

Optimisation du taux d'absorption des couches bébés par les plans d'expériences

Montassar HAJ AYECH
monta_ayech@yahoo.fr
Maitre Technologue*

Asma Grine
masgrine@yahoo.fr
Maitre Technologue*

Zied MESTIRI
mestiri.zied@yahoo.fr
Technologue*

Imen Hamrit
hamrit.imen@yahoo.fr
MASTER PPI*

**Institut Supérieur des Etudes Technologiques de MAHDIA*

Résumé— Depuis plusieurs années, les plans d'expériences ont évolué dans plusieurs domaines. Grâce au déploiement de la qualité dans les entreprises et à un accès facilité aux moyens de calcul, les plans d'expériences prennent une place plus importante, leurs applications deviennent de plus en plus nombreuses. En fait les plans d'expériences représentent un outil indispensable à tout industriel soucieux d'améliorer la qualité de ses produits et qui entreprend des recherches scientifiques ou des études industrielles.

La méthodologie des plans d'expériences permet à l'expérimentateur de mieux comprendre le problème à résoudre. Dans ce cadre, le présent travail vise l'optimisation du taux d'absorption des couches bébés de la société SANCELLA par la mise en place des plans d'expériences. La démarche empirique s'est appuyée sur les techniques de résolution de problème et des outils d'analyse de données. Les résultats de notre recherche soulignent qu'il faut utiliser une combinaison optimale des propriétés des facteurs pour obtenir des couches bébés de bonnes qualités en terme du taux d'absorption. Ce dernier est mesuré par des tests spécifiques dans le laboratoire du contrôle qualité.

Mots clés—. Plans d'expériences, optimisation
Méthodologie de résolution des problèmes, AMDEC.

I. INTRODUCTION

La méthodologie des plans d'expériences qui n'est pas une technique nouvelle, elle date avec les travaux de (Fisher, 1925), néanmoins la méthode n'a pas connu un grand succès auprès des industriels probablement à cause de l'aspect trop théorique de l'approche proposée. Preece (1990) a présenté une synthèse des travaux de FISHER dans le domaine des plans d'expériences. Il a fallu les travaux du docteur Genichi Taguchi dans les années soixante au Japon pour que les plans d'expériences pénètrent dans l'industrie. Ce sont ses travaux qui ont permis la simplification et la clarification de cette méthode et ont permis l'adoption des plans d'expériences par Toyota.

Cette méthode permet une recherche expérimentale planifiée à partir du moment où l'on recherche le lien qui existe entre une grandeur d'intérêt et des variables qui peuvent modifier la

valeur finale de la grandeur recherchée. Elle cherche à déterminer une relation entre 2 types de grandeurs la réponse qui correspond à la grandeur physique étudiée et les facteurs qui correspondent aux grandeurs physiques modifiables par l'expérimentateur et sensées influencer sur les variations de la réponse (Goupy, 2000).

Gendre, Savary et Soulier (2009) ont revue le concept des plans d'expériences et leurs applications et ont conclu que les plans d'expériences consistent à sélectionner et ordonner les essais afin d'identifier, à moindres coûts, les effets des paramètres sur la réponse du produit. Il s'agit de méthodes statistiques faisant appel à des notions mathématiques simples. En effet les plans d'expériences servent à mettre en évidence et quantifier l'influence des paramètres pris en compte dans le cas d'un problème technique complexe avec de multiples paramètres qui sont susceptibles d'influer sur la performance du système étudié.

Duret et Pillet (2005) précisent que la méthodologie des plans d'expériences va aider l'expérimentateur à exprimer au mieux son problème en lui proposant des stratégies expérimentales optimales en fonction des objectifs qu'il s'est fixé et des moyens dont il dispose. Elle permettra, en outre, une diminution considérable du nombre d'essais par rapport aux techniques traditionnelles mais plus encore, elle permettra une interprétation rapide et sans équivoque des résultats des essais en fournissant un modèle expérimental du système étudié.

Dans ce cadre, notre recherche a pour objectif de dégager une combinaison optimale des facteurs significatifs ayant un impact sur le taux d'absorption des couches bébés de la société SANCELLA¹ par les plans d'expériences.

¹ SANCELLA (Sanitaire Cellulose Articles) est une société Tuniso-suédoise créée en 1995, située à Monastir rue 18 Janvier 5031 Ksibet El Médiouini

II. REVUE DE LA LITTERATURE

A. Terminologie

Les travaux sur les plans d'expériences font appel à une terminologie spécifique. Pour une meilleure compréhension il est nécessaire de présenter les principales notions utilisées :

Tableau 1 : Terminologie des plans d'expériences

Espace expérimental	C'est le domaine expérimental défini par la variation des variables expérimentales (Lundstedt et al, 1998)
Réponse	La variable de sortie du système à étudier (Khuri et Cornell, 1996)
Facteur	La variable qui peut modifier la réponse. Goupy(2006) distingue plusieurs types de facteurs : continus, discrets, ordonnables et booliens. Khuri et Cornell (1996) classent les facteurs en : Qualitatifs et quantitatifs
Niveau d'un facteur	La valeur accordée pour un facteur pour réaliser une expérience (Goupy, 2006)
Domaine d'un facteur	Toutes les valeurs théoriquement possibles (Goupy, 2006)
Interaction	Combinaison de facteurs n'agissant pas de façon indépendante. les interactions peuvent conduire à des décisions erronées, si elles ne sont pas prises en compte (Evrard et al, 2009)

Lorsque les variables expérimentales et les réponses ont été définies, les expériences peuvent être planifiées et perçues, formé de telle sorte qu'un maximum d'informations soit obtenue à partir d'un minimum d'expériences.

