

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار –
عنابة

Faculté : Science de l'ingénierie
Département : Electromécanique
Domaine : Science et techniques
Filière : Electromécanique
Spécialité : Maintenance industrielle

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

GESTION DE LA PRODUCTION PAR LA METHODE KANBAN

APPLICATION : LIGNE DE PRODUCTION DES TOLES

UNITE : LAMINOIR A CHAUD « LAC »

ENTREPRISE : SIDER –ANNABA-

Présenté par : *FADEL KHALID*

Encadrant : *KHALFA.D*

Grade : *MCB*

Université : *BADJI MOKHTAR - Annaba*

Jury de Soutenance :

<i>RACHDI Mohamed .F</i>	<i>MCA</i>	<i>Unv. BADJI MOKHTAR - Annaba-</i>	<i>Président</i>
<i>KHALFA DALILA</i>	<i>MCB</i>	<i>Unv. BADJI MOKHTAR - Annaba -</i>	<i>Encadrant</i>
<i>KERFALI SAMIR</i>	<i>MCB</i>	<i>Unv. BADJI MOKHTAR - Annaba -</i>	<i>Examineur</i>

Année Universitaire : 2019/2020





« C'est du travail et de la persévérance dont résulte la réussite ».

Résumé

Le marché industriel requiert une production de qualité à des prix compétitifs, comme c'est le cas dans l'industrie sidérurgique du fer de l'entreprise SIDER Annaba. L'impact de l'organisation sur la productivité est un phénomène complexe et la maîtrise de ce phénomène constitue toujours une avancée pour les industriels.

L'objectif de ce mémoire est de proposer une méthode de gestion des flux de production au niveau de l'unité laminoir à chaud « LAC » SIDER Annaba. Le processus de planification de production proposé dans notre étude est inspiré de la démarche KANBAN dans le contexte de la philosophie juste -a- temps.

Abstract

The industrial market demands quality production at competitive prices, as is the case in the iron and steel industry of SIDER Annaba. The impact of the organization on productivity is a complex phenomenon and controlling this phenomenon is always a step forward for manufacturers. The objective of this thesis is to propose a method for managing production flows at the "LAC" SIDER Annaba hot rolling mill unit. The production planning process proposed in our study is inspired by the KANBAN approach in the context of the just-in-time philosophy.

ملخص

يتطلب السوق الصناعي إنتاجًا عالي الجودة وبأسعار تنافسية ، كما هو الحال في صناعة الحديد والصلب في سيدر عنابة. يعد تأثير المنظمة على الإنتاجية ظاهرة معقدة والتحكم في هذه الظاهرة دائمًا ما يكون خطوة للأمام بالنسبة للمصنعين.

الهدف من هذه الرسالة هو اقتراح طريقة لإدارة تدفقات الإنتاج في وحدة مطحنة الدرفلة على الساخن " LAC" SIDER Annaba. إن عملية تخطيط الإنتاج المقترحة في دراستنا مستوحاة من نهج KANBAN في سياق فلسفة Just in-time.

Sommaire

Résumé

Abstract

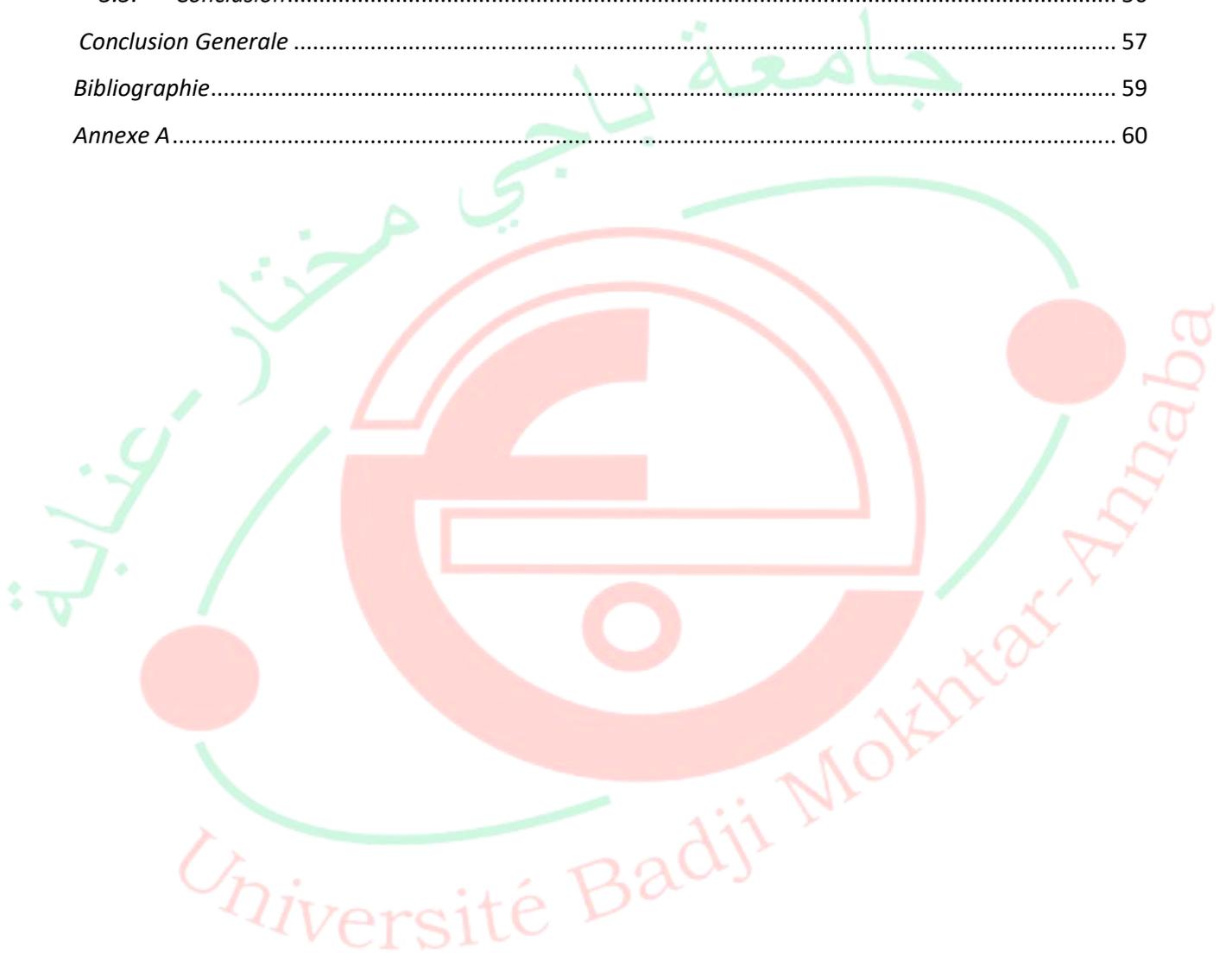
ملخص

Liste des figures

Remerciements

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1. Organisation de la production	4
1.1. Introduction	5
1.2. L'organisation de la production.....	5
1.2.1. Typologie des ateliers de production.....	5
1.2.2. Modes d'organisation de la gestion des flux.....	5
1.3. Modes de gestion des stocks	6
1.4. Méthode et outils d'organisation de la production.....	6
1.4.1. Organisation par planification « la méthode MRP ».....	6
1.4.2. Organisation par le juste à temps (JAT).....	11
1.4.3. La gestion par les contraintes (La théorie des contraintes TOC).....	17
1.5. Conclusion.....	22
Chapitre 2. Planification de la production par la méthode Kanban	23
2.1. Introduction	24
2.2. Définition du KANBAN	24
2.3. Les origines du système KANBAN	25
2.4. Les objectifs	26
2.5. KANBAN « Un système de gestion de production « Tiré »	27
2.6. Pilotage d'un atelier par KANBAN	29
2.7. Les cartes KANBAN	29
2.8. Règles d'utilisation de la carte KANBAN.....	32
2.9. Le mode de circulation du KANBAN.....	33
2.10. Le nombre KANBAN	35
2.11. Méthodologie	36
2.12. Les conditions nécessaires au bon fonctionnement du KANBAN.....	37
2.13. Conclusion.....	38
Chapitre 3. Mise en place de la méthode Kanban	39
3.1. Introduction	40
3.2. Cycles de fabrication de la brame jusqu'au produit final (Tôle) :	40
3.2.1. Acierie à oxygène n° 1.....	40

3.2.2.	Laminoir à chaud LAC	41
3.2.3.	Les installations de l'unité laminoir à chaud	41
A.	Trois fours poussant	41
3.2.4.	Unité de laminoir à froid « LAF »	43
3.3.	Mise en place de la méthode KANBAN	47
3.3.1.	Méthodologie	47
3.3.2.	Calcul du nombre de Kanban	47
3.4.	Comparaison entre le modèle existant et le modèle KANBAN	54
3.5.	Conclusion.....	56
	Conclusion Generale	57
	Bibliographie.....	59
	Annexe A.....	60



Liste des figures

Chapitre 1. Organisation de la production

Figure 1. 1. Architecture générale d'un système MRP	11
Figure 1. 2. Flux Kanban	12
Figure 1. 3. L'étiquette Kanban	13
Figure 1. 4. Planning des kanbans (sans priorité)	14
Figure 1. 5. Fonctionnement du système simple Kanban ou simple boucle	15
Figure 1. 6. Fonctionnement du système à double Kanban	16
Figure 1. 7. Technique de pilotage des flux de production dite « tambour – Tampon – Corde »	21

Chapitre II. Planification de la production par la méthode Kanban

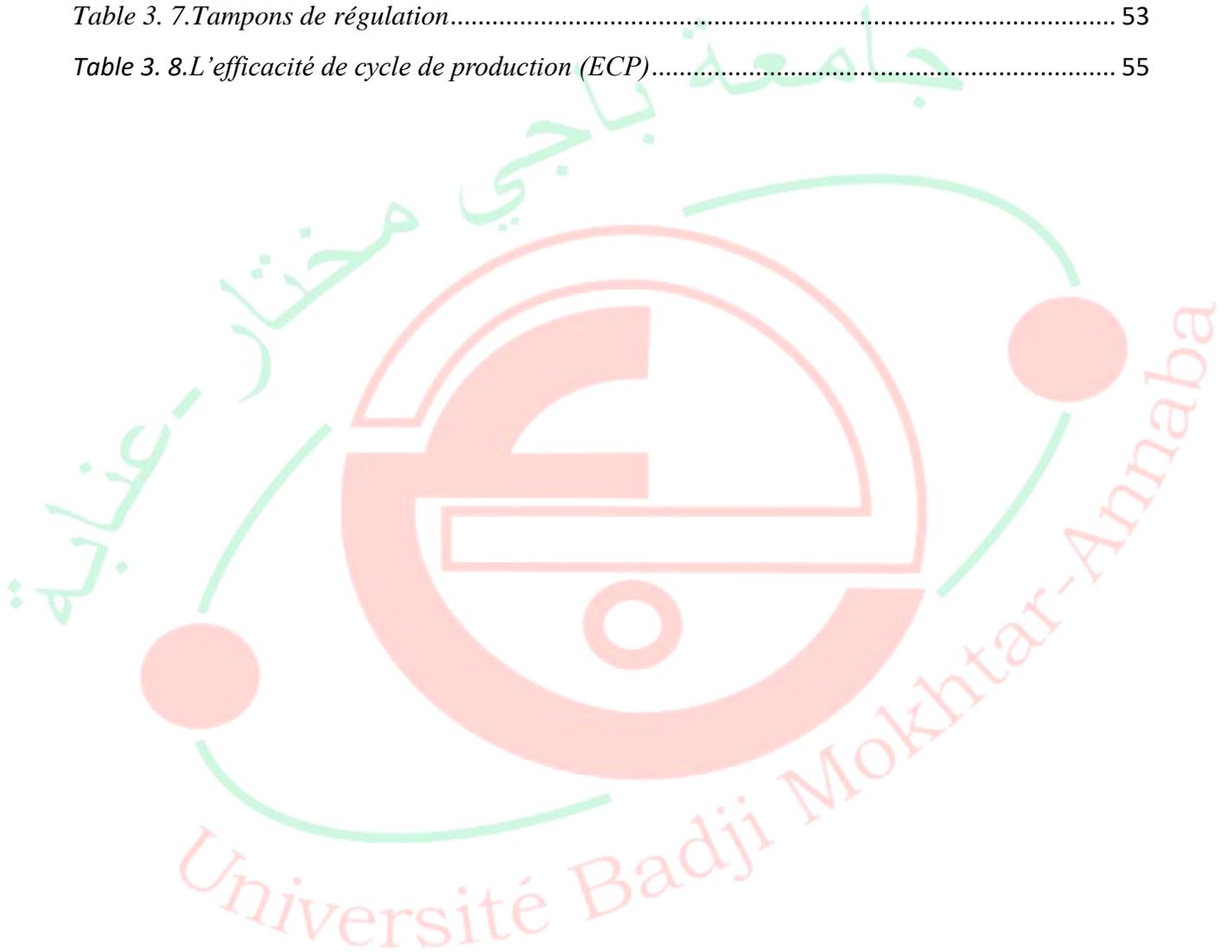
Figure 2. 1. Système « poussé »	27
Figure 2. 2. Système tiré.....	28
Figure 2. 3. Classification de la production discrète.....	29
Figure 2. 4. Carte de Transfert	30
Figure 2. 5. Boucle de Transfert	31
Figure 2. 6. Carte de Production	31
Figure 2. 7. Boucle de Production	32
Figure 2. 8. Schéma de principe de circulation des KANBANS.....	34
Figure 2. 9. Présentation d'un Tableau KANBAN.....	36

Chapitre III. Mise en place de la méthode Kanban

Figure 3. 1. La brame	41
Figure 3. 2. Laminoir à chaud LAC.....	41
Figure 3. 3. Four N°1.....	42
Figure 3. 4. Laminoir Tandem à 5 Cages	43
Figure 3. 5. Diagramme schématique du flux et des réductions par cages	45
Figure 3. 6. Cycle de fabrication d'une tôle	46
Figure 3. 7. Planning d'ordonnancement pour le poste de fabrication des tôles	53

Liste des tableaux

<i>Table 3. 1. Cadence moyenne des postes</i>	48
<i>Table 3. 2. La durée d'écoulement au poste aval.....</i>	49
<i>Table 3. 3. Le lot de fabrication et la durée de fabrication</i>	49
<i>Table 3. 4. Le temps de réglage et le temps d'attente planning.....</i>	50
<i>Table 3. 5. L'en-cours mini et la marge pour réagir</i>	51
<i>Table 3. 6. Tampons de régulation.....</i>	51
<i>Table 3. 7. Tampons de régulation.....</i>	53
<i>Table 3. 8. L'efficacité de cycle de production (ECP).....</i>	55



DIDIGRES

Je dédie ce travail qui n'aura jamais pu voir le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite de mes chers parents qui ne cessent de me donner avec amour le nécessaire pour que je puisse arriver à ce que je suis aujourd'hui.

