

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département de génie industriel
Option Management de l'innovation

Mémoire de Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

Contribution à l'optimisation du procédé de nettoyage en place
Application : Candia-Tchin Lait

M^{lle} Yamna Kawthar HAOUSSINE

Sous la direction de :

M Ali BOUKABOUS (Maître assistant A)

M Lyes Atrouche (Directeur de production de l'unité de Baraki)

Présenté et soutenu publiquement le 03/07/2018

Composition du jury

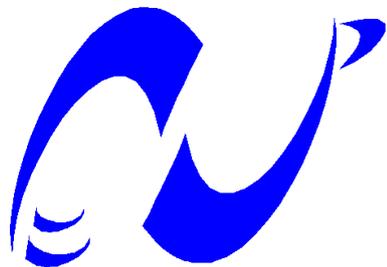
Présidente : Mme Fatima NIBOUCHE Maître de conférences A Ecole Nationale Polytechnique

Promoteur : M Ali BOUKABOUS Maître assistant A Ecole Nationale Polytechnique

Examineur : M Iskander ZOUAGHI Maître de conférences B Ecole Nationale Polytechnique

ENP 2018

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département de génie industriel
Option Management de l'innovation
Mémoire de Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

Contribution à l'optimisation du procédé de nettoyage en place
Application : Candia-Tchin Lait

M^{lle} Yamna Kawthar HAOUSSINE

Sous la direction de :
M Ali BOUKABOUS (Maître assistant A)
M Lyes Atrouche (Directeur de production de l'unité de Baraki)

Présenté et soutenu publiquement le 03/07/2018

Composition du jury

Présidente : Mme Fatima NIBOUCHE Maître de conférences A Ecole Nationale Polytechnique
Promoteur : M Ali BOUKABOUS Maître assistant A Ecole Nationale Polytechnique
Examineur : M Iskander ZOUAGHI Maître de conférences B Ecole Nationale Polytechnique

ENP 2018

Dédicaces

Je dédie ce travail à ma chère et bien-aimée mère ainsi qu'à mes sœurs. A l'ensemble de ma famille et des personnes qui comptent pour moi ainsi qu'à ceux que j'aimerais voir le jour de ma soutenance mais qui ne pourront pas venir.

Je le dédie également aux personnes qui m'ont inspirées et m'ont servi de modèles et aux personnes avec lesquelles j'ai pu échanger et apprendre au sein de l'école, à travers mes travaux étudiants ou mes stages en entreprise.

Je le dédie enfin à toutes les personnes qui ont apporté leur pierre à l'édifice d'une quelconque façon.

Remerciements

Je n'aurais jamais pu fournir cet humble travail sans l'aide de nombreuses personnes auxquelles je dois des remerciements.

Je tiens à remercier d'abord quelques personnes au niveau de l'entreprise qui se sont montrées d'une grande gentillesse et d'une grande patience pour m'aider malgré leur emploi du temps surchargé. Je pense notamment au directeur de la maintenance Mr. Ghoul, Mr. Frendi et Mr. Benhamou, deux chefs d'équipe et en particulier à Mr. Sabour, un responsable de la production dont les connaissances pointues en chimie m'ont beaucoup éclairée. Je remercie également les personnes du service de contrôle qualité qui m'ont appris, de façon très didactique, à faire des tests de pH et de conductivité.

Mes remerciements vont également à mon encadreur Mr. Boukabous qui m'a été d'une précieuse aide et s'est montré très compréhensif envers moi. Son implication et son dévouement sont des qualités rares et j'ai eu beaucoup de chance d'avoir été accompagnée par lui durant ce travail. Je remercie également la présidente du jury Mme Nibouche et M Zouaghi d'avoir accordé un peu de leur temps à la lecture de ce document.

Bien entendu ma famille a été présente avec moi et m'a été d'un soutien indéfectible et pour ça je lui dois également des remerciements. Ma mère et mes deux sœurs Sarah et Imène ont toujours été à mes côtés quelles que soient les circonstances et je leur suis reconnaissante de me donner autant d'amour et de soutien.

En dernier lieu, je tiens à remercier Achraf, un de mes amis les plus proches. Je sais combien cette année a été éprouvante pour lui et même si je lui en veux un peu de ne pas pouvoir assister à ma soutenance, je tiens à lui témoigner mon immense gratitude d'avoir été l'une des personnes les plus attentives et les plus sincères que j'ai croisées dans ma vie. Merci de m'avoir conseillée et écoutée avant, pendant et après mon PFE. Je suis convaincue qu'il fera un bon cardiologue malgré tous les obstacles.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى عرض حل يمكننا من تخفيض مدة التنظيف في المكان. لتحقيق ذلك، تم عرض بعض الحلول و بعد ذلك، تم إختيار تلك التي يمكن تطبيقها في حالتنا بالتحديد. فبفضل تصميم التجارب تمكنا من إيجاد عبارة مدة التنظيف في المكان بدلالة مقاييس محددة و انطلاقا من ذلك، بحثنا عن المقاييس التي مكنتنا من الحصول عن النتيجة المرغوب فيها. ركزنا إهتمامنا على التنظيف الوسيط العقيم لجهاز التعقيم الذي تبلغ سعته 26000 ل/سا .

أخيرا، عرضنا أنواع أخرى من التنظيف في المكان الذين يمكنهم تشكيل بدائل للتنظيف في المكان بإستعمال مواد منظفة حامضة و أساسية.

الكلمات الرئيسية: التنظيف في المكان، تصميم التجارب ، تحليل القرارات متعدد المعايير

Abstract

This work aims at presenting a solution that allows the reduction of the duration of cleaning-in-place. To that end, we've exposed some possible leads then took on the one that is applicable to this specific case. So, with the help of designs of experiments, we were able able to express the duration of cleaning-in-place based on certain parameters and from there, we searched for parameters that gave us the desired result. We've focused on the aseptic intermediary cleaning of the 26000 l/h sterilizer.

Finally, we've exposed some other types of cleaning-in-place that could constitute alternatives to cleaning-in-place with acid and basic cleaners.

Key words: Cleaning-in-place, Designs of experiments, Multi-criteria decision analysis,

Résumé

L'objet de ce travail est d'exposer une solution permettant de réduire le temps de nettoyage en place. Pour ce faire, nous avons présenté des pistes envisageables puis avons retenu celle qui est applicable à ce cas spécifique. Ainsi, grâce aux plans d'expérience, il nous a été possible d'exprimer le temps de nettoyage en fonction de certains paramètres et de là, nous avons déterminé ceux qui produisent le résultat souhaité. Nous nous sommes intéressés au nettoyage intermédiaire aseptique du stérilisateur de 26000 l/h.

Nous présentons enfin d'autres types de nettoyages qui peuvent constituer des alternatives au nettoyage à l'aide de détergents acide et basique.

Mots clés : Nettoyage en place, Plans d'expérience, Aide multicritère à la décision.

Table des matières

Liste des figures.....
Liste des tableaux.....
Liste des abréviations
Introduction générale.....	14
Chapitre I : Analyse de l'existant et problématique	17
I - 1 - Introduction	18
I - 2 - Présentation de l'entreprise et de la direction de production	18
I - 2 - a - Organigrammes.....	19
I - 2 - b - Gamme de produits fabriqués par Candia-Tchin-Lait.....	21
I - 3 - Présentation de la démarche de diagnostic fonctionnel	22
I - 3 - a - Définition d'une chaîne de valeur	22
I - 3 - b - Démarche générale d'un diagnostic fonctionnel.....	24
I - 3 - c - Les objectifs d'une démarche de diagnostic	25
I - 4 - Application à la fonction production de Candia-Tchin-Lait	25
I - 4 - a - Objectifs du diagnostic.....	25
I - 4 - b - Etude de la politique menée par la production.....	26
I - 4 - c - Evaluation des moyens et de l'organisation	27
I - 4 - d - Méthodes de gestion et de contrôle	31
I - 4 - e - Prise en compte de l'environnement et de l'influence des autres fonctions.....	31
I - 4 - f - Points forts et points faibles.....	32
I - 4 - g - Problématique et recommandations.....	32
I - 5 - Présentation de la méthode ABC.....	33
I - 5 - a - Vue d'ensemble de la méthode ABC-ABM	33
I - 5 - b - Avantages d'utiliser la méthode ABC.....	35
I - 5 - c - Comment élaborer la liste des activités.....	36
I - 5 - d - Quelques points à retenir pour établir la liste d'activités de l'entreprise :.....	37
I - 5 - e - Les différentes étapes pour élaborer une liste d'activités	38
I - 5 - f - Résultats du découpage en activités	39
I - 6 - Application de la méthode ABC à Candia-Tchin Lait.....	39
I - 7 - Notions fondamentales sur le nettoyage dans l'industrie agro-alimentaire.....	44
I - 7 - a - Définition d'une souillure, du nettoyage et de la désinfection	45
I - 7 - b - Les différents types de nettoyage rencontrés dans l'industrie agro-alimentaire	46
I - 7 - c - Mise en œuvre du nettoyage en place	47
I - 8 - Conclusion.....	52

Chapitre II : Etat de l'art.....	53
II - 1 - Modélisation sous forme de problème multicritère pour la sélection de détergents	54
II - 1 - a - Quelques notions fondamentales sur l'aide multicritère à la décision	55
II - 1 - b - Présentation de quelques méthodes de résolution des PMA triées par type.....	56
II - 1 - c - Faisabilité	60
II - 2 - Utilisation des plans d'expérience pour modéliser le temps de nettoyage	61
II - 2 - a - But des plans d'expérience	61
II - 2 - b - Quelques notions de base sur les plans d'expérience.....	63
II - 2 - c - Comment construire un plan d'expérience ?.....	67
II - 2 - d - Modélisation de la réponse	67
II - 2 - e - Construction d'un système d'équations	68
II - 2 - f - Plans factoriels complets et plans fractionnaires	69
II - 2 - g - Notions de statistiques dans les plans d'expériences.....	69
II - 2 - h - Faisabilité de l'utilisation des plans d'expérience	72
II - 3 - Conclusion.....	72
Chapitre III : Solution proposée.....	73
III - 1 - Introduction	74
III - 2 - Mise en œuvre des plans d'expérience dans notre cas.....	74
III - 2 - a - Interprétation des résultats à l'aide de JMP et du gestionnaire de scénarios d'Excel: 80	
III - 2 - b - Seconde modélisation.....	84
III - 2 - c - Interprétation des résultats à l'aide d'Excel et de JMP :.....	88
III - 2 - d - Implications de cette solution	93
III - 3 - Conclusion.....	94
Chapitre IV : Présentation de solutions innovantes	95
IV - 1 - Introduction.....	96
IV - 2 - Les différentes sources de ressources technologiques	96
IV - 2 - a - Les sources externes.....	96
IV - 2 - b - Les sources internes	97
IV - 3 - Sélection des projets d'innovation technologique.....	98
IV - 4 - Quelques solutions innovantes pouvant s'appliquer à notre cas	99
IV - 4 - a - Le nettoyage enzymatique	100
IV - 4 - b - Nettoyage à l'ozone.....	103
IV - 4 - c - Nettoyage en place segmenté	105
IV - 4 - d - Sélection de la solution innovante	106
IV - 5 - Etude de rentabilité pour l'investissement dans de nouvelles ressources technologiques	113

IV - 5 - a - Calcul de la rentabilité d'un investissement.....	113
IV - 5 - b - Investissement dans un stérilisateur U.H.T.....	118
IV - 5 - c - Investissement dans de petites stations CIP pour chaque atelier	122
IV - 6 - Conclusion	123
Conclusion générale	124
Bibliographie	126
Annexe 1 : Quelques exemples d'informations recueillies pour le calcul des charges de la direction de production.	128
Annexe 2 : Dictionnaire des activités	138

Liste des figures

Figure 1 Organigramme de la direction générale de Candia-Tchin lait.....	19
Figure 2 Organigramme de l'unité de production de Baraki de Candia-Tchin lait.....	20
Figure 3 La chaîne de valeur selon Micheal Porter (Porter, 1985).....	23
Figure 4 Démarche générale du diagnostic fonctionnel (Plauchu et Tairou, 2008)	24
Figure 5 Programme de production sur 10 jours	26
Figure 6 Représentation de l'unité de production de Baraki	30
Figure 7 Représentation schématique d'une station de nettoyage en place (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985)	49
Figure 8 Représentation de la station de nettoyage en place de Candia-Tchin-Lait.....	50
Figure 9 : Les plans d'expérience jouent un rôle important dans les trois étapes notées en rouge (Goupy et Creighton, 2006)	62
Figure 10 Représentation géométrique de l'espace expérimental	64
Figure 11 Représentation du domaine d'étude d'un facteur (Goupy et Creighton, 2006).....	64
Figure 12 : Représentation du domaine d'étude (Goupy et Creighton, 2006)	65
Figure 13 Représentation d'un domaine expérimental avec des contraintes (Goupy et Creighton, 2006)	65
Figure 14 Représentation d'un point expérimental pour deux facteurs (Goupy et Creighton, 2006)	66
Figure 15 Représentation graphique de la réponse d'un domaine expérimental (Goupy et Creighton, 2006)	67
Figure 16 Capture d'écran d'Excel pour le calcul du coefficient de détermination	80
Figure 17 Diagramme des effets par JMP.....	82
Figure 18 Réglage des paramètres dans JMP	82
Figure 19 réglage des paramètres dans le gestionnaire de scénarios d'Excel	83
Figure 20 Synthèse des scénarios construits à l'aide du gestionnaire de scénarios d'Excel.....	84
Figure 21 capture d'écran d'Excel pour le calcul du coefficient de détermination	88
Figure 22 Réglage des paramètres du problèmes dans JMP	89
Figure 23 Diagrammes des effets des facteurs et de la désirabilité de la réponse par JMP.....	90
Figure 24 Synthèse des scénarios pour différents facteurs	91
Figure 25 capture d'écran des paramètres du solveur d'Excel	92
Figure 26 Capture d'écran de la solution de l'algorithme évolutionnaire donnée par le solveur	93
Figure 27 Modélisation en entonnoir des différentes phases de sélection d'un projet innovant (Corbel, 2009)	98
Figure 28 : Présentation de l'entonnoir de sélection de projets avec partenariats (Corbel, 2009)	99
Figure 29 Schéma de la production d'ozone pour le CIP à l'ozone (Koosman et al. 2001) ..	104
Figure 30 Schéma comparatif d'un CIP classique (à gauche) et d'un CIP segmenté (à droite) (Votteler, 2002).....	106
Figure 31 Capture d'écran du code R pour la méthode TOPSIS	112
Figure 32 Résultats obtenus grâce à R.....	112
Figure 33 Schéma pour l'étude de rentabilité d'un investissement dans un échangeur de chaleur.....	122

Figure 34 schéma d'une étude de rentabilité pour l'investissement dans de petites stations CIP
..... 123

Liste des tableaux

Tableau 1 Gamme de produits fabriqués par Candia Tchir-Lait.....	21
Tableau 2 changements à effectuer pour passer d'une grille de coûts traditionnelle à une grille ABC (Ravignon et al. 1998)	34
Tableau 3 Grille de coûts ABC (Ravignon et al. 1998).....	34
Tableau 4 Calcul simplifié du coût de revient d'une commande à l'aide d'une méthode traditionnelle (Ravignon et al. 1998)	36
Tableau 5 Calcul du coût de revient d'une commande à l'aide de la méthode ABC (Ravignon et al. 1998)	36
Tableau 6 Enchaînement logique de la méthode ABC (Ravignon et al. 1998).....	37
Tableau 7 Tableau représentant une fiche d'identité d'une activité (Ravignon et al. 1998)	38
Tableau 8 Activités recensées.....	40
Tableau 9 Tableau 9 tableau des différentes charges de la direction de production sur un mois	42
Tableau 10 Pourcentages des différentes activités par rapport aux charges totales de la direction de production	43
Tableau 11 Intervalle de confiance en fonction de la probabilité fixée et du nombre d'expériences (Goupy et Creighton, 2006)	70
Tableau 12 Liste des paramètres qui peuvent influencer sur le nettoyage en place.....	74
Tableau 13 Tableau des niveaux hauts et bas pour les différents paramètres	76
Tableau 14 Niveaux des paramètres pour les différents essais.....	76
Tableau 15 Niveaux des paramètres pour les 4 essais	77
Tableau 16 Essais de contrôle pour 4 paramètres.....	78
Tableau 17 Expériences de contrôle telles qu'elle auraient pu avoir lieu	85
Tableau 18 Temps obtenus pour la seconde série d'essais.....	86
Tableau 19 Tableau représentant la matrice des rangs	108
Tableau 20 Tableau des performances des solutions potentielles	109
Tableau 21 Matrice de notre PMA.....	110
Tableau 22 Matrice des scores et scores normalisés.....	110
Tableau 23 Calcul des distances aux solutions idéales et anti-idéales.....	111
Tableau 24 Les différents critères pour évaluer la rentabilité d'un investissement (Doriath, 2008)	114
Tableau 25 Calcul des flux de trésorerie en fonction du type de financement (Doriath, 2008)	116
Tableau 26 Les différentes utilisations des échangeurs de chaleur (Bougriou, 2015).....	120
Tableau 27 Consommations électriques des différents équipements de la direction de production	128
Tableau 28 Consommables utilisés sur un mois	130
Tableau 29 Recettes des différents produits et matières premières utilisées sur 1 mois	131
Tableau 30 Consommations et fréquences des différents types de nettoyage en place.....	133
Tableau 31 Dictionnaire des activités liées à la production.....	138

Liste des abréviations

ABC : Activity-based Costing

AMCD : Analyse Multicritère de Décision

ABM : Activity-based Management

CE : Critère d'Evaluation

CIP : Cleaning-In-Place

EP : Equipe de production

GF : Grand format

ISO : International Organization for Standardization ou organization international de normalization.

JMP : Vient de Jump, logiciel édité par SAS Institute.

MCDA : Multiple-Criteria Decision Analysis

NDTT : No delay total tardiness

NEP : Nettoyage En Place

NIA : Nettoyage Intermédiaire Aseptique

PE : Plans d'Expériences

PF : Petit Format

PFC : plan fractionnaire complet

PMA : Problème Multi-Attributs.

PMO : Problème Multi-Objectifs

PMTN : Préemption

PREC : Précédence ou contraintes de précédence

PRTT : Priority Rule for Total Tardiness

SPT : Shortest Processing Times

TACT : Temps de contact, Action mécanique, Concentration, Température.

TIR : Taux Interne de Rentabilité.

TOPSIS : Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.

TS : tank sterile

U.H.T : Ultra Haute Temperature.

VCR : Variables Centrées Réduites

WSPT : Weighted Shortest Processing Times.

Introduction générale

Introduction générale

Parfois dans une entreprise, il suffit qu'une seule activité soit améliorée pour que les performances de l'entreprise s'en ressentent. Chez Candi-Tchin Lait et malgré la performance des outils de production utilisés et la bonne organisation, une activité en particulier ne donne pas satisfaction à la direction de production. Le nettoyage en place cause en effet l'immobilisation des outils de production pour des durées plus ou moins prolongées et Candi-Tchin Lait aimerait trouver un moyen d'en minimiser la durée sans pour autant en sacrifier l'efficacité. Compte tenu du fait qu'il est impossible de se passer de cette activité car elle conditionne, en très grande partie, la conformité des produits aux normes d'hygiène et leur attrait commercial, il a fallu se creuser la tête et chercher des solutions qui permettraient de réduire autant que faire se peut son impact sur les activités de production qui apportent une valeur ajoutée au produit final. Cette problématique fait intervenir quantité de notions inhérentes à la chimie, à la biochimie, au génie des procédés et à la biologie. Cependant, ces disciplines démontrent parfois leurs limites face à certaines problématiques et le génie industriel prend alors place pour jouer le rôle de liant entre ces disciplines et certains aspects économiques et opérationnels de l'entreprise. Nous allons tenter d'apporter des solutions viables à cette problématique et même si nous savons que diverses contraintes nous empêcheront de démontrer toute l'étendue des solutions applicables, nous espérons donner tout du moins des pistes de réflexion qui amorceront des démarches plus globales dans l'entreprise.

Il est important de rappeler que l'Algérie est en train de connaître d'importantes mutations économiques et que certaines mesures vont ou sont en train d'être prises pour favoriser l'implantation d'industries activant dans divers domaines y compris dans le domaine des produits laitiers. Candi-Tchin-Lait jouit pour le moment d'une position concurrentielle très confortable mais cela est amené à changer avec la multiplication des concurrents.

Les mesures prises sont en effet susceptibles de créer de nouveaux concurrents pour Candi-Tchin-Lait et comme elle a déjà perçu ce danger potentiel, l'entreprise se place dans une démarche anticipative afin de ne pas réagir lorsqu'il sera trop tard. Il est donc urgent pour elle de détecter toutes les sources de pertes et de tenter de les corriger avant de perdre des parts de marché au profit des concurrents.

Pour connaître l'impact réel du nettoyage en place, il nous faudra implémenter des outils qui permettront de chiffrer le coût de cette activité ou du moins de la comparer aux autres activités

relatives à la production. Nous tenterons également d'éclaircir les étapes du procédé de nettoyage en place et d'expliquer brièvement son utilité et sa finalité. La littérature relative au nettoyage dans l'industrie agroalimentaire traite de quelques bonnes pratiques à mettre en place pour éviter le gaspillage lors d'un CIP. La plupart de ces bonnes pratiques étant purement techniques et pour la plupart déjà appliquées au niveau de Candia-Tchin-Lait, nous nous intéresserons à la possibilité de transposer quelques solutions à des problèmes bien connus et souvent rencontrés en génie industriel à notre problématique. Ainsi, les spécificités du problème nous ont conduits à nous orienter vers l'utilisation de l'analyse multicritère de décision pour changer de détergents et les plans d'expériences étaient quelques-unes des nombreuses techniques sur lesquelles il serait possible de s'appuyer pour produire les changements escomptés.

Par ailleurs, beaucoup de temps s'est écoulé depuis l'apparition du nettoyage en place à l'aide de soude et d'acide. Quelques alternatives ont depuis fait leur apparition mais beaucoup d'entreprises sont assez réticents à l'idée de les appliquer principalement en raison de l'investissement de départ plus important. Nous verrons s'il est réellement plus intéressant pour l'entreprise de recourir à l'une de ces alternatives. Enfin, nous savons bien que toute entreprise doit miser sur un renouvellement périodique de ses ressources technologiques et à cette fin, elle doit avoir une stratégie de renouvellement bien définie. C'est pourquoi, nous proposons en dernier lieu de s'intéresser aux possibilités d'investissement dans de nouvelles ressources technologiques.

Dans le premier chapitre, nous faisons une analyse de l'existant et déduisons la problématique. A cette fin, nous mettons en place un diagnostic de la production pour déduire ses points forts et faibles et faire ressortir l'impact du nettoyage en place sur cette fonction. Par la suite, nous évaluons sa consommation de ressources en tout genre grâce à la méthode ABC (activity-based costing).

Le second chapitre concerne l'exposition des différentes méthodes qu'il serait possible d'utiliser. Nous présentons quelques techniques d'ordonnancement, des méthodes d'aide multicritère à la décision qui pourraient être appliquées pour évaluer les détergents et les plans d'expérience. Pour chaque technique, nous évaluons brièvement la possibilité d'implémentation.

Dans le troisième chapitre, nous présentons la solution appliquée et les différentes étapes ayant conduit à la solution tout en présentant brièvement l'impact espéré de la solution mise en œuvre.

Enfin, nous présentons quelques solutions innovantes dans le 4^{ème} chapitre. Il s'agit de solutions tirées de brevets et qui exposent des techniques différentes de nettoyage en place. Nous allons procéder à une sélection de ces techniques par le biais de l'aide multicritère à la décision. Le second volet de ce chapitre concerne la possibilité d'investir dans un stérilisateur U.H.T et dans de petites stations CIP qui pourraient contribuer à réduire le temps de nettoyage en place.

Chapitre I : Analyse de l'existant et problématique

I - 1 - Introduction

Avant toute chose, il convient de présenter l'entreprise qui nous a accueillis pour ce stage de fin d'études et de donner un aperçu des produits fabriqués et de son positionnement par rapport aux concurrents. Suite à cela, nous mettrons en place des outils de diagnostic qui nous permettront de savoir quels sont les points qui constituent des entraves aux bonnes performances de l'unité de production. L'un des outils s'intéresse à des aspects purement organisationnels tandis qu'à travers l'autre, nous tenterons de quantifier de façon plus ou moins précise les ressources consommées par l'activité en question.

I - 2 - Présentation de l'entreprise et de la direction de production

Tchin-Lait est issue d'une limonaderie familiale qui s'appelait initialement Tchin-Tchin et qui a été créée en 1954. Candia est quant à elle une marque bien établie en Europe et à l'échelle internationale. Elle est en effet présente dans une cinquantaine de pays et existe depuis 47 ans. Elle s'est établie en Algérie en avril 2001. GLJ (Générale laiterie Jugurta) est quant à elle entrée en activités en 2015. Cette dernière a fusionné avec Tchin-Lait en novembre 2017 pour donner naissance à « Spa Tchin-Lait ». L'entreprise compte actuellement un peu plus de 900 employés.

La marque Candia jouit d'une notoriété importante en Algérie et c'est pourquoi, elle représente 80% des parts de marché des produits laitiers. Il s'agit également de la première marque citée par les consommateurs algériens. Son succès s'explique en partie par son réseau de distribution développé avec un grand nombre de points de distribution couvrant la quasi-totalité des wilayas algériennes.

Le site de production de Béjaïa dispose déjà de la certification ISO 22000 et est en cours de préparation de la certification ISO 9001. Le site d'Alger ne dispose pas de la certification ISO 9001 mais est en cours de préparation de la certification ISO 22000. A cet égard, une charte a déjà été rédigée.

I - 2 - a - Organigrammes

Nous présentons ici l'organigramme de la direction générale située à Béjaïa ainsi que celui que celui de l'unité de production de Baraki

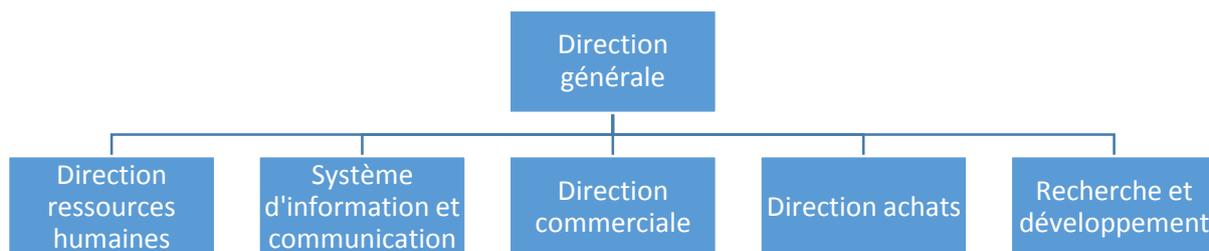


Figure 1 Organigramme de la direction générale de Candia-Tchin lait

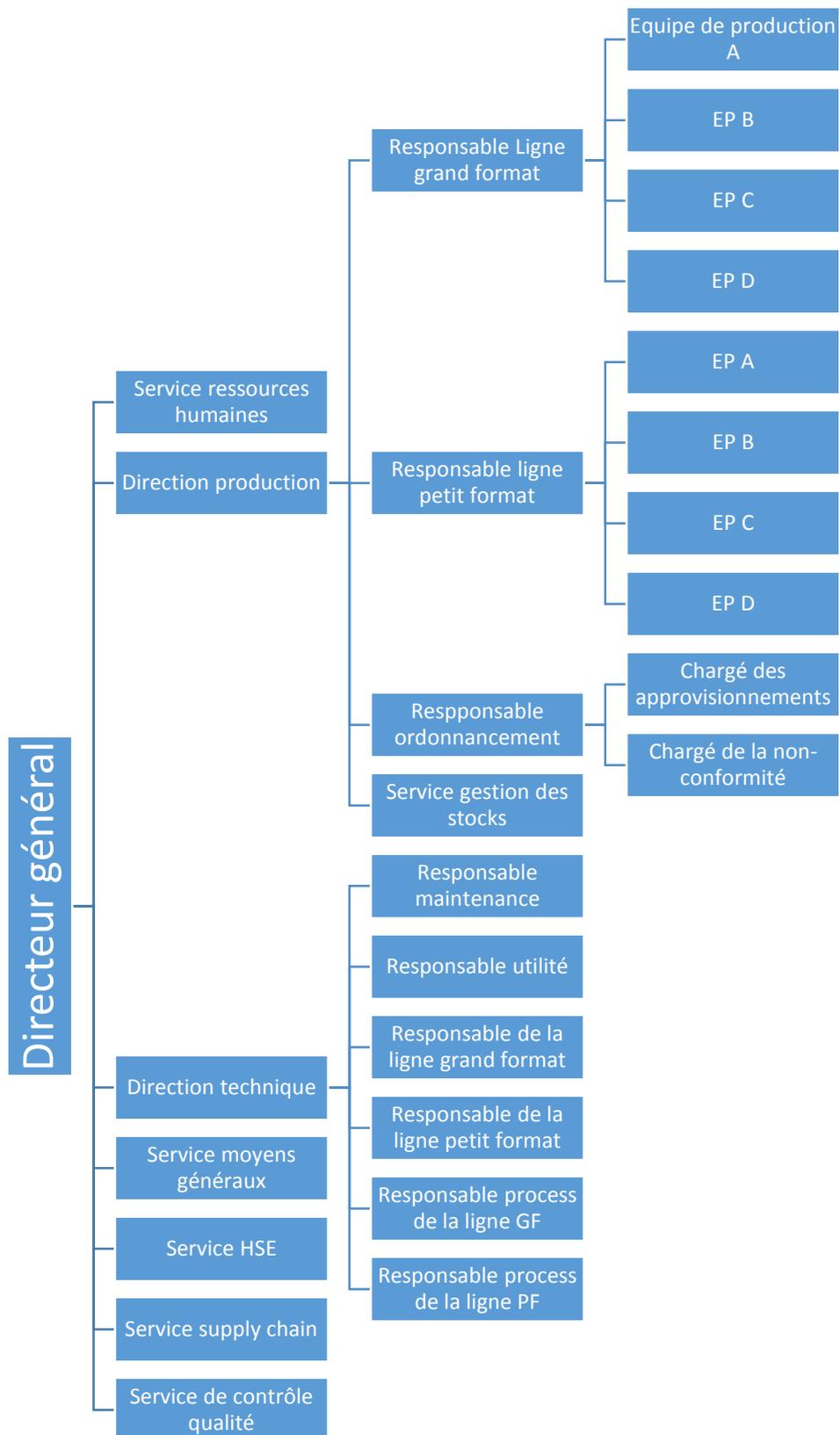


Figure 2 Organigramme de l'unité de production de Baraki de Candia-Tchin lait

I - 2 - b - Gamme de produits fabriqués par Candia-Tchin-Lait

La gamme de produits de Candia-Tchin-Lait comprend 5 produits principaux lesquels sont déclinés comme suit :

Tableau 1 Gamme de produits fabriqués par Candia Tchin-Lait

Produits de la gamme	Profondeur de la gamme
Laits blancs	<ul style="list-style-type: none"> - Lait partiellement écrémé 1L - Lait partiellement écrémé 20 cl - Lait entier 1L - Lait écrémé 0% matière grasse silhouette. - Lait partiellement écrémé Viva 10 vitamines.
Lait aromatisés	<ul style="list-style-type: none"> - Candy choco 1L - Candy choco 20 cl - Candy choco 12.5 cl - Candy banane 20 cl - Candy banane 12.5 cl - Candy caramel 20 cl - Candy caramel 12.5 cl - Candu fraise 20 cl - Candy fraise 12.5 cl
Laits et jus	<ul style="list-style-type: none"> - Twist orange ananas 1L - Twist orange ananas 20 cl - Twist orange fraise banane 1L - Twist orange fraise banane 20 cl - Twist orange mangue 1L - Twist orange mangue 20 cl - Twist pêche abricot 1L - Twist pêche abricot 20 cl

Boissons aux fruits	<ul style="list-style-type: none">- Candia orange 1L- Candia orange 20 cl- Candia cocktail de fruits 1L- Candia cocktail de fruits 20 cl- Candia citronnade 1L
Nectar	Nectar de grenade 1L
Préparation culinaire liquide	Préparation culinaire Le Maître

I - 3 - Présentation de la démarche de diagnostic fonctionnel

I - 3 - a - Définition d'une chaîne de valeur

Mise au point par Michael Porter, professeur de stratégie à l'université d'Harvard, la chaîne de valeur est un outil d'analyse stratégique permettant d'identifier, au sein d'une entreprise ou d'une organisation, les différentes activités clés créatrices de valeur pour le client et génératrices de marge pour l'entreprise.

C'est également un dispositif institutionnel qui lie et coordonne l'ensemble des producteurs industriels, prestataires de services, négociants et distributeurs d'un produit spécifique.

D'après Porter, la chaîne de valeur repose sur l'enchaînement, la succession d'activités étapes par étapes, jusqu'au produit ou service final. Chaque étape permet d'ajouter de la valeur et donc de contribuer à l'avantage concurrentiel de l'organisation.

D'après Porter, toute entreprise peut être considérée comme un ensemble d'activités destinées à concevoir, fabriquer, commercialiser et soutenir son produit. L'ensemble de ces activités constitue la chaîne de valeur

Les objectifs de cette analyse sont :

- Comprendre comment chaque activité (ou dans ce cas précis l'activité de production) il s'agit autrement dit de considérer chaque maillon qui compose l'entreprise crée ou lui fait perdre de la valeur.
- Se focaliser sur les activités les plus créatrices de valeur afin d'augmenter la compétitivité de l'entreprise.

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Le schéma suivant présente la chaîne de valeur d'une entreprise dans son ensemble. Michael Porter le présente comme une succession séquentielle d'activités permettant d'aboutir à un produit ou un service économiquement viable sur son marché (Porter, 1985).

