

# REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUÉE

P. BABOIN

## **Application d'un plan factoriel à la détermination des conditions optimum de coulée d'un polymère synthétique**

*Revue de statistique appliquée*, tome 6, n° 3 (1958), p. 17-22

[http://www.numdam.org/item?id=RSA\\_1958\\_\\_6\\_3\\_17\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RSA_1958__6_3_17_0)

© Société française de statistique, 1958, 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/>

# APPLICATION D'UN PLAN FACTORIEL A LA DÉTERMINATION DES CONDITIONS OPTIMUM DE COULÉE D'UN POLYMÈRE SYNTHÉTIQUE

par  
P. BABOIN

*Cette étude est une application des méthodes d'analyse de variance dans le cas où l'on se limite à deux niveaux pour chaque facteur, du fait de la simplification des calculs qui en résulte, cette limitation à deux niveaux permet de prendre en considération un nombre de facteurs relativement grand.*

## I - INTRODUCTION -

Dans le stade final de la préparation du NYLON le polymère est coulé sous la forme d'un rubanqui, après avoir été refroidi sous un courant d'eau, est broyé immédiatement.

Le polymère en grains ainsi obtenu doit être stocké aussi sec que possible de manière à faciliter l'opération de séchage ultérieure. L'on a intérêt en effet à éliminer le maximum d'eau au moment de la coulée, l'humidité étant alors en surface et n'ayant pas eu le temps de diffuser dans la masse.

Etant donné son intérêt, cette question des conditions optimum de coulée avait déjà été étudiée par des méthodes classiques et nous étions arrivés à un résultat qu'on pouvait estimer satisfaisant, c'est-à-dire à pouvoir pratiquement garantir une humidité moyenne du polymère de l'ordre de 0,25%. Par ailleurs, du fait qu'en fin de polymérisation il reste toujours une certaine quantité d'eau présente dans la masse réactionnelle, nous ne pouvions espérer abaisser cette humidité en-dessous de 0,15 à 0,17%. Le gain à réaliser était donc faible.

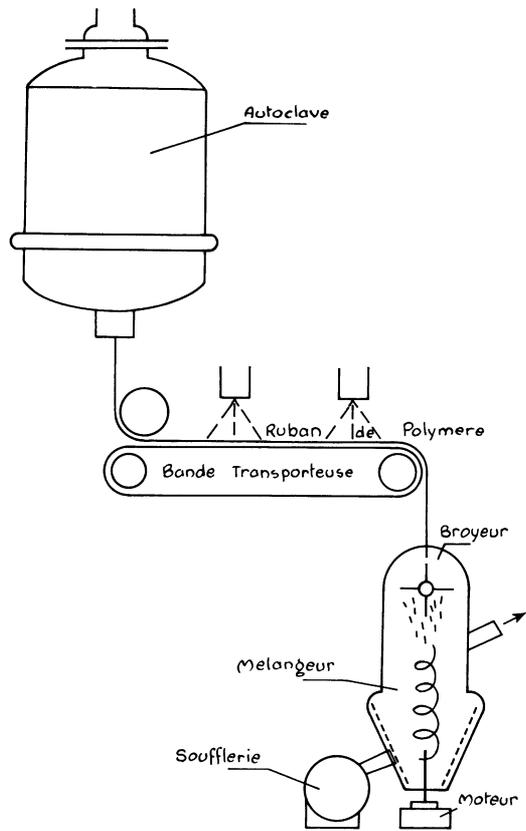
Si nous avons malgré tout décidé de reprendre cette étude sur la base d'un plan factoriel, c'était d'une part pour se faire une idée de l'efficacité de ces plans dans le cas où les variations sont de faible amplitude, et c'était d'autre part pour, avant de classer définitivement le dossier, être sûr que les conditions adoptées conduisaient bien à un résultat optimum.

## II - DESCRIPTION DE L'INSTALLATION ET DES FACTEURS CONSIDERES -

Le polymère terminé est extrudé à travers une fente et tombe sur une bande transporteuse sans fin (croquis ci-joint) arrosée d'eau froide. Une fois -----

(1) Communication présentée aux Journées d'Etude et de Discussion au Centre de Formation (Juillet 1957).