Je dédie aussi ce travail à :

- Ma sœur, mes frères et toute la famille.*
- Tous mes amis, mes collègues et tous ceux qui m'estiment.*



Remerciements

Tout d'abord, nous rendons nos profondes gratitudee au bon Dieu le tout Puissant de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail, également nous remercions infiniment nos parents, qui m'ont encouragé et aidé à arriver à ce stade de ma formation.

Je tiens à remercier **Mr M.F. Rachdi**, pour avoir accepté de présider le jury de ma soutenance

Je tien aussi a exprimé ma gratitude aux membres du jury notamment **Mr S. Kerfali** pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

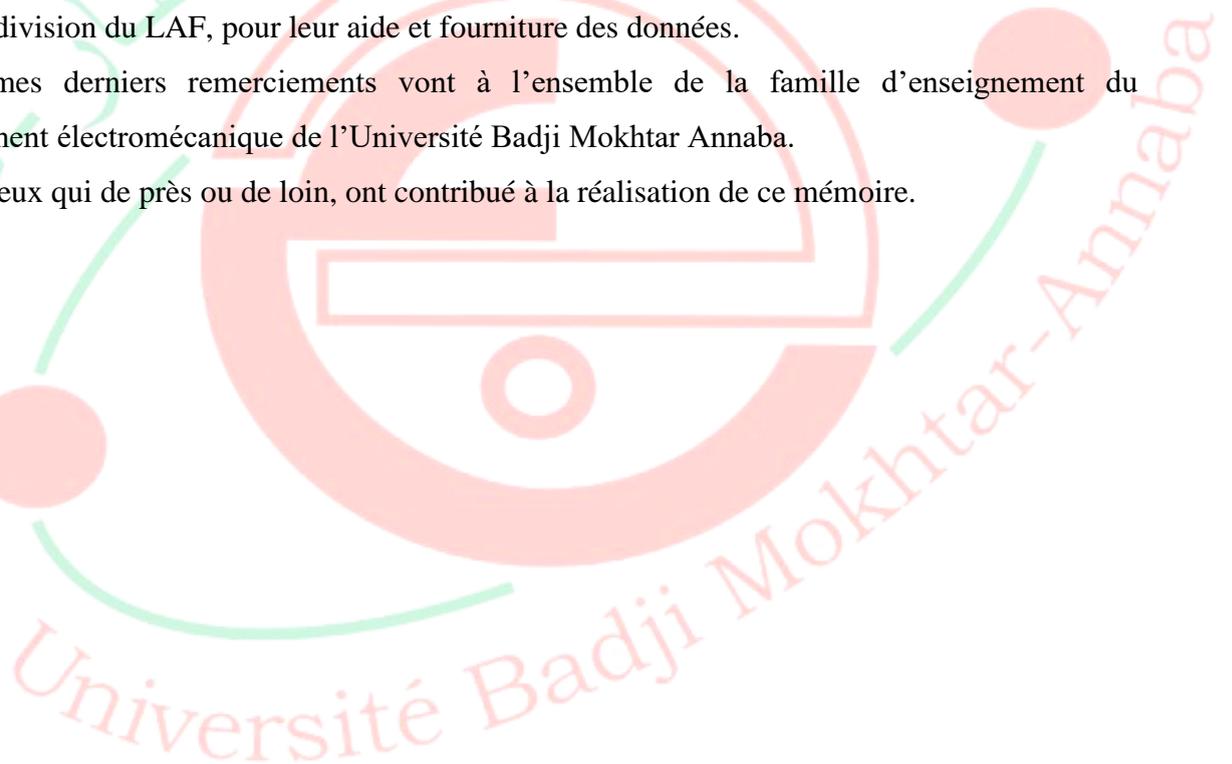
Je tiens à exprimer mon remerciement et ma gratitude à ma directrice de mémoire: M^{dame} **D.Khalfa** qui m'a aidé pour rendre ce travail effectif.

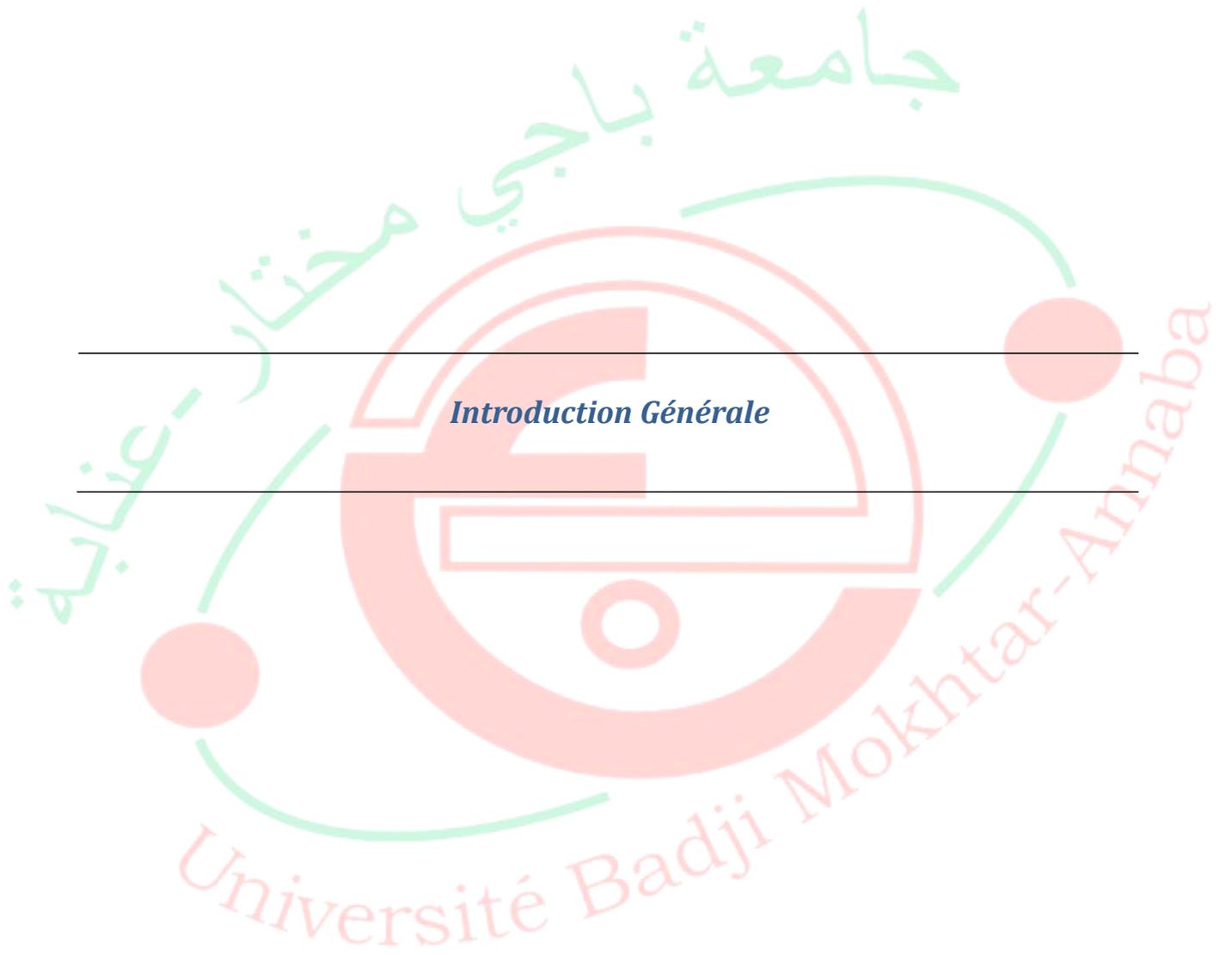
Nous tenons à remercier tous les membres administratifs pour l'effort qu'ils nous ont fourni au cours du parcours.

J'exprime, également, mes profondes gratitudee à tous les personnels de l'entreprise SIDER El Hadjar, division du LAF, pour leur aide et fourniture des données.

Enfin, mes derniers remerciements vont à l'ensemble de la famille d'enseignement du département électromécanique de l'Université Badji Mokhtar Annaba.

A tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.





Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Pendant les tarentes glorieuses années (1945-1975), les marchés étaient ouverts. Il fallait produire beaucoup pour satisfaire des besoins nombreux et variés. Les équipements étaient rares et coûteux, il fallait donc les faire travailler au maximum de leur capacité. Les grands industries permettaient de hauts rendements et favorisait le travail en grande série, il fallait alimenter les stocks commerciaux. Le maître mot de l'entreprise était ***produire pour vendre***.

De nos jours, les données ont changé. L'entreprise doit vendre puis produire. Elle ne peut plus se permettre de stocker des produits non vendus. Il faut s'orienter vers le travail à la commande. En effet beaucoup de marchés sont saturés particulièrement en mécanique où L'offre y est souvent supérieure à la demande.

Face à ces nouvelles exigences, la compétitivité d'une entreprise ne se fonde plus seulement sur son potentiel productif, mais avant tout sur la qualité de ses produits, sur la performance de l'organisation de son système de production et sur le service rendu à la clientèle.

Le client veut le juste nécessaire avec Zéro défaut et Zéro délai. La gestion doit être rigoureuse et en particulier doit rechercher le Zéro stock et le Zéro retard.

Pour ce faire, tous les services de l'entreprise sont désormais concernés. Ainsi la priorité est donnée au pilotage du système de production par aval grâce au modèle KANBAN avec sa philosophie du juste -a- temps.

Dans ce contexte, l'entreprise algérienne comme toute autre entreprise doit se maintenir sur un marché de plus en plus compétitif. Aussi elle doit produire mieux en termes de qualité et de quantité, dans les meilleures conditions, et pour cela, il est indispensable d'assurer une disponibilité totale et une bonne fiabilité des équipements de production. Ceci n'est possible que si l'analyse ou la conception des systèmes de production se basent sur l'application de méthodes scientifiques.

De nombreux travaux ont été abordés sur le thème de la gestion de production pour l'évaluation des performances de différents types de systèmes de production. Ces études sont particulièrement utiles au moment où il faut comparer de très nombreuses configurations afin de déterminer celles qui réalisent le meilleur compromis entre performance et définition.

Le travail présenté dans ce mémoire est l'une des approches des travaux du groupe MEI « ***Gestion Industrielle et Logistique*** ». Notre choix est porté sur KANBAN comme méthode de gestion de production. L'objectif de cette étude est en effet:

L'amélioration de la gestion d'un système de production, avec le dilemme : la limitation de la taille des stocks est un des principaux enjeux de la gestion, cependant ces stocks sont indispensables à la bonne satisfaction des demandes.

Lorsque la commande n'est pas réalisée à temps suite à un stock vide, il s'ensuit souvent une coûteuse perte de clientèle et l'inverse un stock plein est suivi d'un coûteux stockage. Afin d'atteindre cet objectif, notre travail est divisé en trois chapitres.

Chapitre I : est une présentation des concepts fondamentaux de l'organisation de la production. Nous étudierons dans ce chapitre l'importance du pilotage des flux et les différentes méthodes et outils d'organisation de la production.

Chapitre II : est consacré à la présentation des principes de la planification de la production et les principaux outils liés à cette approche, on s'intéresse dans cette partie à la méthode Kanban.

Chapitre III : expose la partie mise en œuvre. C'est une partie pratique dont la finalité consiste à mettre en place les outils KANBAN

- Nous commencerons cette partie par la présentation de la fiche technique de l'entreprise cible dans notre cas ; on a choisie l'entreprise sidérurgique SIDER-ANNABA-
- Après, nous essayerons d'appliquer un des outils du J-A-T (c'est la méthode KANBAN)

Un récapitulatif des différents résultats obtenus et des perspectives fait l'objet de la conclusion générale de ce travail.



Chapitre 1. Organisation de la production

Comme le système industriel étudié est une ligne de production, ce chapitre présente des généralités sur les lignes de production, leur conduite et leur classification, ainsi que des solutions aux problèmes d'opération des lignes de transfert qui font l'objet de notre étude.

1.1. Introduction

Les objectifs de la production deviennent plus complexes : productivité, qualité et flexibilité. Dans ce contexte, la pertinence de l'organisation de la production apparaît comme un facteur de compétitivité aussi important que la technologie elle-même.

Les objectifs de cette première partie du management de la production consistent à gérer et à piloter les flux, de définir ce qu'est la fonction de production, de la situer dans l'entreprise et d'analyser son évolution dans le temps. La production est étudiée ici en esprit dynamique. Elle est indissociable du contexte économique et technologique dans lequel elle s'inscrit et qui suscite son évolution.[1]

1.2. L'organisation de la production

1.2.1. Typologie des ateliers de production

Il existe plusieurs types d'ateliers de production :

- l'atelier à postes de charge (machines ou postes de travail manuel) isolés, en anglais *jobshop* ; la production y est discontinue ; certains postes peuvent être regroupés en îlots. (voir : Technologie de groupe),
- l'atelier à flux continu, en anglais *flowshop*, dont les postes sont mis en ligne (chaîne),
- l'atelier ou la cellule flexible, à production discontinue, dont les transferts entre postes sont automatisés.

1.2.2. Modes d'organisation de la gestion des flux

Plusieurs types de gestion des flux sont pratiqués :

A. flux poussés

Lorsqu'une étape de la production d'un produit est terminée, le produit est « poussé » vers l'étape suivante. C'est la disponibilité du produit venant de l'amont qui déclenche l'étape suivante de fabrication. Cette méthode de production implique le stockage des produits finis avant leur commercialisation. Par exemple, l'industrie sucrière n'est pas

maîtresse des périodes de récolte des betteraves, qui, par ailleurs, consomment leur sucre une fois récoltées. Il faut donc les transformer au fur et à mesure de leur disponibilité et stocker le sucre, sans se préoccuper des ventes.

