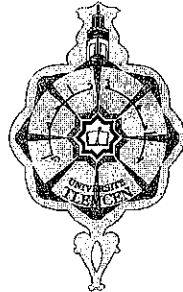


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen
Faculté des Sciences Economiques et Commerciales et Sciences de Gestion



MEMOIRE DE MAGISTERE EN SCIENCES ECONOMIQUES

Option : Recherche Opérationnelle et Management des Entreprises

Thème

**Performance des entreprises et optimalité de
l'utilisation des moyens de production :
principales méthodes d'optimisation**

Présenté par : **BENDAHMANE SAMIRA**

Sous la direction du : **Pr. BELMOKADEM Mostéfa**

JURY :

Pr. BENDIABDELLAH Abdesalem	Université de Tlemcen	Président
Pr. BELMOKADEM Mostéfa	Université de Tlemcen	Encadreur
Dr. KERZABI Abdellatif	Université de Tlemcen	Examineur
Dr. TCHOUAR Kheir-Eddine	Université de Tlemcen	Examineur
Dr. BETTAHAR Samir	Université de Tlemcen	Examineur

Année Universitaire : 2009/2010

Sommaire

SOMMAIRE

Remerciement

Introduction générale.....	4
-----------------------------------	----------

Chapitre 1 : Performance des entreprises et production au plus juste

1.1 Introduction.....	10
1.2 Les indicateurs de performance.....	11
1.3 La production au plus juste : un nouveau contexte productique.....	21
1.4 L'approche globale des performances industrielles par le Taux de Rendement Synthétique.....	31
1.5 Conclusion.....	43

Chapitre 2 : Efficacité et sûreté des moyens de production

2.1 Introduction.....	45
2.2 Efficacité économique des moyens de production.....	46
2.3 La maîtrise des flux de production.....	52
2.4 La sûreté, volet incontournable de l'efficacité.....	61
2.5 Conclusion.....	75

Chapitre 3 : Principales méthodes de résolution de problèmes multi-objectifs

3.1 Introduction.....	77
3.2 Définitions.....	78
3.3 Classification des méthodes de résolution de problèmes multi-objectifs ..	81
3.4 La programmation avec buts linéaire	89
3.5 Conclusion.....	109

Chapitre 4 : Etude de cas au niveau de l'entreprise Denitex

4.1 Introduction.....	111
4.2 Présentation de l'entreprise Denitex.....	112
4.3 Processus de fabrication des tissus et principaux équipements de production	
4.4 Optimisation de l'utilisation des équipements de l'atelier de filature utilisant le goal programming avec intervalle.....	132
4.5 Evaluation de la performance de l'atelier de filature	147
4.6 Conclusion.....	150
Conclusion générale	152
Références générales	156
Liste des figures	164
Liste des tableaux	167

Remerciements

La première personne qui me vient à l'esprit et que je tiens à remercier profondément est le Professeur Mostéfa BELMOKADEM, Professeur et directeur du laboratoire de recherche « Evaluation de la Politique de Développement Economique en Algérie » à la faculté des sciences économiques et commerciales et de gestion (université de Tlemcen), pour sa sympathie, ses conseils et sa disponibilité pendant toute la réalisation de ce mémoire. Ses connaissances scientifiques et son esprit d'analyse m'ont permis de mener à terme ce travail de recherche.

Je tiens également à remercier le Pr Abdesalem. BENDIABDELLAH, Professeur et Doyen à la faculté des sciences économiques et commerciales et de gestion (université de Tlemcen) de s'être intéressé à mon travail et qui m'a fait l'honneur de présider le jury réuni pour la soutenance de ce mémoire de magistère.

Je remercie aussi Mr Kheir-Eddine. TCHOUAR, Mr Abdellatif. KERZABI et Mr Samir. BETTAHAR d'avoir accepté de porter un jugement sur mon travail de recherche et de faire partie du jury de soutenance de ce mémoire.

Ces remerciements ne seraient pas complets si je n'y associais pas toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, en particulier, l'ensemble de l'équipe technique et administrative de l'entreprise Denitex à Sebdou –chacun par son nom– pour leur gentillesse, leur bonne humeur et leur disponibilité. Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à l'ensemble du personnel de notre faculté, y compris ceux de la bibliothèque, pour leur disponibilité et leur aide.

Une pensée très tendre et reconnaissante pour mon mari qui est à l'origine de mon bonheur.

Finalement, je ne peux qu'être infiniment reconnaissante envers mes parents pour leur soutien indescriptible, leur patience, leur confiance et leurs nombreux sacrifices. Qu'ils sachent que je suis consciente de ce que je leurs dois et j'espère être un jour en mesure de leur prouver mon affection ! Je leur dédie avec plaisir ce travail ainsi qu'à ma grand-mère Fatéma-Zohra, ma sœur Ikram et mon petit frère Abdelkader sans oublier mes beaux parents ainsi que toute ma famille.

Introduction générale

Introduction générale

La performance a toujours été au cœur des préoccupations de plusieurs chercheurs aussi bien en économie qu'en gestion. Chaque individu qui s'y intéresse (chercheur, dirigeant, client, actionnaire, etc.) l'aborde selon son propre optique. Selon Marmuse « la performance n'existe pas. C'est donc d'une notion complexe à identifier et surtout à évaluer. D'ailleurs, plusieurs acceptions ont été élaborées autour de ce sujet »⁽¹⁾.

La recherche d'une performance globale élevée des entreprises industrielles est une des principales préoccupations de leurs dirigeants. L'évolution rapide des marchés, des technologies, des formes de concurrence, oblige en effet ces responsables à un progrès permanent, allant toujours dans le sens d'une meilleure compétitivité, et d'une amélioration de la rentabilité des capitaux investis.

La prise de conscience de ces exigences a favorisé, depuis le début des années 1980, une remise en cause profonde des habitudes de production d'organisation. Initialement développée au Japon et aux USA, une démarche nouvelle a ainsi été mise en œuvre en Europe, depuis une quinzaine d'années, principalement dans les grandes sociétés industrielles. Elle est aussi pratiquée aujourd'hui dans de nombreuses et petites entreprises, ou elle permet d'importantes améliorations de qualité, de productivité, de réactivité.

« Basée sur le concept du "Lean Management", appelée "production au plus juste" en Europe francophone. Elle puise ses ressources non dans l'investissement financier, mais dans le capital intellectuel dont dispose l'entreprise, et dans sa capacité à se réformer elle-même »⁽²⁾.

Il s'agit en effet, dans ce mouvement, non d'augmenter vraiment les capacités de production, mais de trouver une grande souplesse d'adaptation à la demande des marchés et une efficacité économique élevée⁽³⁾.

La souplesse d'adaptation, dont il est question, passe par la flexibilité des installations de production et par leur réactivité: c'est pourquoi la pratique du juste à temps tend à se généraliser, associée à une minimisation du temps de réglage des machines et à une forte réduction des encours de fabrication.

⁽¹⁾ Marmuse, C., Performance, Encyclopédie de gestion, Economica, tome 2, 1997, p: 2196.

⁽²⁾ Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999, p : 13.

⁽³⁾ Warnecke H.J., M. Hiiser, "Lean production", International Journal of Production Economics, Vol. 41, Elsevier, 1995, p : 38.

Cette amélioration a toutefois son revers: les flux de production, de plus en plus tendus, sont de plus en plus vulnérables: les défaillances et pannes, autrefois tolérées grâce à l'existence de stocks, sont jugées insupportables ⁽¹⁾.

La fiabilité des équipements et des flux devient donc une exigence incontournable. Il en est de même de leur maintenabilité: c'est pourquoi la disponibilité des installations a pris une importance majeure. Celle-ci, dépendant d'abord de la conception des machines, est, également, favorisée par l'usage de systèmes d'information performants, fiables et maintenables.

Avoir des lignes de production toujours en état de fonctionner, donc très disponibles, n'est cependant pas suffisant. « Elles doivent en effet fabriquer des produits sans défaut et, si la demande des marchés le justifie, fonctionner au maximum de leur capacité, donc, sans ralentissement ni micro arrêts. Mieux, elles doivent si nécessaire produire pendant les heures de temps non requis réservées aux pauses, aux réunions, aux week-ends, etc. » ⁽²⁾.

Toutes ces mesures tentent à augmenter l'efficacité des installations, mais des pertes de production multiples subsistent généralement dans les ateliers: transferts de produits inutiles, attentes, goulots d'étranglement, procédures peu performantes, etc. tous ces gaspillages, appelés parfois opérations sans valeur ajoutée, accroissent le prix de revient des produits ⁽³⁾. Or le coût de fabrication est, chacun le sait, une composante majeure de la compétitivité d'une activité de production. « C'est pourquoi un mouvement fort s'est développé, parallèlement à celui de la production au plus juste, dont il est composant: la maintenance productive totale (TPM) » ⁽⁴⁾. Une des actions essentielles de ce mouvement réside dans la réorganisation des ressources humaines et la mobilisation des personnes.

Pour résister à la concurrence, les entreprises doivent continuellement améliorer leur productivité, elles y parviennent par de nouvelles formes d'organisations du travail,

⁽¹⁾ Tyson R. Browning, Ralph D. Heath, Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program, Journal of Operations Management, Vol 27, United States, 2009, p : 26.

⁽²⁾ http://www.lysippe.com/IMG/pdf/Flux_de_valeur_V2.pdf

⁽³⁾ Tyson R. Browning, Ralph D. Heath, *ibid*, p: 24.

⁽⁴⁾ Sourisse, C., F. Klaye, *op.cit*, p: 14.

mais aussi par la mise en œuvre de matériels sophistiqués et de plus en plus coûteux. « La recherche d'une performance globale nécessite ainsi une disponibilité élevée des équipements de production et une efficacité économique réelle des systèmes de production, apportant une réponse satisfaisante aux ambitions des dirigeants. La nécessité de mesurer la performance des moyens de production, leur engagement effectif s'impose tout naturellement » ⁽¹⁾. Indicateurs de performances sont plus que jamais d'actualité.

De ce fait, la bonne utilisation de ces équipements devient un élément essentiel de la performance de l'entreprise.

On peut, dès lors se poser la question suivante :

Comment, en assurant une optimalité d'utilisation des moyens de production, l'entreprise peut-elle arriver à être performante ?

A travers cette problématique, on va essayer de répondre à certaines questions secondaires telles que :

- A partir de quel indicateur se réfèrent les entreprises industrielles pour mesurer la performance de leurs moyens « équipements » de production ?
- Comment augmenter la productivité des équipements de production ?
- Quel est le meilleur outil mathématique qui peut résoudre ce problème d'optimisation ?

La nature quantitative de notre problématique nous a incités à utiliser les méthodes de la recherche opérationnelle, « cette dernière consiste en l'application de la méthode scientifique aux opérations, et c'est en cela que réside le facteur essentiel de son succès.

Par opération, on entend l'ensemble d'un processus économique, les moyens matériels et humains mis en œuvre, les stratégies et tactiques utilisées » ⁽²⁾.

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p: 15.

⁽²⁾ Salzman, C., "la recherche opérationnelle: Introduction à son application industrielle", Revue des statistiques appliqués, tome 2, n°1, 1957, p: 57.

Contexte et but du travail

De tous temps, les responsables des entreprises ont essayé de tirer le maximum de leurs moyens de production, en augmentant les cadences, tout en cherchant à minimiser les coûts. Il s'agissait donc d'augmenter à la fois la production et productivité de ces ressources.

Atteindre une productivité maximale des équipements de production dépend essentiellement des durées ou temps d'utilisation des machines allouées à la production des différents produits.

De ce point de vue, le but de notre recherche est donc d'optimiser l'utilisation d'un ensemble d'équipements installés afin d'atteindre le volume de production espéré et satisfaire par la suite la commande des clients, ainsi on est confronté à un problème d'optimisation multi-objectifs.

L'optimisation multi-objectifs s'intéresse à la résolution de ce type de problèmes, mais La difficulté principale d'un problème multi-objectifs est qu'il n'existe pas de définition de la solution optimale. « Le décideur peut simplement exprimer le fait qu'une solution est préférable à une autre mais il n'existe pas une solution meilleure que toutes les autres » ⁽¹⁾.

Dès lors résoudre un problème multi-objectifs ne consiste pas à rechercher la solution optimale mais l'ensemble des solutions satisfaisantes pour lesquelles on ne pourra pas effectuer une opération de classement.

« Les méthodes de résolution de problèmes multi objectifs sont donc des méthodes d'aide à la décision car le choix final sera laissé au décideur.

Pour répondre à ce problème, la communauté scientifique a adopté deux types de comportement :

- ✓ Le premier est de ramener un problème multi-objectifs à un problème simple objectif au risque d'enlever toute signification au problème.
- ✓ Le second comportement est de tenter d'apporter des réponses au problème au prenant en compte l'ensemble des critères. Cette partie de la communauté scientifique a amené durant ces dix dernières années un grand nombre d'innovations dans les méthodes de résolution.

La différence entre ces deux communautés est :

⁽¹⁾ Berro, A., « Optimisation multi-objectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique », thèse de doctorat, faculté des sciences sociales, université Toulouse I, 2001, p : 29.

- Soit le décideur intervient dès le début de la définition du problème, en exprimant ses préférences, afin de transformer un problème multi-objectifs en un problème simple objectif.
- Soit le décideur effectue son choix dans l'ensemble des solutions proposées par le solveur multi-objectifs » ⁽¹⁾.

Organisation du travail

Les réponses aux questions posées avant font l'objet d'un développement qui se répartit en quatre chapitres organisés de la façon suivante :

- Chapitre 1 :

Nous présentons certains concepts et termes de base relatifs à la performance industrielle, ainsi l'indicateur le mieux adopté et approprié à mesurer la performance des moyens de production.

- Chapitre 2 :

Nous nous intéressons essentiellement à l'outil de production proprement dit, donc aux moyens mis en œuvre dans les ateliers. La fiabilité-disponibilité des équipements et installations, qui reste la base d'une efficacité élevée, sera notre préoccupation première, et c'est pourquoi leur sûreté comprenant quatre composantes qui sont la Fiabilité, la Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité (FMD- Sécurité) est étudiée en détail.

- Chapitre 3 :

Sera consacré aux principales méthodes de résolution de problèmes multi objectifs, qui englobe plusieurs modèles, dont la programmation par buts avec intervalle où les paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles.

- Chapitre 4 :

Sera réservé à une étude de cas réalisée dans une entreprise publique DENITEX qui fabrique des produits textiles denim, l'objectif visé par l'entreprise est d'atteindre le volume de production programmé pour chacun de ses produits tout en respectant la capacité de production des machines.

Dans ce contexte de production, nous cherchons à trouver le nombre d'heures que les machines doivent allouer à la production de ses différents articles.

⁽¹⁾ Berro, A., op.cit, p: 30.

CHAPITRE 1

PERFORMANCE DES ENTREPRISES

ET

PRODUCTION AU PLUS JUSTE

1.1 Introduction

« La performance d'une entreprise est une notion générique qui recouvre diverses notions telles que la compétitivité, l'efficacité, l'efficience, la création de valeur, etc... »⁽¹⁾.

La performance se réfère à la capacité de l'entreprise à concrétiser ses objectifs stratégiques en adoptant les meilleures façons de faire. « Elle repose sur trois principales dimensions : la performance économique (résultat opérationnel, productivité...), la performance financière (création de valeur, niveau d'action...) et la performance concurrentielle (compétitivité, part de marché...). Nous y rajoutons une quatrième dimension liée à la performance informationnelle »⁽²⁾.

Chaque dimension de la performance requiert à la fois efficacité et efficience:

- ✓ L'efficacité s'applique à la réalisation des objectifs fixés,
- ✓ et l'efficience recherche la combinaison des moyens disponibles de la manière la plus productive possible.

Dans le présent chapitre, nous présentons certains concepts et termes de base relatifs à la performance industrielle. Notre objectif principal est de révéler l'intérêt des entreprises adoptant une production dite au plus juste, ainsi l'indicateur le mieux approprié à mesurer la performance des moyens de production.

Dans la section 1, nous nous intéressons à l'indicateur de performance.

La section 2 montre l'intérêt des entreprises industrielles de passer d'une production de masse à une production dite au plus juste.

Quant à la dernière section est consacrée au taux de rendement synthétique comme indicateur de performance tout aussi global que local, puisqu'il prend en compte les aspects qualité, performance et disponibilité opérationnelle.

⁽¹⁾ Dhouib, D., H. Chabchoub, « un modèle d'évaluation hiérarchique de la performance des entreprises manufacturières », Laurentian University, 2006, p : 32.

⁽²⁾ Sénéchal, O., Pilotage des systèmes de production vers la performance globale, Habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambresis, 2004, p :52.

1.2 Les indicateurs de performance

1.2.1 Le concept de performance

La performance ou les performances : le problème se pose déjà à un niveau très général. L'entreprise est-elle une institution à finalités essentiellement économiques (profit, rentabilité), ce qui impliquerait que ses performances soient définies à partir de ces seules finalités, et que les autres considérations (juridiques, sociales, écologiques...) s'expriment sous forme de contraintes ? Ou l'entreprise a-t-elle d'autres finalités qu'économiques (sociales, citoyennes, environnementales...), d'importance comparable, ce qui imposerait d'emblée le caractère multidimensionnel de la performance ?

En se référant aux travaux d'Agbodan et Amoussouga, « la performance est à la fois accroissement du chiffre d'affaires, de la part de marché, du bénéfice. Elle se manifeste aussi à travers les œuvres sociales et la satisfaction donnée au personnel. La performance est l'innovation, la variation de la gamme de produits. C'est la simplification des unités de production et du service pour la conquête et la fidélisation du client » ⁽¹⁾. Bourrier définit, de son côté, « la performance comme étant l'atteinte des buts que l'entreprise s'est fixés. Ce n'est, donc, pas le simple constat d'un résultat mais plutôt sa comparaison à une référence. Cette référence pourrait être soit un objectif visé, un résultat obtenu dans le passé ou un résultat obtenu par d'autres entreprises » ⁽²⁾.

« Si l'on admet que la performance de l'entreprise est d'essence économique, elle s'identifie à sa création de richesse, création nette (création moins destruction), car l'entreprise consomme des ressources (le temps des personnes, des capitaux, des matériaux, de l'espace...) pour produire des produits et des prestations. La création de richesse apparaît donc comme un solde, pas nécessairement mesurable, entre une destruction et une production (matérielle ou immatérielle), entre la valeur C des ressources détruites (les « coûts » liés au fonctionnement de l'entreprise) et la valeur V des prestations obtenues.

La performance met en regard, qu'il s'agisse d'une mesure quantitative ou d'une comparaison qualitative, qu'il s'agisse d'une différence ($V - C$) ou d'un ratio (V/C), les coûts de l'activité et la valeur de ses outputs » ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Agbodan, M. & Amoussouga, F., Les facteurs de performance de l'entreprise, éditions John Libbey Euratext, 1995, p : 16.

⁽²⁾ Bourrier, J., Guillot, J.M. & Lochere, G., "Mise en place d'un système d'indicateurs de performance", Revue Française de Gestion Industrielle, 1998, 17(2), cité en Diala Dhouib, Habib Chabchoub, 2006, op.cit, p: 32.

⁽³⁾ Lorino, P., Méthodes et pratiques de la performance, Edition d'Organisation, Paris, 2000, P : 29.

En outre dans la majorité des cas, le solde « valeur-coût » n'a de sens qu'à un niveau d'organisation assez global, sur de grands ensembles tels que des divisions, des filiales, des branches. Plus l'on descend vers des unités opérationnelles de petite taille, plus le rapprochement entre les coûts et la valeur produite devient difficile.

La définition de la performance comme couple valeur-coût pose donc le problème de son opérationnalité.

Comment la mettre en œuvre concrètement, pour fonder des critères de décision et des méthodes de pilotage dans l'action quotidienne des acteurs de l'entreprise ?

« De ce fait le pilotage concret des opérations exige souvent que le couple « valeur-coût » de la performance économique soit traduit en objectifs plus précis, de nature stratégique considérés comme les voies royales du profit et de la rentabilité » ⁽¹⁾.

« En matière de gestion, la performance est la réalisation des objectifs organisationnels.

Cette définition très générale, met en évidence trois caractéristiques fondamentales de la performance.

- Elle se traduit par une réalisation(ou un résultat)
- Elle s'apprécie par une comparaison
- La comparaison traduit le succès de l'action » ⁽²⁾.

La performance est donc une notion relative (résultat d'une comparaison) multiple (diversité des objectifs) et subjective (dépendant de l'acteur qui l'évalue).

1.2.2 La notion d'indicateur de performance

Les caractéristiques générales d'un indicateur ont été initialement résumées, dans le cadre du projet « Cost Management system », par les principes suivants ⁽³⁾:

- 1) La mesure de performance doit être mise en place au niveau même des activités qui lui donnent naissance (émergence d'une évaluation et d'un contrôle locaux au plus près),
- 2) Les indicateurs doivent être établis en cohérence avec les objectifs,

⁽¹⁾ Bonnefous, C. et A. Courtois, Indicateurs de performance, Hermès Sciences Publications, Paris, 2001, P : 25.

⁽²⁾ Bourguignon, A., " Peut-on définir la Performance?", Revue Française de Comptabilité, N° 269, 2005, P : 15.

⁽³⁾ Berrah, L., L'indicateur de performance : Concepts et Applications, Cépaduès -Editions, France, 2002, P : 48.

- 3) Les mesures de performance doivent être facilement quantifiables et contrôlables (relativement aux mécanismes du contrôle de gestion),
- 4) La performance doit être contrôlable par les gens à qui la mesure est destinée,
- 5) Les mesures doivent être adaptées en fréquence et pouvoir être validées.

Ces principes ont générés (essentiellement les principes 2) et 4)) des définitions plus précises de l'indicateur. La plus générale est : « un indicateur est une mesure objectivée ». Cette définition met en avant deux notions fondamentales :

- La notion de mesure, qui sous-entend en particulier une recherche d'informations,
- La notion d'objectif, qui rappelle que l'évaluation s'effectue toujours par rapport à un référent.

« Un indicateur de performance est également défini comme étant « un événement observé, prélevé, mesuré, déterminé par le calcul, permettant d'identifier qualitativement ou quantitativement une amélioration positive (ou négative) du comportement d'un procédé »⁽¹⁾.

Nous définirons « un indicateur de performance (désormais IP) comme une information devant aider un acteur, individuel ou plus généralement collectif, à conduire le cours d'une action vers l'atteinte d'un objectif ou devant lui permettre d'en évaluer le résultat »⁽²⁾.

La définition proposée distingue deux situations correspondant à des fonctions distinctes de l'IP⁽³⁾ :

- Soit il s'agit de conduire une action en cours –on parlera alors d'indicateur de processus ou de pilotage, généralement utilisé par l'acteur lui-même pour sa propre gouverne,
- Soit il s'agit d'évaluer le résultat de l'action achevée –on parlera alors d'indicateur de résultat, souvent utilisé pour informer des agents extérieurs à l'action mesurée, par exemple, les supérieurs hiérarchiques ; l'indicateur de résultat constitue alors un indicateur de reporting.

⁽¹⁾ Lorino, P., Comptes et Récits de la Performance, Editions d'Organisations, Paris, 1995, P : 55.

⁽²⁾ Rodier, J. P., Les systèmes de mesure de performance, Editions d'Organisation, Paris, 1999, P : 74.

⁽³⁾ Lorino, P., Méthodes et pratiques de la performance, op.cit, P : 29.

D'une manière générale, nous retiendrons que l'IP ⁽¹⁾:

- N'a d'utilité que relativement à une action à piloter (à lancer, à ajuster, à évaluer), donc il est étroitement lié à un processus d'action précis (par exemple, processus d'usinage, processus d'accueil des clients) : il a une pertinence opérationnelle ;
- Doit correspondre à un objectif, qu'il mesure l'atteinte de cet objectif (indicateur de résultat) ou qu'il informe sur le bon déroulement d'une action visant à atteindre cet objectif (indicateur de pilotage) : il a une pertinence stratégique ;
- Est destiné à l'utilisation par des acteurs précis, généralement collectifs (les équipes, y compris l'équipe de direction).

L'indicateur de performance se trouve en quelque sorte au centre d'un « triangle *stratégie* traduite en objectifs/*processus d'action*/*acteur* (collectif) »

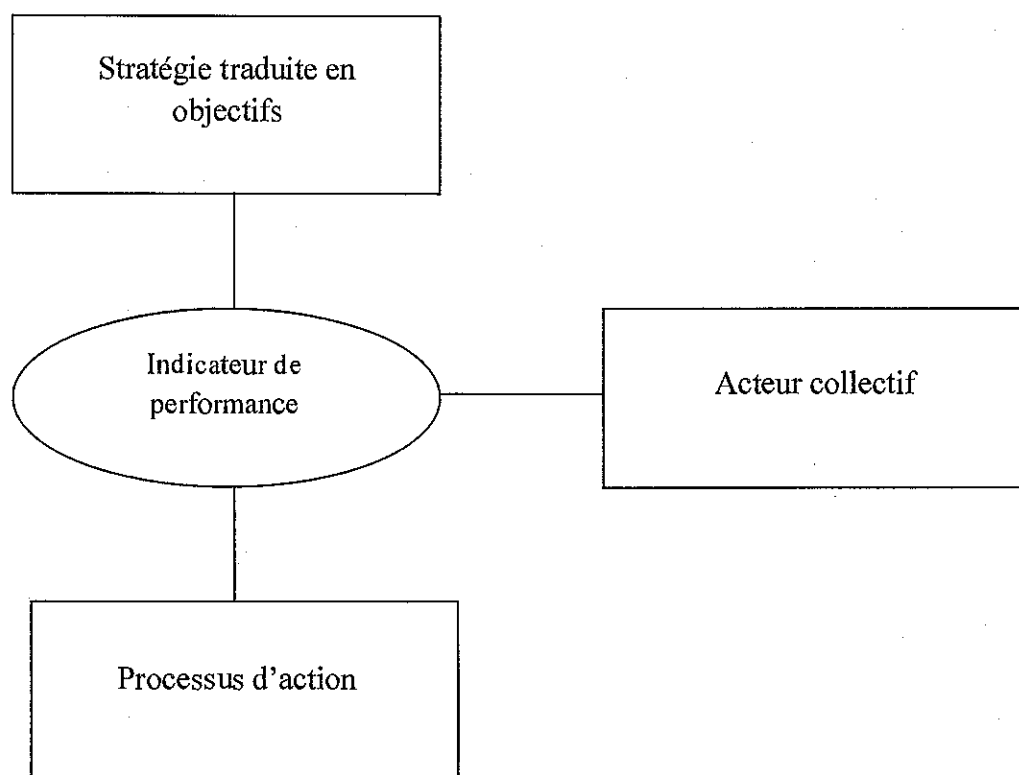


Figure 1.1 : le triangle Stratégie/acteur/processus d'action

Source : Bonnefous, C. et A. Courtois, Indicateurs de performance, Hermès Sciences Publications, Paris, 2001, P : 27.

⁽¹⁾ Bonnefous, C. et A. Courtois, op.cit, P : 26.

1.2.3 Les indicateurs usuels

1.2.3.1 Les indicateurs fondés sur le triptyque coût- qualité-délai

La définition des indicateurs ayant dépassé le seul cadre financier hérité du modèle taylorien, les indicateurs sont multicritères, fondés pour l'essentiel des opérations industrielles sur le triptyque coût-qualité-délai ⁽¹⁾ :

Tableau 1.1 : Quelques exemples illustratifs de la notion d'indicateur de performance

Critère	exemples d'indicateurs de performance
Coût / Volume	$Productivité = \frac{\text{nombres de pièces produites}}{\text{nombres d'heures passées}}$ $Efficience = \frac{\text{quantités produites} \times \text{temps alloué}}{\text{temps réel passé}}$ $Coût \text{ Achât} = \frac{\text{montant des achats}}{\text{chiffres d'affaires}}$
Qualité	$Retour_clients = \frac{\text{nombres de livraisons retournés}}{\text{nombre total de livraison}}$ $Retouches = \frac{\text{nombres d'heures de retouche}}{\text{nombre d'heures produites}}$ $Taux \text{ de rebut} = \frac{\text{nombres de pièces rebutées}}{\text{nombres de pièces produites}}$
Délai	<p>Date de livraison/date de besoin du client</p> <p>Temps de production = délai entre le début et la fin de la production</p> $Service \text{ clients} = \frac{\text{commandes livrées à temps}}{\text{commandes livrées}}$

Source : Berrah, L., L'indicateur de performance : Concepts et Applications, Cépadués-Editions, France, 2002. P : 98.

⁽¹⁾Berrah, L., op.cit, P : 97.

En effet, dépassant la philosophie taylorienne, une catégorie d'indicateurs prenant en compte les progrès accomplis dans la mise en place d'un modèle post-taylorien, essentiellement centrés sur la qualité et sur le délai (taux de rebuts, taux de satisfaction des clients,...), a été introduite dans le souci de pousser à « être au moins conforme ». « Concernant la notion de coût, une autre catégorie d'indicateurs privilégie la continuité du fonctionnement des installations, soit la prévention des causes d'arrêts (notion de rendement). Ceci étant, malgré toutes les évolutions industrielles, les entreprises ne se sont pas défaits du réflexe taylorien, qui assimile l'essentiel de la réduction des coûts à la notion de la productivité (ce qui fait aller de surcroît l'évaluation de la productivité essentiellement dans le sens d'une économie de main d'œuvre directe MOD) » ⁽¹⁾. Or, non seulement la performance de l'entreprise ne dépend plus seulement des activités de production, mais, la performance d'une unité de production ne peut pas toujours être illustrée par cet unique aspect. Aussi, cette réduction du seul facteur de productivité MOD peut induire des effets pervers et une baisse de la productivité globale (surcoût de consommations intermédiaires, augmentation des rebuts,...) ou de capital fixe (augmentation des pannes). Améliorer la productivité globale nécessite désormais la considération d'autres indicateurs de productivité relatifs à la matière, l'énergie,..., ou d'indicateurs rattachés à des critères tels que le taux d'absentéisme, les temps d'utilisation des machines, le temps passé en reprises de défauts,... Parfois même des indicateurs provenant d'unités périphériques ont des incidences sur la performance atteinte (par exemple la qualité de l'outillage fourni par le service des méthodes).

« De façon plus générale, au-delà des critiques ciblées sur la productivité, si le triptyque coût-qualité-délai continue à faire foi, les entreprises d'aujourd'hui doivent intégrer d'autres critères de performances tels que l'innovation, le respect de l'environnement, la sécurité ou les compétences » ⁽²⁾.

1.2.3.2 Les indicateurs selon le niveau de pilotage

« Classiquement, les modes de pilotage peuvent être déclinés selon l'horizon temporel : stratégique, tactique et opérationnel » ⁽³⁾. On distingue alors les indicateurs stratégiques, les indicateurs tactiques et les indicateurs opérationnels, non tous forcément restreints à une expression financière, les indicateurs stratégiques et tactiques répondent, en général, à un besoin de synthèse, ils permettent de déceler les évolutions lourdes du système. Ce sont

⁽¹⁾ Berrah, L., op.cit, p : 99.

⁽²⁾ Villarmois, O., « Le concept de performance et sa mesure: un état de l'art », Centre Lillois d'Analyse et de Recherche sur l'Evolution des Entreprises, UPRESA CNRS 8020, 2001, p:23.

⁽³⁾ Kotler, P., B. Dubois, Le marketing Management, 10^{ème} édition, Dunod, 2000, p : 55.

souvent des indicateurs composés, résultant, conformément aux objectifs associés, d'une agrégation plus ou moins poussée. Les indicateurs opérationnels se situent au niveau d'une analyse plus fine du système physique. Ce sont souvent des indicateurs élémentaires (locaux). « Il est important d'envisager ces trois niveaux d'indicateurs. Ils vont se relayer au niveau du système global pour assurer la performance locale et globale de l'entreprise :

- Les indicateurs stratégiques sont logiquement des indicateurs de long terme très synthétiques.

Ils présentent un intérêt ou une direction d'entreprise ou une équipe de pilotage à un niveau hiérarchique élevé ;

- Les indicateurs tactiques sont des indicateurs de moyen terme intéressant la hiérarchie de niveau intermédiaire ;
- Les indicateurs opérationnels sont des indicateurs de court terme utiles à des niveaux directement opérationnels » ⁽¹⁾.

« Il est logique d'imaginer que plus on monte vers les indicateurs stratégiques, plus les indicateurs retenus seront synthétiques, très souvent d'ordre financier, de type indicateur de résultats, complexes et évolutifs sur le long terme. A l'inverse, plus on descend vers les indicateurs opérationnels, plus les indicateurs retenus seront directement liés à un point très particulier et très précis, rarement exprimés sous forme financière, de type indicateurs de processus, très simples de construction et de compréhension et évolutifs sur le court terme voir sur le très court terme.

L'ensemble de tous ces indicateurs constitue ce que l'on appelle dans l'entreprise une pyramide structurée d'indicateurs et tableaux de bord" ⁽²⁾.

Prenant des exemples d'indicateurs qui pourraient être choisis à chaque niveau : stratégique, tactique et opérationnel. :

⁽¹⁾ Lambin, J.J et R. Peeters, la Gestion marketing des entreprises, La presse universitaire de France, 1977.

⁽²⁾ Bonnefous, C. et A. Courtois, op.cit, P : 127, 128.

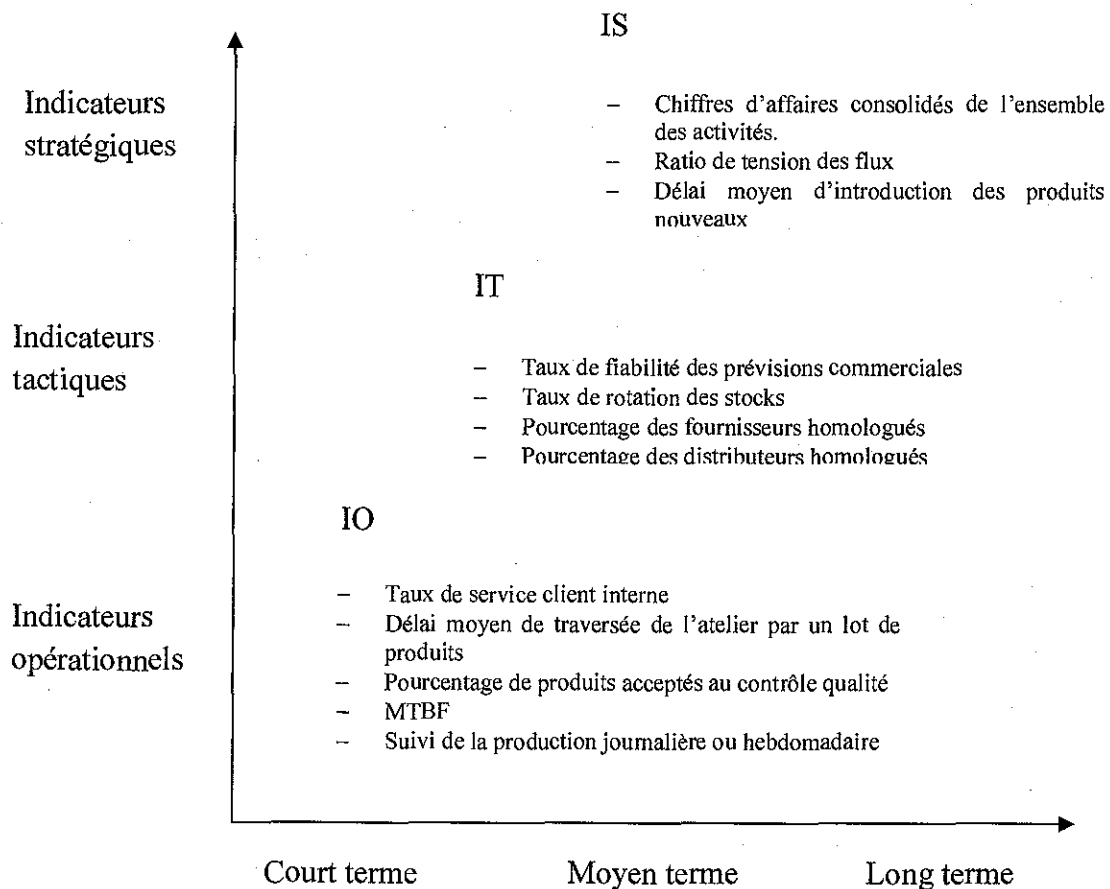


Figure 1.2: exemples d'indicateurs aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel

Source : Bonnefous, C. et A. Courtois, Indicateurs de performance, Hermès Sciences Publications, Paris, 2001, P : 129.

-« Au niveau des indicateurs stratégiques, le chiffre d'affaires consolidé est sans doute l'un des plus classiquement utilisés. Cela ne signifie pas qu'il soit mauvais...cela dépend des raisons qui ont amenées ce choix, et de la nécessaire synergie qui doit exister avec les autres indicateurs choisis à ce niveau. C'est un indicateur qui permet de suivre l'évolution des ventes et par conséquent de mesurer l'effet de démarches aussi bien au niveau commercial que logistique ou production » ⁽¹⁾.

Le niveau de satisfaction de l'ensemble des clients est un indicateur essentiel au niveau stratégique, puisque aujourd'hui toute entreprise doit élaborer une analyse approfondie du suivi de ces clients en termes de satisfaction. Ainsi la stratégie de l'entreprise est forcément

⁽¹⁾ Berrah, L., op.cit, p : 45.

orientée clients dans le contexte économique actuel il suffit de regarder l'évolution des normes qualités ISO pour observer à quel point le client est présent dans la nouvelle certification.

- Au niveau tactique, on peut utiliser les indicateurs suivants ⁽¹⁾ :
 - ✓ le taux de fiabilité des prévisions commerciales, qui permet de vérifier l'efficacité en matière de prévisions, aura un impact certain sur le taux de respect des engagements de production par exemple ;
 - ✓ Le taux de rotation des stocks est un indicateur beaucoup plus pertinent que la valeur des stocks à un instant donné car il permet de savoir de savoir combien de temps un produit reste en moyenne en stock et de vérifier si c'est cohérent avec le système de distribution des produits par exemple.

Imaginons un taux de rotation des stocks de produits fini de six par an. Cela signifie que les stocks de produits finis passent en moyenne deux mois dans le stock de produits finis. si l'on sait par ailleurs que les livraisons aux clients d'effectuent une fois par jour, ce niveau de stock ne se justifie absolument pas. Il est nécessaire de réaliser une étude pour en comprendre la raison ;

- ✓ le pourcentage de fournisseur homologué ainsi que le pourcentage de distributeur homologué permettent au niveau tactique de mesurer l'effort réalisé par l'entreprise pour fiabiliser ses approvisionnement et sa distribution. Quand on sait que certaines entreprises achètent un pourcentage important de la valeur de leurs produits à l'extérieur, cela représente un déficit intéressant.
- Au niveau opérationnel, il est nécessaire d'envisager des indicateurs extrêmement simples de mise en œuvre et de compréhension comme ⁽²⁾ :
 - ✓ le taux de service client interne, qui est un indicateur essentiel pour faire prendre conscience à chaque ilot de production, à chaque équipe de travail, l'importance de répondre de manière satisfaisante aux besoins des clients directement présents à proximité ;
 - ✓ le délai de traversée de l'atelier pour un lot de produits, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre l'instant où le lot entre dans l'atelier et l'instant où il en sort, ce qui

⁽¹⁾ Bonnefous, C. et A. Courtois, op.cit, p : 133.

⁽²⁾ Bonnefous, C. et A. Courtois, idem, p : 134.

permet de mesurer la réactivité et la flexibilité de cet atelier ainsi que son évolution dans le temps en fonction des différentes actions d'améliorations menées ;

- ✓ le pourcentage de produits acceptés au contrôle qualité, qui permet de mesurer l'évolution dans la démarche de maîtrise des procédés industriels ;
- ✓ le suivi de la production journalière, qui est sans doute l'un des indicateurs les plus simples et peut être très intéressant dans un atelier où les groupes de travail sont internationaux et où il est nécessaire de mettre en place des indicateurs très simples, compréhensible par tous.

L'ensemble de ces indicateurs à tous les niveaux de l'entreprise va constituer le système global des indicateurs de l'entreprise.

1.2.4 Les problèmes soulevés par les indicateurs de performance

Compte tenu de la définition donnée de l'indicateur de performance, au centre du triangle stratégie traduite en objectifs/processus d'action/acteur (collectif), la qualité de l'indicateur de performance dépend de la manière dont il remplit les conditions suivantes.

- L'indicateur est-il correctement associé à un objectif à atteindre ?

Cette condition, « la pertinence stratégique » de l'indicateur est loin d'être systématiquement assurée. Steven Kerr ⁽¹⁾ écrivit il y a vingt ans un article « sur la folie de récompenser A, quand on désire B », à propos de la pratique de nombreuses entreprises qui consistait à mesurer des performances différentes des objectifs qu'elles poursuivaient réellement. Selon une enquête conduite récemment par l'Académie of Management auprès de cinquante dirigeants de grandes entreprises au niveau mondial sur l'état de cette question : « 90% de ceux qui ont répondu estimaient que la folie de Kerr est encore prégnante dans les entreprises américaines » ⁽²⁾

- L'indicateur est-il correctement associé à une action à piloter ?

