

REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

I. BRETILLON

C. CONSTANT

Étude de l'humidité finale d'un biscuit après séchage au four microonde par un plan de type Taguchi

Revue de statistique appliquée, tome 37, n° 2 (1989), p. 79-86

http://www.numdam.org/item?id=RSA_1989__37_2_79_0

© Société française de statistique, 1989, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « *Revue de statistique appliquée* » (<http://www.sfds.asso.fr/publicat/rsa.htm>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques

<http://www.numdam.org/>

ETUDE DE L'HUMIDITÉ FINALE D'UN BISCUIT APRÈS SÉCHAGE AU FOUR MICROONDE PAR UN PLAN DE TYPE TAGUCHI

I. BRETILLON

Ingénieur Génie-Biologique 1988 de l'U.T de Compiègne

&

C. CONSTANT

Ingénieur méthodologie dans le groupe PSA

et Professeur associé à l'Université de Technologie de Compiègne

RESUME

Le but de l'étude est d'augmenter la productivité d'une ligne biscuitière en remplaçant un sécheur classique à convection par un four microonde. Le séchage représentant, dans cette industrie, environ 30 % du processus, le choix est stratégique surtout si l'on sait qu'il est toléré sur l'humidité finale, critère essentiel et réponse mesurée, une variation maximale de 0,5 % HR. La méthode Taguchi nous a apporté une information complète tout en évitant un nombre prohibitif d'essais industriels. Elle a en outre permis de prouver l'influence des 3 facteurs choisis sur l'humidité finale et sur sa variabilité, de dresser un panorama de leurs actions selon leurs modalités et de déterminer (au regard des exigences financières) la valeur optimisée des paramètres adaptée à la fois aux exigences du producteur et du consommateur.

Mots-clés : Humidité finale, Biscuiterie, Séchage, Microondes. Plans d'expériences croisés, Taguchi, Facteurs externes.

1. Objectif de l'étude

Il s'agit de remplacer le processus de séchage classique d'un type de biscuit très connu, et très apprécié, par un processus de séchage microonde, le but étant de garantir rigoureusement les mêmes propriétés organoleptiques, texturales et de conservation, tout en augmentant la productivité de la ligne.

2. Mesure de l'objectif

Considérons dans ce résumé l'étude de la conservation du produit, mesurée par le taux d'humidité finale. La représentativité de l'objectif par cette mesure est indiscutable sachant qu'il faut *minimiser* ce taux.

3. Recherche des paramètres

3.1. Paramètres internes

A : Puissance du four microonde (séchage) 4 niveaux

B : Puissance infrarouge (coloration) 2 niveaux

C : Durée d'exposition (productivité) 2 niveaux

Il est apparu au cours d'études préliminaires que ces 3 facteurs influençaient le séchage. Afin de balayer une gamme la plus étendue possible de puissances microonde, 4 niveaux ont été testés.

3.2. Paramètre externe

F : humidité initiale - 4 niveaux.

La production du biscuit s'effectuant en 3/8, donc soumise à 3 conduites de four différentes, encaisse des variations d'humidité importantes au cours de la cuisson. L'humidité initiale (à l'entrée du sécheur) est donc aléatoire et subie en phase d'industrialisation. Cette considération est importante car cette humidité initiale peut grossir fatalement le résidu si on ne la prend pas en compte ou si on la fixe artificiellement; elle peut nous amener à faire une étude déconnectée de la réalité industrielle.

Nous réalisons un *plan croisé* L8 x L4 à 32 essais.