B. flux tirés

Le déclenchement d'une étape de fabrication d'un produit ne peut se faire que s'il y a une demande par l'étape suivante.

La méthode kanban : méthode de gestion des réapprovisionnements des épiceries, dont l'application à la production industrielle, notoirement d'origine japonaise, consiste à créer un circuit d'étiquettes (kanbans), les unes accompagnant les conteneurs des produits gérés, les autres s'accumulant sur un tableau jusqu'au déclenchement du réapprovisionnement. Avec la méthode kanban, c'est l'aval (le client) qui commande l'amont (le fournisseur).[2,3,4]

C. flux tendus

Le travail en flux tendu est équivalent au travail avec le minimum de stocks et d'en-cours. Souvent employée dans le cas de flux tirés, l'expression est synonyme de « mise en ligne » et peut tout aussi bien s'appliquer aux flux poussés qu'aux flux tirés.[5]

1.3. Modes de gestion des stocks

Les modes de gestion des stocks peuvent se classer en trois grandes catégories :

- production sur stock, à partir d'un seuil, ou quantité minimum de réapprovisionnement,
- production juste à temps, type kanban, en appel par l'aval,
- production à la demande, sur commande.

1.4. Méthode et outils d'organisation de la production

Les méthodes d'organisation et de gestion de la production ont à l'origine privilégiée une logique de gestion plutôt qu'une autre. Parmi les plus célèbres, citons : « gérer par une planification » pour la méthode **MRP**, « gérer en JAT » pour la méthode **KANBAN**, et « gérer par les contraintes » pour la méthode **OPT**.

1.4.1. Organisation par planification « la méthode MRP »

1.4.1.1. Définition

Est une technique de gestion industrielle qui répond aux objectifs suivants :

- Donner au client le meilleur service
- Définir un programme de production
- Réaliser au mieux l'adéquation charge / capacité résultant de ce programmes de production
- Tenir les délais
- Maîtriser les coûts de production

1.4.1.2. *Le fonctionnement globale d'un système MRP*

Le concept MRP est né de la mise en évidence par **Joseph Orlicky** des deux types fondamentaux de besoins.[6,7,8]

- **Les besoins indépendants** : ils forment la frontière entre l'entreprise et le monde extérieur, ils sont principalement constitués par les commandes en produits finis et pièce de rechanges. Ils ne peuvent être que estimés ou prévus.
- **Les besoins dépendants** : ils sont générés par les besoins indépendants, ils sont le résultat du calcul par la décomposition des produits finis en sous-ensembles, pièce, matières. Ce calcul des besoins dépendants est le moteur des systèmes MRP, ces besoins peuvent et doivent être calculés.

Grossièrement, cette méthode permet notamment de déterminer :

- Les quantités exactes de tous les composants à fabriquer afin d'obtenir les produits finis (appelés ordres de fabrication OF) ;
- Les quantités exactes de tous les composants à commander auprès de fournisseurs (appelés ordres d'achat OA) ;
- Les plans de charge des ateliers de fabrication.

Mais avant d'étudier la façon dont on obtient ces informations, il est indispensable de présenter les niveaux de décision et de planification en MRP, qui sont :

- Elaboration du plan industriel et commercial PIC
- Elaboration du plan directeur de production DPD
- Calcule des besoins nets CBN
- Le pilotage du court terme (gestion d'atelier et d'achat).

A. Le PIC

Le PIC, appelé parfois plan de production, est la traduction chiffrée de la stratégie globale de l'entreprise, puisque toute entreprise a besoin d'un minimum de connaissances sur le niveau de son activité future. Le PIC exprime les ventes connues et

espérées des familles de produits, ainsi que la production et les stocks, disponibles et disponibles prévisionnelles, de ces familles. Son utilité est justifiée par le fait que les prévisions de ventes par familles de produits sont plus faciles à établir que celles sur les produits eux-mêmes.

Le PIC est habituellement réalisé par la direction générale et financière de l'entreprise en étroite collaboration avec les directions du marketing, de la production et des achats. Il est annuel ou semestriel, et périodiquement révisé afin d'intégrer les dernières informations disponibles, dans ce cas on parle de « plan glissant ».

B. Le DPD

Le PDP constitue le premier niveau de désagrégation du PIC. Il représente la passerelle entre le PIC et le calcul des besoins. Il traduit les objectifs du PIC exprimés en familles de produits, en ventes, production et stocks, détaillés à chaque produit. En effet, on ne fabrique pas une famille de produits mais un produit, et on n'approvisionne pas des familles de composants ou des familles de matières premières, d'où la nécessité d'une traduction de cette stratégie.

Le PDP est donc le premier tableau sur lequel s'appuie le calcul des besoins, les chiffres du PDP représentent les besoins bruts. Sur cette base, le cœur du MRP va consister à déterminer les besoins nets. Le PDP est composé de deux zones :

- L'une est dite **ferme**, à l'intérieur de laquelle les valeurs ne sont pas modifiables, sauf intervention directe du gestionnaire de la production.
- L'autre zone est dite **libres**, les valeurs sont de moins en moins sûres et peuvent être remises en cause sans perturber la production.

C. Expression des besoins nets EBN

C'est le résultat du calcul des besoins nets. Elle exprime les fabrications (OF : ordres de fabrication) et les approvisionnements (OA : ordres d'achat) à réaliser. Un OF décrit une quantité et une date de mise en fabrication d'un produit entrant dans la nomenclature de fabrication des produits apparaissant dans le PDP.

Chaque quantité est une quantité économique ou technique, qui satisfait des contraintes de coût de production ou de contrainte technique de fabrication, en donnant lieu à des regroupements en lots de fabrication. La date de mise en fabrication est calculée en fonction de la date de mise à disposition des quantités, en tenant compte des délais de fabrication. Cette date de mise en fabrication est en général calculée au plus tard. Toute

quantité tient aussi compte des stocks résiduels de fabrication (disponibles ou disponibles prévisionnels) d'un produit.

D. Calcul des besoins nets (CBN)

Les objectifs du CBN doivent déterminer les composants qui sont nécessaires pour réaliser le PDP. En tenant compte des délais, on détermine les moments où les composants doivent être disponibles. Il doit alors connaître : quoi commander ? Combien commander ? Quand commander ?

Pour le calcul des besoins bruts et nets jalonnés des composants, deux opérations sont simultanément réalisées : le calcul des volumes de production et le jalonnement dans le temps de ces volumes.

Pour le calcul des volumes ou besoins nets en composants, deux équations simples (1.1) et (1.2) sont employées :

$$BN_j(t) = BB_j(t) - STOCK_j(t) \dots \dots \dots (1.1)$$

$$BB_j(t) = BN_{\text{père } j} \times C_{j, \text{ père } j} \dots \dots \dots (1.2)$$

Avec pour notations :

$BN_j(t)$: besoins nets du composant j à l'instant t ;

$STOCK_j(t)$: stock de l'article j à l'instant t ;

$BB_j(t)$: besoins bruts de j à l'instant t ;

$BN_{\text{père } j}$: besoins nets du père de j, le père de j étant le composant de niveau directement supérieur à j et dans la conception duquel j est utilisé ;

$C_{j, \text{ père } j}$: coefficient de passage de j vers le père de j : il indique le nombre de composants j nécessaire à la fabrication du père de j.

Le jalonnement est obtenu par l'équation (1.3) :

$$DISPO_j = DISPO_{\text{père } j} - DELAI_{j, \text{ père } j} \dots \dots \dots (1.3)$$

Avec pour notations :

$DISPO_j$: période à laquelle doit être disponible le composant j ;

$DISPO_{\text{père } j}$: période à laquelle doit être disponible le père de j ;

$DELAI_{j, \text{ père } j}$: délai d'usinage-montage de j vers père de j.

1.4.1.3. Programme de production

Le programme de production permet d'ajuster les capacités aux charges. La capacité d'un moyen de production mesure la production maximale en unités de produits par

unités de temps. La charge du moyen de production mesure, elle, l'utilisation sur une période d'un nombre d'unités de capacité. En outre, l'ajustement a pour but d'assurer que :

- La charge est inférieure à la capacité : c'est une contrainte matérielle évidente ;
- La charge tend vers la capacité : c'est une contrainte économique importante, car elle permet de rentabiliser l'usage des moyens de production, c'est à dire, assurer leur plein emploi.

La constitution du programme de production nécessite le choix des ordres de fabrication à réaliser. Ce choix est appelé lancement. Il dépend principalement du suivi de production, c'est à dire, l'état de la production à tout instant

A. Le pilotage du court terme

Il concerne le lancement et le suivi des ordres d'achat et de fabrication, l'ordonnancement, le suivi de fabrication, le contrôle des entrées/sorties. Il couvre le court terme. Il est mis à jour au moins journalièrement.

B. Gestion des capacités

La gestion des capacités est responsable de l'utilisation des ressources lors de la réalisation des programmes de production.

La capacité est le total de travail qui peut être fait dans une période donnée. C'est la possibilité d'un opérateur, d'une machine, d'un poste de travail... à produire des pièces dans une période donnée. C'est une cadence potentielle de travail.

C. Pilotage d'atelier

Le pilotage d'atelier est responsable de l'exécution du PDP et de la planification du besoin en composants (CBN), ainsi que de la bonne utilisation de la main d'œuvre et des machines, il doit aussi minimiser les en-cours et assurer le taux de service client Il comporte les fonctions suivantes : Ordonnancement, Lancement, Suivi de production et Réordonnancement.

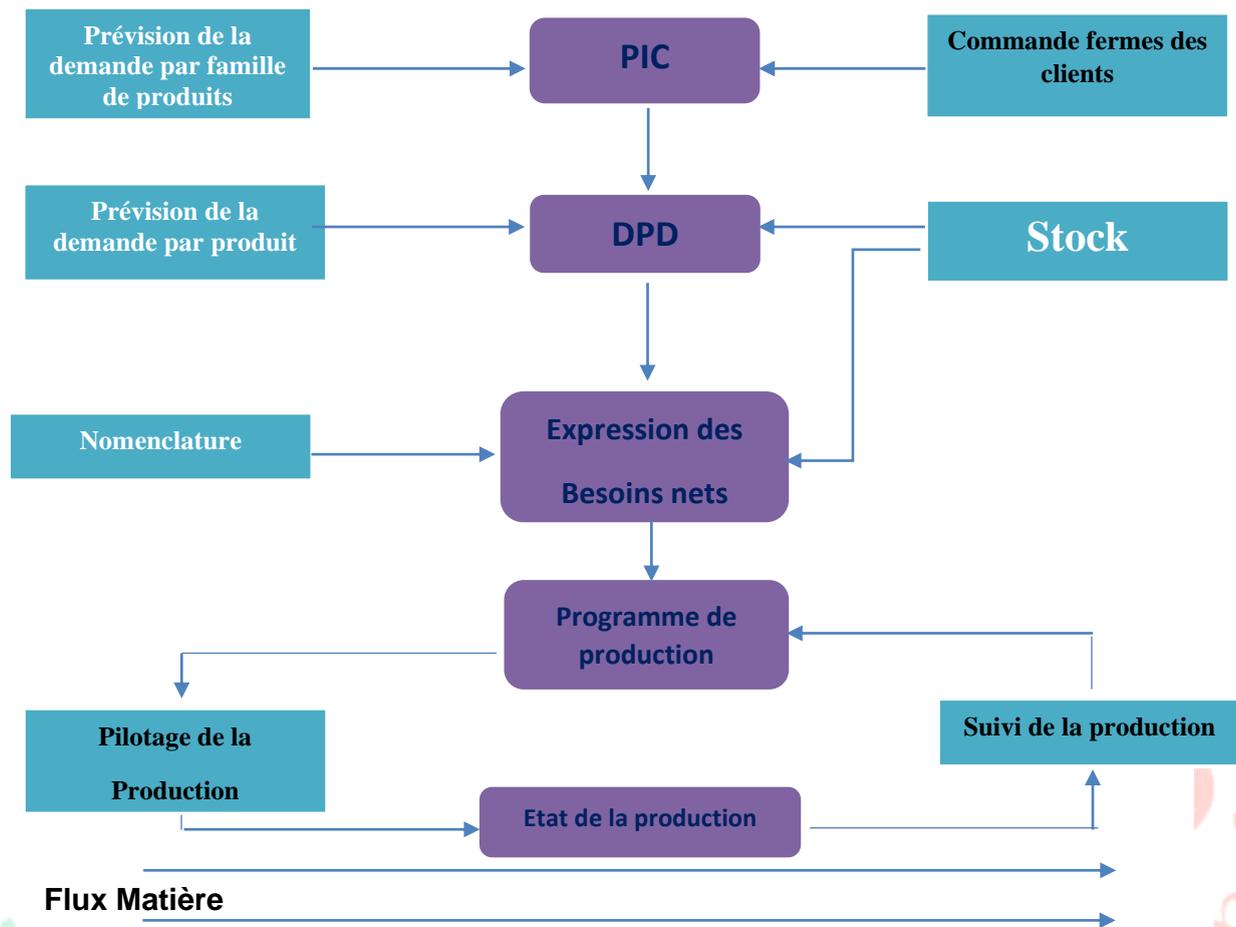


Figure 1. 1. Architecture générale d'un système MRP

1.4.2. Organisation par le juste à temps (JAT)

1.4.2.1 Définition

Nous pouvons définir le JAT comme un concept qui vise à acheter et à produire uniquement les quantités dont l'entreprise a besoin à l'instant où elle en a besoin.

1.4.2.2. La production en JAT

Cette méthode dénommée aussi production à flux tirés (ou tendus), en opposition au calcul des besoins a pour finalité :

- Grâce à un système d'appel par l'aval, de fabriquer le juste produit, dans la juste quantité, au juste endroit et au juste moment que souhaite le client ;
- De fabriquer au moindre coût ce produit, en éliminant toutes les sources de gaspillage qui pourraient apparaître lors de la production. [10]

Le niveau des stocks est l'indicateur privilégié de mesure du gaspillage, dont les principales sources sont :

- Les pannes des machines trop fréquentes ;
- Les changements d'outils trop longs ;

- La qualité non maîtrisée et la fabrication de produits défectueux ;
- L'implantation inadéquate des postes de travail ;
- Les contraintes externes : celles imposées par la sous-traitance et les fournisseurs.