B. Modélisation

La modélisation constitue une composante fondamentale des plans d'expériences. Ces derniers reposent principalement sur des modèles polynomiaux, dont la formulation générale est la suivante :

Réponse = f(facteurs)

$$Y = a_0 + \sum a_{ix} x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \sum a_{iij} x_i^2 + \dots$$

Où

Y : la réponse de phénomène à étudier
 xi représente un niveau du facteur i,
 xj représente un niveau du facteur j,
 a0, ai, aij, aii sont les coefficients du polynôme.

Les modèles polynomiaux diffèrent selon le :

- Le degré du monôme suite à la multiplication de n valeurs de facteurs principaux.
- La présence ou non d'interaction
- L'ordre des interactions

C. Les stratégies des plans d'expériences

La méthode des plans d'expériences peut être utilisée dans deux types d'investigations les études de criblage ou screening et les études de surface de réponse (MSR).

La technique du screening permet de déterminer, parmi les facteurs recensés par l'expérimentateur, ceux qui ont une influence statistiquement non négligeable sur les variations de la réponse. Il s'agit d'un procédé de sélection ou criblage (Shimmerling, 1998). On procède ainsi implicitement à une simplification du problème. On recherche pourquoi la réponse varie (en fonction de quels facteurs). En plus des facteurs influents il est également possible d'identifier les interactions de facteurs qui auront une influence significative sur la réponse. Dans une application de la méthodologie de surface de réponse (MSR), les variations de la réponse sont calculées en fonction des facteurs et interactions précédemment jugés influents. Cette étude est davantage quantitative, le but étant de déterminer comment la réponse varie.

Louvet (2006) a présenté l'évolution des techniques de criblage dans le temps comme suit :

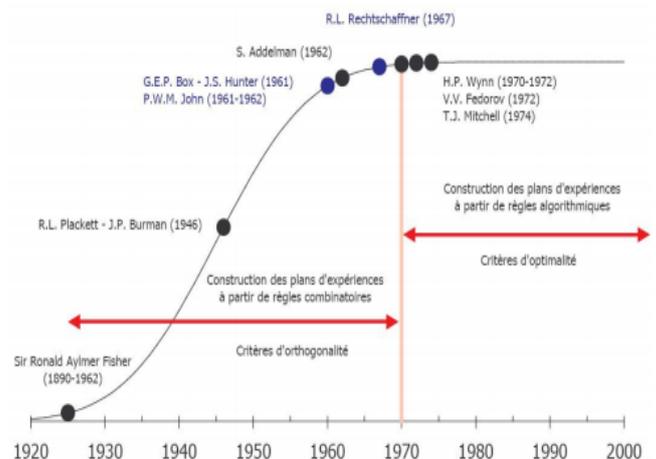


Figure 1 : Evolution des techniques de criblage (Louvet, 2006)

Dans la littérature, on trouve nombreux plans d'expériences adaptés à tous les cas rencontrés par un expérimentateur, certains sont plus fréquemment utilisés que d'autre : à savoir les plans factoriels, les plans fractionnaires, les plans de surface de réponse, les plans mixtes et les plans de Taguchi.

- Plans factoriels

La conception factorielle est utilisée pour obtenir la meilleure optimisation globale d'un processus (Montgomery, 1997), (Brasil et al, 2005). La conception détermine l'effet de chaque facteur sur la réponse ainsi que la façon dont l'effet de chaque facteur varie avec le changement de niveau des autres facteurs (Arenas et al 2006). Les effets d'interaction de différents facteurs pourraient être atteints en utilisant la conception des

expériences (Montgomery 1997), (Brasil et al 2005). Cette technique a été utilisée pour réduire le nombre d'expériences, le temps, le coût global du processus et pour obtenir une meilleure réponse. Les avantages des conceptions factorielles sur les expériences à un facteur à la fois sont qu'elles sont plus efficaces et permettent d'identifier les interactions (Erper et al, 2011). Les études utilisant les modèles expérimentaux montrent la pertinence de cette méthodologie (N.Barka et al, 2014),(F.Torrades, 2014).

- Plans fractionnaires :

Ils donnent la possibilité de réaliser des plans factoriels avec moins d'expériences à travers le choix d'une fraction des essais. Ces plans permettent de tester un grand nombre de facteurs et de déterminer l'effet moyen de chaque facteur avec une précision très acceptable.(Goupy, 2006)

- Plans fractionnaires (type Taguchi)

Ces plans sont issus des travaux de Genichi Taguchi avec la prise en compte de l'aspect industriel (Pillet , 2006). Le plan Taguchi permet de mettre en place une conception de réseau orthogonal Taguchi dans la feuille de calcul. Chaque ligne de la conception spécifie une combinaison de niveaux de facteurs être utilisé pour une course de l'expérience. Les plans de Taguchi incluent les plans à 1, 2, 3, 4 et 5 niveaux, ainsi que les plans à divers niveaux.