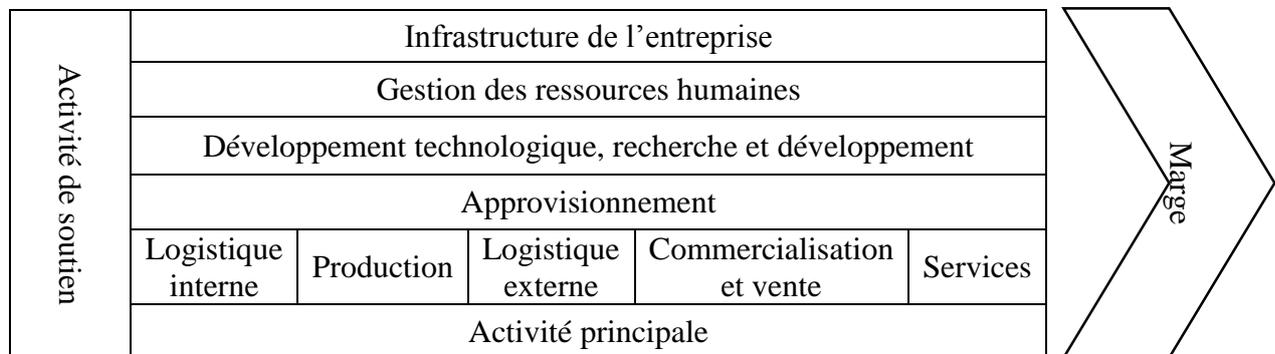


Figure 3 La chaîne de valeur selon Micheal Porter (Porter, 1985)

Les activités principales sont celles qui impliquent la création matérielle et la vente du produit, son transport jusqu'au client et les services après-vente.

Les activités de soutien sont celles qui viennent à l'appui des activités principales et se soutiennent les unes les autres en assurant l'achat des moyens de production, en fournissant la technologie et les ressources humaines et en assurant diverses fonctions de l'entreprise.

La marge indique la différence entre la valeur totale et l'ensemble des coûts associés aux activités. Elle est globale car il n'est pas nécessaire que chaque activité dégage une marge.

A chaque stade de la chaîne de valeur, plusieurs compétences sont mises en œuvre, à savoir :

- **Les compétences économiques** : qui sont représentées par la technologie, la conception, la fabrication, la capacité de production, les coûts de production, la qualité de production, le marketing, la fidélité des clients et la qualité de la distribution.
- **Les compétences de gestion** : représentées par la finance, le personnel, l'organisation, le processus de contrôle, le système de communication, l'évolution du taux de profit, la maîtrise des besoins en fonds de roulement.
- **Les compétences psychologiques** : la chaîne de valeur ne peut être analysée sans une bonne coordination avec à la fois les fournisseurs et les clients. (Hamdi, 1999).

Cette notion de chaîne de valeur nous pousse à nous pencher sur chaque fonction de l'entreprise afin d'analyser sa contribution au produit final et à analyser les compétences qu'elle mobilise et sa relation avec les autres fonctions d'où la nécessité d'un diagnostic fonctionnel.

I - 3 - b - Démarche générale d'un diagnostic fonctionnel

Le diagnostic d'entreprise est un jugement porté sur la situation d'une entreprise ou d'une organisation en fonction de ses traits essentiels et des contraintes de son environnement et visant à dégager la marge de manœuvre dont elle dispose pour atteindre ses objectifs éventuellement redéfinis. (Plauchu et Tairou, 2008)

L'analyse du potentiel de chaque fonction porte aussi bien sur les compétences humaines que sur les aspects structurels et organisationnels ainsi que les moyens existants. On évite ainsi de laisser dans l'ombre des facteurs internes pouvant avoir un effet décisif sur le succès ou l'échec de l'entreprise. Le schéma suivant illustre cette démarche :

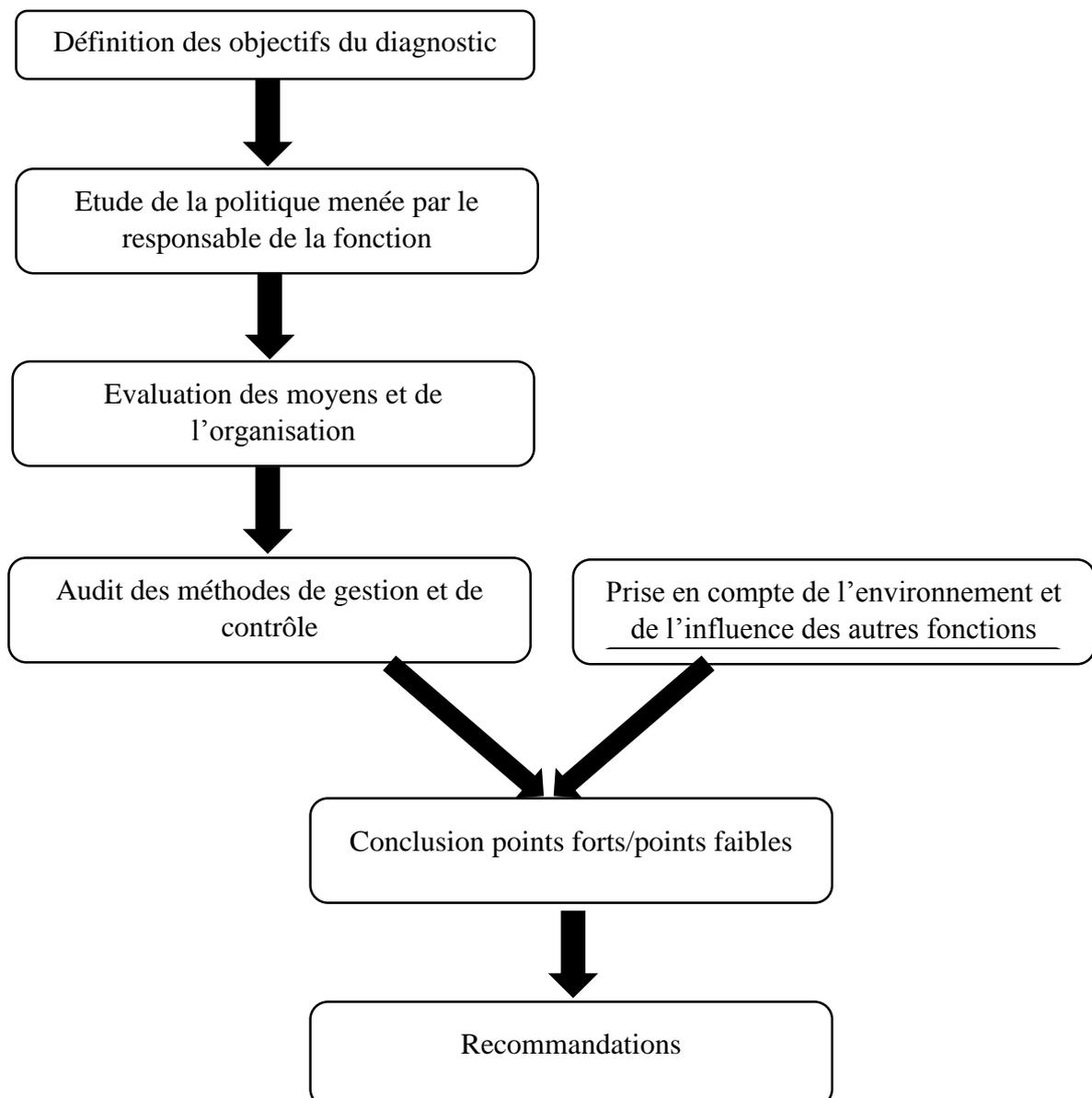


Figure 4 Démarche générale du diagnostic fonctionnel (Plauchu et Tairou, 2008)

I - 3 - c - Les objectifs d'une démarche de diagnostic

Le diagnostic a pour vocation de porter une appréciation sur une situation donnée après avoir dégagé les principaux traits pour formuler les propositions. Il peut être engagé à titre managérial par les dirigeants qui souhaitent améliorer les performances de leurs entreprises ou qui cherchent à s'assurer de la justesse de leurs stratégies (activités, produits, marché).

Il permet de prendre les décisions stratégiques les plus rationnelles pour une entreprise, en déterminant son potentiel stratégique, autrement dit ses atouts et ses faiblesses pour pouvoir faire une appréciation sur une situation donnée et dégager des propositions d'amélioration.

Un diagnostic comporte trois dimensions essentielles :

- Une dimension descriptive : correspond à une mise à plat de l'existant.
- Une dimension analytique : à partir de l'existant, sont identifiées les faiblesses qu'il conviendra de corriger pour accroître l'efficacité de l'entreprise et les forces ou les potentiels qu'il faudra mettre en œuvre et/ou améliorer encore.

Il a paru plus judicieux de se concentrer sur la fonction production pour faire ce diagnostic fonctionnel car c'est sur elle que veut prioritairement se concentrer la direction de Candia-Tchin-Lait pour augmenter la rentabilité de l'entreprise. Nous allons donc essayer de recenser toutes les données techniques et financières de la fonction production afin de déduire les points forts et faibles de cette dernière. (Hamdi, 1999).

I - 4 - Application à la fonction production de Candia-Tchin-Lait

I - 4 - a - Objectifs du diagnostic

- Evaluer l'organisation de l'unité de production, ses moyens, sa stratégie et les moyens d'évaluation de la performance présents.
- Analyser l'ensemble du processus de fabrication pour détecter les failles.
- Prendre des mesures concrètes pour améliorer la rentabilité de la production.

I - 4 - b - Etude de la politique menée par la production

La politique menée au niveau du service de la production est une politique de **stockage en grandes quantités**. En raison de la demande élevée des différents produits de Candia-Tchin-Lait, le stock doit être disponible en permanence pour satisfaire cette demande. Pour réaliser cet objectif, le conditionnement et le suremballage doivent se faire de manière continue. Afin d'assurer la continuité de ces opérations, la capacité de chaque atelier est supérieure à celle de celui qui le suit tandis que les capacités des ateliers de conditionnement et de sur-emballage sont égales.

Le programme de production est établi à travers des réunions hebdomadaires qui réunissent : Le directeur de production, le chef de service physico-chimie, le chef de service de cytométrie, le gestionnaire des stocks, un cadre financier, le chargé de l'ordonnancement de la production, le chef d'équipe process (c'est ainsi qu'est appelée la partie de la production située avant le conditionnement) et un cadre commercial. Le but étant de budgétiser la production, de fixer des objectifs de production en fonction des prévisions du service commercial et de la quantité de stock disponible et de fixer l'ordonnancement. Voici ci-dessus un exemple d'un programme

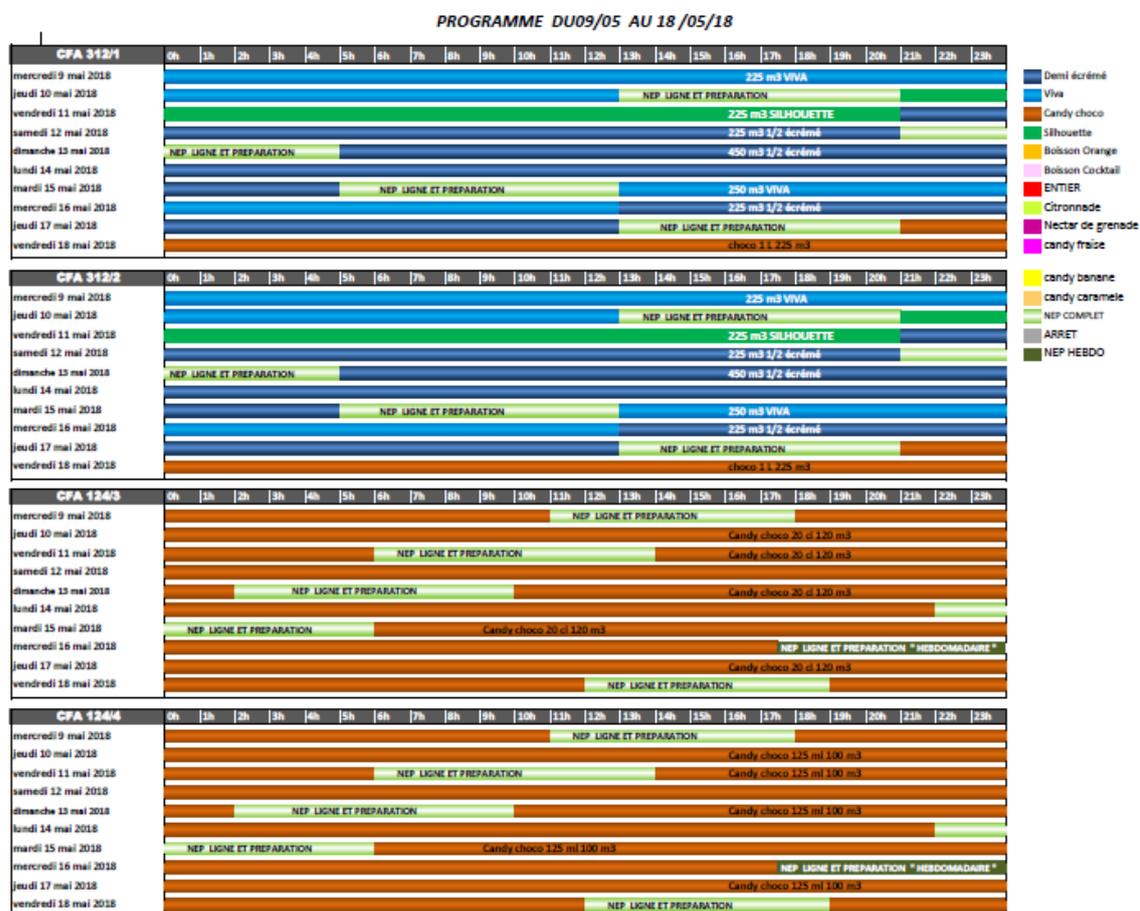


Figure 5 Programme de production sur 10 jours

de production. Cet horizon temporel qui peut paraître assez court est toutefois adapté à la production qui se déroule 24 h/24. L'ordonnancement est fixé toutes les semaines sur la base des prévisions annuelles et mensuelles. L'objet de ces réunions est de fixer un programme hebdomadaire en fonction de la production de la semaine précédente (a-t-elle été inférieure ou supérieure aux attentes et que doit-on faire pour respecter les objectifs mensuels) et de discuter d'éventuels problèmes qui se sont manifestés.

Les objectifs de production sont en blanc et une légende indique les différents produits. Plusieurs constats sont à faire :

- L'ordonnancement se base sur la popularité des produits plutôt que sur des critères de minimisation des retards. Ainsi, la direction de la production sait que certains produits sont plus vendus que d'autres et c'est eux qu'elle décide de produire en premier. Toutefois, elle n'utilise pas de modèle rigoureux de prévision pour établir ses objectifs de production. Par ailleurs, elle est obligée de produire sans arrêt un produit donné et ne dispose pas de beaucoup de flexibilité pour passer d'un produit à un autre car cela implique de faire un nettoyage en place. Il n'est pas rentable de faire de nombreux changements de produits pour s'adapter à la demande car cela impliquerait de faire un trop grand nombre de nettoyages en place et cela est trop coûteux (avec la fréquence minimale, le nettoyage en place représente déjà plus de 10% des ressources de la production alors que le stockage en grandes quantités représente moins de 4% de ses ressources). Cela justifie qu'elle se soit orientée vers des cycles de production rigides et du stockage en grande quantités malgré les inconvénients que cela représente.
- L'activité de nettoyage en place accapare 7 h de non-production toutes les 48 heures ce qui représente un manque à gagner assez conséquent.
- Le stockage en grandes quantités peut présenter quelques inconvénients en cas de changement soudain de la demande en plus du coût qu'il représente.

I - 4 - c - Evaluation des moyens et de l'organisation

L'ensemble des équipements est récent et est fourni par Tetra-Pak et SIG-Combibloc. Les consignes d'utilisation du fournisseur sont rigoureusement édictées par ce dernier et respectées à la lettre. L'entreprise dispose par ailleurs d'un MES nommé Logitrack qui permet le suivi des lots de produits. L'organisation de l'unité de production de Baraki comporte 4 ateliers

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

différents avec deux ligne (une ligne qui ne produit que les produits de grand format ou d'un litre et l'autre, ne produit que les produits de petit format) :

Une salle de poudrage

C'est ici qu'a lieu la reconstitution des poudres et diverses matières premières pour donner du lait ou des boissons chocolatées ou aromatisées. Les poudres sont aspirées par des trémies puis partent vers deux mixeurs différents avant d'arriver vers des cuves ou tanks de préparation où sont conservées les produits semi-finis qui seront par la suite pompés au fur à mesure vers des stérilisateurs.

Un atelier de préparation :

Il existe deux lignes au sein de l'atelier préparation, l'une étant réservée aux produits de grand format et l'autre aux produits dits de petit format. Il existe 3 cuves de préparation dédiées aux produits de petit format et 4 cuves de préparation dédiées au lait blanc. Les 3 cuves de produits de petit format sont reliées d'un côté au mixeur de la salle de reconstitution et de l'autre à une ligne de traitement thermique. Il y a par ailleurs des refroidisseurs pour chaque groupe de 3 ou 4 cuves.

Un atelier de traitement thermique

C'est ici que le produit subit un traitement mécanique permettant son homogénéisation puis un traitement thermique comprenant une pasteurisation et une stérilisation. Cet atelier comprend deux lignes, l'une dédiée aux produits de grand format et l'autre aux produits de petit format. Chaque stérilisateur est relié à un tank stérile où le produit semi-fini est conservé en attendant son soutirage au fur à mesure vers les conditionneuses.

Un atelier de conditionnement

Cet atelier comporte deux conditionneuses pour la ligne de grand format et 2 autres pour la ligne de produits de petit format. Elles soutirent le produit stérilisé contenu dans un des deux tanks stériles. Un tank stérile d'une capacité de 40000 l alimente les deux conditionneuses de la ligne de grand format et un tank stérile de 30000 l alimente les deux conditionneuses de la ligne de petit format.

Un atelier de sur-emballage

C'est dans cet atelier que les briques sont mises dans des fardeaux, enveloppées dans un film puis mises sur des palettes où on y accole des banderoles contenant les informations nécessaires pour pouvoir faire le traçage des produits qui viennent de sortir de l'usine.

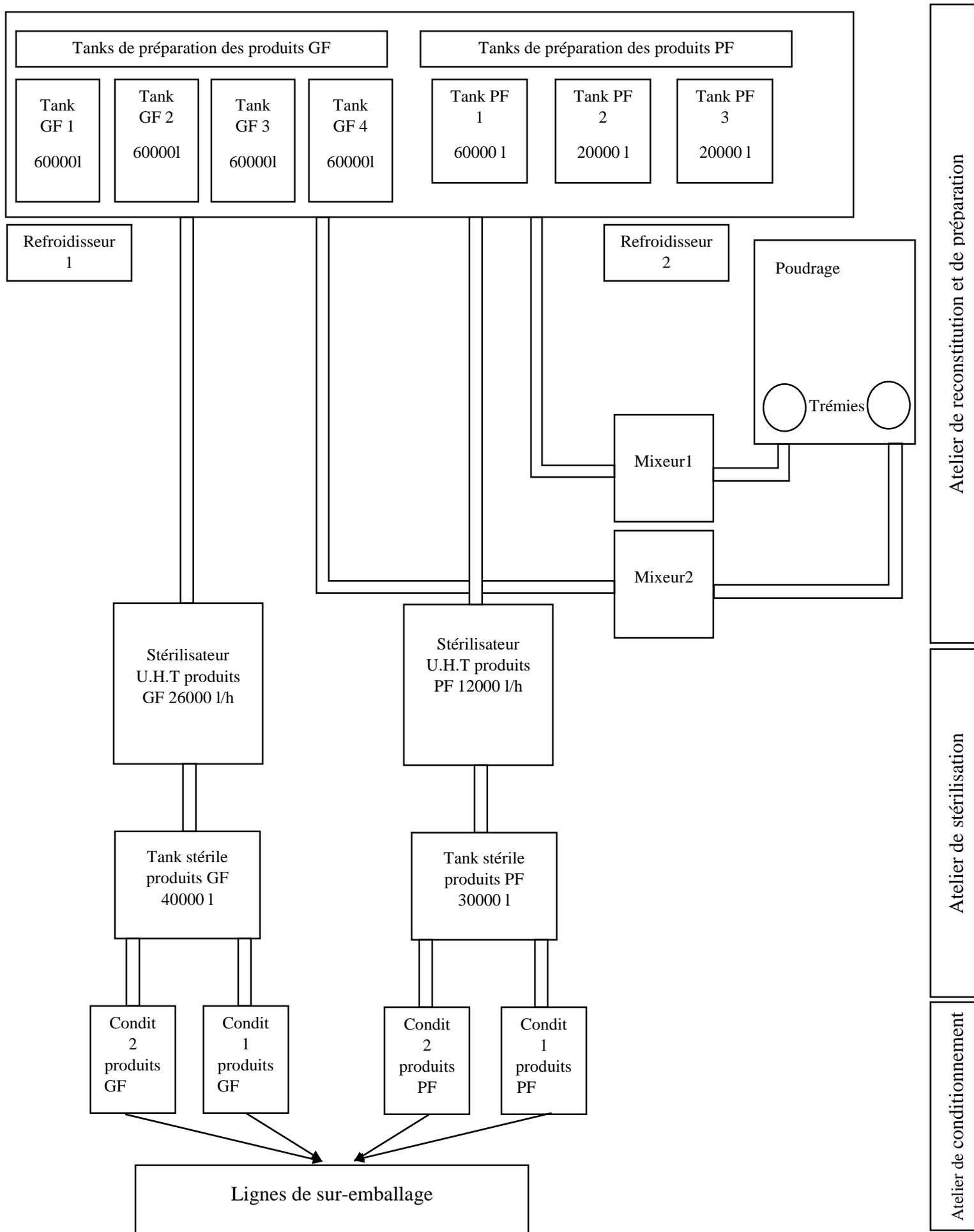


Figure 6 Représentation de l'unité de production de Baraki

I - 4 - d - Méthodes de gestion et de contrôle

Nous avons pu relever que l'un des points forts de l'entreprise est la très bonne traçabilité des produits. Cependant, la direction de production s'appuie encore un peu trop sur les registres pour la consignation des informations importantes notamment les dates de début et de fin de nettoyage en place. En créant une base de données par exemple, il lui serait plus facile de suivre l'évolution des temps de nettoyage sur de longues périodes. Toutefois, un projet d'envergure est en cours de réalisation.

L'unité de production s'appuie très largement sur des tableaux pour consigner le nombre d'unités produites et transmettre les chiffres aux responsables. Cette méthode bien qu'archaïque fonctionne assez bien. Des réunions sont organisées lorsqu'un problème se manifeste et malgré la mauvaise communication interne, l'entreprise possède une bonne synergie de groupe dans ces cas-là. Chaque semaine, lors de réunions, des smileys magnétiques sont collés près de chaque service de la production pour exprimer le degré de satisfaction. Nous n'avons cependant pas vu cela pour des opérations très spécifiques comme le nettoyage en place.

I - 4 - e - Prise en compte de l'environnement et de l'influence des autres fonctions

Le fait que l'entreprise détienne une position concurrentielle très avantageuse ne la pousse pas réellement à se placer dans une optique d'amélioration continue. L'entreprise s'appuie un peu trop sur ses acquis, notamment sur l'image de marque dont bénéficie le label Candia. Les mutations socio-économique qu'est en train de connaître l'Algérie et l'implantation potentielle de nouveaux concurrents au vu des restrictions sur les importations et de la création de nouvelles zones industrielles, a récemment poussé Candia-Tchin-Lait à rechercher les failles qui l'empêchent d'atteindre des performances optimales et à réduire les sources de pertes.

La production, la maintenance et le laboratoire de contrôle qualité travaillent en étroite collaboration. Nous avons ainsi pu constater que cela est très bénéfique mais que cela peut aussi être un frein. Ainsi, lorsque la production souhaite prendre des initiatives pour réduire les pertes, il y a toujours des craintes infondées de la part de la maintenance qui craint que cela impacte négativement les machines ou de la part du contrôle qualité qui craint qu'il y ait des répercussions négatives sur la qualité des produits. Un autre point négatif à relever est la forte

centralisation qui empêche les unités de production d'agir pour le bien et l'amélioration des performances.

I - 4 - f - Points forts et points faibles

Points forts

- Une gamme de produits étendue, diversifiée et très adaptée aux goûts et aux besoins de la clientèle algérienne. De plus, les formats sont aussi adaptés à différents segments et à différentes utilisations (familiale ou individuelle).
- Des moyens de production évolués et une bonne organisation et répartition des tâches.
- Une prise d'initiative rapide suite à la manifestation de problèmes et une bonne dynamique de groupe dans les situations difficiles.

Points faibles

- Certaines activités comme le nettoyage en place sont très coûteuses et prennent beaucoup de temps sans que l'entreprise ait des moyens de mesure efficaces des ressources consommées et du temps alloué à ces activités.
- L'autorité est un peu trop centralisée ce qui empêche la production d'agir comme elle le souhaite.
- Il n'y a pas de réelle politique d'ordonnancement des tâches et le stockage en grandes quantités s'avère coûteux.

I - 4 - g - Problématique et recommandations

Parmi tous les points faibles relevés, c'est l'activité de nettoyage en place qui attire le plus l'attention de la direction de la production. Cela fait déjà un petit bout de temps que celle-ci s'attèle à réduire la durée de cette activité et bien que des résultats aient déjà été obtenus (le temps de nettoyage en place est passé d'environ 8 h à une durée comprise entre 6 et 7 heures), cela ne lui semble pas suffisant pour gagner autant de temps qu'elle le souhaite sur la production. Nous allons donc tenter d'apporter des solutions susceptibles de réduire le temps de nettoyage en place ou d'améliorer l'efficacité de la production. Avant cela, il demeure nécessaire de quantifier le coût du nettoyage en place et la méthode ABC peut nous y aider. **La**

problématique de ce travail est donc que faire pour optimiser le temps de nettoyage en place ?

I - 5 - Présentation de la méthode ABC

I - 5 - a - Vue d'ensemble de la méthode ABC-ABM

La démarche ABC-ABM est une méthode de calcul de coûts par activités permettant le plus souvent de calculer le coût de revient d'un produit afin d'identifier les actions à mener pour améliorer sa rentabilité. En répartissant les actions de chacun en activités, elle améliore le découpage entre coûts directs et coûts indirects. Elle permet de savoir précisément combien consomme chaque activité. Plus généralement, elle analyse différents objets de coûts (une prestation, un client, une activité particulière, etc.) (Ravignon et al. 1998)

A partir de ces activités, il est possible d'établir des tableaux de bord qui permettront l'évaluation de la performance. On définit alors des indicateurs ayant un caractère anticipatif (qui permettront de déterminer les ressources à allouer à une activité) pour chaque activité. La partie ABC a trait à la comptabilité tandis que la partie ABM a trait à l'organisation, à la planification et au suivi des performances. L'approche ABC fournit une grille pertinente d'analyse des coûts ce qui facilite la prise de décisions et aide à générer de meilleurs résultats (Ravignon et al. 1998).

La marche à suivre pour transformer une grille de coût de revient traditionnelle en grille ABC est la suivante :

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Tableau 2 changements à effectuer pour passer d'une grille de coûts traditionnelle à une grille ABC (Ravignon et al. 1998)

Postes de coût	Retraitement Grille traditionnelle → Grille ABC
Coût de matières	Les opérations d'approvisionnement et de manutention peuvent être exclues du coût matières et traitées par l'approche ABC.
Coût des machines, des ateliers, des centres d'activités (ou sections ou centres de responsabilité)	Prise en compte de la sous-activité pour savoir s'il faut augmenter le volume de production ou intégrer la sous-activité dans le prix des produits.
Coûts de structure	Ils sont remplacés par les activités support de la production qui peuvent être liées aux produits ou aux commandes.
Coût commerciaux	Ils sont remplacés par les coûts liés aux clients et aux prospects.

A partir de ces changements, la grille des coûts devient comme suit :

Tableau 3 Grille de coûts ABC (Ravignon et al. 1998)

Postes de coût	Exemples de solutions
Coûts de matières	Les opérations d'approvisionnement, manutention et stockage sont traitées en activités bien identifiées.
Coûts des activités liées aux matières	Ces coûts sont répartis selon les activités suivantes : Approvisionner les dépôts, les ateliers. Stocker les matières, les emballages. Manutentionner les matières, les emballages.
Coûts des machines, des ateliers, des centres d'activités	La sous-activité peut être traitée dans une optique de coût cible et prix du marché : quel coût de revient atteindre pour dégager une marge suffisante ? Ou bien en fonction de la stratégie de l'entreprise (différenciation ou volume).

Coût des activités liées aux produits et aux commandes	Ces coûts peuvent être répartis entre les activités suivantes : Planifier la production Etablir un devis Modifier un produit Lancer la production, etc.
Coût des activités liées aux clients	Ces coûts peuvent être répartis selon les activités suivantes : Développer le marché des détaillants. Visiter un client. Etablir un catalogue. Envoyer un mailing. Gérer une campagne de publicité Etc.

Bien que la méthode ABC-ABM ait des possibilités très vastes et qu'elle représente un excellent outil de pilotage lorsqu'elle est implémentée comme il se doit, dans ce qui va suivre, nous allons nous contenter d'appliquer 2 étapes de la méthode ABC dans le but de voir les ressources consommées par l'activité de nettoyage en place relativement aux autres activités de la production.

I - 5 - b - Avantages d'utiliser la méthode ABC

La pertinence de la méthode ABC vient des points suivants :

Les charges fixes ne sont fixes qu'à court terme car en réalité elles sont variables suivant plusieurs causes. La méthode ABC met fin à une répartition indifférenciée et arbitraire des coûts indirects.

Grâce au découpage en activités, il est facile d'identifier le sous-emploi d'un service.

Il est possible de calculer les coûts de plusieurs façons : suivant les clients, les segments stratégiques, les réseaux de distribution, etc. En effet, les activités mises en œuvre sont différentes selon le segment stratégique, le client ou le produit et de cette façon, les coûts sont répartis de façon plus juste. (Ravignon et al. 1998)

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Les tableaux suivants permettent de voir les différences de la méthode ABC-ABM par rapport à une méthode classique dans le calcul du coût de revient à travers des calculs synthétiques et simplifiés du coût de revient d'une commande.

Tableau 4 Calcul simplifié du coût de revient d'une commande à l'aide d'une méthode traditionnelle (Ravignon et al. 1998)

Postes de coûts	Unité d'œuvres	Coût unitaire	Quantité	Coût de revient
Matières	Kg matière	c_1	Q_1	$c_1 \times Q_1 = C_1$
Frais directs de main d'œuvre directe	Heure de MOD	c_2	Q_2	$c_2 \times Q_2 = C_2$
Frais de structure	% de frais directs de MOD	c_3	Q_3	$c_3 \times Q_3 = C_3$
Frais commerciaux	% du prix de vente	c_4	Q_4	$c_4 \times Q_4 = C_4$
Total des coûts				$T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$

Tableau 5 Calcul du coût de revient d'une commande à l'aide de la méthode ABC (Ravignon et al. 1998)

Postes de coûts	Unité d'œuvre	Coût unitaire	Quantité	Coût de revient
Matières	Kg matière	c_{11}	Q_{11}	T_1
Approvisionner l'atelier	Kg matière	c_{21}	Q_{21}	$C_2 = c_{21} \times Q_{21}$
Produire	Nb. heures	c_{22}	Q_{22}	$C_3 = c_{22} \times Q_{22}$
Livrer les clients	Nb. Kg/km	c_{23}	Q_{23}	$C_4 = c_{23} \times Q_{23}$
Planifier la production	Nb. heures	c_{24}	Q_{24}	$C_5 = c_{24} \times Q_{24}$
Total des activités liées au produit				$T_2 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$
Visiter les clients	Nb. visites	c_{31}	Q_{31}	$C_6 = c_{31} \times Q_{31}$
Facturer et relancer	Nb. factures	c_{32}	Q_{32}	$C_7 = c_{32} \times Q_{32}$
Total des activités liées au client				$T_3 = C_6 + C_7$
Total				$T = T_1 + T_2 + T_3$

I - 5 - c - Comment élaborer la liste des activités

L'élaboration d'une liste d'activités résulte de l'observation de l'entreprise et d'entretiens menés auprès de son personnel. L'élaboration de la méthode ABC doit suivre l'enchaînement logique suivant :

Tableau 6 Enchaînement logique de la méthode ABC (Ravignon et al. 1998)



Pour avoir une liste d'activités, on posera les questions suivantes au responsable d'un service :

- Comment peut-on résumer les missions de votre service ?
- Quelles sont vos principales attributions ?
- Pouvez-vous me décrire de que vous faites de manière synthétique sans trop aller dans les détails ? (Ravignon et al. 1998).

I - 5 - d - Quelques points à retenir pour établir la liste d'activités de l'entreprise :

La détermination des activités clés de l'entreprises doit prendre en compte les activités qui créent de la valeur ou celles qui ont réclamées par le client. La liste des activités diffère d'une entreprise à une autre selon plusieurs facteurs notamment la stratégie (différenciation ou stratégie des coûts). Améliorer le design et le packaging et suivre les évolutions du marché sont deux exemples d'activités pour des entreprises qui adoptent une stratégie de différenciation. Simplifier les produits et planifier la production sont deux activités adoptées par des entreprises ayant une stratégie de coûts.

- Un service devrait pouvoir être décrit à l'aide de 3 à 7 activités
- Une liste ne devrait pas dépasser 50 activités.
- Une activité qui ne consomme que très peu de ressources devrait être regroupée avec une autre.

La liste des activités ne doit pas comporter des activités trop élémentaires, de même qu'elle ne doit pas comporter des activités trop globales. Le degré de détail des activités est à déterminer en fonction des objectifs de l'entreprise.

Par ailleurs, les activités ont les caractéristiques suivantes :

- Elles sont exprimées par un verbe
- Elles ont une unité de mesure de leur production, même pour les services administratifs
- Elles regroupent l'ensemble des missions de chaque service concerné (Raignon et al. 1998)

I - 5 - e - Les différentes étapes pour élaborer une liste d'activités

- Définir le groupe de projets : pour que l'apport de la méthode ABC soit important, les différents services d'une entreprise doivent avoir pris connaissance des étapes de cette démarche et de ses objectifs. Idéalement, un groupe de travail devrait comprendre tous les responsables des services ou du moins le responsable d'un des services et la personne chargée de mettre en place la démarche ABC.
- Etablir une première liste d'activités avec le groupe de projets grâce à des entretiens individuels et des réunions collectives afin de faire comprendre les objectifs de la méthode ABC. Les employés peuvent alors contribuer à l'élaboration de la liste d'activités.
- Valider la liste d'activités : Il est important de s'assurer que la liste des activités est représentative des activités effectives de l'entreprise et que celle-ci ne comprend pas un trop grand nombre d'activités.
- Identifier tous les attributs de chaque activité : la figure suivante représente une fiche descriptive de chaque activité. L'ensemble des fiches descriptives de toutes les activités constitue le dictionnaire des activités. (Ravignon et al. 1998)

Tableau 7 Tableau représentant une fiche d'identité d'une activité (Ravignon et al. 1998)

Nom de l'activité	A formuler sous forme de verbes ou de groupes de verbes
Définition	Donner la définition précise des tâches et opérations de chaque activité.
Fournisseur	Il s'agit du déclencher de l'activité. Il peut s'agir d'un service interne ou d'un fournisseur externe.
Client	Qui exécute l'activité suivante ? Cela peut être un client externe ou un service interne.
Ressources consommées	Tous les moyens humains, financiers, technologiques et commerciaux utilisés par cette activité.