« Cette condition « la pertinence opérationnelle » de l'indicateur est tout comme la précédente, loin d'être systématique assurée. Elle soulève notamment le vieux problème, délice des manuels de gestion depuis des décennies, de la « contrôlabilité » de la

⁽¹⁾ Kerr, S., « On the folly of rewarding A, while hoping for B », Academy Of Management Journal, 1975, P: 780.

⁽²⁾ Epstein, M., J.-F. Manzoni, « Implementing Corporate Strategy: From Tableaux de Bord to Balanced Scorecards », European Management Journal, Vol. 16, N° 2, April 1998, p: 192.

performance: les managers, ou l'entité concernée, ont-ils en main les leviers d'action qui leur permettent d'influer de manière décisive sur le niveau de performance atteint et mesuré par l'indicateur ? Si le rendement de l'atelier dépend fondamentalement de la fiabilité de machines dont est chargé un service d'entretien extérieur, de la qualité de fournitures assurée par le service des achats au siège, de la compétence de salariés choisis et formés par le service des ressources humaines, on ne voit pas très bien quelles conclusions pour l'action l'atelier pourra tirer des fluctuations de cet indicateur »⁽¹⁾.

- L'indicateur est-il correctement associé à un acteur ?

Cette condition, « l'efficacité cognitive » ou ergonomique de l'indicateur, signifie que celui-ci doit pouvoir être lu compris et interprété aisément par l'acteur auquel il est destiné. Cette préoccupation n'est que marginalement présente dans les entreprises. Elle est pourtant essentielle, et appelle le développement d'une véritable ergonomie cognitive des outils de gestion⁽²⁾.

1.3 La production au plus juste : un nouveau contexte productique

La prise de conscience, par les industriels, des importants gisements d'efficacité subsistant dans les installations de production, conjuguée avec la forte évolution de la demande des marchés, a été à l'origine d'un profond mouvement apparu depuis une vingtaine d'années, ayant engendré les concepts de production au plus juste (Lean management) et de TPM (Totale Productive Maintenance).

1.3.1 Introduction à la notion de productivité

1.3.1.1 Définition de la productivité

« La productivité se définit comme le rapport entre ce qui produit et un ou plusieurs des facteurs de production employés pour l'obtenir (temps, énergie, argent...).

Elle dépend évidemment des moyens et de leur nature : techniques, équipements, outillages, moyens humains... »⁽³⁾

⁽¹⁾ Bonnefous, C. et A. Courtois, op.cit, P : 27.

⁽²⁾ Bonnefous, C. et A. Courtois, idem, P : 28.

⁽³⁾ Haddad, B., cours de gestion de la production, centre de publication universitaire, Vol N° 1 Tunisie, 2004, p27.

La productivité = volume produit / moyens

On pourra donc parler de productivité du travail, du capital, des investissements, des matières premières.

« La productivité est relative à deux grandeurs:

- l'efficience, relative à l'intelligence investie dans le temps travaillé (qu'ai-je réalisé ?), se mesure par exemple un nombre de produits finis par heure.
- le rendement, relatif à l'énergie investie pendant le temps travaillé (comment ai-je travaillé?), se mesure par exemple par un rendement matière...

Augmenter la productivité consiste donc à la fois à augmenter le rendement ce qui peut s'obtenir par le progrès technique ou l'amélioration de l'organisation, mais aussi à augmenter l'efficience, c'est-à-dire à privilégier la création de valeur, avec encore plusieurs voies possibles; améliorer la qualité de la production (diminuer les défectueux) ou supprimer les gaspillages (actions d'analyse de la valeur du processus) » ⁽¹⁾.

« Par ailleurs le rendement recherché ailleurs que sur le chemin critique d'un processus peut être contreproductif. Par exemple augmenter le rendement d'une machine non-goulot, c'est-à-dire sur capacitaire par rapport au besoin client ne revient qu'à créer du stock inutile, invendu et encombrant les machines moins capacitaire en aval dans le processus.

Ceci nous amène à la définition de la productivité dans le cadre d'une production équilibrée, la productivité ne peut se concevoir que créatrice de valeur, à l'équilibre entre le meilleur rendement et la meilleure efficience » ⁽²⁾.

Le meilleur rendement est obtenu en supprimant tous les gaspillages, tandis que la meilleure efficience est obtenue en recherchant systématiquement à augmenter la valeur.

1.3.1.2 Les différentes voies pour gagner en productivité

On peut agir sur plusieurs manières pour augmenter la productivité :

⁽¹⁾ Gillet-Goinard, F., L. Maimi, Toute fonction: Production, Dunod, Paris, 2007, p134.

⁽²⁾ Gillet-Goinard, F., L. Maimi, idem, p: 135.

1. Augmenter la valeur

La valeur est définie par la norme X50-150 d'août 1990 comme « le jugement porté sur l'objet sur la base des attentes et des motivations de l'utilisateur exprimées par une grandeur qui croît lorsque, toutes choses égales par ailleurs, la satisfaction des besoins de l'utilisateur augmente et/ou que la dépense afférente à l'objet diminue »⁽¹⁾

La valeur est le ratio Satisfaction/Coût qui permet d'exprimer deux visions différentes de la valeur : une vision fonctionnelle, celle du client qui peut se résumer à la question "de quoi est-ce fait?"

Augmenter la valeur en production, il s'agit d'améliorer la qualité perçue par les clients en maintenant les coûts engagés ou de maintenir la qualité en diminuant les coûts de production.

Cela conduit, dans le cadre d'un processus de fabrication, à améliorer la qualité des produits fabriqués dans une logique de diminution des coûts. Dans le langage de la production, cela va se traduire par la diminution des gaspillages, des non-qualités, des efforts inutiles, des irrégularités⁽²⁾.

Améliorer la productivité conduit donc à rechercher, à observer ses processus, les opérations de tous les jours pour :

- supprimer les gaspillages;
- traquer les efforts inutiles, éliminer les tâches sans valeur ajoutée;
- Maintenir une régularité car les vagues de production sont sources elles aussi de gaspillages.

2. Supprimer les gaspillages

« La chasse aux gaspillages est une notion centrale dans l'approche de la performance industrielle en général, et en particulier, c'est le principe de base de juste-à-temps, qui n'est pas un système de réduction des stocks, mais un système de chasse à toutes les sortes de gaspillages... »⁽³⁾.

⁽¹⁾ Molet, H., Systèmes de production et de logistique, Lavoisier, Paris, 2006, p : 178.

⁽²⁾ Gillet-Goinard, F., L. Maimi, op.cit, p: 137.

⁽³⁾ Gillet-Goinard, F., L. Maimi, idem, p: 139.

« On distingue sept sortes de gaspillages:

- 1- productions excessives: produire trop, ou trop tôt.
- 2- Attentes: attendre des pièces ou une machine qui finit son cycle, etc.
- 3- Transport et manutentions inutiles: tout transport est essentiellement un gaspillage et doit être minimisé.
- 4- Opérations inutiles: toute action à valeur ajoutée qui ne se fait pas simplement ou du premier coup.
- 5- Stocks: plus de matières et composants que le minimum qu'il faut pour réaliser le travail.
- 6- Mouvements inutiles: tout mouvement qui ne contribue pas directement à l'ajout de valeur.
- 7- Corrections et rebuts: toute réparation est un gaspillage » ⁽¹⁾.

Mais il est possible d'en découvrir bien d'autres selon le cas et l'environnement, la méthode matricielle nous permet de les découvrir.

Mura-Muri-Muda, l'approche japonaise pour gagner en productivité

Muda (waste) représente les gaspillages au sens large de la productivité, Muri (overburden) et Mura (unevenness) sont deux sources de gains complémentaires à considérer ⁽²⁾.

- Traquer les efforts inutiles: Les efforts inutiles, les difficultés, représentent un genre de gaspillage particulier que les Japonais appellent Muri.
- Etre dans la régularité: L'irrégularité, l'interruption d'un rythme de production, la variabilité d'un processus sont un autre genre de gaspillage que les Japonais appellent Mura.

Mura (l'irrégularité) est cause de Muri (la surcharge), lui-même mettant par terre tout le travail de chasse aux Muda (le gaspillage) ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Liker, J., Le modèle Toyota : 14 principes qui feront la réussite de votre entreprise, Edition Village Mondial, Paris, 2006, p : 35, 36.

⁽²⁾ Nanua, S, "Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing", Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Wayne State University, 1995, p: 436.

⁽³⁾ Gillet-Goinard, F., L. Maimi, op.cit, p: 140.

3. Analyser la valeur des processus de fabrication

« Pour éviter les gaspillages, il convient d'éliminer les opérations sans valeur ajoutée, d'analyser chaque étape du processus de fabrication et de l'évaluer sous l'angle de son utilité dans le processus. Ainsi, toute action sans valeur ajoutée sera impitoyablement supprimée »⁽¹⁾

Par rapport aux autres méthodes de recherche de productivité, l'AV se situe d'avantage au niveau de la conception ou de la re-conception de produits ou de processus de production, voire de services.

Le tableau 1.2 détaille chaque opération d'un processus et répartit les temps opératoires en quatre catégories distinctes: les temps nécessaires à la réalisation du produit, créateurs de valeur et les temps sans valeur ajoutée (transport, attente, contrôle). On remarque dans cet exemple que seulement 8% des temps opératoires sont des temps générant de la valeur.

Tableau 1.2 : Analyse des opérations d'un processus

Classement Analyse de la valeur						
Libellé des opérations			Opération en mn	Transport en mn	Attente en mn	Contrôle en mn
T1	A	Stock de MP	0	0	3	0
T2	B	Découpe1	0	5	11	0
T3	C	Découpe2	6	14	15	3
T4	D	Encours attente four	0	0	10	0
T5	E	Fours 2 et 3	2	6	3	1
T6	F	Four 4	2	6	4	2
T7	G	Encours attente assemblage	0	0	12	0
T8	H	Circuit composant1	0	4	22	1

⁽¹⁾ Savali H., et V. Zardet, Maîtriser les coûts et performances cachés, Economica, 4^{ème} édition, Paris, 2003, p : 156.

T9	I	Circuit composant2	0	5	10	1
T10	J	Assemblage découpe composant	1	12	12	3
T11	K	Assemblage découpe composant	1	15	15	3
T12	L	Encours attente traitement.	0	2	6	0
T13	M	Traitement A et B	3	0	2	0
T14	N	Encours attente contrôle finition	0	0	7	0
T15	P	Contrôle finition cabines	5	0	5	6
T16	Q	Contrôle finition lignes	5	2	19	4
T17	R	Encours attente recyclage	0	0	3	0
T18	S	Encours attente marquage	0	0	6	0
T19	T	Marquage	0	3	3	0
T20	U	Encours attente contrôleur qualité	0	0	6	0
T21	V	Analyseur qualité	3	0	6	4
T22	W	Encours bloqué qualité	0	0	7	0
T23	X	Stock produit fini	0	1	5	0
Total			20	54,5	163	18,5
Utile			8%			256
Non utile			92%			

Source : Gillet-Goinard, F., L. Maimi, Toute fonction: Production, Dunod, Paris, 2007, p : 134.

N.B: seule la colonne " opération " contient des temps de création de valeur, soit 8% du temps total.

1.3.2 La production au plus juste

Après une période préindustrielle caractérisée par une production de type artisanal, la production de masse s'est installée pendant plus d'un demi-siècle. Celle-ci visait surtout à fabriquer des produits, en grande quantité, au prix le plus bas possible, à partir d'une main-d'œuvre peu qualifiée, donc peu couteuse. La variété des produits était faible, la réactivité de la production également, donc les délais de livraison étaient longs et les stocks pouvaient être élevés. A partir des années 1975-1980, les marchés ont commencé à être saturés. La production de masse s'est réduite au profit d'une production diversifiée en séries moyennes, voire petites. Les marchés n'absorbant plus les productions « poussées par l'amont », c'est une production tirée par l'aval, en fonction de la demande, qui s'est imposée. De plus la recherche d'économies d'échelle (domination par les couts) a perdu de l'importance : la variété, l'innovation, la qualité, les délais et surtout les services sont devenus des facteurs prioritaires (domination par la valeur) ⁽¹⁾.

Tableau 1.3: les trois grands types de production

	Qualification des employés	Sophistication des équipements	Prix de revient des produits	Qualité des produits	Variété	Réactivité	stocks
Production artisanale	Elevée	Basse	Elevé	Moyenne à élevée	Elevée	Elevée	Faibles à nuls
Production de masse	Basse	Elevée	Bas	Moyenne à élevée	Faible	Faible à moyenne	Elevée
Production au plus juste	Elevée	Elevée	Bas	Elevée	Elevée	Elevée	Très faible à nuls

Source : Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999, p : 23.

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op. cit, p : 23, 24.

« La production au plus juste est née de ce constat : touchant surtout à l'organisation du travail, elle vise à augmenter à la fois la productivité des entreprises, mais aussi la qualité de leurs services, et leur réactivité » ⁽¹⁾.

Tableau 1.4: un nouveau contexte productique

	Méthodes	But recherché	Contraintes
Méthodes traditionnelles	Standardiser les produits Augmenter les cadences Automatiser innover	Prix de revient minimum qualité	Investissements importants (production de masse)
Méthodes nouvelles	Produits diversifiés Qualité totale Flux tendus-juste à temps	Satisfaction des besoins clients élevée pour un coût minimal (optimisation de la valeur)	Investissement dans la « matière grise » Organisation performante Qualification élevée Dysfonctionnements bannis

Source : Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999, p : 24.

Une des idées majeures de cette démarche est de supprimer les valeurs ajoutées improductives. Contrairement au schéma de pensée traditionnel, dans lequel la qualité est obtenue par une multiplication des opérations de contrôle, un accroissement de celle-ci doit notamment se traduire par une diminution des coûts ⁽²⁾.

1.3.2.1 Les idées majeures de la production au plus juste

Dans l'optique de la production de masse, on s'attachait à minimiser les conséquences des dysfonctionnements : on se protège contre les retards en constituant des stocks, contre les

⁽¹⁾ Bouquin, S., « Temps Durs Et Dur Labeur Un Retour Critique Sur Les Modèles Productifs De L'ère Néolibérale », Université de Picardie Jules-Verne, 2008, p : 5.

⁽²⁾ Baglin, G., et autres, Management industriel et Logistique : Conception et pilotage de la Supply Chain, Edition Economica, 4^{ème} édition, 2005, Paris, p : 636.

défauts en multipliant les contrôles, contre les pannes en organisant des équipes de dépannage et en doublant les moyens critiques... On augmentait ainsi les immobilisations et le personnel qui seraient inutiles si les dysfonctionnements n'existaient pas.

« Quant à l'obtention de coûts bas, on ne la recherche plus en se focalisant seulement sur les coûts directs de production mais en analysant la pertinence de tous les types de coûts sans exception et en recherchant de façon systématique des moyens plus économiques, ramenés au juste nécessaire, pour parvenir à la même production » ⁽¹⁾.

1. Supprimer volontairement les sécurités

Selon l'image de « Taichi Ohno », directeur industriel de Toyota, il s'agit d'un petit bateau voguant sur une étendue d'eau dont le fond est rempli de rochers (figure 1.3).

Ceux-ci représentent les dysfonctionnements, l'eau symbolise les stocks palliatifs.

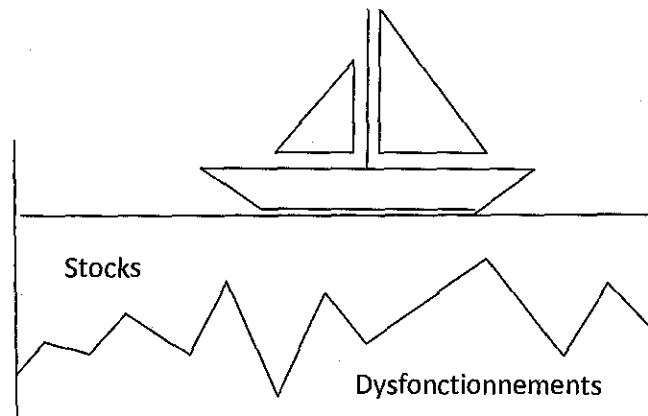


Figure 1.3 : représentation schématique du progrès continu selon T. Ohno

Source : Molet, H., Systèmes de production et de logistique, Lavoisier, Paris, 2006, p : 48.

Dans l'approche traditionnelle, les responsables considèrent que plus le niveau de l'eau est élevé, plus la navigation est aisée car cela permet de s'affranchir des risques que présentent les récifs : on se cache les problèmes, on n'essaie pas de les résoudre ⁽²⁾.

En vidant l'eau, on se heurte au premier rocher, c'est-à-dire au premier dysfonctionnement qu'il faut l'éliminer pour pouvoir continuer à naviguer, puis on continue à vider l'eau jusqu'au second rocher et ainsi de suite. C'est la philosophie du progrès continu.

⁽¹⁾ Molet, H., Système de production et de logistique, édition Hermès Lavoisier, Paris, 2006, p : 47.

⁽²⁾ Molet, H., idem, p: 48.

La « production au plus juste » cherche, en supprimant les sécurités prises, à mettre en lumière les dysfonctionnements. Elles s'attaquent aux causes (retards, variabilité du process, fragilité du matériel, etc.) et non aux conséquences de ces dysfonctionnements. La contrepartie des risques pris et des efforts déployés est la réduction au « juste nécessaire » des moyens mis en œuvre et donc des coûts de production ⁽¹⁾.

2. Eliminer les opérations sans valeur ajoutée

La production de masse reposait sur un principe élémentaire : l'amélioration de la productivité provenait essentiellement de l'accélération des cadences au poste de travail. La production au plus juste élargit le champ de réflexion et propose de concentrer les efforts sur l'ensemble des activités qui environnent le poste de travail.

« On peut identifier de nombreuses activités qui engendrent des coûts pour l'entreprise mais qui n'apportent pas une valeur supplémentaire aux produits vendus, telle que (déplacement, stockage, attente, manutentionnement, surveillance, etc.), la transformation est la seule activité qui ajoute de la valeur au produit : tous les autres n'ajoutent que des coûts. Plus de 95% des fonctions citées ne présentent pour le client strictement aucune valeur » ⁽²⁾.

3. Réduire les dysfonctionnements

« Engagées dans une politique de croissance à tout prix, les entreprises ont souvent remédié aux effets des dysfonctionnements au lieu de traiter les problèmes en profondeur. On connaît les inconvénients d'une telle politique : un stock élevé doit être constitué pour se protéger contre les retards de livraison, les techniciens passent leur temps à dépanner des machines qui manquent de fiabilité, les contrôleurs éliminent les pièces défectueuses. Les dysfonctionnements s'installent durablement et pèsent lourd sur les comptes de l'entreprise » ⁽³⁾.

4. Lutter contre les gaspillages

« L'entreprise a-t-elle fait le maximum pour comprimer ses dépenses ? Rien n'est moins sûr. Une étude systématique permet dans la plupart des cas de constater que les consommations de matière, de temps ou de frais généraux sont nettement supérieures à ce qu'elles pourraient être ». Pour cela, le progrès passe par une prise de conscience collective : il ne suffit pas que

⁽¹⁾ Baglin, G., et autres, op.cit, p : 637.

⁽²⁾ Baglin, G., et autres, idem, p : 638.

⁽³⁾ Baglin, G., et autres, idem, p : 641.

le responsable de l'entreprise soit conscient de l'enjeu, il faut que tous les acteurs de l'organisation s'impliquent dans la chasse aux dépenses excessives ⁽¹⁾.

1.3.2.2 Production au plus juste : les contradictions des nouvelles exigences

Les exigences nouvelles évoquées plus haut, visant à la fois une qualité élevée, une réactivité élevée et des coûts faibles, dans un contexte de diversité croissante des produits et de diminution des séries, font apparaître des contradictions apparemment impossible à annihiler ⁽²⁾:

- les exigences de variété des produits, livrables sans délai, nécessitent de produire en séries courtes, donc de supporter des coûts de réglage et de mise en route, de constituer des stocks, et de mettre en place une planification complexe, qui est coûteuse.
- les exigences de qualité nécessitent-semble-t-il-des contrôles nombreux, donc onéreux. De plus ceux-ci « brisent les flux », donc nuisent à la réactivité des installations.
- les exigences de réactivité conduisent aussi à travailler avec des lots réduits, donc à un prix de revient supérieur. De plus la satisfaction des commandes urgentes entraîne des « arrêts machines », qui nuisent aussi à la productivité.

La flexibilité des machines (polyvalence) consécutive aux exigences de variété et de réactivité entraîne à la fois des investissements importants et des interventions fréquentes d'entretien et de maintenance. Elle conduit donc à augmenter les coûts.

1.4 L'approche globale des performances industrielles par le Taux de Rendement Synthétique

« La nécessité de mesurer la performance des moyens de production, leur engagement effectif s'impose tout naturellement. Indicateurs de performances sont plus que jamais d'actualité. L'un de ces indicateurs : le TRS (taux de rendement synthétique), est très ciblé sur le suivi du fonctionnement des machines » ⁽³⁾. Longtemps la définition du TRS a pu conduire à des interprétations différentes entre prescripteurs et utilisateurs. C'est la raison pour laquelle

⁽¹⁾ Nanua, S., op.cit, p: 438.

⁽²⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 25, 26.

⁽³⁾ www.priceminister.com/.../Ayel-Le-Trs-Indicateur-De-La-Performance-Un-Guide-Pratique-A-L-usage-Des-Responsable

les industriels ont exprimé le souhait d'une normalisation de cet indicateur. La définition normative s'est accompagnée d'un travail de réflexion sur la méthodologie de mise en œuvre, l'impact humain, les moyens techniques de saisie d'information.

« La norme NF E 60-182 éditée par l'AFNOR intègre les notions de TRE taux de rendement économique, TRG taux de rendement global, TRS taux de rendement synthétique. Que ce soit pour analyser les activités d'un atelier de production ou pour mesurer les résultats d'une action d'amélioration, la mise en place d'un indicateur est incontournable » ⁽¹⁾. Mesurer la performance des moyens de production est à la portée de tous les responsables de fabrication, à condition de respecter certaines règles et de disposer des moyens adaptés au contexte de l'atelier de production et à la précision de la mesure souhaitée.

« Lorsqu'on parle de rendement synthétique, on se réfère à la production bonne réalisée, donc à la production utile, par rapport à la production maximum possible, qui est la production théorique correspondant à la totalité du temps d'ouverture » ⁽²⁾.

1.4.1 Rendement du système de production

Le souci constant des responsables de production, de qualité, ou de maintenance de mesurer et améliorer les performances en production a fini par faire émerger un outil de mesure de l'efficacité d'une installation: le Taux de Rendement Synthétique (TRS)

« Le taux de rendement synthétique (ou TRS, en anglais *OEE* : Overall Equipment Effectiveness) est un indicateur destiné à suivre le taux d'utilisation de machines. Il compare la production réelle à la capacité de production théorique d'une machine ou d'un équipement » ⁽³⁾.

Il est défini aussi par la formule :

$$\text{TRS} = \text{Temps utile} / \text{Temps d'ouverture}$$

Le temps utile étant le temps où la machine produit des pièces bonnes à sa cadence normale (nombre de pièces bonnes * temps de cycle sec de la machine). C'est une mesure de l'efficacité d'une ligne de production.

⁽¹⁾ www.decitre.fr

⁽²⁾ Planchi, V., N. E. Sadi, Mesure et amélioration des performances industrielles, Fragments de cours, Office des Publications Universitaires, Université Pierre Mendès de Grenoble, France, 2006, p : 119.

⁽³⁾ http://fr.wikipedia.org/wiki/Taux_de_rendement_synthétique

Le TRS permet donc de répondre à ⁽¹⁾ :

- Quelle est la performance actuelle de mon outil de production ?
- Ma mesure est-elle fiable et pertinente ?
- Mon équipement fonctionne-t-il à sa pleine capacité ?
- Quelles causes dégradent le rendement de mon équipement ?
- Mes équipes sont-elles toutes aussi performantes les unes que les autres ?
- Mon service Maintenance est-il efficace ?
- Quelle est la fréquence des ruptures d'approvisionnement Matières ?
- Quelle référence produit a le plus d'impact sur mes cadences ?
- Quel est le temps perdu à produire de la non qualité ?
- Comment mesurer l'efficacité de mes actions de progrès ?
- Au final puis-je produire plus avec mon outil de production actuel ?

1.4.1.1 Décomposition du taux de rendement synthétique

Le TRS est le produit de 3 taux ⁽²⁾ :

- le taux de disponibilité: est le rapport entre le temps d'utilisation prévu de la machine et le temps durant lequel la machine est en production.

Différents facteurs influencent ce taux, dont les principaux sont:

- ❖ Mise en train.
- ❖ Pannes, entretien et maintenance préventive.
- ❖ Pausés café et repas.
- ❖ Attente sur du personnel (opérateur, technicien, responsable d'atelier, service client).
- ❖ Attente sur documents, validation qualité, outillage ou matière.
- ❖ Changement d'équipe.

⁽¹⁾ Chabbert, D., « Trs Bien Mesurer Pour Mieux Produire », Synthèse du dossier n°108 du Pôle Productique, Rhône-Alpes, 2007, p: 2.

⁽²⁾ Rotaru, A., Total Productive Maintenance Overview, University of Pitești, 2008, p: 115, 116.

- Le taux de performance : qui prend en compte le fonctionnement dans des conditions de performances anormales,

Le taux de performance est le rapport entre le temps durant lequel la machine est en production et le temps théorique si aucune perte de productivité n'est imputée.

Différents facteurs influencent ce taux, dont les principaux sont :

- ❖ Changement d'outil (usure ou casse d'outil).
- ❖ Retrait de copeaux accumulés autour de l'outil.
- ❖ Vidage du bac à copeaux.
- ❖ Ravitaillement nouvelle barre.
- ❖ Augmentation du temps de cycle pièce due à un problème technique

- Le taux de qualité : est le rapport entre le nombre de pièces bonnes et le nombre total de pièces produites.

Ce taux peut être calculé soit par échantillonnage, soit en effectuant un contrôle 100 %.

La distinction entre ces 3 taux permet de mettre en évidence à quel type de problème on est confronté.

1.4.1.2 Calcul du Taux de Rendement Synthétique

Le TRS nécessite de fixer quelles sont les conditions idéales d'utilisation des ressources de production C'est-à-dire⁽¹⁾ :

- Le temps d'utilisation de ces ressources.
- La performance (vitesse, temps de cycle, production horaire,...).

Il tient compte de plusieurs paramètres et on peut le mesurer grâce à deux formules équivalentes :

$$1) \text{ TRS} = \text{Temps utile} / \text{Temps d'ouverture}$$

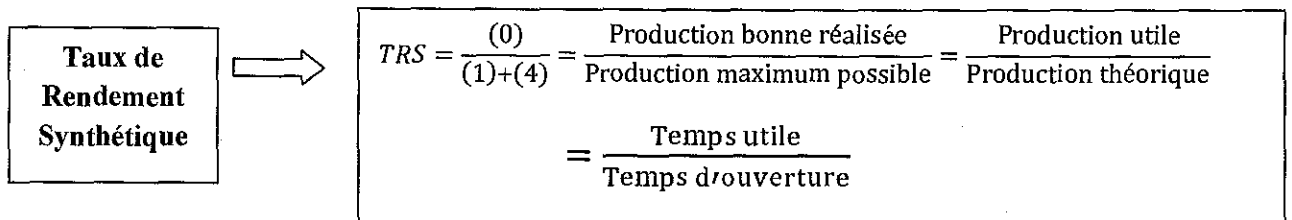
Le temps utile évalue l'efficacité d'une ligne de production. Il correspond au temps durant lequel la machine produit des pièces "bonnes" à sa cadence normale. On l'évalue par la formule : Temps utile = nombre de pièces bonnes x temps de cycle sec de la machine.

⁽¹⁾ Smit, K., W.H. Slaterus, Gestion de l'information pour le management de la maintenance, Edition Afnor, Paris, 1994, p : 43.

TEMPS TOTAL						
Temps d'ouverture						Temps hors ouverture
Temps brut de fonctionnement			Temps d'arrêt propre		Temps d'arrêt induit	
Temps utile	Pertes qualité	Pertes sur cycle	Temps d'arrêt fonctionnel	Temps de pannes et de micro arrêts		
(0)				(4)		
(1)						

Figure 1.4: Taux de rendement synthétique

(Source : Automobiles Citroën)



Si le temps utile (correspond à cette production utile) est mesuré par la durée (0), et le temps d'ouverture par la somme du temps brut de fonctionnement (1) et des temps d'arrêt (4), le Taux de Rendement Synthétique est :

$$TRS = \frac{(0)}{(1)+(4)}$$

Cet indicateur global présente le grand intérêt d'intégrer la fiabilité de l'équipement, sa maintenabilité, la qualité du produit élaboré et l'efficacité de l'organisation du travail et des hommes. Mais cet indicateur est aussi égal au rapport particulièrement simple.

$$\text{TRS} = \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps d'ouverture}} \quad (1)$$

2) Le TRS est un taux calculé par la multiplication de trois taux intermédiaires ⁽²⁾:

- Taux de fonctionnement
- Taux de performance (allure)
- Taux de qualité.

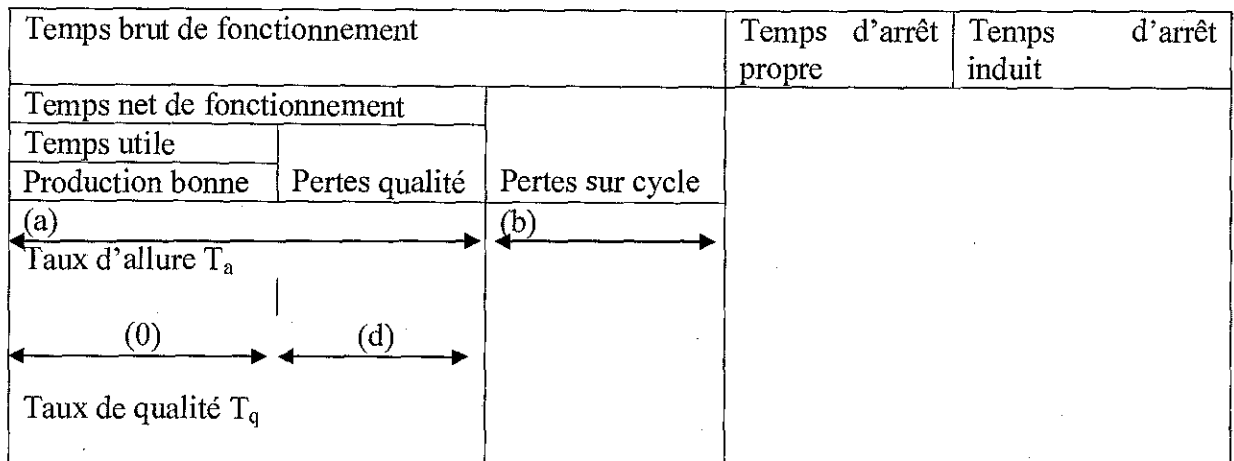


Figure 1.5 : taux de performance, de qualité et rendement

(Source : Automobiles Citroën)

D_o = Disponibilité opérationnelle

D_c = Disponibilité constructeur

$$T_a = \frac{(a)}{(a) + (b)} = \frac{\text{cycle en gamme}}{\text{cycle moyen réalisé}}$$

$$T_q = \frac{(0)}{(0) + (d)} = \frac{\text{Production bonne}}{\text{Production réalisé}}$$

$$\text{TRS} = D_o \times T_a \times T_q = \frac{\text{Production bonne} \times \text{cycle en gamme}}{\text{Temps d'ouverture}} \quad (1)$$

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p: 144.

⁽²⁾ Rotaru, A., op.cit, p: 116.

1.4.2 Rendement synthétique d'un ensemble de machines

1.4.2.1 Rendement synthétique d'un ensemble de machines indépendantes

De nombreux ateliers, dans les années passées mais aussi aujourd'hui, sont constitués de machines indépendantes travaillant par lots, en vue de produire des pièces élémentaires ou intermédiaires, souvent destinées à être assemblées par d'autres machines.

Si plusieurs machines indépendantes produisent la même pièce, il est intéressant de connaître le rendement synthétique de l'ensemble. Nous supposons ici (cas (2) a et b, le cas (1) étant celui d'une machine isolée) que le temps d'ouverture des machines est le même, et que le taux de rendement synthétique d'une machine i est ⁽²⁾:

$$TRSi = \frac{Pui}{Pthi}$$

Pui étant la production utile de la machine i , et $Pthi$ la production théorique de cette machine.

Le taux de rendement synthétique de l'ensemble des machines est alors :

$$TRSE = \frac{\sum Pui}{\sum Pthi}$$

Deux cas se présentent alors, selon que les machines ont la même production théorique (machines identiques) ou ont au contraire, des productions théoriques différentes (machines diversifiées) ⁽³⁾:

- Cas (2) a : Exemples : 4 machines, ayant une même production théorique.

On a alors :

$$TRSE = \frac{Pu1 + Pu2 + \dots}{4Pth} + \frac{Pu1}{PTh} + \frac{Pu2}{4PTh} + \dots = \frac{1}{4} [TRS1 + TRS2 + \dots]$$

Dans le cas de n machines, on aura donc :

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 146.

⁽²⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 156, 157.

⁽³⁾ Sourisse, C., F. Klaye, idem, p : 157.

$$TRSE = \frac{1}{n} \sum TRSi = \text{Moyenne des } TRSi$$

- Cas (2) b : Exemple : les 4 machines ont des productions théoriques différentes.

On a alors :

$$- TRSE = \frac{Pu1+Pu2+\dots}{Pth1+Pth2+\dots} = \frac{\sum Pui}{\sum Pthi}$$

On peut conclure de ces exemples que le taux de rendement synthétique TRSE de l'ensemble n'est égal à la moyenne des TRS de chaque machine que si celles-ci ont la même production théorique. Dans le cas contraire, TRSE doit être calculé selon la formule mentionnée ci-dessus.

Si les machines fonctionnent avec des temps d'ouverture différent, la notion de TRS telle qu'elle est définie précédemment n'a plus de sens, car on compense alors par des variations de temps d'ouverture l'insuffisance éventuelle de production de certaines machines. Il faut alors trouver un autre indicateur plus global intégrant l'organisation du travail.

$Pthi$ = Production théorique d'une machine

Pui = Production utile d'une machine

$$TRSi = \text{T.R.S d'une machine} = \frac{Pui}{Pthi}$$

$$TRSE = \text{T.R.S de l'ensemble} = \frac{\sum Pui}{\sum Pthi}$$

1.4.2.2 Rendement synthétique d'un ensemble de machines enchaînées

Nous supposons tout d'abord (cas(3) a) que le temps d'ouverture des machines est le même, et qu'elles ont la même production théorique. Dans ce cas, même s'il y a stock intermédiaire, mais alors que celui-ci ne varie pas, c'est la machine la moins productive qui limite la production ; on parle alors de *machine goulet*. Le taux de rendement synthétique de la ligne

TRS E est alors au TRS de cette machine goulet : c'est le TRS le plus faible qui devient celui de la ligne entière.

L'amélioration du TRS de l'ensemble peut dans ce cas, être obtenue par l'augmentation du temps d'ouverture de la machine goulet, mais cela implique nécessairement une variation de stock intermédiaire.

- D'une manière plus générale (cas (4)), si l'on admet de faire travailler les machines de même production théorique, mais les moins productive, pendant un temps d'ouverture plus élevé, en prélevant des pièces sur certains stocks intermédiaires, on peut améliorer sensiblement - voire fortement - le taux de rendement synthétique de l'ensemble. Le flux de sortie (production utile) de la ligne étant Pu sortie, on a alors ⁽¹⁾ :

$$TRSE = \frac{Pu \text{ sortie}}{Pth}$$

<p>3A</p> <p>Pas de variation de stock intermédiaire</p> <p>➤ Pour un même temps d'ouverture, c'est la machine la moins productive (machine goulet) qui limite le TRS de la ligne :</p> <p>➤ L'amélioration de TRSE peut être obtenue par augmentation du temps d'ouverture de la "machine goulet", ce qui implique une variation du stock intermédiaire</p>	<p>4</p> <p>Variation possible des stocks intermédiaires</p> <p>➤ S'il y a un stock (en cours) de p pièces entre chacune des n machines, on peut faire travailler les machines les moins productives pendant un temps d'ouverture plus élevé en prélevant des pièces sur certains stocks.</p> <p>Globalement : $TRSE = \frac{Pu \text{ sortie}}{Pth}$</p>
--	--

Figure 1.6 : Disponibilité d'un ensemble de machines enchaînées

Source : Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999. p : 158.

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 158.

1.4.3 Les causes de pertes de rendement dans un processus de production

Le TRS n'est pas uniquement un outil de mesure des performances mais aussi un puissant outil d'amélioration des performances. En effet, si l'on veut classer les différentes sources de déperditions, on peut les classer ainsi ⁽¹⁾ ;

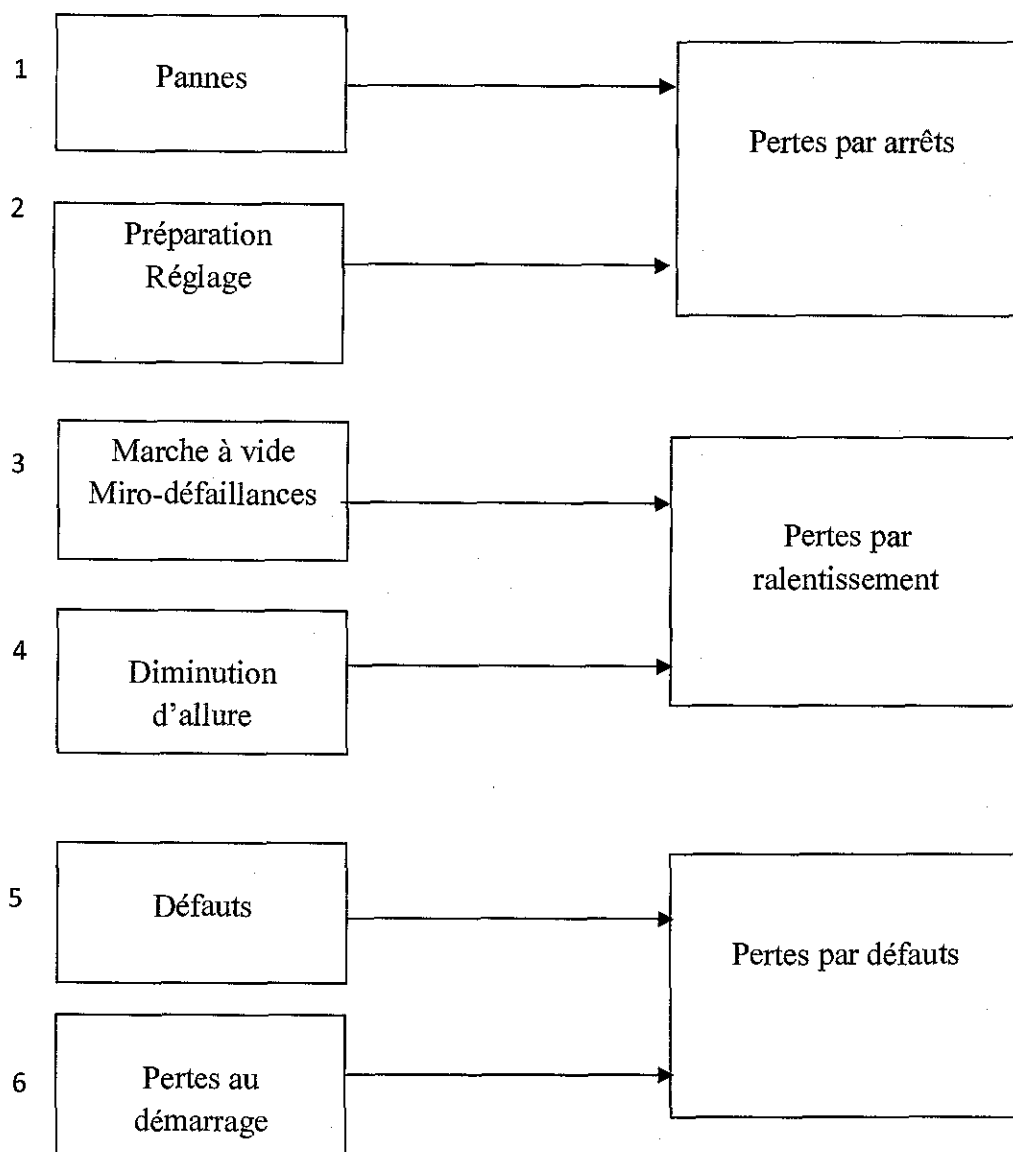


Figure 1.7: Les sources des pertes de rendement dans un processus de production.