Généralement ce sont des chiffres romains qui spécifient la résolution : plan de résolution III, plan de résolution IV et plan de résolution V (Lundstedt et Al, 1998)et (Goupy 2006) .

- Plans à surfaces de réponse

Les plans à surface de réponse sont pour examiner la relation entre une réponse et un ensemble de facteurs ou variables expérimentales quantitatives. Ces méthodes sont souvent employées après avoir identifié quelques facteurs contrôlables et quand on cherche de trouver les paramètres des facteurs qui optimisent la réponse. Les plans à surface de réponse incluent les plans composites centrés et les plans de Box-Behnken (Tinson, 2010, Pillet 1997).

- Plans mixtes

Ces plans sont une classe spéciale d'expériences à surface de réponse dans laquelle le produit visé par l'enquête est constitué de plusieurs composants. Dans l'expérience mixte, la réaction dépend des proportions relatives des composants. Ces plans incluent les plans mixtes centrés, les plans en réseaux et les plans sous contraintes (GOUPY et CREIGHTON, 2006), (Pillet 1997).

III. METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

Dans cette partie de cet article, nous exposons le choix de la méthodologie et nous présentons les résultats trouvés.

A. Choix de l'approche méthodologique

Ce travail concerne une entreprise spécialisée dans le domaine de production des dérivés du coton et des produits à base de gaz hydrophile.

Notre recherche porte sur l'optimisation du taux d'absorption des couches bébés au sein de la société SANCELLA –Tunisie, moyennant des plans d'expériences.

La méthode d'analyse utilisée dans cette recherche vise à faire ressortir les principaux facteurs qui ont un effet sur le taux d'absorption.

Notre démarche sera appliquée au processus de fabrication FAMECCANICA qui sert à fabriquer les couches bébés tout en passant par plusieurs modules consécutifs et synchronisés entre eux.

Dans un premier temps nous avons appliqué des enquêtes et un diagramme SADT² afin d'établir une cartographie des principales activités du processus de fabrication FAMECCANICA.

Ensuite une phase d'analyse a été établie sur deux niveaux pour chaque activité dédagée :

- Un niveau qualitatif par le biais des séances de brainstorming
- Un niveau quantitatif par le biais de l'outil AMDEC³

Enfin, l'élaboration des plans d'expériences et la modélisation pour dégager les paramètres les plus significatifs..

Nous avons fait recours pour la méthode des moindres carrés. L'estimation des coefficients des facteurs a été obtenue par le logiciel MINITAB version 17.

La qualité du modèle sera évaluée à travers l'analyse du tableau ANOVA⁴ et le coefficient de détermination ajusté (Evrard et al 2009).

B. Analyses et interprétations des résultats

Après avoir précisé précédemment la démarche adoptée dans ce travail. L'analyse comporte trois étapes : la cartographie des activités, le dispositif expérimental et la modélisation via les plans d'expériences.

1) La cartographie des activités

Cette étape consiste à présenter le processus et constituer un groupe de travail pluridisciplinaire.

Dans cette étape nous avons essayé de réaliser une cartographie du processus de fabrication FAMECCANIA moyennant un diagramme SADT⁵. L'objectif est de réaliser une clarification et une décomposition analytique de la complexité de la chaîne de production.

² Structured analysis and design technique

³ Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

⁴ ANalysis Of Variance : l'analyse de la variance

⁵ Voir annexe 1

Une équipe multidisciplinaire composée de 7 responsables a été constituée afin de recenser toutes les activités. Ceci nous a permis de passer vers la deuxième phase d'analyse afin d'identifier les facteurs que l'on suppose influents sur le système.

2) Le dispositif expérimental

Cette deuxième phase s'est référée à l'utilisation de deux approches d'analyse.

- L'analyse qualitative : sert à mettre en évidence les défaillances d'affecter le taux d'absorption. pour chaque mode de défaillance identifié, nous avons cherché les causes possibles à l'aide des séances de brainstorming
- L'analyse quantitative ; sert à évaluer le risque associé à la défaillance potentielle. Le but de cette analyse est d'hiérarchiser des défaillances potentielles. Pour cette raison une AMDEC a été élaborée avec le groupe de travail.

Tableau 2 : AMDEC (voix de client)

	Partie de produit/Étape de processus	Fonction de produit / Processus (avec exigence mesurable)	Qu'est ce qu'il pourrait se passer comme défaut?	SEVERITE	OCCURENCE	DETECTION	CRITICITE
Performance produit (Voix de client)	Pulpe	Vitesse d'acquisition	Temps d'absorption trop long.	3	4	2	24
	Pulpe	Vitesse d'acquisition	Présence des tâches jaune ou noir au niveau du fluff.	1	3	1	3
	Pulpe	Vitesse d'acquisition	Mauvaise Odeur.	1	3	1	3
	SAP	Rétention & diffusion du liquide	Faible rétention & diffusion limitée.	5	4	3	60
	SAP	Rétention & diffusion du liquide	Diffusion limitée (blocage).	5	4	3	60
	SAP	Rétention & diffusion du liquide	Formation des cristaux de SAP	4	4	2	32
	Spun	Enveloppe coussin	Temps d'absorption trop long.	5	4	2	40
	Spun	Enveloppe coussin	Spun lisse	2	1	1	2