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

- Recenser les temps passés et les quantités consommées par chaque activité : il est possible de demander aux employés de remplir des fiches de temps de façon permanente ou épisodiquement ou bien mener des interviews (bien que le résultat soit susceptible d'être moins précis) dans ce dernier cas.
- Regrouper les activités : pour des raisons de praticité, quelques activités peuvent être regroupées (Ravignon et al. 1998).

I - 5 - f - Résultats du découpage en activités

Le découpage en activités devrait pouvoir générer les documents suivants (Ravignon et al. 1998) :

- Le dictionnaire des activités
- La carte des activités par segment stratégique
- La matrice croisée activité-services
- Le regroupement des activités par processus
- La répartition des temps par activité
- Le compte de résultat par activité.

Le compte de résultat n'ayant pas pu être obtenu, le calcul exact des ressources consommées par chaque activité n'a pas pu être effectué. Il s'est au lieu de ça basé sur des estimations suite aux observations des différentes opérations de production. Les calculs ne sont pas précis mais nous avons tenté de les rapprocher de la réalité. Nous allons par ailleurs présenter ici un dictionnaire des activités, les activités regroupées par type et les consommations de chaque activité. De plus, les activités ne concerneront que les activités liées à la production. Notre but n'est pas de connaître les coûts de revient de clients ou de produits mais les pourcentages des ressources dédiées à chaque activité. **En clair, nous appliquons les deux premières étapes : identification des activités et affectation des ressources aux activités.**

I - 6 - Application de la méthode ABC à Candia-Tchin Lait

Nous nous sommes focalisés sur les activités liées à la production et avons identifié trois grandes familles d'activités : **Les activités de production, les activités support de production et les activités de maintenance.** Les différentes observations ont mené au découpage suivant :

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Tableau 8 Activités recensées

Activités de production
Procéder à la préparation et à la reconstitution
Procéder au traitement thermique
Conditionner les produits
Procéder au sur-emballage
Procéder aux nettoyages (NIA et nettoyage en place)
Envoyer les produits vers le lieu de stockage
Activités support de production
Planifier la production
Veiller à ce que les moyens de production soient suffisants
Suivre la production
Editer les statistiques de production
Procéder aux contrôles qualité
Activités de maintenance et d'entretien des machines
Intervenir sur les machines
Contrôler les machines et les divers équipements
Editer les statistiques de maintenance
Activités relatives au stockage des produits
Contrôler les flux des stocks
Conserver les produits dans le lieu de stockage
Assurer la sécurité du stock
Superviser la gestion des stocks
Déplacer les matières premières et produits finis du lieu de stockage vers le lieu de destination

L'étape suivante consiste à recenser l'ensemble des ressources qui interviennent au niveau de la production pour ensuite les redistribuer sur les différentes activités. L'échelle temporelle considérée est d'un mois. Nous avons tenté de recueillir toutes les ressources de la direction de production pour élaborer un mini compte de résultat qui ne recense que les charges liées à cette direction de la production.

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Pour recenser ces diverses ressources, nous nous sommes basés sur une multitude de documents et questionnaires aux employés. Par exemple, pour les charges d'exploitation, nous nous sommes appuyés sur les consommations électriques et en eau des divers équipements en plus du recensement des ordinateurs et des serveurs de la direction de production.

Nous avons également pris en compte les consommations en consommables notamment le papier et les registres.

Tous les équipements fonctionnent 24 h/24 sauf en cas de coupure de courant et durant le nettoyage en place de fin de cycle. Les équipements des bureaux de la production travaillent quant à eux 8 h/jour et ne fonctionnent pas les week-ends. Il suffit donc d'additionner ces consommations, de les multiplier par 24 puis par 30 (sans oublier de soustraire les arrêts induits par le nettoyage en place) et de multiplier ce résultat par le coût unitaire de l'eau et de l'électricité appliqués en Algérie pour une industrie. Les temps de nettoyage sont donnés et les débits aussi, il nous faut donc multiplier les débits par les temps pour obtenir les consommations en litres des nettoyages.

Pour les matières premières, nous nous sommes appuyés sur les recettes des différents produits.

Nous nous sommes renseignés sur internet sur différents sites de vente au sujet des prix des différentes matières premières et avons trouvé qu'à titre d'exemple un sac de poudre à 26% de matière grasse est vendu aux alentours de 55 €. Nous avons consulté de nombreux sites spécialisés dans la vente de matières premières pour l'industrie agroalimentaire et avons systématiquement pris la moyenne des prix pour chaque produit.

Pour le nettoyage en place, nous nous sommes intéressés aux consommations en eau et détergents pour les différents types de nettoyage et en fonction de leurs fréquences.

Pour les coûts relatifs aux stocks, voici les informations récoltées : l'entreprise possède 5 hangars et deux entrepôts se trouvant près de l'atelier de production. Tous les hangars sont loués à des organismes extérieurs. Les personnes travaillant pour ces hangars ne font pas partie de l'entreprise. Un des hangars ne comprend qu'un seul agent de sécurité (ou plutôt 4 car ils s'alternent) car n'étant pas très loin de l'unité de production. Pour les 4 autres hangars, chacun d'entre eux comprend un agent de sécurité, 1 magasinier, un conducteur de chariot élévateur et un agent polyvalent en plus des caméras de vidéo-surveillance.

Les salaires ont quant à eux été fixés de manière plus qu'approximative en nous basant essentiellement sur nos connaissances personnelles des salaires pratiqués en Algérie.

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Les quelques informations récoltées sont présentées en annexe 1.

Tout cela nous mène à élaborer le petit tableau suivant :

Tableau 9 Tableau 9 tableau des différentes charges de la direction de production sur un mois

Type de ressources	Montant estimé de la ressource
Matières diverses (matières premières et matières d'emballage, fournitures, etc.)	
Poudre de lait 0% matière grasse	84.644.000 UM
Poudre de lait 26% matière grasse	152.334.000 UM
Détergent acide	30.177.280 UM
Soude	5.453.154 UM
Peroxyde	6.190.000 UM
Pailles	44.100.000 UM
Cacao	37.368.000 UM
Sucre	34.128.000 UM
Barquettes	28.333.340 UM
Cartons des emballages	510.000.000 UM
Cartons utilisés comme contenants	1.904.800 UM
Film (rétractable et étirable)	7.282.200 UM
Intercalaires	135.000 UM
Vitamines	633.600 UM
Colorant	57.600 UM
Additifs divers	55.000 UM
Bouchons	29.340.000 UM
Colle	171.600 UM
Consommables divers (papier, registres, stylos, lavettes, etc.).	17.120 UM
Autres charges d'exploitation	
Montant des factures d'eau	2.673.854,625 UM
Montant des factures d'électricité	3.338.811,75 UM
Services extérieurs (sous-traitance, loyers, etc.)	30.000.000 UM de terrains loués + 1.650.000 UM de services extérieurs
Transport	200.000 UM

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Charges de personnel	
Salaires	8.750.000 UM
Autres charges salariales	2.187.500 UM
Taxes et impôts	417.268.785 UM
Total	1.438.393.645 UM

Nous présentons le dictionnaire des activités en Annexe 2.

Nous avons redistribué les charges sur les activités en fonction des ressources employées par ces dernières. Certaines charges (comme les taxes et impôts) ont été distribuées à parts égales sur les activités. Les calculs des ressources consommées par les différentes activités nous ont conduits aux résultats suivants :

Tableau 10 Pourcentages des différentes activités par rapport aux charges totales de la direction de production

Nom de l'activité	Son pourcentage des charges totales
Activités de production	
Procéder à la préparation et à la reconstitution	31.10 %
Procéder au traitement thermique	0.28%
Conditionner les produits	54.57%
Procéder au sur-emballage	0.13%
Procéder aux nettoyages en place	10.14%
Envoyer les produits vers le lieu de stockage	0.07%
Activités support de production	
Planifier la production	0.0025%
Veiller à ce que les moyens de production soient suffisants	0.022%
Suivre la production	0.028%
Editer les statistiques de production	0.08%
Procéder aux contrôles qualité	0.19%
Activités de maintenance	
Intervenir sur les machines	0.1%

Contrôler les machines et les divers équipements	0.022%
Editer les statistiques de maintenance	0.022%
Activités relatives à la gestion des stocks	
Contrôler les flux des stocks	0.058%
Assurer la sécurité des stocks	0.085%
Superviser la gestion des stocks	0.012%
Déplacer les matières premières et produits finis du lieu de stockage vers le lieu de destination	0.14%
Conserver les produits dans les lieux de stockage	2.95%

Théoriquement les activités qui consomment moins de 1% des ressources devraient être groupées avec d'autres. Nous avons tout de même pris le parti de conserver toutes les activités car nous n'avons pu accéder à l'ensemble de l'entreprise.

Nous pouvons constater que ce sont les activités de préparation et de conditionnement qui consomment le plus de ressources. Cela n'est pas très étonnant compte tenu des quantités de matières premières et d'emballages qui sont consommées par ces activités. L'activité de NEP consomme environ 10% des ressources de la direction de production ce qui est assez éloigné des ressources consommées par les deux précédentes activités. Toutefois, en tant qu'activité qui n'apporte pas de réelle valeur ajoutée au produit fini, elle devrait représenter un pourcentage beaucoup plus faible du total des ressources de la direction de production ce qui nous permet de souligner le caractère problématique de cette activité.

I - 7 - Notions fondamentales sur le nettoyage dans l'industrie agro-alimentaire

Avant d'aborder plus en profondeur les solutions envisageables pour améliorer le processus de nettoyage en place, il est important de revenir sur quelques notions essentielles sur le nettoyage dans les industries agro-alimentaire.

I - 7 - a - Définition d'une souillure, du nettoyage et de la désinfection

Les souillures (qu'on appelle aussi contaminants) dans l'industrie alimentaire peuvent soit se présenter sous la forme de souillures liquides (qui sont attachées aux parois) et dans ce cas, un simple rinçage est suffisant à l'élimination de leur plus grande partie ou bien prendre la forme de souillures solides qui adhèrent à une paroi et qui ne peuvent être éliminés à l'aide d'un rinçage. Les traitements thermiques des produits laitiers comme la pasteurisation et la stérilisation sont connues pour produire des encrassements conséquents (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

Le nettoyage dans l'industrie agro-alimentaire peut s'opérer sur des substrats qui sont les sols, les équipements ou les matières premières. Son principe est d'éliminer les souillures des surfaces notamment celles qui adhèrent aux surfaces d'échange dans un échangeur de chaleur. Il fait intervenir des phénomènes physico-chimiques qui sont les réactions de dissolution, d'hydrolyse ou de mise en suspension des dépôts ainsi que l'élimination des molécules solubilisées par diffusion ou effet turbulent.

Les notions d'encrassement, de nettoyage et de désinfection font intervenir des aspects biochimiques (nature du produit traité et sa qualité et comment cela impacte la type de souillure obtenu), des aspects chimiques (type de détergents, additifs ou agents nettoyants utilisés) et des aspects physiques comme la température, l'hydrodynamique (débit des fluides, tension de cisaillement entre autres) et la nature du matériau. Par ailleurs, le nettoyage est une opération très spécifique à chaque catégorie d'industrie agro-alimentaire et dépend de l'équipement utilisé, du procédé de fabrication et des souillures.

Le nettoyage n'est pas à confondre avec l'opération de désinfection qui consiste à éliminer les microorganismes qui ne peuvent être éliminés par nettoyage. La désinfection succède au nettoyage et vise à obtenir une propreté au sens bactériologique du terme. Des réglementations fixent les seuils autorisés de certains agents pathogènes, par exemple, dans certains produits, il faut vérifier l'absence d'espèces données dans un volume fixé. Le nettoyage ne doit pas non plus être confondu avec la stérilisation qui est une opération tendant à l'élimination de toute vie microbienne et des virus. On trouve parfois le mot « sanitation » dérivé d'un mot anglais (sanitization) pour définir l'ensemble nettoyage-désinfection. Par ailleurs, le terme de nettoyage est souvent utilisé pour désigner un procédé comprenant à la fois un nettoyage et une désinfection (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

I - 7 - b - Les différents types de nettoyage rencontrés dans l'industrie agro-alimentaire

Le nettoyage à la brosse

Ce procédé est réalisé à l'aide d'une brosse possédant des poils en plastique. Il est souvent suivi par des opérations de rinçage et de raclage. Ce procédé est appliqué au niveau de certaines cuves, tanks et appareils de manutention (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985)..

Le nettoyage en aspersion

Il consiste à utiliser des jets fixes ou mobiles (à basse, moyenne ou haute pression) pour nettoyer notamment des citernes et récipients et des appareils de manutention. La dispersion dans l'environnement des contaminants décrochés par le nettoyage est d'autant plus forte que la pression d'aspersion est élevée (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

Le nettoyage en immersion

Dans ce cas les produits à nettoyer sont introduits successivement dans un bain de détergent, une eau de rinçage, un bain de désinfectant et une nouvelle eau de rinçage. Il est surtout utilisé pour le nettoyage des récipients et bouteilles (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

Le nettoyage avec mousse

Le nettoyage en mousse consiste à appliquer une mousse sur la surface à nettoyer, à la laisser agir avant de rincer. En plus de donner la possibilité d'accéder à des endroits difficiles d'accès, ce type de nettoyage permet une action chimique prolongée, il nécessite peu de main d'œuvre et d'énergie et permet un suivi visuel du nettoyage (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985)..

Le nettoyage par ultra-sons

Ce type de nettoyage est surtout utilisé sur les pièces de petite taille ayant des formes complexes. Il consiste à exposer ces pièces à des ultra-sons de dose (ou d'énergie) et de fréquence variables selon le degré de salissure de ces pièces (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

Le nettoyage en place

Il s'agit d'une méthode de nettoyage ne requérant pas le démontage (dans certains cas le démontage est très partiel) d'un équipement industriel. Cette méthode a été introduite dans les années 50. Elle est utilisée surtout dans des milieux où le nettoyage doit être fréquent et où de hauts niveaux d'hygiène sont exigés. On la retrouve donc dans le milieu de la brasserie, l'industrie pharmaceutique, l'industrie laitière et agro-alimentaire de façon plus générale.

Le nettoyage en place s'utilise au niveau d'industries qui emploient des produits liquides. Il ne nécessite ni utilisation de brosse ni trempage. Les principaux avantages de cette méthode de nettoyage sont : la rapidité de son exécution, les risques chimiques mineurs et le fait que le procédé soit facile à reproduire.

Le nettoyage en place possède les effets suivants sur les souillures :

- Un effet mécanique : grâce à la circulation de l'eau et des détergents à des débits élevés.
- Un effet chimique qui est d'autant plus important que les concentrations des détergents sont élevées.
- Un effet thermique : la température joue sur l'efficacité du nettoyage et à fortiori de la désinfection.
- Un effet de temps de contact. (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

I - 7 - c - Mise en œuvre du nettoyage en place

Le matériel employé pour le nettoyage en place

Le nettoyage en place doit se dérouler en présence d'une station de nettoyage qui comprend les éléments suivants :

- Des cuves pour le stockage des solutions de détergent (une pour le détergent basique et une autre pour le détergent acide) ainsi qu'une cuve à eau.
- Un jeu de vannes automatiques.
- Un dispositif de chauffage des solutions
- Une pompe de départ
- Une armoire de commande avec programmation et contrôle

Chapitre 1 : Analyse de l'existant et problématique

Cette station doit assurer le stockage, le maintien en température et en concentration des solutions ainsi que la neutralisation ou le traitement des solutions après le nettoyage (éventuellement épuration, centrifugation, filtration). Elle assure également l'envoi des produits à la solution et au débit requis (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

But du nettoyage en place

- Elimination des résidus de fabrication avec ou sans récupération particulière pour revalorisation en sous-produits.
- La destruction des développements bactériens.
- Redonner aux surfaces des équipements leur état originel (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

Les étapes du nettoyage en place

En règle générale, on retrouvera les étapes suivantes :

- Un rinçage initial
- Une circulation des produits détergents.
- Un rinçage intermédiaire
- Une circulation du produit désinfectant à partir d'une cuve ou d'une pompe doseuse.
- Un rinçage final.

Le temps que prend chaque étape dépend de plusieurs paramètres notamment les particularités de l'installation, le choix des détergents et leur température d'application ((Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

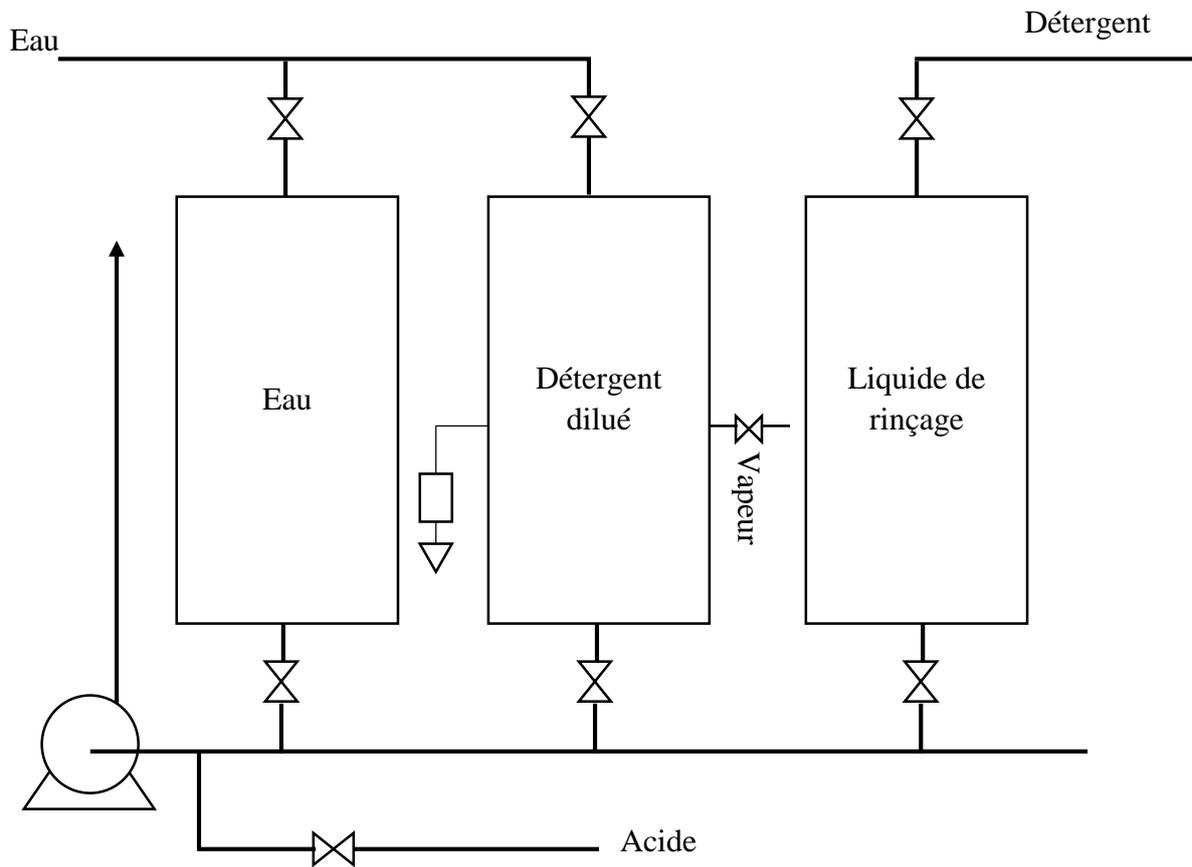


Figure 7 Représentation schématique d'une station de nettoyage en place (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985)

Nettoyage en place chez Candia-Tchin-Lait

En parallèle de la ligne de stérilisation où se trouve un stérilisateur U.H.T et un tank stérile, se trouve une ligne de station de nettoyage en place modélisée comme suit :

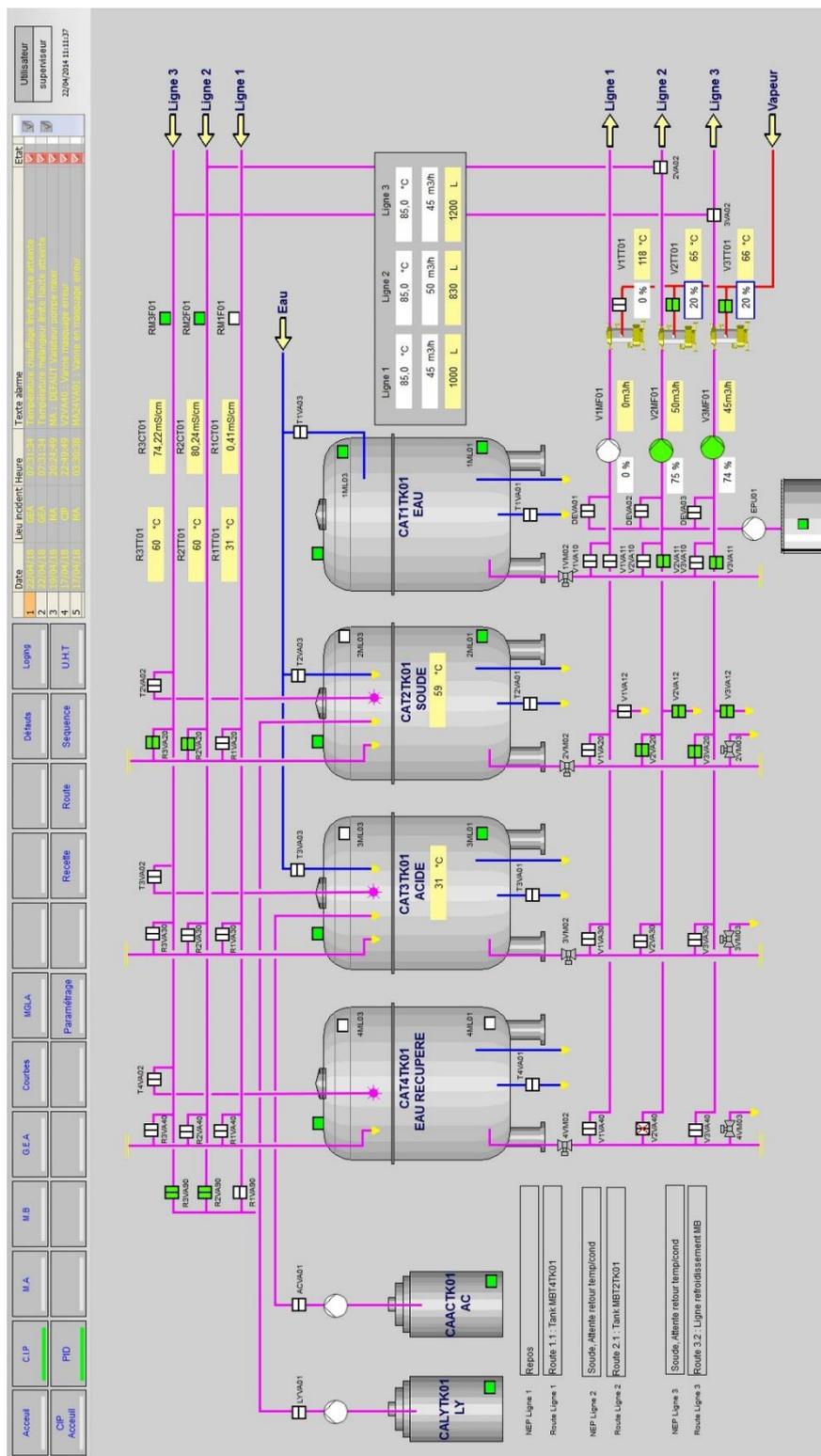


Figure 8 Représentation de la station de nettoyage en place de Candia-Tchin-Lait

La station de nettoyage en place possède 3 cuves différentes alimentées au besoin par des pompes situées à l'extérieur de l'atelier. Une des cuves est dédiée à l'eau, une autre est dédiée à la soude, une autre encore à l'acide et une dernière est dédiée à l'eau récupérée des rinçages

finaux. L'eau ainsi récupérée est utilisée pour le pré-rinçage des appareils situés dans la partie « non stérile », autrement dit, la partie qui se situe avant les stérilisateurs U.H.T. Il existe trois lignes différentes, chacune d'entre elles prend en charge un certain nombre de machines. Les cercles et les vannes sont en vert pour indiquer qu'il y a circulation des détergents dans une ligne et les paramètres de nettoyage sont en jaune. Chaque ligne peut prendre en charge jusqu'à 16 équipements différents. Les détergents sont récupérés au retour de chaque nettoyage à condition qu'ils obéissent aux conditions de température, concentration et de conductivité exigées (ils circulent en boucle fermée). Sinon, ils sont rejetés à l'égout. La récupération des détergents n'a pas lieu si la cuve de détergent concernée est au niveau haut.

On peut voir que la vapeur peut être injectée aux 3 lignes (suivre le trait rouge) et cela s'explique par la présence d'équipements qui doivent être nettoyés dans des conditions aseptiques (ce que permet de faire la vapeur) dans chacune des lignes. Ces équipements dits « stériles » sont : les deux tanks stériles et les quatre conditionneuses.

Le stérilisateur possède quant à lui ses propres pompes de détergent et n'est pas relié à la station de nettoyage en place.

On distingue en outre plusieurs types de nettoyage en place :

- **Le rinçage**

Ce type de nettoyage concerne principalement les tanks de préparation à la fin d'une préparation soit environ toutes les 3.5 heures. Il n'a lieu de plus que lorsqu'un même produit est fabriqué ou lorsqu'on passe d'un produit très faiblement encrassant (comme le lait silhouette) vers un produit plus encrassant ou lorsqu'on passe d'un produit à un produit qui lui est très similaire (lait ½ écrémé vers lait Viva). Lorsqu'une préparation est achevée, ce rinçage doit avoir lieu avant qu'une nouvelle préparation ne soit entamée.

- **Le nettoyage en place à la soude**

Le nettoyage en place à la soude a lieu toutes les 24 heures pour les objets du poudrage, et de la préparation dont font entre autres partie les tanks de préparation et les mixeurs. Il comprend un pré-rinçage, un nettoyage à la soude et un rinçage final.

- **Le nettoyage en place à la soude et à l'acide**

Les mêmes objets que ceux précédemment cités doivent faire l'objet d'un nettoyage à la soude et à l'acide environ toutes les 48 heures.

- **Le nettoyage en place avec arrêt de la production**

Après avoir traité du lait grand format pour une durée de 48 heures ou du chocolat de petit format pour une durée de 36 heures ou encore du chocolat de grand format pour une durée d'environ 30 heures, un nettoyage en place avec arrêt de la production doit se faire. Ce type de nettoyage a lieu pour le stérilisateur U.H.T, le tank stérile, les lignes U.H.T (qui relient les tanks de préparation aux stérilisateurs) et les conditionneuses d'une même ligne. Lors du passage d'un produit chocolaté vers du lait blanc, il y a ajout d'un désinfectant car le chocolat contient des bactéries thermos-résistantes. Un nettoyage avec désinfectant a lieu toutes les semaines quoi qu'il arrive et il concerne l'ensemble des appareils. Ce type de nettoyage comprend également un démontage partiel des conditionneuses et un nettoyage manuel de ces dernières. La durée totale de ce nettoyage est comprise entre 6 et 7 heures.

- **Le nettoyage intermédiaire aseptique ou NIA**

Après avoir atteint une certaine quantité de produits traités, les stérilisateurs doivent être nettoyés. Le stérilisateur de la ligne grand format est nettoyé environ toutes les 8 heures et celui de la ligne petit format est nettoyé environ toutes les 5 heures. Ce type de nettoyage se déroule dans les mêmes conditions que la production et celle-ci reprend juste après la fin du nettoyage. Durant un CIP avec arrêt de la production, il y a circulation du détergent acide tandis que durant un NIA, le détergent acide ne fait que passer afin d'éviter toute détérioration de l'équipement du fait de la température élevée.

I - 8 - Conclusion

Grâce aux outils de diagnostic que nous avons mis en place, nous avons pu attester du caractère problématique de l'activité de NEP et de sa consommation élevée en ressources de la direction de production. Maintenant que la problématique est clairement définie, nous allons tenter d'explorer des solutions qui pourraient potentiellement s'appliquer à notre cas.

Chapitre II : Etat de l'art

II - 1 - Modélisation sous forme de problème multicritère pour la sélection de détergents

L'idée de cette solution potentielle est de recenser l'ensemble des détergents chimiques (les détergents physiques comme les rayons UV, les ultrasons et les rayons ionisants sont exclus car ils ne peuvent bien évidemment pas être utilisés pour un nettoyage en place) que l'on peut trouver dans le nettoyage dans les industries agro-alimentaires. On recensera par la suite les différents critères d'évaluation des détergents et désinfectants pour appliquer une méthode d'aide multicritère à la décision.

Avant d'appliquer une méthode d'aide à la décision, nous allons d'abord présenter quelques notions essentielles sur les problèmes multicritères, qu'on appellera ici problèmes multi-attributs ou PMA ainsi que **5 méthodes de 3 classes différentes de méthodes (les méthodes de surclassement ne sont pas abordées).**

Les différents détergents et désinfectants chimiques recensés sont :

- Les détergents alcalins : ils ont une propriété de saponification et de solubilisation et agissent sur les matières organiques. Des exemples de tels détergents sont la soude caustique et la potasse caustique, le carbonate de soude et la phosphate trisodique. Contrairement au nettoyage manuel, le nettoyage en place peut faire appel à des bases fortes.
- Les détergents acides : ils agissent de manière spécifique sur les souillures minérales et ont également un pouvoir de solubilisation. Des exemples de tels détergents sont l'acide chlorhydrique, l'acide nitrique, l'acide tartrique et l'acide sulfonique.
- Les agents de surface : les tensio-actifs modifient fortement les tensions interfaciales. Ils ont un pouvoir mouillant, dispersant et émulsifiant.
- Les agents désinfectants : utilisés en complément des détergents, les désinfectants détruisent les microorganismes. Parmi ces désinfectants, nous pouvons citer le brome et les composants bromés, l'iode, le chlore, le peroxyde, etc. (Bellon-Fontaine et Cerf, 1985).

Les critères qu'on l'on pourrait retenir pour évaluer un détergent chimique ou désinfectant sont :

- Le prix.
- L'efficacité.
- Température d'utilisation : certains détergents peuvent être actifs à des températures peu élevées ce qui est un avantage du point de vue de la consommation énergétique. Ce critère est donc à minimiser.
- Le pH d'utilisation : il est plus intéressant de se tourner vers des détergents qui peuvent agir efficacement à un pH neutre car le rinçage final sera moins long et nécessitera moins d'eau.
- Le temps d'action : ce critère dépend dans une certaine mesure de la concentration mais il existe certains détergents qui agissent efficacement même avec un temps d'action faible.
- Quantité de détergent à utiliser pour éliminer efficacement les souillures.

II - 1 - a - Quelques notions fondamentales sur l'aide multicritère à la décision

En industrie, nous sommes souvent confrontés à des problèmes n'ayant pas d'indicateur unique. L'aide multicritère à la décision permet de tenir compte de problèmes qui se caractérisent par la présence de plusieurs critères qui sont parfois contradictoires. Les méthodes de l'analyse de décision multicritère ou AMCD (ou MCDA en anglais) permettent d'effectuer un tri et un classement des solutions potentielles à un PMA (problème multi-attributs) ou un PMO (problème multi-objectif) (Stefanoiu et al. 2014).

Les éléments constitutifs d'un PMA

Les principales caractéristiques des PMA sont les suivantes :

- Le nombre d'actions (appelées alternatives ou solutions potentielles) est limité.
- Les variables libres (ou variables de commande ou de décision) prennent des valeurs discrètes.

Voici les éléments qui définissent un PMA

- Un ensemble de n_a solutions potentielles :

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_{n_a}\}$$

- Un ensemble n_c de critères d'évaluation :

$$C = \{CE_1, CE_2, \dots, CE_{nc}\}$$

On sélectionne généralement un ensemble de no avec ($no < nc$) critères utilisés pour notre optimisation.

- La matrice des scores également nommée matrice des niveaux des attributs s_{ij} ($i \in \overline{1, na}, j \in \overline{1, nc}$) qui reflètent les conséquences estimées du choix de l'alternative A_i par rapport au critère CE_j . Les scores peuvent prendre des valeurs ordinales, cardinales ou linguistiques.

Tout l'enjeu réside dans le choix de la solution la plus appropriée A^* dont les scores conduisent à maximiser la satisfaction du décideur qui prend en compte l'ensemble des critères d'évaluation.

On peut également définir une fonction de valeur pour chaque critère CE_j notée f_{v_j} avec $j \in \overline{1, nc}$. La fonction S est définie sur l'ensemble S des scores possibles s_{ij} ($i \in \overline{1, na}, j \in \overline{1, nc}$) de sorte à satisfaire la relation suivante :

$$A_i > A_l \text{ pour un critère } CE_j \Leftrightarrow f_{v_j}(s_{ij}) > f_{v_j}(s_{lj}), \forall i, l \in \overline{1, na}, \forall j \in \overline{1, nc}$$

Les fonctions f_{v_j} varient dans un domaine donné. La normalisation est indispensable pour pallier au problème de différence d'unités entre les critères d'évaluation. Dans le cas probabiliste, ces fonctions de valeur sont remplacées par des fonctions d'utilité (Stefanoiu et al. 2014).

II - 1 - b - Présentation de quelques méthodes de résolution des PMA triées par type

Il existe plusieurs méthodes de résolution de PMA, la plupart sont basées sur une articulation des préférences a priori, d'autres se basent sur l'application d'algorithmes puis l'articulation des préférences. On parle aussi de méthodes probabilistes ou déterministes ainsi que de méthodes basées sur l'utilité et d'autres sur la comparaison de solutions potentielles. Voici quelques exemples de méthodes (Stefanoiu et al. 2014).

Méthodes basées sur l'agrégation

Méthode de la somme pondérée

Elle consiste d'abord à affecter des coefficients de pondération w_j à chaque critère d'évaluation CE_j ($j \in \overline{1, no}$) de façon à ce que ces coefficients satisfassent la relation suivante (Marler et Arora, 2010) :

$$\sum_{j=1}^{no} w_j = 1$$

On s'appuie ensuite sur un indicateur de performance noté J_i calculé pour chaque solution potentielle A_i ($i \in \overline{1, na}$). Celui-ci représente la somme pondérée des fonctions de valeur pour chaque critère et est noté comme suit :

$$J_i = \sum_{j=1}^{no} w_j f_{v_j}(s_{ij}), \forall i \in \overline{1, na}$$

Par la suite, les solutions potentielles A_i ($i \in \overline{1, na}$) sont rangées par ordre décroissant des indicateurs de performance correspondants J_i ($i \in \overline{1, na}$).