4. Analyse statistique des résultats

4.1. Planification des essais

ESSAIS	A	B	C	Col 5	Col 6	1	2	3	4	S/B
1	1	1	1	1	1	3.61	4.29	5.17	4.77	-13.1
2	1	2	2	2	2	2.74	3.76	4.68	4.6	-12.6
3	2	2	1	1	2	1.54	1.8	2.22	2.75	- 6.6
4	2	1	2	2	1	3.35	4.31	3.17	4.98	-12.1
5	3	2	1	2	1	1.72	3.03	3.19	1.89	- 8.1
6	3	1	2	1	2	3.27	4.15	4.86	5.17	-12.9
7	4	1	1	2	2	2.81	4.02	3.51	3.25	-10.7
8	4	2	2	1	1	2.23	2.22	3.38	3.34	- 9.1

4.2. Tableau récapitulatif des résultats⁽¹⁾

	F1	F2	F3	F4	T
A1	6.35	8.05	9.85	9.37	33.6
A2	4.89	6.11	5.39	7.73	24.1
A3	4.99	7.18	8.05	7.06	27.2
A4	5.04	6.24	6.89	6.59	24.7
T	21.2	27.5	30.1	30.7	109.
B1	13.00	16.70	16.70	18.10	64.60
B2	8.23	10.80	13.40	12.50	45.00
T	21.2	27.5	30.1	30.7	109.
C1	9.68	13.10	14.00	12.60	49.50
C2	11.50	14.40	16.00	18.00	60.20
T	21.2	27.5	30.1	30.7	109.

Calculs complémentaires des effets alias (colonnes 5 et 6)

Col 5	1	10.60	12.40	15.60	16.00	54.70
Col 5	2	10.60	15.10	14.50	14.70	55.00
T	21.2	27.5	30.1	30.7	109.	
Col 6	1	10.90	13.80	14.90	14.90	54.60
Col 6	2	10.30	13.70	15.20	15.70	55.10
T	21.2	27.5	30.1	30.7	109.	

⁽¹⁾ Dans ce tableau on donne la somme des résultats associés aux modalités des facteurs considérés.

4.3. Analyse de variance régulière (avec regroupement du résidu)

EFFETS	S.C	DD	POOLED S.C	DDL	VAR	FISHER	F théo(1)	FACTEUR SIGNAL
A	7.0528	3	7.0528	3	2.3509	27.61	9.6	****
B	12.0005	1	12.0005	1	12.0005	141.00	14.7	****
C	3.5378	1	3.5378	1	3.5378	41.55	14.7	****
Col 5	0.0018	1						
Col 6	0.0072	1						
F	7.0690	3	7.0690	3	2.3563	27.67	9.6	****
A*F	2.4299	9	2.4299	9	0.2699	3.171	3.39	
B*F	0.5454	3						
C*F	1.3150	3	1.3150	3	0.4383	5.149	4.07	*
Col 5*F	1.2430	3	1.2430	3	0.4143	4.867	4.07	*
Col 6*F	0.1266	3	0.6810	8	0.0851			
TOTAL	35.33	31		31				

(1) F théo : FISHER théorique

****	Intervalle de confiance de 0.995
***	Intervalle de confiance de 0.99
**	Intervalle de confiance de 0.975
*	Intervalle de confiance de 0.95