Source : Plauchi, V., N. E. Sadi, Mesure et amélioration des performances industrielles, Fragments de cours, Office des Publications Universitaires, Université Pierre Mendès de Grenoble, France, 2006. p : 120.

⁽¹⁾ Plauchi, V., N. E. Sadi, op.cit, p : 119.

Ces causes sont réparties de la manière suivante :

- Causes indépendantes de la disponibilité : ce sont les pertes qualité et les pertes sur cycle.
- Causes d'arrêts fonctionnels : ce les opérations de nettoyage et d'entretien préventif et fréquentiel, les changements de fabrication, les changements d'outils programmés « les opérations de contrôle.
- Causes d'arrêts dus aux pannes : ce sont tout d'abord les temps actifs de maintenance corrective, correspondant aux opérations de diagnostic, de réparation, et de remise en condition des machines en vu de leur redémarrage.
- Ce sont aussi les temps d'attente dus à l'approvisionnement en pièces de rechange, mais aussi à l'approvisionnement en outillage A ces durées doivent être ajoutés le temps de non-détection (entre l'occurrence d'une panne et sa détection) et les temps « d'attente maintenance » (entre la détection de la panne et le début du diagnostic).
- Causes des arrêts induits : les 5 principales causes de ces arrêts sont la saturation du moyen aval, le manque de pièces amont ou leur non-conformité, le manque d'opérateur , le manque d'énergie ou d'information, les pertes volontaires dues, par exemple , à des essais lors des phases de réglage ou de démarrage (montée en cadence)
- Cause d'arrêts hors ouvertures : les grosses opérations de transformation de l'outil de production (rénovation), ou de réparation, bien qu'elles se situent dans le temps « hors ouverture », entraînent des pertes de production si le marché est demandeur et que des solutions de substitutions ne sont pas envisageables. Des mesures doivent, dans ce cas, être prises pour minimiser leurs effets.

Toutes ces pertes (par arrêt, par ralentissement, par défauts) peuvent être ramenées à un dénominateur commun : le temps (il suffit pour cela de considérer le temps passé à produire des pièces non conformes comme du temps perdu pour convertir les non-qualités en temps)

(1)

(1) Plauchi, V., N. E. Sadi, op.cit, p : 121.

1.4.4 Amélioration du taux de rendement synthétique

Pour améliorer les performances des ressources et obtenir l'efficacité maximale des équipements il faut ⁽¹⁾:

- Concevoir les produits et des procédés de fabrication performants
- Concevoir et réaliser des équipements et installations performants et surs.
- Optimiser la maintenance.
- Réduire les temps de changements de fabrication
- Maitriser les flux
- Gérer les systèmes d'information
- Organiser le travail, motiver et former les hommes.
- Développer des relations privilégiées avec les partenaires.
- Manager les ressources, optimiser la qualité et les couts.

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 153.

1.5 Conclusion

Pour résister à la concurrence, les entreprises doivent continuellement améliorer leur productivité, elles y parviennent par de nouvelles formes d'organisations du travail en adoptant la production au plus juste, qui vise à augmenter la productivité des entreprises.

Si la recherche de performance se limite à l'outil de production - d'une machine seule, à l'atelier ou le site de production dans son ensemble, l'indicateur le mieux adapté est sans nul doute le TRS (Taux de Rendement Synthétique).

Le Taux de Rendement Synthétique permet d'obtenir une vision plus globale de l'outil de production et de ses performances. Il met l'accent sur la productivité des équipements et de l'organisation à partir d'une idée simple : le temps utile de production.

L'analyse par TRS permet de relever dans un référentiel unique :

- Les arrêts, pannes, changements de référence...
- La non qualité, les rebuts...
- Les pertes de rendement
- La productivité utile.

CHAPITRE 2

Efficacité et sûreté

des moyens de production

2.1 Introduction

Dans ce second chapitre, nous nous intéressons essentiellement à l'outil de production proprement dit, donc aux moyens mis en œuvre dans les ateliers.

La notion d'efficacité n'est pas vraiment nouvelle, dans l'industrie. De tous temps, les responsables des entreprises ont essayé de tirer le maximum de leurs moyens de production, en augmentant les cadences, tout en cherchant à minimiser les coûts. Il s'agissait donc d'augmenter à la fois la production et la productivité de ces ressources.

La fiabilité-disponibilité des équipements et installations, qui reste la base d'une efficacité élevée, sera notre préoccupation première, et c'est pourquoi leur sûreté comprenant quatre composantes qui sont la Fiabilité, la Maintenabilité, Disponibilité et Sécurité (FMD- Sécurité) est étudiée en détail.

2.2 Efficacité économique des moyens de production

2.2.1 L'efficacité des installations

« Une unité de production est dite efficace si, à partir du panier d'intrants qu'elle détient, elle produit le maximum d'extrant possible ou si, pour produire une quantité donnée d'extrant, elle utilise les plus petites quantités possibles d'intrants » ⁽¹⁾.

L'efficacité caractérise le rapport (ou ratio) entre un résultat réel et le résultat idéal, théorique, susceptible d'être obtenu de l'activité concernée.

$$\text{Efficacité} = \frac{\text{valeur du résultat réellement obtenu}}{\text{valeur (estimée) du résultat théoriquement réalisable}}$$

L'efficacité relative au volume de production réel VPr des installations est appelée efficacité globale EFG ou efficacité technique ⁽²⁾.

$$\text{EFG} = \text{Efficacité globale} = \frac{\text{volume de production réel}}{\text{volume de production théorique}} = \frac{\text{VPr}}{\text{VPth}}$$

Une machine qui produirait la totalité de sa production théorique aurait donc une efficacité de 100%. Dans ce cas, sa disponibilité serait de 100%, elle fonctionnerait à 100% de sa cadence théorique, et elle produirait 100% de pièces bonnes.

« La mesure du degré d'efficacité d'une unité de production permet donc de cerner si cette dernière peut accroître sa production sans pour autant consommer plus de ressources, ou diminuer l'utilisation d'au moins un intrant tout en conservant le même niveau de production » ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Atkinson, E. Scott and C. Cornwell, "Estimation of Output and Input Technical Efficiency Using a Flexible Functional Form and Panel Data", Int. Econ. Rev. 35, 1994, p: 248.

⁽²⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 18.

⁽³⁾ Amara, N. et R. Romain, Mesure de l'efficacité technique : Revue de la littérature, Centre de recherche en économie agroalimentaire, Université Laval, Québec, 2000, p : 2.

Les premiers travaux sur le concept d'efficacité sont attribués à Koopmans et Debreu (1951). « Koopmans fut le premier à proposer une mesure du concept d'efficacité et Debreu le premier à le mesurer empiriquement. Debreu proposa le coefficient d'utilisation des ressources qui portait essentiellement sur des mesures de ratio extrant-intrant » ⁽¹⁾. « Farrell (1957) fut le premier à définir clairement le concept d'efficacité économique et à distinguer les concepts d'efficacité technique et d'efficacité allocative » ⁽²⁾.

L'obtention d'une efficacité de 100%, n'est en fait pas forcément souhaitable. D'une part, en effet, produire une telle quantité de biens ne présente d'intérêt que si le marché est capable d'absorber cette production. Mais, surtout produire à 100% de sa capacité ne signifie pas produire au moindre coût. Tendre vers 0% de pannes ou produire jour et nuit peut en effet s'avérer coûteux. C'est pourquoi une définition d'une efficacité économique est nécessaire ⁽³⁾.

L'efficacité économique d'une installation EFE est le rapport entre le produit des ventes PR_v généré par sa production (ou des cessions à l'entité située en aval) et la somme des coûts engendrés, d'une part par les ressources mises en œuvre pour cette production (coût CR), et d'autre part par les pertes occasionnées par les arrêts, pannes, défauts, gaspillages, etc..., de l'installation (coût CP) ⁽⁴⁾.

$$EFE = \text{Efficacité économique} = \frac{PR_v}{CR + CP}$$

Cette grandeur doit aussi être considérée comme la valeur de l'activité de l'installation du point de vue de son volume de production:

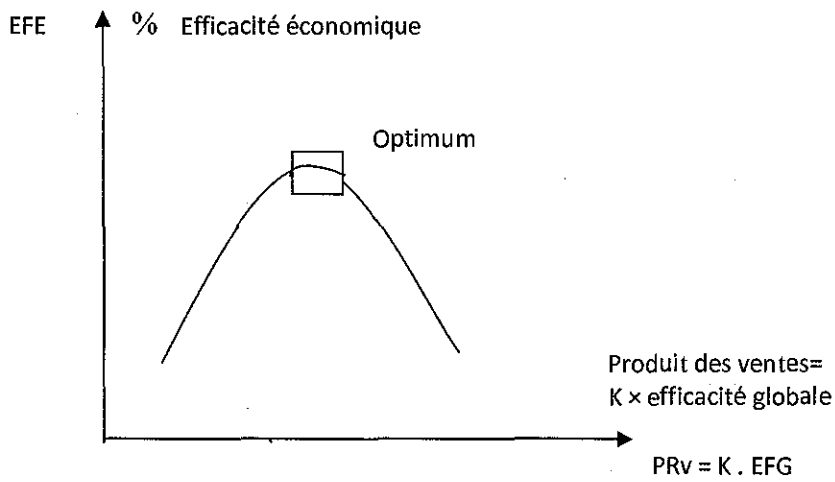
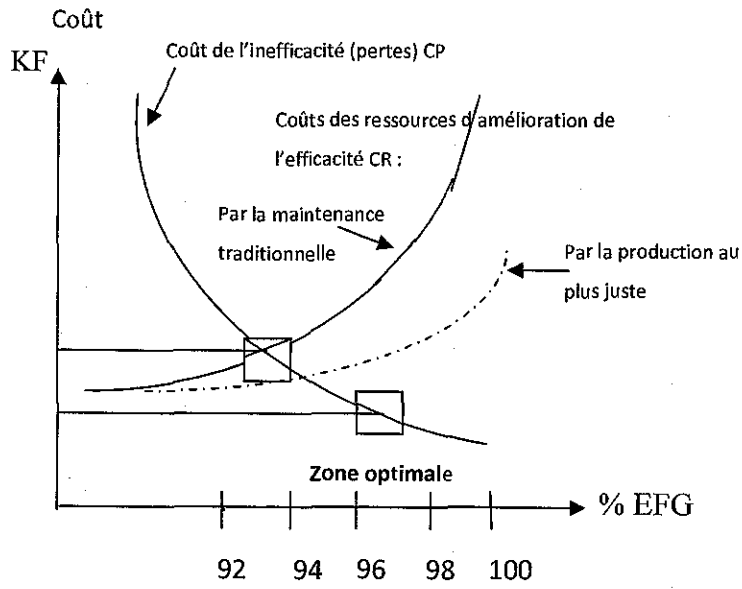
⁽¹⁾ Koopmans, T., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph no 13, New York, 1957, cité en Nabil Amara et Robert Romain, 2000, idem, p: 2.

⁽²⁾ Farrell, M. J., *the Measurement of Productive Efficiency*. J. Roy. Stat. Soc., Séries A., General, 120, Part 3, 1957, cité en Nabil Amara et Robert Romain, 2000, idem, p: 2.

⁽³⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 18.

⁽⁴⁾ Sourisse, C., F. Klaye, idem, p : 18,19.

$$\text{Valeur} = \frac{\text{Satisfaction du besoin}}{\text{Somme des coûts}}$$



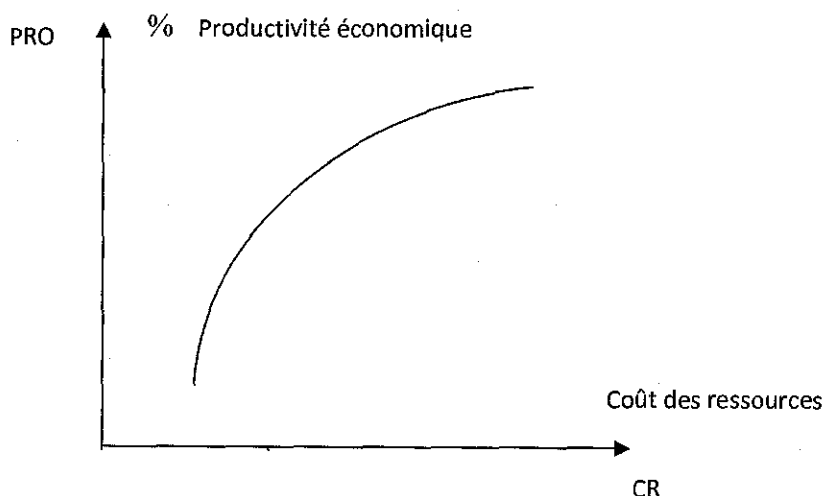


Figure 2.1 : L'efficacité économique

Source : Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999, p : 19.

Cette valeur, également sans dimension donc exprimé en % croît généralement lorsque l'efficacité technique augmente (car la somme des coûts est alors décroissante) mais décroît au-delà d'une certaine valeur de cette grandeur (car l'augmentation des ressources n'engendre plus une diminution des pertes suffisantes) ⁽¹⁾.

Il y'a donc une efficacité économique optimale qui correspond à un maximum.

2.2.2 Les pertes d'efficacité des unités de production

Le besoin d'augmenter l'efficacité des installations industrielles résulte du constat que peut faire tout observateur sur les opérations non productives et les sources de gaspillage rencontrées dans la plupart des usines.

« Parmi celles-ci, sans prendre en compte les arrêts dus à la maintenance, corrective et préventive on peut citer :

- La fabrication de produits non conformes, ou défectueux,

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 19.

- Les manipulations coûteuses de produits ou d'outil correspondant à des stockages intermédiaires, des rangements inadéquats, des recherches de matériels,
- Les transports des produits semi finis, ou de pièces détachées, entre des zones de stockage et certains équipements,
- Les délais d'attente dus à ces stockages intermédiaires, mais aussi au manque de pièces (arrêts induits),
- Les arrêts dus aux goulots d'étranglement,
- Les stocks superflus de produits finis ou semi-finis non commandés par les clients,
- Les processus opératoires inadaptés au besoin à satisfaire » ⁽¹⁾.

On peut distinguer en fait, dans toutes ces pertes d'efficacité, trois familles de causes :

* Les dysfonctionnements, qui provoquent :

- Des arrêts machine, propres ou induits,
- Des ralentissements (partes sur cycles),
- Des défauts de production (pertes qualité).

* Les performances insuffisantes, consécutives à la conception de l'équipement lui-même (cadences) ou à son opérabilité, (procédures d'exploitation et de maintenance),

* Les opérations sans valeur ajoutée : celles-ci diminuent pas le volume de production des installations, mais entraînent des coûts superflus. Ce sont non seulement les gaspillages, mais, ce sont d'une manière plus générale :

- Les tâches inutiles ou excessives de contrôle, réglage, de gestion, etc. ;
- Les investissements improductifs ;
- Les dommages et pénalités ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Haddad, B., op.cit, p : 29.

Causes de pertes Points de vue	Dysfonctionnement	Performances insuffisantes	Valeur ajoutée nulle ou négative
Produits	Matériaux défectueux ou hors tolérances Erreurs amont	Produits mal conçus Matériaux mal sélectionnés, usinages assemblage etc...difficiles	Pièces inutiles, Opérations inutiles, Retouches sur produits
Flux de production	Rupture de flux (notamment arrêts induits)	Ralentissements induits par l'aval et l'amont (ex: commandes urgentes)	Stocks inutiles, Changements de fabrication inadéquat ou trop longs
Equipements	Pannes, Anomalies de l'exploitation (énergie, utilité,...)	Pertes de rendement : Sur cycle, dues à la qualité	Réglages superflus, Entretien en production, Maintenabilité défaillante
Organisation de production	Défaillances dans : Conduite, maintenance, système d'information, organisation du travail	Temps d'intervention trop longs, Saisie d'informations laborieuses, inefficacité du personnel	Tâches inutiles (contrôle, interventions) Redondances des moyens et des hommes

Figure 2.2: Principales causes de pertes d'efficacité.

Source : Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999, p : 22.

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 22, 23.

2.3 La maîtrise des flux de production

L'efficacité d'une installation de production ne dépend pas que de la performance de ses différentes machines : la maîtrise des flux en est aussi un élément essentiel.

Or celle-ci dépend du type de processus en présence, des objectifs de production recherchés.

2.3.1 Le flux et les notions associés

Définition

Un flux est un déplacement d'éléments dans le temps et dans l'espace⁽¹⁾.

Un flux peut être illustré par des billes qui se déplacent dans un tuyau comme sur la figure 2.3 ci-dessous.

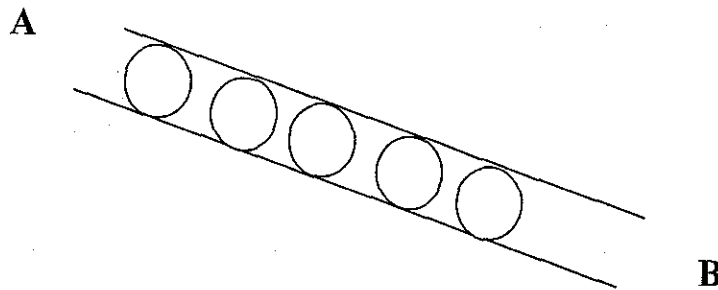


Figure 2.3 : Représentation d'un flux

Source : Biteau, R, S. Biteau, La maîtrise des flux industriels, Éditions d'Organisation, Paris, 2003, p : 26.

- ✦ Dans le TEMPS, le déplacement se fait entre l'instant t_0 et l'instant t_n . Il a donc une durée.
- ✦ Dans l'ESPACE, le déplacement a lieu entre un point A (appelé parfois "amont" ou "fournisseur" ou "émetteur") et un point B (appelé parfois "aval" ou "client" ou "récepteur"). Il correspond à une distance.

⁽¹⁾ Biteau, R, S. Biteau, La maîtrise des flux industriels, Éditions d'Organisation, Paris, 2003, p : 26.

« D'une façon générale, l'élément déplacé peut être matériel (pièces, matières premières, voitures, etc.) ou immatériel (idées, données, amour, etc.).

Dans le domaine de la production industrielle, les deux flux importants sont :

– le flux physique : déplacement de matières premières, de composants, de sous-ensembles, de produits finis, etc.

– le flux d'informations : déplacements de données.

Le flux principal, le flux physique attendu par le client » ⁽¹⁾.

2.3.2 Objectifs de production et typologie des flux

En ce qui concerne les objectifs de production, il s'agit de savoir si l'on fabrique des produits vendus d'avance, donc en flux poussé, ou si l'on produit sur commande, donc en flux tiré.

2.3.2.1 Flux poussé

« En flux poussé, on travaille en production planifiée traditionnelle. Dans ce cas, des stocks sont constitués en aval et en amont des machines. Il y'a donc un volume d'en cours, qui peut être important. Mais si la durée de réparation est suffisamment courte, la défaillance d'un équipement n'arrête pas la production des autres machines » ⁽²⁾.

Toute la philosophie du JAT (Juste à temps) consiste à diminuer progressivement les en-cours, pour faire en sorte qu'apparaissent progressivement les problèmes jusqu'alors masqués ⁽³⁾.

2.3.2.2 Flux tiré

En flux tiré, la production est réalisée sur commande. On travaille alors en juste à temps, avec une production orchestrée par la demande aval (livraison à effectuer).

Elle se traduit par la constitution d'un flux tendu, permettant une réduction des stocks, aval, amont et des en cours. Chaque poste de travail est alimenté au fur et à mesure des besoins, sans stocks tampon ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Biteau, R, S. Biteau, op.cit, p : 26, 27.

⁽²⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 36.

⁽³⁾ Erschler, J., B. Grabot, Gestion de Production : Fonctions, techniques et outils, Hermès Science Publication, Paris, p : 217.

⁽⁴⁾ Sourisse, C., F. Klaye, ibid, p : 37.

- Fonder le déclenchement d'une opération sur la consommation de l'opération aval demande souvent une plus grande flexibilité, des changements de série plus fréquents. Le SMED, ou Single Minute Exchange of Die, est une technique permettant de réduire le temps de changement de série. Ce dernier est le délai entre la dernière pièce bonne d'une série et la première pièce bonne de la série suivante. Il comprend à la fois la fin de la série précédente, le changement d'outil, le réglage et le démarrage de la série suivante.

« Cette technique repose sur la distinction entre les étapes du changement de série dites « internes » que l'on ne peut pas faire lorsque la machine est en fonctionnement, et celles dites « externes » que l'on peut faire lorsque la machine fonctionne. Le SMED repose sur quatre grandes phases que nous ne détaillerons pas ici : identifier, extraire, convertir, réduire »⁽¹⁾.

- Un système a été développé par Toyota : le Kanban, qui signifie étiquette en japonais, ce dernier permet de piloter les flux physiques par la consommation en aval⁽²⁾.

Le mécanisme est décrit par le schéma de la figure suivante

⁽¹⁾ Jacques Erschler, Bernard Grabot, op.cit, p: 218.

⁽²⁾ Nanua Singh, "Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing", Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Wayne State University, 1995, p: 440.

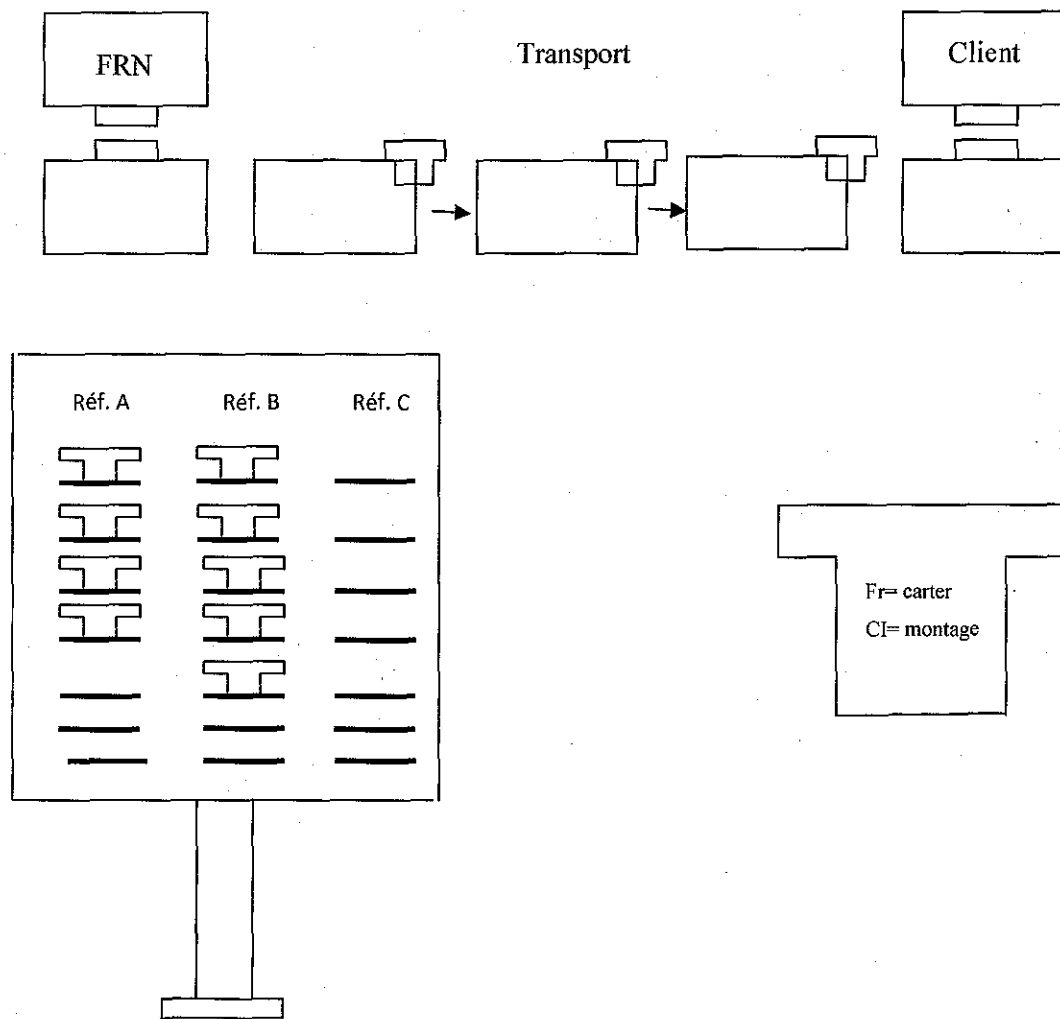


Figure 2.4 : Le mécanisme du Kanban

Source : Erschler, J., B. Grabot, Gestion de Production : Fonctions, techniques et outils, Hermès Science Publication, Paris, p : 220.

« Son fonctionnement est en trois temps :

- Temps 1 : le client, interne ou externe, consomme les composants en provenance se son fournisseur ;
- Temps 2 : après consommation de la totalité des pièces du conteneur, le client renvoie à son fournisseur l'étiquette, ou Kanban. A réception, chez le fournisseur, le Kanban est placé sur un planning. Connaissant le nombre total de Kanbans en circulation, le

fournisseur sait à tout moment quelle est la consommation du client, et donc son besoin ;

- Temps 3 : en fonction de cette information, le fournisseur lance la production de sorte à satisfaire les besoins de son client. Pour chaque conteneur fabriqué, le fournisseur place une étiquette comprenant les informations minimales suivantes : fournisseur, client, référence de la pièce, nature du conteneur et nombre de pièces contenues » ⁽¹⁾.

Le déclenchement de la production est possible si la carte Kanban nouvellement placée sur le planning est située dans la zone entre le point « je peux produire », donnant la possibilité au fournisseur de lancer la production, et le point « je dois produire », où le fournisseur est obligé de produire au risque de mettre son client en rupture.

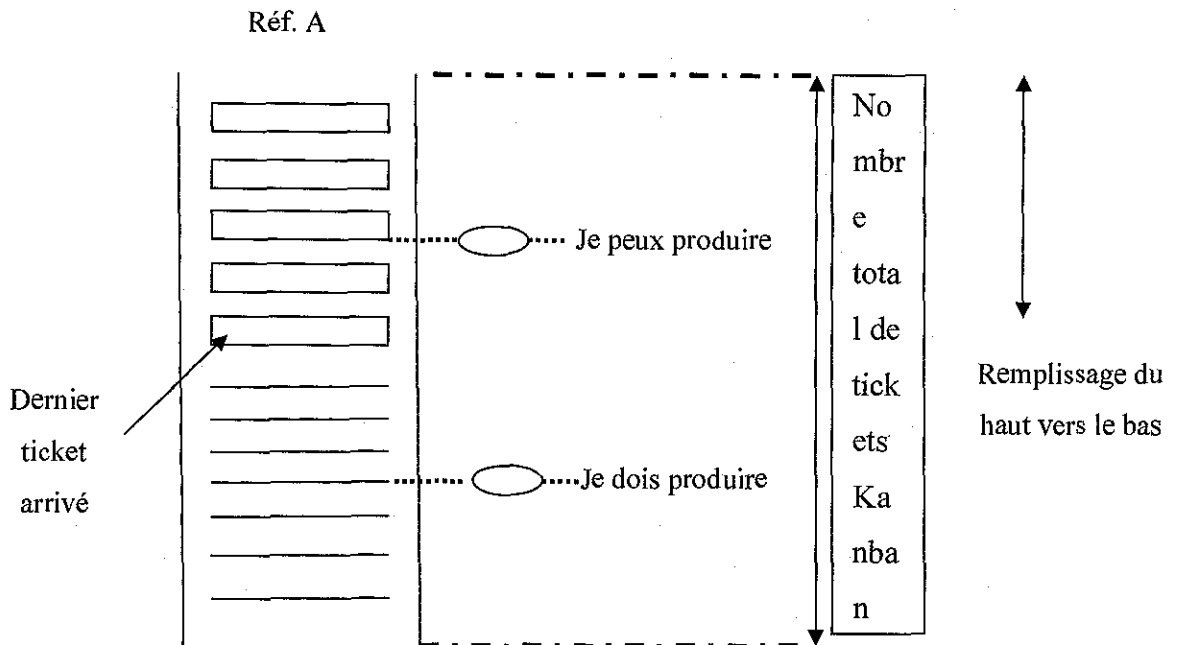


Figure 2.5 : Points de déclenchement de production Kanban

Source : Erschler, J., B. Grabot, Gestion de Production : Fonctions, techniques et outils, Hermès Science Publication, Paris, p : 221.

⁽¹⁾ Jacques Erschler, Bernard Grabot, op.cit, p : 220.

Ainsi, ce système de circulation d'étiquettes garantit que le fournisseur fabriquera uniquement en fonction de la consommation réelle de son client. La fabrication à un poste de travail est donc « tirée » par la consommation du poste aval, d'où son nom.

2.3.3 Classification des processus de production en fonction des flux de produits

La classification est basée sur une analyse du flux des produits, c'est-à-dire sur la séquence de stations de travail visitées par les produits lors de leur passage à travers le système productif.

2.3.3.1 Production en ligne

Dans un processus en ligne, il existe un flux dominant de produits en ce sens que (presque) toutes les unités produites parcourent les stations de travail selon la même séquence. On distingue deux grandes sous-classes de processus en ligne:

1- Production à flux continu ;

2- Chaîne de production ou d'assemblage ⁽¹⁾.

- Production à flux continu: ici, deux unités successives du produit ne peuvent être ni séparées ni distinguées les unes des autres, il n'y a pas d'interruption du processus de production entre les postes de travail. C'est souvent lorsque le produit est liquide, gazeux ou sous forme de poudre.

La production continue est caractérisée par la fluidité de son processus et l'élimination du stockage ⁽²⁾.

Exemples :

- industrie pétrochimique,
- sidérurgie (phase à chaud),
- industrie agro-alimentaire (aliments pour bétail, ...)

- Chaîne de production ou d'assemblage: les unités produites visitent les stations de travail dans le même ordre et subissent des séquences d'opérations (presque)

⁽¹⁾ Crama, Y., *Eléments de Gestion de la Production*, Ecole d'Administration des Affaires, Université de Liège, France, 2003, p : 15.

⁽²⁾ Ait Hssain, A., *Optimisation des flux de production : méthodes et outils pour la performance de votre supply chain*, Dunod, 2^{ème} édition, Paris, 2005, p : 20,21.

identiques; mais elles sont physiquement séparées, et peuvent présenter de légères variations les unes par rapport aux autres (par exemple, par l'addition d'options) ⁽¹⁾.

Exemples:

- construction automobile,
- appareils électroménagers,
- contrôle technique automobile.
- la majorité du domaine du textile.

2.3.3.2 Job-shop, ou atelier

« En production de type Job Shop, de nombreux types de produits sont lancés, en petites quantités, sur des ressources assez flexibles. Un produit peut être fabriqué selon une de ses séquences variées. La fabrication de machines-outils ou celle de prototypes sont des exemples de ce type de production » ⁽²⁾.

Exemples :

- atelier traditionnel (mécanicien, menuisier),
- sous-traitance de pièces mécaniques,
- cuisine de restaurant traditionnelle,
- laboratoire d'analyses médicales,
- hôpital.

2.3.3.3 Production par lots (batch flow)

Intermédiaire entre les précédents; les unités au sein d'une série sont identiques; les différentes séries visitent des séquences de stations similaires, mais chaque série requiert des réglages importants ou des opérations distinctes à chaque station ⁽³⁾.

En production par lots, ou Batch, des groupes (lots) de produits semblables sont lancés parmi des produits différents. La fabrication de produits d'un même lot ne nécessite pas (ou très peu) de changements d'outils au niveau des postes de travail. Un des problèmes à résoudre est

⁽¹⁾ Crama, Y., op.cit, p : 15.

⁽²⁾ Ait Hssain, A., op.cit, p : 21.

⁽³⁾ Crama, Y., ibid, p : 16.

la taille des lots. Il faut tenir compte des critères antagonistes, coûts de changement de lots (outils, réglages,...) et coût de stockage entre autres. La fabrication d'outillages, le décollage mécanique, les assemblages différents à partir de composants produits à une cadence plus élevée sont des exemples de la production par lots ⁽¹⁾.

Exemples:

- cuisson des émaux
- chaussures
- circuits imprimés
- produits exigeant des traitements chimiques (bains).

- ✓ Un système de production en ligne se caractérise par le fait que les ressources (machines, hommes) sont organisées en fonction de l'article à produire: on dit que le processus est organisé par produit.
- ✓ Par contre, dans un job-shop, les ressources sont groupées sur base des opérations qu'elles réalisent: le processus est organisé par fonction.

2.3.4 Comparaison entre les différents processus de production

Les différents types de systèmes se distinguent encore par de nombreuses autres caractéristiques.

- 1) Dans un système de production en ligne, généralement,
 - un seul type, ou très peu de types d'articles différents sont produits;
 - le nombre d'unités produites (volume de production) est élevé;
 - l'équipement est très spécialisé, automatisé et peu flexible;
 - les investissements en équipements et en études de conception du système sont importants;
 - la main d'œuvre est limitée;
 - le taux d'utilisation des équipements est très élevé (souvent plus de 90%);

⁽¹⁾ Ait Hssain, A., op.cit., p : 22.

- la production se fait pour stock, avec par conséquent des stocks de matières premières, de composants et de produits finis élevés et des stocks d'encours relativement faibles.
- 2) A l'inverse, un job-shop se caractérise souvent par :
- une grande variété de produits (adaptés aux exigences spécifiques de chaque client);
 - un nombre d'unités de chaque type et un volume de production total peu élevés;
 - des équipements non spécialisés, peu automatisés et très flexibles (temps de réglage faibles);
 - des investissements en équipements relativement peu élevés;
 - une main d'œuvre importante;
 - un taux d'utilisation des équipements très faible (souvent moins de 50%); en effet, dans un job-shop, chaque produit ne requiert qu'une minorité des équipements présents; de plus, chaque changement de production entre différents types de produits se traduit par des temps de réglage non productifs; certains observateurs mentionnent ainsi que, dans le secteur de l'industrie mécanique, les produits passent typiquement 95% de leur temps dans l'atelier sous 17 forme d'encours; 1/3 seulement du temps qu'ils passent sur les machines représente du temps d'usinage effectif, soit moins de 2% du temps de passage total dans l'atelier.
 - un mode de production à la commande, et donc des stocks de produits finis relativement faibles.

« En termes de coûts, les avantages comparatifs des deux types de systèmes peuvent être esquissés comme suit :

- ✓ Le principe directeur de la production en ligne est que les coûts fixes élevés (investissements) doivent pouvoir être absorbés par de grands volumes de production.
- ✓ A l'opposé, dans un job-shop, les coûts fixes sont maintenus à un niveau plus modeste et les coûts variables, c'est-à-dire liés directement au volume de production, sont prépondérants (par exemple, les coûts salariaux). Le job-shop peut donc être rentable en produisant des quantités relativement faibles (inférieures au point d'indifférence), alors que, lorsque le volume de production augmente, les coûts variables plus

modestes de la production en ligne se traduisent également par des coûts moyens moins élevés » ⁽¹⁾.

2.4 La sûreté, volet incontournable de l'efficacité

2.4.1 La sûreté, une notion complexe

La sûreté des moyens affectés à l'accomplissement d'une tâche quelconque n'est pas une notion nouvelle. Qu'il s'agisse de moyens humains, ou d'équipement, matériels ou immatériels, leur sûreté est avant tout lié à un sentiment de confiance. Ce sentiment est aussi accompagné d'une notion de certitude (d'où l'expression souvent employé : « il est sûr et certain que... »).

Ce que l'on demande en premier lieu à toute entité (personne, équipe, machine, etc.), avant même l'obtention de performance donnée, est d'être capable d'accomplir la mission qui lui est impartie, de remplir « toute la mission », mais aussi « rien que la mission ».

« La qualité est l'efficacité de l'accomplissement de cette mission peuvent être évaluées en terme de performance, mais le fait de ne la remplir que partiellement (ou même pas du tout), ou d'entraîner des conséquences indésirables relève de sa sûreté.

Parmi ces conséquences indésirables, on trouve avant tout les atteintes aux personnes, aux biens et /ou à l'environnement. Il est question alors de sécurité. Les incidences néfastes dont il s'agit ici ne s'apprécient pas en termes de résultats d'activité, mais en termes de dégradations, ou de dommages » ⁽²⁾.

Il est paradoxalement possible qu'une installation, ou un groupe humain, accomplissent parfaitement sa mission, tout en produisant des effets nuisibles dans son environnement humain (maladies professionnelles, par exemple) ou physique (pollution).

« La sûreté comprend quatre composantes qui sont la fiabilité, la maintenabilité, disponibilité et sécurité.

- ✓ La fiabilité est l'aptitude à accomplir la mission pendant une durée déterminée.
- ✓ La maintenabilité est l'aptitude à accomplir la mission après une défaillance
- ✓ La disponibilité est l'aptitude à accomplir la mission à un instant déterminé.

⁽¹⁾ Crama, Y., op.cit, p : 16,17.

⁽²⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 49.

- ✓ La sécurité est l'aptitude à accomplir la mission sans causer de lésion ou d'atteinte à la santé »⁽¹⁾.

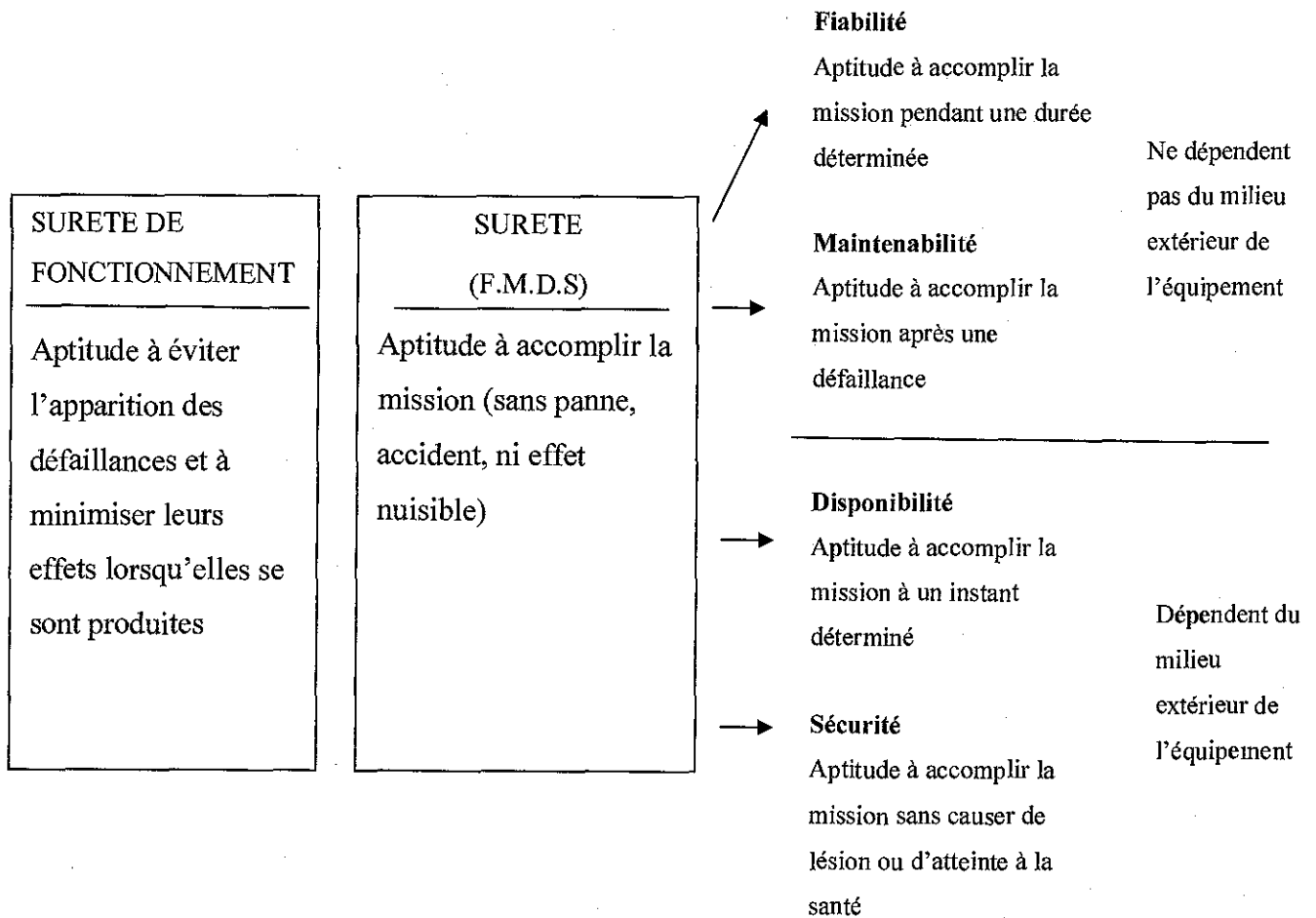


Figure 2.6: Représentation de la sûreté d'un équipement de production

Source : Monchy, F., Maintenance : Méthodes et Organisations, édition Dunod, 2^{ème} édition, Paris, 2004, p : 50.