Notons les scores s_{ij} sont normalisés de façon à ce qu'ils prennent tous les valeurs numériques dans le même domaine de variation. Pour normaliser ces valeurs, on peut utiliser la relation suivante où les r_{ij} représentent les scores normalisés.

$$r_{ij} = \frac{1}{\Delta_j} \begin{cases} s_{ij} - s_j^{inf}, & \text{si l'on doit maximiser } CE_j \\ s_j^{sup} - s_{ij}, & \text{si l'on doit minimiser } CE_j \end{cases}$$

Avec : $\Delta_j = s_j^{sup} - s_j^{inf}, \forall j \in \overline{1, no}$ où s_j^{sup}, s_j^{inf} sont les valeurs maximales et minimales respectivement des attributs des solutions potentielles par rapport au critère CE_j .

$$s_j^{sup} = \max\{s_{ij}\}, i \in \overline{1, na} \text{ et } s_j^{inf} = \min\{s_{ij}\} \text{ pour } i \in \overline{1, na}, \forall j \in \overline{1, no}$$

Méthode de minimisation de la distance à la solution idéale ou TOPSIS

Les méthodes basées sur la distance représentent en réalité une variation de la méthode de la somme pondérée. La distance à la solution idéale doit être minimisée (Hwang et Yoan, 1981). La méthode TOPSIS (Technique for Ordering by Similarity to Ideal Solution) comprend les étapes suivantes :

- 1- Pour chaque critère d'évaluation CE_j ($j \in \overline{1, no}$), normaliser les scores s_{ij} de toutes les solutions potentielles A_i ($i \in \overline{1, na}$) pour obtenir une matrice R dont les éléments r_{ij} ($i \in \overline{1, na}, j \in \overline{1, no}$) prennent des valeurs dans le même domaine de variation.
- 2- Pour chaque critère d'évaluation CE_j ($j \in \overline{1, no}$), calculer les scores normalisés ri_j et ra_j des solutions potentielles idéales et anti-idéales :

$$ri_j = \max\{r_{ij}\} \text{ pour } i \in \overline{1, na} \text{ et } ra_j = \min\{r_{ij}\} \text{ pour } i \in \overline{1, na}$$

- 3- Pour chaque solution potentielle A_i ($i \in \overline{1, na}$) :
 - a. Calculer les distances di_i et da_i aux solutions idéales A_i , respectivement non idéales A_a

$$di_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{no} w_j (r_{ij} - ri_j)^2}, da_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{no} w_j (r_{ij} - ra_j)^2}, \forall i \in \overline{1, na}$$

- b. Calculer la distance relative par rapport à une solution anti-idéale, A_a :

$$J_i = c_i = \frac{da_i}{da_i + di_i}, \forall i \in \overline{1, na}$$

- 4- Les solutions sont rangées selon les valeurs décroissantes des distances relatives c_i .

Méthode de Borda

Proposée au XVIII^e siècle, cette méthode est encore utilisée de nos jours en raison de sa très grande simplicité (Pomerol et Baraba-Romero, 1993).

Les étapes de cette méthode sont les suivantes :

- 1- Pour chaque critère CE_j ($j \in \overline{1, no}$), ranger les solutions potentielles A_i ($i \in \overline{1, na}$) en fonction des valeurs décroissantes du degré de satisfaction perçu vis-à-vis des

conséquences des solutions. La solution A_i qui est considérée comme étant préférable par rapport au critère CE_j se verra attribuer le rang $rg_{ij} = 1$.

2- Pour chaque rang rg_{ij} ($i \in \overline{1, na}, j \in \overline{1, no}$), calculer une valeur de performance notée $p_{ij} = a + b(na - rg_{ij})$ où a et $b > 0$ sont deux constantes réelles.

3- Pour chaque solution potentielle A_i ($i \in \overline{1, na}$), calculer les indicateurs de performance agrégés :

$$J_i(a, b) = \sum_{j=1}^{no} p_{ij}(a, b), \forall i \in \overline{1, na}.$$

4- Les solutions potentielles sont rangées selon les valeurs décroissantes des mesures de performance agrégées J_i ($i \in \overline{1, na}$).

Méthodes basées sur la théorie des jeux et les situations incertaines

Dans ce type de méthodes, on considère que le décideur est l'un des « joueurs » et que l'autre joueur est la nature qui elle, peut réagir de manière imprévisible. Le décideur connaît les implications et les conséquences des différentes solutions potentielles mais est incapable de prédire comment va réagir la nature. Nous allons exposer une de ces méthodes, à savoir la méthode prudente Wald-Hurwicz (Stefanoiu, 2014).

Méthode prudente de Wald-Hurwicz

Cette méthode est à mi-chemin entre la méthode de Wald qui est dite optimiste et la méthode d'Hurwicz qui est dite pessimiste, elle résulte d'un équilibre entre risques et gains potentiels. Les étapes de cette méthode sont les suivantes :

1- Pour chaque solution potentielle A_i ($i \in \overline{1, na}$), calculer les valeurs r_i^{min} et r_i^{max}
 $r_i^{min} = \min\{r_{ij}\}$ pour $j \in \overline{1, no}, \forall i \in \overline{1, na}$ et $r_i^{max} = \max\{r_{ij}\}$ pour $j \in \overline{1, no}, \forall i \in \overline{1, na}$.

2- Calculer une valeur de gain intermédiaire r_i pour chaque solution potentielle avec

$$r_i(\alpha) = \alpha r_i^{min} + (1 - \alpha) r_i^{max}, \forall i \in \overline{1, na}$$

Où $\alpha \in [0, 1]$ et est appelé le coefficient de pessimisme.

3- Ranger les solutions dans l'ordre décroissant des valeurs des gains intermédiaires $r_i(\alpha)$.
La solution qui est placée la première dans la liste est celle recommandée (Stefanoiu, 2014).

Méthodes basées sur la comparaison des paires

Ces méthodes qui utilisent la comparaison par paires des solutions potentielles appartiennent à ce que l'on qualifie parfois d'école française de MCDA.

Méthode de Condorcet

Les étapes de cette méthode sont les suivantes :

- 1- Comparer toutes les paires possibles de solutions potentielles $\{A_i, A_k\}$ ($i, k \in \overline{1, na}$, $i \neq k$) et déterminer les ensembles de critères pour lesquels C_{ik}, C_{ki} pour lesquels A_i est préférable à A_k , respectivement A_k est préférable à A_i .

$$C_{ik} = \{CE_j | A_i > A_k \text{ pour tout } CE_j\}, C_{ki} = \{CE_j | A_k > A_i\}, \forall i, k \in \overline{1, na}, \quad i \neq k$$

- 2- Pour chaque paire de solutions potentielles $\{A_i, A_k\}$ ($i, k \in \overline{1, na}$, $i \neq k$), agréger les ensembles C_{ik} et C_{ki} en appliquant la relation suivante :

$$d_{ik} = \#C_{ik} - \#C_{ki}, \forall i, k \in \overline{1, na}, i \neq k$$

Où $\#C_{ik}$ et $\#C_{ki}$ représentent les cardinaux des ensembles correspondants.

- 3- Pour chaque solution potentielle A_i ($i \in \overline{1, na}$), calculer sa performance dans tous les duels directs :

$$\delta_i = \sum_{k=1, k \neq i}^{na} d_{ik}, \forall i \in \overline{1, na}$$

- 4- La meilleure solution est la solution potentielle A_i possédant la performance δ_i la plus élevée dans tous les duels directs (Stefanoiu, 2014).

II - 1 - c - Faisabilité

En réalité, il n'est pas très pertinent de s'intéresser aux formes pures des détergents telles qu'énumérées précédemment mais plutôt de se pencher sur les formes commerciales car c'est elles que l'entreprise pourra décider d'acquérir ou non. Toutefois, on ne peut pas se fier à ce qui est écrit sur l'emballage. En effet, ce n'est pas parce qu'un détergent dit qu'il est en mesure d'éliminer tel pourcentage de la flore bactérienne ou tel pourcentage des souillures qu'il va forcément le faire en réalité car les additifs altèrent ses performances. De plus, ces performances dépendent en grande partie du type de souillures. Ainsi, un même détergent n'aura pas les mêmes performances dans un abattoir de viandes que dans une industrie laitière.

Le service de contrôle qualité de Candia-Tchin Lait a insisté sur la nécessité absolue de procéder à des analyses diverses pour chaque détergent après un nettoyage et il serait trop coûteux de faire cela pour tous les détergents du marché. Nous avons de ce fait décidé de nous pencher sur la possibilité les PE.

II - 2 - Utilisation des plans d'expérience pour modéliser le temps de nettoyage

II - 2 - a - But des plans d'expérience

Les plans d'expérience permettent de mieux organiser les expériences menées dans un but défini. Ils visent à ne faire que « les bonnes expériences », autrement dit celles qui permettent d'obtenir la meilleure réponse expérimentale possible et de tirer le maximum de renseignements utiles. Les plans d'expériences s'insèrent dans un processus d'acquisition de connaissances. On a recours aux plans d'expériences lorsque les réponses aux questions qu'on se pose (par exemple quel est l'incidence de tel ou tel paramètre sur les performances ?) ne sont pas disponibles ailleurs (après avoir consulté des experts ou fait une recherche bibliographique par exemple) (Goupy et Creighton, 2006).

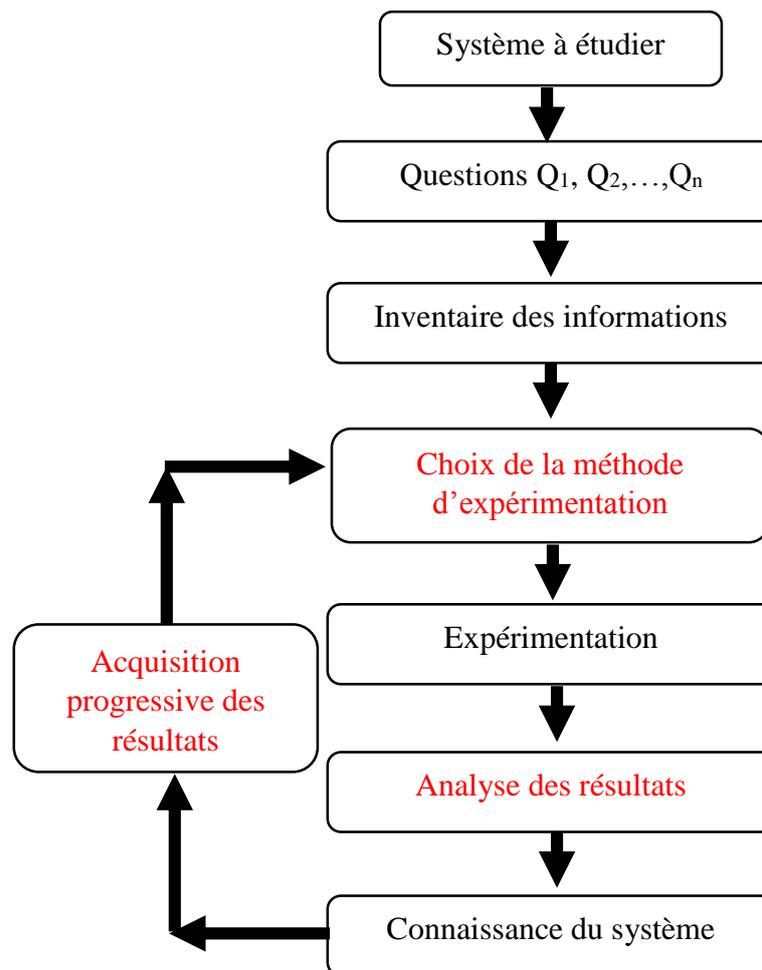


Figure 9 : Les plans d'expérience jouent un rôle important dans les trois étapes notées en rouge (Goupy et Creighton, 2006)

- Choix de la méthode d'expérimentation

Les plans d'expérience permettent de sélectionner une méthode donnant des résultats exploitables en peu d'essais, autrement dit avec un coût minimal.

- Analyse des résultats

Avec un plan d'expérience soigneusement préparé, les résultats obtenus seront satisfaisants et riches en enseignement.

- Acquisition progressive de la connaissance

Les premiers résultats des plans d'expérience permettent de réorienter l'étude au fur et à mesure de son déroulement. Ainsi, les voies sans issues sont abandonnées dès l'obtention des résultats provisoires. On pourra alors lancer de nouvelles expériences et s'arrêter lorsqu'on a obtenu le résultat recherché (Goupy et Creighton, 2006).

II - 2 - b - Quelques notions de base sur les plans d'expérience

La grandeur d'intérêt ou réponse

La grandeur d'intérêt ou réponse est la grandeur à laquelle on s'intéresse lors de l'étude d'un phénomène et qui dépend d'un grand nombre de variables. Par exemple, lorsqu'on souhaite étudier la consommation en carburant d'une voiture, celle-ci dépend de la vitesse du véhicule, de la puissance du moteur, de la manière de conduire, de la direction et de la force du vent, du gonflage des pneumatiques, de la présence ou non d'un porte-bagages, du nombre de personnes transportées, etc. On peut aussi représenter la réponse de la manière suivante :

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$$

Où les différents x_i sont les variables ou facteurs dont dépend le phénomène étudié et y est la réponse.

Lors de l'étude d'un phénomène, on cherche à déterminer la fonction f qui lie la réponse aux différentes variables (Goupy et Creighton, 2006).

Les facteurs

Les facteurs sont les variables qui influent sur la grandeur d'intérêt ou la réponse. Il en existe plusieurs types :

- Les facteurs continus : comme la pression, la vitesse ou une longueur.
- Les facteurs discrets : les facteurs discrets ne peuvent prendre que certaines valeurs particulières. Il peut s'agir d'un nom, d'une lettre ou d'une propriété particulière. On peut citer en exemple la couleur d'un produit : rouge, bleu, vert, etc.
- Facteurs ordonnables : ce sont des facteurs discrets que l'on peut ordonner suivant un ordre logique. Par exemple petit, moyen grand.
- Les facteurs booléens : ils ne peuvent prendre que deux valeurs par exemple ouvert ou fermé.

Il est possible d'adapter le type de facteurs à l'étude. Par exemple si le facteur vitesse est continue, on peut le rendre discret en choisissant une vitesse A et une vitesse B (Goupy et Creighton, 2006).

L'espace expérimental

Pour comprendre la notion d'espace expérimental, on se sert d'un espace à deux dimensions mais il peut être généralisé à un espace multidimensionnel.

L'espace expérimental représente tous les points du plan « facteur 1 \times facteur 2 » et chaque point représente une expérience. Pour plus de trois facteurs, la représentation géométrique laisse place à une représentation mathématique (Goupy et Creighton, 2006).

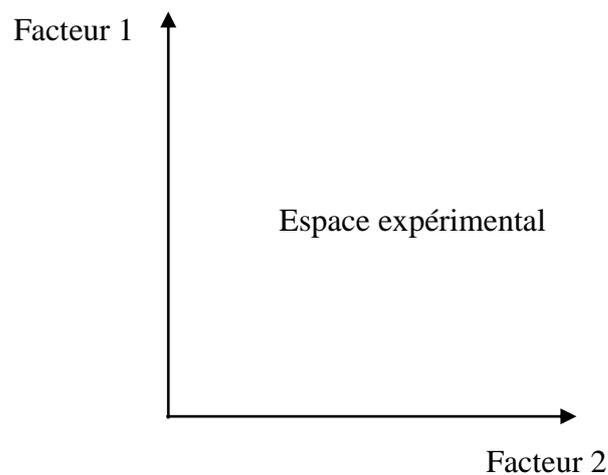


Figure 10 Représentation géométrique de l'espace expérimental

Domaine d'un facteur

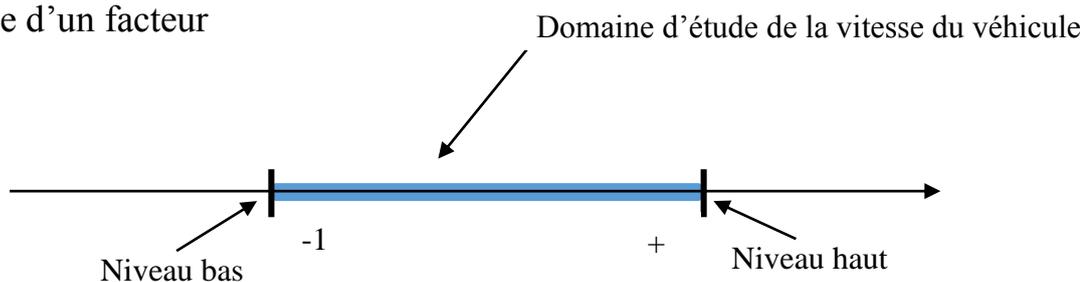


Figure 11 Représentation du domaine d'étude d'un facteur (Goupy et Creighton, 2006)

L'étude de l'influence d'un facteur est généralement limitée entre deux bornes qu'on appelle respectivement **Niveau bas** et **Niveau haut** et qui délimitent le **domaine d'un facteur**. Pour avoir une représentation commune entre tous les facteurs, il est d'usage d'utiliser -1 pour le niveau bas et +1 pour le niveau haut. On peut choisir autant de valeurs que l'on souhaite à l'intérieur de ce domaine (Goupy et Creighton, 2006).

Le domaine d'étude

Le domaine d'étude est la zone particulière du domaine expérimental choisi par l'expérimentateur pour réaliser les plans d'expérience. Ce domaine est défini par les niveaux hauts et les niveaux bas des différents facteurs ainsi que d'éventuelles contraintes (Goupy et Creighton, 2006).

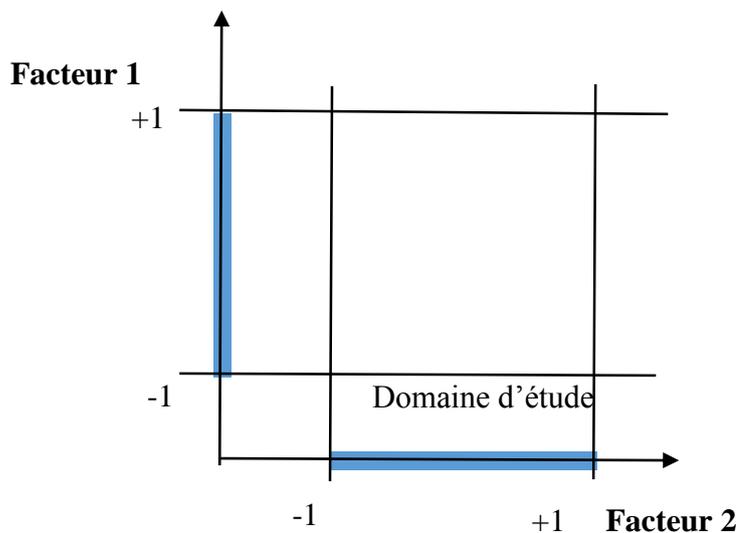


Figure 12 : Représentation du domaine d'étude (Goupy et Creighton, 2006)

Dans le cas où des contraintes nous obligent à exclure certaines valeurs, le domaine d'étude peut être représenté comme suit

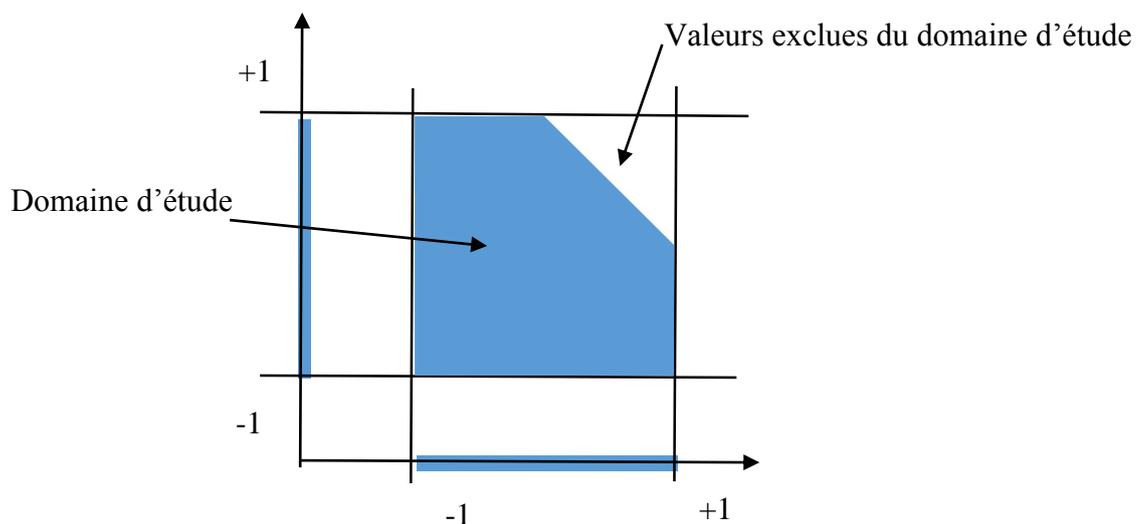


Figure 13 Représentation d'un domaine expérimental avec des contraintes (Goupy et Creighton, 2006)

L'utilisation des valeurs -1 et de +1 implique un changement de variables et un passage à des variables centrées réduites (VCR) qu'on appelle aussi variables codées. Le passage des variables réelles aux VCR se fait grâce à la formule suivante :

$$x = \frac{A - A_0}{Pas}$$

Avec

A: La valeur en unités réelles ou courantes

A_0 : La valeur centrale en unités courantes (ou la moyenne entre le niveau haut et le niveau bas en unités courantes).

x: Valeur en unités codées.

L'utilisation des VCR est justifiée par la disparition des dimensions ce qui facilite la comparaison entre les effets de facteurs ayant des unités différentes. Cela donne aussi plus de généralité aux plans d'expérience puisqu'une diversité de problèmes peuvent être analysés indépendamment de l'unité de mesure (Goupy et Creighton, 2006).

Points expérimentaux et espace expérimental

La rencontre de x_{1i} (où 1 représente l'indice du facteur et i le niveau de ce facteur) et x_{2j} (où 2 représente l'indice du facteur et j le niveau de ce facteur) est appelée point expérimental. L'ensemble des points expérimentaux est appelé espace expérimental. Le domaine d'étude est facilement représentable si le nombre de facteurs est 2 ou 3 (Goupy et Creighton, 2006).

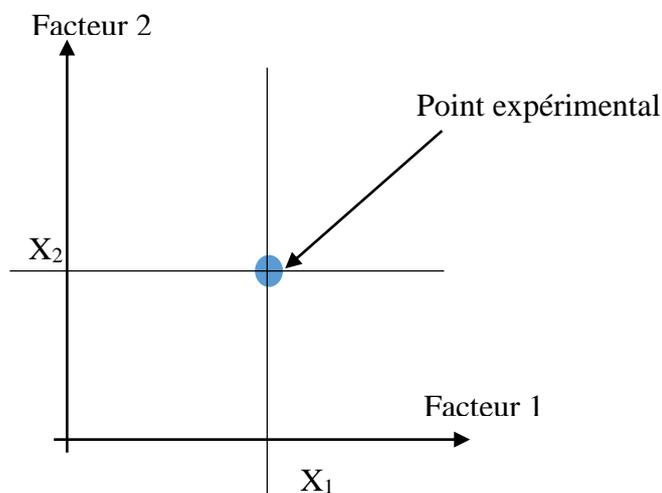


Figure 14 Représentation d'un point expérimental pour deux facteurs (Goupy et Creighton, 2006)

II - 2 - c - Comment construire un plan d'expérience ?

- 1)- On définit les différents facteurs ainsi que leurs niveaux
- 2)- On définit d'éventuelles contraintes pour les différents niveaux qui représentent des zones dans lesquelles les expériences ne peuvent pas être réalisées.
- 3)- On définit quelques niveaux (en plus des niveaux hauts et des niveaux bas) qui peuvent être intéressants pour notre étude pour chacun des facteurs.
- 4)- On construit une grille représentant la combinaison des différents facteurs.
- 5)- On définit une fonction reliant les différents facteurs
- 6)- On choisit en fonction de critères d'optimalité les points expérimentaux les plus intéressants pour notre étude (Goupy et Creighton, 2006).

II - 2 - d - Modélisation de la réponse

L'ensemble des points expérimentaux représente une surface de réponse. La réponse n'est connue que pour quelques points mais à l'aide d'un modèle mathématique, il est possible de la représenter sur l'ensemble.

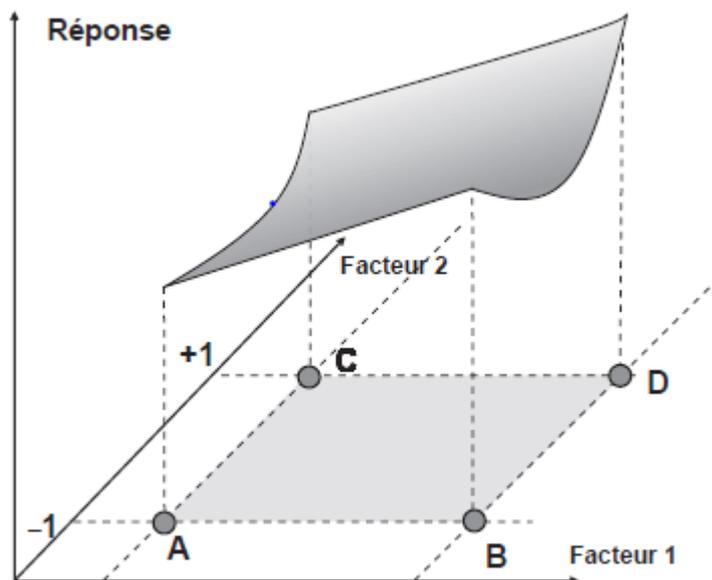


Figure 15 Représentation graphique de la réponse d'un domaine expérimental (Goupy et Creighton, 2006)

La réponse est une fonction des différents facteurs. Quand on ne connaît pas de relation entre les différents facteurs et la réponse, on peut la représenter de la façon très générale suivante :

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Souvent, la forme suivante (il existe d'autres formes de représentation) est utilisée pour représenter cette fonction.

$$y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \sum a_{ijk} x_i x_j x_k + \sum a_{ijkl} x_i x_j x_k x_l + \dots$$

Avec :

a_i : Les effets des différents facteurs

a_{ij} : Les interactions entre deux facteurs

a_{ijk} : Les interactions entre trois facteurs

a_{ijkl} : Les interactions entre quatre facteurs

Parfois, on pourra apporter deux compléments à l'expression précédente qui deviendra alors :

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + \Delta + \varepsilon$$

Le terme Δ est désigné par manque d'ajustement et traduit le fait que la réponse calculée et la réponse du système étudié sont différentes.

Le terme ε désigne l'erreur aléatoire qui représente la dispersion des réponses puisqu'en général, on obtient des réponses différentes pour chaque expérience (Goupy et Creighton, 2006).

II - 2 - e - Construction d'un système d'équations

Grâce aux différentes expériences effectuées, il est possible de résoudre un système d'équation qui nous donnera la formulation de la réponse. Ce dernier est de la forme suivante :

$$y = X.a + e$$

Avec :

y : représente le vecteur réponse.

X : représente la matrice de calcul des coefficients

a : représente le vecteur des coefficients de la réponse.

e : représente le vecteur des écarts (Goupy et Creighton, 2006)

II - 2 - f - Plans factoriels complets et plans fractionnaires

Lorsque le nombre de facteurs est peu élevé (jusqu'à 5 ou 6 facteurs pour deux niveaux différents), on peut avoir recours à **un plan factoriel complet**. Autrement dit, on effectue des expériences pour l'ensemble des niveaux définis. Lorsque l'on choisit deux niveaux différents pour chaque facteur, le nombre d'expériences à mener est $2^{\text{nombre de facteurs}}$. Pour éviter de mener un trop grand nombre d'expériences qui se traduiraient par un coup tout aussi élevé, il est possible de recourir aux **plans fractionnaires**. Sous certaines hypothèses, on peut réduire le nombre d'expériences et ne conserver que les plus pertinentes pour notre étude. Pour ce faire, il est utile de se pencher sur quelques notions de statistiques (Wikipedia.org).

II - 2 - g - Notions de statistiques dans les plans d'expériences

Avec des modèles mathématiques de la réponse qui contiennent plusieurs coefficients, il est souvent bien commode de ne porter son attention que sur quelques-uns de ces coefficients. On peut en effet éliminer les coefficients en se référant à un étalon donné. En effet, l'erreur expérimentale se transmet aux coefficients et on cherchera donc à ne garder que les plus significatifs. Nous verrons que l'estimation de l'importance d'un coefficient fait intervenir l'écart-type et la p-value (Goupy et Creighton, 2006).

L'erreur expérimentale

L'erreur expérimentale est calculée en effectuant une série d'expériences au centre du domaine expérimental, autrement dit que tous les niveaux des facteurs prennent la valeur 0. Ces quelques expériences sont appelées **expériences de contrôle**. Pour 4 facteurs, il est d'usage de faire 4 expériences de contrôle. Ces points de contrôle peuvent également être pris en un autre point expérimental mais on a coutume de les prendre au centre du domaine. On calcule alors la moyenne des réponses pour ces mêmes points expérimentaux qui sont au nombre de n à l'aide de la relation :

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

On évalue ensuite la valeur de l'écart-type qui renseigne sur la dispersion des réponses autour de la moyenne (et donc sur l'erreur expérimentale) à l'aide de la relation suivante :

$$\sigma = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

De là, on peut se référer à la loi normale qui nous aide à évaluer la probabilité qu'une valeur soit comprise dans un intervalle donné ou dans notre cas la probabilité que la réponse de la prochaine expérience se situe dans un intervalle donné.

L'intervalle de confiance, c'est-à-dire celui pour lequel nous sommes certains qu'une réponse donnée soit proche de la moyenne des réponses dépend de deux paramètres essentiels. Il s'agit d'une part de la probabilité qu'une réponse se situe dans cet intervalle de confiance, ce paramètre étant fixé par l'expérimentateur et d'autre part, du nombre d'expériences effectuées pour calculer l'écart. On peut se référer au tableau suivant pour déterminer l'intervalle de confiance (Goupy et Creighton, 2006).

Tableau 11 Intervalle de confiance en fonction de la probabilité fixée et du nombre d'expériences (Goupy et Creighton, 2006)

		Nombre de mesures ayant servi à calculer l'écart-type						
		2	3	4	5	10	20	∞
Pourcentage de cas où l'hypothèse est correcte	70%	1.96	1.38	1.25	1.19	1.10	1.06	1.03
	90%	6.31	2.92	2.35	2.13	1.83	1.73	1.64
	95%	12.71	4.3	3.18	2.78	2.26	2.06	1.96
	99%	63.66	9.92	5.84	4.60	3.25	2.86	2.58

Par exemple, si on se fixe une probabilité de 90% et si l'on effectue une même expérience de contrôle 5 fois, on aura 90% de chances que l'intervalle $y_i + 2.13\sigma$ contienne la moyenne des réponses où y_i représente une nouvelle mesure de la réponse.

Sélection des facteurs et interactions les plus influents

On peut choisir de ne garder que les coefficients les plus influents et pour ce faire, on comparera le coefficient avec son écart-type. Trois cas de figure peuvent alors se présenter pour un coefficient noté a_1 :

$a_1 \gg \sigma_{a_1}$: Le coefficient peut être considéré comme influent

$a_1 \ll \sigma_{a_1}$: Le coefficient peut être considéré comme non influent

$a_1 \cong \sigma_{a_1}$: C'est à l'expérimentateur d'effectuer un arbitrage en fonction des informations dont il dispose.

On a la relation suivante qui lie la variance d'un facteur à celle de l'écart :

$$V(a_i) = \frac{1}{n} V(e)$$

Pour calculer la variance de l'écart, il nous faut procéder à une analyse de la variance. Les réponses calculées grâce à notre modèle s'écrivent alors \hat{y}_i et les réponses mesurées sont notées $y_i = \hat{y}_i + r_i$. On a donc la relation suivante :

$$\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \sum (y_i - \bar{y})^2 + \sum r_i^2$$

On a donc : $V(r_i)$ est la valeur minimale de la variance de l'erreur $V(e)$ et elle s'écrit comme suit :

$$V(r_i) = \frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n r_i^2$$

De ce fait, pour calculer la variance d'un coefficient, il suffit d'appliquer la relation suivante :

$$V(a_i) = \frac{1}{n} V(r_i)$$

Notons que cette relation n'est pas toujours juste et qu'une analyse des résidus est utile pour savoir si le modèle mathématique choisi convient à notre étude (Goupy et Creighton, 2006).

Calcul du coefficient de détermination

Le coefficient de détermination noté R^2 renseigne sur la qualité du modèle. Il est noté :

$$R^2 = \frac{\text{Somme des carrés des réponses calculées corrigées de la moyenne}}{\text{Somme des carrés des réponses mesurées corrigées de la moyenne}} \\ = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Plus ce coefficient est proche de 1 et meilleur est le modèle mathématique qui nous a permis de calculer les réponses car cela signifie que les réponses calculées à l'aide de ce modèle sont proches des réponses mesurées (Goupy et Creighton, 2006).

II - 2 - h - Faisabilité de l'utilisation des plans d'expérience

Les plans d'expérience sont utilisés de façon prépondérante lorsque l'on n'a pas connaissance de la relation mathématique qui lie notre grandeur d'intérêt aux différents paramètres qui peuvent influencer sur celle-ci. C'est le cas dans notre situation. Nous savons bien que les concentrations des détergents influent à la fois sur la qualité et la durée du nettoyage mais nous n'avons pas de relation précise entre eux. Les expériences nous renseignent alors sur la formulation mathématique de notre réponse et nous fournissent un modèle d'une grande précision. Les expériences peuvent avoir un coût plus ou moins important en fonction du nombre de facteurs de la réponse. Néanmoins, l'application des plans d'expérience dans d'innombrables domaines prouve que ces coûts sont rentabilisés grâce aux économies qui pourraient être faites suite à la détermination des paramètres optimaux de notre réponse.

II - 3 - Conclusion

Nous avons brièvement étudié quelques solutions qui pourraient être mises en œuvre dans notre cas et avons finalement décidé d'opter pour les plans d'expériences conformément à la volonté de la direction. Nous allons tenter d'étudier le procédé de nettoyage en place de près afin de trouver les paramètres qui peuvent influencer sur lui. Nous présentons donc dans le chapitre suivant la démarche suivie pour la mise en œuvre de cette solution.

