due à leur richesse en fibres qui participent activement au gonflement du tissu [10].

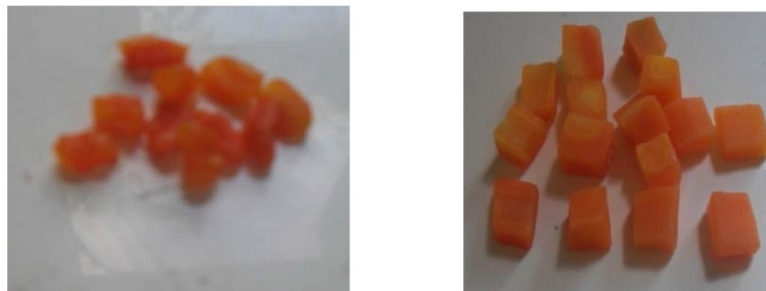


Fig. 10: Aspects des carottes séchées avant et après réhydratation

4. CONCLUSION

Pour cette étude, la Méthodologie de Surface de Réponse a été utilisée pour déterminer les conditions optimales du procédé de déshydratation osmotique des carottes afin d'obtenir un rendement maximal pour la perte en eau et en poids, et un rendement minimal pour le gain en solide.

L'analyse de variance a montré que les effets de toutes les variables du procédé (température, temps, concentration et blanchiment) sont statistiquement significatifs. Des modèles polynomiaux ont été obtenus pour prédire la perte en eau et en poids et le gain en solide. Les conditions optimales pour des pertes maximales en eau et en poids, et un gain minimal en substances solides solubles sont: température de 55 °C, une concentration de 50 °Brix, un blanchiment de 120 sec et une durée déshydratation de 60 min.

A ces conditions, les pourcentages de perte en eau, de perte en poids et du gain en solide sont respectivement de 76.17 %, 67.93 % et 734 %.

REFERENCES

- [1] D. Torreggiani, '*Osmotic Dehydration in Fruits and Vegetable Processing*', Food Research International, Vol. 26, N°1, pp. 59 - 68, 1993.
- [2] J. Hawkes and J.M. Flink, '*Osmotic Concentration of Fruits Slices Prior to Freeze Dehydration*', Journal of Food Processing and Preservation, Vol. 2, pp. 265 - 284, 1978.
- [3] A.L. Raoult-Wack, '*Advances in Osmotic Dehydration*', Trends in Food Science and Technology, Vol. 5, N°8, pp. 255 - 260, 1994.
- [4] A. Ferradji, '*Optimization of Osmotic Dehydration of Medlars Slices in Sucrose Solution Using Response Surface Methodology*', Journal of Mechanics Engineering and Automation, Vol. 5, pp. 128 - 134, 2015.
- [5] A. Ferradji, F. Chaouche, D. Belhachat and A. Malek, '*Optimization of Osmotic Dehydration of Tomatoes Slices in Salt And Sucrose Solutions Using Response Surface Methodology*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 18 N°4 pp. 539 - 549, 2015.
- [6] B. Bchir, S. Besbes, J.M. Giet, H. Attia and C. Blecker, '*Synthèse des Connaissances sur la Déshydratation Osmotique*', Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, BASE, Vol. 15, N°1, pp. 129 - 142, 2011.
- [7] E. Azuara, C.I. Beristain and G.F.A. Gutierrez, '*A Method for Continuous Kinetic Evaluation of Osmotic Dehydration*', LVT - Food Science and Technology, Vol. 31, N°4, pp. 317 - 321, 1998.
- [8] P.P. Sutar and D.K. Gupta, '*Mathematical Modeling of Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Onion Slices*', Journal of Food Engineering, Vol. 79, pp. 90 - 97, 2007.
- [9] G.S. Mudahar, R.T. Toledo, J.D. Floros and J.J. Jen, '*Optimization of Carrot Dehydration Process Using Response Surface Methodology*', Journal of Food Sciences, Vol. 54, pp. 714 - 719, 1989.
- [10] J.J. Bimbenet, C. Bonazzi et E. Dumoulin, '*L'eau de Séchage, Stockage et Réhydratation*', In L'eau dans les aliments, Technologie et Documentation, Ed. Lavoisier, Londres, Paris, New York, 1996.