Le principe des cinq zéros « zéro stock, zéro panne, zéro défaut, zéro papier et zéro délai » reflète bien de lutter contre ces différentes causes.

1.4.2.3. La méthode et les outils liés au JAT

Ceci concerne successivement : la méthode kanban,

A. La méthode Kanban

La méthode **Kanban** est une méthode simple, visuelle et facilement compréhensible par tous. Elle est basée sur le principe du juste à temps ce sont les commandes émises par un poste aval en fonction de ses besoins, qui régulent la production d'un poste en amont.

La méthode **Kanban** est une méthode de gestion dite à « flux tiré » qui permet de réduire les délais, d'avoir moins de stocks, donc plus de trésorerie, moins de produits en fin de vie et plus de réactivité.

B. Le Kanban à une carte

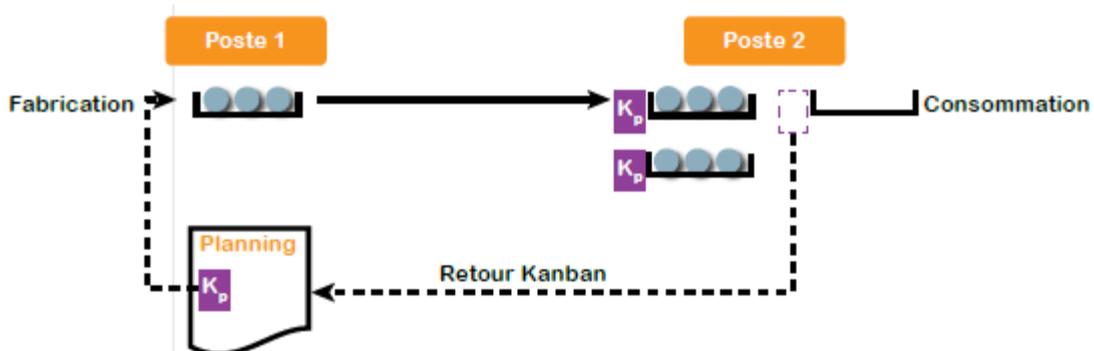


Figure 1. 2. Flux Kanban

L'étiquette kanban sert donc à la fois de « *fiche suiveuse* » et « *d'ordre de fabrication du lot produits* ». Les informations que l'on peut trouver sur ces étiquettes sont très variables selon les entreprises :

- La référence de la pièce : nom, numéro ;
- La provenance et la destination : poste amont-poste aval ;
- La capacité du container ;
- Eventuellement un code-barres pour une lecture optique

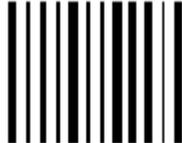
Carte Kanban	
<u>Atelier :</u>	
Code pièce :	
Nom de pièce :	
Quantité du container :	
Lieu d'utilisation :	
Atelier suivant :	
	

Figure 1. 3. L'étiquette Kanban

C. Objectifs du Kanban

Les principaux objectifs de la méthode Kanban sont les suivants :

1. Appeler la production par l'aval, c'est-à-dire, à partir de la consommation réelle du client (interne ou externe) ;
2. Rendre plus facile l'établissement des priorités en les reliant directement à la consommation réelle ;
3. Ramener l'ordonnancement précis des ordres de fabrication au niveau de l'exécution ;
5. Rendre le flux de fabrication continuellement visible ;
6. Pouvoir se passer du système informatique.

D. Mise en place du Kanban

Pour chaque référence travaillée et pour chaque chaînon concerné du processus, la mise en route d'un enchaînement Kanban s'établit de la manière suivante :

1) Collecter les données relatives au flux à organiser

- Caractéristiques du flux (demande journalière, variation de cette demande, délai d'obtention des palettes, collecte des Kanban)
- Caractéristiques du poste amont (fournisseur) ;
- Caractéristiques du poste aval (client) ;
- Caractéristiques de la liaison poste amont-poste aval.

2) Définir les paramètres de fonctionnement :

- Capacité et nombre de machines par poste ;
- Capacité des conteneurs ;
- Taille du lot mini de fabrication autorisant un lancement ;
- Taille de l'en-cours mini. L'en-cours mini doit permettre d'éviter la rupture d'approvisionnement au poste aval ;

- Taille du tampon de régulation. Le tampon de régulation sert à donner de la souplesse au système et à limiter les demandes « en catastrophe ».

E. Mettre en œuvre

- Confectionner le planning d'ordonnancement : il s'agit d'un tableau mural, qui sera placé au poste amont et sur lequel seront rangés les kanbans quand ils ne seront pas sur les conteneurs
- Définir le contenu des kanbans
- Définir les règles de circulation des kanbans et de fonctionnement du planning

F. Plannings de fonctionnement

- Régler les index en fonction de l'évolution du système
- Améliorer l'écoulement du flux

Dans le planning à Kanban (figure 1.4), chaque case vide représente le nombre de containers disponibles pour chaque type de pièces.

Il s'agit en fait de containers stockés. Les Kanbans qui apparaissent sur le planning traduisent en fait des ordres de production.

Produit X	Produit Y	Produit Z
		
		
		
		

Figure 1. 4. Planning des kanbans (sans priorité)

G. Fonctionnement du Kanban

il existe deux types de système kanban :

❖ Le système kanban à simple boucle

La circulation des kanbans entre les deux postes s'organise suivant une logique de type client-fournisseur. Si les deux postes de travail se situent géographiquement dans le même atelier, il s'agit d'un système à **simple Kanban** (ou à simple boucle).[11]

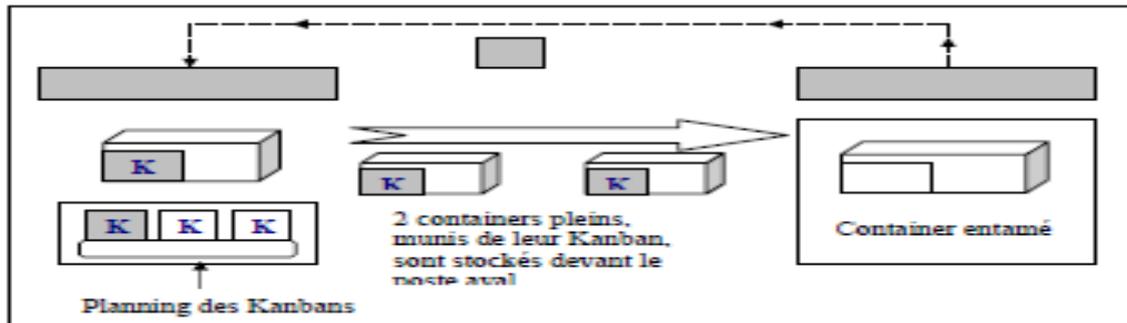


Figure 1. 5. Fonctionnement du système simple Kanban ou simple boucle

❖ **Le système kanban à double boucle**

Lorsque les postes ne sont pas localisés au même endroit ou lorsque par manque de place, il est impossible de stocker les pièces dans l'atelier, un système qualifié de système à double Kanban (ou à deux boucles) est alors mis en place. Il nécessite le recours à un magasin intermédiaire (une aire de stockage) où sont stockés des containers de pièces, ainsi que l'utilisation d'un type de carte supplémentaire, les Kanbans de transfert.

Cette méthode est identique, dans son principe, à la précédente mais on a personnalisé les Kanbans en faisant ressortir la phase de manutention entre deux postes de fabrication.

C'est ainsi que l'on a maintenant :

- des kanbans de production (KBp), correspondant à des ordres de fabrication;
- des kanbans de manutention (KBm), ou kanbans de prélèvement.

Le poste « Client » entame un container de pièce « n ». Il décroche le Kanban de manutention (KBm) attaché au container et le place dans une boîte.

Avec une périodicité très courte, les Kanbans en attente sont relevés par le manutentionnaire qui, selon les indications des cartes, va au poste « fournisseur » concerné.

Arrivé au poste « Fournisseur », il enlève le kanban de production (KBp) d'un container plein qui est terminé, il l'accroche dans un des emplacements prévus pour cette pièce du TOP du poste « Fournisseur » et lui substitue le KBm. Ensuite, il ramène le (ou les) container(s) plein(s) avec leur KBm au poste « Client ».

Le poste « Fournisseur » est prêt à commencer un nouveau travail. L'opérateur analyse le TOP et choisi la référence qu'il va fabriquer (KBp). Pour signaler la référence choisie,

il retourne le, ou les, Kanban(s) concerné(s) et on voit apparaître « En Cours » dans les emplacements correspondants.

Lorsque le fournisseur a terminé sa fabrication, il décroche les Kanbans (KBp) « En Cours » du TOP (Tableau d'Ordonnement de la Production ou tableau des Kanban) et les accroche aux containers de pièces. Ensuite, il met les containers en attente à son poste.

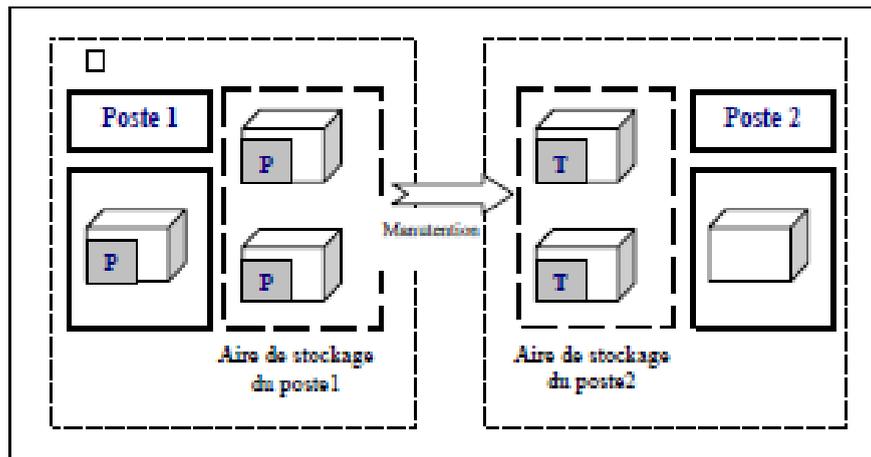


Figure 1. 6. Fonctionnement du système à double Kanban

H. La gestion des priorités en Kanban

Quand le planning Kanban d'un poste de travail comporte plusieurs types de Kanbans, le principal problème de l'opérateur consiste à choisir le type de pièces à fabriquer en priorité.

Le tableau Kanban contient alors deux signaux d'alerte :

- **L'index triangulaire (rouge)** : correspond au nombre maximum de Kanbans en circulation pour une pièce donnée. Lorsque l'index triangulaire est atteint, cela signifie que le poste aval n'a presque plus de stock, l'opérateur du poste amont doit lancer la fabrication s'il ne souhaite pas prendre le risque de casser le flux.
- **L'index flèche (vert)** : représente un seuil d'alerte. On peut en effet décider de conserver un stock minimal de containers de pièces. Lorsque l'on atteint l'index flèche, il y'aura automatiquement une rupture d'approvisionnement en aval susceptible de causer l'arrêt du processus de production. Le lancement de la référence ayant atteint cet index s'impose alors.

I. Détermination du nombre de Kanbans

L'objectif est de rechercher le nombre minimum de kanbans à créer sans provoquer de rupture de production.

Cet optimum (K) est obtenu en appliquant la formule ci-après :

$$K = \frac{D \cdot T}{N}$$

Où :

D : la demande quotidienne qui s'adresse au poste aval

N : le nombre de pièces contenues dans chaque container

K : le nombre de Kanbans (ce que nous cherchons à déterminer)

T : le temps de cycle (ou délai de réaction)

J. Domaine et contraintes d'utilisation

La méthode Kanban est applicable à des productions de type "masse" pour lesquelles le nombre de références n'est pas trop élevé et la demande reste régulière ou à faibles variations. Elle implique, au préalable, des temps de changement de références courts, un équilibrage des temps opératoires sur tous les postes de travail, une maintenance préventive efficace des équipements, un contrôle qualité performant et des opérateurs responsables et polyvalents.

K. La combinaison MRP KANBAN

Le Kanban étant dédié à une gestion à court terme des ateliers, il s'adapte naturellement mal à un mode de gestion par anticipation.

Cela justifie le fait même que dans les entreprises japonaises, ce système ne pilote le plus souvent qu'une seule partie de la fabrication, le reste étant géré par le MRP.

Donc, bien que les flux tirés constituent l'instrument privilégié du JAT, ils sont souvent combinés dans l'entreprise à une démarche en flux poussés. La production est alors lissée, c'est à dire régularisée sur une longue période grâce au MRP.

1.4.3. La gestion par les contraintes (La théorie des contraintes TOC)

La Théorie des Contraintes est une *philosophie* de management qui se concentre sur les performances des contraintes, souvent des ressources limitées, pour améliorer la performance globale du système. La théorie des contraintes est utilisée dans le logiciel OPT d'où l'amalgame éventuel entre TOC et OPT. L'origine de cette théorie remonte aux années 70 et à la création du logiciel OPT pour OPTIMIZED PRODUCTION TECHNOLOGY.

1.4.3.1. Qu'est-ce qu'une contrainte

Une contrainte est un facteur qui limite la performance d'un système. Aussi une contrainte limite la **capacité** à atteindre le but, c'est à dire, de garantir des profits ou de les accroître.

1.4.3.2. Les différents types de contraintes

Nous savons que l'analyse d'un déséquilibre existant permettait d'identifier la ou les contraintes qui empêchent une entreprise de faire face à la demande en termes de débit (contrainte de capacité) ou en termes de respect des délais (contrainte de synchronisation), ce sont des contraintes internes.

Il se peut que ces contraintes ne se situent pas à l'intérieur mais à l'extérieur de l'entreprise, soit en mont dans les approvisionnements, soit en aval dans le marché.