2.4.2 Fiabilité

« Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné. Caractéristique d'un bien exprimée par la probabilité qu'il accomplisse une fonction requise dans des conditions données, pendant un temps donné »⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Peyrucat, J. F., Améliorer la disponibilité des installations, Mesures 725, Paris, p : 87.

« On appelle durée de vie d'un équipement le temps qui sépare la mise en service de la défaillance. On admet qu'un matériel réparé est remis à neuf et on assimile à autant de vies successives les nouvelles périodes de service qu'il procure.

La durée de vie d'un équipement est une variable aléatoire T , représentant le temps écoulé de puis la mise en service au temps $t=0$.

Posons :

$$v(t) = \Pr \{T \geq t\} ;$$

- $V(t)$ est appelée Fiabilité ou sûreté de fonctionnement de l'équipement ; c'est la probabilité pour que cet équipement réalise une fonction donnée, dans des conditions déterminées et pendant un temps fixé, t »⁽²⁾.
- $V(t)$ est une fonction monotone décroissante avec :

$$v(0) = 1 \text{ et } \lim_{t \rightarrow \infty} v(t) = 0$$

- La cession d'un dispositif à accomplir une fonction requise est appelée défaillance.
- La densité de probabilité $i(t)$ de T existe et est continue⁽³⁾ :

$$i(t) dt = \Pr \{t \leq T \leq t + dt\} ;$$

C'est la probabilité de défaillance entre t et $t+dt$.

Si l'on pose :

$$j(t) = 1 - v(t) = \Pr \{T < t\}$$

qui représente la probabilité pour qu'il survienne au moins une panne jusqu'au temps t et l'on appelle parfois probabilité cumulative de panne, on a :

$$i(t) = d/dt j(t) = -d/dt v(t) ;$$

⁽¹⁾ Groupe de Réflexions et d'Orientation en Maintenance, Réussir sa maintenance : éléments de réflexions, Edition Mare Nostrum, Paris, 1996, p : 16.

⁽²⁾ Faure, R., J. L. Laurière, Fiabilité et renouvellement des équipements, Gautier-Villars Editeur, Paris, 1974, p: 2.

⁽³⁾ Faure, R., J. L. Laurière, idem, p : 02.

Ainsi donc :

$$j(t) = \int_0^t i(u) du$$

Par passage à la limite, on définit alors un taux de défaillance instantané λ , qui est une fonction de t .

On a :

$$\lambda(t) = \frac{i(t)}{v(t)}$$

λ n'est donc pas une grandeur constante, car le taux de défaillance des dispositifs est généralement élevé en début de cycle de vie (défaillances précoces), ainsi qu'en fin de cycle de vie (défaillances d'usure). On peut toutefois observer souvent que, dans la courbe en baignoire représentant l'évolution de λ dans le temps, il existe généralement une durée de vie utile durant laquelle le taux de défaillance λ est sensiblement constant ⁽¹⁾.

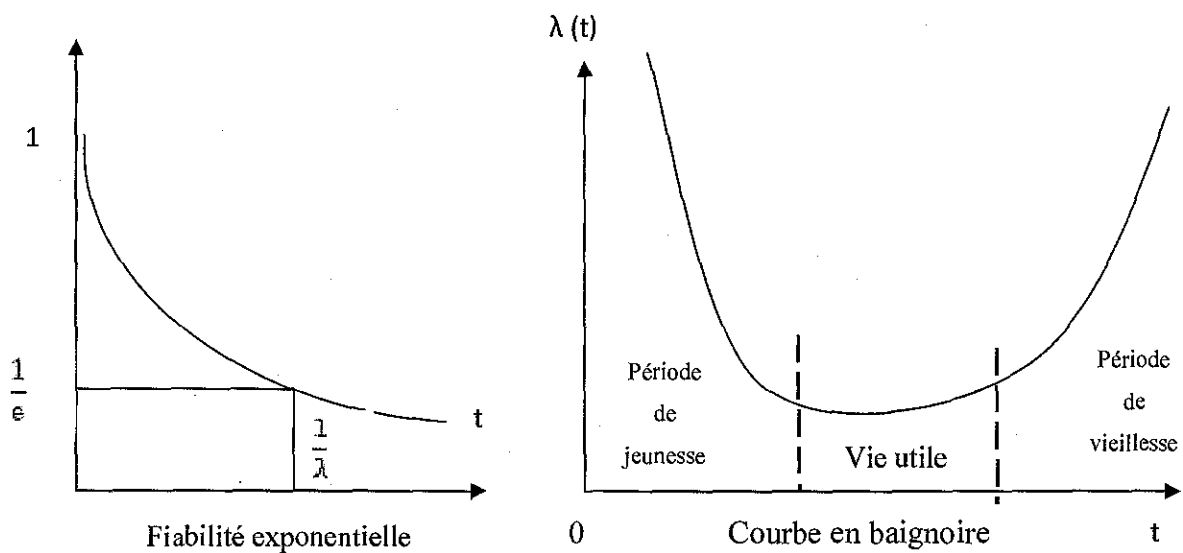


Figure 2.7: Evolution de la fiabilité dans le temps

Source : Faure, R., J. L. Laurière, Fiabilité et renouvellement des équipements, Gautier-Villars Editeur, Paris, 1974, p: 7.

⁽¹⁾ Monchy, F., Maintenance : Méthodes et Organisations, édition Dunod, 2^{ème} édition, Paris, 2004, p : 50.

La quantité $1/\lambda$, exprimée dans la même unité que t , est la moyenne des temps de bon fonctionnement, appelée MTBF par les Anglo-Saxons (Mean Time Between Failure) ou TMED (temps Moyen Entre Défaillances) ⁽¹⁾.

On a :

$$\frac{1}{\lambda} = \text{MTBF} = \text{TMED}$$

2.4.3 Maintenabilité

2.4.3.1 Définitions

- Définition du projet CEN (Comité Européen de Normalisation) :

« Dans des conditions données, la maintenabilité est l'aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état où il peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, en utilisant des procédures et des moyens prescrits. » ⁽²⁾.

Mesure de l'aptitude d'un système à être maintenu ou remis dans des conditions spécifiées lorsque la maintenance est réalisée par des agents ayant les niveaux spécifiés de compétences utilisant les procédures prescrites... ⁽³⁾.

2.4.3.2 Différentes formes de maintenabilité

A partir de ces définitions, nous distinguerons :

- La maintenabilité intrinsèque

C'est-à-dire « construite », ceux qui dépendent de la machine elle-même, donc de son constructeur : facilité d'intervention, interchangeabilité des pièces : ce sont des facteurs intrinsèques ⁽⁴⁾.

- La maintenabilité prévisionnelle

⁽¹⁾ Faure, R., B. Lemaire, C. Picouleau, Précis de recherche opérationnelle, 5^{ème} édition, Dunod, Paris, 2000, p : 222.

⁽²⁾ Monchy, F., op.cit, p : 195.

⁽³⁾ www.euroforum.fr

⁽⁴⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 57.

Est également « construite », mais à partir d'objectifs de disponibilité ⁽¹⁾.

- La maintenabilité opérationnelle

Sera mesurée à partir des historiques d'intervention ⁽²⁾, ceux qui sont liés à l'organisation des opérations de la maintenance : qualification et disponibilité des agents, stock de pièces, outils de dépannage, etc. : ce sont des facteurs extrinsèques ⁽³⁾.

2.4.3.3 L'indicateur de maintenabilité

Pour une entité utilisée dans des conditions données, la maintenabilité est la probabilité pour qu'elle soit capable d'assumer à nouveau une fonction requise dans l'intervalle (0,t), sachant qu'elle est défaillante à l'instant 0, la maintenance étant effectuée dans des conditions données et avec l'utilisation de procédures et de moyens prescrits.

« La maintenabilité est, comme la fiabilité, une probabilité de rétablir le fonctionnement du système dans des conditions spécifiques et dans un temps t donnée et limitée, dans laquelle intervient un taux instantané de réparation $\mu(t)$ » ⁽⁴⁾.

$\mu(t)$: Taux de réparation qui s'assimile à la probabilité que le système soit réparé entre l'instant t et l'instant t+dt, sachant qu'il n'est pas réparé sur l'intervalle [0, t].

On admet généralement que μ est une fonction constante, donc indépendante du temps, et dans ce cas on a ⁽⁵⁾ :

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

On définit aussi un Temps Moyen de Réparation (Mean Time To Repair)

⁽¹⁾ Monchy, F., op.cit, p : 195.

⁽²⁾ Monchy, F., idem, p : 195.

⁽³⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 57.

⁽⁴⁾ Abbou, R., Contribution à la mise en œuvre d'une maintenance centralisée : Conception et optimisation d'un atelier de maintenance, Spécialité Automatique-Productique, Thèse de doctorat, 2003, p : 82.

⁽⁵⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 58.

$$MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)] dt \text{ d'où :}$$

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \text{ si } M(t) \text{ est constant.}$$

Si MTTR est, par exemple, égal à 12 minutes soit 0,2 heures, on aura :

$$\mu = \frac{1}{0,2} = \frac{5}{H}$$

Et si MTTR = 1 heure on aura

$$\mu = \frac{1}{H}$$

En langue française, l'équivalent de MTTR est TMRE (Temps Moyen de Remise en Etat)

2.4.4 Disponibilité

2.4.4.1 Définitions et différentes formes de disponibilité

- Définitions

"Aptitude d'un bien, sous les aspects combinés de sa fiabilité, maintenabilité et de l'organisation de la maintenance, à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées" (NF X60-010) ⁽¹⁾.

« Probabilité (aptitude) d'un système à fonctionner à un instant "t" donné et dans des conditions données » ⁽²⁾.

Donc la disponibilité est une probabilité, qui s'exprime, en général, par des fonctions des taux $\lambda(t)$ et $\mu(t)$.

Si ces taux sont supposés constants, la disponibilité $D(t)$ est une grandeur exponentielle décroissante, avec une asymptote (à laquelle correspond $D(\infty)$)

Dans ce cas on a :

⁽¹⁾ www.cuvelier.mei.free.fr

⁽²⁾ Abbou, R., op.cit, p : 82.

$$D(\infty) = \frac{\mu}{\mu + 1} \text{ ou encore } D(\infty) = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Par exemple, si MTBF= 2000 heures et MTTR= 2 heures, on aura :

$$D(\infty) = \frac{2000}{2002} \approx 99,9\%$$

- Les différentes formes de disponibilité

La figure 2.9 schématise les différentes formes de disponibilité et leur contexte.

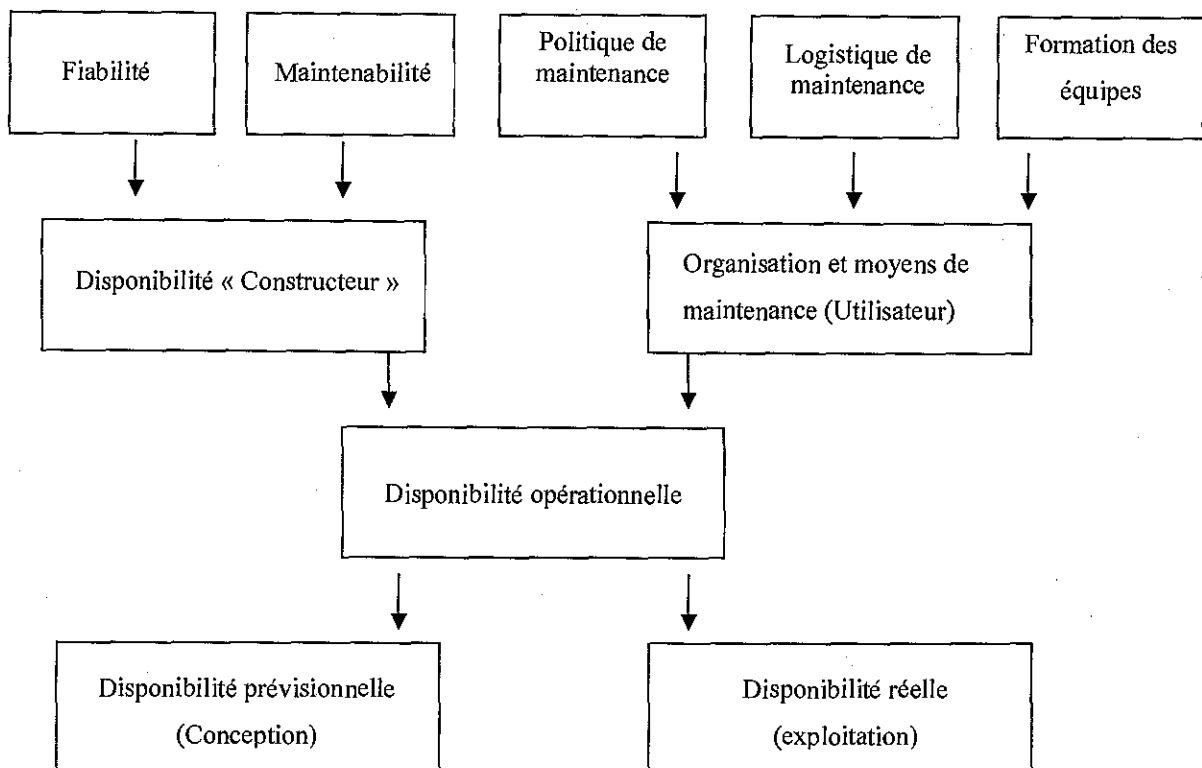


Figure 2.8: Composantes de la disponibilité d'une machine indépendante

Source : Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999, p : 60.

Dans la pratique de la vie industrielle, on distingue 3 sortes de disponibilité :

- La disponibilité asymptotique d'un équipement

Peut être calculée, sur une période suffisamment longue, à partir de la mesure du temps moyen de fonctionnement entre défaillances (TMED) et du temps moyen de mesure en état (TMRE). La disponibilité ainsi calculée, prend implicitement en compte les divers facteurs caractérisant l'efficacité de l'organisation et des moyens de la maintenance ; c'est pourquoi on l'appelle disponibilité opérationnelle ⁽¹⁾.

- La disponibilité opérationnelle ou propre de l'unité de production U_i ⁽²⁾

Notée D_{op} , l'évaluation de la disponibilité obtenue à partir de mesures de temps saisies à partir des états d'un équipement, elle est évaluée à partir des relevés de temps relatifs :

- A une période de temps (1 jours, 1 semaine, n mois, 1 an) ;
- A un équipement ou, il s'agit d'une ligne de production, d'un tronçon U_i ;
- Aux temps d'indisponibilité propres de moyenne MTI et des durées de bon fonctionnement de moyenne MTBF suivant le modèle :

$$D_{op} = \frac{MTBF}{MTBF + MTI} < 1$$

« Mesurée en exploitation, est la disponibilité réelle obtenue sur le terrain. Elle consiste un gisement d'amélioration de la productivité, à ce titre elle représente un objectif de maintenance à atteindre.

Elle suppose la prise en compte des micro-défaillances par saisie automatique des micros arrêts, L'améliorer passe inexorablement par l'amélioration des $D_{op}(U_i)$ les plus faibles » ⁽³⁾

- La disponibilité prévisionnelle ⁽⁴⁾

On doit aussi, au stade de la conception des machines et installations, calculer la disponibilité qu'on espère obtenir à partir des fiabilités et maintenabilités théoriques ou observées. Il s'agit alors de disponibilité prévisionnelle.

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 59.

⁽²⁾ Faure, R., J. L. Laurière, op.cit, p : 32.

⁽³⁾ Monchy, F., op.cit, p : 208.

⁽⁴⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 59.

Tous les concepts présentés ci-dessus ne prennent en considération que l'aptitude à fonctionner ou à être réparés des équipements, compte tenu de leurs éventuelles défaillances et des dispositions prévues pour leur maintenance. Mais la production réelle d'une installation dépend, de beaucoup d'autres facteurs liés aux nécessités du service (horaire de travail,...), aux impératifs de production (demande des clients), aux incidences de la qualité, aux fournitures de matières d'œuvre, etc.

Exemple d'évaluation ⁽¹⁾

Pendant la période du 02-10-97 au 06-02-98 où une machine a travaillé 675 heures, le cumul des 15 temps d'arrêts pour réparation a été de 18,43 heures.

On en déduit :

$$FMED = \frac{675 \text{ h} - 18,43 \text{ h}}{15} = 43,77 \text{ h}$$

$$TMRE = \frac{18,43 \text{ h}}{15} = 01,22 \text{ h}$$

$$\lambda = \frac{1}{FMED + TMRE} = \frac{1}{44,99} = 0,022$$

$$\mu = \frac{1}{TMRE} = \frac{1}{1,22} = 0,82$$

$$D(\infty) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{0,82}{0,022 + 0,82} = 0,973$$

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 60.

2.4.4.2 Approche mathématique de la disponibilité

2.4.4.2.1 Modélisation de la disponibilité instantanée

Dans l'hypothèse exponentielle, avec les deux taux λ et μ supposés constants et indépendants du temps on a :

Taux de défaillance ⁽¹⁾ :

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

Taux de réparation ⁽²⁾ :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

La disponibilité instantanée d'un système réparable est de la forme ⁽³⁾ :

$$D(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t}$$

2.4.4.2.2 Composition des disponibilités asymptotiques

Pour modéliser la disponibilité d'un système D_g à partir de la disponibilité D_{U_i} de ses unités consécutives, nous devons distinguer deux cas ⁽⁴⁾ :

- 1- Les éléments sont statistiquement indépendants, ce qui est rarement le cas dans un atelier automatisé.
- 2- Les éléments sont statistiquement dépendants, ce qui est fréquent, car une dépendance fonctionnelle crée une dépendance sur les probabilités. Par exemple, les dépanneurs

⁽¹⁾ http://www.lycee-odilon-redon.net/msma/maintenance/dr/mdm/dr_fiabilite.pdf

⁽²⁾ http://www.lycee-odilon-redon.net/msma/maintenance/dr/mdm/dr_fiabilite.pdf

⁽³⁾ Monchy, F., op.cit, p : 213.

⁽⁴⁾ Monchy, F., idem, p : 214.

n'étant pas en nombre illimité, les unités simultanément en panne ne peuvent être simultanément dépannées.

▪ **Cas de n unités indépendantes en série**

La disponibilité globale, résultante du système, est le produit :

$$D_g = \prod_{i=1}^n D_{U_i}$$

Exemple :

Soient deux unités de disponibilité 0,90 et 0,80 en série. Alors :

$$D_g = 0,90 \times 0,80 = 0,72$$

▪ **Cas de n unités indépendantes en parallèle**

Notons l'indisponibilité $I = 1 - D$. nous obtenons :

$$I_g = \prod_{i=1}^n I_{U_i}$$

Ou

$$1 - D_g = (1 - D_1) (1 - D_2)$$

Exemple :

Soient deux unités de disponibilité 0,90 et 0,80 en parallèle. Alors :

$$1 - D_g = (1 - 0,9) (1 - 0,8) = 0,02$$

$$D_g = 0,98$$

▪ **Cas de n unités en série dépendantes**

Les résultats s'abstiennent en traçant le graphe des états discrets et en résolvant le processus de Markov

$$I = 1 - D = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}$$

▪ Cas d'une redondance active de n unités identiques

En considérant l'intervention simultanée de plusieurs réparateurs

$$I = 1 - D = \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i}$$

2.4.5 Sécurité

La notion de sécurité est prise en considération, dans la vie courante, essentiellement vis-à-vis des risques des accidents ou de maladie : d'une part, parce qu'elle affecte l'homme lui-même, avec toute les conséquences physiologiques, psychologiques, etc. qui en résultent, d'autre part parce qu'un grand nombre de textes réglementaires imposent, dans ce domaine, toutes sortes d'obligations et d'interdictions.

Dans le domaine de la sécurité des machines, de nouvelles normes (CEI 61508 ⁽¹⁾ et CD CEI 62061 ⁽²⁾) sont apparues et visent à quantifier la probabilité de défaillance dangereuse, nommée PFD, des pannes matérielles d'un système, cette quantification est un des moyens qui permet de classer les systèmes par niveau de sécurité (SIL) ⁽³⁾.

D'après les normes européennes, « la sécurité d'une machine est son aptitude à accomplir sa fonction, à être transportée, installée, mise au point, entretenue, démontée et mise au rebut dans les conditions d'utilisation normale spécifiées dans sa notice d'instruction-sans causer de lésion ou d'atteinte à la santé » ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ CEI 61508 : Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques /électroniques/ électroniques programmables relatifs à la sûreté.

⁽²⁾ CD CEI 62061: Sécurité des machines- Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques /électroniques/ électroniques programmables relatifs à la sécurité, Version n° 44/380/CD, mai 2002, p : 90.

⁽³⁾ Lamy, P., Probabilité de défaillance dangereuse d'un système : explications et exemples de calcul, Institut National de Recherche et de Sécurité, Note Scientifique et Technique n° 225, 2002, p : 2.

⁽⁴⁾ Roux, M., T. Liu, Optimisez votre plate forme logistique : Calcul des dimensions, des temps, des coûts », Edition d'Organisation : Eyrolles, 3^{ème} édition, Deuxième tirage, 2008, p : 237.

Deux catégories de grandeurs – ou de facteurs – permettant de quantifier la sécurité d'un équipement ⁽¹⁾ :

1- Les valeurs intrinsèques

Définissant la mesure du risque encouru, indépendamment de la probabilité de présence et du comportement des personnes : ce sont la gravité des conséquences, et la probabilité d'occurrence d'un accident ou d'une atteinte à la santé.

La gravité est la grandeur caractérisant l'ampleur des conséquences d'un sinistre. Celle-ci étant difficile à mesurer, donc à chiffrer, on se contente de l'estimer par un indice en utilisant une échelle comportant plusieurs niveaux (de 1 à 4 ou 6 en général).

La probabilité d'occurrence est celle de l'apparition d'une « défaillance dangereuse ». Certaines défaillances peuvent en effet être à l'origine d'un accident, alors que la plupart des autres n'entraîneront que des pertes de performances (qualité, cadence) ou de disponibilité. Cette probabilité s'exprime, en fait, comme pour la fiabilité, par un taux de défaillance, donc par un nombre compris en pratique entre 10^{-2} à 10^{-3} /an et 10^{-5} à 10^{-7} /an.

L'association, pour un risque donné, d'un niveau de gravité et d'une valeur de probabilité conduit à définir la notion de criticité ; est critique une situation dans laquelle le niveau de gravité est élevé avec une probabilité non négligeable, ou dans laquelle le niveau de gravité est significatif avec une probabilité élevé.

2- Les valeurs extrinsèques

Liées à la sécurité ont été évoquées ci-dessus. Ce sont :

- la fréquence ou la durée d'exposition des personnes au phénomène dangereux,
- la possibilité d'éviter le phénomène dangereux, par le comportement des personnes ou par les dispositifs de protection.

⁽¹⁾ Sourisse, C., F. Klaye, op.cit, p : 65,66.

2.5 Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons passé en revue les 4 « facettes » les plus connues, et les plus important de la sûreté d'un dispositif qu'il s'agisse d'un équipement, d'une unité de production ou d'une installation.

L'ensemble de ces 4 valeurs d'usage, appelées parfois « FMDS », regroupe en effet la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité et la sécurité.

On a pu constater que les analyses FMDS conditionnent une efficacité élevée des équipements de production.

CHAPITRE 3

Principales méthodes de résolution de problèmes multi-objectifs

3.1 Introduction

De nombreux secteurs de l'industrie (télécommunications, environnement, transport, etc.) sont concernés par des problèmes complexes de grande dimension et multi-critères mettant en jeu des coûts financiers très importants et pour lesquels les décisions doivent être prises de façon optimale.

« Les problèmes d'optimisation rencontrés en pratique sont rarement mono-objectif. Il y a généralement plusieurs critères contradictoires à satisfaire simultanément » ⁽¹⁾.

L'optimisation multi-objectif s'intéresse à la résolution de ce type de problèmes. « Elle possède ses racines au 19^{ème} siècle dans les travaux en économie d'Edgeworth et Pareto (Pareto, 1896) » ⁽²⁾. Elle a été utilisée initialement en économie et dans les sciences de management, contrairement à l'optimisation mono-objectif, la solution d'un problème multi-objectif (PMO) n'est pas une solution unique, mais un ensemble de solutions, connu comme l'ensemble des solutions Pareto Optimales.

Au cours des trente dernières années, la plupart des travaux réalisés dans ce domaine ont porté sur la programmation multi objectif linéaire.

La plupart des approches heuristiques proposées dans la littérature sont basées sur la transformation d'un problème multi-objectif en un problème mono-objectif. « Parmi ces méthodes se trouvent les méthodes d'agrégation, les méthodes ϵ -contraintes, et les méthodes de programmation par but (goal programming) » ⁽³⁾.

« La transformation du problème multi-objectif en un problème mono-objectif nécessite des connaissances a priori sur le problème traité » ⁽⁴⁾.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux problèmes d'optimisation multi objectif pour lesquels relativement peu de travaux ont été réalisés.

⁽¹⁾ Evans, G.W., « An Overview of Techniques for Solving Multiobjective Mathematical Program », Management Science, Vol. 30, N° 11, 1984, p: 1269.

⁽²⁾ Pareto, V., Cours d'Economie Politique. Rouge, Lausanne, Switzerland, 1896.

⁽³⁾ Basseur, M., « Conception d'algorithmes coopératifs pour l'optimisation multiobjectifs : Application aux problèmes d'ordonnement de type flow-shop », Mémoire de thèse, 2005.

⁽⁴⁾ Locteau, H., R. Raveaux, « Approximation de courbes par Algorithme Génétique Multi-Objectif », Laboratoire LITIS, Université de Rouen, France, 2007, p : 2.

3.2 Définitions

3.2.1 Problème multi-objectifs

Un problème multi-objectifs (PMO) ou multicritère peut être défini comme un problème dont on recherche l'action qui satisfait un ensemble de contraintes et optimise un vecteur de fonctions objectifs.

Un PMO peut être défini de la manière suivante ⁽¹⁾ :

$$(PMO) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Min } F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)) \\ \text{s.c. } x \in C \end{array} \right.$$

- **Une action (ou un vecteur de décisions)** représentant les variables de décision sera notée :

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Avec x_i les variables du problème et n le nombre de variables ($n \geq 2$).

- **Les contraintes** seront notées :

$$g_i(x) \text{ avec } i = 1, \dots, m$$

Avec m le nombre de contraintes.

- **Le vecteur de fonctions objectifs** sera noté f :

$$F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$$

Avec : f_i les objectifs ou critères de décision

k le nombre d'objectifs.

- **Un problème d'optimisation** recherche l'action x^* telle que les contraintes $g_i(x^*)$ soient satisfaites pour $i = 1, \dots, m$ et qui optimise la fonction $f : f(x^*) = (f_1(x^*), f_2(x^*), \dots, f_k(x^*))$.

⁽¹⁾ Meunier, H., Algorithmes évolutionnaires parallèles pour l'optimisation multi-objectif de réseaux de télécommunications mobiles, Thèse de doctorat, discipline : informatique, université des sciences et technologies, Lille, 2002, p : 10.

L'union des domaines de définition de chaque variable et les contraintes définies forment un ensemble E que nous appelons **l'ensemble des actions réalisables**.

Avec F **l'ensemble des objectifs réalisables**.

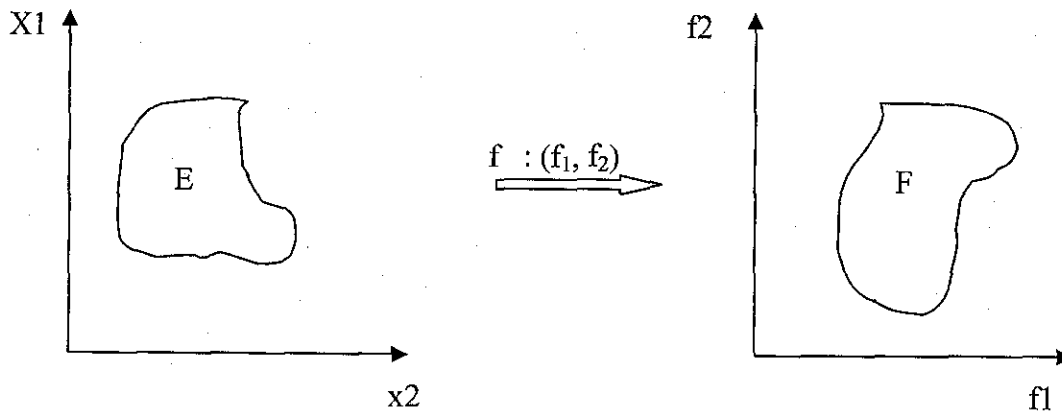


Figure 3.1 : Définition de E, F et f.

Source : Berro, A., « Optimisation multiobjectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique », thèse de doctorat, faculté des sciences sociales, université Toulouse 1, 2001, p: 28.

3.2.2 Le vecteur idéal

Le vecteur idéal est l'action composée de la solution optimale pour chaque objectif pris séparément.

$$x^0 = (x_1^0, \dots, x_n^0)$$

Avec x_i^0 : la valeur qui optimise la ième fonction objectif.

Le vecteur idéal est généralement une solution utopique, dans le sens où il n'appartient pas à l'espace objectif réalisable. Dans certains cas, le décideur définit un vecteur de référence exprimant le but qu'il veut atteindre pour chaque objectif. Ceci généralise la notion de vecteur idéal ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Meunier, H., op.cit, p : 12.

La condition nécessaire et suffisante pour que ce vecteur idéal soit atteint est que les fonctions objectifs soient indépendantes. Si cette condition est réalisée alors la résolution du problème multi-objectif est transformée en une résolution de plusieurs problèmes uni-objectifs.

3.2.3 Convexité

- Un ensemble X est convexe si pour tout $\lambda \in [0,1]$ et pour tout $x_1, x_2 \in X$,

$$\lambda x_1 + (1-\lambda) x_2 \in X \quad (1)$$

- L'ensemble F est dit convexe si tout segment joignant deux points quelconques de F est inclus dans F .

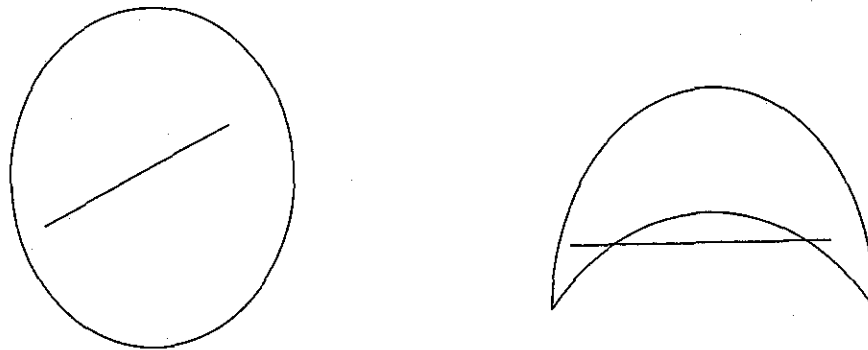


Figure 3.2 : Espace convexe (à gauche) et non convexe (à droite)

Source : Alain Berro, Optimisation multiobjectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique, thèse de doctorat, faculté des sciences sociales, université Toulouse I, 2001, p : 31.

⁽¹⁾ Othmani, I., « Optimisation Multicritère : Fondements et Concepts », Thèse de doctorat en recherche opérationnelle, Université Joseph Fourier, Grenoble, mai 1998, p : 69.

3.3 Classification des méthodes de résolution de problèmes multiobjectifs

La classification décrite ci-dessous a fait l'objet de présentations dans les journées PM2OD (Programmation Mathématique Multi-Objectif) de la ROADEF (Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision) ⁽¹⁾, et le séminaire d'optimisation du CNET ⁽²⁾, nous rencontrons donc deux classifications différentes des méthodes de résolution de problèmes multiobjectifs.

- Le premier classement adopte un point de vue utilisateur, les méthodes sont classées en fonction de l'usage que l'on désire en faire.
- Le deuxième classement est plus théorique, plus conceptuel, les méthodes sont triées en fonction de leur façon de traiter les fonctions objectifs.

3.3.1 Utilisateur

Cette classification est essentiellement utilisée en recherche opérationnelle. Les décisions étant considérées comme un compromis entre les objectifs et les choix spécifiques du décideur (Contraintes de coût, de temps, etc.), un décideur choisit une méthode en fonction de l'aide qu'elle va lui apporter. Avant de se lancer dans la résolution d'un problème multi objectif, il faut se poser la question du type de méthode d'optimisation à utiliser.

En effet, on peut répartir les méthodes de résolution de problèmes multiobjectifs en trois familles, en fonction du moment où intervient le décideur.

Ainsi nous pouvons trouver les familles suivantes :

3.3.1.1 Les méthodes d'optimisation a priori (décideur → recherche)

Les solutions les plus intuitives pour résoudre des problèmes multi-objectifs consistent souvent à combiner les différentes fonctions objectifs en une fonction d'utilité suivant les préférences du décideur.

L'information relative aux préférences du décideur est introduite avant que ne débute la recherche des solutions efficaces ⁽³⁾. Dans ce cas le décideur est supposé connaître a priori le

⁽¹⁾ Meunier, H. and E.-G. Talbi, , Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire multi-objectif, In Journées PM2O Programmation Mathématique Multi-objectif, Valenciennes, 1999.

⁽²⁾ Meunier, H. and Talbi, E.-G., « Paysages de problèmes d'optimisation multi-objectifs et performances des métaheuristiques », Technical report, Rapport CNET (France Telecom), Belfort, Paris, 2000.

⁽³⁾ Pongpeng, J. and J. Liston, "A Multicriteria Model's Survey: State of The Art and Some Necessary Capabilities of Future Models", Construction Management and Economics, Vol.21, No. 7, 2003, p: 667.

poids de chaque objectif afin de les mélanger dans une fonction unique. Cela revient à résoudre un problème simple objectif.

Cependant dans la plupart des cas, le décideur ne peut pas exprimer clairement sa fonction d'utilité, soit par manque d'expérience ou d'informations, soit parce que les différents objectifs sont non commensurables.

3.3.1.2 Les méthodes a posteriori (recherche → décideur)

Dans cette première méthode, on cherche à fournir au décideur un ensemble de bonnes solutions bien réparties.

Il peut ensuite, au regard de l'ensemble des solutions, sélectionner celle qui lui semble la plus appropriée. Ainsi, il n'est plus nécessaire de modéliser les préférences du décideur (ce qui peut s'avérer être très difficile), mais il faut en contrepartie fournir un ensemble de solutions bien réparties, ce qui peut également être difficile et requérir un temps de calcul important (mais ne nécessite pas la présence du décideur) ⁽¹⁾.

3.3.1.3 Les méthodes progressives ou interactives (décideur ↔ recherche)

Dans ces méthodes, les processus de décision et d'optimisation sont alternés. Ici, le décideur intervient dans le processus de recherche de solutions en répondant à différentes questions afin d'orienter la recherche ⁽²⁾.

Cette approche permet donc de bien prendre en compte les préférences du décideur, mais nécessite sa présence tout au long du processus de recherche. Ces méthodes exigent une connaissance approfondie, de la part du décideur, des outils utilisés.

3.3.2 Concepteur

Ce classement adopte un point de vue plus théorique articulé autour des notions d'agrégation et d'optimum de Pareto.

⁽¹⁾ Dhaenens-Flipo, C., Optimisation Combinatoire Multiobjectifs : Apport des Méthodes Coopératives et Contribution à l'Extraction de Connaissances, faculté des Sciences et Technologies, Université de Lille, 2005, p : 10.

⁽²⁾ Berro, A., Optimisation multiobjectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique, thèse de doctorat, faculté des sciences sociales, université Toulouse I, 2001, p: 31.

Les approches utilisées pour la résolution de PMO peuvent être classées en trois catégories ⁽¹⁾:

1. approches basées sur la transformation du problème en un problème uni-objectif :

Cette classe d'approches comprend par exemple les méthodes basées sur l'agrégation qui combinent les différentes fonctions coût f_i du problème en une seule fonction objectif F .

Ces approches nécessitent pour le décideur d'avoir une bonne connaissance de son problème.

2. approches non-Pareto :

Les approches non-Pareto ne transforment pas le PMO en un problème uni-objectif. Ils utilisent des opérateurs de recherche qui traitent séparément les différents objectifs.

3. approches Pareto :

Les approches Pareto utilisent directement la notion d'optimalité Pareto dans leur processus de recherche. Le processus de sélection des solutions générées est basé sur la notion de non-dominance.

3.3.2.1 Approches basées sur la transformation du problème multi-objectifs en un problème uni-objectif

Dans la résolution de PMO, plusieurs méthodes traditionnelles transforment le PMO en un problème uni-objectif.

Parmi ces méthodes on trouve les méthodes d'agrégation, les méthodes ϵ -contrainte, et les méthodes de programmation par but.

En général, ces méthodes nécessitent pour le décideur d'avoir une bonne connaissance de son problème. Elles peuvent alors être classées dans la famille des méthodes d'optimisation a priori, présentée précédemment.

3.3.2.1.1 Méthode d'agrégation

C'est l'une des premières méthodes utilisée pour la génération de solutions Pareto optimales.

Elle consiste à transformer le problème (PMO) en un problème (PMO $_{\lambda}$) qui revient à combiner les différentes fonctions coût f_i du problème en une seule fonction objectif F généralement de façon linéaire ⁽²⁾.

La transformation en un seul objectif est l'une des premières méthodes employées pour résoudre les problèmes multi-objectifs. C'est aussi l'une des plus largement employées ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Berro, A., idem, p: 32.

⁽²⁾ Hwang, C. and Masud, A., Multiple objective decision making - methods and applications. In Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, volume 164. Springer-Verlag, Berlin, 1979.

« Cette méthode consiste à additionner tous les objectifs en affectant à chacun d'eux un coefficient de poids. Ce coefficient représente l'importance relative que le décideur attribue à l'objectif. Cela modifie un problème multiobjectif en un problème simple objectif de la forme »⁽²⁾:

$$\text{Min } \sum_i^k w_i = 1 \quad f_i(x) \quad \text{avec } w_i \geq 0$$

w_i représente le poids affecté au critère i et $\sum_i^k w_i = 1$

L'avantage de ces approches est la production d'une seule solution et ne nécessitent donc pas d'interaction avec le décideur. Cependant, la solution trouvée peut ne pas être acceptable. L'espace de recherche est réduit de façon prématurée avant que des informations suffisantes soient disponibles. L'autre problème avec cette approche est la détermination des poids, sans avoir des connaissances sur le problème traité⁽³⁾.

3.3.2.1.2 La méthode ε -contrainte

Dans cette approche, le problème consiste à optimiser une seule fonction objectif f_i sujette à des contraintes sur les autres fonctions objectif⁽⁴⁾.

Cette méthode est basée sur la minimisation d'un objectif f_i en considérant que les autres objectifs f_j avec $j \neq i$ doivent être inférieurs à une valeur ε_j .

En général, l'objectif choisi est celui que le décideur souhaite optimiser en priorité⁽⁵⁾.

$$(\text{PMO}_k(\varepsilon)) \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Min } f_i(x) \\ x \in C \\ \text{s.c. } f_j(x) \leq \varepsilon_j, j=1, \dots, n, j \neq i \end{array} \right.$$

⁽¹⁾ Garrett, C. A., J. Huang, M. N. Goltz, and G. B. Lamont, "Parallel real valued genetic algorithms for bioremediation of TCE-Contaminated groundwater. In congress on Evolutionary Computation (CEC'99), Washington, D.C USA, 1999, p: 2185.

⁽²⁾ Kamel, Z., « Système Interactif d'Aide au Déplacement Multimodal », Thèse de doctorat, Université des sciences et technologie, Lille, 2006, p : 32.

⁽³⁾ Meunier, H., op.cit, p : 18.

⁽⁴⁾ Meunier, H., idem, p : 19.

⁽⁵⁾ Berro, A., op.cit, p: 38.

Où $\varepsilon_j = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_{k-1}, \varepsilon_{i+1}, \varepsilon_n)$.

Ainsi, un problème uni-objectif (objectif f_i) sujet à des contraintes sur les autres objectifs est résolu.

Le décideur peut ensuite réitérer ce processus sur un objectif différent jusqu'à ce qu'il trouve une solution satisfaisante. Cette méthode a été testée avec un algorithme génétique avec différentes valeurs de ε_j pour générer différentes valeurs Pareto-Optimales ⁽¹⁾.

Différentes valeurs de ε_j peuvent être données pour pouvoir générer différentes solutions Pareto optimales. La connaissance a priori des intervalles appropriés pour les valeurs ε_i est requise pour tous les objectifs. Pour pouvoir définir les valeurs adéquates pour ε_i , le vecteur idéal doit être calculé pour déterminer les bornes inférieures ⁽²⁾. On aura donc :

$$\varepsilon_i \geq f_i(x^*), \quad i=1,2,j-1,j+1,n$$

La figure 3.3 illustre la méthode ε -contrainte pour un problème de maximisation bi-objectifs, où $F(C)$ est l'espace objectif du problème original, restreint à $F'(C)$ par la transformation du problème, en maximisant la fonction f_1 et en rajoutant la contrainte $f_2(x) \geq \varepsilon_2$.

