

## MODELISATION ET OPTIMISATION DU PROCESSUS DE FORMULATION D'UN CHOCOLAT ET DE GRUYERE UTILISANT UN PROGRAMME FACTORIEL DE TYPE 3<sup>3</sup>

Reçu le 11/04/2004 – Accepté le 04/03/2005

### Résumé

Le but de ce travail consiste en l'étude de l'influence de la formulation en cacao, beurre et sucre sur les propriétés organoleptiques d'un chocolat. Les teneurs en ces composants sont considérées comme variables INPUT pour une telle procédure de modélisation, les principales fonctions de réponses étant la consistance, le goût et l'homogénéité du mélange. Dans ce cadre, on a utilisé un programme factoriel de type 3<sup>3</sup> pour l'élaboration de modèles mathématiques pour l'optimisation de la qualité du produit. Pour ce qui est des propriétés sensorielles du gruyère, notre étude a porté sur l'influence du contenu de présure, du temps de coagulation et de la température. Les matières premières utilisées dans ce cas sont : lait, présure et Ca<sup>2+</sup>. La température de coagulation, le temps de coagulation et la quantité de présure sont considérés comme variables INPUT pour une telle procédure de modélisation, les principales fonctions de réponses étant le goût, la consistance et l'homogénéité du produit obtenu. Dans ce cadre, on a utilisé un programme factoriel de type 3<sup>3</sup> pour l'élaboration des modèles mathématiques et pour l'optimisation de la qualité du produit. Conséquemment, se peut établir les valeurs optimales des paramètres pour l'obtention des caractéristiques organoleptiques satisfaisantes.

**Mots clé :** chocolat, gruyère, optimisation, modélisation factorielle.

### Abstract

This work consists of the study of the formulation influence in cacao, butter and sugar on the organoleptic properties of a chocolate. Contents of these components are considered as variables INPUT for such modelling procedure. The principals functions of response being the consistency, the taste and the homogeneity of the mixture. In this article one used a factorial program of type 3<sup>3</sup> for the development of mathematical models for the optimization of the quality of the product. For what are the sensory properties of the Gruyere, our study has related the influence of the pressure contents, the coagulation time and the temperature. The raw materials used in this case were: milk, pressure and Ca<sup>2+</sup>. The temperature of coagulation, the time of coagulation and the quantity of rennet are considered as variables INPUT for such modelling procedure, the principal functions of answers being the taste, the consistency and the homogeneity of the product obtained. In this setting one used a factorial program of type 3<sup>3</sup> for the mathematical model development and the optimization of the quality of the product. Consequently, can be established the optimal values of parameters for the characteristics satisfactory organoleptics obtaining.

**Keywords:** chocolate, Gruyere, optimization, factorial modelling.

**N. D. MIRON  
D. NISTOR  
A. V. URSU**

Laboratoire de catalyse et Matériaux microporeux, Faculté d'Ingénierie, Université de Bacau, 157 Marasesti street, Bacau, Roumanie.

**A. AZZOUZ  
M. A. DIDI**

Laboratoire de Catalyse, Département de chimie, Faculté des Sciences, Université de Tlemcen, BP119, Tlemcen, Algérie.

### ملخص

في هذه الدراسة تم استخدام برنامج من النوع 3<sup>3</sup> لتطوير نماذج رياضية للمساعدة على تحسين نوعية منتجات غذائية في التطبيق الأول قمنا بتحديد تأثير مقادير الكميات المستعملة من الكاكاو، الزبدة و السكر على الخصائص الأورغانوليبتيكية للشوكولاتة. اعتبرت المقادير كمتغيرات إدخال في حين اعتمد المذاق، تماسك المزيج وتجانسه كخواص يجب تحديدها في التطبيق الثاني الخاص بجبن Gruyère. اعتبرت نوعية الخميرة، كمية Ca<sup>2+</sup>، الوقت اللازم للتخضير و التخثر و درجة الحرارة كمتغيرات إدخال. الخواص الواجب تحديدها فكانت نفسها التي اعتمدت في حالة الشوكولاتة. نتيجة هذه الدراسة بينت أنه يمكن استخدام برامج محسنة لإيجاد نظريا أحسن القيم للمتغيرات المختارة للحصول على شوكولاتة و جبن Gruyère بخصائص أورغانوليبتيكية مقبولة.