1.4.3.2.1. Les Contraintes extérieures

On trouve :

❖ *Les contraintes en amont « les contraintes d'approvisionnement »*

Dans certains cas, les approvisionnements pouvant constituer un facteur déséquilibrant. Il existe alors des contraintes externes qui proviennent non pas l'aval. Mais de l'amont (les fournisseurs)

Ces contraintes peuvent se présentent sous trois formes différentes :

- ✓ *Une disponibilité insuffisante* : il est possible qu'une entreprise soit dans l'incapacité de se procurer en quantité suffisante un des composants ou une des matières dont elle a besoin. La disponibilité de cet approvisionnement critique est la contrainte principale de l'entreprise et doit être traitée dès le programme directeur de production.
- ✓ *Des fluctuations non prévisibles des approvisionnements* : certaines industries agroalimentaires et d'extraction ou d'exploitation d'une ressource naturelle sont productrices de leurs propres matières mais elles n'ont pas ou peu de moyens de contrôle sur la quantité et l'échéance de l'arrivée de celle-ci.
- ✓ *Des manquants ponctuels inévitables* : sous la pression de la concurrence, certains types d'industries ne peuvent se permettre de financer des niveaux de stocks suffisamment importants pour faire face à tous les soubresauts de la demande. Pour ces entreprises, quelques manquants ponctuels sont inévitables.

❖ *Les contraintes en aval*

Les entreprises cherchent sans cesse à équilibrer leurs capacités avec la demande en modifiant d'un côté, leurs politiques de prix et de l'autre leurs capacités de production. C'est un des principaux objectifs de la politique industrielle. Il est de plus en plus rare qu'une entreprise puisse maintenir cet équilibre à cause des fluctuations croissantes de la demande. Alors la contrainte du marché est un élément permanent du contexte de par le prix qu'il est prêt à payer et la quantité qu'il est prêt à acheter.

1.4.3.2. Les Contraintes intérieures

Le plus souvent, les contraintes internes sont des « goulots », des ressources qui sont un mélange

Des contraintes de capacité et de synchronisation.

- ✓ **La contrainte de capacité** : est une ressource dont la capacité est, en moyenne, égale ou inférieure aux besoins.
- ✓ **La contrainte de synchronisation** : est une ressource qui, si elle est gérée comme une non-contrainte normale risque, de temps en temps, d'être surchargée à un point tel que ce qui est prévu est irréalisable ou trop peu performant.

1.4.3.3. Les concepts de base de la TOC

On sait bien que tout système subit au moins une contrainte, sans quoi il serait en mesure d'atteindre indéfiniment des performances élevées. Cette logique s'organise autour de deux phases majeures :

Phase 1 : élaboration d'un graphe qui représente le processus de fabrication et le détail des relations entre les produits fabriqués et les ressources nécessaires (machine, main d'œuvre, outillage,...).

Phase 2 : dans cette phase, deux types de ressources sont différenciés :

- **Les ressources goulets ou critiques** : ces goulets d'étranglement sont des ressources dont la capacité moyenne est juste égale ou inférieure au besoin et qui limite donc la production ;
- **Les ressources non-goulets ou non critiques** : il s'agit des ressources dont la capacité est en moyenne supérieure au besoin donc avec des excédents de capacité.

1.4.3.4. La méthode OPT

La méthode OPT (**O**ptimized **P**roduction **T**echnology) est née d'une réflexion critique sur de nouveaux objectifs pour la gestion de production :

- Augmenter le produit des ventes, c'est à dire l'argent généré par les ventes ;
- Diminuer les dépenses d'exploitation, c'est à dire l'argent dépensé pour produire ;
- Augmenter la trésorerie, c'est à dire retarder l'engagement d'argent pour produire.

La logique de gestion de la méthode OPT considère de prime abord que l'élaboration d'un plan de production consiste à satisfaire simultanément des contraintes de nature différente. Ces contraintes sont d'ordre technique, d'ordre économique et d'ordre externe. Cependant, deux idées comblent cette logique :

- Toutes ces contraintes ne sont pas indépendantes, parce que les évènements de la production ne sont pas eux-mêmes indépendants ;
- Elle repose essentiellement sur une recherche d'optimisation des flux de production et non sur la régulation des capacités de production.

1.4.3.5. Les indicateurs de la méthode OPT

L'OPT réhabilite la notion de **profit** en le définissant comme **le but**. Cependant, la comptabilité classique suit des règles que certains qualifient d'obsolètes et conduisent à de mauvais choix stratégiques.

Trois indicateurs « débit des ventes », « stocks » et « dépenses de fonctionnement » ont été proposés pour remplacer le bénéfice net, la rentabilité et la trésorerie comme unités de mesure à l'intérieur de l'entreprise. Nous ne pouvons recommander leur utilisation, car ils sont encore en pleine évolution et leurs incohérences et leur instabilité pourraient être dangereuse.

Ces indicateurs ont été décrits au début des années quatre-vingts (première génération) puis subrepticement modifiés (deuxième génération).

1.4.3.6. La mise en œuvre

La théorie des contraintes a pour principe fondamental que le flux généré par une organisation est limité par au moins un processus, c'est-à-dire un goulot ou goulet d'étranglement. La production de valeur ne peut donc être augmentée qu'en augmentant la capacité de production au niveau du goulet d'étranglement.

Les cinq étapes clés de mise en œuvre de la théorie des contraintes sont :

- 1- Identifier la contrainte (le goulot d'étranglement)
- 2- Exploiter la contrainte (augmenter son utilisation et son efficacité)
- 3- Subordonner tous les processus au processus contraint.

- 4- Elever la performance de la contrainte (si nécessaire)
- 5- Recommencer à l'étape 1 si la contrainte a changé.

1.4.3.7. Le Tambour, Tampon, Corde de la méthode OPT

La méthode OPT parle en anglais de « Drum-Buffer-Rope » ou « Tambour-Tampon-Corde » pour représenter la logique de synchronisation :

- **Le Tambour** : les goulots sont gavés de tâches à effectuer et c'est le programme maître qui donne le rythme à l'ensemble de l'activité ;
- **Les Tampons** : l'alimentation du goulot est assurée en le protégeant des éventuels retards. Les lots arrivent devant lui avec une légère avance sur la date de transformation planifiée. Il en va de même pour garantir le respect des délais ;
- **La Corde** : les matières sont lancées en production en fonction des dates inscrites dans le programme maître desquelles on a retranché le décalage de protection et le cycle technique.

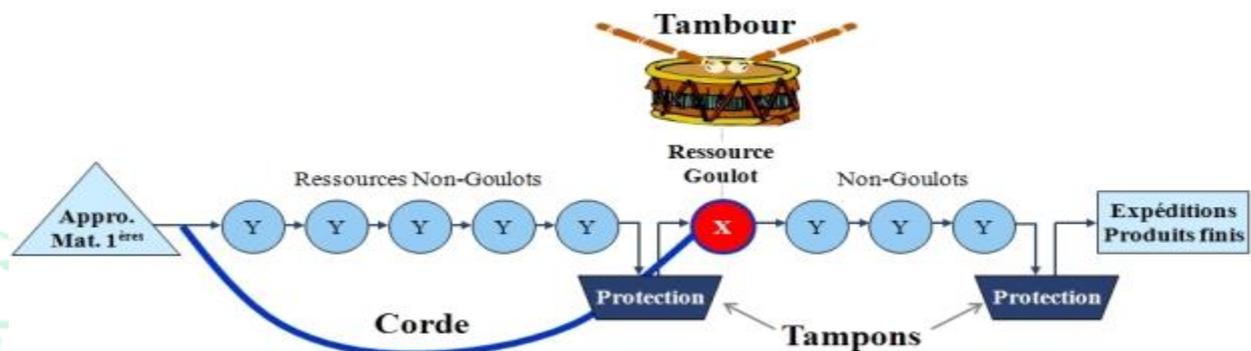


Figure 1. 7. Technique de pilotage des flux de production dite « tambour – Tampon – Corde »

L'application de la théorie des contraintes à la production est souvent appelée le « management par les contraintes ». Le roman à succès de E. Goldratt le but est consacré à ce sujet s'est vendu à plusieurs millions d'exemplaires à travers le monde. C'est une méthode de gestion industrielle fondée sur la distinction entre deux types de ressources dites «goulots» ou «non-goulots»

L'idée de base est très simple

Si l'on représente un processus de production par une série de cuves à travers lesquelles coulent les produits, la notion de «goulot» ou de «contrainte» devient évidente.

Ce sont les goulots qui limitent le flux de sortie. Augmenter leurs diamètres revient à augmenter le débit de l'ensemble, ce qui n'est pas le cas pour les «non-goulots». On dit d'une telle chaîne de production qu'elle est déséquilibrée :

Les ressources (les machines ou le personnel) effectuant les différentes opérations n'ont pas toutes la même capacité.

1.4.3.8. Les règles de la méthode OPT

Partant du principe que l'optimum d'un ensemble n'est pas la somme des optimums locaux et qu'il existe des postes de travail plus contraignants que d'autres, la méthode OPT propose dix règles de gestion en gardant toujours à l'esprit le but de l'entreprise « faire du profit »

Règle 1 : il faut équilibrer les flux et non les capacités.

Règle 2 : l'activation d'un non-goulot ne doit pas être déterminée par son potentiel mais par les autres contraintes du système.

Règle 3 : l'utilisation d'une ressource et son plein emploi ne sont pas synonymes

Règle 4 : toute perte de temps sur un goulot est une perte pour tout le système.

Règle 5 : tout gain de temps sur un non-goulot est un leurre.

Règle 6 : les goulots déterminent le débit de sortie et les niveaux de stocks.

Règle 7 : les Lots de fabrication et les lots de transfert ne doivent pas forcément être égaux.

Règle 8 : les lots de fabrication doivent être de taille variable.

Règle 9 : les programmes de fabrication doivent prendre en compte toutes les contraintes simultanément ; les délais de fabrication sont le résultat d'un programme et ne peuvent donc pas être prédéterminés

Règle 10 : la somme des optima locaux n'est pas égale à l'optimum global.

1.5. Conclusion

Ce chapitre a eu pour objectif de montrer l'efficacité et l'intérêt du pilotage des flux ainsi que les principaux modèles y afférents. Nous avons également présenté les principaux outils et méthodes de l'organisation de la production afin de mettre en évidence leur dynamique d'ensemble.

En effet, pour gérer les flux et les moyens de production, la mise en œuvre des méthodes d'organisation, tels que le MRP sur lesquelles se basent sur des techniques de synchronisation à la Japonaise dont la méthode Kanban constitue la partie court terme et des différentes approches de pilotage et de gestion par les contraintes dont la plus connue est OPT, est essentielle dans une unité de production.

Chapitre 2. Planification de la production par la méthode Kanban



2. 1.Introduction

Aujourd'hui dans le monde des affaires, les enjeux stratégiques et financiers tels que la planification et le pilotage des systèmes de production ne sont plus un luxe, mais une nécessité.

L'entreprise qui veut être performante doit revoir périodiquement ses procédés afin d'adapter sa production aux besoins changeants de sa clientèle, aux fluctuations des marchés ou encore pour s'accommoder des plus récentes innovations technologiques.

La fonction production est la pierre angulaire de l'entreprise manufacturière. Son succès est directement lié à sa capacité de maintenir de façon constante une production de qualité supérieure et en moindre coût.

Des recherches ont permis de mettre au point des techniques permettant de développer un système de gestion de la production fiable, flexible et surtout adapté aux réalités de l'entreprise.

Ainsi plusieurs outils ont été développés, ils permettent à l'entreprise de se doter de méthodes de travail efficace et fourni aux gestionnaires des mesures sur les temps et les moyens de production nécessaires. Parmi eux l'outil de pilotage de la production « **KANBAN** » que nous préconisons d'utiliser pour notre travail.

Aussi ce chapitre est consacré à la présentation de la conception et à la planification du système de production par l'outil « **KANBAN** ».

Le système qui permet de produire JAT dans les ateliers s'appelle le « **KANBAN** » et il fait appel à des cartes du même nom. Pour faire la distinction entre le système et les cartes, on utilise le mot « **KANBAN** » avec une majuscule pour le système et une minuscule pour les cartes.

Avant d'analyser le fonctionnement des cartes « **KANBAN** », on détermine ce qui différencie les systèmes « **poussés** » des systèmes « **tirés** » en gestion de production ainsi que les grandes lignes du système de production répétitive.

2.2. Définition du KANBAN

Le KANBAN est un mot japonais qui signifie « **étiquette** » ou « **carte** ».

Le KANBAN a été mis au point dans les usines du constructeur automobile japonais « **Toyota** », afin de lisser le flux des produits tout au long du processus de fabrication. Il a été élargi pour constituer un outil de pilotage de la production pour atteindre les buts du juste – à- temps et gérer le fonctionnement de la production juste –à - temps.

Le KANBAN est un système de gestion de production « **tirés** » et il est également un système d'information qui permet de suivre et de maîtriser les volumes de production à chaque stade du processus de fabrication.

2.3. Les origines du système KANBAN

D'un point de vue historique, les usines de production d'automobiles « Toyota » sont à l'origine du système KANBAN. Le système de production Toyota est le fruit d'une évolution sur plus de cinquante ans et dans laquelle trois hommes ont joué un rôle prépondérant. [12,13,14]

Sakichi Toyoda qui fonda le groupe « Toyota » et lança un système d'automatisation spécial, le « Jidoka ». Son fils **Kiichiro Toyoda**, créa la société qui allait devenir la « Toyota Motor Corporation » et il est à l'origine des concepts qui aboutirent à la création du système juste –à- temps et plus pré Enfin, un ingénieur de Toyota, **Taiichi Ohno**, qui appliqua le « Jidoka » et le système du juste –à- temps à la fabrication de voitures, donnant ainsi naissance au système de production Toyota. Il développa ce système au sein de Toyota et l'étendit à tout le secteur des industries de transformation.

C'est le rendement de la production nord – américaine de voitures en série qui inspira la mise au point du système de production Toyota au Japon, ou l'objectif était de réaliser une production diversifiée en petites quantités.