Un ordre lexicographique peut être établi entre les objectifs. Dans ce cas, l'ensemble PO^* est obtenu en minimisant les objectifs, commençant par le plus prioritaire et suivant l'ordre décroissant des priorités. Supposons que les indices des fonctions objectifs désignent aussi la priorité ; la fonction f_1 est donc la plus prioritaire.

Le premier problème résolu sera formulé de la manière suivante :

$$\text{Min } f_1(x), x \in C$$

Les contraintes ne sont pas prises en compte. Soit x_1^* la solution optimale trouvée. Le deuxième problème traité serait :

⁽¹⁾ Ritzel B. and al, "Using Genetic Algorithms to Solve a Multiple Objective Groundwater Pollution Containment Problem", Water Resources Research, Vol. 30, 1994, p: 1599.

⁽²⁾ Meunier, H., op.cit, p : 19.

$$\text{Min } f_1(x), x \in C, \text{ avec } f_1(x) = f_1(x_1^*)$$

Une contrainte d'égalité est associée aux fonctions déjà optimisées. Ce processus est itéré jusqu'au traitement de la fonction f_n . La solution finale du problème sera x_n^* .

La figure 3.4 illustre le déroulement de cette procédure dans le cas de problèmes bi-objectifs.

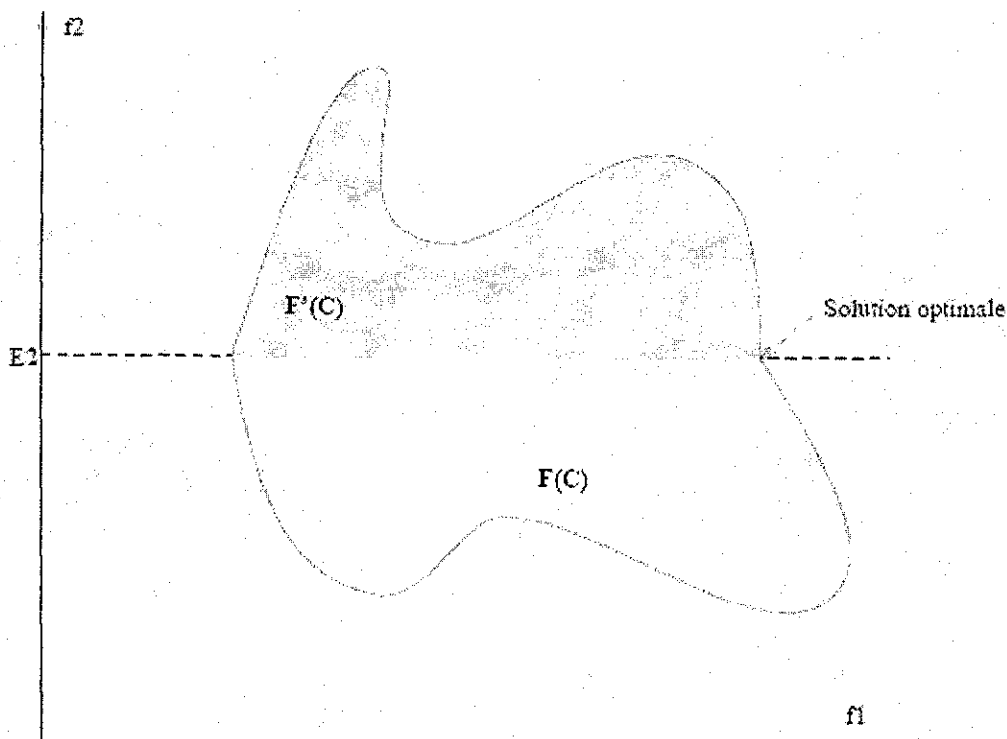


Figure 3.3: La méthode ε -contrainte

Source : HERVÉ MEUNIER, Algorithmes évolutionnaires parallèles pour l'optimisation multi-objectif de réseaux de télécommunications mobiles, Thèse de doctorat, discipline : informatique, université des sciences et technologies, Lille, 2002, p : 12.

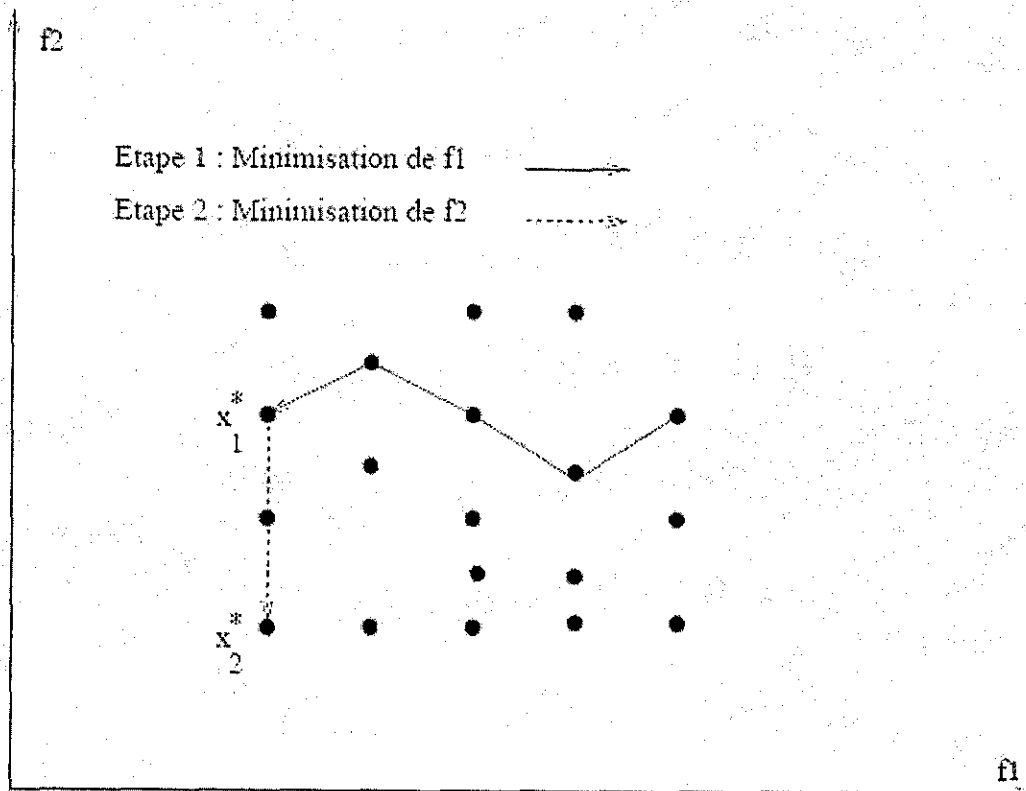


Figure 3.4: Ordre lexicographique dans le cas bi-critères.

Source : Meunier, H., Algorithmes évolutionnaires parallèles pour l'optimisation multi-objectif de réseaux de télécommunications mobiles, Thèse de doctorat, discipline : informatique, université des sciences et technologies, Lille, 2002, p : 12.

3.3.2.1.3 La programmation avec buts « Goal programming »

Cette méthode est également appelée Target Vector Optimisation ⁽¹⁾, le décideur fixe un but T_i à atteindre pour chaque objectif f_i ⁽²⁾. Ces valeurs sont ensuite ajoutées au problème comme des contraintes supplémentaires. La nouvelle fonction objectif est modifiée de façon à minimiser la somme des écarts entre les résultats et les buts à atteindre :

⁽¹⁾ Carlos, A., C. Coello, An Empirical Study of Evolutionary Techniques for Multiobjective Optimization in Engineering Design, PHD these, Department of Computer Science, Tulane University, New Orleans, 1996.

⁽²⁾ Charnes, A. and W. W. Cooper, Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, vol. 1, John Wiley, New- York, 1961.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n |f_i(x) - T_i|$$

T_i représente la valeur à atteindre pour le i éme objectif.

3.3.2.2 Les méthodes non agrégées

En général, les méthodes dites non agrées et non Pareto possèdent un processus de recherche qui traite séparément les objectifs. Ces méthodes transforment le problème d'origine.

Elles effectuent leur recherche en traitant indépendamment chacun des objectifs. L'exemple le plus classique est l'algorithme VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm). Nous pouvons classer dans cette catégorie les méthodes lexicographiques qui donnent un ordre de priorité sur les objectifs à traiter ⁽¹⁾.

3.3.2.3 Les méthodes Pareto

Les approches Pareto utilisent directement la notion de dominance dans la sélection des solutions générées, contrairement aux autres approches qui utilisent une fonction d'utilité ou traitent séparément les différents objectifs.

Cette idée a été introduite initialement dans les AGs par Goldberg, en utilisant la dominance au sens de Pareto pour résoudre les problèmes proposés par Schaffer ⁽²⁾. « Goldberg suggère d'utiliser le concept d'optimalité de Pareto pour respecter l'intégralité de chaque critère car il refuse de comparer a priori les valeurs de différents critères. L'utilisation d'une sélection basée sur la notion de dominance de Pareto va faire converger la population vers un ensemble de solutions efficaces. Ce concept ne permet pas de choisir une alternative plutôt qu'une autre mais il apporte une aide précieuse au décideur » ⁽³⁾.

Dans les paragraphes suivants, nous définissons tout d'abord Optimum de Pareto ensuite la notion de dominance au sens de Pareto.

3.3.2.3.1 Optimum de Pareto

⁽¹⁾ Berro, A., op.cit, p: 38.

⁽²⁾ Schaffer, J., "Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms", In Grefenstette, J., editor, ICGA Int. Conf. on Genetic Algorithms, Lawrence Erlbaum, 1985, p: 95.

⁽³⁾ Goldberg, D. E., "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning", Addison-Wesley, 1989.

Au XIX^{ème} siècle, Vilfredo Pareto, un mathématicien italien, formule le concept suivant [Pareto 1896] : dans un problème multiobjectif, il existe un équilibre tel que l'on ne peut pas améliorer un critère sans détériorer au moins un des autres critères ⁽¹⁾.

Cet équilibre a été appelé optimum de Pareto. Un point x est dit **Pareto-optimal** s'il n'est dominé par aucun autre point appartenant à E . Ces points sont également appelés solutions non inférieures ou non dominées ⁽²⁾.

3.3.2.3.2 La notion de dominance

Depuis 1993, un grand nombre de méthodes multi-objectifs utilisent la dominance de Pareto pour rechercher les solutions d'un problème. Fonseca et Fleming ont proposé la méthode MOGA (Multiple Objective Genetic Algorithm) dans laquelle chaque individu de la population est rangé en fonction du nombre d'individus qui le dominent ⁽³⁾. Ensuite ils utilisent une fonction de notation permettant de prendre en compte le rang de l'individu et le nombre d'individus ayant le même rang.

Un point $x \in E$ domine $x' \in E$ si

$\forall i, f_i(x) \leq f_i(x')$ avec au moins un i tel que $f_i(x) < f_i(x')$. ⁽⁴⁾

3.4 La programmation avec buts linéaire

Une approche particulière pour l'optimisation multiobjectif est le "goal programming" (programmation par buts) ⁽⁵⁾, s'appliquant en général aux situations décisionnelles où plusieurs objectifs doivent être pris en compte dans la recherche de la solution la plus satisfaisante parmi d'autres possibles ⁽⁶⁾. Dans ce type d'approche, le décideur indique une valeur cible (but) et l'objectif est de minimiser l'écart avec cette cible. Souvent la

⁽¹⁾ Pareto, V., Cours d'économie politique, Lausanne, Switzerland, 1986.

⁽²⁾ Berro, A., op. cit, p: 46.

⁽³⁾ Fonseca C. M., P. J. Fleming, " Genetic Algorithm Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization", In Proceeding of the fifth international conference of genetic algorithms, San Mateo, California, 1993, p: 418.

⁽⁴⁾ Berro, A., ibid, p: 46.

⁽⁵⁾ Sandgren, E., Advances in design optimization. Chapman and Hall, Chapter Multicriteria design optimization by goal programming, 1994.

⁽⁶⁾ John R. Canada, William G. Sullivan, John A. White, "Capital Investment Analysis For Engineering And Management", Prentice Hall, Second edition, United State Of America, 1996, p: 417.

programmation par buts est vue comme une discipline en elle-même, différente de l'optimisation multiobjectif⁽¹⁾

Elle a été découverte par les chercheurs connus Charnes et Cooper, dans sa forme linéaire⁽²⁾:

Les objectifs à atteindre sont des équations linéaires, et ceci se réalisa en 1955, et appliquée au début dans le domaine industriel, puis s'est étendue à d'autres disciplines comme :

- Marketing
- La comptabilité
- Gestion financière
- La gestion d'un parc roulant⁽³⁾
- Gestion environnementale et urbaine
- Choix de localisation
- Applications militaires⁽⁴⁾

3.4.1 Le goal programming standard

L'essence du goal programming réside dans le concept de satisfaction d'objectifs : on se fixe un but b_j à atteindre pour chacun des critères, le but du GP est de minimiser les déviations entre la réalisation des buts et leurs niveaux d'aspiration⁽⁵⁾.

La représentation algébrique du GP dans sa forme standard est la suivante⁽⁶⁾ :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_{i=1}^p (\delta_i^+ + \delta_i^-)$$

Sujet aux contraintes :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - \delta_i^+ + \delta_i^- = g_i \quad \text{Pour } (i=1, 2, \dots, p)$$

$$C_x \leq c \quad \text{Contraintes de système}$$

$$X_j \geq 0 \quad \text{Pour } (j=1, 2, \dots, n)$$

$$\delta_i^+ \text{ et } \delta_i^- \geq 0 \quad \text{Pour } (i=1, 2, \dots, p)$$

⁽¹⁾ Cf. la conférence MOPGP : Multi-Objective Programming AND Goal Programming.

⁽²⁾ Charnes, A. and W.W. Cooper, op.cit, 1961.

⁽³⁾ Aouni, B. and O. Kettani, «Goal Programming Model: A Glorious History and a Promising Future», European Journal of Operational Research, Vol. 133, No. 2, 2001, p: 2.

⁽⁴⁾ Evans, G.W., op.cit, p: 1278.

⁽⁵⁾ Charnes, A. and W.W. Cooper, op.cit, 1961.

⁽⁶⁾ Aouni, B., « le modèle de la programmation mathématique avec buts dans un environnement imprécis : sa formulation, sa résolution et une application », thèse de doctorat (PHD), Université Laval, Février 1998, p : 2.

avec δ_j^+ : l'écart positif de x par rapport au but (sur-réalisation du but)

δ_j^- : l'écart négatif de x par rapport au but (sous réalisation du but)

g_i : le degré de réalisation de l'objectif i ;

$f_i(x)$: représentent les objectifs avec $f_i(x) = \sum a_{ij} x_j$ pour $i = 1, 2, \dots, p$

a_{ij} : les paramètres technologiques

C : la matrice des coefficients reliés aux contraintes du système

C : le vecteur des ressources disponibles.

Notes :

- Si le i ème but est supérieur ou égale au niveau de réalisation ($f_i(x) \geq g_i$), il est alors nécessaire pour la variable négative δ_i^- de prendre la plus petite valeur possible (dans ce cas là, il faut minimiser δ_i^-)
- Si le i ème but est inférieur ou égale au niveau de réalisation ($f_i(x) \leq g_i$), il est alors nécessaire pour la variable positive δ_i^+ de prendre la plus petite valeur possible (dans ce cas là, il faut minimiser δ_i^+)
- Si le i ème but est satisfait par rapport au niveau de réalisation ($f_i(x) = g_i$), il est alors nécessaire pour la variable positive δ_i^+ et négative de prendre les plus petites valeurs possibles (dans ce cas là, il faut minimiser la somme de δ_i^- et δ_i^+).⁽¹⁾

Le modèle du GP ne se limite pas à sa version standard. D'autres formes ont été développées et correspondent, en fait, aux différentes variantes du modèle du GP, chaque variante correspond à une manière particulière et différente d'introduire l'information relative aux préférences du décideur, Les principales variantes du modèle du GP qui s'avèrent être les plus

⁽¹⁾ Kalvelagen, E., "Solving Multi-Objective Models With Gams", Gams Development Corp., Washington DC, 2002, p: 3.

utilisées sont le GP pondéré et le GP lexicographique ⁽¹⁾. Il existe, cependant, d'autres variantes qui semblent être toutes aussi pertinentes et qui devraient être vraisemblablement plus utilisées.

Dans la section suivante, nous nous intéressons, sans être exhaustif, à différentes variantes du modèle du GP généralement utilisées dans des situations décisionnelles caractérisées par un environnement certain.

3.4.2 Les principales variantes du goal programming dans un environnement certain

3.4.2.1 Le goal programming pondéré

Le goal programming, dans sa version standard ne prend pas suffisamment en considération les préférences du décideur, par contre le goal programming pondéré GPP essaie d'incorporer des poids relatifs aux écarts positifs et négatifs selon l'importance attribuée par le décideur pour chaque but ⁽²⁾, soient w_i^+ , w_i^- le modèle du GPP s'écrit :

$$\text{Minimiser } Z = \sum_{i=1}^p (w_i^+ \delta_i^+ + w_i^- \delta_i^-)$$

Sujet à :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - \delta_i^+ + \delta_i^- = g_i \quad \text{Pour } (i=1, 2, \dots, p)$$

$$C_x \leq c$$

$$x_j \geq 0, \delta_i^+ \geq 0, \delta_i^- \geq 0$$

w_i^- et w_i^+ représentent les poids (coefficients) des déviations négatives et positives.

Le modèle du goal programming standard est un cas particulier du modèle goal programming pondéré, où le décideur accorde la même importance relative aux objectifs : $w_i^- = w_i^+ = 1$ ⁽³⁾.

⁽¹⁾ Tamiz, M., D.F. Jones and E. El-Darzi, «A Review of Goal Programming and its Applications», Annals of Operations Research, Vol. 58, No. 1-4, 1995, p: 48.

⁽²⁾ Romero, C., Handbook of Critical Issues in Goal Programming, Pergamon Press, Oxford, 1991.

⁽³⁾ Aouni, B. and J.M. Martel, Real Estate Estimation Through An Imprecise Goal Programming Model. ACIDCA Proceeding, 2000, p: 4.

3.4.2.2 Le goal programming lexicographique

Le modèle du Goal Programming Lexicographique connu aussi sous le nom Preemptive Goal Programming ⁽¹⁾, a été proposé par chacun de Romero ⁽²⁾ et Tamis et Jones ⁽³⁾, et mis en application dans divers domaines comme : gestion des ressources humaine, production, investissement.

Dans le modèle du Goal Programming Lexicographique, un ordre lexicographique comme l'indique son nom, les objectifs sont rangés dans différentes classes qui correspondent aux différents niveaux de priorité qu'aura fixé le décideur, Il se peut qu'un niveau de priorité donné soit composé d'un seul objectif tandis qu'un autre sera composé de plusieurs objectifs ⁽⁴⁾.

Formulation mathématique du modèle GPL:

Il s'agit de minimiser la somme des écarts par rapport aux buts d'une manière lexicographique. Pour ce faire on procède comme suit ⁽⁵⁾ :

- Etape 1 : classer les critères par ordre d'importance
- Etape 2 : sélectionner les actions qui minimisent l'écart par rapport au premier critère seulement (appelons ce sous-ensemble d'action A_1)
- Etape 3 : parmi les actions de A_1 , sélectionnez celles qui minimisent la somme des écarts (ou bien la somme pondérée des écarts) par rapport aux 2 premiers critères (les 2 critères ayant les plus grandes importances) le sous-ensemble obtenu est A_2
- Procéder de la même manière pour obtenir un sous-ensemble A_3 à partir des actions de A_2
- Continuer la procédure de proche en proche et arrêter lorsque la condition d'arrêt (obtention du nombre d'actions désirées ou bien arrêt au $k^{\text{ème}}$ critère ou bien ...) est satisfaisante.

La représentation algébrique du GPL s'écrit comme suit :

⁽¹⁾ Multiple Criteria and Goal Programming, Chapter 14, p: 419.

⁽²⁾ Romero, C., op.cit, p: 30.

⁽³⁾ Tamiz, M., D.F. Jones and C. Romero, «Goal Programming for Decision-Making: An Overview of the Current State-of-the-Art», European Journal of Operational Research, Vol. 111, No. 3, 1998 (569-581).

⁽⁴⁾ Kazi Tani Amal née, La Modélisation des préférences du décideur dans le modèle du Goal Programming, Thèse de Doctorat, 2007, P : 60.

⁽⁵⁾ Ijiri, Y., Management Goals and Accounting for Control, Rand- McNally, Chicago, 1965.

$$\text{Lex } \min (h_1(\delta^+, \delta^-); h_2(\delta^+, \delta^-); \dots; h_l(\delta^+, \delta^-))$$

$$\text{Sujet à : } g_j(x) - \delta_j^+ + \delta_j^- = b_j, \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$h_l(\delta^+, \delta^-) = w_{l1}^- \cdot \delta_1^- + \dots + w_{ln}^- \cdot \delta_n^- + w_{l1}^+ \cdot \delta_1^+ + \dots + w_{ln}^+ \cdot \delta_n^+, \quad l=1, 2, \dots, L$$

3.4.2.3 Le modèle du goal programming MinMax

Le Goal Programming MinMax (GPM) fait partie des variantes les plus anciennes du GP ⁽¹⁾. La fonction objectif de cette variante consiste en la minimisation du maximum de la somme des déviations relatives aux différents objectifs ⁽²⁾. En d'autres termes, il s'agit de minimiser la déviation la plus importante et donc la moins appréciée par le décideur ⁽³⁾.

La formulation mathématique du GPM se présente généralement comme suit ⁽⁴⁾:

Minimiser max

Sujet aux contraintes :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + d_i^- - d_i^+ = b_i, \quad i=1, \dots, m$$

Max $\geq d_i^-$ pour i = déviation négative à minimiser

Max $\geq d_i^+$ pour i = déviation positive à minimiser

$$x_j, d_i^+, d_i^- \geq 0$$

⁽¹⁾ Romero, C., «A General Structure of Achievement Function for a Goal Programming Model», *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, No. 3, 2004, p: 680.

⁽²⁾ Romero, C., *idem*, p: 681.

⁽³⁾ Ignizio, J. P., «Generalized Goal Programming», *Computers & Operations Research*, Vol. 10, No. 4, 1983 (277-289).

⁽⁴⁾ Lee, S. M. and D. L. Olson, "Goal Programming Formulation for a Comparative Analysis of Scalar Norms and Ordinal vs. Ratio Data", *INFOR*, Vol. 42, No. 3, 2004, p: 165.

3.4.3 Les principales variantes du goal programming dans un environnement incertain

Dans la version standard du modèle du GP, les valeurs des buts sont considérées comme étant déterministes et précises, parfois si ce n'est souvent, le décideur face aux certains contextes décisionnels ne disposant que d'une information partielle voire imprécise, pouvant pas déterminer avec exactitude les valeurs des buts associées aux différents objectifs, donc se contentant de les représenter comme des valeurs flous ou des valeurs se situant dans des intervalles.

3.4.3.1 Le modèle du goal programming flou (GPF)

Le modèle du Goal Programming Flou (GPF) a été développé par pour modéliser l'imprécision relative aux situations décisionnelles, situations où le décideur ne peut attribuer que des valeurs vagues et approximatives aux buts.

Dans la théorie des ensembles flous Zadeh et Bellman modélisent l'imprécision relative aux buts en introduisant le concept des fonctions d'appartenance ⁽¹⁾, ces fonctions sont définies en fixant deux degrés d'acceptabilité supérieur et inférieur. Généralement, ces fonctions sont considérées comme étant linéaires.

Les premières formulations de PMOM en environnement flou furent par Zimmerman ⁽²⁾, en utilisant et reformulant le concept des fonctions d'appartenance initialement proposé par Zadeh, par la suite, plusieurs variantes ont été développées pour apporter une aide à la résolution des problèmes décisionnels où certains paramètres sont imprécis ou flous. Narasimhan (1980) et Hannan (1981) ont été les premières à tenter une formulation du modèle du GPF en s'inspirant du concept d'appartenance introduit par Zimmerman (1978).

« Selon Chanas et Kuchta (2002), les fonctions d'appartenance peuvent avoir deux interprétations principales : l'une renvoie à l'imprécision relative aux paramètres d'un contexte décisionnel, l'autre interprétation renvoie au degré de satisfaction du décideur à

⁽¹⁾ Manoj Kumar.P.Vrat & R. Shanvar, « A Fuzzy Goal Programming approach for vendor selection problem in a supply chain », Computer and Industrial Engineering, Vol: 46, New Delhi, 2004, P: 73.

⁽²⁾ Zimmerman, H.-J. , "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, Fuzzy Sets and Systems 1, 1978, p: 48.

l'égard des valeurs des buts atteintes. En outre, les fonctions d'appartenance peuvent prendre des valeurs allant de 0 à 1. Ainsi, si l'objectif est totalement atteint, la valeur que prendra la fonction correspondante sera de 1, dans les autres cas, cette valeur variera entre 0 et 1 » ⁽¹⁾.

Formulation mathématique proposé par Hannan (1981) qui se présente comme suit :

$$\text{Max } Z = \lambda$$

Sujet aux contraintes :

$$f_i(x) / \Delta_i + \delta_i^- + \delta_i^+ = g_i / \Delta_i \quad (\text{pour } i = 1, 2, \dots, p);$$

$$\lambda + \delta_i^- + \delta_i^+ \leq 1 \quad (\text{pour } i = 1, 2, \dots, p);$$

$$x \in X;$$

$$\lambda, \delta_i^-, \text{ et } \delta_i^+ \geq 0 \quad (\text{pour } i = 1, 2, \dots, p).$$

Où :

Δ_i : représente une constante de déviation par rapport aux buts g_i fixée par le décideur.

Cette formulation implique une représentation linéaire équivalente de la fonction d'appartenance $\mu_i(x)$ suivante :

$$\mu_i(x) = \begin{cases} 0, & \text{Si } f_i(x) \leq g_i - \Delta_i \\ (f_i(x) - (g_i - \Delta_i)) / \Delta_i, & \text{Si } g_i - \Delta_i \leq f_i(x) \leq g_i \\ g_i + \Delta_i - f_i(x) / \Delta_i, & \text{Si } g_i \leq f_i(x) \leq g_i + \Delta_i \\ 0, & \text{Si } f_i(x) \geq g_i + \Delta_i \end{cases}$$

La présentation graphique de cette fonction prend la forme suivante:

⁽¹⁾ Kazi Tani Amal, op.cit, P: 86.

Fonction d'appartenance

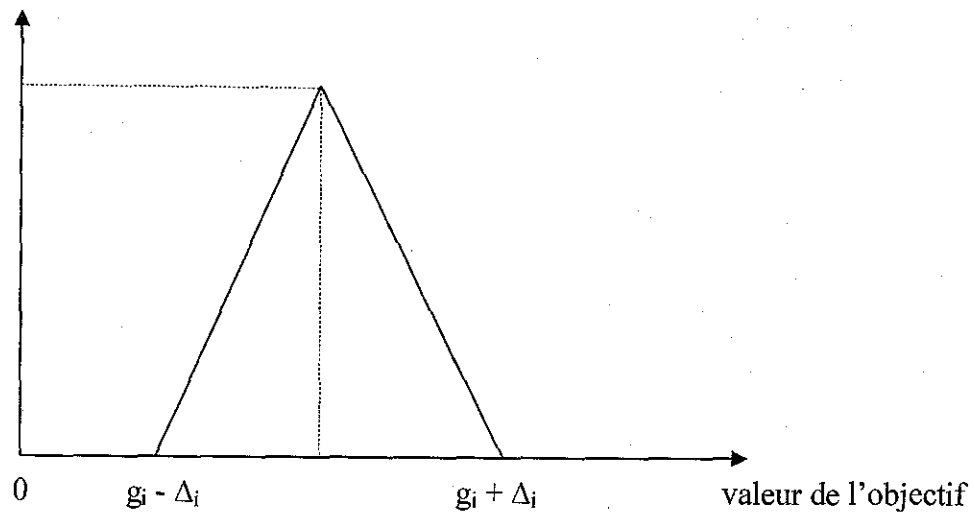


Figure 3.5 : Forme triangulaire de la fonction d'appartenance

Source: Hamman, E.L., « On Fuzzy Goal Programming », *Decision Sciences* 12, (1981, a), p: 540.

3.4.3.2 Le modèle du goal programming avec intervalle (GPI)

La première formulation du GPI a été proposée par Charnes et Collomb (1972) et a été développée par Charnes et al. (1976) et Charnes et Cooper (1977), où les buts sont implicitement exprimés à l'aide d'intervalles. Les déviations par rapport à ces buts sont exprimées à l'aide de fonctions de pénalité ayant des pentes différentes ⁽¹⁾.

Les fonctions de pénalité sont des fonctions composées de plusieurs segments linéaires correspondant en fait au nombre d'intervalles utilisés dans le modèle.

La figure 3.6 représente une fonction de pénalité à cinq côtés.

⁽¹⁾ Martel, J-M. and B. Aouni, «Diverse Imprecise Goal Programming Model Formulations», *Journal of Global Optimization*, Vol. 12, No. 2, 1998, p: 131.

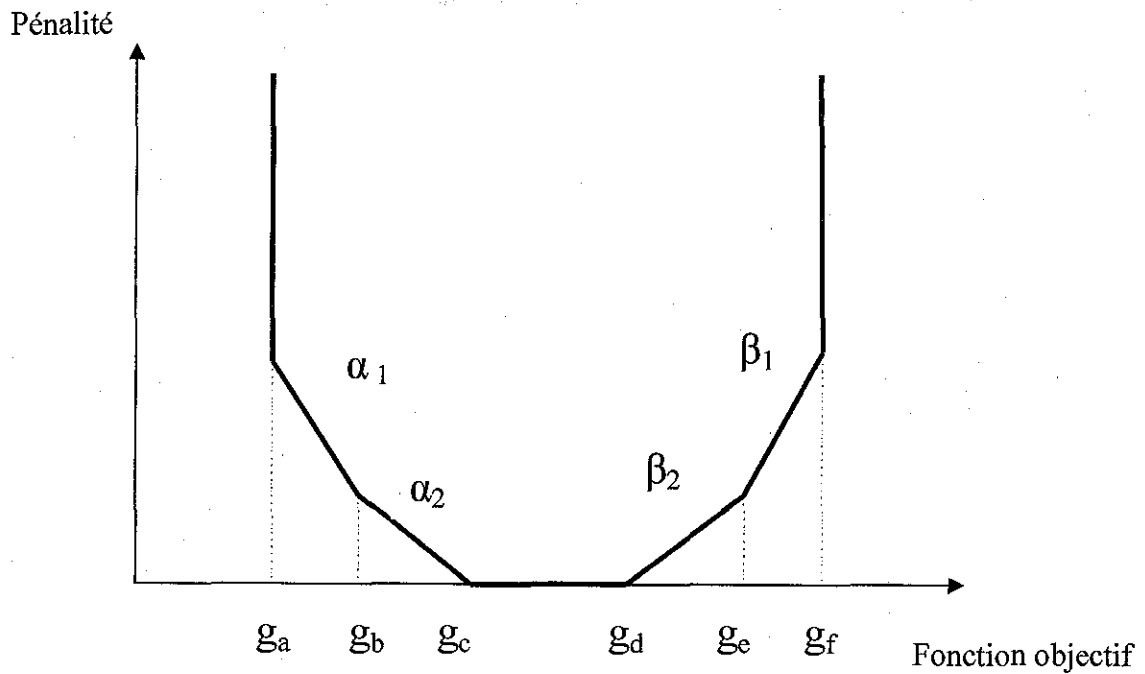


Figure 3.6 : Fonction de pénalité à 5 segments de forme U

Source: Martel, J-M. and B. Aouni, «Diverse Imprecise Goal Programming Model Formulations», *Journal of Global Optimization*, Vol. 12, No. 2, 1998, p: 131.

La figure ci-dessus représente une fonction de pénalité à cinq côtés. Ces derniers représentent plusieurs intervalles: un intervalle «cible» représenté par $[g_c, g_d]$, et d'autres intervalles où les déviations sont pénalisées. Tant que la valeur que prend le but se situe dans l'intervalle cible, le décideur est satisfait et par conséquent aucune pénalité n'est appliquée. Au-delà de cet intervalle, les déviations négatives (δ^-_i) et positives (δ^+_i) sont pénalisées selon différentes pénalités marginales correspondantes aux différents segments. Les pénalités marginales appliquées aux déviations (δ^-_i) sont annotées par α_i , tandis que celles appliquées aux déviations (δ^+_i) sont notées par β_k . De plus, lorsque les déviations dépassent une certaine valeur ($g_c - g_a$) pour les δ^-_i et ($g_f - g_d$) pour les δ^+_i une pénalité infinie est appliquée.

Plusieurs autres formulations du GPI ont été proposées dans la littérature, on se réfère à celui d'Inuiguchi et Kume, en 1991, qui présentent une formulation du GP où les paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Aouni, B., «Le modèle de la Programmation Mathématique avec buts dans un environnement imprécis : sa formulation, sa résolution et une application », Thèse de doctorat (PHD), Université Laval, février 1998, p: 61.

Ces dernières reflètent, l'imprécision associée à ces paramètres. En d'autres termes, le décideur ne possède pas assez d'information pour établir avec précision les valeurs associées aux paramètres du problème. Les buts g_i sont donc exprimés à l'aide d'intervalles ayant une borne inférieure g_i^l et borne supérieure g_i^u . Cette formulation a conduit à quatre programmes mathématiques identifiés comme suit : Pos-Low, Pos-Upp, Nes-Low, Nes-Upp⁽¹⁾.

L'arithmétique d'intervalle est présentée dans la section suivante afin de calculer les valeurs prévues et les déviations par rapport aux buts sous forme d'intervalles.

- 1) « Ce calcul a conduit à deux types de déviations (écarts) entre deux intervalles: intervalle de déviation possible et intervalle de déviation nécessaire, chacun de ces deux intervalles, une fonction de pénalité lui est associée.
- 2) Basé sur une procédure de décision optimiste, à savoir réduire au minimum la borne inférieure de l'intervalle de pénalité, et une procédure de décision pessimiste, à savoir réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité, quatre formulations sont dérivées à partir des combinaisons »⁽²⁾.

3.4.3.2.1 Introduction à l'arithmétique par intervalle

Dans ce qui suit, les lettres en majuscules, c.à.d, A, B, A_i , désignent des intervalles fermés, et les lettres minuscules, c.à.d, a, b, a_i , désignent des nombres réels.

Posons : $A = [a^l, a^u]$, et $B = [b^l, b^u]$ ($a^l \leq a^u$, $b^l \leq b^u$). A savoir, a^l et b^l sont les bornes inférieures de A et B, a^u et b^u sont les bornes supérieures de A et B, respectivement.

La définition d'une opération (*) est la suivante, si A et B sont deux intervalles⁽³⁾:

$$\begin{aligned}
 A(*) B &= \{z / z = x * y, x \in A, y \in B\} \\
 &= \{z / z = x * y, a^l \leq x \leq a^u, b^l \leq y \leq b^u\}
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

$A(*) B$ estime la région possible des valeurs $x * y$ limité par $x \in A$ et $y \in B$

A partir de (1.1), une addition possible et soustraction possible sont formulées :

⁽¹⁾Aouni, B., op.cit, p :61.

⁽²⁾Inuiguichi, M. and Y. Kume, «Goal Programming Problems with Interval Coefficients and Target Intervals», European Journal of Operational Research, Vol. 52, No. 3, 1991, p: 346.

⁽³⁾Inuiguichi, M. and Y. Kume, idem, p: 347.

$$\blacksquare A(+) B = [a^l + b^l, a^u + b^u], \quad (1.2)$$

$$\blacksquare A(-) B = [a^l - b^u, a^u - b^l], \quad (1.3)$$

Les équations suivantes s'appliquant aux $A(+) B$ et $A(-) B$ sont :

$$\blacksquare m [A(+) B] = m [A] + m [B] \quad (1.4)$$

$$\blacksquare m [A(-) B] = m [A] - m [B] \quad (1.5)$$

$$\blacksquare w [A(+) B] = w [A(-) B] = w [A] + w [B] \quad (1.6)$$

Où $m [A]$ et $w [A]$ sont la médiane et la largeur de A , c.à.d:

$$\blacksquare m [A] = \frac{1}{2} (a^l + a^u), \quad (1.7)$$

$$\blacksquare w [A] = a^u - a^l \quad (1.8)$$

Le maximum possible de A et B

$$\blacksquare A(v) B = [a^l \vee b^l, a^u \vee b^u] \quad (1.9)$$

La multiplication scalaire de A et de la valeur absolue de A sont définies comme suit :

$$\blacksquare \lambda A = \begin{cases} [\lambda a^l, \lambda a^u], & \lambda \geq 0 \\ [\lambda a^u, \lambda a^l], & \lambda < 0 \end{cases}, \quad (1.10)$$

$$|A| = \begin{cases} [a^l, a^u], & a^l \geq 0 \\ [0, (-a^l) \vee a^u], & a^l < 0 < a^u \\ [-a^u, -a^l], & a^u \leq 0 \end{cases}, \quad (1.11)$$

avec : $a \vee b = \max (a,b)$ (1.12)

- Lorsque $x_j \geq 0$ ($j=1,2,\dots,n$), de (1.2) et de (1.10) on a :

$$\left(\begin{matrix} n \\ + \end{matrix} \right) A_j x_j = \left[\sum_{j=1}^n a_j^L x_j, \sum_{j=1}^n a_j^U x_j \right] \quad (1.13)$$

Avec $A_j = [a_j^L, a_j^U]$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

- On considère l'équation d'intervalle avec une addition possible

$$X (+) B = A, \quad (1.13)$$

Avec : $A = [a^L, a^U]$, $B = [b^L, b^U]$

Le problème est de trouver un intervalle $X = [x^L, x^U]$ tel que la somme possible de X et B : $X (+) B$, est égal à A .

Evidemment,

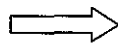
$$X \neq A (-) B = [a^L - b^U, a^U - b^L]$$

Parce que $([a^L - b^U, a^U - b^L] (+) [b^L, b^U]) = [a^L - b^U + b^L, a^U - b^L + b^U] \neq [a^L, a^U]$.

La condition nécessaire de l'existence de la solution de (1.13) est $w [B] \leq w [A]$, car $w [X (+) B] = w [X] + w [B] = w [A]$ et $w [X] \geq 0$. Lorsque la condition $w [B] \leq w [A]$ est remplie, la résolution de (1.13) est:

$$x^L + b^L = a^L, \quad (1.14)$$

$$x^U + b^U = a^U, \quad (1.15)$$



$$X = [a^L - b^L, a^U - b^U]$$

- Une autre soustraction existe, notée par $A) - (B$ est définie comme suit :

$$A) - (B = [a^L - b^L, a^U - b^U]. \quad (1.16)$$

Quand la condition $w [B] \leq w [A]$ est remplie

$$\text{On a aussi : } A) + (B = [a^L + b^U, a^U + b^L]. \quad (1.17)$$

Les équations suivantes s'appliquant aux $A) + (B$ sont :

$$\blacksquare \quad m [A) + (B] = m [A] + m [B] \quad (1.18)$$

$$\blacksquare m [A] - (B] = m [A] - m [B] \quad (1.19)$$

$$\blacksquare w [A] + (B] = w [A] - (B] = w [A] - w [B] \quad (1.20)$$

La figure 3.7 montre la liaison ainsi la différence entre une soustraction possible $A (-) B$ et une soustraction nécessaire $A)-(B$

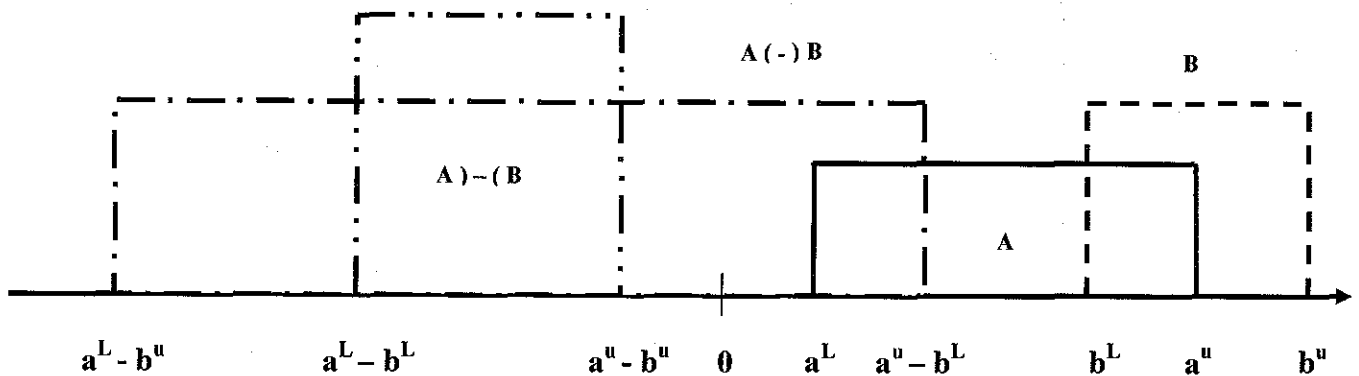


Figure 3.7: Représentation des soustractions possible et nécessaire

Source : Inuiguchi, M. and Y. Kume, «Goal Programming Problems with Interval Coefficients and Target Intervals», European Journal of Operational Research, Vol. 52, No. 3, 1991, p: 348.