	Principale Partie de produit/ Étape de processus	Secondaire Partie de produit/ Étape de processus	Fonction de produit / Processus (avec exigence mesurable)	Qu'est ce qu'il pourrait se passer comme défaut?	SEVERITE	OCCURENCE	DETECTION	CRITICITE
Performance processus Voix du processus	Broyeur	Lame	Défibrage pulpe	Mauvaise défibrage	5	4	3	60
	Drum	Tamis	Mélange SAP/Fluff	Mélange non homogène	3	4	1	12
	Chambre filtre	Fourrure	Filtrage + récupération fluff	Quantité du fluff non respecté	3	4	2	24
	Tambour de reprise	Tamis	Transport coussin	Le coussin Perdre son homogénéité et sa cohésion.	2	4	3	24
	Acrison	Balance & canalisation	dosage SAP	Quantité non respecté	5	4	2	40
	Acrison	Balance & canalisation	dosage SAP	Quantité non respecté	5	4	2	40
	Compression	Cylindre compression & gaufrage	Epaisseur produit	Epaisseur non respecté	3	4	2	24

Ces analyses ont permis de définir les variables du dispositif expérimental :

- Les variables de sortie : Tests d'absorption

Test	Caractéristiques
Test de Rétention	La quantité absorbée d'une couche après qu'on l'immerge dans une solution saline (30 mn) et mettre sous une grande vitesse
Test Newsorb après 2h	la détermination de l'absorption après 2h suite à l'utilisation de l'équipement Newsorb.
Test de Plutôt	La quantité absorbée au bout de 10 mn et avec une inclinaison de 60°
Test de Rewet	La quantité absorbée par un papier filtre sec

- Les variables d'entrée : les facteurs

Facteurs	Niveau -1	Niveau +1
High Loft ⁶	Merkas	Texus
Pâte ⁷	GP	Roxcell
SAP ⁸	BASF	Evronick
Compression	Avant deuxième compression (255)	Après deuxième compression(245)

L'ensemble des facteurs identifiés sont qualitatifs. Le niveau minimal et le niveau maximal des facteurs (High Loft, Pâte et SAP) représentent les fournisseurs des matières premières. Sur le diagramme ISHIKAWA sont placés les facteurs avec leurs niveaux et les réponses à mesurer.

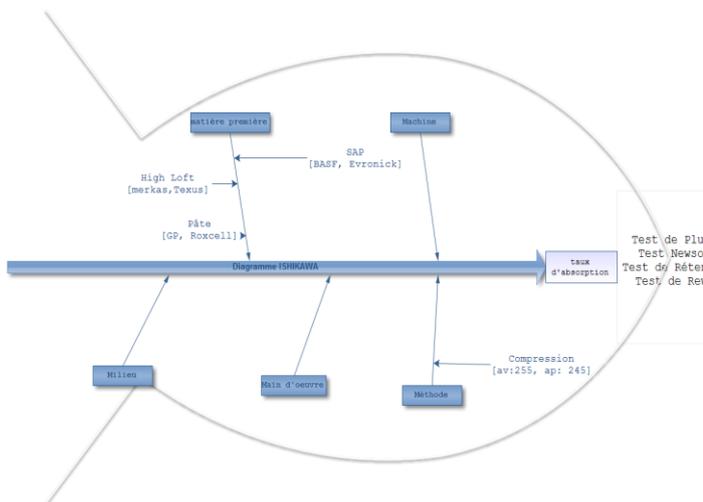


Figure 2 : Diagramme ISHIKAWA

L'expérimentation : c'est la partie technique de cette étude. Les 2⁴ essais réalisés pour chaque test d'absorption ont été menés avec le plus grand soin dans le labo contrôle qualité de la société SANCELLA.

Les traitements ont été réalisés suivant l'ordre des lignes sans randomisation

3) Modélisation et optimisation

Le but des essais réalisés, est d'identifier le modèle de comportement de chaque test d'absorption. Cette approche repose sur le modèle polynomial du premier degré sans interaction :

⁶ Le High Loft est un tissu non-tissé constitué de filaments continus 100% polypropylène et fournit des fonctions spécifiques telles que capacité d'absorption, liquide répulsion, la résilience, etc.

⁷ La pâte cellulosique cellulose est un polymère naturel particulièrement important puisqu'il est constituant principal de la masse végétale et il est un produit par la nature par dizaine de milliard de tonnes chaque année.

⁸ Les SAP se présentent sous la forme d'une poudre blanche dont chaque particule est l'enchevêtrement de chaînes macromoléculaires qui sont reliées entre elles par des ponts

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i X_i$$

L'analyse mathématique consiste à estimer, grâce à la méthode des moindres carrés, les coefficients a_i de chaque modèle.

• Test de Rétention

La méthode des moindres carrés pratiquée sur les essais de ce test, montre que le modèle est globalement significatif (p-value = 0,000) et 91% de la variabilité totale de la réponse est expliquée par les 4 facteurs mentionnés.

Tableau 4 : ANOVA (Test de rétention)

Source de variation	ddl	Somme des carrés des écarts	Carrés moyens	F-value	p-value
modèle	4	5287,75	1321,94	40,32	0,000
Résidus	11	360,69	32,79		
Total	15	5648,44			

Les estimateurs a_i calculés par le logiciel MINITAB 17 sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 5 : estimation des coefficients test de rétention

Facteur	valeur	p-value
constante	306,19	****
HL	-0,44	0,766
Pâte	6,19	0,001
SAP	17,06	0,000
Compression	0,94	0,526

Les deux facteurs « SAP » et « pâte influent significativement sur le test de « Rétention ». Ils admettent un seuil de signification inférieure à 5%.