4.4. Analyse de variance du ratio S/B

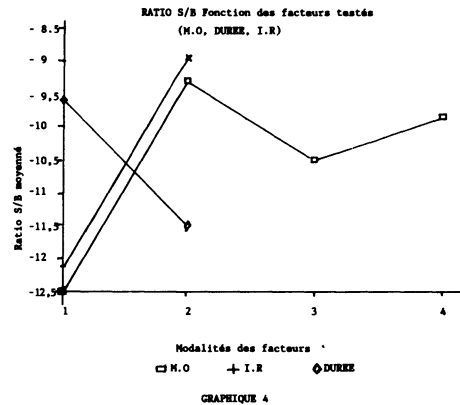
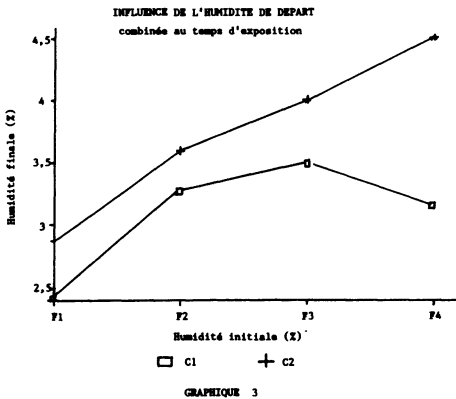
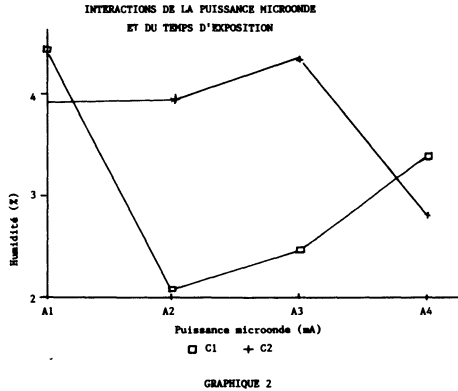
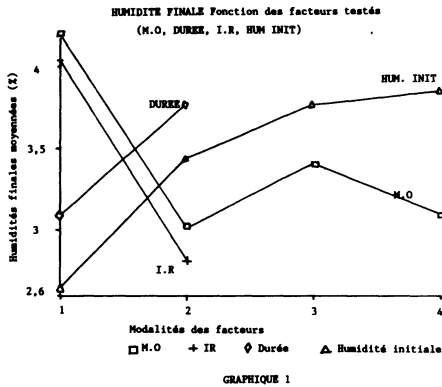
EFFETS	S.C	DDL	POOLED S.C	DDL	VAR	FISHER	F théo(1)	FACTEUR CONTROLE
A	12.072	3	12.072	3	4.0242	35.07	10.9	****
B	20.810	1	20.810	1	20.8100	181.30	16.2	****
C	7.5329	1	7.5329	1	7.5329	65.65	16.2	****
Col 5	0.2283	1						
Col 6	0.0011	1	0.2294	2	0.1147			
TOTAL	40.645	7						

De cette première analyse globale, il ressort que :

- Les 4 facteurs étudiés sont significatifs avec un coefficient de confiance de 99,5 % dans les 2 analyses de variance. Il faudra donc les fixer judicieusement pour minimiser la réponse de l'influence du bruit de fond.
- 2 interactions sont significatives à 95 % de confiance.

5. Analyse graphique des résultats

On remarque la représentation globale, *claire*, et panoramique des graphiques ci-dessous :



6. Interprétation

Elle est nécessaire pour 2 raisons :

Elle permet de visualiser le comportement des paramètres niveau par niveau et ainsi, de préciser l'analyse de variance qui teste l'influence du facteur toutes modalités confondues.

Elle détermine les modalités à fixer. Dans notre cas, nous retiendrons les niveaux qui rendent la réponse minimum et le ratio S/B maximum.

Graphe n° 1 :

Remarquons prioritairement les effets non linéaires de la puissance microonde et de l'humidité initiale (les effets non linéaires faisant gagner en *robustesse* et en *coût*). L'influence de ces 2 facteurs est plus forte entre les modalités 1 et 2 qu'entre les modalités 2 et 4.

Graphe n° 2 :

Notons *graphiquement* l'interaction "partielle" entre les durées d'exposition et les puissances microonde (l'analyse de variance ne la faisant pas apparaître).

Graphe n° 3 :

L'humidité initiale est influente, les modalités que nous fixerons permettront d'affaiblir les variations du résultat dues à sa fluctuation.

Graphe n°4 :

Notons que le palier microonde réapparaît dans cette analyse.

7. Décision

Nous retiendrons : Puissance microonde A3

Puissance infrarouge B2

Durée d'exposition C1

Avec ce type de sécheur, il s'avère possible de réduire la puissance M.0 mais on ne pourra descendre au dessous d'un temps minimal d'exposition. Les graphes 1 et 4 montrent que A3 assure une meilleure robustesse de la réponse vis à vis des fluctuations de l'humidité de départ. (La tolérance sur A3 est donc fixée de manière à ne pas entraîner de rebut chez le consommateur sans pénaliser le producteur).