3.4.3.2.2 Formulation du GPI (paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles).

Dans le cadre de la programmation par but (GP), Inuiguchi et Kume présentent 4 formulations du GP où les paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles, introduisant la soustraction nécessaire et la soustraction possible entre intervalles, soit réduire au minimum la borne inférieure (procédure de décision optimiste) ou réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité (procédure de codécision pessimistes) (1).

* Considérons, sans perte de généralité, le programme suivant du GP où les paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles :

⁽¹⁾Inuiguchi, M. and Y. Kume, op.cit, p: 346.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n c_{kj} \cdot x_j &= t_k, k = 1, \dots, p. \\ \text{s.t. : } c_{kj} &\in C_{kj} (k = 1, \dots, p; j = 1, \dots, n). \\ t_k &\in T_k (k = 1, \dots, p), \\ Ax &\leq b \\ x &\geq 0, \end{aligned} \right\} (1.21)$$

C_{kj} est un intervalle fermé $[C_{kj}^L, C_{kj}^U]$ et T_k est un intervalle fermé $[T_k^L, T_k^U]$.

Le problème (1.21) peut admettre 4 formulations possibles, en utilisant le concept de soustraction possible et nécessaire, respectivement

- 1) Pour obtenir les deux formulations du problème (1.21) selon le concept de la soustraction possible, il est nécessaire d'utiliser l'écart possible (-) entre les valeurs des buts et leurs valeurs objectives respectives.

L'intervalle de déviation possible $D_k = [d_k^L, d_k^U]$ est calculé à l'aide de la formule suivante ⁽¹⁾:

$$D_k = [T_k(-)(+)^n C_{kj} x_j] = \left| \left[t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j, t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \right] \right|$$

$$= \begin{cases} \left[t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j, t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \right], & \text{if } t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j \geq 0, \\ \left[0, \left(\sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^L \right) \vee \left(t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \right) \right], & \text{if } t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j < 0 < t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j, \\ \left[\sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^U, \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^L \right], & \text{if } t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \leq 0. \end{cases}$$

- Inuiguchi et Kume estiment un intervalle de pénalité $D(x)$:

$$D(x) = [d^L(x), d^U(x)]$$

⁽¹⁾ Oliveira, C., C. Henggeler Antunes, « Multiple objective linear programming models with interval coefficients – an illustrated overview », European Journal of Operational Research, Vol. 181, Portugal, 2007, p: 1437.

$$= \left[\lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k (d_k^{L-} + d_k^{U+}) + (1-\lambda) \vee_{k=1}^p (d_k^{L-} + d_k^{U+}), \lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k (d_k^{L+} \vee d_k^{U-}) + (1-\lambda) \vee_{k=1}^p (d_k^{L+} \vee d_k^{U-}) \right],$$

$$0 \leq \lambda \leq 1, \gamma_k \geq 0 \text{ and } \sum_{k=1}^p \gamma_k = 1$$

- Les variables de déviation $d_k^{L-}, d_k^{L+}, d_k^{U-}, d_k^{U+}$ sont définis de telle sorte que:

$$\sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j + d_k^{L-} - d_k^{L+} = t_k^L \iff t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j = d_k^{L-} - d_k^{L+}; \quad d_k^{L-} - d_k^{L+} = d_k^L;$$

$$\sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j + d_k^{U-} - d_k^{U+} = t_k^U \iff t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j = d_k^{U-} - d_k^{U+}; \quad d_k^{U-} - d_k^{U+} = d_k^U;$$

$$D_k = \{d_k^L, d_k^U\}; \quad d_k^{L-} \cdot d_k^{L+} = 0; \quad d_k^{U-} \cdot d_k^{U+} = 0.$$

1-1) Si le décideur veut suivre une procédure de décision optimiste, le problème (1.21) est remplacé par ⁽¹⁾:

$$\begin{aligned} \min \quad & \lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k (d_k^{L-} + d_k^{U+}) + (1-\lambda) v^L \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j + d_k^{L-} - d_k^{L+} = t_k^L \quad (k = 1, \dots, p), \\ & \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j + d_k^{U-} - d_k^{U+} = t_k^U \quad (k = 1, \dots, p), \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, \dots, m), \\ & d_k^{L-} + d_k^{U+} \leq v^L \quad (k = 1, \dots, p), \\ & 0 \leq \lambda \leq 1, \\ & \gamma_k \geq 0 \quad (k = 1, \dots, p), \\ & \sum_{k=1}^p \gamma_k = 1, \\ & x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n). \end{aligned}$$

⇔ POS-LOW

⁽¹⁾Oliveira, C., C. Henggeler Antunes, op.cit, p: 1438.

1-2) Sinon, si le décideur souhaite réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité possible, alors le problème (1.21) est remplacé par :

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k v_k + (1 - \lambda) v^U \\
 \text{s.t. :} \quad & \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j + d_k^{L-} - d_k^{L+} = t_k^L \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j + d_k^{U-} - d_k^{U+} = t_k^U \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, \dots, m), \\
 & d_k^{L+} \leq v_k \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & d_k^{U-} \leq v_k \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & v_k \leq v^U \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & 0 \leq \lambda \leq 1, \\
 & \gamma_k \geq 0 \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & \sum_{k=1}^p \gamma_k = 1, \\
 & x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n).
 \end{aligned}$$

↔ POS-UPP

2) Pour obtenir les deux autres formulations du problème (1.21) selon le concept de la soustraction nécessaires, il est nécessaire d'utiliser l'écart nécessaire.

L'intervalle de déviation nécessaire E_k est calculé à l'aide de la formule suivante ⁽¹⁾ :

$$E_k = \left\{ \begin{aligned} & \left[T_k \right] - \left(\left(+ \right)_{j=1}^n C_{kj} x_j \right), \text{if } w \left[T_k \right] \geq w \left[\left(+ \right)_{j=1}^n C_{kj} x_j \right], \\ & \left(\left(+ \right)_{j=1}^n C_{kj} x_j \right) - \left[T_k \right], \text{if } w \left[\left(+ \right)_{j=1}^n C_{kj} x_j \right] \geq w \left[T_k \right] \end{aligned} \right\}$$

⁽¹⁾ Oliveira, C., C. Henggeler Antunes, op.cit, p: 1439.

$$E_k = \begin{cases} \left[\left[t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j, t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j \right], \right. & \text{if } t_k^U - t_k^L \geq \sum_{j=1}^n (c_{kj}^U - c_{kj}^L) x_j, \\ \left. \left[\sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^L, \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^U \right], \right. & \text{if } \sum_{j=1}^n (c_{kj}^U - c_{kj}^L) x_j \geq t_k^U - t_k^L, \\ \left[t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j, t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j \right], & \text{if } t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j \geq t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \geq 0, \\ \left[0, \left(t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j \right) \vee \left(\sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^L \right) \right], & \text{if } t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j < 0 < t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j, \\ \left[\sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^U, \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^L \right], & \text{if } t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \leq t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j \leq 0, \\ \left[\sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^L, \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^U \right], & \text{if } \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^U \geq \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^L \geq 0, \\ \left[0, \left(\sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^U \right) \vee \left(t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \right) \right], & \text{if } \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^L < 0 < \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^U, \\ \left[t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j, t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \right], & \text{if } \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j - t_k^L \leq \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j - t_k^U \leq 0. \end{cases}$$

" w "mentionné avant les intervalles désigne la largeur de l'intervalle (width).

*On considère E_k^1 et E_k^2 deux intervalles tels que :

$$\begin{aligned} & (+)_{j=1}^n C_{kj} x_j + (E_k^1 +) E_k^2 = T_k \\ E_k^1 &= \begin{cases} 0, & \text{if } t_k^U - t_k^L \geq \sum_{j=1}^n (c_{kj}^U - c_{kj}^L) x_j, \\ \left[t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j, t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j \right], & \text{if } \sum_{j=1}^n (c_{kj}^U - c_{kj}^L) x_j > t_k^U - t_k^L, \end{cases} \\ E_k^2 &= \begin{cases} \left[t_k^L - \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j, t_k^U - \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j \right], & \text{if } t_k^U - t_k^L \geq \sum_{j=1}^n (c_{kj}^U - c_{kj}^L) x_j, \\ 0, & \text{if } \sum_{j=1}^n (c_{kj}^U - c_{kj}^L) x_j > t_k^U - t_k^L. \end{cases} \end{aligned}$$

Avec : $E_k = E_k^1 + E_k^2$

- L'intervalle de pénalité nécessaire E_k est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$E(x) = [e^L(x), e^U(x)]$$

$$= \left[\lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k \left((e_k^{L-} + e_k^{U+}) \wedge (e_k^{L+} + e_k^{U-}) \right) + (1 - \lambda) v_{k=1}^p \left((e_k^{L-} + e_k^{U+}) \wedge (e_k^{L+} + e_k^{U-}) \right), \right.$$

$$\left. \lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k (e_k^{L-} \vee e_k^{L+} \vee e_k^{U-} \vee e_k^{U+}) + (1 - \lambda) v_{k=1}^p (e_k^{L-} \vee e_k^{L+} \vee e_k^{U-} \vee e_k^{U+}) \right].$$

- Les variables de déviation $e_k^{L-}, e_k^{L+}, e_k^{U-}, e_k^{U+}$ sont définis de telle sorte que:

$$\sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j + e_k^{L-} - e_k^{L+} = t_k^L, \quad \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j + e_k^{U-} - e_k^{U+} = t_k^U, \quad e_k^{L-} \cdot e_k^{L+} = 0, \quad e_k^{U-} \cdot e_k^{U+} = 0.$$

2-1) Si le décideur souhaite réduire au minimum la borne inférieure de l'intervalle de pénalité nécessaire, le problème (1.21) est remplacé par ⁽¹⁾ :

$$\begin{aligned} \min \quad & \lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k \left((e_k^{L-} + e_k^{U+}) \wedge (e_k^{L+} + e_k^{U-}) \right) + (1 - \lambda) u^L \\ \text{s.t. : } \quad & \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j + e_k^{L-} - e_k^{L+} = t_k^L \quad (k = 1, \dots, p), \\ & \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j + e_k^{U-} - e_k^{U+} = t_k^U \quad (k = 1, \dots, p), \\ & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, \dots, m), \\ & (e_k^{L-} + e_k^{U+}) \wedge (e_k^{L+} + e_k^{U-}) \leq u^L \quad (k = 1, \dots, p), \\ & 0 \leq \lambda \leq 1, \\ & \gamma_k \geq 0 \quad (k = 1, \dots, p), \\ & \sum_{k=1}^p \gamma_k = 1, \\ & x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n). \end{aligned}$$

\longleftrightarrow NES-LOW

⁽¹⁾ Oliveira, C., C. Henggeler Antunes, op.cit, p: 1440.

2-2) Si le décideur veut suivre une procédure de décision pessimiste, le programme (1.21) est remplacé par ⁽¹⁾:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \lambda \sum_{k=1}^p \gamma_k u_k + (1 - \lambda) u^U \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n c_{kj}^L x_j + e_k^{L-} - e_k^{L+} = t_k^L \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & \sum_{j=1}^n c_{kj}^U x_j + e_k^{U-} - e_k^{U+} = t_k^U \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, \dots, m), \\
 & e_k^{L-} + e_k^{L+} \leq u_k \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & e_k^{U-} + e_k^{U+} \leq u_k \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & u_k \leq u^U \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & 0 \leq \lambda \leq 1, \\
 & \gamma_k \geq 0 \quad (k = 1, \dots, p), \\
 & \sum_{k=1}^p \gamma_k = 1, \\
 & x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n).
 \end{aligned}$$

↔ NES-UPP

⁽¹⁾ Oliveira, C., C. Henggeler Antunes, op.cit, p: 1440.

3.5 Conclusion

L'optimisation multi-objectif est sans doute un axe de recherche primordial pour les scientifiques et les ingénieurs, non seulement à cause de la nature multicritère de la plupart des problèmes réels, mais aussi parce que de nombreuses questions restent ouvertes dans ce domaine.

De façon générale, traiter un problème d'optimisation multi-objectif revient à coupler un processus de recherche des meilleures solutions et une méthode de prise de décision permettant au concepteur de structurer ses préférences et de classer les solutions obtenues. Les problèmes d'optimisation multi-objectif sont plus récents et peu d'algorithmes sont disponibles pour les résoudre, comme nous l'avons vu il existe de nombreuses transformations pour passer d'un problème multi-objectif à un problème mono-objectif, leurs performances semblent assez similaires ainsi le choix se fait en fonction des informations mise à disposition du concepteur.

La solution choisie par un décideur sera un compromis dépendant d'un grand nombre de paramètres variant d'un décideur à un autre et donc difficiles à modéliser.

Comme il n'existe aucune solution meilleure qu'une autre, un compromis différent selon les personnes doit être choisi. Le choix est donc subjectif, et il est indispensable de proposer l'ensemble des choix possibles afin ne pas exclure une possibilité.

L'optimisation multi-objectifs est donc avant tout un outil d'aide à la décision, et c'est une personne qui prendra la décision finale.

CHAPITRE 4

Etude de cas au niveau de l'entreprise Denitex

4.1 Introduction

Après avoir mis en évidence dans le précédent chapitre les principales méthodes d'optimisation multi-objectif qui nous amène à satisfaire un ensemble de contraintes et optimiser un vecteur de fonctions objectifs, ces méthodes englobent plusieurs modèles dont la programmation mathématique par buts avec intervalle.

Nous allons essayer dans la partie pratique de résoudre un problème d'optimisation multi objectifs au niveau d'une entreprise publique Denitex qui fabrique des produits textiles denim, notre but est d'optimiser l'utilisation d'un ensemble d'équipements installés précisément dans l'atelier de filature destinés à la production de différents sortes de fils tout en respectant la capacité de production de ces machines.

Si la recherche de performance se limite à l'outil de production - d'une machine seule, à l'atelier ou le site de production dans son ensemble, l'indicateur le mieux adapté est le TRS (Taux de Rendement Synthétique), qu'on va l'évaluer à la fin de notre recherche.

Nous avons eu recours dans notre étude à des données et informations prévenantes de chacune des directions de production et de maintenance afin d'établir un modèle mathématique représentatif à la situation dont on est confronté, sauf que le décideur n'est pas en mesure de donner avec précision la valeur exacte des buts ainsi les paramètres technologiques, cette imprécision est exprimé à l'aide d'intervalle, de ce fait nous avons adopté le modèle du goal programming avec intervalle où les paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles.

4.2 Présentation de l'entreprise Denitex

4.2.1 Introduction générale sur le complexe de Sebdo

DENITEX Spa est une société de produits textiles denim, issue de la restructuration de COTITEX SEBDOU en date du 03-02-1998, composé de 13 secteurs, il est situé à 37 Km sud-ouest du chef lieu de la wilaya de Tlemcen, sa superficie totale est de 16,9 Hectares dont 6,9 Hectares couverts (bâties).

L'effectif global du personnel de l'entreprise est de 853 salariés dont :

- Cadres : 139.
- Maîtrise : 154.
- Exécution : 102.
- Contractuels : 205
- CPA : 90.
- DAIP : 163.

Raison sociale: entreprise des industries textiles DENIM

Dénomination: E.P.E DENITEX Spa

SGP d'affiliation: industries manufacturières

Groupe: TEXMACO Spa

Forme juridique: société par actions

Capital social: 300 000 000,00 DA

Date de mise en service: 1^{er} Juin 1979.

Date de création: 03 Février 1998 (filiale TEXMACO Spa)

Adresse: Bd Emir Abdelkader BP 09 SEBDOU 13 200 Tlemcen

Superficie (m²): 166 296,79 dont couverte: 69 763,63

Domaine d'activité: Fabrication et commercialisation de fils et tissus

Processus de fabrication: filature – préparation tissage- tissage- finissage

Principaux produits: tissu Denim – Gabardine- Bleu de travail – Satin

Intrants utilisés: Coton, Polyester, Produits Chimiques et Colorants

- Le potentiel industriel et la plupart des équipements de production ainsi que les installations annexes ont été mis en place en:
 - ❖ Ateliers,
 - ❖ Laboratoires de contrôle,
 - ❖ Réseaux énergie, eau,
 - ❖ Installations d'utilités.

4.2.2 Historique de l'entreprise

La société de produits textiles DENITEX a été créée après le découpage de la société mère COTTTEX, le 3 février 1976 par la coopération Algéro-allemande suite à l'application de la convention N°4 LAGEX.

- Le complexe, mis en service le 01 juin 1976, a des activités bien définies telles que :
 - Filature – Tissage – Finissage et épuration des eaux.

La capacité de production est comme suit :

Tableau 4.1 : Capacité de production – année 2009 -.

Produits	Capacité annuelle installée
Filés	1 394 260 Tonnes
Tissus écrus	6 000 000 ML
Tissus finis	6 000 000 ML

Source : Les données ont été recueillies auprès du directeur de production

- **Principaux évènements:**
 - Augmentation du capital social à 743 720 000 DA (Nombre d'actions 148 744 avec une valeur nominale de 5 000 DA) en date du 20-12-1999 avec effet rétroactif à compter de la date de création.
 - Réévaluation du terrain d'assiette (07 Février 2004)

Investissement:

- Réalisation de 03 Forages:
 - a. 1^{er} forage mis en exploitation en mars 2005.
 - b. 2^{ème} forage mis en exploitation en septembre 2005.
 - c. 3^{ème} forage mis en exploitation en janvier 2007.
- Raccordement au réseau du gaz naturel et mis en service en mai 2007.
- Transfert de 36 métiers à tisser (24 sont en production et 12 seront utilisés comme pièces de rechange), d'un ourdissoir sectionnel et d'une pileuse métreuse du Complexe Lainier de Tiaret.
- Dotation du laboratoire chimique d'un spectrocromimètre.
- Transfert de 20 continus à rotors et de 06 assembleuses du Complexe Lainier de Tébessa (opération en cours).
- Reconversion de 140 métiers à tisser pour la production de l'article Satin.

4.2.3 Activités du complexe

L'industrie de Denitex a des activités de production des textiles de type bleu jean, gabardine en utilisant les matières premières suivantes :

- Matière première (Coton, Polyester) ;
- Colorants ;
- Produits de fixation ;
- Détergents et autres produits chimiques ;

La figure 4.1 illustre le plan de masse du complexe DENITEX

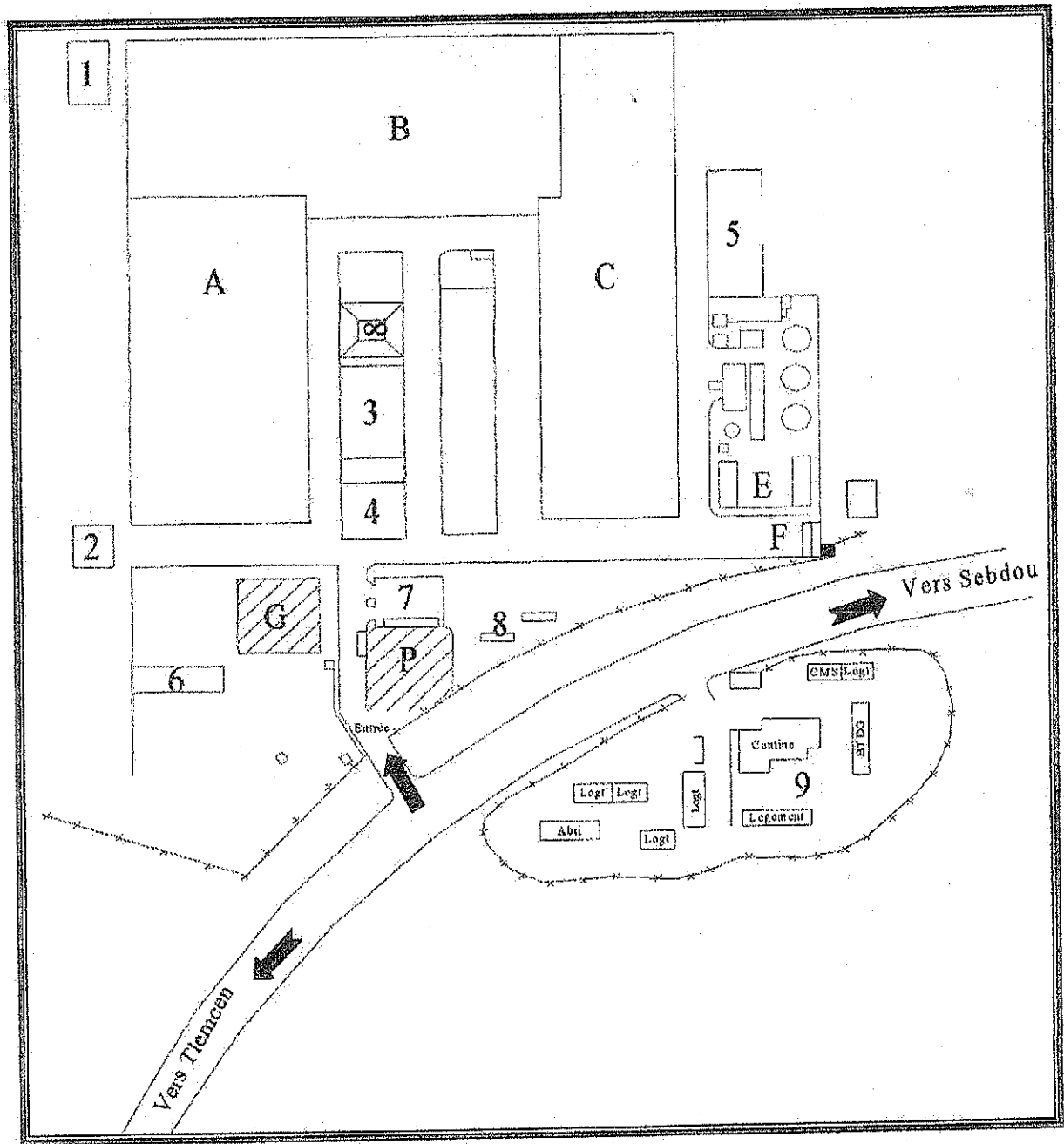


Figure 4.1 : Plan de masse du complexe DENITEX

Légende :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> A. Filature B. Tissage C. Finissage D. Annexe technique E. Station de traitement et d'épuration d'eaux F. Transformateur HT/MT G. administration | <ul style="list-style-type: none"> 1. Atelier mécanique auto 2. Hangar produit chimique 3. Abri stockage huiles et consommable ciment, pneumatique 4. Cantine 5. Abri produits chimiques 6. Abri pour véhicules lourds 7. Abri pour véhicules légers 8. Campements ouvriers 9. Logements, CMS, Foyer et Direction générale |
|--|---|

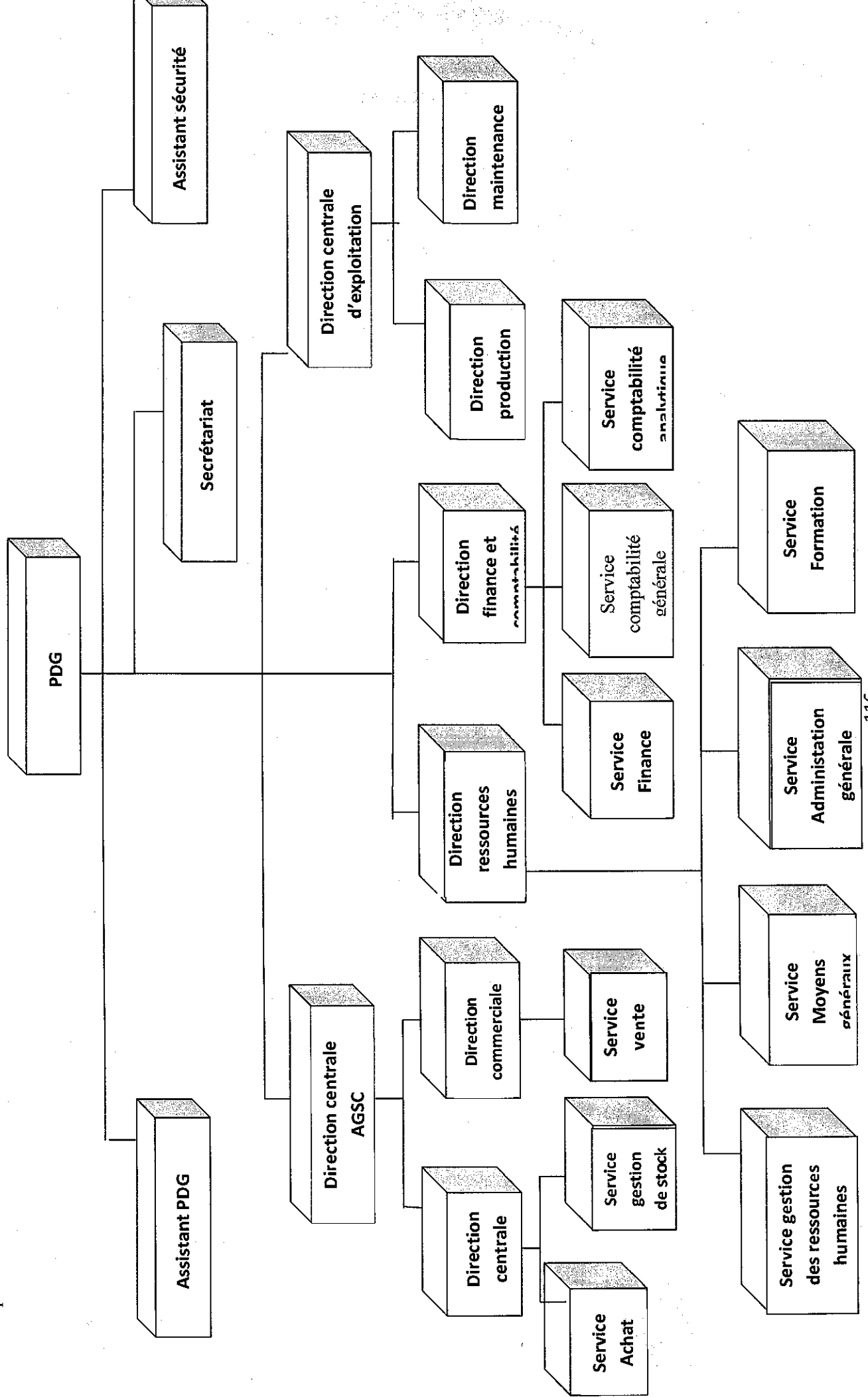


Figure 4.2 : Organigramme de DENITEX

4.3 Processus de fabrication des tissus et principaux équipements de production

4.3.1 Processus de fabrication des tissus

D'après notre visite de l'usine, nous avons recensé différents processus de fabrication de tissus, on cite :

4.3.1.1 Filature

La fabrication d'un fil nécessite le décorticage et le nettoyage de la matière première (égrenage), le desserrement et la parallélisation des fibres (cardage, peignage) puis enfin la filature.

La réalisation d'un fil est une succession d'étapes dépendant de la qualité du fil souhaité et du type de fibres à travailler, mais qui comporte toujours au moins trois phases :

- plusieurs filaments sont tirés de la filasse et rassemblés en mèche ;
- la mèche est roulée en fil par torsion ;
- le fil est mis en bobine pour être tissé.

La filature se déroule selon le mode opératoire suivant :

4.3.1.1.1 Battage

Une fois que les balles arrivées à destination dans les ateliers de filature (section battage), elles sont échantillonnées afin de sélectionner parmi les différentes qualités et origines celles que l'on va associer afin d'obtenir un fil de qualité toujours homogène.

Les balles sont ouvertes par passage dans des brises balles, sous l'effet d'un courant d'air qui permet de retirer les corps étrangers contenus dans le coton (qui pourraient avoir des conséquences sur le reste du processus).

A ce stade de traitement les fibres ne sont pas présentées de manière parallèle, où se fera au cours de l'étape ultérieure dite le cardage.

4.3.1.1.2 Cardage

Le cardage a pour but de séparer les fibres naturelles du coton les unes des autres, de les peigner, les redresser, les paralléliser ainsi les nettoyer.

Un ruban de carde dont la largeur est d'environ un mètre est alors obtenu.

4.3.1.1.3 Étirage

La phase d'étirage (Laminage) a ensuite pour but d'harmoniser l'épaisseur du ruban de carde par étirage des fibres.

Cette opération s'effectue par passage de plusieurs de ces rubans entre différents rouleaux de pression tournant à des vitesses de plus en plus rapide.

Finalement plusieurs rubans sont étirés et tordus pour donner le fil définitif.

Cette opération s'effectue dans deux machines distinctes :

- Un banc à broches : qui a pour but ou fonction d'effectuer le filage en gros c.à.d. donner au ruban étiré une torsion + étirage puis le mettre en bobine (Boudinage)
- Un métier à filer : qui a pour objet de réduire le diamètre du fil à sa taille définitive, cette opération est nommée Filage.

4.3.1.1.4 Bobinage

La filature livre le fil sous forme de cops, ces derniers ne renferment que des quantités minimales de fil, et ils présentent des défauts, c'est pourquoi le premier procédé de préparation des fils de chaîne est le bobinage.

Le bobinage a pour but :

- ✓ Exécution des bobines beaucoup plus grosses capable d'assurer normalement le procédé technologique.
- ✓ Au moment de dévidage des cops pour les enrouler sur les grandes bobines, on peut épurer le fil et éliminer les défauts.

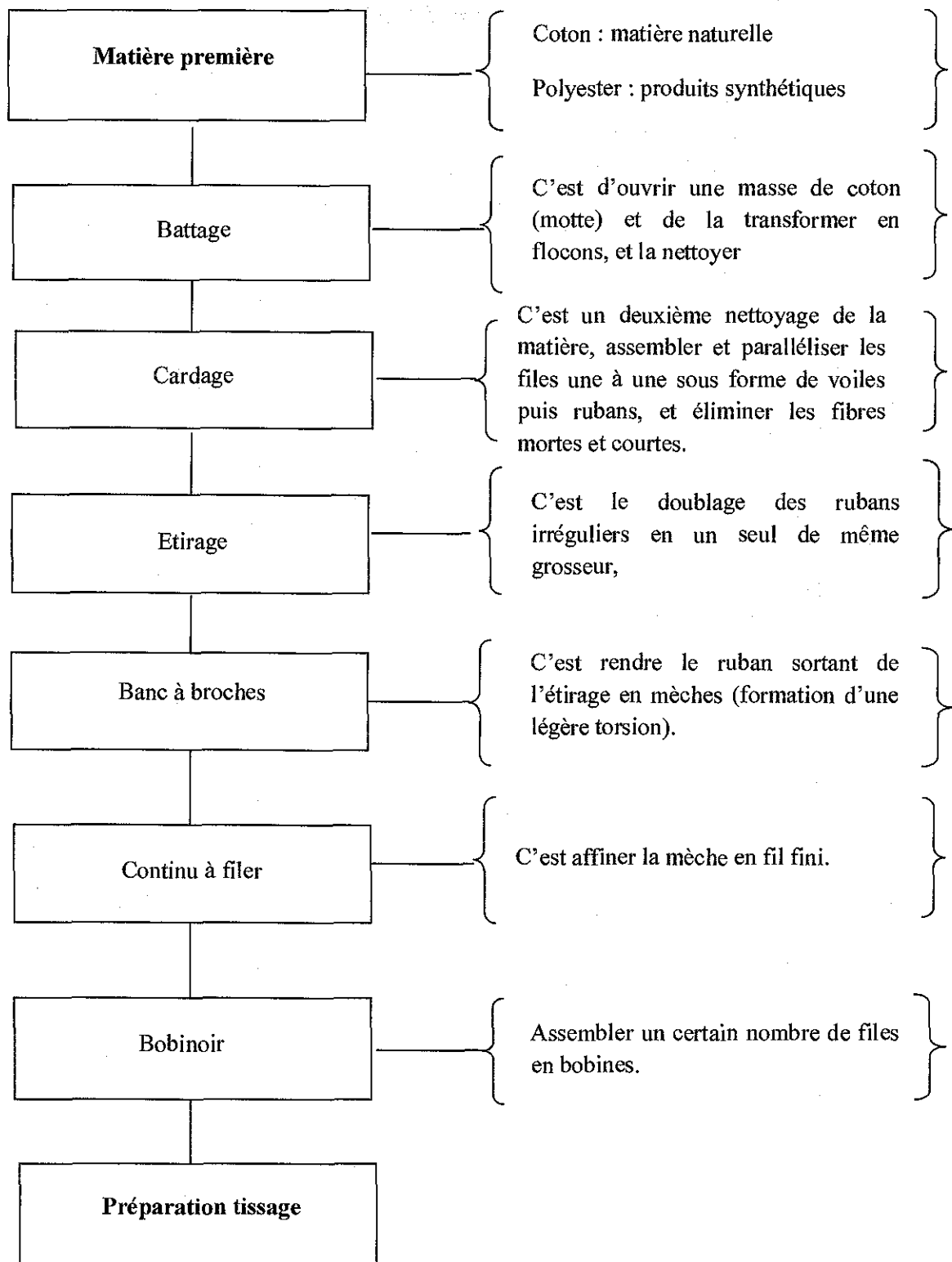


Figure 4.3: Schéma technologique de la filature

Source : conçue par l'étudiante

4.3.1.2 Tissage

Le tissu est obtenu par le tissage qui est le résultat de l'entrecroisement, dans un même *plan*, de fils disposés dans le sens de la *chaîne* et de fils disposés, perpendiculairement aux fils de chaîne, dans le sens de la *trame*. Le liage obtenu entre ces fils de chaîne et trame se définit par une *armure*.

On distingue trois grandes classes fondamentales d'armures : Toile, sergé et satin, ce dernier étant fabriqué par l'entreprise Denitex.

Il existe des armures dérivées des trois précédentes : le reps, le cannelé, le croisé, le satin à répétition, etc.

Un tissu peut être composé de plusieurs armures différentes et dans ce cas on parle de *tissu façonné*

Le tissage s'accompagne d'étapes précises dont les plus importantes sont illustrées par la figure suivante :

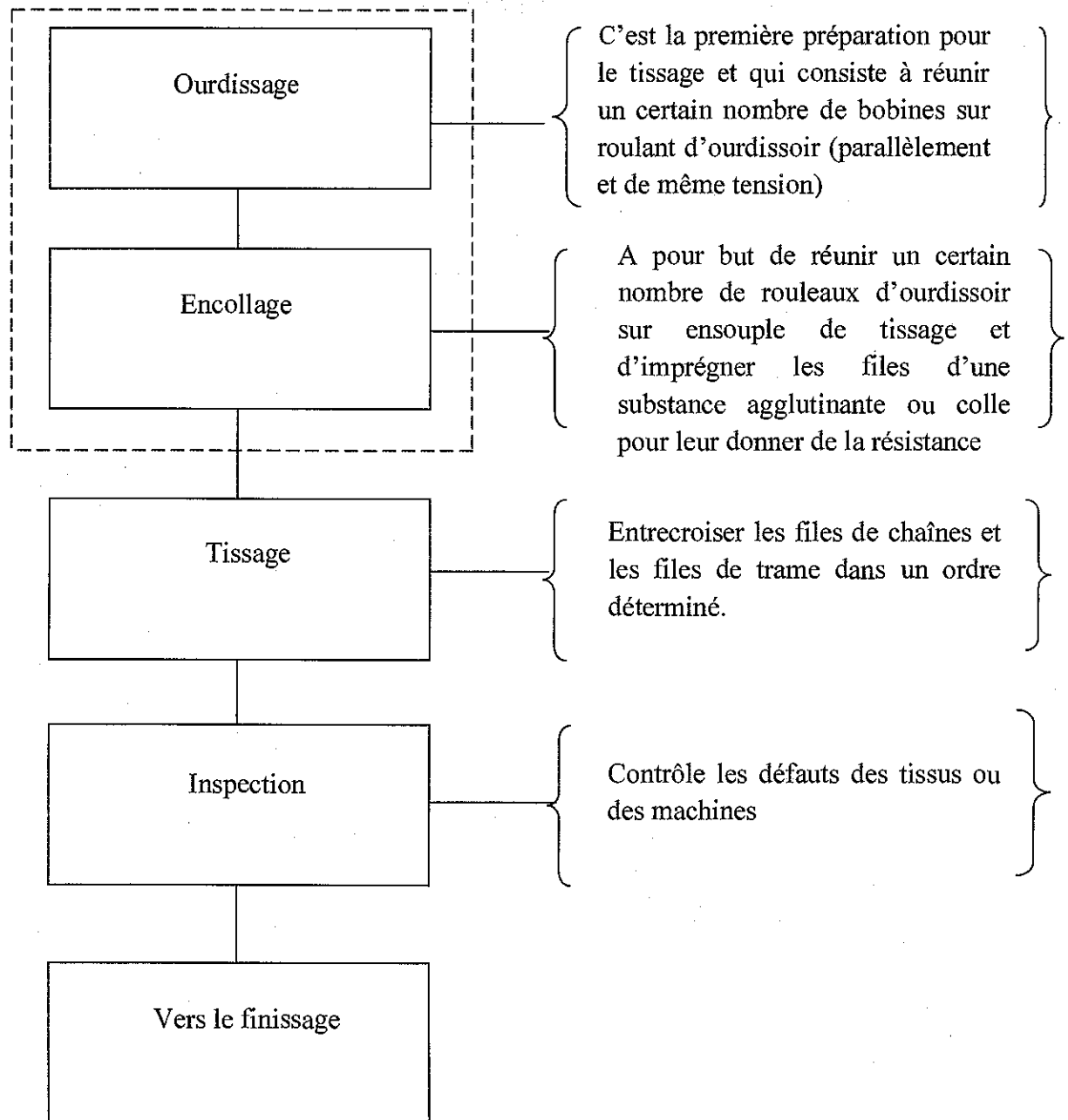


Figure 4.4 : Schéma technologique du tissage

Source : conçue par l'étudiante

4.3.1.3 Finissage

C'est un traitement chimique (teinture, lavage, ...) et mécanique (ennoblissement...) du tissu, elle comprend plusieurs opérations selon le type du tissu.

La figure 4.5 illustre le schéma technologique du finissage.

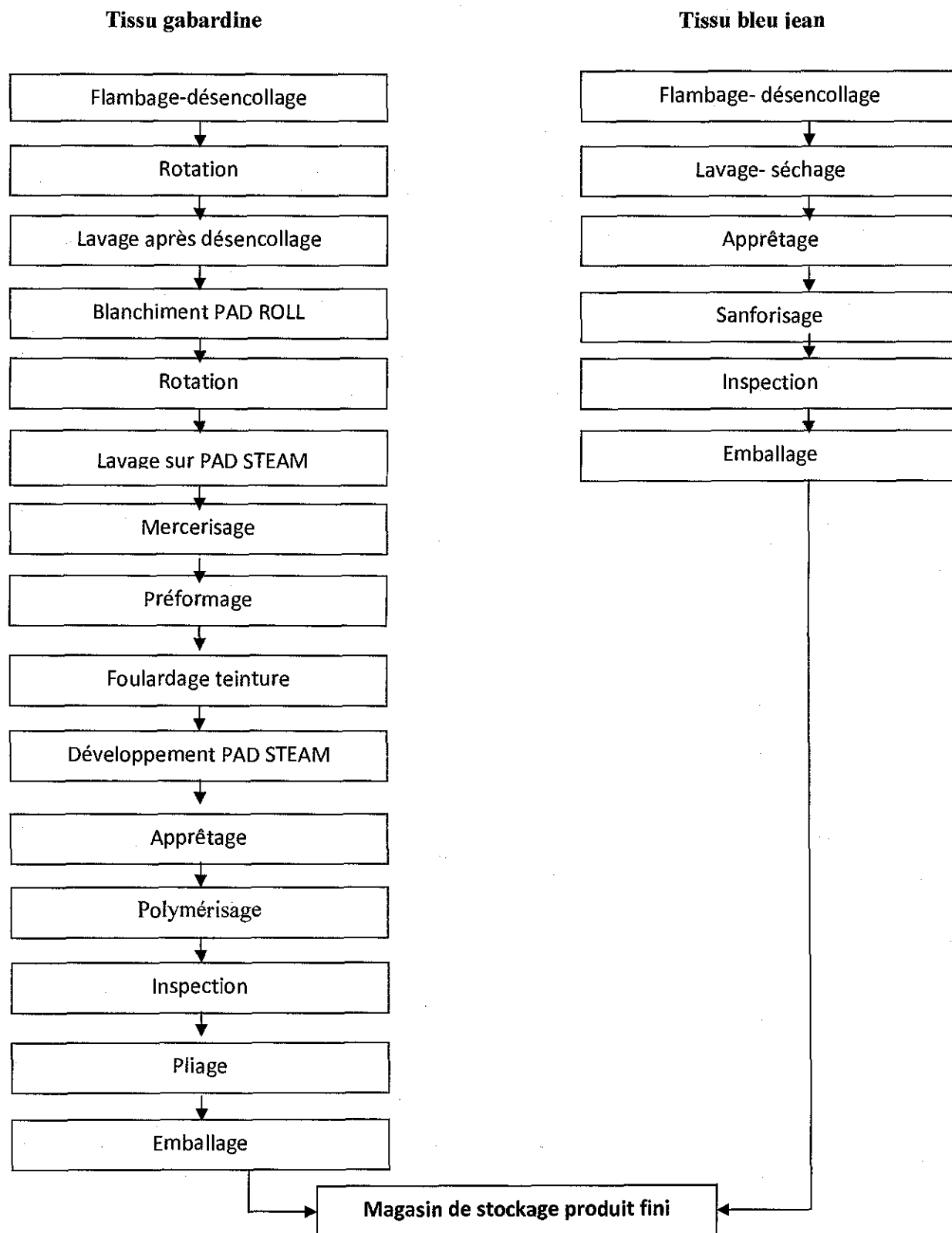


Figure 4.5 : Schéma technologique du finissage

Source : Conçue par l'étudiante.