Chapitre III : Solution proposée

III - 1 - Introduction

La solution que nous avons décidé de mettre en œuvre est les plans d'expérience. Nous allons donc établir une liste des paramètres qui peuvent impacter la réponse choisie de notre système. Nous ferons varier ces paramètres pour tenter de déduire une relation mathématique qui lie nos paramètres et la réponse. Nous espérons par la suite élargir la variation des paramètres à des intervalles plus larges que ceux considérés pour la modélisation pour connaître les valeurs qui pourraient nous aider à atteindre les résultats souhaités.

III - 2 - Mise en œuvre des plans d'expérience dans notre cas

Nous avons établi une liste des différents paramètres qui peuvent avoir une incidence sur le déroulement du nettoyage en place. Il existe un acronyme résumant ces différents paramètres, il s'agit de TACT : temps de contact, action mécanique, concentration, température. Il existe aussi quelques paramètres supplémentaires que nous pourrions ajouter. Nous avons tenté de faire une liste aussi exhaustive que possible en faisant la distinction entre les paramètres sur lesquels nous pouvons agir et ceux sur lesquels nous ne pouvons pas agir :

Tableau 12 Liste des paramètres qui peuvent influencer sur le nettoyage en place

Paramètre	Nous pouvons agir sur ce paramètre	Nous ne pouvons pas agir sur ce paramètre
Débit		x
Température		x
Concentration du détergent basique	x	
Concentration du détergent acide	x	
Volume de l'eau du rinçage intermédiaire		x
Volume de l'eau du rinçage final	x	

Chapitre 3 : Solution proposée

Titre hydrotimétrique de l'eau (TH) ou dureté de l'eau.		x
Qualité des poudres de reconstitution		x
Nombre de produits traités ou d'heure de production		x

Il ressort que nous pouvons uniquement agir sur 3 des paramètres qui peuvent influencer sur le nettoyage en place. L'étape suivante consiste à définir pour chaque paramètre un niveau haut et un niveau bas. Pour les détergents acides et caustiques, nous ne pouvons bien évidemment pas sortir des préconisations des fournisseurs (cela pourrait avoir des conséquences dramatiques sur la production) qui sont une concentration comprise entre 1.5% et 2% pour la soude et une concentration comprise entre 1% et 1.5% pour l'acide. Toutefois, si les résultats démontrent qu'il serait préférable d'utiliser une concentration en dehors de ces intervalles, les décideurs pourront toujours consulter les fournisseurs pour savoir s'il peut y avoir un changement de concentrations. Quelques précautions supplémentaires ont été prises même si nous savons que rester dans les intervalles préconisés par le fournisseur ne présente aucun risque. Ainsi, pour éviter les dangers, il a été préférable de faire les essais durant la production des produits les moins encrassants, autrement dit ceux qui contiennent le moins de matières grasses et de sucres, à savoir soit Viva, le lait ½ écrémé et le lait silhouette. Etant donné que silhouette est moins produit que les autres, nous avons décidé de nous focaliser sur Viva et le lait ½ écrémé qui aux vitamines près sont le même produit sachant que les vitamines ne causent pas d'encrassement.

Le niveau haut du volume d'eau du rinçage final est déjà connu, il est de 4036 l. Pour déterminer le niveau bas, il nous faudra suivre plusieurs opérations de CIP et constater à partir de quel volume les indicateurs de propreté se stabilisent au niveau du logiciel de suivi des NEP. Le principal indicateur de propreté est la conductivité thermique qui doit être inférieure à 3 mS/m. Nous avons dans un premier temps constaté qu'à un volume de 3036 L, la conductivité thermique descendait en-dessous de ce seuil et se stabilisait jusqu'à la fin du rinçage final. Il faut ensuite tester le pH des eaux de rinçage à 3036 L pour s'assurer qu'il est neutre ce qui indique que toute trace du détergent et des dépôts transportés par ce dernier a été éliminée.

Chapitre 3 : Solution proposée

En sachant que nous avons 3 facteurs sur lesquels agir, nous savons que la réponse va s'écrire sous la forme suivante :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_{123}x_1x_2x_3$$

Où x_1, x_2, x_3 sont les différents paramètres, les a_i sont les effets des différents paramètres, les a_{ij} les interactions entre deux paramètres et les a_{ijk} l'interaction entre 3 paramètres.

Nous construisons ce petit tableau pour les niveaux hauts et bas des différents paramètres.

Tableau 13 Tableau des niveaux hauts et bas pour les différents paramètres

Paramètre	Niveau haut	Niveau bas
Concentration du détergent acide	1%	1.5%
Concentration du détergent caustique	1.5%	2%
Volume d'eau du rinçage final	3036 L	4036 L

En écrivant les niveaux hauts et bas sous la forme d'unités codées ou variables centrées réduites et en prenant en compte toutes les possibilités qui sont au nombre de $2^3 = 8$ (car nous avons 3 paramètres et 2 niveaux pour chaque paramètre), nous obtenons le tableau suivant, sachant que les réponses choisies sont le temps et le coût du nettoyage :

Tableau 14 Niveaux des paramètres pour les différents essais

Numéro de l'essai	Concentration de l'acide	Concentration de la soude	Volume d'eau du rinçage final	Réponse : temps du nettoyage
Essai n°1	-1	-1	-1	
Essai n°2	+1	-1	-1	
Essai n°3	-1	+1	-1	
Essai n°4	+1	+1	-1	
Essai n°5	-1	-1	+1	
Essai n°6	+1	-1	+1	
Essai n°7	-1	+1	+1	

Chapitre 3 : Solution proposée

Essai n°8	+1	+1	+1	
-----------	----	----	----	--

Notre réponse va alors s'écrire comme suit :

$$y_{Temps} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{23}x_2x_3 + a_{13}x_1x_3 + a_{123}x_1x_2x_3$$

Les différents coefficients a sont les inconnus de l'expression précédente, pour trouver leurs valeurs, il faut mesurer les réponses soit les valeurs $y_{temps1}, y_{temps2}, y_{temps3}, y_{temps4}, y_{temps5}, y_{temps6}, y_{temps7}, y_{temps8}$. Après cela, il faudra résoudre le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} a_0 - a_1 - a_2 - a_3 + a_{12} + a_{13} + a_{23} - a_{123} = y_{temps1} \\ a_0 + a_1 - a_2 - a_3 - a_{12} - a_{13} + a_{23} + a_{123} = y_{temps2} \\ a_0 - a_1 + a_2 - a_3 - a_{12} + a_{13} - a_{23} + a_{123} = y_{temps3} \\ a_0 + a_1 + a_2 - a_3 + a_{12} - a_{13} - a_{23} - a_{123} = y_{temps4} \\ a_0 - a_1 - a_2 + a_3 + a_{12} - a_{13} - a_{23} + a_{123} = y_{temps5} \\ a_0 + a_1 - a_2 + a_3 - a_{12} + a_{13} - a_{23} - a_{123} = y_{temps6} \\ a_0 - a_1 + a_2 + a_3 - a_{12} - a_{13} + a_{23} - a_{123} = y_{temps7} \\ a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_{12} + a_{13} + a_{23} + a_{123} = y_{temps8} \end{cases}$$

Cependant, pour pouvoir réduire le volume de façon effective à 3000 L, il faut faire de nombreux tests de pH sur l'eau de rinçage. Toutefois, le laboratoire de contrôle qualité a jugé que le nombre de tests effectués a été insuffisant pour pouvoir faire des tests où le volume serait réduit. Nous allons donc nous focaliser sur les concentrations des détergents et construire de là le tableau suivant :

Tableau 15 Niveaux des paramètres pour les 4 essais

Numéro de l'essai	Concentration de l'acide	Concentration de la soude	Réponse : Temps du nettoyage (en mn)
N°1	-1	-1	
N°2	+1	-1	
N°3	-1	+1	
N°4	+1	+1	

Chapitre 3 : Solution proposée

Les contraintes de temps ont fait qu'il n'a pas été possible de faire des expériences de contrôle (beaucoup de nettoyage ont lieu à des heures très tardives ou très tôt le matin en plus du fait que certains ont lieu durant le week-end ou sur d'autres types de produits que ceux auxquels nous nous sommes intéressés). Toutefois, si nous avions eu assez de temps, nous en aurions fait deux au centre du domaine expérimental, autrement dit pour une concentration de l'acide à 1.25 et une concentration de la soude à 1.75. En variables centrées réduites, il s'agit des points de coordonnées (0,0). On aurait alors exprimé cela comme suit :

Tableau 16 Essais de contrôle pour 4 paramètres

N° de l'essai	Concentration du détergent basique	Concentration du détergent acide	Réponse « temps de nettoyage »
Essai n°1	0	0	
Essai n°2	0	0	

Dans ce cas, notre réponse va s'écrire comme suit :

$$y_{temps} = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{12}x_1x_2$$

Par ailleurs et compte tenu de notre plan d'expériences qui ne contient que peu de facteurs, il est inutile de nous intéresser au degré d'influence des facteurs.

Méthode adoptée pour le suivi des résultats

Le fournisseur donne un code à 3 ou 2 chiffres pour identifier chaque étape du CIP, un nom abrégé pour chaque étape ainsi que l'unité de mesure utilisée pour cette dernière. Par exemple, le dosage de la soude porte le code 113 (nom abrégé CAUSTIC DOS.) et est mesuré en volume, la circulation de la soude porte le code 53 (nom abrégé CAUSTIC CIRC.) et est mesurée en temps et le rinçage final porte le code 62 (nom abrégé RINSING) et est mesuré en volume. Pour obtenir le temps du nettoyage en place, il nous suffit d'enclencher le chronomètre entre l'étape 51 qui correspond au remplissage du bac de détergent (bac contenant un volume donné d'eau dans lequel sera par la suite dilué un volume donné de détergent caustique ou acide pour obtenir la concentration souhaitée) et de l'arrêter à l'étape 62 qui correspond au rinçage final. On peut également s'appuyer sur l'historique du logiciel de suivi qui nous donne de façon précise la date de début et de fin. Nous nous sommes intéressés à un type particulier de nettoyage en place pour un même produit et un même équipement (le stérilisateur de 26000 l/h

Chapitre 3 : Solution proposée

qui n'est pas relié à la station centrale et possède ses propres pompes pour les détergents) : le NIA ou nettoyage intermédiaire aseptique car il pénalise fortement la production.

Les résultats des tests nous permettent d'écrire le système d'équations suivant pour la réponse « temps de nettoyage » pour le NIA :

$$\begin{cases} 64.11 = a_0 - a_1 - a_2 + a_{12} \\ 60.28 = a_0 + a_1 - a_2 - a_{12} \\ 64.53 = a_0 - a_1 + a_2 - a_{12} \\ 62 = a_0 + a_1 + a_2 + a_{12} \end{cases}$$

En écrivant ce système sous forme matricielle, nous avons :

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 64.11 \\ 60.28 \\ 64.53 \\ 62 \end{pmatrix}$$

Ce qui équivaut à :

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 64.11 \\ 60.28 \\ 64.53 \\ 62 \end{pmatrix}$$

La résolution de ce système d'équations nous donne les résultats suivants :

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \\ -1/4 & 1/4 & -1/4 & 1/4 \\ -1/4 & -1/4 & 1/4 & 1/4 \\ 1/4 & -1/4 & -1/4 & 1/4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 64.11 \\ 60.28 \\ 64.53 \\ 62 \end{pmatrix}$$

Et donc :

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_{12} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 62.73 \\ -1.59 \\ 0.535 \\ 0.325 \end{pmatrix}$$

Finalement, notre réponse s'exprime en fonction des facteurs de la façon suivante :

$$y_{\text{temps}} = 62.73 - 1.59x_1 + 0.535x_2 + 0.325x_1x_2$$

Calcul du coefficient de détermination

Pour calculer le coefficient de détermination, nous nous servons du tableur Excel et des fonctions Moyenne et Somme.

Nous constatons de prime abord que les réponses calculées sont exactement les mêmes que les réponses mesurées et que donc, bien évidemment, les moyennes sont les mêmes.

A	B	C	D
Calcul du coefficient de détermination		Réponses calculées	Réponses mesurées
		64,11	64,11
		60,28	60,28
		64,53	64,53
		62	62
		62,73	62,73

Figure 16 Capture d'écran d'Excel pour le calcul du coefficient de détermination

Notre coefficient R^2 est donc égal 1 ce qui démontre que notre modèle mathématique est bien représentatif du phénomène étudié.

III - 2 - a - Interprétation des résultats à l'aide de JMP et du questionnaire de scénarios d'Excel:

Les résultats obtenus semblent fort incohérents. Ce qui fait la différence entre les différents temps de nettoyage lors du changement des concentrations, c'est le temps de remplissage des détergents acides et basiques qui seront par la suite dosés dans un volume donné d'eau. Tous les autres paramètres demeurent inchangés car ayant été préalablement fixés au niveau de l'automate programmable de la machine. Nous en déduisons donc que les valeurs minimales devraient être obtenues pour des concentrations de -1 et -1 (ou 1.5% pour la soude et 1% pour l'acide) car il est évident qu'il faut moins de temps pour remplir une quarantaine de litres que pour remplir une soixantaine de litres. Nous rappelons que notre but était d'exprimer le temps de nettoyage en fonction des concentrations pour pouvoir évaluer les temps si nous sortions des valeurs fixés par le fournisseur pour voir s'il y a possibilité d'obtenir un temps plus faible

Chapitre 3 : Solution proposée

avec d'autres concentrations. L'entreprise pourrait alors en parler à Tetra Pak pour faire une étude poussée sur les effets des concentrations situées en dehors de ces limites. Cependant, ces plans d'expériences ont révélé un problème sous-jacent dont il est important de tenir compte et qui a potentiellement impacté ces résultats : le fonctionnement des pompes qui aspirent les détergents est fortement irrégulier. Ainsi, il arrive qu'une pompe mette plus de temps à aspirer 40 l de détergent qu'elle n'en met à aspirer 60 l. Nous émettons de ce fait deux hypothèses, l'une étant fort probable et l'autre étant peu probable. Il aurait été approprié de faire un test d'hypothèse si le temps nous avait permis de faire suffisamment de tests pour faire une moyenne de ces derniers. Nous allons simplement donner les énoncés de ces hypothèses et ce qu'il convient de faire dans chaque cas :

Possibilité 1 : Possibilité fort probable

Ces résultats ne sont en effet pas cohérents et la pompe est en grande partie à tenir pour responsable de la variabilité des temps de nettoyage. Nombreux sont les opérateurs et chefs d'équipe qui nous ont justement fait part d'un problème récurrent au niveau du fonctionnement de cette pompe ce qui engendre de grands écarts sur les temps de nettoyage même lorsque les paramètres sont normaux. Il conviendrait dans ce cas d'investir dans des pompes neuves, plus performantes et ayant un fonctionnement plus régulier. Par la suite, ces mêmes tests pourraient être effectués en incluant si possible un plus grand nombre de paramètres et ils seraient plus exploitables si la régularité des pompes est assurée. Il est en effet important de s'assurer que les paramètres qui ne sont pas inclus dans les plans d'expérience sont maintenus à des niveaux fixes pour toutes les expériences si on veut que les résultats soient concluants.

Possibilité 2 : Possibilité peu probable

Ces résultats sont parfaitement cohérents et pour une raison inconnue, des concentrations moins élevées engendrent parfois des temps de nettoyage plus grands. Nous allons donc nous aider de JMP pour connaître les effets des changements de concentrations et du générateur de scénarios d'Excel pour interpréter les résultats.

Nous entrons d'abord les paramètres dans JMP :

Chapitre 3 : Solution proposée

Configuration	Concentration de l'acide	Concentration de la soude	Y
1 --	0,01	0,015	64,11
2 -+	0,01	0,02	60,28
3 +-	0,015	0,015	64,53
4 ++	0,015	0,02	62

Figure 18 Réglage des paramètres dans JMP

Voici les diagrammes que nous fournit JMP :

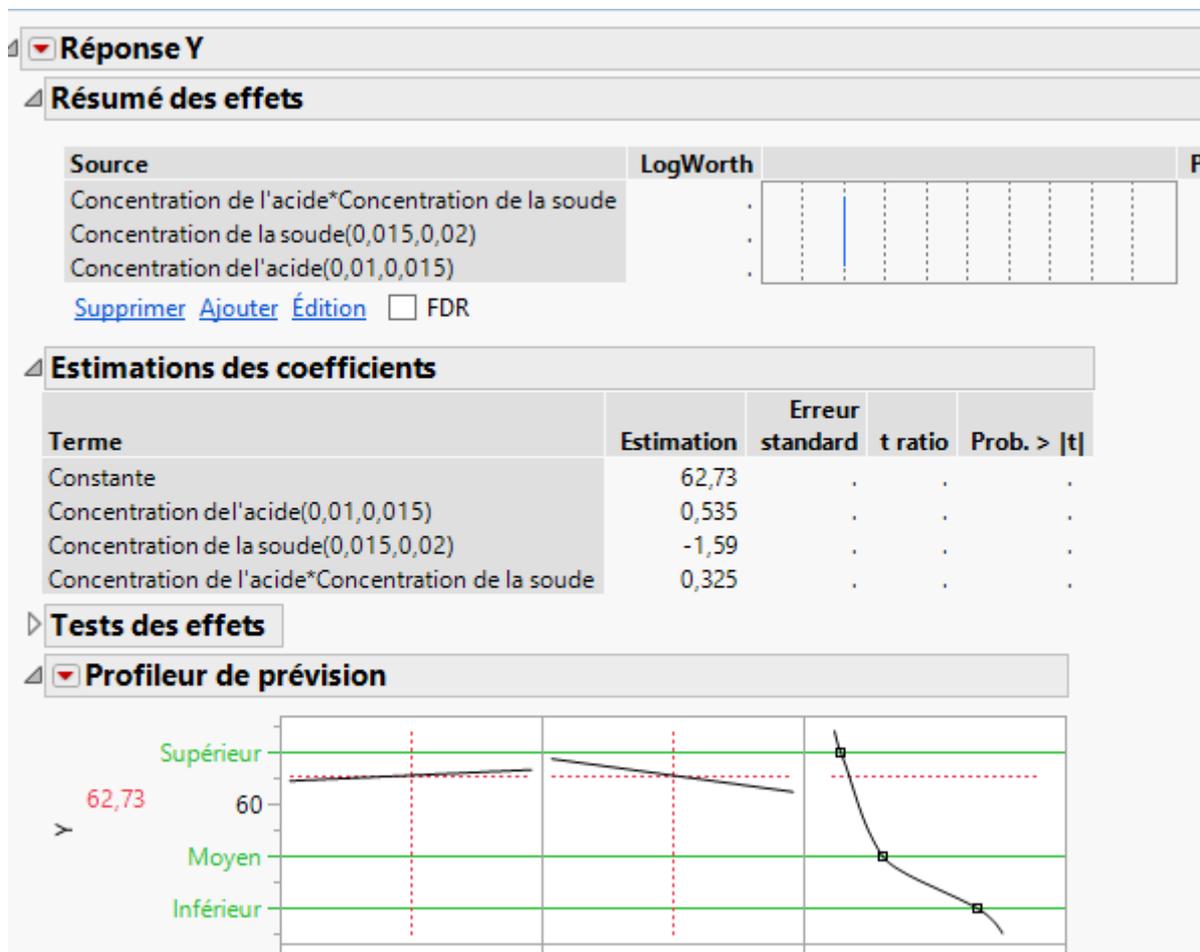


Figure 17 Diagramme des effets par JMP

JMP nous calcule les coefficients de notre modèle. Il nous propose également de calculer la variance pour les différents termes et d'effectuer un test de Student mais nous nous passons de cette fonctionnalité en raison du peu de coefficients de notre modèle. Il nous donne également

Chapitre 3 : Solution proposée

des diagrammes des effets qui démontrent comment varie la réponse en fonction des variations des facteurs. Nous voyons aussi un diagramme de désirabilité de la réponse.

Nous formulons maintenant plusieurs hypothèses concernant les variations de nos paramètres. Nous rappelons que nous utilisons des variables centrées réduites pour que les résultats soit exacts. Toutefois, pour les différents scénarios, nous allons également donner les équivalents en unités réelles.

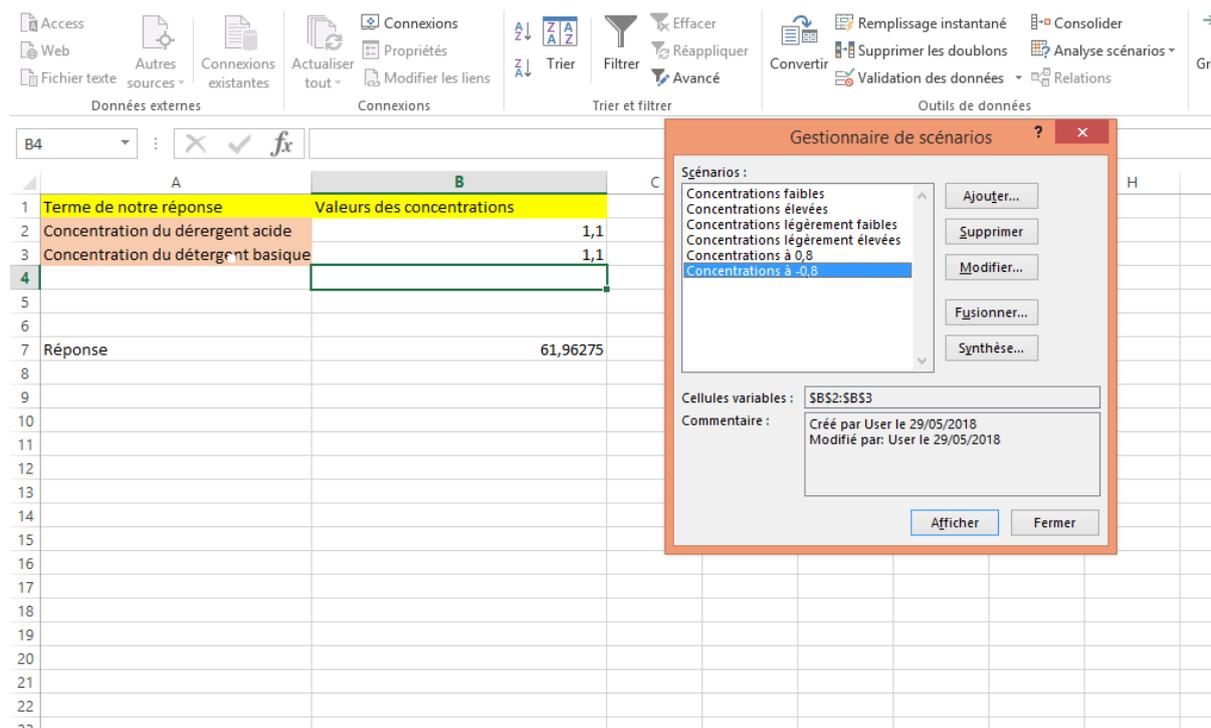


Figure 19 réglage des paramètres dans le gestionnaire de scénarios d'Excel

- Scénario 1 : nous l'avons appelé « **concentrations faibles** », les concentrations sont à -1.2. En unités réelles, cela nous donne 0.95% pour l'acide et 1.45% pour la soude.
- Scénario 2 : nous l'avons appelé « **concentrations élevées** », les concentrations sont à 1.2 pour l'acide et la soude. En unités réelles, cela nous donne 1.55% pour l'acide et 2.05 % pour la soude.
- Scénario 3 : nous l'avons appelé « **concentrations légèrement faibles** », les concentrations sont à -1.1 ce qui nous donne 0.975% pour l'acide et 1.475% pour la soude.
- Scénario 4 : nous l'avons appelé « **concentrations légèrement élevées** », les concentrations sont à 1.1 ce qui nous donne 1.525% pour l'acide et 2.025% pour la soude.

Chapitre 3 : Solution proposée

- Scénario 5 : nous l'avons appelé « **concentrations à 0.8** » ce qui nous donne 1.45% pour l'acide et 1.95% pour la soude.
- Scénario 6 : nous l'avons appelé « **concentrations à -0.8** » ce qui nous donne 1.05% pour l'acide et 1.55% pour la soude.

Nous pouvons construire autant de scénarios qu'on le souhaite. Les résultats obtenus grâce au gestionnaire des scénarios sont les suivants :

Synthèse de scénarios							
	Valeurs actuelles :	Concentrations faibles	Concentrations élevées	Concentrations légèrement faibles	Concentrations légèrement élevées	Concentrations à 0,8	Concentrations à -0,8
Cellules variables :							
\$B\$2	1	-1,2	1,2	-1,1	1,1	0,8	-0,8
\$B\$3	1	-1,2	1,2	-1,1	1,1	0,8	-0,8
Cellules résultantes:	62	64,464	61,932	64,283	61,962	62,094	63,782
\$B\$12							

La colonne Valeurs actuelles affiche les valeurs des cellules variables au moment de la création du rapport de synthèse. Les cellules variables de chaque scénario se situent dans les colonnes grisées.

Figure 20 Synthèse des scénarios construits à l'aide du gestionnaire de scénarios d'Excel

Face à l'insatisfaction de la direction de la production à la vue de ses résultats, il a été nécessaire d'opérer un changement de stratégie. Les résultats précédents nous ont permis de noter les remarques suivantes :

- La pompe est très irrégulière et il est donc important de tenir compte de cette irrégularité pour le calcul des temps de nettoyage ou de trouver une méthode de calcul des temps de nettoyage qui nous permettrait de ne pas prendre en compte les temps qui ne rentrent pas vraiment dans le temps de nettoyage.
- Les concentrations n'ont qu'un impact très modéré sur les temps de nettoyage et il est donc important d'ajouter le volume afin que la différence se ressente au niveau du temps de nettoyage.

III - 2 - b - Seconde modélisation

Cette fois-ci, nous avons décidé de procéder à un calcul plus minutieux des temps de nettoyage sans prendre en compte les temps d'attente. Nous allons calculer les temps phase par phase et en nous arrêtant à chaque attente qui ne devrait pas faire partie du temps de nettoyage. Nous avons également décidé de ne pas réduire le volume de rinçage de façon effective mais de procéder à chaque fois à une mesure du pH à 1000 l avant la fin du nettoyage tout en relevant le temps lorsqu'il reste 1000 l. Nous rappelons que les niveaux hauts et bas des différents facteurs sont de 1% et 1.5% pour l'acide, 1.5% et 2% pour la soude et 3036 et 4036 pour le

Chapitre 3 : Solution proposée

volume d'eau du rinçage final. Nous reprenons le tout premier modèle avec 8 inconnus. Encore une fois, l'analyse de la variance pour les facteurs nous semble inutile car nous n'en avons que 3. Nous n'avons pas non plus fait d'expériences de contrôle qui nous auraient servi à calculer l'erreur expérimentale par manque de temps. Si nous avions souhaité les faire, nous en aurions fait 4 au centre du domaine, autrement dit pour une concentration de 1.25% pour l'acide, 1.75% pour la soude et un volume du rinçage final de 3536 l. Voici un tableau montrant ces différentes expériences de contrôle :

Tableau 17 Expériences de contrôle telles qu'elle auraient pu avoir lieu

N° de l'essai	Concentration de l'acide	Concentration du détergent basique	Réponse
1	0	0	$y_{contrôle1}$
2	0	0	$y_{contrôle2}$
3	0	0	$y_{contrôle3}$
4	0	0	$y_{contrôle4}$

Nous aurions ensuite calculé la moyenne qui est donnée par

$$\bar{y} = \frac{1}{4}(y_{contrôle1} + y_{contrôle2} + y_{contrôle3} + y_{contrôle4})$$

Nous aurions par la suite calculé l'écart-type à l'aide de la relation suivante :

$$\sigma = \frac{1}{3}\sqrt{(y_{contrôle1} - \bar{y})^2 + (y_{contrôle2} - \bar{y})^2 + (y_{contrôle3} - \bar{y})^2 + (y_{contrôle4} - \bar{y})^2}$$

En nous fixant une probabilité de 95% et en nous référant au tableau précédent (partie notions de statistiques appliquées aux plans d'expériences), nous aurions eu 95% de chance que l'intervalle $y_{tempsti} + 3.18\sigma$ comprenne la moyenne des réponses.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Chapitre 3 : Solution proposée

Tableau 18 Temps obtenus pour la seconde série d'essais

Concentration de l'acide	Concentration de la soude	Volume de l'eau	pH	Temps de nettoyage (en minutes)
-1	-1	-1	6.80	52.7
+1	-1	-1	6.76	55.2
-1	+1	-1	6.30	54.36
+1	+1	-1	6.70	56.86
-1	-1	+1	6.86	54
+1	-1	+1	6.85	56.5
-1	+1	+1	6.67	55.66
+1	+1	+1	6.93	58.16

Calcul du coefficient de détermination

Nous obtenons donc le système d'équations linéaires suivant :

$$\begin{cases} a_0 - a_1 - a_2 - a_3 + a_{12} + a_{13} + a_{23} - a_{123} = 52.7 \\ a_0 + a_1 - a_2 - a_3 - a_{12} - a_{13} + a_{23} + a_{123} = 55.2 \\ a_0 - a_1 + a_2 - a_3 - a_{12} + a_{13} - a_{23} + a_{123} = 54.36 \\ a_0 + a_1 + a_2 - a_3 + a_{12} - a_{13} - a_{23} - a_{123} = 56.86 \\ a_0 - a_1 - a_2 + a_3 + a_{12} - a_{13} - a_{23} + a_{123} = 54 \\ a_0 + a_1 - a_2 + a_3 - a_{12} + a_{13} - a_{23} - a_{123} = 56.5 \\ a_0 - a_1 + a_2 + a_3 - a_{12} - a_{13} + a_{23} - a_{123} = 55.66 \\ a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_{12} + a_{13} + a_{23} + a_{123} = 58.16 \end{cases}$$

En écrivant ces équations sous forme matricielle, nous avons :

$$\begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ 1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ 1 & +1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ 1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 \\ 1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{23} \\ a_{123} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 52.7 \\ 55.2 \\ 54.36 \\ 56.86 \\ 54 \\ 56.5 \\ 55.66 \\ 58.16 \end{pmatrix}$$

Chapitre 3 : Solution proposée

Pour trouver les coefficients inconnus, il nous suffit simplement d'inverser la matrice précédente :

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{23} \\ a_{123} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ 1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ 1 & +1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ 1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 \\ 1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 52.7 \\ 55.2 \\ 54.36 \\ 56.86 \\ 54 \\ 56.5 \\ 55.66 \\ 58.16 \end{pmatrix}$$

Ce qui nous donne :

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{23} \\ a_{123} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 \\ -1/8 & 1/8 & -1/8 & 1/8 & -1/8 & 1/8 & -1/8 & 1/8 \\ -1/8 & -1/8 & 1/8 & 1/8 & -1/8 & -1/8 & 1/8 & 1/8 \\ -1/8 & -1/8 & -1/8 & -1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 & 1/8 \\ 1/8 & -1/8 & -1/8 & 1/8 & 1/8 & -1/8 & -1/8 & 1/8 \\ 1/8 & -1/8 & 1/8 & -1/8 & -1/8 & 1/8 & -1/8 & 1/8 \\ 1/8 & 1/8 & -1/8 & -1/8 & -1/8 & -1/8 & 1/8 & 1/8 \\ -1/8 & 1/8 & 1/8 & -1/8 & 1/8 & -1/8 & -1/8 & 1/8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 52.7 \\ 55.2 \\ 54.36 \\ 56.86 \\ 54 \\ 56.5 \\ 55.66 \\ 58.16 \end{pmatrix}$$

Nous obtenons finalement les résultats suivants :

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_{12} \\ a_{13} \\ a_{23} \\ a_{123} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 55.43 \\ 1.25 \\ 0.83 \\ 0.65 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Nous constatons que la formule du temps ne comprend pas les interactions entre les paramètres ce qui est tout à fait logique car nous savons que chaque facteur agit indépendamment des autres. La réponse temps s'écrit donc :

$$y_{temps} = 55.43 + 1.25x_1 + 0.83x_2 + 0.65x_3$$

Calcul du coefficient de détermination

Comme précédemment, les valeurs calculées à l'aide de notre modèle mathématique sont exactement les mêmes que les valeurs mesurées expérimentalement ce qui signifie que notre modèle mathématique est bien précis.

A	B	C	D
Calcul du coefficient de détermination		Réponses calculées	Réponses mesurées
		52,7	52,7
		55,2	55,2
		54,36	54,36
		56,86	56,86
		54	54
		56,5	56,5
		55,66	55,66
		58,16	58,16
		55,43	55,43

Figure 21 capture d'écran d'Excel pour le calcul du coefficient de détermination

III - 2 - c - Interprétation des résultats à l'aide d'Excel et de JMP :

De façon similaire qu'avec le premier modèle, nous commençons par entrer les paramètres de notre problème dans JMP comme suit :

The screenshot shows the JMP software interface with a 2x2x2 factorial design table. The table has 8 rows and 5 columns. The columns are labeled 'Configuration', 'X1', 'X2', 'X3', and 'Temps de nettoyage'. The rows represent different configurations of the factors X1, X2, and X3. The 'Temps de nettoyage' column shows the response values for each configuration.

	Configuration	X1	X2	X3	Temps de nettoyage
1	111	0.01	0.015	3036	52,7
2	211	0.015	0.015	3036	55,2
3	121	0.01	0.02	3036	54,36
4	221	0.015	0.02	3036	56,86
5	112	0.01	0.015	4036	54
6	212	0.015	0.015	4036	56,5
7	122	0.01	0.02	4036	55,66
8	222	0.015	0.02	4036	58,16

Figure 22 Réglage des paramètres du problèmes dans JMP

JMP nous donne donc les coefficients de notre modèle et nous propose également de faire une étude de variance des différents coefficients pour savoir si oui ou non ils sont influents mais comme tout à l'heure, nous n'avons que peu de coefficients et nous tenons à tous les garder aussi petite soit leur influence.

En bas, JMP nous donne les diagrammes des effets. Nous pouvons voir que la réponse augmente avec l'augmentation de chacun des coefficients et que la désirabilité de la solution baisse avec l'augmentation des coefficients. JMP nous a demandé au tout début si nous

Chapitre 3 : Solution proposée

souhaitions minimiser ou maximiser la réponse et nous avons spécifié que nous souhaitions la minimiser d'où la baisse de la désirabilité de la solution avec l'augmentation des coefficients.