Il est possible de décomposer la variation d'une réponse à partir des contributions apportées par chaque facteur dans un modèle. Le diagramme de PARETO permet de montrer les facteurs influents par un ordre de contribution décroissante. Le diagramme relatif à ce test est comme suit :

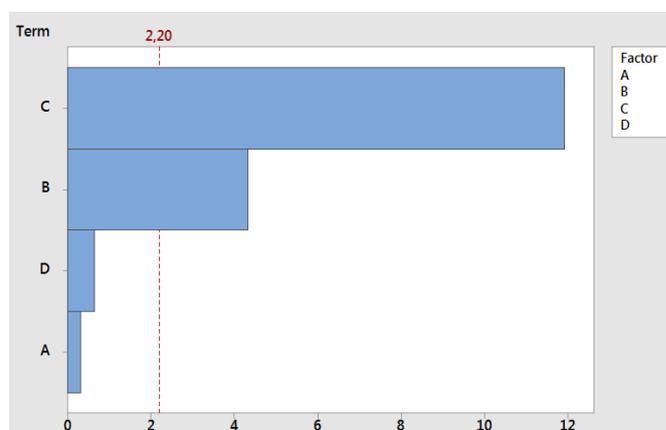


Figure 3 : Diagramme de Pareto test de rétention

Ceci nous montre que le choix du fournisseur de « Hight Loft » et le changement de la « compression » n'ont pas un effet significatif sur le taux d'absorption des couches bébés.

• **Test « Newsorb après 2H »**

L'analyse de la variance nous indique que le modèle est globalement significatif avec une signification nulle. Le coefficient de détermination ajustée confirme cette hypothèse.

Tableau 6 : ANOVA (Test de Newsorb après 2H)

Source de variation	ddl	Somme des carrés des écarts	Carrés moyens	F-value	p-value
modèle	4	11196	2799,01	23,82	0,000
Résidus	11	1292,5	117,50		
Total	15	12488			

L'analyse de la signification individuelle est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 7 : estimation des coefficients test de Newsorb après 2H

Facteur	valeur	p-value
constante	335,38	****
HL	0,52	0,851
Pâte	9,52	0,005
SAP	21,64	0,000
Compression	11,86	0,001

Nous remarquons suite à cette étude que les facteurs « SAP », « pâte » et « compression » sont les paramètres qui influent sur le test de « Newsorb après 2h ». Ils admettent un seuil de signification inférieure à 5%.

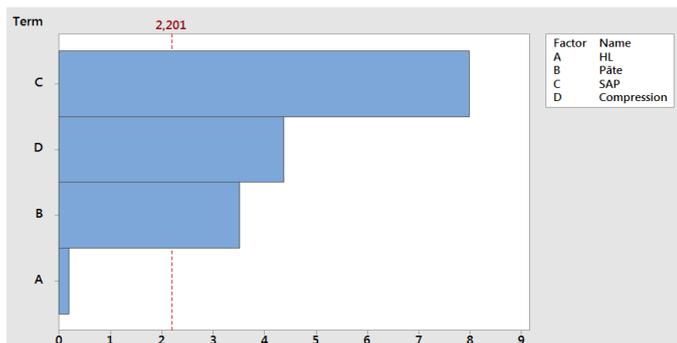


Figure 4 : Diagramme de Pareto test de Newsorb après 2H

Le diagramme Pareto est complémentaire aux tests individuels appliqués sur les coefficients du modèle. Il montre bien la non signification du facteur « High Loft ».

• **Test de « Plutôt »**

L'analyse de la variance montre le rejet du modèle puisque seulement 8,71% de la variabilité totale de la réponse provient des facteurs sélectionnés et une p-value supérieure à 0,05.

Tableau 8 : ANOVA (Test de plutôt)

Source de variation	Ddl	Somme des carrés des écarts	Carrés moyens	F-value	p-value
modèle	4	3429,2	857,3	1,36	0,310
Résidus	11	6946,1	631,5		
Total	15	10375,2			

Nous obtenons les valeurs des coefficients associées aux facteurs. On remarque bien que chaque signification individuelle est supérieure à 0,05.

Tableau 9 : estimation des coefficients test de plutôt

Facteur	valeur	p-value
constante	531,99	****
HL	-5,14	0,430
Pâte	-2,95	0,648
SAP	-5,07	0,437
Compression	12,39	0,074

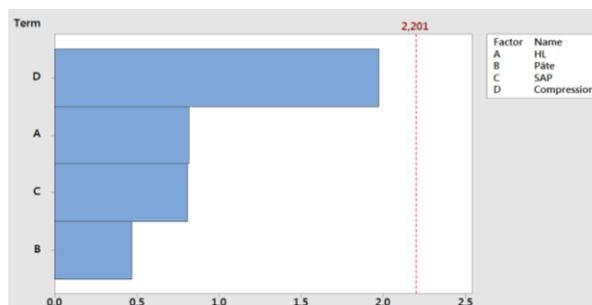


Figure 5 : Diagramme de Pareto test de plutôt

D'après ce diagramme, nous pouvons confirmer que la qualité du modèle est très mauvaise.