Aux Etats Unis, **Henry Ford** faisait adopter le système de convoyage qu'utilisent toujours la plupart des chaînes d'assemblages de voitures. Ce système contribua au développement de la fabrication en série qui a permis plus tard de répondre à l'augmentation de la demande en automobile. Cependant lorsque Toyota commença à fabriquer des véhicules, la demande n'était pas suffisante pour qu'il soit possible de tirer profit des économies à une échelle permises par la fabrication en série. **Kiichiro Toyoda**, fils de **Sakichi**, s'efforça donc de trouver un moyen de maximaliser le rendement global du système de convoyage de **Ford** pour produire en petites quantités.

Ainsi, il assura l'approvisionnement en pièces des processus de la chaîne d'assemblage en produisant et en acheminant uniquement et exactement les types et les quantités de pièces nécessaires. La production et l'acheminement de ces pièces étaient synchronisés avec chaque processus et entre les différents processus, tout au long de la séquence de fabrication. Cette méthode d'optimisation du rendement global correspond à ce que nous appelons la production « juste –à- temps ».

C'est un autre fondement du système de production Toyota qui marqua les débuts de la mise en place de ce système de production automobile.

Après la seconde guerre mondiale, **Taiichi Ohno** était responsable d'un atelier d'usinage chez Toyota. Il augmenta la productivité de son atelier en appliquant à la fabrication les principes du « Jidoka ». Il organisa notamment chaque chaîne de son atelier d'usinage de façon à ce qu'elle produise et achemine les pièces nécessaires, toutes les pièces et uniquement celles là en temps voulu. Taiichi Ohno fit en sorte que chaque chaîne dispose les pièces qu'elle produisait de façon à ce que la chaîne en aval puisse prélever ce dont elle avait besoin.

En d'autres termes, chaque chaîne était la « cliente » de la chaîne en amont. La chaîne en aval prélevait les pièces qui lui étaient nécessaires et uniquement celles-là. Quant à la chaîne en amont, elle produisait uniquement les pièces destinées à remplacer celles que la chaîne en aval avait employées. Il mis donc en place un système **AVAL-AMONT** ou encore le flux tiré, dont le fonctionnement était régi par les besoins des chaînes aval. La mise en place de ce système se généralisera avec l'introduction de **KANBAN**.

2.4. Les objectifs

L'outil « KANBAN » a pour but de définir les modalités de mise en route d'une production en flux tiré ; c'est-à-dire dans laquelle ce sont les commandes des clients qui déclenchent au Les objectifs de cette méthode peuvent être résumés comme suit :

- Amélioration de la productivité du système.
- Décentralisation de la prise de décision afin d'améliorer le niveau de gestion de l'atelier en confiant aux responsables d'ateliers et aux contre-maîtres un rôle de gestionnaire de production et de stock.
- Eviter les manques de pièces, source de perturbation de l'ordonnancement de la production.

Automatiquement la fabrication par remontée des ordres depuis la sortie des produits.

- Minimisation des fluctuations du stock de fabrication afin d'améliorer sa gestion et tendre vers le stock zéro.
- Réduction des délais.
- Régulation des fluctuations de la demande ou du volume de production d'un poste de travail amont afin d'éviter la transmission et l'amplification de ces fluctuations.

2.5. KANBAN « Un système de gestion de production « Tiré » »

Comme nous l'avons cité au premier chapitre, « MRP » fonctionne au niveau des ateliers comme un système « poussé », alors que la KANBAN est considéré comme un système « tiré ». Avant d'entrer dans le détail du KANBAN, on va examiner brièvement les différences entre ces deux types de systèmes.

L'identification des différences entre les deux approches mettra en évidence les caractéristiques essentielles du système KANBAN. Les deux systèmes sont pilotés par un programme directeur de production qui définit les besoins pour chaque produit, c'est-à-dire les articles dans la nomenclature. Ce programme directeur de production [PDP] est ensuite transformé en programme détaillé concernant les articles à fabriquer et à acheter.

Un système « poussé » fonctionne comme indiqué dans le figure 2.1, considérons un système ou un composant doit être traité par une série de poste de travail, de M à 1 , dans laquelle le poste M effectue la première opération, suivi par la poste $(M-1)$, etc.

Dans un système poussé, on donne au poste une date d'exigibilité pour l'article, qui est mis en fabrication en fonction de la date de sortie. Le temps d'exécution pour le poste de travail devient la date de sortie pour le poste qui suit et ainsi de suite.

Un produit est ainsi poussé dans le système, en partant de la sortie des matières premières, et du premier poste de travail jusqu'au dernier, ou il est achevé. Le MRP est l'exemple type d'un système « poussé ».[15]

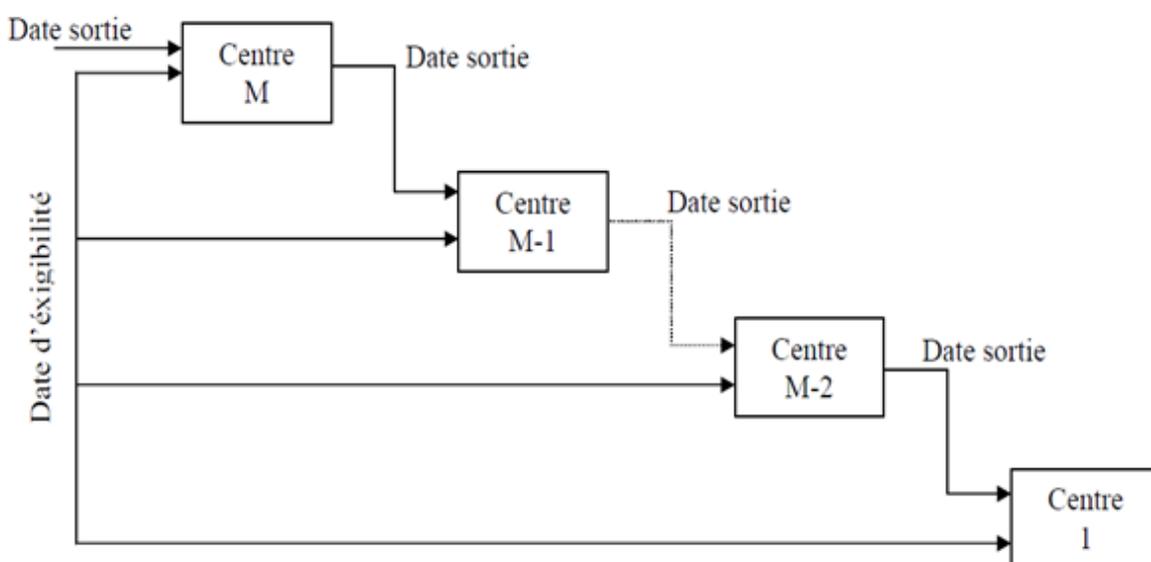


Figure 2. 1. Système « poussé »

Un système tiré, lui décline le processus de production en sens inverse, c'est à dire partir du produit fini. Le responsable de production travaille partant du principe que ses ordres sont

ceux que veut précisément le client. Les délais impartis sont bien entendu courts. Les ordres sont ventilés à partir du plus haut niveau et l'agent de planning vérifie s'il y a suffisamment de pièces pour fabriquer le produit fini. Si c'est le cas, le produit est fabriqué. Sinon, les composants sont tirés du poste de travail précédent. La même procédure est suivie à chaque étape de la production en remontant jusqu'aux fournisseurs extérieurs.

Cette méthode fait peser beaucoup de contraintes sur le système de production et les fournisseurs. La figure 2.2 représente un système « tiré ».

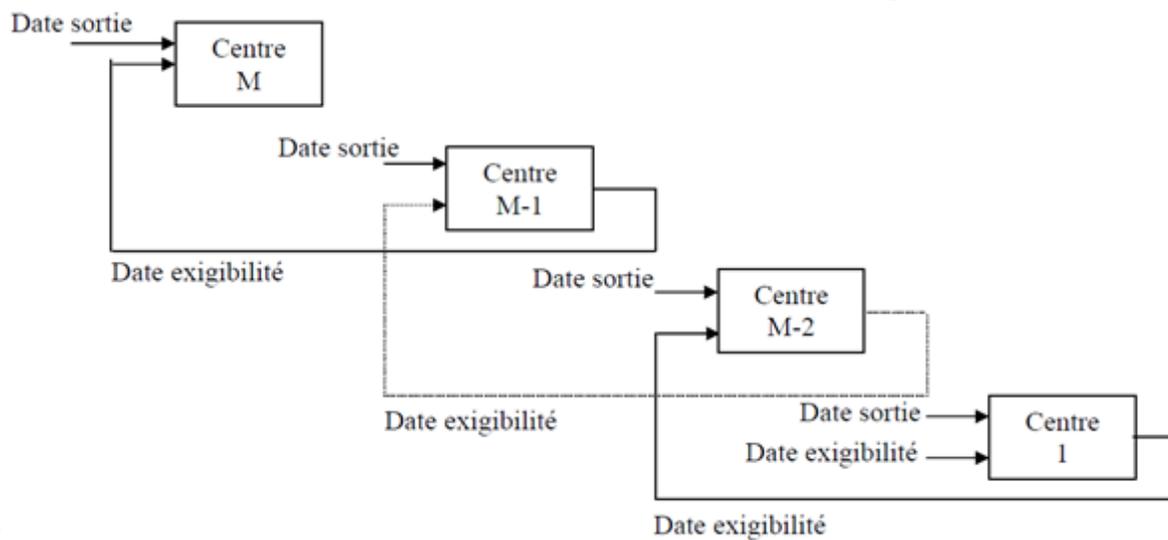


Figure 2. 2. Système tiré

Il faut noter, et cela apparaîtra plus clairement à mesure qu'on avance dans la description du KANBAN, que ce type de mécanisme de pilotage ne peut être appliqué que dans les usines qui se consacrent à ce que beaucoup de spécialistes appellent la **fabrication répétitive**.

Ainsi dans la classification de la production discrète, on peut ajouter la production répétitive et nous obtenons la classification donnée par la figure 2.3.[16]

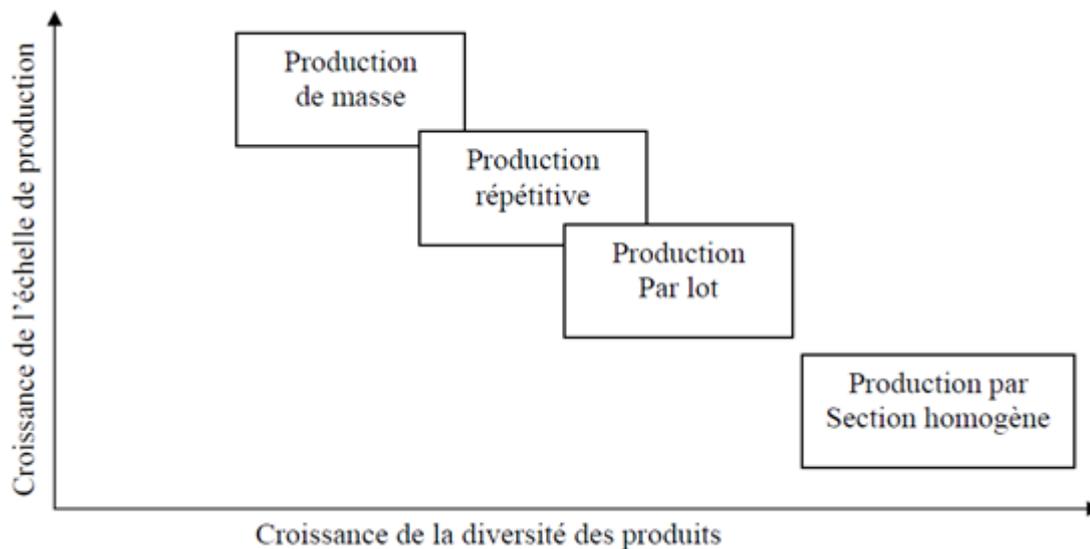


Figure 2. 3. Classification de la production discrète

Enfin de compte ; plus on passe de la production par lot à la fabrication répétitive, plus la technique KANBAN se justifie.

2.6. Pilotage d'un atelier par KANBAN

Avec KANBAN, seule la ligne de fabrication finale connaît les besoins correspondant au produit fini et c'est donc elle qui pilote ce qui est fabriqué dans le système, de la manière suivante :

La ligne de fabrication final, après avoir reçu le PDP (Plan Directeur de production), retire des postes de travail les composants nécessaires, au moment nécessaire, et dans les quantités nécessaires. Lesquels postes de travail produisent des lots justes suffisants pour remplacer ceux qui ont été retirés.

Ils doivent alors, eux aussi, retirer la quantité nécessaire de pièces des postes qui les ont alimentés. Ainsi, une réaction en chaîne en amont, au cours de la quelle les postes de travail ne retirent que les composants souhaités, au moment opportun et dans les quantités voulues.

Le flux de toutes les matières est ainsi synchronisé en fonction du rythme d'utilisation des matières sur la ligne de fabrication. Le volume des stocks sera très faible si le programme de production suit un schéma régulier et si les livraisons sont faites par petites quantités.

2.7. Les cartes KANBAN

KANBAN veut dire carte en japonais. Ces cartes sont généralement des fiches rectangulaires placées dans un étui en plastique. Il existe différent type de carte mais les plus utilisé sont :

- *Les cartes de transfert « T »* : Elles indiquent la quantité de pièces qu'un poste de travail doit sortir de celui qui le précède. Chaque carte circule exclusivement entre deux postes ; celui qui utilise la pièce en question et celui qui la fabrique. Cette carte se présente comme suit (voir figure 2.4) :

<u>Réf-conteneur</u> A61 <u>Réf-pièce</u> P-447		<u>Opération précédente</u> Préparation cadre	
<u>Nom pièce :</u> Cadre tabouret		<u>Opération suivante</u> Assemblage	
<u>Capacité boîte</u>	<u>type de boîte</u>	<u>Date</u>	
10	A	3/4	

Figure 2. 4. Carte de Transfert

La carte de transfert, indique à la fois le nom du poste consommateur et celui du poste fournisseur de la pièce, identifiée par son nom et son numéro de référence. La situation dans le stock tampon est précisée, tout comme le type de conteneur standard utilisé et sa capacité.

Le **KANBAN** de transfert correspond à l'identification de la fiche de transport. Comme indiqué la figure 2.5.