**الكلمات المفتاحية:** شوكولاتة، جبن Gruyère، تحسين، نموذج عاملي.

Le chocolat est un produit de confiserie, ayant un arôme et un goût très fins [1]. Ces propriétés sont le résultat d'un mélange judicieux et optimal des principales matières premières qui composent cet aliment (lait en poudre, cacao, beurre, sucre, additifs etc.) [2, 3]. Tandis que le gruyère se caractérise par l'émission avancé de fève qui coagule, le second chauffage à haute température, présage profond et un temps de maturation prolongé [4]. L'obtention du fromage gruyère de bonne qualité dépend de la qualité de la matière première parce qu'il fait partie de la classe des fromages prétentieux vis-à-vis de la qualité de lait, du type de fourrage consommé par les animaux et des conditions d'hygiène à partir de la traite jusqu'à la procession industrielle du lait. Le but de cette étude concerne la détermination des domaines de variation des proportions des principaux composants pour l'obtention du chocolat ayant les meilleures propriétés sensorielles possibles. Les teneurs en ces composants sont considérées comme variables INPUT pour une telle procédure de modélisation, les principales fonctions de réponses étant la consistance, le goût et l'homogénéité du mélange.

Dans ce contexte, la modélisation s'est basée sur la considération de trois fonctions de réponses, OUTPUT, soit la consistance, le goût et l'homogénéité de la masse du produit. Le but de ce travail est justement l'établissement des domaines de variation des principaux paramètres technologiques pour l'obtention du gruyère ayant les meilleures propriétés sensorielles possibles. Comme variables INPUT sont considérées: la température de coagulation, le temps de coagulation et la quantité de présure. Dans ce contexte, la modélisation s'est basée sur la considération de trois fonctions de réponses, OUTPUT, soit la consistance, le goût et l'homogénéité de la masse du produit.

### MATERIEL ET METHODES

Pour cette étude de design du chocolat, on a réalisé un plan expérimental, tenant compte des effets des trois variables INPUT, soit  $x_1$  – la quantité de beurre,  $x_2$  - la quantité de cacao et  $x_3$  – la quantité de sucre dans la formulation.

Les fonctions de réponse OUTPUT sont:  $y_1$  – la consistance,  $y_2$  – le goût et  $y_3$  – l'homogénéité du mélange. Le programme factoriel appliqué ( $3^3$ ) suppose la réalisation de 27 essais expérimentaux pour la préparation de différents mélanges, à partir d'une quantité fixe de 62,5 g de lait intégral en poudre de type Darling (avec 26% matière grasse), mais en faisant varier les proportions de beurre (20 g, 37,5 g et 55 g), cacao (10 g, 25 g et 40 g) et de sucre (75 g, 125 g, 175 g), conformément aux données présentées au tableau 1.

**Tableau 1:** Valeurs des variables pour le programme expérimental de type factoriel  $3^3$ .

Variable	Variable réduite	Valeur minimale (-1)*	Valeur moyenne (0)*	Valeur maximale (+1)*
Quantité de beurre, g	$X_1$	20	37,5	55
Quantité de cacao, g	$X_2$	10	25	40
Quantité de sucre, g	$X_3$	75	125	175

\* entre parenthèses sont représentées les valeurs réduites (adimensionnelles) des variables.

Pour ce qui est de l'étude de design du gruyère [5], on a réalisé un plan expérimental, tenant compte des effets des trois variables INPUT, soit  $x_1$  – la température de coagulation,  $x_2$  – le temps de coagulation et  $x_3$  - la quantité de présure. Les fonctions de réponse OUTPUT sont:  $y_1$  - l'homogénéité,  $y_2$  - le goût,  $y_3$  - la consistance du produit. Le programme factoriel appliqué ( $3^3$ ) suppose la réalisation de 27 essais expérimentaux pour la préparation de différents mélanges, à partir d'une quantité fixe de lait (avec 26% de matière grasse) mais en faisant varier la température (25°C, 40°C et 55°C), le temps de coagulation (35 min, 50 min, 65 min.) et la quantité de pressure (0,3 ml, 0,5 ml et 0,7 ml), conformément aux données présentées au tableau 2.

**Tableau 2:** Valeurs des variables pour le programme expérimental de type factoriel  $3^3$ .

Variable	Variable réduite	Valeur Minimale (-1)*	Valeur moyenne (0)*	Valeur maximale (+1)*
Température de coagulation, °C.	$X_1$	25	40	55
Temps de coagulation, min	$X_2$	35	50	65
Quantité de présure, g.	$X_3$	0,3	0,5	0,7

\* : Entre les parenthèses sont représentés les valeurs réduites des variables.

### RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 1. Programme factoriel étudié pour le chocolat

Les essais expérimentaux effectués apportent des données suffisantes pour permettre de trouver un optimum possible. Pour chaque paramètre, on a choisi une valeur minimale (notée avec -1), une valeur moyenne (notée avec 0) et une valeur maximale (notée avec +1). A chaque essai expérimental, correspond un mélange de formulation bien déterminée et les propriétés organoleptiques de celui-ci ont été appréciées sur la base d'une échelle arbitraire de valeurs comprises entre 1 et 4: 1: très bonne, 2: bonne, 3: satisfaisante et 4: insatisfaisante et impropre à la consommation. Dans le tableau 3 sont présentées les données relatives aux appréciations des fonctions des réponses considérées (consistance, goût et homogénéité de la masse de chocolat).

#### 2. Programme factoriel étudié pour le gruyère

Les essais expérimentaux effectués apportent des données suffisantes pour permettre de trouver un optimum possible. Pour chaque paramètre on a choisi une valeur minimale (notée avec -1), une valeur moyenne (notée avec 0) et une valeur maximale (notée avec +1). A chaque essai expérimental, correspond un mélange de formulation bien déterminée et les propriétés organoleptiques de celui-ci ont été appréciées sur la base d'une échelle arbitraire de valeurs comprises entre 1 et 5: 1- insatisfaction totale, 2- insatisfaisante, 3- satisfaisante, 4- bonne et 5- très bonne. Dans le tableau 4 sont présentés les données relatives aux appréciations des fonctions des réponses considérées (consistance, goût et homogénéité de la masse de gruyère).

#### 3. Elaboration des modèles pour le chocolat

Dans cette étape, il s'agit de calculer les coefficients de modèle mathématique du type :

**Tableau 3 :** Valeurs expérimentales pour le programme factoriel  $3^3$ .

No. crt.	Quantité de beurre	Quantité de cacao	Quantité de sucre	Consistance	Goût	Homogénéité	
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	
1	-1 (20)	-1 (10)	-1(75)	3	3	3	
2			0 (125)	2	3	2	
3			+1 (175)	2,4	4	3	
4		0 (25)	-1(75)	-1(75)	5	4	5
5				0 (125)	4	3	3
6				+1 (175)	4	3	3
7		+1(40)	-1(75)	-1(75)	3	2	2
8				0 (125)	2	2	2
9				+1 (175)	1	1	1
10	0 (37,5)	-1 (10)	-1(75)	3	4	3	
11			0 (125)	3	4	5	
12			+1 (175)	3	2	2	
13		0 (25)	-1(75)	-1(75)	3	3	4
14				0 (125)	5	5	5
15				+1 (175)	3	3	2
16		+1(40)	-1(75)	-1(75)	3	3	2
17				0 (125)	3	2	3
18				+1 (175)	1	1	1
19	+1 (55)	-1 (10)	-1(75)	1	4	2	
20			0 (125)	2	3	3	
21			+1 (175)	3	3	3	
22		0 (25)	-1(75)	-1(75)	2	4	3
23				0 (125)	4	3	4
24				+1 (175)	3	3	4
25		+1(40)	-1(75)	-1(75)	3	3	2
26				0 (125)	2	2	2
27				+1 (175)	1	1	1

**Tableau 4 :** Conditions expérimentales pour un programme factoriel de type  $3^3$  appliqué pour l'obtention du gruyère