Le finissage s'accompagne d'étapes précises dont les plus importantes sont :

- Flambage – désencollage :

Opération qui consiste à passer les textiles rapidement à la flamme pour désencoller le tissu.

Le désencollage du tissu se réalise dans le PAD ROLL.

- Mercerisage :

Qui a subi un traitement à la soude afin d'avoir un aspect brillant et soyeux.

- Préformage :

Action de donner une forme à un bas nylon en le chauffant.

Le préformage précède la teinture.

- Teinture :

Imprégnation (d'un tissu) avec une substance colorante.

- Apprêtage :

Traiter avec une substance spéciale avant de travailler un tissu, afin de modifier l'aspect ou la consistance.

- Polymérisage :

Transformer (un corps) par combinaison des molécules au sein d'une réaction chimique.

- Blanchiment :

Opération de décoloration visant à donner de la blancheur.

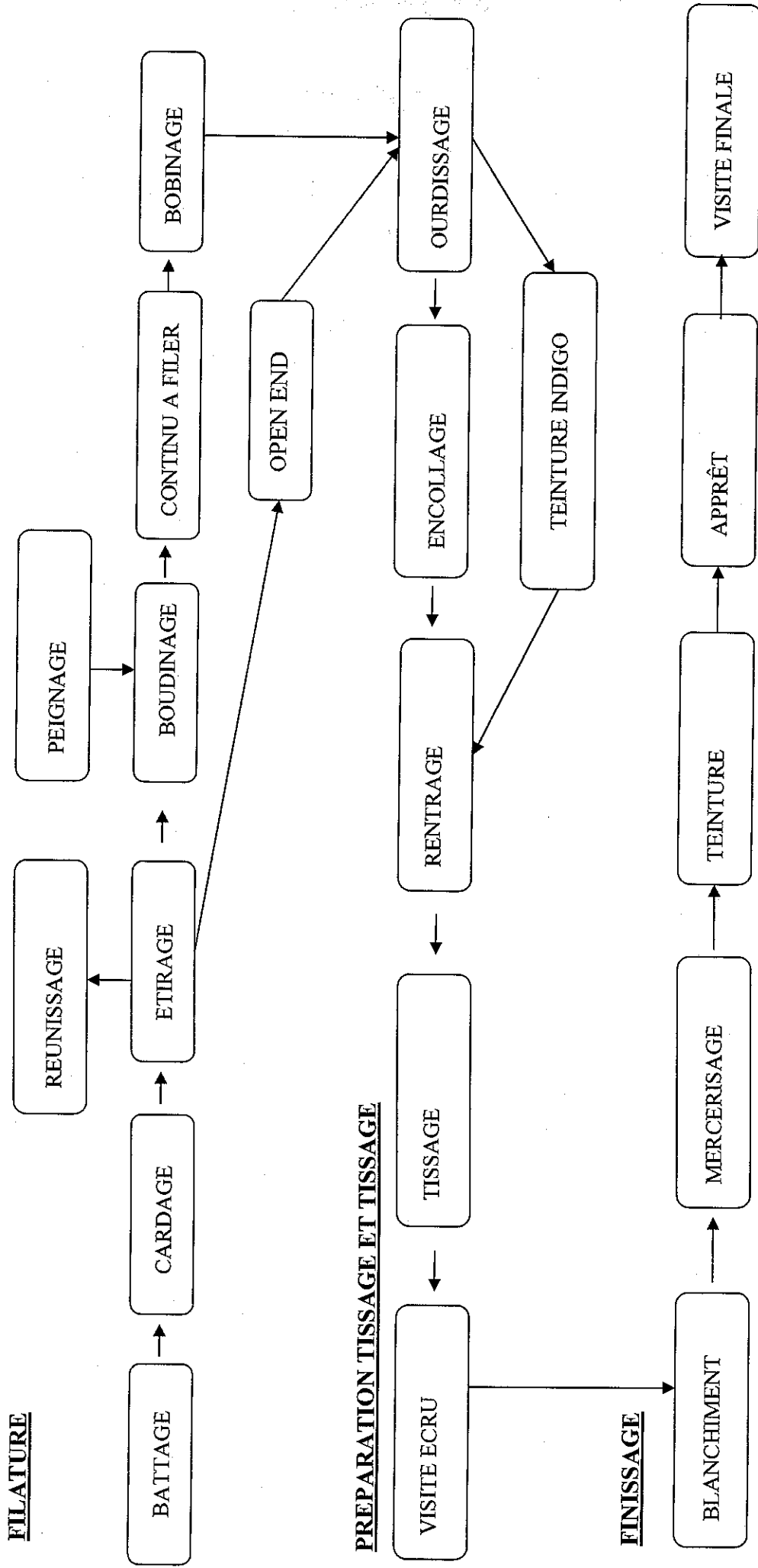
- Inspection :

Opération de contrôle, de vérification ou de surveillance du tissu.

- Séchage :

Elimination de l'eau ou du liquide dans le tissu.

Figure 4.6 : Processus de fabrication



Source : conçue des fiches de l'entreprise

4.3.2 Principaux équipements de production

L'entreprise Denitex est équipée de machines installées sur trois ateliers que sont la filature, le tissage et le finissage.

4.3.2.1 Principaux équipements de production dans l'atelier de filature

Tableau 4.2: ensemble d'équipements dans l'atelier de filature

Désignation équipement	Nombre	Date d'exploitation	Observation
<u>1^{ère} ligne coton 100%</u>			
• Brise balle	02	1979	
• chargeuse à déchets	01	1979	
• Axi-Flow	01	1979	
• Multi mélangeuse	01	1979	
• Nettoyeuse en cascade+Ouvreuse+Condenseur	01	1979	
• Condenseur + Ouvreuse	02	1979	
<u>2^{ème} ligne coton peiné</u>			
• Brise balle	02	1979	
• chargeuse à déchets	01	1979	
• Multi mélangeuse	01	1979	
• Nettoyeuse en cascade+Ouvreuse+Condenseur	01	1979	
• Condenseur + Ouvreuse	02	1979	
<u>Préparation-Filature</u>			
• Carde	46	1979	
• Banc d'étirage	22	1979	
• Banc à broche	09	1979	
• Peigneuse	04	1979	
• Réunisseuse	02	1979	
• Continu à filer	50	1979	
• Open-end	02	1992	
• Nettoyeuse tubes	01	1979	
• Vaporiseuse	01	1979	

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations du service de maintenance de l'atelier de filature.

4.3.2.2 Principaux équipements de production dans l'atelier de tissage

Tableau 4.3: ensemble d'équipements dans l'atelier de tissage

Désignation équipement	Nombre	Date d'exploitation	Observation
• Bobinoir	10	1979	
• Ourdissoir	02	1979	
• Ourdissoir sectionnel	01	1979	
• Encolleuse	01	1979	
• Ligne de teinture "Indigo"	01	1979	
• Métier à tisser SAURER 2 G	324	1979	
• Métier à tisser MAV	24	1979	
• Noueuse	03	1979	
• Visiteuse	03	1979	
• tondeuse	01	1979	

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations du service de maintenance de l'atelier de tissage.

4.3.2.3 Principaux équipements de production dans l'atelier de finissage

Tableau 4.4 : ensemble d'équipements dans l'atelier de finissage

Désignation équipement	Nombre	Date d'exploitation	Observation
Flambeuse	01	1979	
Pad-Roll	01	1979	
Merceriseuse	01	1979	
Hot-Flue	02	1979	
Pad-Steam	02	1979	
Rame	02	1979	
Jigger	01	1979	
Enrouleuse	01	1979	
Autoclave	01	1979	
Polymériseuse	01	1979	
Sanforiseuse	01	1979	
Visiteuse intermédiaire	02	1979	
Visiteuse finale	04	1979	
Dosseuse	02	1979	
emballeuse	01	1979	

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations du service de maintenance de l'atelier de finissage.

4.3.3 La chaîne des procédés de fabrication du fil

Il existe deux grands types (processus) de filature :

1. La filature ordinaire : qui regroupe deux sortes de filature

- 1.1. La filature cardée

1.2. La filature peignée

2. Le processus de filage moderne « Open-End »

4.3.3.1 La filature ordinaire

Tableau 4.5: les étapes de la filature ordinaire

N°	Procédés	Machines	Semi-Produit
I (1)	<u>Filature cardée</u> Mélange- Ouvraison- nettoyage	<u>Ligne de battage</u> Chargeuse à déchets, brise balles, axi-flo, multi-mélangeuse, nettoyeuse en cascade, nettoyeuse verticale, ouvreuse verticale, condenseur.	Les flocons de coton
	(2) Cardage	Carde à chapeaux	Ruban cardé
	(3) Etirage (Laminage) - Doublage+étirage	Banc d'étirage (B.E)	Ruban étiré
	(4) Boudinage - Etirage+ torsion	Banc à broche (B.A.B)	Mèche
	(5) Filage - Etirage+torsion+renvidage	Continu à Filer	Fil
II (1)	<u>Filature peigné</u> Mélange- Ouvraison- nettoyage	<u>Ligne de battage</u> Chargeuse à déchets, brise balles, axi-flo, multi-mélangeuse, nettoyeuse en cascade, nettoyeuse verticale, ouvreuse verticale, condenseur.	Les flocons de coton
	(2) Cardage	Carde à chapeaux	Ruban cardé
	(3) Laminage - Doublage+étirage	Banc d'étirage (B.E)	Ruban étiré
	(4) Réunissage - Réunir plusieurs rubans	Réunisseuse	Rouleaux des rubans
	(5) Peignage	peigneuse	Ruban peigné

(6)	Etirage (Laminage) Doublage+étirage	Banc d'étirage (B.E)	Ruban étiré
(7)	Boudinage - Etirage+ torsion	Banc à broche (B.A.B)	Mèche
(8)	Filage - Etirage+torsion+renvidage	Continu à Filer	Fil

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des fiches techniques du service de maintenance

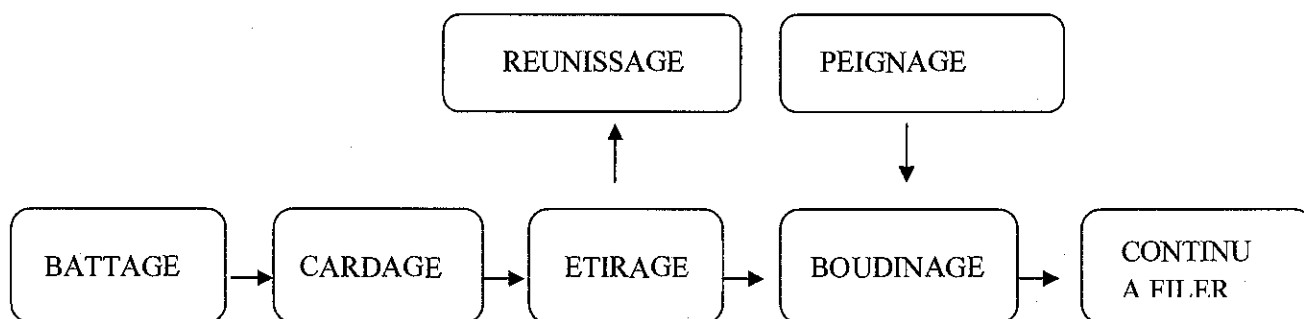


Figure 4.7 : Processus de filature ordinaire

Source : Conçue par l'étudiante

4.3.3.1 Processus de filage moderne (Open-End)

Pour comprendre le processus de fabrication du fil à l'aide d'une machine type Open-End, nous nous sommes référés à la figure suivante :

- A = briseur
- B = étrier compensateur de la tension du fil
- C = galet d'entraînement du briseur
- D = galet de pression
- E = cylindre déjivreur
- F = ruban
- G = fil
- H = carter de rotor
- I = barre des guides-fil
- J = buse de sortie
- K = canal d'alimentation
- L = barre de formation des réserves de fil avec guide-fil à fente
- M = auge d'alimentation
- N = pipette de sortie
- O = dispositif casse-fil
- P = guide-fil
- R = rotor
- S = cylindre d'alimentation
- T = entonnoir d'entrée
- U = bobine
- V = canal d'aspiration
- W = cylindre de bobinage
- X = bande transporteuse de déchets
- Y = bobine démontée
- Z = étrier porte-bobine

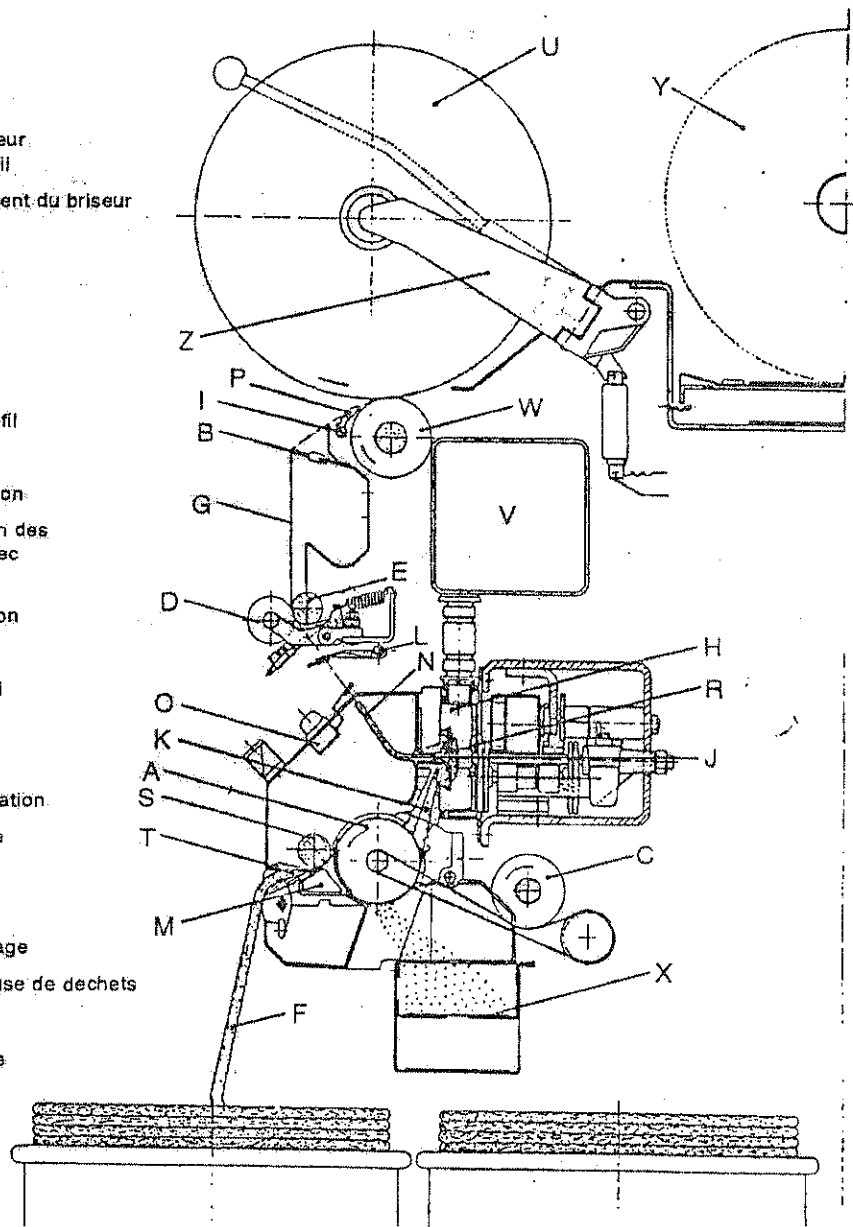


Figure 4.8 : Coupe transversale d'un poste de filage

Source : une fiche technique de la machine Open end

Le ruban (F) passe par l'entonnoir d'entrée (T) pour arriver à l'auge d'alimentation (M). Le cylindre d'alimentation (S) transporte le ruban jusqu'au briseur (A): Le briseur (A) est garni

des dents de scie ou d'aiguilles. Le briseur individualise les fibres du ruban et les amène au canal d'alimentation (K).

Par la force centrifuge efficace, les déchets contenus dans le ruban tombent par une ouverture sur la bande transporteuse de déchets (X). Aux têtes de commande et de queue se trouve une installation d'aspiration qui aspire toutes les particules éliminées.

Par la force centrifuge, les fibres quittent la garniture du briseur et arrivent au canal d'alimentation (K). par le canal d'aspiration (V) une dépression est provoquée dans le carter de rotor (H). L'air aspiré à grande vitesse à travers le canal d'alimentation allonge et redresse les fibres. Le canal d'alimentation aboutit à l'intérieur du rotor (R) qui tourne à une vitesse élevée (35 000 jusqu'à 100 000 t/min). Par suite de la force centrifuge, les fibres sont posées dans une rainure sur la paroi intérieure du rotor formant ainsi un anneau de fibres.

L'extrémité du fil (G) touche la rainure du rotor où sans cesse du nouveau fil est produit, par la torsion des fibres, et aspiré de la rainure de rotor par le cylindre délivreur (E) conjointement avec le galet de pression (D), à travers la buse et le pipette de sortie (N).

Ensuite le fil est conduit par-dessus l'étrier (B) compensateur de la tension du fil puis, par l'intermédiaire du guide-fil (P) vers la bobine (U). A son pourtour, la bobine est entraînée par le cylindre à friction (W). Le guide-fil (P) effectue un mouvement de va-et-vient correspondant à la largeur de la bobine, de sorte que le fil est renvidé dans l'angle de croisure voulu.

La figure ci-dessous résume le processus de filage « Open-End »

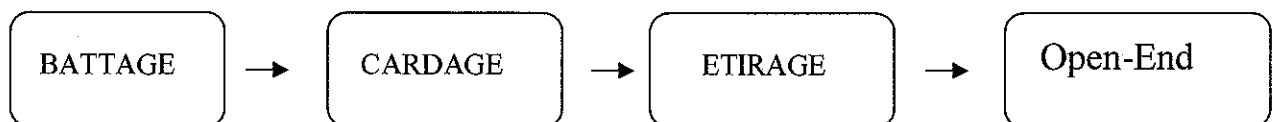


Figure 4.9 : Processus de filage moderne « Open-End »

Source : conçue par l'étudiante.

4.4 Optimisation de l'utilisation des équipements de l'atelier de filature utilisant le Goal Programming avec Intervalle

On suggère dans cette étude l'utilisation du Goal Programming avec Intervalle comme méthode afin d'optimiser l'utilisation des équipements destinés à la production des différents sortes de fils, cette dernière est réalisée sous deux grands processus de fabrication que sont la « filature ordinaire » et la « filature moderne » sachant que dans :

1. Le processus de filature ordinaire, le fil est obtenu à l'aide des machines type Continuo-A- Filer (CAF)
2. Le processus de filature moderne, le fil est obtenu à l'aide des machines type Open – End (OE).

Les taux de production de la machine type CAF, ainsi de la machine OE sont imprécis et mesurés en nombres de kilos par heure, et la production programmée par l'entreprise pour chaque type de fil est mesuré en nombre de kilo.

Les machines sont disponibles seulement pour 16 heures pour la fabrication des fils

Dans ce contexte de production, nous cherchons à trouver le nombre d'heures que les deux machines doivent allouer à la production des fils pour atteindre et réaliser le programme de production de l'atelier de filature.

4.4.1 Choix d'articles pour étude :

On va sélectionner uniquement les fils pouvant être fabriqués par les deux types de machine à savoir CAF et OE.

Tableau 4.6 : Liste des articles produits - Année 2009 -

Article: n° métrique du fil (Polyester/Coton)	Continu -A -Filer (CAF)	Open - End (OE)
20 P/C		×
24 P/C	×	
24 C/P		×
26 P/C		×
28 P/C	×	×
60 P/C		×
60 C/P	×	×
20 C/C	×	×
14 C/C	×	
17 C/C	×	
24 C/C	×	
28 C/C	×	

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations du service de production de l'atelier de filature.

Selon le tableau ci-dessus, on obtient trois sortes de fils qui feront l'objet de notre étude :

- 1) 28 P/C
- 2) 60 C/P
- 3) 20 C/C

4.4.2 Programme de production de l'atelier de filature

4.4.2.1 Programme de production de l'atelier de filature ordinaire

Le taux de production de la machine type Continu –A- Filer (mesuré en nombre de kilos par heure) est calculé à l'aide des équations suivantes :

- N^{bres} de broches en filés = N^{bres} de broches sur une machine $\times N^{\text{bres}}$ de machines en filés
- N^{bres} d'heures de travail par an = Durée d'une équipe $\times N^{\text{bres}}$ d'équipe / jour $\times N^{\text{bres}}$ de jours ouvrables/an
- N^{bres} d'heures / broches en filés = N^{bres} d'heures de travail par an $\times N^{\text{bres}}$ de broches en filés
- N^{bres} d'heures fonctionnées/ broches = % d'arrêt planifié $\times N^{\text{bres}}$ d'heures / broches en filés
- Production (Kg) pratique d'une machine/heure =

$$\frac{\text{nombre de tour par minute} \times 60 \times \text{nombre de broches de machine}}{\text{Taux de torsion} \times 1000 \times n^2 \text{ métrique du fil}}$$

Sachant que :

Le nombre de tours par minute = 8500

Taux de torsion = 1050

- Production de fil / an (Tonnes) = Production pratique machine/heure $\times N^{\text{bres}}$ d'heures fonctionnées/ broches

Tableau 4.7 : Programme de production de l'atelier de filature ordinaire –Année 2009-

		Numéro du fil		
		60 C / P	20 C / C	28 P / C
N ^{bres} de machines en filés (CAF)		28	06	10
N ^{bres} de broches sur une machine (CAF)		396	396	396
N ^{bres} de broches en filés		11088	2376	3960
Régime de travail	N ^{bres} de jours ouvrables/an	230	230	230
	N ^{bres} d'équipe / jour	03	03	03
	Durée d'une équipe	7,5	7,5	7,5
	N ^{bres} d'heures de travail par an	5175	5175	5175
N ^{bres} d'heures / broches en filés		57380	12296	20493
% d'arrêt planifié		04	04	04
N ^{bres} d'heures fonctionnées/ broches		55085	11804	19673
Production (Kg) pratique d'une machine/heure		3,2	15,3	7,7
Production de fil / an (Tonnes)		176.28	180.6	151.5

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations de chacun des services de production et de maintenance de l'atelier de filature.

- ✓ Le responsable de production a estimé les taux de production de la machine type CAF relatifs aux trois sortes de fils (P1, P2, P3) dans des intervalles comme suit :
 - **Produit P₁ (60 C / P) : [3 ; 3,2]**
 - **Produit P₂ (20 C / C) : [14 ; 15,3]**
 - **Produit P₃ (28 P / C) : [7 ; 7,7]**

Sachant que les valeurs de la production pratique de la machine CAF relatives aux trois produits calculées à partir du tableau ci-dessus sont des valeurs maximales, et les valeurs minimales nous ont été données par le responsable de production (le décideur).

4.4.2.2 Programme de production de l'atelier de filature moderne

Le taux de production de la machine type Open-End (mesuré en nombre de kilos par heure) est calculé à l'aide des équations suivantes :

Le taux de production de la machine type Open-End (mesuré en nombre de kilos par heure) est calculé à l'aide des équations suivantes :

- N^{bres} de broches en filés = N^{bres} de broches sur une machine * N^{bres} de machines en filés
- N^{bres} d'heures de travail par an = Durée d'une équipe * N^{bres} d'équipe / jour * N^{bres} de jours ouvrables/an
- N^{bres} d'heures / broches en filés = N^{bres} d'heures de travail par an * N^{bres} de broches en filés
- N^{bres} d'heures fonctionnées / broches = % d'arrêt planifié * N^{bres} d'heures / broches en filés
- Production (Kg) pratique d'une machine/heure =
$$\frac{\text{nombre de tour par minute} \times 60 \times \text{Nombre de poste de filage}}{\text{Taux de torsion} \times 1000 \times n^2 \text{ métrique du fil}}$$

Sachant que :

Le nombre de tours par minute = 65000

Nombre de poste de filage = 216

Taux de torsion = 1100

- Production de fil / an (Tonnes) = Production pratique machine/heure * N^{bres} d'heures fonctionnées / broches

Tableau 4.8 : Programme de production de l'atelier de filature moderne –Année 2009-

		Numéro du fil		
		60 C / P	20 C / C	28 P / C
N ^{bres} de machines en filés (OE)		01	01	01
N ^{bres} de broches sur une machine		216	216	216
N ^{bres} de broches en filés		216	216	216
Régime de travail	N ^{bres} de jours ouvrables/an	230	230	230
	N ^{bres} d'équipe / jour	03	03	03
	Durée d'une équipe	7,5	7,5	7,5
	N ^{bres} d'heures de travail par an	5175	5175	5175
N ^{bres} d'heures / broches en filés		1118	1118	1118
% d'arrêt planifié		03	03	03
N ^{bres} d'heures fonctionnées/ broches		1084	1084	1084
Production (Kg) pratique d'une machine/heure		12,7	61,8	37,6
Production de fil / an (Tonnes)		13.8	67	40.76

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations de chacun des services de production et de maintenance de l'atelier de filature.

- ✓ Le responsable de production a estimé les taux de production de la machine type OE relatifs aux trois sortes de fils (P1, P2, P3) dans des intervalles comme suit :
- P1 (60 C / P) : [12 ; 12,7]
 - P1 (20 C / C) : [60 ; 61,8]
 - P1 (28 P / C) : [36 ; 37,6]

Sachant que les valeurs de la production pratique de la machine CAF relatives aux trois produits calculées à partir du tableau ci-dessus sont des valeurs maximales, et les valeurs minimales nous ont été données par le responsable de production.

4.4.3 Formulation du Goal Programming avec Intervalle

Dans le tableau 4.9, nous retrouvons les intervalles où se situent les taux de production des deux machines ainsi la production programmée.

Tableau 4.9: Taux de production horaire des machines et production journalière programmée des fils

Produit P_i	Taux de production horaire de la machine		Objectif (production programmée)
	Classique (CAF)	Open End (OE)	
60 C/P	[3, 3.2]	[12, 12.7]	[127, 133]
20 C/C	[14, 15.3]	[60, 61.8]	[617, 625]
28 P/C	[7, 7.7]	[36, 37.6]	[386, 393]

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur les données du tableau 4.7 et 4.8 et des informations données par le responsable de production.

Les machines (CAF et OE) sont disponibles seulement 16 heures pour la fabrication des trois produits.

Dans ce contexte de production, nous cherchons à trouver le nombre d'heures que les deux machines doivent allouer à la production des trois sortes de fils P_i ($j= 1,2$, et 3) pour atteindre et réaliser le programme de production de l'atelier de filature.

Aux fins de la formulation, nous utilisons la notation suivante :

X_i : le temps alloué par la machine M_1 (CAF) pour la production des P_i ($i= 1,2$, et 3) ;

Y_i : le temps alloué par la machine M_2 (OE) pour la production des P_i ($i= 1,2$, et 3).

* Nous considérons deux situations distinctes où les valeurs des paramètres technologiques et des buts sont fixées comme suit :

1. Aux valeurs inférieures des intervalles respectifs (situation 1) ;
2. Aux valeurs supérieures des bornes relatives aux intervalles (situation 2) ;

L'objectif de l'entreprise est de réaliser le programme de la production des trois produits (fils) tout en respectant la capacité de production des machines, ainsi deux formulations peuvent être formulées pour chacune des deux situations.

Dans le cadre de la programmation par but (GP), Inuiguchi et Kume présentent 4 formulations du GP où les paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles, introduisant la soustraction nécessaire et la soustraction possible entre intervalles, soit réduire au minimum la borne inférieure (procédure de décision optimiste) ou réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision pessimiste).

- Dans notre étude, nous allons se contenter de deux formulations utilisant seulement la soustraction possible entre intervalles soit :
 1. Réduire au minimum la borne inférieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision optimiste) : « Pos-Low »
 2. Réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision pessimiste) : « Pos-Upp »

Utilisant les données du tableau 4.9, notre programme où les valeurs des paramètres technologiques et des buts sont définis par des intervalles s'écrit comme suit :

$$\sum_{j=1}^n C_{ij} x_j = t_i \quad (i=1,2,\dots,m),$$

Sujet à

$$c_{ij} \in C_{ij} \quad (i=1,2,\dots,m), (j=1,2,\dots,n),$$

$$t_i \in T_i \quad (i=1,2,\dots,m), (j=1,2,\dots,n),$$

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq b_k \quad (k=1,2,\dots,l),$$

$$x_j \geq 0 \quad (j=1,2,\dots,n),$$

$$c_1 x_1 + c_4 y_1 = t_1$$

$$c_2 x_2 + c_5 y_2 = t_2$$

$$c_3 x_3 + c_6 y_3 = t_3$$

Sujet à :

$$c_1 \in [3, 3.2], c_4 \in [12, 12.7], t_1 \in [127, 133],$$

$$c_2 \in [14, 15.3], c_5 \in [60, 61.8], t_2 \in [617, 625],$$

$$c_3 \in [7, 7.7], c_6 \in [36, 37.6], t_3 \in [386, 393],$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 16,$$

$$y_1 + y_2 + y_3 \leq 16,$$

$$x_i \geq 0, y_i \geq 0, \quad i=1,2,3$$

x_i : le temps alloué par la machine M_1 (CAF) pour la production des P_i ($i=1,2, \text{ et } 3$) ;

y_i : le temps alloué par la machine M_2 (OE) pour la production des P_i ($i=1,2, \text{ et } 3$).

* Pour obtenir les deux formulations selon le concept de la soustraction possible, il est nécessaire d'utiliser l'écart possible (-) entre les valeurs des buts et leurs valeurs objectives respectives.

4.4.3.1 Goal Programming avec Intervalle « Pos-Low »

Cette formulation du GPI nécessite de Réduire au minimum la borne inférieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision optimiste), qui est présentée comme suit :

$$\text{Min } \lambda \sum_{i=1}^m w_i (d_i^{L^-} - d_i^{U^+}) + (1-\lambda)v^L$$

Sujet à

$$\sum_{j=1}^n C_{ij}^u x_j + d_i^{L^-} - d_i^{L^+} = t_i^L \quad (i \in I),$$

$$\sum_{j=1}^n C_{ij}^L x_j + d_i^{U^-} - d_i^{U^+} = t_i^U \quad (i \in I),$$

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq b_k \quad (k \in K),$$

$$d_i^{L^-} + d_i^{U^+} \leq v^L \quad (i \in I),$$

$$\sum_{i=1}^m w_i = 1$$

En utilisant le logiciel Lindo, on résout le programme suivant :

$$\text{Min } \frac{1}{6} (d_1^{L^-} - d_1^{U^+} + d_2^{L^-} - d_2^{U^+} + d_3^{L^-} - d_3^{U^+}) + \frac{1}{2} v^L$$

Sujet à

$$3.2x_1 + 12.7y_1 + d_1^{L^-} - d_1^{L^+} = 127,$$

$$15.3x_2 + 61.8y_2 + d_2^{L^-} - d_2^{L^+} = 617,$$

$$7.7x_3 + 37.6y_3 + d_3^{L^-} - d_3^{L^+} = 386,$$

$$3x_1 + 12y_1 + d_1^{U^-} - d_1^{U^+} = 133,$$

$$14x_2 + 60y_2 + d_2^{U^-} - d_2^{U^+} = 625,$$

$$7x_3 + 36y_3 + d_3^{U^-} - d_3^{U^+} = 393,$$

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 16,$$

$$y_1 + y_2 + y_3 \leq 16,$$

$$d_1^{L^-} - d_1^{U^+} \leq v^L,$$

$$d_2^{L^-} - d_2^{U^+} \leq v^L,$$

$$d_3^{L^-} - d_3^{U^+} \leq v^L,$$

end

Avec :

$$\lambda = 1/2$$

$$w_i = 1/3$$

Les résultats sont :

Déviations négatives	Déviations positives	Variables de décision
$d_1^{L-} = 97.286827$	$d_1^{L+} = 0.000000$	X1= 9.285367
$d_2^{L-} = 0.000000$	$d_2^{L+} = 0.000000$	X2=6.714633
$d_3^{L-} = 97.286827$	$d_3^{L+} = 0.000000$	X3= 0.000000
$d_1^{U-} = 105.143898$	$d_1^{U+} = 0.000000$	y1= 0.000000
$d_2^{U-} = 31.707647$	$d_2^{U+} = 0.000000$	y2=8.321458
$d_3^{U-} = 116.572495$	$d_3^{U+} = 0.000000$	y3= 7.678542

4.4.3.2 Goal Programming avec Intervalle « Pos-Upp »

Cette formulation du GPI nécessite de Réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision pessimiste), qui est présentée comme suit :

$$\text{Min } \lambda \sum_{i=1}^m w_i v_i + (1-\lambda)v^U$$

Sujet à

$$\sum_{j=1}^n C_{ij}^U x_j + d_i^{L-} - d_i^{L+} = t_i^L$$

$$\sum_{j=1}^n C_{ij}^L x_j + d_i^{U-} - d_i^{U+} = t_i^U$$

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} x_j \leq b_k$$

$$d_i^{L+} \leq v_i, d_i^{U-} \leq v_i, v_i \leq v^U \quad (i \in I)$$

En utilisant le logiciel Lindo, on résout le programme suivant :

$$\begin{aligned} & \text{Min } \frac{1}{6}(v_1 + v_2 + v_3) + \frac{1}{2}v^U \\ & 3.2x_1 + 12.7y_1 + d_1^{L-} - d_1^{L+} = 127, \\ & 15.3x_2 + 61.8y_2 + d_2^{L-} - d_2^{L+} = 617, \\ & 7.7x_3 + 37.6y_3 + d_3^{L-} - d_3^{L+} = 386, \\ & 3x_1 + 12y_1 + d_1^{U-} - d_1^{U+} = 133, \\ & 14x_2 + 60y_2 + d_2^{U-} - d_2^{U+} = 625, \\ & 7x_3 + 36y_3 + d_3^{U-} - d_3^{U+} = 393, \\ & x_1 + x_2 + x_3 \leq 16, \\ & y_1 + y_2 + y_3 \leq 16, \\ & d_1^{L+} \leq v_1, d_1^{U-} \leq v_1, v_1 \leq v^U, \\ & d_2^{L+} \leq v_2, d_2^{U-} \leq v_2, v_2 \leq v^U, \\ & d_3^{L+} \leq v_3, d_3^{U-} \leq v_3, v_3 \leq v^U, \\ & \text{end} \end{aligned}$$

Les résultats sont :

Déviations négatives	Déviations positives	Variables de décision
$d_1^{L-} = 113.157898$	$d_1^{L+} = 7.322807$	X1= 6.614035
$d_2^{L-} = 0.000000$	$d_2^{L+} = 35.009647$	X2=9.385965
$d_3^{L-} = 93.720467$	$d_3^{L+} = 0.000000$	X3= 0.000000
$d_1^{U-} = 113.157898$	$d_1^{U+} = 0.000000$	y1= 0.000000
$d_2^{U-} = 0.000000$	$d_2^{U+} = 0.000000$	y2=8.226608
$d_3^{U-} = 113.157898$	$d_3^{U+} = 0.000000$	y3= 7.773392

✓ Calcul des déviations possibles D_i et de l'intervalle de pénalité possible $D(x)$

Les déviations possibles D_i , selon Inuiguchi et Kume se calculent de la manière suivante ⁽¹⁾:

$$D_i = [d_i^{L-} + d_i^{U+}, d_i^{L+} \vee d_i^{U-}]$$

- Dans le cas général, Inuiguchi et Kume estiment un intervalle de pénalité $D(x)$ à partir de la formule suivante ⁽²⁾:

$$D(x) = \lambda \sum_{i=1}^m w_i D_i^{(+)} + (1-\lambda) \sum_{i=1}^m w_i D_i^{(\vee)}$$

avec $D(x) = [d^L(x), d^U(x)]$

$$= [\lambda \sum_{i=1}^m w_i (d_i^{L-} + d_i^{U+}) + (1-\lambda) \sum_{i=1}^m w_i (d_i^{L-} + d_i^{U+}), \lambda \sum_{i=1}^m w_i (d_i^{L+} \vee d_i^{U-}) + (1-\lambda) \sum_{i=1}^m w_i (d_i^{L+} \vee d_i^{U-})]$$

$$D(x) = [\lambda \sum_{i=1}^m w_i (d_i^{L-} + d_i^{U+}) + (1-\lambda)v^L, \lambda \sum_{i=1}^m w_i v_i + (1-\lambda)v^U]$$

1. Calcul des déviations possibles D_i et de l'intervalle de pénalité possible $D(x)$ dans le programme « Pos-Low »

- $D_1 = [d_1^{L-} + d_1^{U+}, d_1^{L+} \vee d_1^{U-}]$
 $= [97.28 + 0, 0 \vee 105.14]$

$D_1 = [97.28, 105.14]$

- $D_2 = [d_2^{L-} + d_2^{U+}, d_2^{L+} \vee d_2^{U-}]$
 $= [0 + 0, 0 \vee 31.71]$

⁽¹⁾Inuiguchi, M. and Y. Kume, op.cit, p:350.

⁽²⁾Inuiguchi, M. and Y. Kume, op.cit, p:349.

$$D_2 = [0, 31.71]$$

$$\begin{aligned} \bullet D_3 &= [d_3^{L-} + d_3^{U+}, d_3^{L+} \vee d_3^{U-}] \\ &= [97.28 + 0, 0 \vee 116.57] \end{aligned}$$

$$D_3 = [97.28, 116.57].$$

* En utilisant les valeurs des déviations possibles D_i obtenues précédemment on peut calculer l'intervalle de pénalité $D(x)$

$$\begin{aligned} D_X &= \left[\lambda \sum_{i=1}^m w_i d_i^L + (1-\lambda) \bigvee_{i=1}^m d_i^L, \lambda \sum_{i=1}^m w_i d_i^U + (1-\lambda) \bigvee_{i=1}^m d_i^U \right] \\ &= 0.5 [0.33 \times 97.28 + 0.33 \times 0 + 0.33 \times 97.28] + 0.5 (97.28), 0.5 [0.33 \times 105.14 + 0.33 \\ &\quad \times 31.71 + 0.33 \times 116.57] + 0.5 (116.57) \end{aligned}$$

$$D_X = [80.74, 100.11]$$

2. Calcul des déviations possibles D_i et de l'intervalle de pénalité $D(x)$ dans le programme « Pos-Upp »

$$\begin{aligned} \bullet D_1 &= [d_1^{L-} + d_1^{U+}, d_1^{L+} \vee d_1^{U-}] \\ &= [113.16 + 0, 7.32 \vee 113.16] \end{aligned}$$

$$D_1 = 0$$

$$\begin{aligned} \bullet D_2 &= [d_2^{L-} + d_2^{U+}, d_2^{L+} \vee d_2^{U-}] \\ &= [0 + 0, 35 \vee 0] \end{aligned}$$

$$D_2 = [0, 35]$$

$$\begin{aligned} \bullet D_3 &= [d_3^{L-} + d_3^{U+}, d_3^{L+} \vee d_3^{U-}] \\ &= [93.72 + 0, 0 \vee 113.16] \end{aligned}$$

$$D_3 = [93.72, 113.16]$$

$$\bullet D_X = \left[\lambda \sum_{i=1}^m w_i d_i^L + (1-\lambda) \sum_{i=1}^m d_i^L, \lambda \sum_{i=1}^m w_i d_i^U + (1-\lambda) \sum_{i=1}^m d_i^U \right]$$

$$= 0.5 [0.16 \times 0 + 0.16 \times 0 + 0.16 \times 93.72] + 0.5 (97.72), 0.5 [0.16 \times 0 + 0.16 \times 35 + 0.16 \times 113.16] + 0.5 (113.16)$$

$$D_X = [54.36, 68.44]$$

4.4.3.3 Comparaison entre les deux formulations

Tableau 4.10: comparaison entre les résultats du programme Pos-Low et les résultats du programme Pos-Upp

Machine programme	Machine 1 « CAF »			Machine 2 « Open-End »		
	Variable Xi			Variable Yi		
	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃
Pos-Low	9.285367	6.714633	0.000000	0.000000	8.321458	7.678542
Pos-Upp	6.614035	9.385965	0.000000	0.000000	8.226608	7.773392

Source : conçu par l'étudiante.