8. Analyse complémentaire**ANALYSE LOGARITHMIQUE DES RESULTATS**

(Transformation : Nouveau résultat : $10 \ln$ - mesure d'humidité -)

Cette analyse a pour but de mieux discerner les faibles écarts d'humidité.

8.1. Tableau des résultats

ESSAIS	A	B	C	Col 5	Col 6	F	1	2	3	4	MOY
1	1	1	1	1	1		12.8	14.5	16.4	15.6	14.82
2	1	2	2	2	2		10.1	13.2	15.4	15.3	13.5
3	2	2	1	1	2		4.32	5.88	7.97	10.1	7.067
4	2	1	2	2	1		12.1	14.6	11.5	16	13.55
5	3	2	1	2	1		5.42	11.1	11.6	6.36	8.62
6	3	1	2	1	2		11.8	14.2	15.8	16.4	14.55
7	4	1	1	2	2		10.3	13.9	12.6	11.8	12.15
8	4	2	2	1	1		8.02	7.97	12.2	12	10.04
											11.78

8.2. Tableau récapitulatif des résultats

	F1	F2	F3	F4	T
A1	22.9	27.7	31.8	30.9	113.
A2	16.4	20.4	19.4	26.1	82.4
A3	17.2	25.3	27.4	22.7	92.6
A4	18.3	21.8	24.8	23.8	88.7
T	74.8	95.3	103.	103.	377.
B1	47	57.2	56.3	59.8	220.
B2	27.8	38.1	47.1	43.7	156.
T	74.8	95.3	103.	103.	377.
C1	32.8	45.3	48.5	43.8	170.
C2	42.	49.9	54.9	59.7	206.
T	74.8	95.3	103.	103.	377.

Calculs complémentaires des effets alias (Colonnes 5 et 6)

Col 5	1	36.9	42.5	52.3	54.1	185.
Col 5	2	37.9	52.8	51.1	49.4	191.
	T	74.8	95.3	103.	103.	377.
Col 6	1	38.3	48.1	51.7	49.9	188.
Col 6	2	36.5	47.1	51.7	53.6	189.
	T	74.8	95.3	103.	103.	377.

8.3. Analyse de variance régulière

EFFETS	S.C	DDL	POOLED S.C	DDL	VAR	FISHER	F théo	FACTEUR SIGNAL
A	66.741	3	66.741	3	22.247	10.60	5.82	****
B	125.45	1	125.45	1	125.45	59.82	9.94	****
C	40.365	1	40.365	1	40.365	19.24	9.94	****
Col 5	0.8844	1						
Col 6	0.0253	1						
F	68.606	3	68.606	3	22.868	10.90	5.82	***
A*F	21.405	9						
B*F	8.2822	3						
C*F	9.1742	3						
Col 5*F	15.261	3	15.261	3	5.0870	2.425	3.1	
Col 6*F	2.1680	3	41.939	20	2.0969			
TOTAL	358.36	31	358.36	31				

8.4. Analyse de variance du ratio S/B

EFFETS	S.C	DDL	POOLED S.C	DDL	VAR	FISHER	F Théo	FACTEUR CONTROLE
A	9.7156	3	9.7156	3	3.2385	13.40	19.2	
B	17.374	1	17.374	1	17.374	71.93	38.5	**
C	6.5965	1	6.5965	1	6.5965	27.31	18.5	*
Col 5	0.4662	1						
Col 6	0.0168	1	0.4830	2	0.2415			
TOTAL	34.17	7						

Il ressort de cette analyse que les facteurs fortement significatifs le sont encore, essentiellement au niveau des facteurs "signal".

- les microondes
- les infrarouges
- le temps d'exposition
- l'humidité initiale

Cette accentuation est très bien mise en valeur au niveau du ratio S/B où l'on ne dégage ici que 2 facteurs "contrôle" significatifs : ils correspondent en effet aux facteurs les plus significatifs dans la première exploitation des résultats.