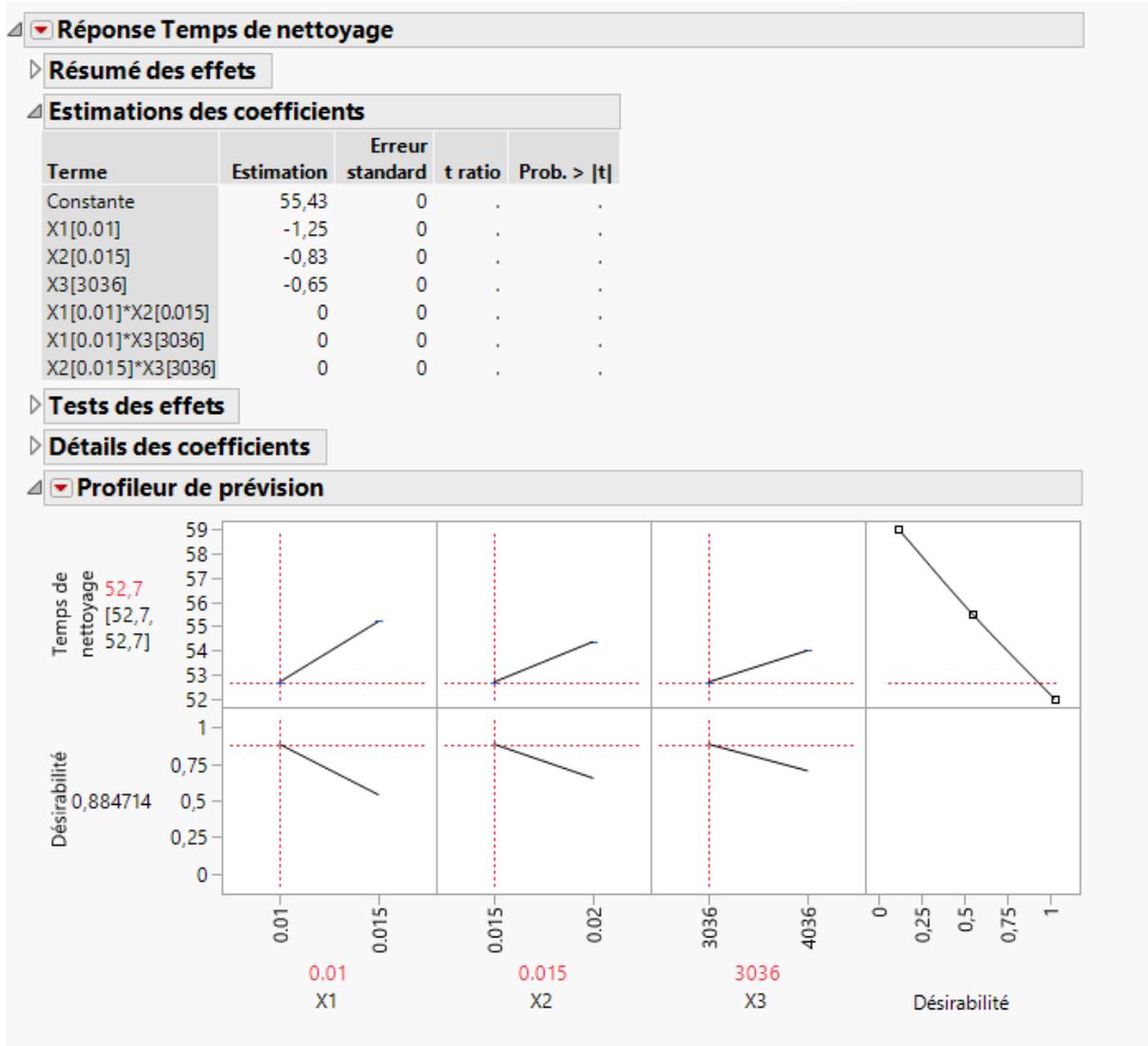


Figure 23 Diagrammes des effets des facteurs et de la désirabilité de la réponse par JMP

De la même façon que précédemment, nous allons faire des simulations de scénarios pour différentes valeurs des concentrations de détergents et du volume d'eau. Voici donc les différents scénarios ainsi que les valeurs des temps de nettoyage obtenus pour chacun d'entre eux :

Chapitre 3 : Solution proposée

Nous donnons la signification des différents scénarios ainsi que les niveaux des différents facteurs pour chacun d'entre eux :

Synthèse de scénarios							
	Valeurs actuelles :	Facteurs à 0,5	Facteurs à -0,5	Facteurs élevés	Facteurs faibles	les facteurs actuels	oches des facteurs minimaux
Cellules variables :							
\$B\$2	1	0,5	-0,5	1,2	-1,2	0,8	-0,8
\$B\$3	1	0,5	-0,5	1,2	-1,2	0,8	-0,8
\$B\$4	1	0,5	-0,5	1,2	-1,2	0,8	-0,8
Cellules résultantes :							
\$B\$7	58,16	56,795	54,065	58,706	52,154	57,614	53,246

Figure 24 Synthèse des scénarios pour différents facteurs

- **Facteurs à 0.5 :** pour ce scénario, tous les paramètres sont fixés à 0.5. Les équivalents en variables réelles sont 1.375% pour l'acide, 1.875% pour la soude et 3786 l pour le volume d'eau du rinçage final.
- **Facteurs à -0.5 :** pour ce scénario, tous les paramètres sont fixés à -0.5 ce qui correspond à des valeurs de 1.125% pour la concentration de l'acide, 1.625% pour la concentration de la soude et 3286 l pour le volume d'eau du rinçage final.
- **Facteurs élevés :** pour ce scénario, tous les paramètres sont fixés à 1.2 ce qui correspond une concentration de 1.55% pour l'acide, 2.05% pour la soude et un 4136 l pour le volume d'eau du rinçage final.
- **Facteurs faibles :** pour ce scénario, tous les paramètres sont fixés à -1.2 ce qui nous donne une concentration de 0.95% pour l'acide, 1.45% pour la soude et un 2936 l pour le volume d'eau du rinçage final.
- **Paramètres proches des facteurs actuels :** pour ce scénario, tous les paramètres sont fixés à 0.8 ce qui correspond à une concentration de 1.45% pour l'acide, à une concentration de 1.95% pour la soude et à 3936 l pour le volume d'eau du rinçage final.
- **Paramètres proches des facteurs minimaux:** pour ce scénario, tous les facteurs sont fixés à -0.8 ce qui correspond à une concentration de 1.05% pour l'acide, une concentration de 1.55% pour la soude et 3136 l pour le volume d'eau du rinçage final.

Nous pouvons constater que si on souhaite se conformer aux préconisations du fournisseur, le temps de nettoyage minimal (52.7 minutes) est obtenu pour une concentration de 1% pour l'acide et 1.5% pour la soude et un volume de 3036 l et ce, si on souhaite rester vraiment à la limite des préconisations. Si on souhaite s'accorder une marge un peu plus grande par rapport à ces préconisations, on peut obtenir un temps de nettoyage de 53.246 minutes pour une concentration de 1.55% pour la soude, une concentration de 1.05% pour l'acide et un volume d'eau de 3136 l pour le rinçage final. Si on souhaite sortir des préconisations du fournisseur,

Chapitre 3 : Solution proposée

nous pouvons obtenir un temps de nettoyage de 52.154 minutes pour une concentration de l'acide à 0.95%, une concentration de la soude à 1.45% et un volume d'eau du rinçage final à 2936 l.

Toutefois, aucune des valeurs de ces différents scénarios ne satisfait l'objectif de la direction de la production qui est d'atteindre un temps de nettoyage de 50 minutes pour le NIA. Nous allons donc aborder les choses sous un autre angle, nous allons nous servir du solveur d'Excel pour chercher des valeurs qui satisfont cette valeur cible. La direction de la production veut bien baisser la concentration du détergent acide jusqu'à 0.5% ce qui correspond à une valeur centrée réduite de -3. Par contre, le détergent caustique devra rester entre -1 et 1 et il en va de même pour le volume d'eau du rinçage final. Cela s'explique par le puissant effet de la soude sur les souillures organiques. Le détergent acide n'est utilisé que pour éliminer les traces du détergent basique et les résidus minéraux qui sont toutefois assez rares et sachant de plus que 4036 l ont déjà été utilisés lors du rinçage intermédiaire pour éliminer les traces de la soude, il semble peu risqué de faire baisser la concentration du détergent acide.

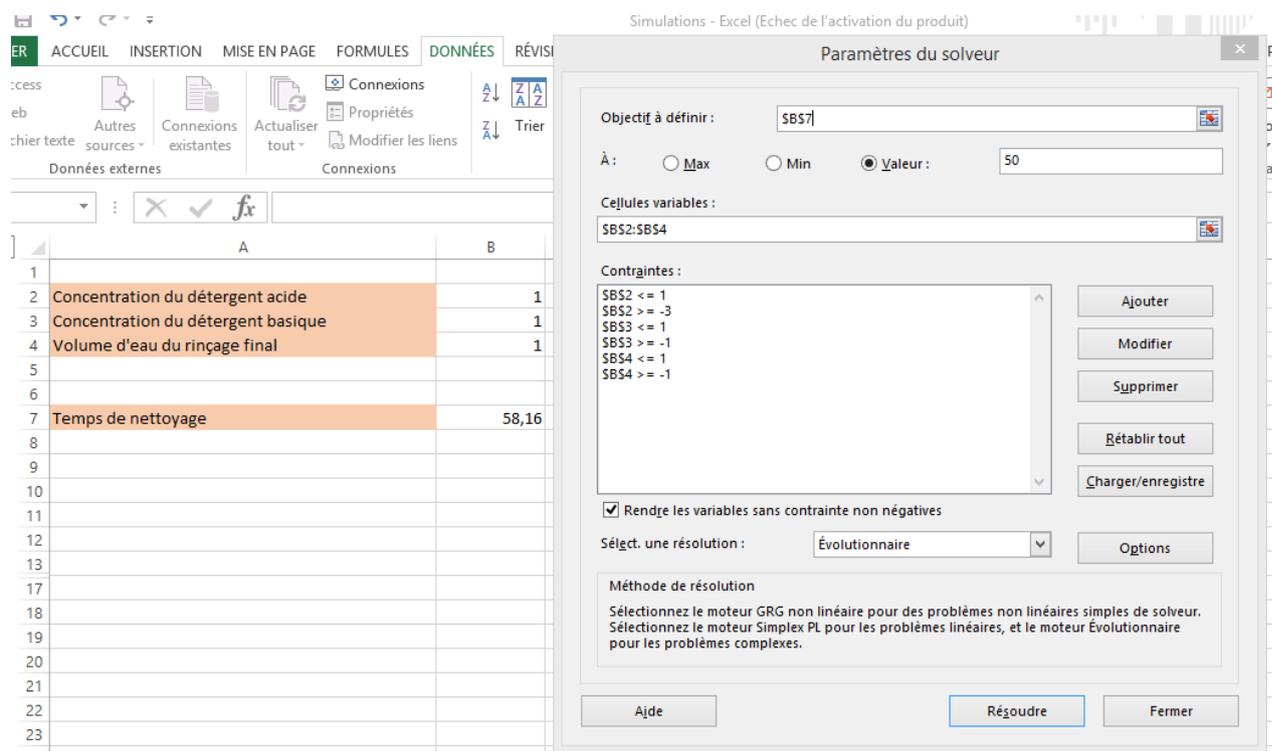


Figure 25 capture d'écran des paramètres du solveur d'Excel

Comme nous pouvons le voir dans l'image ci-dessus, la concentration de la soude et le volume d'eau du rinçage final sont compris entre -1 et +1 tandis que la concentration de l'acide est comprise entre -3 et 1.

Chapitre 3 : Solution proposée

Nous savons sélectionné l'algorithme évolutionnaire car étant une métaheuristique qui cherche parmi une population de solutions celle qui est la meilleure, il nous a paru plus approprié au problème. Les résultats obtenus sont les suivants :

Cellule objectif (Valeur)

Cellule	Nom	Valeur initiale	Valeur finale
\$B\$7	Temps de nettoyage	58,16	50,23744098

Cellules variables

Cellule	Nom	Valeur initiale	Valeur finale	Entier
\$B\$2	Concentration du détergent acide	1	-2,995740545	Suite
\$B\$3	Concentration du détergent basique	1	-0,961305232	Suite
\$B\$4	Volume d'eau du rinçage final	1	-1	Suite

Contraintes

Cellule	Nom	Valeur de la cellule	Formule	État	Marge
\$B\$7	Temps de nettoyage	50,23744098	\$B\$7=50	Lié	0
\$B\$2	Concentration du détergent acide	-2,995740545	\$B\$2<=1	Non lié	3,995740545
\$B\$2	Concentration du détergent acide	-2,995740545	\$B\$2>=-3	Non lié	0,004259455
\$B\$3	Concentration du détergent basique	-0,961305232	\$B\$3<=1	Non lié	1,961305232
\$B\$3	Concentration du détergent basique	-0,961305232	\$B\$3>=-1	Non lié	0,038694768
\$B\$4	Volume d'eau du rinçage final	-1	\$B\$4<=1	Non lié	2
\$B\$4	Volume d'eau du rinçage final	-1	\$B\$4>=-1	Lié	0

Figure 26 Capture d'écran de la solution de l'algorithme évolutionnaire donnée par le solveur

La valeur cible peut être atteinte pour une concentration de 0.5% du détergent acide, une concentration de 1.51% de la soude et un volume d'eau du rinçage final de 3036 l.

III - 2 - d - Implications de cette solution

Tout d'abord nous devons noter que cette solution ne peut pas être directement mise en œuvre. Il faut d'abord la tester plusieurs fois, faire les tests de contrôle qualité adéquats et s'assurer qu'elle n'engendre aucun problème sur la production avant de la valider.

Un gain d'environ 8 minutes sur un NIA représente un gain de 160 minutes sur une semaine car il y a en moyenne 20 NIA par semaine. Sur un mois, cela représente un gain de près de 11 heures sur la production. Mais, au-delà du gain sur le temps de production, nous devons garder à l'esprit qu'un NIA a lieu lorsque le tank stérile est à son niveau haut et que pendant le temps du NIA, les conditionneuses soutirent de la matière semi-finie tandis que le tank stérile ne se remplit plus du fait que le stérilisateur U.H.T soit occupé. Pendant une heure, son niveau passe

d'environ 30000 l à 10000 l ce qui veut dire que le conditionnement s'arrête en attendant qu'il atteigne un niveau suffisant (il est relié à deux conditionneuses qui travaillent à un rythme moyen de 10000 l/h chacune ce qui veut dire qu'il faudrait qu'il atteigne 20000 l). Toutefois, si le NIA est suffisamment écourté pour le tank stérile soit à un niveau suffisant pour que le conditionnement ait lieu à la fin du NIA, cela voudrait dire que le conditionnement se fait sans interruption et donc que le NIA n'a plus d'impact sur les arrêts de la production. De plus, cette solution permettrait de réduire les consommations en détergents et en eau.

Remarque importante :

Notons que ces résultats ne sont valables que pour les produits qui causent peu d'encrassement, à savoir, le lait Viva, le lait ½ écrémé et le lait silhouette, ils ne peuvent en aucun cas être généralisés au lait entier, à Candy Chocolat ou aux produit Twist qui contiennent beaucoup plus de matières grasses et de sucre et qui ne peuvent se contenter de concentrations faibles des détergents pour un nettoyage efficace.

III - 3 - Conclusion

Même si nous aurions pu suivre plusieurs pistes différentes pour aboutir à une solution viable, nous nous sommes finalement dirigés vers la solution qui nous paraissait la plus risquée et la plus difficilement applicable et avons été plus ou moins satisfaits de voir qu'elle contentait la direction de la production. Nous étions assez réticents à son application mais l'entrain de la direction nous a encouragés à sauter le pas. Les PE nous ont permis en effet de trouver la représentation du temps de nettoyage et les paramètres qui permettent d'atteindre la valeur souhaitée du temps de nettoyage. Maintenant que nous avons une solution, nous pouvons potentiellement aider l'entreprise à passer au palier supérieur : avoir une longueur d'avance sur ses concurrents en mettant en place des solutions innovantes.

Chapitre IV : Présentation de solutions innovantes

IV - 1 - Introduction

Beaucoup d'entreprises préfèrent innover à partir de solutions conçues en interne. Il est pourtant démontré que les entreprises qui réussissent sont généralement celles qui restent ouvertes sur leur environnement et qui avancent dans une optique d'open innovation. L'acquisition de nouvelles technologies sera d'autant plus facile pour une entreprise qu'elle détient des compétences permettant de développer des technologies et qu'elle possède déjà des technologies avancées.

IV - 2 - Les différentes sources de ressources technologiques

IV - 2 - a - Les sources externes

Les équipements

Les équipements sont la source la plus simple d'innovation technologique. Ils donnent accès à des technologies performantes et parfois, l'achat d'équipements s'accompagne de formations délivrées par le fournisseur. Ce dernier étant spécialisé dans son domaine, les équipements qu'il développe sont susceptibles de faire appel à des technologies pointues (Corbel, 2009).

La rétro-ingénierie

La rétro-ingénierie consiste à déduire le fonctionnement d'un système en le décomposant. Le système en question peut-être mécanique, informatique ou chimique. La technique employée peut consister à démonter le système s'il est mécanique, à analyser ses entrées et sorties s'il est informatique ou à employer des techniques spécifiques s'il est chimique. La rétro-ingénierie peut poser des problèmes de propriété intellectuelle (Corbel, 2009).

L'achat de licences

Une nouvelle technologie peut faire l'objet d'un brevet et dans ce cas, l'acquisition d'une technologie se fait par le biais de l'achat d'une licence. Sa mise en œuvre peut être appuyée par l'organisme vendeur grâce à des formations ou le déploiement d'une équipe d'ingénieurs (Corbel, 2009).

L'échange de technologies

Au lieu que la contrepartie de l'échange de technologie soit monétaire, les entreprises peuvent décider de s'échanger des technologies. Cette pratique permet de résoudre des problèmes d'interdépendance entre les technologies (Corbel, 2009).

Benchmarking

Le Benchmarking est une analyse comparative par rapport aux leaders ou aux entreprises d'un secteur donné. Il consiste à mettre en application une technique observée chez les leaders tout en l'adaptant à son entreprise. Il est possible de réutiliser des méthodes, des modèles ou des modes d'organisation mises en œuvre chez d'autres entreprises. Il est utile pour cerner la stratégie des concurrents et comprendre l'origine de leurs performances. On distingue plusieurs catégories de benchmarking notamment le benchmarking fonctionnel qui consiste à s'inspirer de services et de départements extérieurs et le benchmarking compétitif visant à se comparer à des entreprises d'un même secteur (Wikipédia.org).

Les clients

Les clients peuvent représenter une source majeure d'innovation technologique et il est important pour l'entreprise de tenir compte de leurs opinions en collectant leurs feedbacks, en réalisant des enquêtes d'opinions ou encore en ayant recours au crowdsourcing via des blogs, forums ou plateformes spécifiques (wikipedia.org).

Fusions-acquisitions

Les grandes entreprises ont souvent recours à l'achat de plus petites entreprises dans le but d'acquérir des technologies innovantes auxquelles elles n'ont pas accès. Des grands groupes comme Cisco peuvent avoir intégré plus d'une centaine d'entreprises depuis leur création (Corbel, 2009).

IV - 2 - b - Les sources internes

Les sources internes sont matérialisées par le département recherche et développement de l'entreprise. Certaines structures sont toutefois plus favorables à l'innovation que d'autres.

Ainsi, la structure hypertexte qui a été proposée par Nokia et Takeuchi permet d'augmenter les chances d'aboutir à une innovation. Elle a été proposée comme alternative aux structures organiques et mécanistes. Elle consiste à superposer trois couches différentes, à savoir un niveau groupe de projet, un niveau système d'entreprise et un niveau base de connaissances pour cimenter les deux niveaux précédents.

IV - 3 - Sélection des projets d'innovation technologique

Souvent, les voies à suivre en matière d'innovation sont multiples tandis que les ressources de l'entreprise sont limitées d'où la nécessité pour l'entreprise de procéder à une sélection des projets d'innovation. Si certains projets font l'objet d'un rejet immédiat, d'autres au contraire doivent bénéficier d'une pré-étude technique, commerciale ou financière. Le processus de sélection des projets peut être modélisé par un entonnoir comme suit :

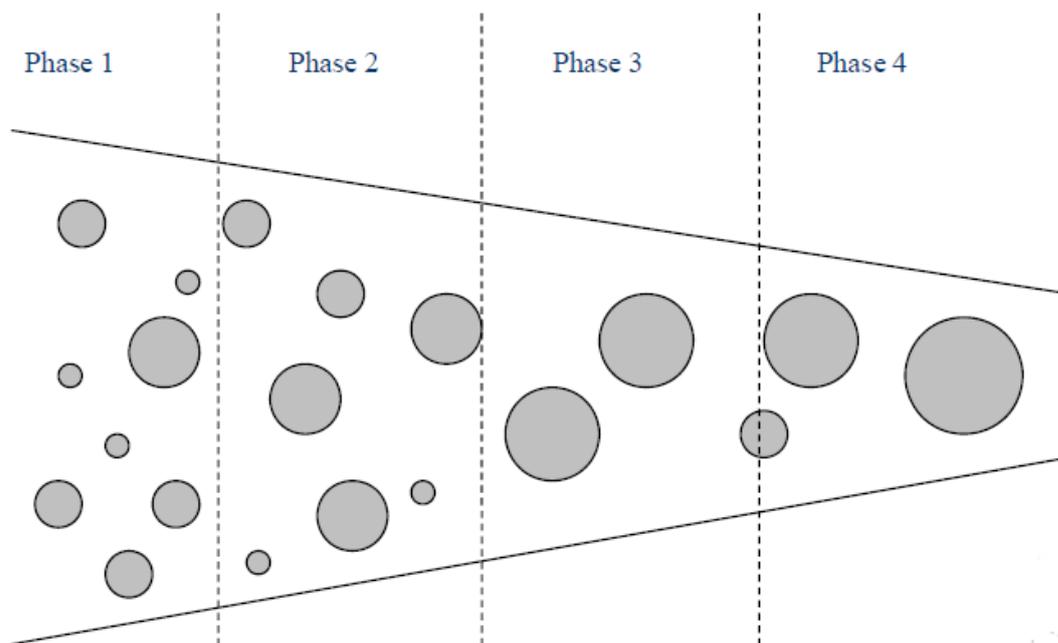


Figure 27 Modélisation en entonnoir des différentes phases de sélection d'un projet innovant (Corbel, 2009)

La sélection des projets innovants peut s'appuyer sur différents critères comme :

- Les bénéfices potentiels que l'on peut tirer de l'innovation.
- Le coût prévisionnel de l'innovation
- Les risques associés aux projets innovant
- L'adéquation avec la stratégie de l'entreprise.

L'évaluation de ces différents critères peut poser de nombreuses difficultés notamment à cause de l'apparition d'imprévus, c'est pourquoi, les entreprises tendent à nouer des partenariats et à adopter un système d'innovation plus ouvert.

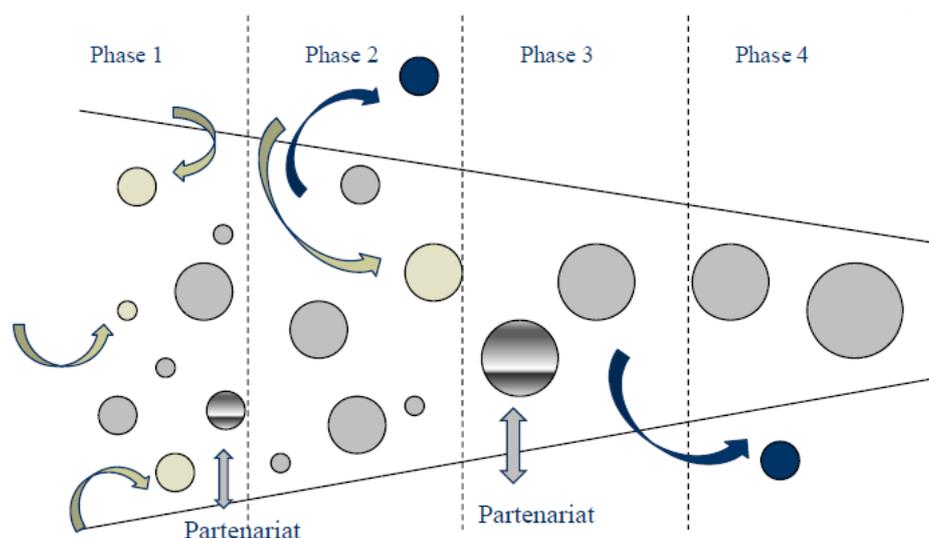


Figure 28 : Présentation de l'entonnoir de sélection de projets avec partenariats (Corbel, 2009)

IV - 4 - Quelques solutions innovantes pouvant s'appliquer à notre cas

Nous allons nous intéresser à quelques méthodes de nettoyage qui ont fait l'objet de brevets, à savoir le nettoyage à l'ozone (utilisé seulement pour la désinfection), le nettoyage enzymatique et le nettoyage en place segmenté. Nous allons nous intéresser aux spécifications techniques de ces deux méthodes telles que présentées dans les brevets déposés. Ces spécifications techniques permettront à l'entreprise de savoir si elle souhaite acquérir une licence d'exploitation. Par ailleurs, ces méthodes de nettoyage en place ne sont pour la plupart pas utilisables au niveau d'une plateforme de stérilisation en raison des températures élevées de cette dernière (les enzymes se dégradent à des températures élevées) et doivent donc s'appliquer aux appareils qui précèdent la partie stérile ou bien sur des produits pasteurisés tels que les jus qui sont produits au niveau de Béjaïa.

Notons que les innovations en matière de nettoyage en place ne sont pas très nombreuses et que nous nous sommes surtout concentrés sur celles postérieures à 2000.

IV - 4 - a - Le nettoyage enzymatique

Présentation

Le nettoyage enzymatique s'appuie sur l'utilisation d'enzymes tels que les protéases, les lipases ou encore les amylases (en fonction de la nature des souillures) qui peuvent être sous forme liquide ou de poudres. Ce type de nettoyage est particulièrement adapté aux objets à nettoyer qui possèdent des formes complexes et peut être utilisé à de faibles débits et en l'absence de chauffage. De plus, les enzymes agissant de façon spécifique sur les substrats, ils ne s'attaquent pas aux matériaux et les risques de corrosion sont de ce fait inexistant. Cette méthode de nettoyage convient particulièrement aux résidus de lait brûlés tels que trouvés au niveau des échangeurs (Olsen, 2000).

Avantages du nettoyage enzymatique

- Réduction du coût énergétique du fait de la possibilité d'opérer ce nettoyage à de faibles températures.
- Les enzymes peuvent agir longtemps et à de faibles concentrations.
- Les solutions enzymatiques sont neutres d'où l'absence de détérioration des équipements.
- Les applications très ciblées des enzymes permettent d'avoir des performances de nettoyage supérieures et les interactions des résidus avec les matières organiques comme le lait sont faibles.
- La solution nettoyante est facile à rincer après le nettoyage. Ce type de nettoyage permet de ce fait de réduire la quantité d'eau nécessaire au rinçage.
- L'emploi de cette solution peut se faire même dans des conditions réputées défavorables au nettoyage (faible température et faible débit).
- La dégradation des souillures est si efficace que la formation de microorganismes après le nettoyage est inhibée.
- Les effluents du nettoyage enzymatique peuvent être réutilisés et même s'ils ne sont pas réutilisés, le traitement des effluents est moins coûteux.
- Le nettoyage enzymatique est si peu agressif qu'il est possible de l'utiliser avec des équipements comprenant des parties en gomme ou en plastique (Bellon-Fontaine, 2016).

Inconvénients du nettoyage enzymatique

- Son coût est plus élevé qu'un nettoyage classique.
- Le nettoyage enzymatique ne permet pas d'agir pour la désinfection.
- L'application de ce type de nettoyage nécessite une maîtrise parfaite des propriétés des enzymes et de leurs conditions d'utilisation.
- L'utilisation des détergents enzymatique nécessite une protection adéquate pour les opérateurs. Les enzymes présentent en effet plusieurs risques notamment des allergies et des risques d'irritations oculaires et nasales (Bellon-Fontaine, 2016).

Mise en œuvre du nettoyage enzymatique

En nous basant sur un brevet déposé aux Etats-Unis en 2000 (Olsen, 2000), nous allons tenter d'expliquer comment doit être mis en œuvre le nettoyage enzymatique à l'aide de protéase et de lipase. Ce brevet vise de façon spécifique les abattoirs et les laiteries. De façon générale, ce brevet décrit comment il est possible de remplacer la circulation des solutions acides et caustiques par la circulation d'une solution contenant de la lipase et de la protéase pendant une période suffisante pour permettre une action en profondeur des enzymes. Il vise de façon spécifique des équipements qui ont été au contact de substances protéinées, grasses ou de glucides (dans ce cas la solution doit contenir de la carbohydrase). Ce brevet revient également sur les avantages à tirer du nettoyage enzymatique notamment la réduction des temps de nettoyage et le fait qu'aucun ajout d'agents tensio-actifs ne soit nécessaire. En effet, la dégradation de protéines et matières grasses par les enzymes produit elle-même des substances ayant des effets émulsifiants.

La circulation de la solution contenant les enzymes se fait de la même manière que pour les détergents classiques.

Temps de nettoyage

Le temps de nettoyage est très spécifique à chaque équipement devant faire l'objet d'un nettoyage. Il dépend de la composition et de l'épaisseur des souillures ainsi que de la température et du pH auxquels a lieu le nettoyage. En règle générale, le temps de nettoyage varie entre 10 minutes et 10 heures (Olsen, 2000).

Enzymes utilisés

Pour la dégradation de souillures protéinées, des enzymes d'origine animale, végétale ou microbienne peuvent être utilisés. Les enzymes d'origine microbienne sont toutefois préférés. Les enzymes à sérine ainsi que la trypsine peuvent être utilisés. Des formes commerciales adaptées à une utilisation en industrie sont vendues par Novo Nordisk, Genencor International et Solvay Enzymes.

Pour les souillures contenant de la matière grasse, de la lipase d'origine bactérienne ou fongique peut être utilisée. Une classe de lipase nommée phospholipase (extraite du pancréas des bovins ou du venin des abeilles) ainsi qu'une autre nommée cutinase peuvent être utilisés. La lipase industrielle est entre autres commercialisée par Novo Nordisk. Enfin pour ce qui est des souillures contenant des glucides, de l'amylase et de la cellulase peuvent être utilisées (Olsen, 2000).

Composition de la solution nettoyante

La solution nettoyante comprend des enzymes à une concentration comprise entre 0.00001 et 0.1%. Des agents tensioactifs (un agent tensioactif non-ionique peut être utilisé avec une concentration comprise entre 0.1 et 1%) ainsi que des agents séquestrants peuvent être ajoutés à la solution nettoyante afin d'en augmenter l'efficacité et/ou de réduire le temps de nettoyage. Il est aussi possible d'alterner des séquences de nettoyage enzymatique et de nettoyage acide (Olsen, 2000).

Séquence de nettoyage enzymatique

Le nettoyage doit être effectué entre 40 °C et 80 °C et la température idéale de nettoyage se situe aux environs de 50 °C. Il peut être effectué à un pH neutre, c'est-à-dire de 7 mais un pH compris entre 8 et 10 est préféré. Pour augmenter le pH de la solution, il est possible d'utiliser du bicarbonate de sodium ou du carbonate de sodium à de très faibles concentrations.

La séquence de nettoyage dépend du fait qu'un détergent acide soit utilisé en alternance avec le nettoyant enzymatique ou non. Ainsi, il est possible de commencer par un pré-rinçage pour éliminer le plus gros des souillures, faire un traitement enzymatique et terminer par un dernier rinçage pour éliminer les traces de détergent. Il est aussi possible de faire un pré-rinçage à

l'eau, de faire un traitement à l'acide puis un rinçage intermédiaire, un traitement enzymatique avant de finir avec un dernier rinçage (Olsen, 2000).

Exemple

Le brevet donne également plusieurs exemples de mise en œuvre parmi lesquels nous allons exposer celui des échangeurs à plaques.

L'expérience qui a été menée pour ce brevet a été faite sur un échangeur utilisé pour la pasteurisation du lait entier (donc riche en matière grasse) durant 6 heures et qui avait une couche de lait brûlé d'une épaisseur comprise entre 2 et 3 mm. La solution de nettoyage contient de la protéase à une concentration de 0.1% ainsi que de la lipase avec la même concentration. De petites doses de NaOH et de phosphate de monopotassium ont été ajoutées à la solution nettoyante. Aucun ajout de détergent acide n'a été fait. Il a été constaté qu'après une durée de 2 heures de nettoyage, l'échangeur à plaques était de nouveau propre (Olsen 2000).

IV - 4 - b - Nettoyage à l'ozone

Présentation du nettoyage à l'ozone

L'ozone est un composé ayant une très forte activité, celle-ci est d'ailleurs 52% plus importante que celle du chlore qui est le désinfectant le plus courant. Sa demi-vie assez courte exige toutefois qu'il soit produit sur place (ce qui peut représenter un avantage car aucun stockage de produits dangereux n'est nécessaire). Il agit sur les microbes par oxydation des organismes vitaux. Ce désinfectant est de plus utilisable avec de faibles concentrations et pour un très court laps de temps (Bellon-Fontaine, 2016).

Avantages du CIP à l'ozone

- L'ozone est un gaz hautement instable et c'est pourquoi, il doit être produit sur place ce qui implique qu'aucun stockage ne soit nécessaire.
- Les produits de désinfection à l'ozone sont moins toxiques que ceux produits par d'autres désinfectants comme le chlore.
- L'ozone possède un très large spectre et agit contre une grande variété de microorganismes (Bellon-Fontaine, 2016).

Inconvénients du nettoyage à l’ozone

- Les équipements de production de l’ozone sont très coûteux.
- L’ozone étant hautement toxique, son utilisation nécessite des mesures de sécurité extrêmement strictes.
- La production d’ozone est assez gourmande en énergie.
- Les équipements ayant subi une désinfection à l’ozone risquent de connaître un vieillissement prématuré (Bellon-Fontaine, 2016).

Mise en œuvre de la désinfection à l’ozone

Nous allons présenter la mise en œuvre de la désinfection à l’ozone telle qu’elle est présentée dans un brevet déposé aux Etats-Unis en 2001 (Koosman et al. 2001). Voici le schéma d’une installation permettant de générer de l’ozone qui sera par la suite utilisé pour le nettoyage. Ce dispositif a été mis en place pour la désinfection d’un distributeur de boissons sucrées mais peut être mis en place pour toute machine retrouvée dans l’industrie agro-alimentaire moyennant quelques ajustements.