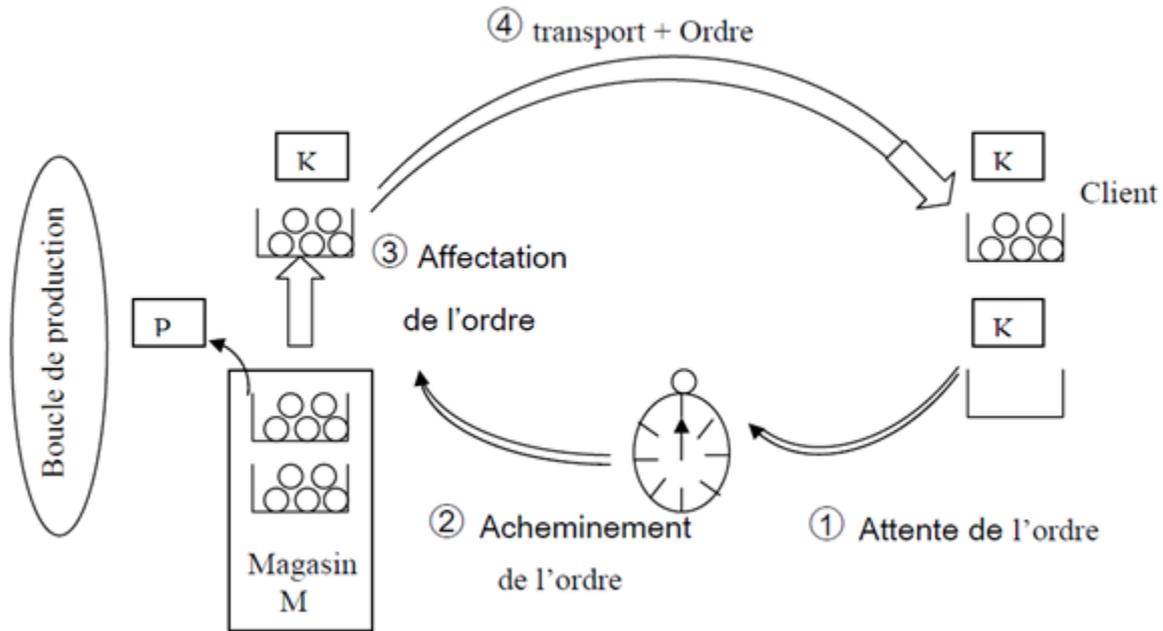


Figure 2. 5. Boucle de Transfert

- *Les cartes de production « P »* : Elles définissent combien d'unités d'une même pièce ; un poste de travail doit fabriquer pour remplacer celles qui sont sorties. Cette carte est présentée comme suit (figure 6) :

Réf-conteneur	A22	Opération :
Réf-pièce	P-447	
Nom pièce : Cadre brut		

Figure 2. 6. Carte de Production

La carte de production contient le nom du poste de travail producteur, de la pièce à fabriquer et l'endroit précis du stock tampon où elle doit être placée. Le **KANBAN** de production correspond à l'identification de la fiche d'instruction concernant l'opération. On peut la voir sur le schéma de la figure 2.7.

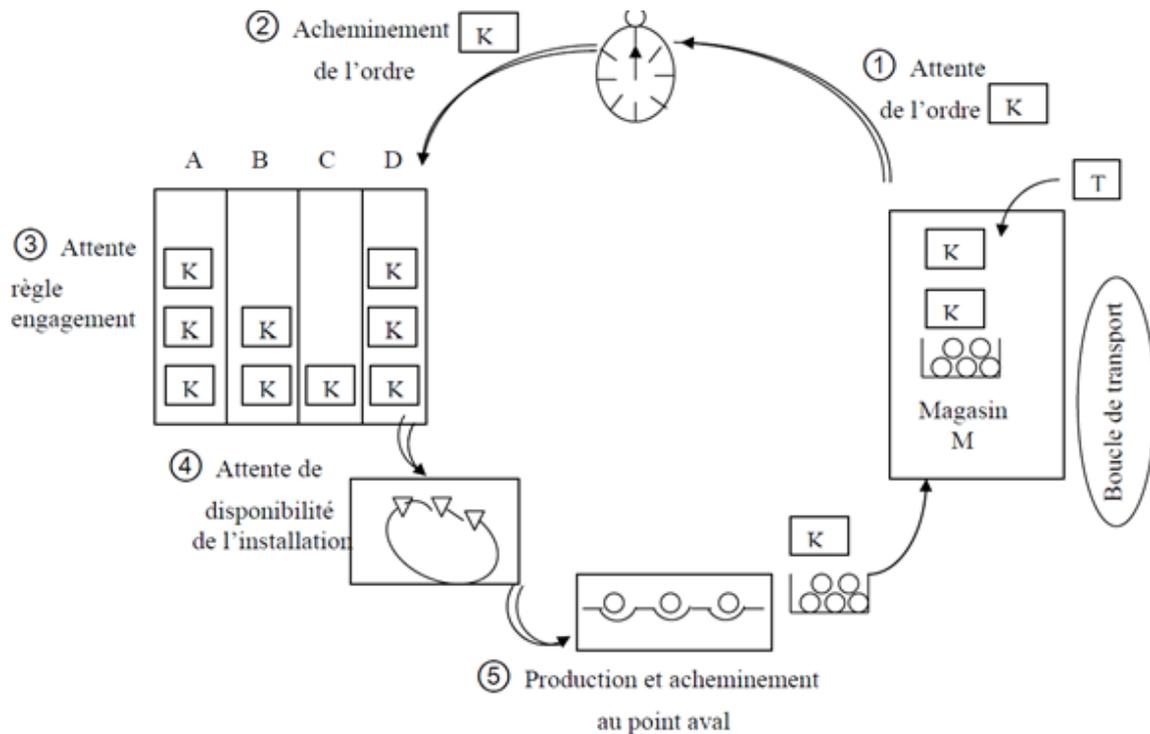


Figure 2. 7. Boucle de Production

Il existe un autre type des cartes, qui se différencie par la couleur, la forme ou les dimensions, et notamment des cartes de sous-traitance, d'urgence spéciales et d'alerte.

2.8. Règles d'utilisation de la carte KANBAN

Il est clair que pour que le système KANBAN fonctionne efficacement, une discipline très stricte est indispensable dans l'utilisation des cartes. Cette obligation de discipline sert également à illustrer combien sont nécessaires des procédures de production bien documentées et des groupes d'opérateurs bien formés, connaissant parfaitement les procédures et sachant, d'expérience, pourquoi ils doivent les appliquer avec rigueur.

Cinq règles concernant l'utilisation des cartes **KANBAN** faciliteront la mise en place d'une production en juste-à-temps :

1. Un poste de travail ne doit du poste qui le précède que les éléments dont il a besoin, dans les quantités nécessaires et ce qui est tout aussi important, au moment voulu.

Cette règle repose sur plusieurs principes :

- Aucune matière ne peut sortir sans qu'il y ait une carte de sortie et un conteneur vide.
- Il est interdit de sortir une quantité de pièces supérieures à celle qu'indique la carte.
- La carte doit être attachée à l'une des pièces qui se trouve dans le conteneur.

2. Un poste de travail doit produire que les éléments qui ont été retirés par le poste suivant.

Les cartes de productions libérées servent de programme pour le poste de travail. Celui-ci n'est pas autorisé à produire plus que ce qu'indique la carte de production et il doit effectuer les opérations dans l'ordre ou les cartes de production ont été libérées. La production étant lancée par le programme directeur de production remis à la ligne de fabrication, le programme remonte dans le système de production au fur et à mesure que les cartes de production sont libérées.[17]

En respectant strictement ces règles, on crée une sorte de « **tapis roulant** » invisible, constitué et piloté par le flux des cartes **KANBAN** dans le système de production.

3. Les produits défectueux ou qui ne sont pas parfaitement conformes ne doivent jamais passer au poste de travail suivant. Il faut donc un contrôle qualité rigoureux à chaque poste ou étape du processus de production. Laisser des éléments défectueux dans le système de production perturbera gravement le flux des pièces à un stade ultérieur, lorsqu'ils seront détectés.
4. Le niveau des stocks dans le système de production est déterminé par le nombre de cartes, puisque chacune représente le contenu d'un conteneur standard. Le nombre de cartes doit donc être réduit. En diminuant le nombre de cartes et le volume de chaque conteneur, on réduit progressivement le niveau des stocks.
5. Le système KANBAN ne permet de traiter que des fluctuations de la demande relativement faibles sur la ligne de fabrication finale. Il ne convient que pour une production répétitive et des changements importants dans la demande ne peuvent pas être absorbés par ce système.

Il est évidemment impossible d'utiliser le système KANBAN si l'on n'est pas à même de formuler un programme directeur stable, pour les éléments du dernier niveau dans la nomenclature. Les petites fluctuations de la demande peuvent être lissées en augmentant la fréquence de circulation des cartes, les heures supplémentaires ou en faisant appel à du personnel temporaire.

2.9. Le mode de circulation du KANBAN

L'objectif du système de production qui prend KANBAN comme principe est de parvenir à une production en fonction des commandes afin de maintenir les stocks à un niveau minimum.

Ainsi le principe adapté par un système de production de pièces à la commande consiste à ce que le poste de travail suivant prélève des produits au poste précédent.

C'est pourquoi, **KANBAN** chemine dans un processus de la façon schématisée par la figure 2.8.[19,20]

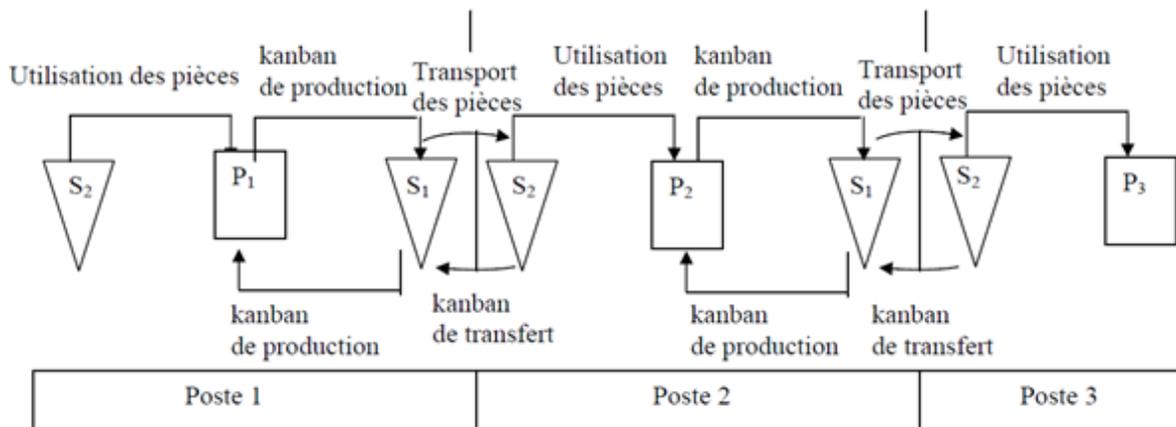


Figure 2. 8.Schéma de principe de circulation des KANBANS

1. Au moment où l'on commence à utiliser les pièces placées près de la ligne de production aval (poste3), on enlève le **KANBAN** de transfert et on le met dans la boîte à **KANBAN**.
2. L'ouvrier prend ce **KANBAN** de transfert avec lui et va chercher des pièces au processus précédent, là il enlève le **KANBAN** de production de la palette qui contient les pièces et le place dans la boîte à **KANBAN** puis il met son propre **KANBAN** de transfert sur la dite palette qu'il achemine jusqu'à la ligne de production aval (Poste3).
3. le **KANBAN** de production enlevé de la palette qui fait office pour le processus précédent de fiche indiquant les opérations effectuées et l'ouvrier de ce processus commence à exécuter sur le produit non terminé puis au dernier poste du processus précédent les opérations indiquées sur le **KANBAN**. Donc on peut résumer ; on enlève le **KANBAN** de production de deux postes précédents (P1, P2) et placé un **KANBAN** de transfert sur la palette.

En remontant successivement la suite des opérations du processus précédant et en échangeant les KANBANS de transfert par des KANBANS de production, une sorte de réaction en chaîne s'effectue.

Grâce à cette méthode, si une modification du programme est faite, il suffit de l'indiquer seulement à la ligne production aval, cette indication sera transmise aux processus en amont de façon automatique, simple et précise.

Autrement dit, dans le cas de variations de la demande intervenant dans un tel système de production en fonction des commandes, il suffit de communiquer les instructions concernant cette variation au processus final pour qu'elles soient transmises de façon claire et simple aux processus en amont, ce qui permet de simplifier le travail administratif.

Ce qui faut bien retenir, c'est que les déplacements des KANBANs permettent de réguler les déplacements des produits tandis que le nombre de **KANBAN** permet de réguler la quantité des pièces dans les flux.

2.10. Le nombre KANBAN

En limitant le nombre de **KANBAN**, on limite le nombre de pièces dans le flux des produits, on élimine le gaspillage dus à la surproduction et on maintient les stocks à un niveau minimum.

Un système de production géré en **KANBAN** fonctionnera dans de bonnes conditions que si le nombre de **KANBAN** est bien déterminé. En effet Un nombre important de **KANBAN** permet d'avoir peu de ruptures, mais conduit à des stocks d'en-cours ou de pièces finies élevées.

Un nombre très restreint de **KANBAN** impliquera de faibles stocks, mais si les flux sont trop tendus, les risques de rupture augmentent.

L'objectif est donc de calculer un nombre de **KANBAN** qui réalisent le meilleur compromis entre la taille du stock et la qualité de service.