• **Test de « Rewet »**

Une analyse a été appliquée aux essais de ce test et a permis d'avoir des résultats non satisfaisants en termes de coefficient de détermination ajustée (47%) et p-value supérieure à 5%.

Tableau 10 : ANOVA (test de Rewet)

Source de variation	Ddl	Somme des carrés des écarts	Carrés moyens	F-value	p-value
modèle	4	3,1414	0,7854	2,45	0,108
Résidus	11	3,5202	0,3200		
Total	15	6,6616			

Tableau 10: estimation des coefficients test de Rewet

Facteur	valeur	p-value
Constante	2,512	****
HL	-0,183	0,222
Pâte	-0,167	0,268
SAP	-0,358	0,028
Compression	-0,082	0,574

A partir de ces résultats, Nous pouvons signaler que le facteur « SAP » est le seul paramètre qui influe sur le test de « Rewet ». Il admet un seuil de signification (p-value) inférieure à 5%.

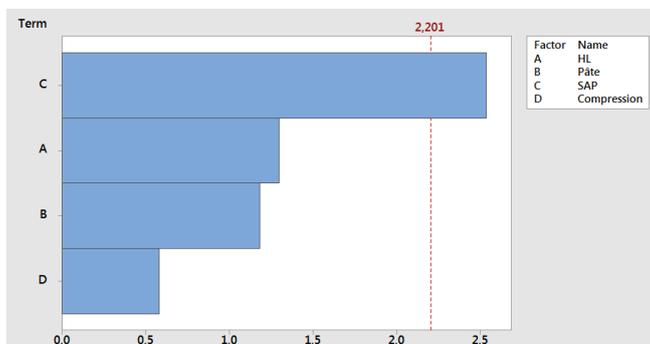


Figure 6 : Diagramme de Pareto test de Rewet

Le diagramme de Pareto traduit la contribution de chaque facteur dans le modèle. Le facteur principal influant sur le test de « REWET » est SAP.

Compte tenu des analyses faites, nous avons jugé utile de reporter l'ensemble des résultats dans un tableau synthétique :

Tableau 8 : évaluation des modèles estimés

Test	Modèle trouvé	p-value	R ² ajusté	Facteurs significatifs ¹
Rétention	Rétention = 306,19 - 0,44 HL + 6,19 Pâte + 17,06 SAP + 0,94 Compression	0,000	91,29%	Pâte SAP
Newsorb après 2h	Newsorb après 2h = 335,38 + 0,52 HL + 9,52 Pâte + 21,64 SAP + 11,86 Compression	0,000	85,89%	SAP Compression Pâte
Plutôt	Newsorb Total = 531,99 - 5,14 HL - 2,95 Pâte - 5,07 SAP + 12,39 Compression	0,310	8,71%	-
Rewet	Rewet = 2,512 - 0,183 HL - 0,167 Pâte - 0,358 SAP - 0,082 Compression	0,108	27,94%	SAP

Les conditions optimales pour obtenir un meilleur taux d'absorption :

- Pour avoir un taux de « Rétention » élevé, il est idéal d'ajouter une deuxième compression et de s'approvisionner des fournisseurs suivants : Merkas (High Loft), Roxcell (Pâte) et Evonick (SAP)
- Pour le test « Newsorb après 2h », la combinaison optimale : Texux (High Loft), Roxcell (Pâte), Evonick (SAP) et ajouter une deuxième compression.
- Pour avoir un taux de « Rewet » élevé, il est idéal de ne pas ajouter une deuxième compression et de s'approvisionner des fournisseurs suivants : Merkas (High Loft), GP (Pâte) et BASF (SAP).

CONCLUSION

Dans le contexte de la société SANCELLA, L'objet de toutes ces méthodes utilisées est d'optimiser le taux d'absorption mesuré à travers quatre tests. Nous avons montré que la formation d'un groupe de travail multidisciplinaire, nous a permis d'avancer dans la résolution de problème suite à des séances de brainstorming et des travaux de réflexion collective.

Nous avons procédé par une analyse qualitative et une autre quantitative dans le but d'évaluer la criticité des défaillances dans le processus de fabrication FAMECCANICA.

Ces deux analyses ont permis d'identifier les variables d'entrée et les variables de sortie.

La méthodologie des plans d'expériences a aidé les opérateurs dans le labo contrôle qualité de mettre en place une stratégie expérimentale optimale. En effet, l'optimisation du taux d'absorption a demandé l'utilisation des outils d'analyse de données complémentaires moyennant le logiciel MINTAB 17.

Grâce à ces outils, nous avons élaboré des modèles polynomiales sans interaction et nous avons proposé des combinaisons optimales pour chaque test d'absorption.