No. crt.	Température de coagulation	Temps de coagulation	Quantité de présure ajoutée	Aspect	Goût	Homogénéité
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
1	-1 (25)	-1(35)	-1(0,3)	4	3	3
2	-1(25)	-1(35)	-1(0,5)	3	4	3
3	-1(25)	-1(35)	-1(0,7)	3	3	3
4	-1(25)	0 (50)	0 (0,3)	3	4	3
5	-1(25)	0(50)	0(0,5)	3	2	2
6	-1(25)	0(50)	0(0,7)	2	2	3
7	-1(25)	+1 (65)	+1 (0,3)	4	3	5
8	-1(25)	+1(65)	+1(0,5)	5	5	5
9	-1(25)	+1 (65)	+1 (0,7)	5	4	3
10	0(40)	-1(35)	-1(0,3)	1	2	1
11	0(40)	-1(35)	0(0,5)	2	5	2
12	0(40)	-1(35)	+1(0,7)	5	3	5
13	0(40)	0(50)	-1(0,3)	4	2	2
14	0(40)	0(50)	0(0,5)	3	4	2
15	0(40)	0(50)	+1(0,7)	4	3	5
16	0(40)	+1(65)	-1(0,3)	3	3	4
17	0(40)	+1(65)	0(0,5)	4	4	5
18	0(40)	+1(65)	+1(0,7)	5	5	4
19	+1(55)	-1(35)	-1(0,3)	1	1	1
20	+1(55)	-1(35)	0(0,5)	2	2	1
21	+1(55)	-1(35)	+1(0,7)	2	2	2
22	+1(55)	0(50)	-1(0,3)	3	3	3
23	+1(55)	0(50)	0(0,5)	3	3	3
24	+1(55)	0(50)	+1(0,7)	4	4	4
25	+1(55)	+1(65)	-1(0,3)	4	2	4
26	+1(55)	+1(65)	0(0,5)	4	3	4
27	+1(55)	+1(65)	+1(0,7)	5	5	5

$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3$ ; conformément à des procédures de modélisation déjà reportées [6, 7, 8]. Les valeurs des coefficients des modèles mathématiques, nommés souvent fonctions de régression, pour chaque propriété organoleptique visée pour le chocolat sont présentées dans le tableau 5.

**Tableau 5 :** Coefficients de la fonction de régression pour chaque propriété organoleptique visée.

Fonction Coefficient	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
	Consistance	goût	homogénéité
a <sub>0</sub>	2,77	3,027	2,444
a <sub>1</sub>	-0,388	0,055	0
a <sub>2</sub>	-0,277	-0,777	-0,555
a <sub>3</sub>	-0,166	0,5	-0,333
a <sub>11</sub>	0,046	-0,0847	-0,290
a <sub>22</sub>	-0,007	-0,079	-0,114
a <sub>33</sub>	0,028	-0,058	-0,086
a <sub>12</sub>	0,25	0,0833	0
a <sub>13</sub>	0,25	-0,25	0,333
a <sub>23</sub>	-0,75	-0,25	-0,25
a <sub>123</sub>	-0,018	0,125	-0,125

**4. Elaboration des modèles pour le gryère**

Dans cette étape, il s’agit de calculer les coefficients de modèle mathématique du type :  $Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{33}x_3^2 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3$ ; conformément à des procédures de modélisation déjà reportées [6, 7]. Les valeurs des coefficients des modèles mathématiques, pour chaque propriété organoleptique visée (pour le gryère) sont présentées dans le tableau 6.

**Tableau 6 :** Valeurs des coefficients du modèle mathématique pour chaque propriété organoleptique visée.

Coefficient	Fonction de réponse		
	Y <sub>1</sub> Homogénéité	Y <sub>2</sub> goût	Y <sub>3</sub> consistance
a <sub>0</sub>	3,23	3,01	3,22
a <sub>1</sub>	-0,22	-0,27	-0,16
a <sub>2</sub>	0,88	0,5	1
a <sub>3</sub>	0,44	0,44	0,44
a <sub>11</sub>	-0,06	-0,23	-0,1
a <sub>22</sub>	0,13	0,16	0,11
a <sub>33</sub>	0,13	-0,33	0,2
a <sub>12</sub>	0,33	0,25	0,41
a <sub>13</sub>	0,33	0,5	0,41
a <sub>23</sub>	0	0,41	-0,5
a <sub>123</sub>	-0,037	0,018	0,03

**5. Simulation des effets des variables INPUT pour le chocolat**

La seconde étape du présent travail réside dans la simulation des effets des principales variables INPUT impliquées dans le modèle supposé décrire la dépendance d’une propriété organoleptique donnée. Cette simulation consiste à estimer l’intensité et le sens de chaque effet de chaque variable ou l’interaction de variables sur la base de la valeur absolue et du signe de chaque coefficient. Dans le tableau 7 sont présentés, en intensité et en signe, les effets

des variables INPUT sur les fonctions des réponses (OUTPUT).