Croquis de l'Installation



solidifié, le ruban est repris par des rouleaux et effectue un certain trajet dans l'air avant d'entrer dans le broyeur. Les grains obtenus viennent se rassembler dans un mélangeur à vis, où va s'achever leur refroidissement sous un courant d'air.

Nous avons pris en considération cinq facteurs susceptibles d'avoir une influence sur l'humidité du polymère, à savoir :

1/ La température ambiante à la sortie du broyeur.

Cette température prise dans la goulotte suivant le broyeur est fonction des calories apportées par le ruban. Elle varie selon que l'on coule un ruban plus ou moins épais.

2/ La température de l'air souffle dans le mélangeur.

Après le broyage le polymère est stocké sous agitation et sous un courant d'air de manière à être refroidi. C'est la température de l'air soufflé que nous avons considérée.

3/ Le débit de l'air soufflé dans le mélangeur.

Nous avons observé que le débit d'air dans le mélangeur varie du fait de notre installation qui comporte un ventilateur de soufflage pour deux mélangeurs.

Suivant que 1 ou 2 mélangeurs sont en service le débit d'air varie légèrement, aucune compensation n'étant prévue.

4/ La durée de séjour dans le mélangeur.

En dehors d'un temps minimum nécessité par l'obligation d'abaisser suffisamment la température du polymère avant le stockage, on peut faire varier le temps de séjour du polymère dans le mélangeur dans d'assez larges proportions.

5/ La vitesse de la bande transporteuse.

La vitesse de la bande transporteuse est réglable et peut donc facilement être modifiée.

### III - PLAN FACTORIEL UTILISE -

Nous avons utilisé pour notre étude un plan factoriel d'un type particulier, en ce sens que pour chaque facteur nous n'avons considéré que deux variantes, ce qui permet de simplifier les calculs.

Dans le tableau suivant nous indiquons les différentes variantes pour les différents facteurs :

Symbole	Facteur	Variantes	
		I	II
A	Température à la sortie du broyeur	65°C	75°C
B	Température de l'air soufflé dans le mélangeur	45°C	60°C
C	Débit de l'air soufflé dans le mélangeur	2 mélangeurs en circuit	1 seul mélangeur en circuit
D	Durée de séjour du grain dans le mélangeur	90 minutes	120 minutes
E	Vitesse de la bande transporteuse	20 m/minute	30 m/minute

Au point de vue de la conduite des essais, nous aurions dû opérer sur  $2^5$ , c'est-à-dire 32 opérations; en fait nous avons opéré sur 16 seulement : pour cela nous avons prélevé des échantillons sur une même opération, respectivement à 90 minutes et 120 minutes de temps de séjour dans le mélangeur.

Sur le plan théorique cette façon de procéder est critiquable, car il n'y a plus indépendance, mais nous avons toujours la possibilité de faire ultérieurement une deuxième série de 16 essais.

#### IV - RESULTATS ET ANALYSE STATISTIQUE -

Le tableau suivant donne la moyenne des deux mesures d'humidité faites pour chaque combinaison. Chaque combinaison est repérée selon la notation classique : symbole en minuscule des facteurs y figurant par leur variante 2; rien pour les autres, c'est-à-dire ceux qui entrent dans la combinaison par leur variante I.

Conditions d'essai	Taux d'humidité	Conditions d'essai	Taux d'humidité
-	0,21	e	0,17
a	0,20	ae	0,17
b	0,25	be	0,23
ab	0,22	abe	0,22
c	0,27	ce	0,19
ac	0,22	ace	0,17
bc	0,16	bce	0,16
abc	0,16	abce	0,17
d	0,20	de	0,20
ad	0,23	ade	0,22
bd	0,25	bde	0,20
abd	0,21	abde	0,21
cd	0,21	cde	0,20
acd	0,22	acde	0,20
bcd	0,24	bcde	0,16
abcd	0,18	abcde	0,14

$$F_{0,01} \# 7,3$$

$$F_{0,001} \# 12,6$$

Nous avons fait une analyse de variance dont les résultats sont résumés dans le tableau ci-joint. Pour simplifier les calculs nous avons pris 0,20 comme origine et 1/100 comme unité. Toutes les interactions, qui ont donné un rapport F inférieur à l'unité, ont été groupées dans la résiduelle.