Tableau 4.11: déviations possibles D_i et les intervalles de pénalité possible D(x)

programme	D ₁	D ₂	D ₃	D _X
Pos-Low	[97.28, 105.14]	[0, 31.71]	[97.28, 116.57]	[80.74, 100.11]
Pos-Upp	0	[0, 35]	[93.72, 113.16]	[54.36, 68.44]

Source : conçu par l'étudiante

- A partir des résultats obtenus dans le tableau 4.10, nous remarquons que dans les deux formulations aucun temps n'est alloué à la production du produit P₃ sur la machine M₁. Cela est aussi vrai pour le produit P₁ réalisé sur la machine M₂.
- De plus, ces formulations (Pos-Low, Pos-Upp) conduisent à des intervalles de pénalité différents où les déviations de la situation 1 sont plus pénalisées que les déviations de la situation 2 : $D(x)_{\text{Pos-Upp}} < D(x)_{\text{Pos-Low}}$

Donc il est souhaitable pour le décideur de suivre une procédure de décision pessimiste (Pos-Upp), ainsi les résultats de notre programme sont :

❖ Machine 1 (Continu A Filer) :

$$X_1 = 6.61,$$

$$X_2 = 9.38,$$

$$X_3 = 0.$$

Avec : X_i est le temps alloué par la machine M_1 pour la production des P_i ($i=1,2$, et 3).

❖ Machine 2 (Open-End) :

$$Y_1 = 0,$$

$$Y_2 = 8.23,$$

$$Y_3 = 7.77.$$

Avec :

Y_i est le temps alloué par la machine M_2 pour la production des P_i ($i=1,2$, et 3).

4.5 Evaluation de la performance de l'atelier de filature

Si la recherche de performance se limite à l'outil de production - d'une machine seule, l'indicateur le mieux adapté est le TRS (Taux de Rendement Synthétique).

Lorsqu'on parle de rendement synthétique, on se réfère à la production bonne réalisée, donc à la production utile, par rapport à la production maximum possible, qui est la production théorique correspondant à la totalité du temps d'ouverture

$$\begin{aligned} TRS &= \frac{\text{Production bonne réalisée}}{\text{Production maximum possible}} = \frac{\text{Production utile}}{\text{Production théorique}} \\ &= \frac{\text{Temps utile}}{\text{Temps d'ouverture}} \end{aligned}$$

- Dans l'atelier de filature de l'entreprise Denitex, les 2 machines à savoir CAF et Open-End ont des productions théoriques différentes.

Le taux de rendement synthétique de l'ensemble des machines est alors :

$$TRSE = \frac{Pu1 + Pu2 + \dots + \Sigma Pu_i}{P_{th1} + P_{th2} + \dots + \Sigma P_{thi}}$$

P_{ui} étant la production utile de la machine i ,

P_{thi} la production théorique de cette machine.

- Calcul de la production mensuelle réalisée (mois de novembre 2009)

Tableau 4.12 : Production réalisée en moi de novembre 2009

Produit	Production journalière réalisée par machine (Kg)		Nombre de jours ouvrables dans un mois	Production mensuelle réalisée (kg)
	Continu A Filer	Open-End		
60 C/P	16.32	48	22.5	1447.2
20 C/C	36.8	168.96	22.5	4629.6
28 P/C	32	320	22.5	7920
Total				13 996.8

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations obtenues du service de production de l'atelier de filature.

- Calcul de la production théorique mensuelle (mois de novembre 2009)

Tableau 4.13: Production théorique en mois de novembre 2009

Produit	Production théorique journalière	Nombre de jours ouvrables dans un mois	Production théorique mensuelle (kg)
60 C/P	133	22.5	2 992.5
20 C/C	625	22.5	14 062.5
28 P/C	393	22.5	8 842.5
Total			25 897.5

Source : conçu par l'étudiante en se basant sur des informations obtenues du service de production de l'atelier de filature.

Note : La production journalière théorique des trois produits est équivalente à la production programmée (maximale) par l'entreprise déjà citée dans le tableau 4.9.

- Calcul du taux de rendement synthétique de l'ensemble des machines

$$\begin{aligned}
 TRS &= \frac{\sum P_{ui}}{\sum P_{thi}} = \frac{P_{u1} + P_{u2}}{P_{th1} + P_{th2}} = \frac{\text{Production réalisée}}{\text{Production théorique}} \\
 &= \frac{[(16.32 + 36.8 + 32) \times 22.5] + [(48 + 168.96 + 320) \times 22.5]}{(133 + 625 + 393) \times 22.5}
 \end{aligned}$$

$$TRS = 54\%$$

- Le rendement synthétique des deux machines (Continu à filer, Open end) destinées à la production des trois sortes de fils ainsi mesuré est de l'ordre de 54%, cela signifie que ces machines ne fonctionnent pas à pleine capacité, et 56% représentent des pertes de rendement dus forcément aux :
 - Arrêts fonctionnels (control, entretien, outillage, changement d'articles,...)
 - Attentes dues aux à la logistique de maintenance
 - Arrêts induits (manques de pièces, manque d'énergie,...)
 - Arrêts non planifiés ; absentéisme, manque de personnel, panne mécanique, panne électrique,

Encore, ces équipements très anciens qui datent de la création de l'entreprise, il s'agit de la technologie à anneaux, d'où la nécessité de les renouveler.

4.6 Conclusion

A travers l'étude de cas réalisée au niveau de l'entreprise Denitex, notre objectif étant d'optimiser l'utilisation des équipements de l'atelier de filature, pour ce faire on a appliqué la méthode du goal programming avec intervalle où les paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles.

Pour atteindre et réaliser le programme de production de l'atelier de filature, on s'est servie de données et informations de chacune des directions de production et de maintenance à savoir les taux de production de la machine continu à filer et la machine open end, ainsi la production programmée pour les trois sortes de fils. A partir de ces données, on a essayé de formuler notre problème et le représenter dans un modèle mathématique pour le résoudre.

Pour ce faire, on a considéré deux situations distinctes où les valeurs des paramètres technologiques et les buts sont fixés comme suit :

1. Aux valeurs inférieures des intervalles respectifs (situation 1) ;
2. Aux valeurs supérieures des bornes relatives aux intervalles (situation 2) ;

Dans le cadre de la programmation par but, on a introduit la soustraction possible entre intervalles soit :

1. Réduire au minimum la borne inférieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision optimiste)
2. Réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision pessimiste).

A partir des résultats obtenus par ces deux dernières formulations, on a pu choisir la deuxième formulation, qui conduit à un intervalle de pénalité beaucoup plus inférieure que l'autre.

En dernier lieu, on a évalué le taux de rendement synthétique des équipements de filature qui était de l'ordre de 54%, cela signifie que ces machines ne fonctionnent pas à pleine capacité, et très anciennes datant de la création de l'entreprise, d'où la nécessité de les renouveler.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire essaye d'optimiser l'utilisation des équipements de production de l'atelier de filature au niveau de l'entreprise Denitex à Sebdou. Du fait que la bonne utilisation de ses équipements est un élément essentiel à sa performance, cette dernière étant le souci de toute entreprise, qui face à la concurrence, doit continuellement améliorer sa productivité. Elle y parvient par la mise en œuvre de matériels de plus en plus sophistiqués et de plus en plus coûteux.

Or la survie de toute organisation est liée à la capacité et l'expertise de ses gestionnaires à prendre les bonnes décisions, cependant ces facteurs restent insuffisants face à des situations décisionnelles complexes à l'heure actuelle.

Donc la prise de décision constitue l'activité principale des gestionnaires. En effet, ces derniers doivent souvent faire face dans l'exercice de leurs fonctions à des situations qui impliquent pour eux des activités de choix, de classement. Ceci passe indéniablement par la détermination d'objectifs et de prise de décisions œuvrant à leurs réalisations.

L'optimisation multi-objectif s'intéresse à la résolution de ce type de problèmes, qui permet au décideur de considérer simultanément, dans sa prise de décision plusieurs facteurs.

Une approche particulière pour l'optimisation multi-objectif est le goal programming (GP) « programmation par but », s'appliquant en général aux situations décisionnelles où plusieurs objectifs doivent être pris en compte dans la recherche de la solution la plus satisfaisante, il s'agit dans ce modèle (GP) de minimiser les déviations qui constituent les écarts enregistrés entre les degrés d'aspirations (buts) préalablement fixés par le décideur et les degrés de réalisation des objectifs.

Dans l'étude de cas, nous avons utilisé des informations et données de chacune des directions de production et de maintenance, or le responsable de production a soulevé la difficulté d'établir avec précision la valeur des buts associée à chaque objectif ainsi la valeur des paramètres technologiques, cette imprécision se traduit par des intervalles, d'où l'utilisation du Goal Programming avec Intervalle comme méthode afin d'optimiser l'utilisation des équipements destinés à la production des différents sortes de fils.

De plus les déviations par rapport à ces buts sont exprimées à l'aide de fonctions de pénalité linéaire, il s'agissait dans ce cas de minimiser l'intervalle de pénalité en utilisant la soustraction possible entre intervalles soit :

1. Réduire au minimum la borne inférieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision optimiste) connue sous le nom de « Pos-Low »
2. Réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité (procédure de décision pessimiste) connue sous le nom de « Pos-Upp »

A la lumière des résultats obtenus à l'aide de ces deux dernières formulations à savoir Pos-Low et Pos-Upp, nous avons opté pour les résultats de la deuxième formulation à savoir « Pos-Upp », qui propose un intervalle de pénalité beaucoup plus inférieur à celui de la première formulation.

En dernier lieu, nous avons évalué et mesuré la performance des équipements de fabrication des différents sortes de fils par le taux de rendement synthétique, qui était d'ordre de 54%, cela signifie que ces machines ne fonctionnent pas à pleine capacité, et 56% représentent des pertes de rendement dus forcément aux :

- Arrêts fonctionnels (control, entretien, outillage, changement d'articles,...)
- Attentes dues aux à la logistique de maintenance
- Arrêts induits (manques de pièces, manque d'énergie,...)
- Arrêts non planifiés ; absentéisme, manque de personnel, panne mécanique, panne électrique,
- à des mécanismes de dégradation dus aux conditions de fonctionnement et/ou d'environnement : usure, fatigue, vieillissement, altérations physico-chimiques diverses.

Encore ces équipement anciens datant de la création de l'entreprise, d'où la nécessité de les renouveler.

Le taux de rendement synthétique: indicateur de performance de productivité des équipements, permet donc d'obtenir une vision plus globale de l'outil de production et de ses performances. Il met l'accent sur la productivité des équipements, il permet aussi de savoir si l'outil de production fonctionne à sa pleine capacité.

Pour améliorer les performances de ces équipements et obtenir l'efficacité maximale, nous recommandons à l'entreprise de:

- Concevoir et/ou réaliser des équipements et installations performants et surs.

- Développer fortement la standardisation des équipements et des procédures : celle-ci porte à la fois sur la conception et l'exploitation des installations, sous forme d'exigences concernant, notamment, la partie électrotechnique et le contrôle commande des machines (automatisme et informatique industrielle).
- Optimiser la maintenance : la prévention des défaillances, l'entretien des machines, la performance des interventions de dépannage sont donc essentiels pour les entreprises, c'est pourquoi la maintenance doit tenir une place importante dans les activités de production industrielles.
- Créer un système d'information performant: les outils de traitement d'information jouent un rôle important pour l'amélioration des performances d'une installation, ceci n'est possible que si celles-ci sont connues, donc mesurées

En plus des mesures classiquement réalisées sur les unités de production (paramètres de fonctionnement des machines, quantités fabriquées, etc.), il est nécessaire de disposer d'indicateurs pertinents informant les exploitants en temps réels sur les diverses pertes diminuant le rendement, sur leurs causes, et leurs effets consolidés.

Cependant, malgré l'intérêt des résultats obtenus, notre recherche n'est pas dépourvue de limites susceptibles de permettre une meilleure appréciation de pistes de recherche nouvelles, nous proposons le point suivant:

- La limite de mesure par le TRS tient à ce que le TRS ne révèle pas combien de personnes ont été mobilisées pour atteindre ce niveau de performance, et du fait que la performance est la résultante du couple homme-machine, il faut intégrer donc l'impact du facteur humain dans la mesure du TRS.

Références générales

Références générales

- 1- Abbou, R., Contribution à la mise en œuvre d'une maintenance centralisée : Conception et optimisation d'un atelier de maintenance, Thèse de doctorat, Spécialité Automatique-Productique, Paris, 2003.
- 2- Agbodan, M. & F. Amoussougo, Les facteurs de performance de l'entreprise, éditions John Libbey Euratext, 1995.
- 3- Ait Hssain, A., Optimisation des flux de production : méthodes et outils pour la performance de votre supply chain, Dunod, 2^{ème} édition, Paris, 2005.
- 4- Amara, N. et R. Romain, Mesure de l'efficacité technique : Revue de la littérature, Centre de recherche en économie agroalimentaire, Université Laval, Québec, 2000.
- 5- Aouni, B., « le modèle de la programmation mathématique avec buts dans un environnement imprécis : sa formulation, sa résolution et une application », thèse de doctorat (PHD), Université Laval, Février 1998.
- 6- Aouni, B. and J.M. Martel, "Real Estate Estimation Through An Imprecise Goal Programming Model", ACIDCA Proceeding, 2000 (1-6).
- 7- Aouni, B. and O. Kettani, «Goal Programming Model: A Glorious History and a Promising Future», European Journal of Operational Research, Vol. 133, No. 2, 2001 (1-7).
- 8- Atkinson, E. Scott and C. Cornwell, "Estimation of Output and Input Technical Efficiency Using a Flexible Functional Form and Panel Data", Int. Econ. Rev. 35,1994 (245-255).
- 9- Baglin, G., et autres, Management industriel et Logistique : Conception et pilotage de la Supply Chain, Edition Economica, 4^{ème} édition, Paris, 2005.
- 10- Basseur, M., « Conception d'algorithmes coopératifs pour l'optimisation multiobjectifs : Application aux problèmes d'ordonnancement de type flow-shop », Mémoire de thèse, France, 2005.
- 11- Berrah, L., L'indicateur de performance : Concepts et Applications, Cépadués-Editions, France, 2002.
- 12- Berro, A., « Optimisation multiobjectif et stratégies d'évolution en environnement dynamique », thèse de doctorat, faculté des sciences sociales, université Toulouse I, 2001.
- 13- Biteau, R. S. Biteau, La maîtrise des flux industriels, Éditions d'Organisation, Paris, 2003.

- 14- Bonnefous, C. et A. Courtois, Indicateurs de performance, Hermès Sciences Publications, Paris, 2001.
- 15- Bouquin, S., « Temps Durs Et Dur Labeur Un Retour Critique Sur Les Modèles Productifs De L'ère Néolibérale », Université de Picardie Jules-Verne, 2008.
- 16- Bourguignon, A., "Peut-on définir la Performance?", Revue Française de Comptabilité, N° 269, 2005.
- 17- Bourrier, J., Guillot, J.M. & Lochere, G., "Mise en place d'un système d'indicateurs de performance", Revue Française de Gestion Industrielle, Vol. 17, No. 2, 1998.
- 18- Carlos, A., C. Coello, "An Empirical Study of Evolutionary Techniques for Multiobjective Optimization in Engineering Design", PHD these, Department of Computer Science, Tulane University, New Orleans, 1996.
- 19- Chabbert, D., « Trs Bien Mesurer Pour Mieux Produire », Synthèse du dossier n°108 du Pôle Productique, Rhône-Alpes, 2007.
- 20- Charnes, A. and W.W. Cooper, Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, Vols 1 & 2, John Wiley and Sons, New-York, 1961.
- 21- Crama, Y., Eléments de Gestion de la Production, Ecole d'Administration des Affaires, Université de Liège, France, 2003.
- 22- Dhaenens-Flipo, C., Optimisation Combinatoire Multiobjectifs : Apport des Méthodes Coopératives et Contribution à l'Extraction de Connaissances, Thèse de doctorat, faculté des Sciences et Technologies, Université de Lille, 2005.
- 23- Dhoub, D., H. Chabchoub, « un modèle d'évaluation hiérarchique de la performance des entreprises manufacturières », Laurentian University, 2006.
- 24- Epstein M., J.-F. Manzoni, « Implementing Corporate Strategy : From Tableaux de Bord to Balanced Scorecards », European Management Journal, Vol. 16, N° 2, April 1998.
- 25- Erschler, J., B. Grabot, Gestion de Production : Fonctions, techniques et outils, Hermès Science Publication, Paris.
- 26- Evans, G.W., «An Overview of Techniques for Solving Multiobjective Mathematical Programs», Management Science, Vol. 30, No. 11, 1984 (1268-1282).
- 27- Faure, R., B. Lemaire, C. Picoueau, Précis de recherche opérationnelle, 5^{ème} édition, Dunod, Paris, 2000.
- 28- Faure, R., J. L. Laurière, Fiabilité et renouvellement des équipements, Gautier-Villars Editeur, Paris, 1974.

- 29- Farrell, M. J., the Measurement of Productive Efficiency. *J. Roy. Stat. Soc., Séries A., General*, 120, Part 3, 1957.
- 30- Fonseca C. M., P. J. Fleming, "Genetic Algorithm Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization", In *Proceeding of the fifth international conference of genetic algorithms*, San Mateo, California, 1993 (416,423).
- 31- Garrett, C. A., J. Huang, M. N. Goltz, and G. B. Lamont, "Parallel real valued genetic algorithms for bioremediation of TCE-Contaminated groundwater. In congress on Evolutionary Computation (CEC'99), Washington, D.C USA, 1999 (2183 -2189).
- 32- Gillet-Goïnard, F., L. Maimi, *Toute fonction: Production*, Dunod, Paris, 2007.
- 33- Goldberg, D. E., "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning", Addison-Wesley, 1989.
- 34- Groupe de Réflexions et d'Orientation en Maintenance, *Réussir sa maintenance : éléments de réflexions*, Edition Mare Nostrum, Paris, 1996.
- 35- Haddad, B., *cours de gestion de la production*, centre de publication universitaire, Vol No 1, Tunisie, 2004.
- 36- Hannan, E.L., « On Fuzzy Goal Programming », *Decision Sciences* 12, (1981, a), 539-541.
- 37- Hwang, C. and A. Masud, "Multiple objective decision making - methods and applications". In *Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 164, Springer-Verlag, Berlin, 1979.
- 38- Ignizio, J. P., «Generalized Goal Programming», *Computers & Operations Research*, Vol. 10, No. 4, 1983 (277-289).
- 39- Ijiri, Y., *Management Goals and Accounting for Control*, Rand- McNally, Chicago , 1965.
- 40- Inuiguchi, M. and Y. Kume, «Goal Programming Problems with Interval Coefficients and Target Intervals», *European Journal of Operational Research*, Vol. 52, No. 3, 1991 (345-360).
- 41- John R. Canada, William G. Sullivan, John A. White, "Capital Investment Analysis For Engineering And Management", Prentice Hall, Second edition, United State Of America, 1996.
- 42- Kalvelagen, E., "Solving Multi-Objective Models With Gams", *Gams Development Corp.*, Washington DC, 2002 (1-19).
- 43- Kazi Tani Amal née Hssaïn, *La Modélisation des préférences du décideur dans le modèle du Goal Programming*, Thèse de Doctorat, 2007.

- 44-Kerr, S., « On the folly of rewarding A, while hoping for B », *Academy Of Management Journal*, 1975.
- 45-Koopmans, T., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph no 13, New York, 1957.
- 46-Kotler, P. et B. Dubois, *Le marketing Management*, 10^{ème} édition, Dunod, 2000.
- 47-Lambin, J.J et R. Peeters, *la Gestion marketing des entreprises*, La presse universitaire de France, 1977.
- 48-Lamy, P., *Probabilité de défaillance dangereuse d'un système : explications et exemples de calcul*, Institut National de Recherche et de Sécurité, Note Scientifique et Technique n° 225, 2002.
- 49- Lee, S. M. and D. L. Olson, "Goal Programming Formulation for a Comparative Analysis of Scalar Norms and Ordinal vs. Ratio Data", *INFOR*, Vol. 42, No. 3, 2004 (163,174).
- 50-Liker, J., *Le modèle Toyota : 14 principes qui feront la réussite de votre entreprise*, Edition Village Mondial, Paris, 2006.
- 51-Locteau, H., R. Raveaux, « Approximation de courbes par Algorithme Génétique Multi-Objectif », Laboratoire LITIS, Université de Rouen, France, 2007(1-6).
- 52-Lorino, P., *Comptes et Récits de la Performance*, Editions d'Organisations, Paris, 1995.
- 53-Lorino, P., *Méthodes et pratiques de la performance*, Edition d'Organisation, Paris, 2000.
- 54-Manoj Kumar.P.Vrat & R. Shanvar, « A Fuzzy Goal Programming approach for vendor selection problem in a supply chain », *Computer and Industrial Engineering*, Vol: 46, New Delhi, 2004.
- 55-Marmuse, C., *Performance*, Encyclopédie de gestion, Economica, tome 2,1997 (2195-2208).
- 56-Martel, J-M. and B. Aouni, «Diverse Imprecise Goal Programming Model Formulations», *Journal of Global Optimization*, Vol. 12, No. 2, 1998 (127-138).
- 57-Meunier, H., « Algorithmes évolutionnaires parallèles pour l'optimisation multi-objectif de réseaux de télécommunications mobiles », Thèse de doctorat, discipline : informatique, université des sciences et technologies, Lille, 2002.
- 58-Meunier, H. and E.-G. Talbi, *Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire multi-objectif*, In *Journées PM2O Programmation Mathématique Multi-objectif*, Valenciennes, 1999.

- 59-Meunier, H. and E.-G. Talbi, « Paysages de problèmes d'optimisation multi-objectifs et performances des métaheuristiques », Technical report, Rapport CNET (France Telecom), Belfort, Paris, 2000.
- 60-Molet, H., Systèmes de production et de logistique, Lavoisier, Paris, 2006.
- 61-Monchy, F., Maintenance : Méthodes et Organisations, édition Dunod, 2^{ème} édition, Paris, 2004.
- 62-Multiple Criteria and Goal Programming, Chapter 14, P 419.
- 63-Nanua, S., "Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing", Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Wayne State University, 1995.
- 64-Oliveira, C., C. Henggeler Antunes, « Multiple objective linear programming models with interval coefficients – an illustrated overview », European Journal of Operational Research, Vol. 181, Portugal, 2007 (1434–1463).
- 65-Othmani, I., « Optimisation Multicritère : Fondements et Concepts », Thèse de doctorat en recherche opérationnelle, Université Joseph Fourier, Grenoble, mai 1998.
- 66-Pareto, V., Cours d'Economie Politique. Rouge, Lausanne, Switzerland, 1896.
- 67-Peyrucat, J. F., Améliorer la disponibilité des installations, Mesures 725, Paris, 2000.
- 68-Plauchi, V., N. E. Sadi, Mesure et amélioration des performances industrielles, Fragments de cours, Office des Publications Universitaires, Université Pierre Mendès de Grenoble, France, 2006.
- 69-Pongpeng, J. and J. Liston, "A Multicriteria Model's Survey: State of The Art and Some Necessary Capabilities of Future Models", Construction Management and Economics, Vol.21, No. 7, 2003.
- 70-Ritzel B. and al, "Using Genetic Algorithms to Solve a Multiple Objective Groundwater Pollution Containment Problem", Water Resources Research, vol. 30, 1994 (1589-1603).
- 71-Rodier, J. P., Les systèmes de mesure de performance, Editions d'Organisation, Paris, 1999.
- 72-Romero, C., «A General Structure of Achievement Function for a Goal Programming Model», European Journal of Operational Research, Vol. 153, No. 3, 2004 (675- 686).
- 73-Romero, C., Handbook of Critical Issues in Goal Programming, Pergamon Press, Oxford, 1991.
- 74-Rotaru, A., Total Productive Maintenance Overview, University of Pitești, 2008.

- 75- Roux, M., T. Liu, Optimisez votre plate forme logistique : Calcul des dimensions, des temps, des coûts, Edition d'Organisation : Eyrolles, 3^{ème} édition, Deuxième tirage, Paris, 2008.
- 76- Salzman, C., "la recherche opérationnelle: Introduction à son application industrielle", Revue des statistiques appliqués, tome 2, n°1, 1957 (57-68).
- 77- Sandgren, E., Advances in design optimization. Chapman and Hall, Chapter Multicriteria design optimization by goal programming, 1994.
- 78- Savali H., et V. Zardet, Maîtriser les coûts et performances cachés, Economica, 4^{ème} édition, Paris, 2003.
- 79- Schaffer, J., "Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms". In Grefenstette, J., editor, ICGA Int. Conf. on Genetic Algorithms, Lawrence Erlbaum. 1985 (93-100).
- 80- Sénéchal, O., Pilotage des systèmes de production vers la performance globale, Habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambresis, 2004.
- 81- Smit K., W.H. Slaterus, Gestion de l'information pour le management de la maintenance, Edition Afnor, Paris, 1994.
- 82- Sourisse, C., F. Klaye, Management des moyens de production, Hermès Science Publication, Paris, 1999.
- 83- Tamiz, M., D.F. Jones and C. Romero, «Goal Programming for Decision-Making: An Overview of the Current State-of-the-Art», European Journal of Operational Research, Vol. 111, No. 3, 1998 (569-581).
- 84- Tamiz, M., D.F. Jones and E. El-Darzi, «A Review of Goal Programming and its Applications», Annals of Operations Research, Vol. 58, No. 1-4, 1995 (39-53).
- 85- Tyson R. Browning, Ralph D. Heath, "Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program", Journal of Operations Management, Vol. 27, United States, 2009 (23-44).
- 86- Villarmoio, O., « Le concept de performance et sa mesure: un état de l'art », Centre Lillois d'Analyse et de Recherche sur l'Evolution des Entreprises, UPRESA CNRS 8020, 2001.
- 87- Warnecke H.J., M. Hiiser, "Lean production", International Journal of Production Economics, Vol. 41, Elsevier, 1995 (37-43).
- 88- Zidi, K., « Système Interactif d'Aide au Déplacement Multimodal », Thèse de doctorat, Université des sciences et technologie, Lille, 2006.

89- Zimmerman, H.-J., "Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions, Fuzzy Sets and Systems 1, 1978 (45-55).

Site internet

- 1- www.euroforum.fr
- 2- www.cuvelier.mei.free.fr
- 3- http://fr.wikipedia.org/wiki/Taux_de_rendement_synthétique
- 4- <http://chohmann.free.fr/>
- 5- http://www.lysippe.com/IMG/pdf/Flux_de_valeur_V2.pdf
- 6- www.priceminister.com/.../Ayel-Le-Trs-Indicateur-De-La-Performance-Un-Guide-Pratique-A-L-usage-Des-Responsable
- 7- www.decitre.fr
- 8- http://www.lycee-odilon-redon.net/msma/maintenance/dr/mdm/dr_fiabilite.pdf

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1.1 : le triangle Stratégie/acteur/processus d'action	14
Figure 1.2: exemples d'indicateurs aux niveaux stratégique, tactique et opérationnel	18
Figure 1.3 : représentation schématique du progrès continu selon T. Ohno	29
Figure 1.4: Taux de rendement synthétique	35
Figure 1.5 : taux de performance, de qualité et rendement	36
Figure 1.6 : Disponibilité d'un ensemble de machines enchaînées	39
Figure 1.7: Les sources des pertes de rendement dans un processus de production	40
Figure 2.1 : L'efficacité économique	49
Figure 2.2: Principales causes de pertes d'efficacité	51
Figure 2.3 : Représentation d'un flux	52
Figure 2.4 : Le mécanisme du Kanban	55
Figure 2.5 : Points de déclenchement de production Kanban	56
Figure 2.6: Représentation de la sûreté d'un équipement de production	62
Figure 2.7: Evolution de la fiabilité dans le temps	64
Figure 2.8: Composantes de la disponibilité d'une machine indépendante	68
Figure 3.1 : Définition de E, F et f	79
Figure 3.2 : Espace convexe (à gauche) et non convexe (à droite)	80
Figure 3.3: La méthode ε -contrainte	86
Figure 3.4: Ordre lexicographique dans le cas bi-critères	87
Figure 3.5 : Forme triangulaire de la fonction d'appartenance	97
Figure 3.6 : Fonction de pénalité à 5 segments de forme U	98

Figure 3.7: Représentation des soustractions possibles et nécessaires	102
Figure 4.1 : Plan de masse du complexe DENITEX	115
Figure 4.2 : Organigramme de DENITEX	116
Figure 4.3 : Schéma technologique de la filature	119
Figure 4.4 : Schéma technologique du tissage	121
Figure 4.5 : Schéma technologique du finissage	122
Figure 4.6 : Processus de fabrication	124
Figure 4.7 : Processus de filature ordinaire	129
Figure 4.8 : Coupe transversale d'un poste de filage	130
Figure 4.9 : Processus de filage moderne « Open-End »	131

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Quelques exemples illustratifs de la notion d'indicateur de performance	15
Tableau 1.2 : Analyse des opérations d'un processus	25
Tableau 1.3: les trois grands types de production	27
Tableau 1.4: un nouveau contexte productique	28
Tableau 4.1 : Capacité de production – année 2009 -	113
Tableau 4.2: ensemble d'équipements dans l'atelier de filature	125
Tableau 4.3: ensemble d'équipements dans l'atelier de tissage	126
Tableau 4.4 : ensemble d'équipements dans l'atelier de finissage	127
Tableau 4.5: les étapes de la filature ordinaire	129
Tableau 4.6 : Liste des articles produits - Année 2009 –	133
Tableau 4.7 : Programme de production de l'atelier de filature ordinaire –Année 2009-	135
Tableau 4.8 : Programme de production de l'atelier de filature moderne –Année 2009-	137
Tableau 4.9: Taux de production horaire des machines et production journalière programmée des fils	138
Tableau 4.10: comparaison entre les résultats du programme Pos-Low et les résultats du programme Pos-Upp	146
Tableau 4.11: déviations possibles D_i et les intervalles de pénalité possible $D(x)$	146
Tableau 4.12 : Production réalisée en moi de novembre 2009	148
Tableau 4.13: Production théorique en mois de novembre 2009	148

Table des matières

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Introduction générale.....	4
----------------------------	---

Chapitre 1 : Performance des entreprises et production au plus juste

1.1) Introduction.....	10
1.2) Les indicateurs de performance.....	11
1.2.1 Le concept de performance.....	11
1.2.2 La notion d'indicateur de performance.....	12
1.2.3 Les indicateurs usuels.....	15
1.2.3.1 Les indicateurs fondés sur le triptyque coût- qualité-délai.....	15
1.2.3.2 Les indicateurs selon le niveau de pilotage	16
1.2.4 Les problèmes soulevés par les indicateurs de performance	20
1.3) La production au plus juste : un nouveau contexte productique	21
1.3.1 Introduction à la notion de productivité	21
1.3.1.1 Définition de la productivité	21
1.3.1.2 Les différentes voies pour gagner en productivité	22
1.3.2 La production au plus juste	27
1.3.2.1 Les idées majeures de la production au plus juste	28
1.3.2.2 Production au plus juste: les contradictions des nouvelles exigences...31	
1.4) L'approche globale des performances industrielles par le Taux de Rendement Synthétique	31
1.4.1 Rendement du système de production	32
1.4.1.1 Décomposition du taux de rendement synthétique	33
1.4.1.2 Calcul du taux de rendement synthétique	34
1.4.2 Rendement synthétique d'un ensemble de machines	37
1.4.2.1 Rendement synthétique d'un ensemble de machines indépendantes...37	
1.4.2.2 Rendement synthétique d'un ensemble de machines enchaînées.....38	
1.4.3 Les causes de pertes de rendement dans un processus de production	40
1.4.4 Amélioration du taux de rendement synthétique	42
1.5) Conclusion	43

Chapitre 2 : Efficacité et sûreté des moyens de production

2.1) Introduction	45
2.2) Efficacité économique des moyens de production	46
2.2.1 L'efficacité des installations	46
2.2.2 Les pertes d'efficacité des unités de production	49
2.3) La maîtrise des flux de production	52
2.3.1 Le flux et les notions associés	52
2.3.2 Objectifs de production et typologie des flux	53
2.3.2.1 Flux poussé	53
2.3.2.2 Flux tiré	53
2.3.3 Classification des processus de production en fonction des flux de produits...57	
2.3.3.1 Production en ligne	57
2.3.3.2 Job-shop, ou atelier	58
2.3.3.3 Production par lots (batch flow)	58
2.3.4 Comparaison entre les différents processus de production	59
2.4) La sûreté, volet incontournable de l'efficacité	61
2.4.1 La sûreté, une notion complexe	61
2.4.2 Fiabilité	62
2.4.3 Maintenabilité	65
2.4.3.1 Définitions	65
2.4.3.2 Différentes formes de maintenabilité	65
2.4.3.3 L'indicateur de maintenabilité	66
2.4.4 Disponibilité	67
2.4.4.1 Définitions et différentes formes de disponibilité	67
2.4.4.2 Approche mathématique de la disponibilité	71
2.4.4.2.1 Modélisation de la disponibilité instantanée	71
2.4.4.2.2 Composition des disponibilités asymptotiques	71
2.4.5 Sécurité	73
2.5) Conclusion	75

Chapitre 3: Principales méthodes de résolution de problèmes multi-objectifs

3.1) Introduction	77
3.2) Définitions	78
3.2.1 Problème multi-objectifs	78
3.2.2 Le vecteur idéal	79
3.2.3 Convexité	80
3.3) Classification des méthodes de résolution de problèmes multi-objectifs	81
3.3.1 Utilisateur	81
3.3.1.1 Les méthodes d'optimisation a priori	81
3.3.1.2 Les méthodes a posteriori	82
3.3.1.3 Les méthodes progressives ou interactives	82
3.3.2 Concepteur	82
3.3.2.1 approches basées sur la transformation du problème multi-objectifs en un problème uni-objectif	83
3.3.2.1.1 La méthode d'agrégation	83
3.3.2.1.2 La méthode ϵ -contrainte	84
3.3.2.1.3 La programmation avec buts « Goal programming ».....	87
3.3.2.2 Les méthodes non agrégées	88
3.3.2.3 Les méthodes Pareto	88
3.3.2.3.1 Optimum de Pareto	88
3.3.2.3.2 La notion de dominance	89
3.4) La programmation avec buts linéaire	89
3.4.1 Le goal programming standard	90
3.4.2 Les principales variantes du GP dans un environnement certain	92
3.4.2.1 Le goal programming pondéré	92
3.4.2.2 Le goal programming lexicographique.....	93
3.4.2.3 Le modèle du goal programming MinMax	94
3.4.3 Les principales variantes du goal programming dans un environnement incertain.....	95
3.4.3.1 Le modèle du goal programming flou	95
3.4.3.2 Le modèle du goal programming avec intervalle.....	97
3.4.3.2.1 Introduction à l'arithmétique par intervalle	99

3.4.3.2.2 Formulation du GPI (paramètres technologiques et les buts sont définis par des intervalles)	102
3.5) Conclusion	109

Chapitre 4 : Etude de cas au niveau de l'entreprise Denitex

4.1) Introduction	111
4.2) Présentation de l'entreprise Denitex	112
4.2.1 Introduction générale sur le complexe de Sebdou	112
4.2.2 Historique de l'entreprise	113
4.2.3 Activité du complexe	114
4.3) Processus de fabrication des tissus et principaux équipements de production	117
4.3.1 Processus de fabrication des tissus	117
4.3.1.1 La filature	117
4.3.1.1.1 Battage	117
4.3.1.1.2 Cardage	117
4.3.1.1.3 Etirage	118
4.3.1.1.4 Bobinage	118
4.3.1.2 Tissage	120
4.3.1.3 Finissage	121
4.3.2 Principaux équipements de production	125
4.3.2.1 Principaux équipements de production dans l'atelier de filature	125
4.3.2.2 Principaux équipements de production dans l'atelier de tissage	126
4.3.2.3 Principaux équipements de production dans l'atelier de finissage	127
4.3.3 La chaîne des procédés de fabrication du fil	127
4.3.3.1 La filature ordinaire	128
4.3.3.2 Le processus de filage moderne « Open-End »	129
4.4) Optimisation de l'utilisation des équipements de l'atelier de filature utilisant le goal programming avec intervalle	132
4.4.1 Choix d'articles pour étude	133
4.4.2 Programme de production de l'atelier de filature	134
4.4.2.1 Programme de production de l'atelier de filature ordinaire	134
4.4.2.2 Programme de production de l'atelier de filature moderne	136
4.4.3 Formulation du goal programming avec intervalle	138

4.4.3.1 Goal Programming avec Intervalle « Pos-Low »	140
4.4.3.2 Goal Programming avec Intervalle « Pos-Upp »	142
4.4.3.3 Comparaison entre les deux formulations	146
4.5) Evaluation de la performance de l'atelier de filature	147
4.6) Conclusion	150
Conclusion générale	152
Références générales	156
Liste des figures	164
Liste des tableaux	167

Résumé

La performance a toujours été au cœur des préoccupations de plusieurs chercheurs aussi bien en économie qu'en gestion. Si la recherche de performance se limite à l'outil de production, à l'atelier ou le site de production, l'indicateur le mieux adapté est le taux de rendement synthétique, permettant d'obtenir une vision plus globale de l'outil de production et de ses performances.

Le but de notre recherche est donc d'optimiser l'utilisation d'un ensemble d'équipements destinés à la production de différents articles, ainsi on est confronté à un problème d'optimisation multi-objectif.

Dans la partie pratique, le modèle de la programmation mathématique avec buts (« Goal Programming ») a été proposé pour résoudre ce type de problème. Il a été appliqué dans un contexte où les valeurs des coefficients et buts sont définis par intervalles. Nous utiliserons le concept de fonction de pénalité, il s'agit de minimiser l'intervalle de pénalité en utilisant la soustraction possible entre intervalles, soit réduire au minimum la borne inférieure ou réduire au minimum la borne supérieure de l'intervalle de pénalité.

Mots-clés : Performance, outil de production, Taux de Rendement Synthétique, Optimisation Multi-Objectifs, Programmation mathématique avec buts.

Abstract

Performance has always been in the heart of many researchers' preoccupations, both in economics and in management. If the search for performance is limited to the production tool, the workshop or the production site, the most appropriate indicator is the Overall Equipment Effectiveness which helps to get an overview of the production tool and its performances.

The aim of our research work is, therefore, to optimize the use of a number of equipments for the production of different items ; here, we are confronted with a problem of multi-objective optimization.

In the practical part, the Goal Programming (GP) model has been proposed to solve this type of problem. It has been applied in a context where the coefficients and the target values have been defined at intervals. We shall use the concept of regret function, in which the regret interval is minimized by using the possible subtraction between the intervals, either minimize the lower bound or minimize the upper bound of the regret interval.

Key Words: Performance, production tool, Overall Equipment Effectiveness, Multi-Objective Optimization, Goal Programming.

ملخص

قد كانت مسألة الأداء دوماً في صميم اشتغالات الباحثين في حقل الاقتصاد والتسيير على حد سواء. وإذا كان الأداء متحصراً في وسائل الإنتاج، الورشة أو مكان العمل، فإن أنسب مؤشر له يتمثل في معدل المردودية المركب الذي يتيح إمكانية الوصول على نظرة شاملة لوسائل الإنتاج وأدائها.

إن الهدف المتوخى من هذه الدراسة يتمثل في تعظيم استخدام جملة التجهيزات المعدة لإنتاج مختلف المنتجات، وهو الأمر الذي يشكل أساس مشكلة تعظيم متعدد الأهداف.

في الجانب التطبيقي من الدراسة تم تبني نموذج البرمجة بالأهداف قصد حل هذه المشكلة، حيث تم تطبيقه في الحالة التي تكون فيها قيم المعاملات والأهداف محددة في شكل مجالات. في هذا السياق، سيتم استعمال دالة الجزاء التي من خلالها يتم تقليص مجال الجزاء وذلك بالتجوز إلى عملية الطرح ما بين المجالات، إما بتقليص الحد الأدنى إلى أقل مستوى ممكن أو تقليص الحد الأعلى أيضاً إلى أقل مستوى ممكن لمجال الجزاء.

الكلمات المفتاحية: الأداء، وسائل الإنتاج، معدل المردودية المركب، التعظيم متعدد الأهداف، نموذج البرمجة بالأهداف.