**Tableau 7 :** Représentation des effets sur les fonctions des réponses.

No. crt.	Variables	Effet sur la fonction de réponse		
		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
1	x <sub>1</sub>	++	+++	-
2	x <sub>2</sub>	++	++	++
3	x <sub>3</sub>	---	0	-
4	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	+	+	---
5	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	+++	++	+
6	x <sub>3</sub> <sup>2</sup>	++	-	++
7	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	++	0	-
8	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	-	--	++
9	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	++	--	--
10	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	++	++	+++

Signification des symboles : +++ très favorable, ++ favorable, + un peu favorable, 0 n’influence pas la fonction - objective, --- très défavorable, -- défavorable, - un peu défavorable.

Ainsi pour la consistance et le goût, il apparaît que les variables x<sub>1</sub> et x<sub>2</sub>, ainsi que leur interaction ont des effets favorables ou nul selon le cas. La variable x<sub>3</sub> présente une influence défavorable pour la consistance et un effet nul pour le goût. Pour l’homogénéité, les variables x<sub>1</sub> et x<sub>3</sub>, ont des effets défavorables, contrairement à celui de la variable x<sub>2</sub>.

**6. Simulation des effets des variables INPUT pour le gryère**

La seconde étape de la présente étude réside dans la simulation des effets des principales variables INPUT impliquées dans le modèle supposé décrire la dépendance d’une propriété organoleptique donnée. Cette simulation consiste en l’estimation de l’intensité et du sens de chaque effet de chaque variable ou d’interaction de variables, sur la base de la valeur absolue et du signe de chaque coefficient. Dans le tableau 8 sont présentés, en intensité et en signe, les effets des variables INPUT sur les fonctions des réponses (OUTPUT).

**Tableau 8 :** Représentation des effets sur les fonctions des réponses.

No. crt.	Variable	Effet sur la fonction de réponse		
		Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
1	x <sub>1</sub>	-	-	--
2	x <sub>2</sub>	+++	++	+++
3	x <sub>3</sub>	++	++	++
4	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	-	-	++
5	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	++	++	-
6	x <sub>3</sub> <sup>2</sup>	++	--	++
7	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	++	+++	++
8	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	++	+++	++
9	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	0	+++	---
10	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	0	++	-

Signification des symboles : +++ très favorable, ++ favorable, + un peu favorable, 0 n’influence pas la fonction - objective, --- très défavorable, -- défavorable, - un peu défavorable.

**Tableau 9 :** Valeurs optimales adimensionnelles et dimensionnelles des variables  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ .

Fonction de réponse	Valeurs réduites			Valeurs réales		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Quantité de beurre g	Quantité de cacao g	Quantité de sucre g
Consistance ( $y_1$ )	0 fixé	0,35	1,17	37,5	30,25	*
	-0,248	0 fixé	1,12	33,16	25	*
	-0,364	1,42	0 fixé	31,13	*	125
Goût ( $y_2$ )	0 fixé	-3,32	2,82	37,5	*	*
	-0,792	0 fixé	5,08	23,64	25	*
	-2,609	2,86	0 fixé	*	*	125
Aspect ( $y_3$ )	0 fixé	-1,63	0	37,5	*	125
	-7,67	0 fixé	-1,33	*	25	*
	4,77	-2,84	0 fixé	*	*	125

\* la valeur dépasse le domaine étudié.

Ainsi pour la consistance et le goût, il apparaît que les variables  $x_2$  et  $x_3$ , ainsi que leur interaction ont des effets favorables ou nul selon le cas. La variable  $x_1$  présente une influence défavorable pour la consistance, l'homogénéité et le goût.

### 7. Optimisation du processus pour le chocolat

Les conditions optimales pour l'obtention d'un chocolat jugé de qualité adéquate ont été déterminées en utilisant une méthode analytique qui consiste en l'annulation des premières dérivées partielles de chaque fonction de régression. Il s'en suit l'obtention d'un système de trois équations à trois inconnues  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ .

Les valeurs optimales obtenues sont adimensionnelles et peuvent être transformées en valeurs réelles, conformément aux procédures classiques [6, 7, 8]. Il faudrait mentionner que les modèles mathématiques adoptés sont de degré 3 et que la résolution de tels systèmes d'équations nécessite leur réduction du degré 2 par la fixation, à tour de rôle, de chaque variable INPUT à sa valeur centrale (0).

Dans le tableau 9 sont présentées les valeurs optimales (adimensionnelles et dimensionnelles) des trois variables.

Les valeurs obtenues semblent être assez proches des conditions expérimentales optimales; ce qui permet de conclure que les modèles mathématiques adoptés sont applicables dans les domaines des conditions opératoires considérées.