La démarche dans ce travail bien que nécessaire pour une optimisation, présente des limites :

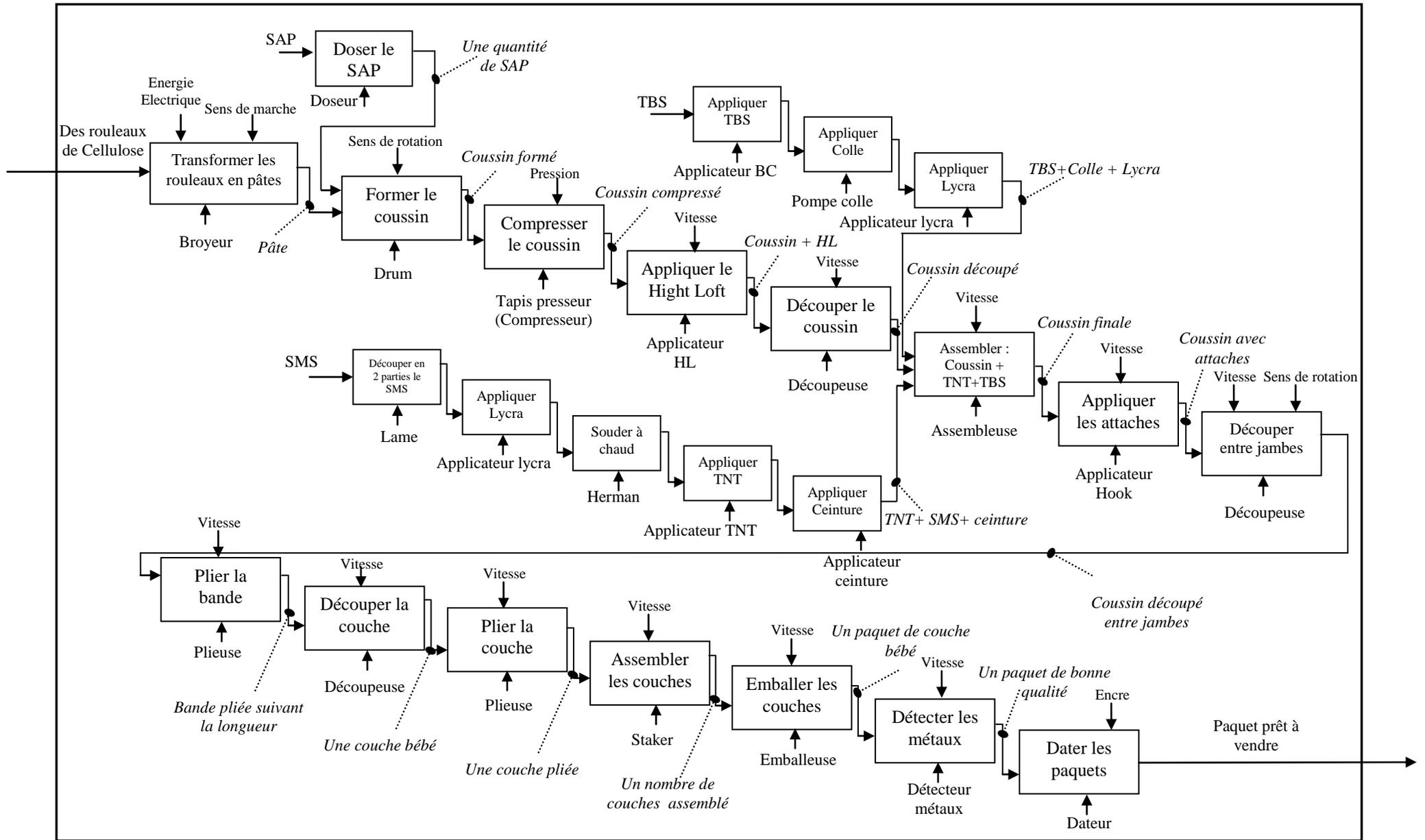
- L'exhaustivité est illusoire : on ne peut pas imaginer à l'avance toutes les défaillances éventuelles.
- La vérification des résultats avec d'autres plans : Taguchi, Plackett et Burmann...
- Les surfaces de réponses non élaborées, puisque les variables d'entrée sont qualitatives.

Notre travail soulève des pistes de développement intéressantes. Ainsi, il est possible de mettre en œuvre d'autres outils d'optimisation et de construire d'autres plans expérimentaux.