En examinant ce tableau, nous voyons que tous les facteurs considérés semblent bien avoir une influence. Les trois plus importants sont dans l'ordre :

- E. La vitesse de la bande transporteuse,
- C. Le débit de l'air soufflé dans le mélangeur,
- A. La température à la sortie du broyeur.

Tableau de l'Analyse de Variance

Origine de la Variation	Somme des carrés	Degré liberté	Variance	F	Signification
A - Température après broyage .....	18,06	1	18,06	8,9	**
B - Temp. air soufflé dans le mélangeur .	9	1	9	4,4	
C - Débit air soufflé dans le mélangeur.	81	1	81	40	***
D - Durée de séjour dans le mélangeur .....	9	1	9	4,4	
E - Vitesse de la bande transporteuse .....	100	1	100	49,4	***
<u>Interactions</u> : AB .....	7,56	1	7,56	3,7	
AC .....	7,56	1	7,56	3,7	
AE .....	10,56	1	10,56	5,2	
BC .....	169,0	1	169,0	83,4	***
CE .....	16	1	16	7,9	**
ABC .....	7,56	1	7,56	3,7	
ABD .....	33,06	1	33,06	16,3	***
ACD .....	5,06	1	5,06	2,5	
BCD .....	30,25	1	30,25	14,9	***
ABE .....	5,06	1	5,06	2,5	
BDE .....	56,25	1	56,25	27,7	***
ABCD .....	5,06	1	5,06	2,5	
ABDE .....	7,56	1	7,56	3,7	
BCDE .....	12,25	1	12,25	6,0	
Résiduelle .....	89,11	44	2,025		
Totale .....	678,96	63			

Si la signification des deux autres facteurs : B (température de l'air soufflé), D (durée de séjour dans le mélangeur), est faible, par contre leur importance apparaît dans les interactions.

Tout d'abord l'interaction du premier ordre BC met bien en évidence les effets du facteur B, comme le montre le tableau suivant. (Chaque résultat est une moyenne de 16 mesures) :

		Débit d'air (c). Nombre de mélangeurs en circuit		Moyennes
		2 *	1 *	
Température de l'air soufflé (B)	45°C	0,200	0,210	0,205
	60°C	0,224	0,171	0,198
Moyenne .....		0,212	0,190	0,201

C'est en augmentant à la fois le débit et la température de l'air soufflé qu'on obtient l'effet maximum. La seule augmentation de la température avec le débit le plus faible a conduit à un effet contraire de celui attendu.

Enfin, fait remarquable, les interactions significatives du deuxième ordre contiennent toutes B et D :

ABD

BCD

BDE

Ces interactions nous apportent d'intéressantes informations en ce qui concerne les liaisons existant entre les divers facteurs. C'est ainsi que le tableau suivant (interaction BCD) nous montre comment l'interaction BC se décompose en fonction du facteur D.

Durée de séjour dans mélangeur (D)	Température de l'air (B)	Débit d'air (c)		Moyenne
		2 mélangeurs en circuit	1 mélangeur en circuit	
90 minutes	45°C	0,188	0,212	0,198
	60°C	0,230	0,162	
120 minutes	45°C	0,212	0,207	0,204
	60°C	0,217	0,180	

L'humidité moyenne minimum a été obtenue pour la durée de séjour dans le mélangeur la plus courte.

#### CONCLUSIONS -

A l'époque où nous avons fait cette étude (1954), nous cherchions à nous familiariser avec les techniques statistiques appliquées à la recherche. Pour cette raison, nous avons choisi un sujet déjà bien travaillé et que l'on pouvait considérer comme étant pratiquement épuisé.

Le plan factoriel nous a pourtant incontestablement apporté un supplément d'information et notamment nous a permis de saisir les interactions entre les facteurs.

Sur le plan pratique, si nos conditions de coulée basées sur les recherches anciennes correspondaient déjà bien à un optimum, par contre le facteur 1 ou 2 mélangeurs en circuit avait été ignoré jusqu'alors. La correction de cette condition défectueuse nous a apporté une diminution sensible de la moyenne des humidités et surtout de leur dispersion.

-----  
 (1) Nous rappelons que le débit maximum correspond à 1 seul mélangeur en circuit.