### 8. Optimisation du processus pour le gruyère

Les conditions optimales pour l'obtention du gruyère jugé de qualité adéquate ont été déterminées utilisant une méthode analytique (la méthode des dérivées) qui consiste en l'annulation de premières dérivées partielles de chaque modèle mathématique. Les valeurs obtenues semblent être assez proches des conditions expérimentales optimales; ce qui permet de conclure que les modèles mathématiques adoptés sont applicables dans les domaines des conditions opératoires considérées.

## CONCLUSIONS

La méthode factorielle de modélisation et d'optimisation de type  $n^k$  a un spectre large d'utilisation dans l'industrie, et plus particulièrement l'industrie alimentaire. Par l'utilisation d'un programme factoriel  $3^3$ , il est possible d'élaborer des modèles mathématiques permettant l'optimisation de la qualité d'un produit alimentaire. Les valeurs optimales obtenues sont adimensionnelles et peuvent être transformées en valeurs réelles, conformément aux procédures classiques [2].

Il faudrait mentionner que les modèles mathématiques adoptés sont de degré 3 et que la résolution de tels systèmes d'équations nécessite leur réduction du degré 2 par la fixation, à tour de rôle, de chaque variable INPUT à sa valeur centrale (0).

Dans le tableau 10 sont présentées les valeurs optimales (adimensionnelles et dimensionnelles) des trois variables.

Par l'application de ce type de modèle mathématique dans la fabrication du chocolat, on peut déterminer la formulation optimale donnant la meilleure recette, pour obtenir un chocolat de qualité supérieure.

Avec un rapport satisfaisant « prix de fabrication / qualité », on peut utiliser les matières premières dans les proportions suivantes : 18,1% beurre, 13,64% cacao et maximum 68,24% sucre.

Tandis que pour le gruyère, on peut déterminer la formulation optimale donnant les meilleurs paramètres, pour obtenir un gruyère de qualité supérieure. Pour obtenir un rapport satisfaisant « prix de fabrication / qualité », les conditions optimales sont: 35,9°C, 56 min et 0,6ml pressure.

**Tableau 10 :** Valeurs optimales adimensionnelles et dimensionnelles des variables  $x_1, x_2, x_3$

Fonction de réponse	Valeurs réduites			Valeurs réales		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Température de coagulation (°C)	Temps de coagulation (min.)	Quantité de présure (ml)
Homogénéité ( $y_1$ )	0 fixé	-1,6	1,3	40	26	0,76
	-2,4	0 fixé	1,5	*	50	*
	-0,44	0,81	0 fixé	33,4	62,15	0,5
Goût ( $y_2$ )	0 fixé	0,40	0,71	40	56	0,6
	-0,27	0 fixé	0,79	35,9	50	0,65
	0,03	1	0 fixé	40,45	65	0,5
Consistance ( $y_3$ )	0 fixé	-1,26	-1,25	40	46,1	*
	-0,75	0 fixé	0,12	28,75	50	0,52
	-0,01	0,48	0 fixé	39,85	57,2	0,5

\* la valeur dépasse le domaine étudié.

### REFERENCES

- [1] Iliescu L. *Technologie de fabrication des produits de confiserie*, Ed. Didactică și Pedagogică, Bucarest (Roumanie), 1978.
- [2] [1]2. Banu C. *Manuel de l'ingénieur de l'industrie alimentaire*, vol.II, Ed. Tehnică, Bucarest (Roumanie), 2000.
- [3] Barariu, I. *Matières premières utilisées dans l'industrie alimentaire*, Ed. Didactică și Pedagogică, Bucarest (Roumanie), 1995.
- [4] Chintescu, Gh. *Agenda de l'industrialisation du lait*, Ed. Tehnică, Bucarest (Roumanie), 1988.
- [5] Azzouz A., Leonte M., et autres., *Eléments de stratégie et design industriel*, Ed. Plumb, Bacău (Roumanie), 1998.
- [6] Azzouz A., Leonte M. et autres., *Eléments de stratégie et design industriel*, Ed. Plumb, Bacău (Roumanie), 1998.
- [7] Azzouz A., Rotar D., Zvolinski A., Miron A., *Food quality control through modeling and optimisation of the manufacturing process using 3<sup>k</sup> factorial design procedures*, AMSE Symposium, Girona (Spain), 2002, p. 143.
- [8] Azzouz A., *Modélisation en design industriel*, Ed. Evrika, Brăila (Roumanie), 1999.