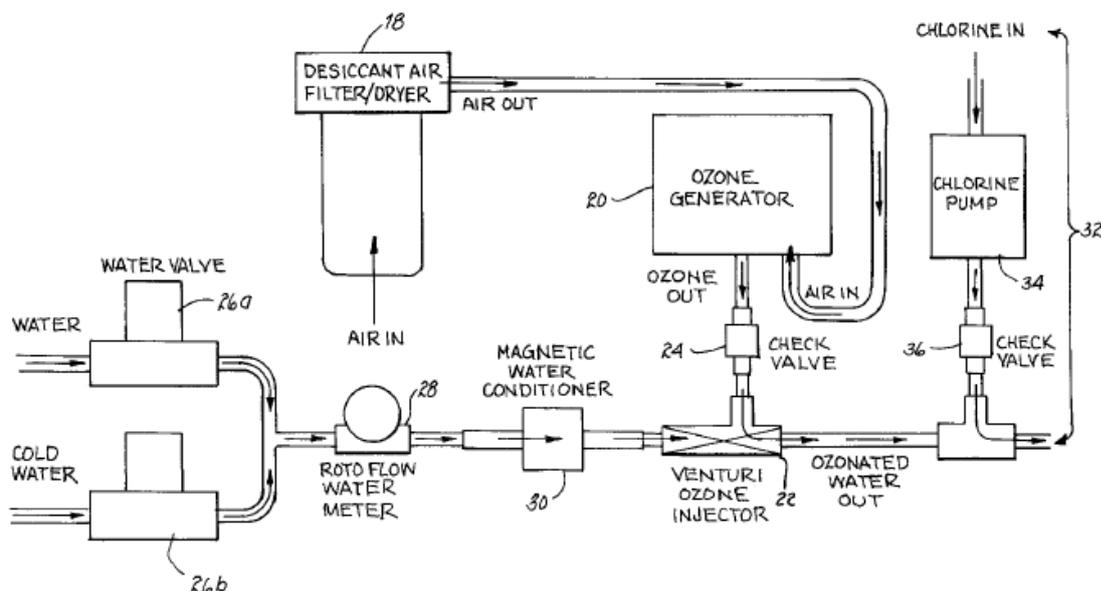


Figure 29 Schéma de la production d'ozone pour le CIP à l'ozone (Koosman et al. 2001)

Comme on peut le voir sur le schéma, l’air pénètre dans un filtre (18) qui va le disséquer et le décomposer. Le but étant de retirer l’humidité de l’air et de le filtrer afin d’obtenir un rendement élevé en ozone. Il se dirige ensuite vers un générateur d’ozone (20) qui produit de l’ozone grâce à un procédé électrique (effet Corona). L’ozone ainsi généré passe par une valve

de contrôle (24). La taille du filtre à air peut varier selon les besoins de chaque industrie. Au niveau de (22), a lieu le mélange entre l'ozone et l'eau par effet venturi et le tout est mélangé à un autre produit désinfectant (comme par exemple le chlore qui lui-même est injecté à l'aide d'une pompe) pour ensuite être injecté à la machine devant être nettoyée. Il est aussi possible d'utiliser l'ozone comme unique désinfectant. On peut voir en (26a) et (26b) de simples valves de contrôle de l'eau qui s'activent lorsque la désinfection est nécessaire. En (28), on peut voir un débitmètre qui se charge de réguler la quantité d'eau qui traverse la tuyauterie. En (30), un adoucisseur d'eau magnétique débarrasse l'eau qui le traverse de l'excédent de calcaire et des résidus métalliques (peut ne pas être nécessaire si la bonne qualité de l'eau est assurée). L'ensemble de ce dispositif peut par la suite être relié à un réservoir qui stockera le détergent en attendant le nettoyage (Koosman et al. 2001).

IV - 4 - c - Nettoyage en place segmenté

Nous allons à présent présenter les spécifications techniques d'un brevet américain déposé en 2002 et expliquant le fonctionnement d'un nettoyage en place segmenté (Votteler, 2002). Le principal défaut du nettoyage en place habituel est que la solution nettoyante atteint certaines parties de la machine à nettoyer alors que celle-ci avait déjà transité par d'autres parties. De ce fait, la solution nettoyante destinée à certaines parties de la machine se retrouve chargée en dépôts et souillures en tous genres ce qui fait que le nettoyage n'est pas optimal. L'idée du nettoyage en place segmenté est de garantir la circulation de la solution nettoyante vierge (ou qui n'a pas encore été utilisée pour d'autres parties) dans plusieurs parties de la machine simultanément puis son évacuation desdites parties. Le but étant de réduire le temps de nettoyage. D'après le brevet déposé, ce procédé devrait être entre 2 et 6.5 fois plus rapide qu'un nettoyage en place classique.

Avantages du nettoyage en place segmenté

- Plusieurs parties d'une même machine sont nettoyées en même temps ce qui implique que le nettoyage soit plus rapide.
- La solution nettoyante qui atteint les différentes parties de la machine est vierge ce qui implique que le nettoyage soit plus efficace.
- La mise en œuvre de cette technique n'implique pas de changement de détergents (Bellon-Fontaine, 2016).

Inconvénients du nettoyage en place segmenté

- Le coût de changement de technologie peut être important.
- La mise en œuvre peut présenter une certaine complexité et le contrôle du nettoyage en place de chaque machine se fait un peu moins aisé (Bellon-Fontaine, 2016).

Mise en œuvre du nettoyage en place segmenté

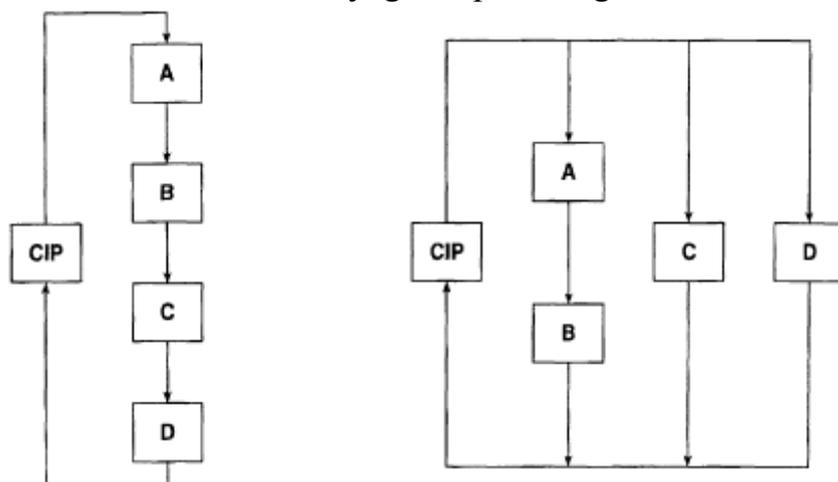


Figure 30 Schéma comparatif d'un CIP classique (à gauche) et d'un CIP segmenté (à droite) (Votteler, 2002)

Le schéma ci-dessus illustre de façon très schématique la mise en œuvre d'un CIP segmenté par rapport à un CIP classique. Les lettres A, B, C et D représentent les différentes parties d'une machine devant faire l'objet d'un CIP. Sur le schéma de gauche, les différentes parties sont nettoyées de façon successive tandis que sur le schéma de droite, il existe un conduit distributeur qui va fournir la solution nettoyante à différentes parties de la machine. La solution s'évacue indépendamment de chaque partie de la machine (Votteler, 2002).

IV - 4 - d - Sélection de la solution innovante

Au vu de la difficulté rencontrée pour trouver des données financières précises concernant le coût des différentes solutions innovantes, le choix de critères d'évaluation financiers a été écarté et le choix s'est plutôt porté sur l'application de l'aide multicritère à la décision. La méthode Borda semble la plus appropriée car nous ne disposons pas d'informations précises sur les différentes solutions potentielles, par contre, nous pouvons les classer par préférence pour un critère donné. Nous allons également appliquer la méthode TOPSIS dont les étapes ont été précisément énoncées précédemment (cf. chapitre 2) et comparer les résultats obtenus par ces deux méthodes.

Eléments de notre PMA

Les solutions potentielles sont :

A_1 : Remplacer la formule nettoyante classique par une solution enzymatique.

A_2 : Procéder à une désinfection à l'aide d'ozone.

A_3 : Remplacer le CIP classique par un CIP segmenté.

Les critères d'évaluation de nos solutions potentielles sont :

CE_1 : Prix de la solution potentielle.

CE_2 : Réduction du temps de nettoyage.

CE_3 : Efficacité.

CE_4 : Dégradation de l'équipement causé par l'application de la solution potentielle.

Application de la méthode de Borda

Nous savons qu'un détergent enzymatique coûte entre 115 et 200 € pour 25 L et qu'il est utilisé à de très faibles doses. L'ozone est coûteux à générer car il nécessite un investissement dans un nouvel équipement (un générateur d'ozone coûte entre 1000 et 2500 €) en plus d'une consommation énergétique élevée en raison de la génération par effet Corona mais il permet par ailleurs des économies sur le stockage. Le NEP segmenté ne nécessite pas de changement de détergent mais un remplacement de la station de nettoyage (environ 40000 €)¹. Tout cela nous mène à affecter pour le premier critère le rang 1 au nettoyage enzymatique, le rang 2 à la désinfection à l'ozone et le rang 3 au nettoyage segmenté.

Les brevets fournissent quelques informations exploitables sur la réduction du temps de nettoyage. La durée de nettoyage d'une machine de traitement thermique est de 2 heures pour le nettoyage enzymatique contre 7 heures pour un NEP classique. Le nettoyage enzymatique reçoit donc un coefficient de 3.5 pour la réduction du temps total de nettoyage. Le brevet du CIP segmenté fait état d'une amélioration du temps de nettoyage comprise entre 2.5 et 6. Nous allons prendre la moyenne, soit 4.25. La désinfection à l'ozone n'impacte que très peu le temps total de nettoyage, c'est pourquoi, nous lui affectons un coefficient de 1.25.

¹ Les prix ont été récoltés sur une moyenne de prix sur des sites de ventes comme Novo Nordisk, Directindustry, Amazone, etc.

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

L'efficacité du nettoyage enzymatique est la plus élevée car il cible de façon spécifique les souillures grasses et protéinées et n'interagit pas avec les autres matières, nous lui affectons donc le rang 1. Nous affectons le rang 2 au nettoyage segmenté car les nettoyeurs acides et caustiques sont moins efficaces que les nettoyeurs enzymatiques. Nous attribuons enfin le rang 3 au CIP à l'ozone qui n'a pas une grande efficacité face aux souillures.

Nous affectons le rang 1 au nettoyage enzymatique par rapport au dernier critère car les enzymes n'interagissent pas avec l'équipement, les détergents du CIP segmenté reçoivent le rang 2 car ils causent une détérioration lente des équipements et enfin l'ozone reçoit le rang 3 car il provoque un vieillissement prématuré des équipements. Nous obtenons donc le tableau suivant :

Tableau 19 Tableau représentant la matrice des rangs

A_i	rg_{i1}	rg_{i2}	rg_{i3}	rg_{i4}
A_1	1	2	1	1
A_2	2	3	3	3
A_3	3	1	2	2

Pour chaque élément du tableau, on applique la relation suivante après avoir fixé les valeurs de a et b à 1 :

$$p_{ij} = 1 + na - rg_{ij}$$

Nous obtenons donc, les résultats suivants.

$$\begin{aligned} p_{11} &= 1 + 3 - 1 = 3, p_{21} = 1 + 3 - 2 = 2, p_{31} = 1 + 3 - 3 = 1, p_{12} = 1 + 3 - 2 = 2, p_{22} \\ &= 1 + 3 - 3 = 1, p_{32} = 1 + 3 - 1 = 3, p_{13} = 1 + 3 - 1 = 2, \\ p_{23} &= 1 + 3 - 1 = 3, p_{33} = 1 + 3 - 2 = 2, p_{14} = 1 + 3 - 1, p_{24} \\ &= 1 + 3 - 3 = 2, p_{34} = 1 + 3 - 2 = 2. \end{aligned}$$

Pour calculer la performance de chaque solution potentielle, nous utilisons la relation :

$$J_i = \sum_{j=1}^{no} p_{ij} \quad \forall i \in \overline{1, na}$$

Nous obtenons alors le tableau suivant :

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

Tableau 20 Tableau des performances des solutions potentielles

A_i	p_{i1}	p_{i2}	p_{i3}	p_{i4}	J_i	Classement
A_1	3	2	3	3	11	Première
A_2	2	1	1	1	5	Troisième
A_3	1	3	2	2	8	Deuxième

Application de la méthode TOPSIS

Nous allons maintenant tenter de noter les différentes solutions potentielles suivant les 4 critères d'évaluation retenus :

Pour CE_1 : malgré les quelques données disponibles sur le prix, nous allons adopter une notation sur 10. Le nettoyage enzymatique prend la note de 2, le nettoyage à l'ozone 5 et le nettoyage segmenté 8.

Pour CE_2 : le CIP à l'ozone prend 1.25, le nettoyage enzymatique 3.5 et le nettoyage segmenté 4.25.

Pour CE_3 : Nous adoptons également une notation sur 10 pour l'efficacité. Le nettoyage enzymatique reçoit 9 car c'est de loin le plus efficace. Le nettoyage segmenté reçoit 7 et le CIP à l'ozone 3.

Pour CE_4 : Pour la dégradation de l'équipement, le nettoyage enzymatique reçoit 1, le nettoyage segmenté reçoit 3.5 (la dégradation est lente mais non négligeable) et le CIP à l'ozone reçoit 6.5.

Nous avons par ailleurs décidé d'affecter le même poids aux 4 critères. Le vecteur des poids est donc donné par $[0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25]^T$

On obtient donc la matrice de scores suivante :

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

Tableau 21 Matrice de notre PMA

A_i	$CE_1, w_1 = 0.25$	$CE_2, w_2 = 0.25$	$CE_3, w_3 = 0.25$	$CE_4, w_4 = 0.25$
	s_{i1}	s_{i2}	s_{i3}	s_{i4}
A_1	2	3.5	9	1
A_2	5	1.25	3	3.5
A_3	8	4.25	7	6.5

Vu le petit nombre de solutions potentielles que nous avons, nous pouvons faire les calculs à la main mais il serait également intéressant de les faire à l'aide d'un logiciel.

Calcul à la main

Pour normaliser les scores, on utilise la relation suivante :

$$r_{ij} = \frac{1}{\Delta_j} \begin{cases} s_{ij} - s_j^{inf}, & \text{si l'on doit maximiser } CE_j \\ s_j^{sup} - s_{ij}, & \text{si l'on doit minimiser } CE_j \end{cases} \quad \forall i \in \overline{1, na} \quad \forall j \in \overline{1, no}$$

On a $\Delta_1 = 6, \Delta_2 = 3, \Delta_3 = 6$ et $\Delta_4 = 5.5$

En appliquant la première relation on a :

$$\begin{aligned} r_{11} &= \frac{1}{6}(8 - 2) = 1, r_{12} = \frac{1}{6}(8 - 5) = 0.5, r_{31} = \frac{1}{8}(8 - 8) = 0, r_{12} = \frac{1}{3}(3.5 - 1.25) \\ &= 0.75, r_{22} = \frac{1}{3}(1.25 - 1.25) = 0, r_{32} = \frac{1}{3}(4.25 - 1.25) = 1, r_{13} \\ &= \frac{1}{6}(9 - 3) = 1, r_{23} = \frac{1}{6}(3 - 3) = 0, r_{33} = \frac{1}{6}(7 - 3) = 0.66, r_{14} \\ &= \frac{1}{5.5}(6.5 - 1) = 1, r_{24} = \frac{1}{5.5}(3.5 - 1) = 0.45, r_{34} = \frac{1}{5.5}(6.5 - 6.5) = 0 \end{aligned}$$

On obtient la matrice des scores normalisés suivante :

Tableau 22 Matrice des scores et scores normalisés

A_i	CE_1		CE_2		CE_3		CE_4	
	s_{i1}	r_{i1}	s_{i2}	r_{i2}	s_{i3}	r_{i3}	s_{i4}	r_{i4}
A_1	2	1	3.5	0.75	9	1	1	1
A_2	5	0.5	1.25	0	3	0	3.5	0.54
A_3	8	0	4.25	1	7	0.66	6.5	0

Nous allons à présent calculer les distances aux solutions idéales et anti-idéales qui sont données par les relations suivantes :

$$d_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{no} w_j (r_{ij} - ri_j)^2}, \quad da_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{no} w_j (r_{ij} - ra_j)^2}, \quad \forall i \in \overline{1, na}$$

En appliquant ces formules, on obtient :

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

$$di_1 = \sqrt{0.25(1-1)^2 + 0.25(0.75-1)^2 + 0.25(1-1)^2 + 0.25(1-1)^2} = 0.125$$

$$da_1 = \sqrt{0.25(1-0)^2 + 0.25(0.75-0)^2 + 0.25(1-0)^2 + 0.25(1-0)^2} = 0.94$$

$$di_2 = \sqrt{0.25(0.5-1)^2 + 0.25(0-1)^2 + 0.25(0-1)^2 + 0.25(0.54-1)^2} = 0.78$$

$$da_2 = \sqrt{0.25(0.5-0)^2 + 0.25(0-0)^2 + 0.25(0-0)^2 + 0.25(0.54-0)^2} = 0.36$$

$$di_3 = \sqrt{0.25(0-1)^2 + 0.25(1-1)^2 + 0.25(0.66-1)^2 + 0.25(0-1)^2} = 0.72$$

$$da_3 = \sqrt{0.25(0-0)^2 + 0.25(1-0)^2 + 0.25(0.66-0)^2 + 0.25(0-0)^2} = 0.6$$

L'étape suivante consiste à calculer la distance relative par rapport à une solution anti-idéale.

$$J_i = c_i = \frac{da_i}{da_i + di_i}, \forall i \in \overline{1, na}$$

En appliquant cette formule, on obtient les résultats suivants :

$$J_1 = \frac{da_1}{da_1 + di_1} = \frac{0.94}{0.94 + 0.125} = 0.88, J_2 = \frac{da_2}{da_2 + di_2} = \frac{0.36}{0.36 + 0.78} = 0.32, J_3 = \frac{da_3}{da_3 + di_3} = \frac{0.6}{0.6 + 0.72} = 0.45.$$

Finally, on regroupe toutes les valeurs calculées dans le tableau suivant :

Tableau 23 Calcul des distances aux solutions idéales et anti-idéales

A_i	CE_1		CE_2		CE_3		CE_4		di_i	da_i	c_i
	s_{i1}	r_{i1}	s_{i2}	r_{i2}	s_{i3}	r_{i3}	s_{i4}	r_{i4}			
A_1	2	1	3.5	0.75	9	1	1	1	0.125	0.94	0.88
A_2	5	0.5	1.25	0	3	0	3.5	0.54	0.78	0.36	0.32
A_3	8	0	4.25	1	7	0.66	6.5	0	0.72	0.6	0.45

Calcul à l'aide de R

Avec le langage de programmation R, l'écriture d'un algorithme pour faire les calculs est assez aisée puisqu'il nous suffit d'appliquer les relations susmentionnées.

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

```
|> #D'abord on écrit une fonction qui va normaliser notre matrice
> #Elle prend en argument la matrice à normaliser ainsi qu'un vecteur
> #qui contient des "-1" et des "+1" pour indiquer si le critère
> #doit être minimisé ou maximisé
> Normalisation=function(matr, vectminmax) {
+ matricenorm=matrix(nrow=nrow(matr),ncol=ncol(matr))
+ for (j in 1:ncol(matr)) {
+ for (i in 1:nrow(matr)){
+ if (vectminmax[1,j]==-1) matricenorm [i,j]=(1/(max(matr[,j])-min(matr[,j]))) * (max(matr[,j])-matr[i,j])
+ if (vectminmax[1,j]==1) matricenorm [i,j]=(1/(max(matr[,j])-min(matr[,j]))) * (matr[i,j]-min(matr[,j]))
+ }}
+ return(matricenorm)
+ }
> #Après cela, on écrit la fonction suivante qui prend en argument
> #la matrice le vecteur de manimisation ou maximisation des critère
> # et retourne la distance relative qui nous permettra de classer les solutions
> #Elle utilise la fonction Normalisation à cette fin.
> Topsis=function(mat,vectmm,poids) {
+ m1=Normalisation(mat,vectmm)
+ distid=matrix(nrow=nrow(mat),1)
+ distantid=matrix(nrow=nrow(mat),1)
+ resultat=matrix(nrow=nrow(mat),1)
+ for(i in 1:nrow(m1)){
+ s=0
+ s1=0
+ for (j in 1:ncol(m1)) {
+ s=s+(poids[1,j]*((m1[i,j]-1)^2))
+ s1=s1+(poids[1,j]*((m1[i,j]-0)^2))
+ }
+ distid[i,1]=sqrt(s)
+ distantid[i,1]=sqrt(s1)
+ }
+ for(i in 1:nrow(m1))
+ { resultat[i,1]=distantid[i,1]/(distantid[i,1]+distid[i,1])
+ }
+ return(resultat)
+ }
```

Figure 31 Capture d'écran du code R pour la méthode TOPSIS

Voici les résultats obtenus :

```
> #Maintenant il nous suffit juste de déclarer notre matrice de décision
> #le vecteur de maximisation ou minimisation et le vecteur des poids ainsi
> #que leurs dimensions pour enfin appeler la fonction
> m=c(2,5,8,3.5,1.25,4.25,9,3,7,1,3.5,6.5)
> dim(m)=c(3,4)
> v=c(-1,1,1,-1)
> dim(v)=c(1,4)
> p=c(0.25,0.25,0.25,0.25)
> dim(p)=c(1,4)
> Topsis(m,v,p)
      [,1]
[1,] 0.8830387
[2,] 0.3206973
[3,] 0.4527056
```

Figure 32 Résultats obtenus grâce à R

Les mêmes résultats sont obtenus en utilisant la méthode de Borda ou en utilisant la méthode TOPSIS et de ce fait, le nettoyage enzymatique apparaît comme la meilleure alternative au nettoyage en place avec de la soude et de l'acide. Nous avons en effet vu que les quantités de

détergents utilisées à chaque nettoyage sont très faibles, qu'il n'y avait pas d'interactions entre l'équipement et les enzymes (ce qui peut rallonger la durée de vie des équipements) et qu'il pouvait réduire la durée de nettoyage en place du fin de cycle de production. Toutefois, il n'est pas utilisable avec certains équipements comme les stérilisateurs car les températures élevées causent une détérioration des enzymes. Nous pouvons donc conserver un nettoyage en place classique pour ces équipements-là et opter pour le nettoyage en place enzymatique pour le reste des équipements tout en gardant à l'esprit que la mise en œuvre de ce nettoyage nécessitera des investissements supplémentaires au départ : formation des employés, mise en place d'un nouveau protocole de contrôle de qualité, tests pour valider le bon fonctionnement de ce nettoyage, etc.

IV - 5 - Etude de rentabilité pour l'investissement dans de nouvelles ressources technologiques

IV - 5 - a - Calcul de la rentabilité d'un investissement

Principe du calcul de la rentabilité

Les entreprises se retrouvent face à la nécessité de renouveler leurs équipements et doivent faire un choix tant en fonction de la rentabilité des différents investissements qui s'offrent à elles mais aussi en fonction du mode de financement. En dehors des coûts d'immobilisation et du financement, la décision va également dépendre de l'échelonnement des flux dans le temps et des critères.

Les flux nets

Le cash flow est un indicateur permettant de mesurer le flux de trésorerie dont dispose une entreprise. Plusieurs formules peuvent être utilisées et nous allons retenir celle-ci :

Flux de trésorerie disponible = Flux de trésorerie d'exploitation = résultat net + dotations aux amortissements et aux provisions – reprises sur amortissements et provisions – plus-values de cession d'actifs + moins-values de cession d'actifs +/- variation du besoin en fonds de roulement.

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

Le calcul des cash flows permet essentiellement d'évaluer les flux monétaires générés par l'exploitation (compta-facile.com).

Les critères de choix

On peut se baser sur différents critères de choix pour opter pour un investissement donné. Le tableau ci-dessous présente ces quelques critères ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients (Doriath, 2008).

Tableau 24 Les différents critères pour évaluer la rentabilité d'un investissement (Doriath, 2008)

Méthodes	Principes	Avantages et inconvénients
Le délai de récupération du capital investi	Le délai est le temps nécessaire pour récupérer le capital investi sans actualisation. L'entreprise sélectionne l'investissement qui a le délai de récupération le plus court.	<u>Avantages :</u> Minimise les risques. Evite le choix du taux d'actualisation. <u>Inconvénients :</u> Privilégie les investissements directement récupérables au détriment d'un politique à plus long terme. Ne prend pas en compte les flux nets au-delà du délai de récupération.
Les flux nets actualisés	Les flux sont actualisés année par année. L'investissement retenu est celui qui offre la valeur actuelle nette la plus élevée.	<u>Avantages :</u> Prend en compte la totalité des flux. Prend en compte la dépréciation liée au temps. <u>Inconvénients :</u> Le choix du taux d'actualisation n'est pas neutre vis-à-vis du choix de l'investissement.

		Il est difficile d'établir des prévisions fiables à mesure que m'échéance s'éloigne.
L'indice de profitabilité	$I_p = \frac{\sum(\text{Flux nets actualisés})}{\sum(\text{capitaux investis actualisés})}$	Outre les avantages liés au critère de la valeur actuelle nette, il permet de comparer des investissements de valeurs différentes.
Le taux interne de rentabilité (TIR)	Le TIR est le taux d'actualisation tel que la somme des flux nets actualisés est égale à l'investissement.	<p>Avantages :</p> <p>Exprime la rentabilité économique de l'investissement.</p> <p>Evite d'avoir à faire un choix sur le taux d'actualisation.</p> <p>Prend en compte la totalité des flux.</p>

Le choix du financement

En choisissant un critère de choix donné, l'entreprise peut procéder à une comparaison pour les différents modes de financement accessibles : fonds propres, crédit-bail et emprunt. Le tableau ci-dessous propose une comparaison pour les différents modes de financement (Doriath, 2008)

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

Tableau 25 Calcul des flux de trésorerie en fonction du type de financement (Doriath, 2008)

Financement	Impacts sur les flux	
	Bilan	Compte de résultat
Fonds propres	t_0 : -Valeur d'acquisition	t_1 à t_n : -Dotations aux amortissements +Economie d'impôt sur les dotations
Emprunt	t_0 : -Valeur d'acquisition +Montant de l'emprunt t_1 à t_n : Remboursement (amortissement) l'emprunt	t_1 à t_n : -Intérêts -Dotations aux amortissements +Economie d'impôt sur les intérêts et les dotations.
Crédit-bail	t_0 : -Dépôt de garantie t_n : +Remboursement du dépôt de garantie -Coût de rachat de l'immobilisation	t_1 à t_n : -Redevances de crédit-bail +Economie d'impôt sur redevance Au-delà de t_n : -Dotation aux amortissements sur la valeur rachetée +Economie d'impôts correspondante.

L'investissement en avenir incertain

En avenir incertain, il est possible d'associer une probabilité à chaque hypothèse de flux.

- **Critère de l'espérance mathématique** : on calcule l'espérance mathématique de la valeur actuelle nette de chaque investissement.
- **Arbre de décision** : dans le cas de scénarios successifs sur plusieurs exercices, la construction d'un arbre de décision permet de ressortir l'ensemble des solutions possibles et de valoriser chacune d'entre elles (Doriath, 2008).

Critères de décision en avenir incertain

Lorsqu'il est impossible de quantifier l'incertitude, nous sommes devant l'impossibilité de nous appuyer sur les probabilités pour pondérer chaque décision. A la place, on s'appuie sur différents critères parmi lesquels :

- Critère de Maximax : c'est le critère du décideur optimiste. Il consiste à choisir la décision qui a la plus grande utilité maximale.
- Critère de Wald ou Maximin : c'est le critère du décideur pessimiste qui agit comme si la nature était animée des pires intentions. On choisit la décision présentant la plus grande utilité minimale ou « la moins pire ».
- Critère de Savage : le principe pour ce critère est « regrettons le moins possible dans le pire des cas ». On construit une matrice de regrets ou manques à gagner en suivant la règle :

$$b_{ij} = \text{Max } a_{kj} - a_{ij} \quad \forall i, j$$

- Le critère de Laplace : ce critère se base sur l'équiprobabilité des n événements possibles de la nature. Autrement dit, chaque événement a une probabilité $1/n$ de se produire. Le critère de Laplace n'est d'autre que la moyenne des valeurs pour chaque événement. Il se calcule donc ainsi :

$$L(d_{ij}) = \frac{1}{n} \sum a_{ij}, \forall i$$

- Critère d'Hurwicz : ce critère intègre à la fois un degré de pessimisme (α) et un degré d'optimisme ($1 - \alpha$). Il prend en compte le pire et le meilleur résultat de chaque stratégie et les pondère. Il se calcule comme suit :

$$H(d_i) = \alpha \min a_{ij} + (1 - \alpha) \max a_{ij} \quad \forall i$$

- Le critère de Bernoulli : comme le critère de Laplace, le critère de Bernoulli s'appuie sur l'équiprobabilité des états de la nature mais cette fois, ce n'est pas la somme qui est calculée mais la somme des logarithmes.

$$B(d_i) = \frac{1}{n} \text{Log} a_{ij}, \forall i$$

- Comparaison entre les critères : une dernière option serait de dresser un tableau où chaque stratégie se voit affecter un rang pour chaque critère. On somme ensuite les rangs et c'est alors la décision qui la somme des rangs la plus faible qui l'emporte (Espinasse, 2009).

Malheureusement, aucun accès aux documents comptables qui auraient permis de faire une étude de rentabilité n'a été accordé. Nous allons donc simplement présenter des arbres de décisions schématiques et sans données chiffrées.

S'il a été possible de recenser les charges de la direction de production en nous basant sur des documents et des observations, il en est tout autrement du bilan comptable et du résultat net qui recensent des mouvements que nous ne sommes pas en mesure de quantifier sur la base d'observations et de documents et qui concernent l'ensemble de l'entreprise y compris des services auxquels nous n'avons pu accéder.

IV - 5 - b - Investissement dans un stérilisateur U.H.T

Il est indiscutable que l'entreprise doit miser sur un renouvellement régulier de ses équipements de production pour augmenter son rendement et garder une longueur d'avance. Les échangeurs de chaleur de la plateforme de stérilisation U.H.T en particulier deviennent moins efficaces en prenant de l'âge ce qui peut avoir un impact sur l'encrassement, le rendement et la consommation énergétique en plus des frais de maintenance plus élevés. Les échangeurs des plateformes de stérilisation constituent une priorité en matière d'équipements car ce sont les plus coûteux et qui génèrent le plus d'encrassement. Ce sont aussi eux qui conditionnent la conformité des produits aux conditions de stérilité. On peut donc considérer qu'il s'agit d'une **ressource technologique clé**. Il est donc indispensable de se pencher sur les différentes options de renouvellement qui s'offrent à l'entreprise au moment où ce renouvellement doit se faire. En nous renseignant sur les équipements utilisés par l'unité de production de Béjaïa, nous avons pris connaissance de l'utilisation d'un échangeur à plaques par cette dernière au niveau de la plateforme de stérilisation U.H.T. Ce type d'échangeur a entre autres caractéristiques d'avoir un rendement plus élevé et de réduire l'encrassement. L'unité de production de Baraki pourrait faire du **benchmarking interne** en se procurant le même modèle d'échangeur. Elle pourrait par ailleurs étudier tous les types d'échangeurs de chaleur utilisables dans une plateforme de stérilisation U.H.T et estimer la rentabilité pour l'investissement dans chaque type d'échangeur.

Rien ne presse car les machines de l'unité de Baraki sont assez récentes donc un remplacement n'est pas à l'ordre du jour, par contre, l'unité de Bajaïa comporte un équipement datant de plus de 10 ans pour lequel une étude de renouvellement s'impose. Il est primordial de conserver les documents relatifs à cette étude car ils pourraient permettre à l'unité de production de Baraki

d'avoir une source supplémentaire de **benchmarking interne**. Nous allons quoi qu'il en soit proposer une stratégie de renouvellement du stérilisateur U.H.T.

Typologie des échangeurs de chaleur

Avant de donner la typologie des échangeurs de chaleur, commençons d'abord par définir ce qu'est un échangeur de chaleur : il s'agit d'un dispositif permettant de transférer de la chaleur d'une source à un puits de chaleur. Cet échange peut se faire par l'intermédiaire d'une paroi solide sans mélange de fluides ou dans le cas idéal par mélange entre deux fluides ce qui est le plus souvent impossible dans une industrie. Lorsqu'il y a contact entre les deux fluides, on parle d'échangeurs mélangeurs (Bougriou. 2015)

Il existe plusieurs critères de classification des échangeurs de chaleur qui définissent le type de transfert et la géométrie des surfaces d'échange, nous allons citer trois de ces critères de classification :

Suivant le processus de transfert thermique

- Les échangeurs à contact direct : utilisés pour les fluides de même nature ou les fluides non miscibles.
- Les échangeurs à fluides séparés : parmi ceux-là on distingue les échangeurs à lits fluidisés, les échangeurs de stockage (statiques ou tournants) et les échangeurs à transfert direct à travers une paroi (échangeurs tubulaires ou à plaques) (Bougriou, 2015).

Suivant la compacité de la surface d'échange

La compacité se définit par le rapport de la surface d'échange au volume occupé. On a d'une part les échangeurs non compacts si ce rapport est supérieur à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ et les échangeurs compacts si ce rapport est inférieur à $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Bougriou, 2015).

Suivant le type de construction

Cette classification comporte 4 grandes familles d'échangeurs :

- Les échangeurs tubulaires : au sein de cette famille, on retrouve les échangeurs à double tube et les échangeurs à tubes et calandre.
- Les échangeurs à plaques : on retrouve notamment dans cette famille les échangeurs à plaques soudées et les échangeurs à plaques et joints.

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

- Les échangeurs ailetés
- Les échangeurs régénérateurs qui se subdivisent en échangeurs fixes et rotatifs (Bougriou C.).

Utilisations des échangeurs de chaleur

Dans le cas d'une stérilisation U.H.T, le fluide caloporteur est l'eau et le fluide chauffé est le lait. Donc, ce sont les échangeurs à plaques et les échangeurs tubulaires qui sont utilisables comme le montre le tableau suivant.