REFERENCES

- [1] Arenas.L.T, Lima.E.C, Santos.A.A.D, Vaghetti.J.C.P, Coasta.T.M.H, . Benvenuti.E.V (2006), « Use of statistical design of experiments to evaluate the sorption capacity of 1,4 diazoniabicyclo [2,2,2] octane silica chloride for Adsorption.Cr(VI), "Colloids Surf. A: Physiochem" Eng. Asp., 297, pp. 240-248.
- [2] Barka.N, Abdennouri.M , Boussaoud.A , Galadi.A, Baâlala.M , Bensite I.M , Sahibed-Dine.A , Nohair.K, Sadiq.M, (2014) "Full factorial experimental design applied to oxalic acid photocatalytic degradation in TiO₂ aqueous suspension". Arab. J.Chem., 7 , pp. 752-757
- [3] Brasil.J.L,Martins.L.C, EvR.R, Dupont.J , Dias.S.L.P , Sales.J.A.A. , A iroldi.C , Lima.E.C,(2005) "Factorial design for optimization of flow injection preconcentration procedure for copper(II) determination in natural waters, using 2-aminomethylpyridine grafted silica gel as adsorbent and spectrophotometric detection". Int. J. Environ. Anal. Chem. 15. pp. 475-491
- [4] Chauvau JC et Chassaing JP,« introduction à la méthode des plans d'expériences par la méthode TAGUCHI ». éducol STI.
- [5] Evrard Y., Pras B. et Roux E. (2009), « Market: Etudes et recherches en marketing », Paris: Dunod.
- [6] Gendre L, Savary A et Soulier B.(2009). « Les plans d'expériences ». 21/12/2009.Ens Cachan
- [7] Goupy Jacque (2000), « Modélisation par plan d'expériences ». éditions Techniques de l'ingénieur, mesure et contrôle. ISSN 0399-4147. 2000.
- [8] Goupy Jacques et Creighton Lee (2006), « Introduction aux plans d'expériences », 3e édition, 2006.
- [9] Khuri A, John A, Response Surfaces(1996), "Designs and AnalysesSecond", Edition, Cornell Hardback, 1996.
- [10] Louvet F et Delplanque L. (2006), « Design of experiments : the French touch / Les plans d'expériences : une approche pragmatique et illustrée », témoignage de l'association Expérimentique, 2006.
- [11] Lundstedt T, Seifert E, Abramo L, Thelin B, Nystrom A, Pettersen J, Bergman R. (1998), "Experimental design and optimization. Elsevier. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems", 42, 1998, pp 3-40.
- [12] Montgomery D.C. (1997), "Design and Analysis of Experiments", éditions John Wiley and Sons, New York.
- [13] Pillet M (1997), " Les plans d'expériences par la méthode Taguchi ", Les Editions d'organisation, Paris, 1997.
- [14] Erper.I, Odabas.M.S , Turkan.M.(2011), The mathematical approach to the effect of potassium bicarbonate on mycelial growth of *Sclerotinia sclerotiorum* and *Rhizoctonia solani* AG 4 HG-I in vitro", *Zemdirb.-Agric.*, 98, 2011, pp. 195-204
- [15] Tinsson.A.(2010), « Plans d'expérience : constructions et analyses statistiques », Dordrecht, Springer, New York. 2010.
- [16] Torrades.F, García-Montaña.J. (2014), "Using central composite experimental design to optimize the degradation of real dye wastewater by Fenton and photo-Fenton reactions", *Dyes Pigment*, 100,2014, pp. 184-189.

Annexe n°1: Diagramme SADT



Annexe 2 : AMDEC

Effet Catégorie	Principale Partie de produit/ Étape de processus	Secondaire Partie de produit/ Étape de processus	Fonction de produit / Processus (avec exigence mesurable)	Qu'est ce qu'il pourrait se passer comme défaut?	Que pourrait être l'effet? (Effet Potentiel)	SEVERITE	Qui peut causer le défaut ? (Causes potentielles de mode de défaillance)	OCCURRENCE	Contrôle processus détection	DETECTION	CRITICITE
Performance produit Voix de client	Coussin	Pulpe	Vitesse d'acquisition	Temps d'absorption trop long.	Diffusion limité	3	Qualité des fibres.	4	Réclamation Labo	2	24
	Coussin	Pulpe	Vitesse d'acquisition	Présence des tâches jaune ou noir au niveau du fluff.	Défaut visuel (brûlure)	1	Humidité hors cible	3	Inspection	1	3
	Coussin	Pulpe	Vitesse d'acquisition	Mauvaise Odeur.	Défaut de mauvaise odeur.	1	Grammage pulpe hors cible	3	Inspection	1	3
	Coussin	SAP	Rétention & diffusion du liquide	Faible rétention & diffusion limitée.	Fuite	5	Taux de granulométrie hors spécification & un faible CRC de SAP.	4	Réclamation Client	3	60
	Coussin	SAP	Rétention & diffusion du liquide	Diffusion limitée (blocage).	Fuite	5	Problème de perméabilité	4	Réclamation Client	3	60
	Coussin	SAP	Rétention & diffusion du liquide	Formation des cristaux de SAP	Fuite partiel	4	Influence de l'humidité	4	Réclamation Labo	2	32
	Coussin	Spun	Enveloppe coussin	Temps d'absorption trop long.	Fuite	5	Stabilité surfactant	4	Réclamation Labo	2	40
	Coussin	Spun	Enveloppe coussin	Spun lisse	Boulochage	2	Stabilité surfactant	1	Inspection	1	2
Performance processus Voix du processus	Broyeur	Lame	Défibrage pulpe	Mauvaise défibrage	Fuite	5	Usure lame	4	Réclamation Client	3	60
	Drum	Tamis	Mélange SAP/Fluff	Mélange non homogène	Absorption limité	3	Bouchage /Tamis déchiré.	4	Inspection	1	12
	Chambre filtre	Fourrure	Filtrage + récupération fluff	Quantité du fluff non respecté	Fuite	3	Bouchage fourrure	4	Réclamation Labo	2	24
	Tambour de reprise	Tamis	Transport coussin	Le coussin Perdre son homogénéité et sa cohésion.	Fuite	2	Bouchage des tamis	4	Réclamation Client	3	24
	Acrison	Balance & canalisation	dosage SAP	Quantité non respecté	Fuite	5	Doseur non calibré	4	Réclamation Labo	2	40
	Acrison	Balance & canalisation	dosage SAP	Quantité non respecté	Fuite	5	Nouvelle référence SAP	4	Réclamation Labo	2	40
	Compression	Cylindre compression & gaufrage	Epaisseur produit	Epaisseur non respecté	Absorption limité	3	Absence du standard	4	Réclamation Labo	2	24