Tableau 26 Les différentes utilisations des échangeurs de chaleur (Bougriou, 2015)

	Condensation	Corrosion	Ebullition	Encrassement	Faible ΔT	Fluide visqueux	Gaz-gaz	Gaz-liquide	Liquide-liquide
Aéroréfrigérant	x							x	
Caloduc							x		
Contact direct				x	x				
Double tube	x		x			x			
Lit fluidisé		x		x					
Plaques ailetées	x		x				x		x
Plaques et joints	x			x	x				x
Plaques soudées				x					
Tubes ailetés								x	x
Tubes/calandre	x		x		x				x

Avantages des échangeurs de chaleur à plaques

- Ces échangeurs de chaleur présentent un rapport surface d'échange/volume intéressant ce qui facilite leur intégration dans les unités de production.
- Il est facile d'adapter leur configuration ce qui permet de produire une plus grande variété de produits.
- Ils fournissent de meilleurs coefficients d'échange de chaleur que les échangeurs tubulaires (Bougriou, 2015).

Chapitre 4 : Présentation de solutions innovantes

Inconvénients des échangeurs de chaleur à plaques

- Les coûts d'exploitation et d'entretien de ces échangeurs sont plus élevés
- Leur fiabilité est moindre en comparaison avec celle des échangeurs tubulaires (Bougriou, 2015).

Avantages des échangeurs de chaleur tubulaires

- Ils sont faciles à entretenir et ont une durée de vie longue.
- Ils sont moins coûteux à l'acquisition (Bougriou, 2015).

Inconvénients des échangeurs de chaleur tubulaires

- L'encombrement de ce type d'échangeurs est assez important.
- Leur efficacité du point de vue du transfert de chaleur est loin d'égaliser celle des échangeurs à plaques (Bougriou, 2015).

L'échangeur à injection directe de vapeur

Il existe un autre type d'échangeur de chaleur susceptible d'être utilisé au niveau d'une plateforme de stérilisation U.H.T, il s'agit de l'échangeur **avec injection directe de vapeur**.

Bien qu'on en parle assez peu dans la littérature, il présente un certain nombre d'avantages :

- Il permet d'obtenir des produits d'une valeur nutritionnelle plus élevée sans perte de couleur, de goût et d'arôme.
- Il permet de minimiser les pertes de produits et de rallonger les cycles de production.
- Il permet de traiter une plus grande variété de produits (Tetrapak.com).

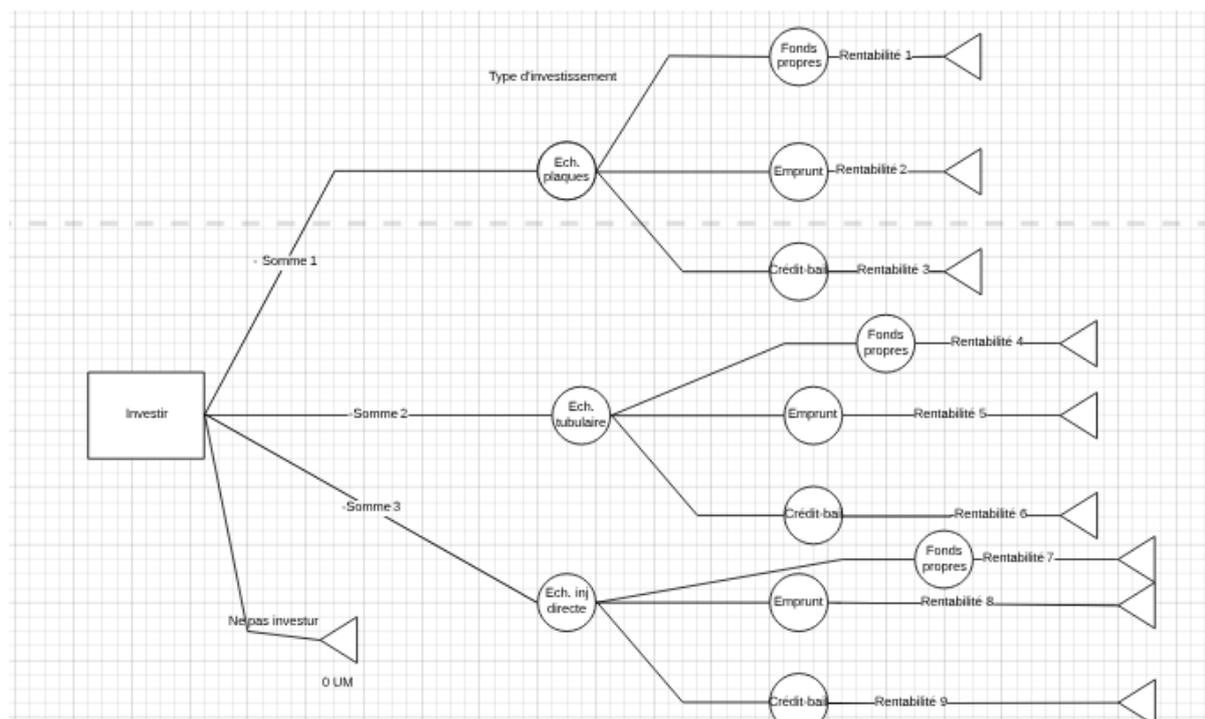


Figure 33 Schéma pour l'étude de rentabilité d'un investissement dans un échangeur de chaleur

Voici le schéma que nous aurions aimé suivre et chiffrer pour une étude de rentabilité d'un échangeur de chaleur.

IV - 5 - c - Investissement dans de petites stations CIP pour chaque atelier

Au sein de Candia-Tcin-Lait, il n'existe qu'une seule station de nettoyage en place centrale et bien qu'elle ait trois lignes différentes et que sa capacité totale soit de 48 objets, elle pose plusieurs problèmes : certains objets sont assez éloignés de cette station ce qui fait perdre du temps en circulation d'eau et de détergents et parfois, certains appareils qui sont pris en charge par la même ligne doivent être nettoyés simultanément. Comme cela n'est pas possible pour deux appareils d'une même ligne, l'un des appareils est en attente pendant que l'autre est en train de subir un nettoyage. Il aurait été fort intéressant de modéliser ce problème avec Arena et de faire des simulations des configurations qui permettraient de réduire les files d'attente. Toutefois, nous allons nous pencher sur une autre possibilité : investir dans plusieurs stations CIP différentes avec pour but que chaque atelier ait sa propre station CIP. De cette façon, on perd moins de temps en circulation de détergents et on évite aussi le problème des chevauchements entre plusieurs objets.

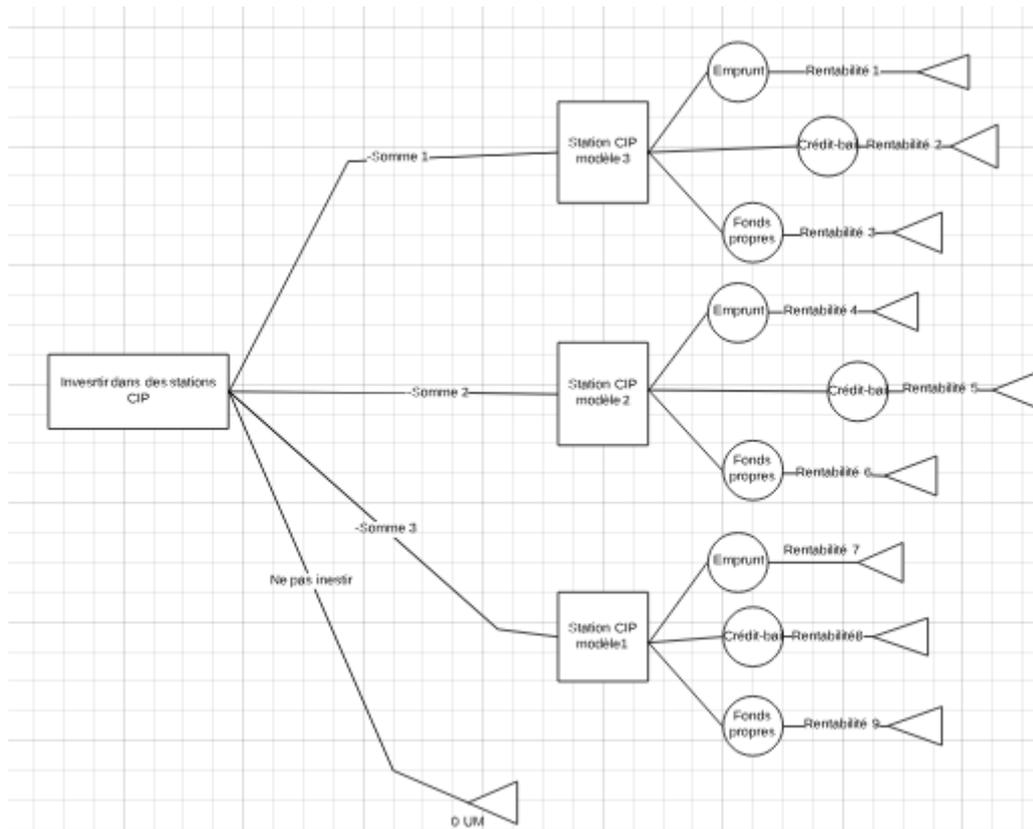


Figure 34 schéma d'une étude de rentabilité pour l'investissement dans de petites stations CIP

IV - 6 - Conclusion

Même si encore une fois, nous nous sommes heurtés à diverses contraintes qui nous ont empêchés de mettre en œuvre les solutions souhaitées, nous avons proposé d'opter pour un autre type de nettoyage en place qui est le nettoyage enzymatique. Très peu coûteux et extrêmement efficace, il possède néanmoins ses limites puisqu'il ne peut être utilisé avec des stérilisateurs U.H.T. Il serait possible pour l'entreprise de maintenir les types de nettoyage actuels pour ces appareils et d'opter pour le nettoyage enzymatique au niveau de la partie non stérile.

Conclusion générale

Au cours de ce stage, nous avons découvert énormément de nouvelles notions liées aux procédés de fabrication du lait et au nettoyage en place. Maintenant que l'entreprise sait à peu près combien consomme cette activité comparativement aux autres activités de production, elle pourra voir de quelle façon ce pourcentage pourra changer au gré des modifications qu'elle souhaite apporter aux quantités d'eau et de détergents utilisées.

Malgré les diverses contraintes, nous avons tenté de mettre en œuvre une solution qui nous l'espérons, sera appliquée sur le long terme et définitivement adoptée. Comme nous l'avons déjà précisé, cette solution concerne le nettoyage intermédiaire aseptique qui est le type de nettoyage en place le plus fréquent et de loin, le plus lourd de conséquences sur la production. Son application nécessitera une discussion sérieuse avec le fournisseur du stérilisateur U.H.T (Tetra Pak) car bien qu'à priori, les changements de paramètres proposés n'aient aucun danger sur l'équipement, la consultation de ce fournisseur permettra d'en avoir le cœur net et de savoir à quels produits et à quels équipements cela pourra être étendu.

Nous avons également vu que le nettoyage enzymatique était susceptible de constituer une alternative intéressante au nettoyage en place avec des détergents acide et caustique. Cette alternative ne peut être généralisée à l'ensemble des équipements mais elle nous a paru avantageuse à bien des égards notamment en raison des faibles quantités de détergents utilisées et l'absence de conséquences sur l'équipement. L'entreprise pourra se renseigner auprès des différents fournisseurs de détergents sur les prix appliqués et de là, savoir ce qu'elle pourra réellement gagner en l'appliquant.

Toutefois, toute entreprise doit garder à l'esprit qu'un problème peut être abordé sous plusieurs angles différents car comme le disait si bien Gandhi « Nous ne penserons jamais tous de la même façon, nous ne verrons qu'une partie de la vérité et sous des angles différents ». Ce que nous avons proposé là ne sont que des pistes. Elles peuvent être définitives ou non et sont appelées à être révisées ou adaptées en fonction des objectifs de l'entreprise. Nous sommes quoi qu'il en soit satisfaits d'avoir échangé avec cette entreprise et d'avoir apporté une contribution aussi minime soit-elle.

Nous espérons qu'à l'avenir il y aura des débats fructueux sur les solutions envisageables. L'entreprise pourrait à cet effet tenir des séances de brainstorming et recueillir les idées des

différents employés et responsables en utilisant la technique des six chapeaux de De Bono en vue d'améliorer l'ensemble de ses procédés. Il serait aussi intéressant de se pencher sur l'affectation des différentes machines aux lignes de nettoyage en place. Il y a en tout 3 lignes et sur chacune d'entre elles, 16 machines peuvent être nettoyées en parallèle. L'objectif de cette affectation serait alors de réduire le temps global de nettoyage en place.

Le plus important pour elle est de se placer dans une démarche d'amélioration continue et de chercher constamment des pistes d'amélioration.

Bibliographie

- Bellon-Fontaine N. et al., 2016, « Conception hygiénique de matériel et nettoyage-désinfection », Editions Lavoisier, Mesnil-sur-l'Estrée.
- Bellon-Fontaine N. et Cerf O., 1985. « Nettoyage et désinfection dans les industries alimentaires ». Editions APRIA, Paris
- Bougriou C., 2015. « Calcul et technologie des échangeurs de chaleur », OPU, Alger.
- Corbel P., 2009, « Créer et acquérir de nouvelles technologies et de nouveaux concepts », cours de management des ressources technologiques et des NTIC, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.
- Doriath B., 2008 « Contrôle de gestion en 20 fiches », Dunod, Paris.
- Espinasse B., 2009 « Analyse de la décision dans l'incertain », Université d'Aix-Marseille.
- Goupy J. et Creighton L., 2006. « Introduction aux plans d'expérience ». Editions Dunod, Paris.
- Hamdi K., 1999, « Comment diagnostiquer et redresser une entreprise », Editions Rissala, Alger.
- Hwang C.I et Yoan K. 1981 « Multi-attribute decision-making : a state of the art survey», Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Marler R.T et Arora J.S, 2010, « The weighted sum method for multi-objective applications: new insights », Springer-Verlag.
- Plauchu V. et Tairou A., 2008. « Méthodologie du diagnostic d'entreprise ». Editions L'Harmattan, Paris.
- Pomerol J.C. et Baraba-Romero S., 1993, « Choix multicritères dans l'entreprise », Editions Hermès, Paris.
- Porter M.E, 1985, « Competitive advantage: creating and sustaining superior performance» Editions The Free Press, New York.
- Ravignon L. et al., 1998. « La méthode ABC/ABM », Editions d'organisation, Paris
- Stefanoiu D. et al., 2014. « Optimisation en sciences de l'ingénieur ». Editions Lavoisier, Paris.
- Brevets
- Koosman J.M et al., 2001, Cleaning and sanitizing assembly for clean in place food and beverage automatic dispensing machines and method for use thereof, United States Patent.
- Olsen H.S, 2000, Cleaning-in-place with a solution containing a protease and a lipase, United States Patent.

Votteler R.A et al., 2002 segmented process for cleaning-in-place, United States Patent.

Webographie

Compta-facile.com

Tetrapak.com

Wikipédia.org

Annexe 1 : Quelques exemples d'informations recueillies pour le calcul des charges de la direction de production.

Tableau 27 Consommations électriques des différents équipements de la direction de production

Equipements	Consommations diverses
Equipement industriel	
Tank stérile de 30000 L	Puissance électrique de 3.8 kW Eau de refroidissement 100 l/h
Tank stérile de 40000 L	Puissance électrique de 4.1 kW Eau de refroidissement : 400 l/h
Stérilisateur de 26000 l/h (en incluant l'homogénéisateur)	Puissance électrique de 336.6 kW Consommation en eau de refroidissement : 132 m ³ /h
Stérilisateur de 12000 l/h (en incluant l'homogénéisateur)	Consommation électrique : 188 kW Consommation en eau de refroidissement : 58 m ³ /h
(Conditionneuse de la ligne petit format)×2	(56 kW)×2
(Conditionneuse de la ligne grand format)×2	(70 kW)×2
(Cuve de préparation de 60000 l)×4 pour les produits de grand format + 1 refroidisseur	Puissance électrique : 155.7 kW pour l'ensemble de la ligne de préparation.
(Cuve de préparation de 20000 l)×2 + 1 cuve de 60000 l pour les produits de petit format + 1 refroidisseur	Puissance électrique 124.56 kW pour l'ensemble de la ligne de préparation
Conditionneuse de la ligne grand format	56 kW
Table d'accumulation de la ligne grand format	5 kW
Convoyeur de la ligne grand format	5 kW
Applicateur de bouchon de la ligne grand format	17.7 kW
Consommation électrique des pompes	(0.3 kW)×10
Encartonneuse de la ligne grand format	13 kW
Filmeuse de la ligne grand format	18 kW

Conditionneuse de la ligne petit format	70 kW
Table d'accumulation de la ligne petit format	4 kW
Convoyeur de la ligne petit format	3 kW
Applicateur de bouchon de la ligne petit format	7 kW
Encartonneuse de la ligne petit format	9 kW
Filmeuse de la ligne petit format	17 kW
Station CIP	Consommation électrique de 99.64 kW
Emballages	Même nombre que le nombre de produits fabriqués quotidiennement
Equipements du laboratoire de contrôle qualité	
Ressources	Consommation électrique approximative par heure
1 réfrigérateur-congélateur	0.3 kW
(Dessiccateur)×3	(1.2 kW)×3
1 Bain marie	2 kW
1 Viscosimètre	0.08 kW
(Centrifugeuse)×2	20 kW×2
Testeur de lait	0.06 kW
Titrateur	0.02 kW
Matériel informatique pour le suivi et la supervision	
7 ordinateurs à la production + 4 ordinateurs de la salle de supervision + 7 ordinateurs de la maintenance + 3 ordinateurs du laboratoire + 4 ordinateurs au niveau de la salle de sur-emballage + 2 ordinateurs au niveau de la salle de conditionnement + 4 ordinateurs au niveau des approvisionnements	(Environ 0.15 kW)×30
4 serveurs	(Environ 1.4 kW)×4
3 écrans géants pour la surveillance de la production	(0.4 kW)×3

Abonnement internet	32500 UM par mois
1 rétroprojecteur	0.3 kW
12 caméras de vidéos de surveillance au niveau de l'atelier de production	(0.01 kW)×12

Voici une liste des consommables utilisés au niveau de la direction de production.

Tableau 28 Consommables utilisés sur un mois

Autres consommations et consommables divers	Consommation
Agrafes	Une dizaine de boîtes par mois
Papier	Environ 18 rames de papier par mois
Registres 5 mains	Une dizaine de registres 5 mains par mois
Essuie-tout, savon liquide	Une quinzaine de rouleaux d'essuie-tout par mois, 3 bouteilles de savon liquide
Stylos et marqueurs	Une trentaine de stylos et une dizaine de marqueurs utilisés par mois
8 imprimantes en tout	(Environ 3 kW par mois)×8
10 téléphones pour la communication interne	(Environ 4000 UM)×10
14 lampes dans la salle de conditionnement + 15 lampes dans la plateforme de stérilisation + 8 lampes du laboratoire + 48 lampes au niveau de la production + 24 lampes au niveau des bureaux de la production + 2 lampes de salle de supervision + 8 lampes de la salle de poudrage	(0.035 kW)×119
Boîtes d'archives	Environ 30 par mois

Tableau 29 Recettes des différents produits et matières premières utilisées sur 1 mois

Produit	Recette
Pour une préparation de 60000 l (51500 l d'eau + autres ingrédients variables)	
Lait ½ écrémé	148 sacs de poudre lait de 25 kg à 26% de matière grasse 119 sacs de poudre de lait de 25 kg à 0% de matière grasse
Lait Viva	148 sacs de poudre de lait de 25 kg à 26% de matière grasse 119 sacs de poudre de lait de 25 kg à 0% de matière grasse 4 kits de vitamines
Silhouette	228 sacs de poudre de lait à 0% de matière grasse. 1 kit de vitamine D
Lait entier	264 sacs de poudre de lait de 25 kg à 26% de matière grasse 28 sacs de poudre de lait de 25 kg à 0% de matière grasse
Lait Candy choco 1L	3 kits de vitamines 192 sacs de sucre de 25 kg 180 sacs de poudre de lait à 26% de matière grasse 24 sacs de poudre de lait à 0% 36 sacs de cacao
Pour une préparation de 20000 L	

Candy choco	1 kit de vitamines 64 sacs de sucre de 25 kg 60 sacs de poudre de lait à 26% de matière grasse 8 sacs de poudre de lait à 0% de matière grasse 12 sacs de cacao 14000 l d'eau
Candy banane	48 sacs de poudre de lait à 26% de matière grasse 24 sacs de poudre de lait à 0% de matière grasse 64 sacs de sucre de 25 kg 1 kit arômes, vitamines, colorants de 25 kg 17500 l d'eau
Candy fraise	48 sacs de poudre de lait à 26% de matière grasse 24 sacs de poudre de lait à 0% de matière grasse 64 sacs de sucre de 25 kg 1 kit arômes, vitamines, colorant de 25 kg 17500 l d'eau
Candy caramel	Mêmes ingrédients et 17500 l d'eau
Autres matières premières et matières diverses	
Emballages	Même nombre que le nombre de produits fabriqués quotidiennement
Film étirable	17 kg environ par jour
Bouchons	Environ 326000 par jour
Désinfectant peroxyde	Environ 260 kg par jour
Film rétractable	Environ 561 kg par jour
Intercalaires	Environ 900 par jour
Colle	Environ 26 kg par jour

Pailles	Même nombre que le nombre de boissons petit format produites quotidiennement
Barquettes	Diviser la quantité produite quotidiennement par 12 pour le grand format et 18 pour le petit format

Tableau 30 Consommations et fréquences des différents types de nettoyage en place

Type de nettoyage en place	Fréquence	Appareils concernés	Consommation moyenne et durée
Nettoyage en place de fin de cycle de production	Toutes les 48 heures ou 30 heures suivant le type de produit pour le grand format. Toutes les 36 heures pour la ligne petit format (on fait des exceptions pour les produits peu demandés comme Candy caramel et Candy banane et dans ce cas, les nettoyages se font toutes les 28 heures).	Tanks stériles Conditionneuses Stérilisateurs Lignes U.H.T	Consommation d'environ 100 l de soude, 10000 l d'eau et 80 l d'acide pour une durée minimale de 2 heures 30 pour le tank stérile de 30000 l (la durée est la même pour le tank stérile de 40000 l mais les quantités de détergents sont différentes). Les quantités consommées vont de 80 l à 125 l pour 10000 l d'eau suivant les appareils. Nettoyage de 24 minutes des chaînes des conditionneuses de petit format avec utilisation d'environ 112.5 l d'acide, 112.5 l

			<p>de soude et 85 kg de peroxyde</p> <p>Le nettoyage des chaînes des conditionneuses de grand format nécessite 150 l de chaque détergent et 125 kg de peroxyde et prend 30 minutes.</p> <p>Les lignes U.H.T sont plus rapides à nettoyer.</p>
NIA pour le stérilisateur 26000 l/h	Environ 20 fois par semaine et sans arrêt de la production (la température et l'alimentation sont maintenus).	Stérilisateur de 26000 l/h	<p>Consommation de :</p> <p>89.2 l de soude à 45%</p> <p>60 l d'acide à 60%</p> <p>13000 l d'eau</p> <p>Pour une durée moyenne de 65 minutes.</p>
NIA pour le stérilisateur 12000 l/h	Environ 25 fois par semaine et sans arrêt de la production.	Stérilisateur de 12000 l/h	<p>50.4 l de soude caustique à 45%</p> <p>10000 l d'eau</p> <p>34 l d'acide à 60%</p> <p>Pour une durée moyenne de 48 minutes.</p>
Rinçage à l'eau + ajout éventuel d'un désinfectant	Toutes les 3.5 h (jusqu'à 6 heures parfois)	Tanks de préparation Lignes de refroidissement Mélangeurs	Utilisation d'environ 4000 l d'eau pour une durée de 13 minutes ou 20 minutes suivant l'appareil.

		Lignes de refroidissement	<u>En cas d'ajout de désinfectant :</u> Utilisation de 30 ou 40 l de peroxyde et de 5500 l d'eau pour une durée moyenne de 35 minutes ou 30 minutes suivant l'appareil.
Nettoyage à la soude + ajout éventuel de désinfectant (après une préparation de chocolat)	Toutes les 24 heures	Tanks de préparation Mélangeurs Lignes de refroidissement Lignes U.H.T	Utilisation de 200 l de soude et d'environ 10000 l d'eau (95 litres et environ 5000 litres pour un tank de 20000 l ou un mélangeur) pour une durée moyenne de 60 minutes pour un tank de 60000 l, un mélangeur ou un tank de 20000 l. Utilisation de 95 l de soude et d'environ 5000 l d'eau pour une durée de 40 minutes pour les lignes de refroidissement. <u>En cas d'ajout de désinfectant :</u> La durée passe à 80 minutes environ ou à environ 55 minutes selon les appareils.

			Ajout d'environ 30 ou 40 l de peroxyde et de 2500 l d'eau.
Nettoyage à la soude et à l'acide + ajout éventuel d'un désinfectant	Toutes les 48 heures	Tanks de préparation Mélangeurs Lignes de refroidissement Lignes U.H.T	Utilisation d'environ 12000 l d'eau, 95 l de soude et 80 l d'acide (ou 200 l et 150 l de détergents pour les mélangeurs et les tanks de 20000 l) pour une durée moyenne de 80 minutes pour les tanks de préparation et les mélangeurs. Utilisation de 60 l de soude, de 10000 l d'eau et 50 l d'acide pour une durée moyenne de 60 minutes pour les lignes de refroidissement. <u>En cas d'ajout de désinfectant :</u> Le temps de nettoyage passe à une moyenne 105 minutes pour les tanks de préparation et les mélangeurs et à une moyenne de 75 minutes pour les lignes de refroidissement. La quantité d'eau utilisée

			<p> passe à 14000 et 12000 l respectivement. On ajoute également 25 kg de peroxyde à chaque fois. </p>
<p> Désinfection uniquement </p>	<p> Suite à certaines préparations, surtout lors du passage du chocolat vers le lait alors que l'appareil n'a pas encore atteint le nombre d'heures requis pour faire un autre type de nettoyage. </p>	<p> Tanks de préparation Mélangeurs Lignes de refroidissement Lignes U.H.T </p>	<p> Utilisation d'environ 6000 l d'eau et de 30 ou 40 l de désinfectant pour une durée moyenne de 35 minutes pour les tanks de préparation et les mélangeurs et 30 minutes pour les lignes de refroidissement. </p>

Annexe 2 : Dictionnaire des activités

Tableau 31 Dictionnaire des activités liées à la production

Activités de production					
<p>Procéder à la préparation et à la reconstitution <u>Définition</u> : les poudres de lait sont reconstituées grâce à l'eau et mélangées à d'autres ingrédients suivant les recettes. <u>Fournisseur</u> : les responsables de la production. <u>Client</u> : <u>Ressources consommées</u> : 5 poudres×4 2 préparateurs×4 2 trémies de poudrage 2 mélangeurs 2 refroidisseurs 7 tanks de préparation Matières premières (poudres de lait, sucre, cacao, etc.)</p>	<p>Procéder au traitement thermique <u>Définition</u> : le lait reconstitué subit une homogénéisation, une pasteurisation et une stérilisation U.H.T. <u>Fournisseur</u> : l'atelier de préparation et de reconstitution. <u>Client</u> : l'atelier de conditionnement. <u>Ressources consommées</u> : 2 stérilisateur Eau 2 agents polyvalents×4 2 tanks stériles Lampes pour l'éclairage</p>	<p>Conditionner les produits <u>Définition</u> : les produits sont conditionnés dans leurs emballages. <u>Fournisseur</u> : l'atelier de stérilisation U.H.T. <u>Client</u> : l'atelier de sur-emballage. <u>Ressources consommées</u> : 3 opérateurs de conditionnement 4 conditionneuses 2 ordinateurs Eau Lampes pour l'éclairage Cartons Pailles Emballages</p>	<p>Procéder au sur-emballage <u>Définition</u> : les produits sont filmés et emballés pour être stockés. <u>Fournisseur</u> : atelier de conditionnement <u>Client</u> : Entrepôts de stockage. <u>Ressources consommées</u> : 2 agents de banderolage 4 opérateurs de sur-emballage 4 ordinateurs 2 encartonneuses 2 tables d'accumulation 2 bouchonneuses 2 filmeuses 2 convoyeurs Lampes pour l'éclairage Barquettes Colle Film</p>	<p>Procéder aux nettoyages en place <u>Définition</u> : <u>Fournisseur</u> : L'unité de production quand les machines sont souillées. <u>Client</u> : L'unité de production <u>Ressources consommées</u> : Soude Acide Eau Peroxyde Station CIP 2 chefs d'équipe×4</p>	<p>Envoyer les produits vers le lieu de stockage <u>Définition</u> : les produits sur-emballés sont menés vers le lieu de stockage. <u>Fournisseur</u> : atelier de sur-emballage. <u>Client</u> : Entrepôts de stockage. <u>Ressources consommées</u> : 3 caristes×4</p>

Eau					
Lampes pour l'éclairage					
Activités support de production					
<p>Planifier la production</p> <p><u>Définition</u> : le programme de production est établi lors de réunions de deux heures et ce, en fonction des besoins et de l'état des machines.</p> <p><u>Fournisseur</u> : La direction de production.</p> <p><u>Client</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : 2 h/semaine du temps du sous-directeur de la production 2 h/semaine du temps du directeur de la production 2 h/semaine du temps du directeur des approvisionnements 2 h/semaine du temps du directeur de la maintenance 2h/semaine de deux responsables</p>	<p>Veiller à ce que les moyens de production soient suffisants</p> <p><u>Définition</u> : Vérifier que les alimentations en eau et en électricité sont normales et qu'il n'y a pas de surconsommation.</p> <p><u>Fournisseur</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Client</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : Un responsable des utilités 2 techniciens Lampes pour l'éclairage 2 ordinateurs</p>	<p>Suivre la production</p> <p><u>Définition</u> : Relever les informations des registres, contrôler le nombre d'unités et produite et s'assurer qu'il n'y a pas d'anomalies.</p> <p><u>Fournisseur</u> : La direction de la production.</p> <p><u>Client</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : Directeur de la production Sous-directeur de la production 3 responsables (ordonnancement, lignes PF et GF) Chargé des apros et de la non-conformité Imprimantes 7 Ordinateurs Ecrans géants Lampes pour l'éclairage Consommables divers</p>	<p>Editer les statistiques de production</p> <p><u>Définition</u> : comparer les chiffres prévisionnels aux quantités produites et établir de là des statistiques.</p> <p><u>Fournisseur</u> : Direction de production.</p> <p><u>Client</u> : Direction générale du groupe.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : Directeur de la production Sous-directeur de la production 3 responsables (ordonnancement, lignes PF et GF) Chargé des apros et de la non-conformité Imprimantes 11 Ordinateurs Lampes pour l'éclairage 2 chefs d'équipe×4 Consommables divers</p>	<p>Procéder aux contrôles qualité</p> <p><u>Définition</u> : s'assurer que les matières premières, les produits semi-finis et produits finis répondent aux exigences de qualité.</p> <p><u>Fournisseur</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Client</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : Divers équipements du laboratoire (centrifugeuses, titrateur, bain marie, etc.) 1 directeur du service bactériologie Un directeur du service des contrôles physico-chimiques 3 ordinateurs 4 laborantins×4 1 sous-responsable×4 Lampes pour l'éclairage</p>	

du laboratoire de contrôle qualité. Lampes pour l'éclairage Consommables divers				Papier, registres, boîtes d'archives. Imprimantes. Consommables divers
Activités de maintenance				
<p>Intervenir sur les machines</p> <p><u>Définition</u> : Faire les réparations adéquates lorsqu'un problème se manifeste au niveau d'une machine.</p> <p><u>Fournisseur</u> : L'unité de production</p> <p><u>Client</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : 4 techniciens d'intervention×4 Outillage divers</p>	<p>Contrôler les machines et les divers équipements</p> <p><u>Définition</u> : Contrôler le fonctionnement journalier des machines.</p> <p><u>Fournisseur</u> : Le service de maintenance.</p> <p><u>Client</u> : L'unité de production.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : 1 directeur de la maintenance 4 responsables (2 de la partie dite conditionnement et 2 de la partie dite process) 5 ordinateurs Lampes pour l'éclairage Consommables divers (stylos, papiers, etc.)</p>	<p>Editer les statistiques de maintenance</p> <p><u>Définition</u> : Consigner le nombre de pannes survenues et le comparer aux chiffres passés.</p> <p><u>Fournisseur</u> : Le service de production</p> <p><u>Client</u> : La direction générale.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : 1 directeur de la maintenance 4 responsables (2 de la partie dite conditionnement et 2 de la partie dite process) 5 ordinateurs Lampes pour l'éclairage Consommables divers (stylos, papiers, etc.)</p>		
Activités relatives à la gestion des stocks				
<p>Contrôler les flux des stocks</p> <p><u>Définition</u> : Contrôler le nombre d'unités qui entrent et sortent du stock.</p> <p><u>Fournisseur</u> : Le service gestion de stocks.</p> <p><u>Client</u> : La direction générale.</p> <p><u>Ressources consommées</u> : 3 magasiniers</p>	<p>Assurer la sécurité du stock</p> <p><u>Définition</u> : surveiller le stock et le protéger contre les tentatives de vol.</p> <p><u>Fournisseur</u> : Le service de gestion des stocks.</p> <p><u>Client</u> : Le service de gestion des stocks.</p> <p><u>Ressources consommées</u> :</p>	<p>Superviser la gestion des stocks</p> <p><u>Définition</u> : Vérifier que chacun fait correctement son travail dans le service de gestion des stocks.</p> <p><u>Fournisseur</u> : Le service de gestion des stocks.</p> <p><u>Client</u> : Le service de gestion des stocks.</p>	<p>Déplacer les matières premières et produits finis du lieu de stockage vers le lieu de destination</p> <p><u>Définition</u> : les produits sont acheminés vers leur lieu de destination après une commande.</p>	<p>Conservier les produits dans le lieu de stockage</p> <p><u>Définition</u> : Maintenir les produits dans leurs lieux de stockage.</p> <p><u>Fournisseur</u> : Le service de gestion des stocks.</p> <p><u>Client</u> : Le service de gestion des stocks.</p> <p><u>Ressources consommées</u> :</p>

<p>1 magasinier principal 3 ordinateurs Lampes pour l'éclairage Consommables divers</p>	<p>Caméras de vidéo-surveillance 5 agents de sécurité×4</p>	<p><u>Ressources consommées :</u> 1 gestionnaire des stocks 1 ordinateur 1 écran géant Lampes pour l'éclairage</p>	<p><u>Fournisseur :</u> Le service de gestion des stocks. <u>Client :</u> Le service de gestion des stocks. <u>Ressources consommées :</u> 4 agents polyvalents×4 4 caristes×4 Transport.</p>	<p>Terrains loués Entrepôts près de l'unité de production. Intercalaires Services extérieurs payés à des prestataires de services.</p>
---	---	--	---	--