La façon de déterminer le nombre de **KANBAN** n'est pas la plus importante. Ce qui a une plus grande importance par contre c'est de se demander : «comment doit-on améliorer le système de production pour fixer un nombre minimum ? ». La réponse est la suivante :

- Définir au mieux l'importance relative des ruptures de stocks par rapport à leur coût.
- Réduire autant que possible les temps nécessaires au changement d'outils, et en produisant par très petits lots pour amener le temps d'attente des kanbans à un niveau minimum.
- Raccourcir autant que possible le délai de production et de transport entre les différents postes, permettra d'accélérer le circuit d'information et une maîtrise plus aisée du flux. [21]

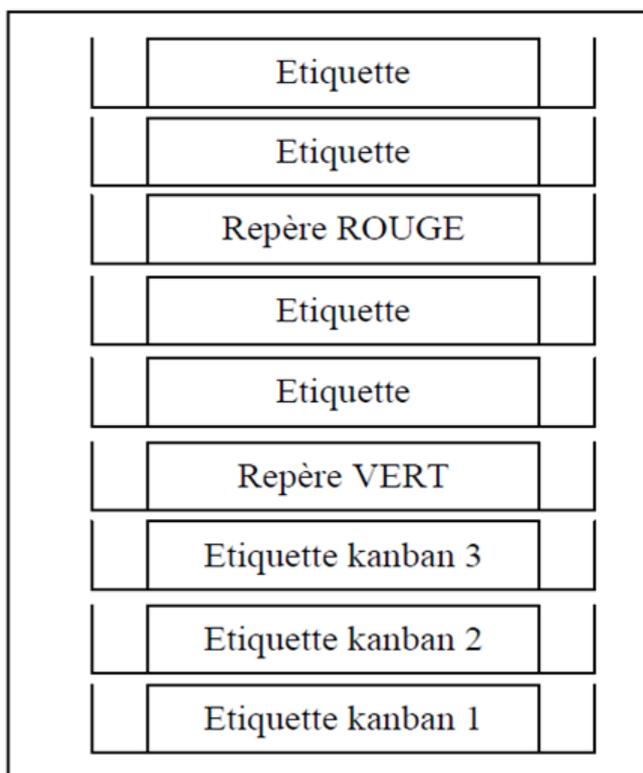


Figure 2. 9. Présentation d'un Tableau KANBAN

La figure 2.9 représente le tableau d'ordonnancement KANBAN d'un poste de fabrication amont présente pour chaque pièce fabriquée, en colonne, les étiquettes reçues de l'aval. Sur chaque colonne, on matérialise un **niveau vert**, correspondant soit au lot de lancement minium, et un **niveau rouge**, correspondant au niveau d'alerte, ou il faut fournir en catastrophe. [22,23]

Le tableau KANBAN a alors exactement le rôle du critère d'ordonnancement. Ce tableau de lancement assure à la fois une visibilité en temps réel de la situation, du degré de tension de flux, et de l'inventaire permanent des en-cours.

2.11. Méthodologie

La méthodologie de mise en route d'un enchaînement KANBAN s'établit de la manière suivante : Pour chaque référence travaillée.

1. **Collecter les données relatives au flux à organiser :**
 - Caractéristiques du flux.
 - Caractéristiques du poste amont (fournisseur)
 - Caractéristiques du poste aval (client).
 - Caractéristiques de la liaison poste amont-poste aval.

2. *Définir les paramètres de fonctionnement :*

- Capacité et nombre de machines par poste.
- Capacité des conteneurs (lot mini de transfert).
- Taille du lot mini de fabrication autorisant un lancement (position de l'index vert).
- Taille de l'en-cours mini (position de l'index rouge).
- Taille du tampon de régulation.

3. *Mettre en œuvre :*

- Confectionner le planning d'ordonnancement.
- Définir le contenu des KANBANs.
- Définir les règles de circulation des KANBANs et du fonctionnement du planning.

4. *Affiner le planning :*

- Régler les index en fonction de l'évolution du système.
- Améliorer l'écoulement du flux.

2.12. *Les conditions nécessaires au bon fonctionnement du KANBAN*

Des règles strictes doivent être appliquées pour que le KANBAN fonctionne efficacement et sans problèmes.[24]

Ces règles reposent sur un certain nombre de conditions concernant la nature du système de production dans le quel fonctionne le KANBAN. Passons-les brièvement en revue.

1. Le programme de fabrication aval doit être très régulier et stable.

Tout écart majeur avec le (PDP) aura des répercussions sur tout le système de production et entraînera l'accumulation de stocks plus importants sur les postes de travail en amont. Il faut donc rechercher un système de production qui soit aussi proche que possible du modèle de production répétitive.

2. La production implique des changements fréquents aux différents postes de travail. Il faut donc que les temps de changements soient aussi brefs que possible, ce qui implique de réviser constamment les procédures. On peut donc conclure que toutes les opérations doivent être équilibrées pour pouvoir synchroniser le départ et la fin des procédures de travail.

3. L'agencement de l'installation doit être fondé sur les flux pour que toutes les opérations soient reliées à la ligne de fabrication aval, afin de réduire les temps

de déplacement et de mettre en évidence les interdépendances entre les postes de travail. Chaque poste doit avoir des aires d'entrée et de sortie des pièces et chaque pièce doit suivre un itinéraire immuable entre les postes. Le système doit être conçu de manière à fonctionner un peu en-dessus de sa capacité totale, pour conserver une certaine flexibilité en cas de problèmes.

4. Un personnel polyvalent est une condition indispensable du KANBAN. L'organisation doit être flexible pour s'adapter aux différentes machines et opérations. Il est parfois difficile d'obtenir de la part des opérateurs l'engagement et cet aspect constitue un obstacle majeur à la mise en place d'un système KANBAN strict dans les entreprises.[25,26]

2.13. Conclusion

Ce chapitre a présenté le système KANBAN dans le contexte de la philosophie juste -à-temps.

Il est évident que le KANBAN a des limites et des inconvénients. Il est intrinsèquement destiné à la production répétitive. Il ne peut être performant sans modification de l'environnement.

On a vu que le KANBAN exige un plan de charge équilibré pour tous les postes de travail, des conteneurs standard et une discipline très rigoureuse. On pourrait le considérer comme une méthode peu flexible dans la mesure où il ne s'adapte pas rapidement à des changements et modification brutale et très importante de la demande, et où il requiert la coopération des fournisseurs extérieurs.

Par contre s'il est correctement mis en œuvre, ce système offre de nombreux avantages.

Le premier est de favoriser l'amélioration de la productivité, la réduction des stocks et des délais et, dans les limites imposées par la conception du produit et du système de production, il permet à l'usine de s'adapter aux fluctuations mineures et prévisibles du marché. KANBAN est une méthode de pilotage des flux qui offre des moyens visibles de maîtriser les stocks et il se comprend facilement. Il n'entraîne que peu de travail administratif, à l'inverse d'autres systèmes et il est capable de fixer des priorités réalistes.

L'amélioration des opérations est facilitée par l'organisation du site, par la mise en place de gabarits et d'outils permettant de changer rapidement de fabrication et d'équilibrer les rythmes de production.

KANBAN présente d'autres avantages : formation d'opérateurs polyvalents, forte réduction des taux de rebuts, amélioration de la qualité et économies d'espace grâce à la réduction des stocks.

En résumé, ce chapitre a exposé le système KANBAN de pilotage des ateliers, qui fait partie intégrante de l'application des principes du juste -à- temps dans le cadre d'une production répétitive. Son fonctionnement a été décrit en insistant particulièrement sur le pilotage du flux des matières au moyen des cartes KANBANs.



Chapitre 3. Mise en place de la méthode Kanban

Dans l'usine de production des tôles métalliques « LAC »

3.1 Introduction

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, l'outil Kanban comme un outil de planification de production pour l'amélioration continue des systèmes productifs industriels. Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'application de cet outil sur un mécanisme industriel gigantesque destiné à la fabrication des tôles métalliques ; ces derniers sont conçues pour la construction industrielle d'autres produits tels que : les pipes lignes, les bouteilles à gaz,...etc. Afin d'atteindre l'objectif de notre projet et pour mieux structurer notre démarche de planification de la production, nous adoptons, dans ce chapitre, la méthode Kanban issue de la démarche JAT « juste à temps ».

Pour une meilleure compréhension, un détail sur le système de production est apparait nécessaire avant application de la méthode Kanban.

3.2. Cycles de fabrication de la brame jusqu'au produit final (Tôle) :

Le système de fabrication d'une tôle se compose de plusieurs étapes

3.2.1. Aciérie à oxygène n° 1

- A la sortie du haut fourneau, la fonte subit une 1^{ère} désulfuration par la chaux. Pour la production de l'acier, on fait souffler de l'oxygène sur la fonte à une température de 1600 °C. Le soufflage se fait par l'eau grâce à des lances refroidies à l'eau (procédé L D) Les teneurs en soufre peuvent atteindre 0,01 à 0,02 %. La scorie est éliminée par un décrassage soigné afin d'éviter au soufre d'être réincorporé dans le métal.
- L'injection d'oxygène permet d'éliminer le carbone, le silicium, le manganèse le phosphore et le soufre se trouvant dans la fonte par formation d'oxydes.
- Lors de la mise à la nuance, des composants chimiques sont rajoutés tels que le silicium, le nickel, le manganèse ou le chrome.
- L'acier est après coulé dans des lingotières par avoir des brames. Les lingotières sont en fonte et peuvent avoir des formes et sections variables.
- Dans la lingotière, a lieu le refroidissement primaire puis un système de jet d'eau asperge le produit, c'est le refroidissement secondaire.
- Un système d'oxycoupage permet de couper la brame selon la longueur exigée. On utilise des cisailles hydrauliques ou le chalumeau.

Largeur brame 750 à 1300 mm

Longueur brame 7000 à 9000 mm

Epaisseur brame 150 à 220 mm

- Refroidissement de la lingotière

Quantité totale d'eau 6000 L/min

Débit 360 m³/h

Entrée température max 40 °C



Figure 3. 1. La brame

3.2.2. Laminoir à chaud LAC

- Les brames produites au niveau de l'aciérie à oxygène ACO₁ sont réceptionnées par deux halles de stockages parallèles au LAC, ensuite les brames subissent un refroidissement à l'air libre ou avec de l'eau dans des piscines.
- Le laminoir à chaud est situé à l'aval de l'aciérie à oxygène (1) et à l'amont du laminoir à froid (LAF).
- Le LAC représente l'une des plus importantes unités de production au sein du complexe, un ensemble de plusieurs installations forment la chaîne de laminage.
Pour réchauffer des brames à la température de 1000°C-1250°C donc le LAC est un atelier qui transforme à chaud des brames d'acier en bandes et tôles fortes.

Le train de laminage comprend les installations suivantes :

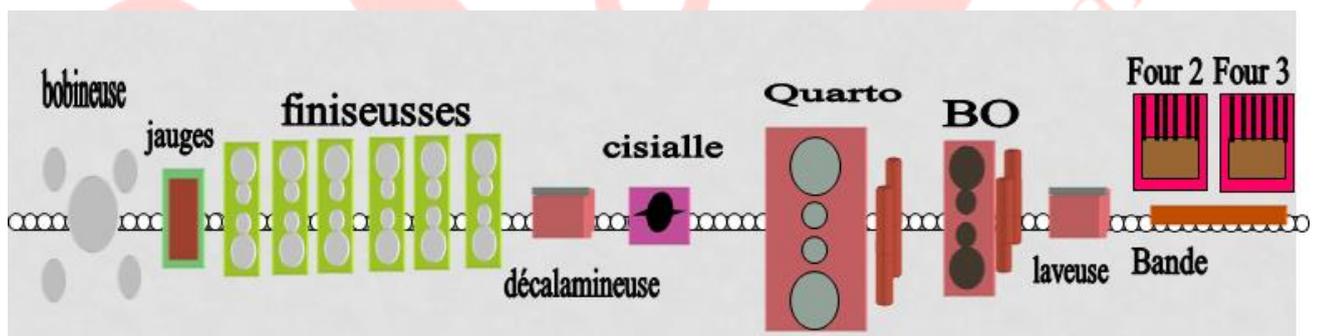


Figure 3. 2. Laminoir à chaud LAC

3.2.3. Les installations de l'unité laminoir à chaud

A. Trois fours poussant

- **Four N°1 :**

Il est destiné pour réchauffer les brames programmées afin de produire la tôle forte, cette opération vise l'augmentation de l'élasticité du métal et par conséquent on économise l'effort de laminage et pour avoir une meilleure réduction de l'épaisseur et de la largeur.



Figure 3. 3. Four N°1

Le four présente les caractéristiques suivantes :

Longueur $L_1 = 36500$ mm

Largeur $L_2 = 6300$ mm

Hauteur $H = 650$ mm

Capacité $C = 125$ t/h

Température $T = 1260^\circ\text{C}$

• **Four°2 et N°3 :**

Ils sont spécialisés pour les brames destinées à la production des bandes fines (bobines).

Ils ont les caractéristiques suivantes :

Longueur $L_1 = 32500$ mm

Largeur $L_2 = 9800$ mm

Hauteur $H = 4700$ mm

Capacité $C = 240$ t/h

La température $T = 1250^\circ\text{C}$

B. Le décalamineuse

Son utilité est de chasser la couche de calamine formée sur la surface de la brame durant l'ébauchage qui s'effectue au niveau du quarto – réversible jusqu'au train finisseur.

Cette opération se fait par un jet d'eau sous pression de 140 Bars.

C. La Planeuse

Elle est mobile et s'efface latéralement lorsqu'on passe d'un programme tôle à un programme bande .elle est utilisée pour corriger le trajet de la tôle.

D. Cisaille à ébouter

Elle est située juste avant le train finisseur .Elle réalise la coupe de la tête et la queue de L'ébauche provenant de quarto.

E. Ligne de décapage

Les bobines, une fois sorties du LAC sont transférées au niveau de la ligne de décapage où elles subissent un décapage à l'acide sulfurique pour éliminer les oxydes et la calamine enduites lors du laminage à chaud.

La concentration du bain est de 100 g/l

La température du bain de décapage est de 90 °C

3.2.4. Unité de laminoir à froid « LAF »

A. TANDEM

Les bobines décapées sont transférées au niveau du Tandem pour subir une réduction de l'épaisseur.

❖ Présentation de la machine TANDEM

Le tandem est destiné au laminage des tôles d'acier décapées par une réduction d'épaisseur en une seul passe, ce laminoir comprend cinq (05) cages du type quatre (04) cylindres, qui appliquent sur la tôle des pressions de laminage considérables.



Figure 3. 4. Laminoir Tandem à 5 Cages

Dans le but de répondre aux exigences de production le laminage continu requiert la mise en Ouvre d'une fonction permettant de changer le réglage (point de fonctionnement) du laminoir sans l'arrêt de ce dernier. Une meilleure compréhension et une introduction au concept du « parallélisme plan » requiert que ce qui mène à dire que la réduction d'épaisseur dans le laminage

requiert une force, cette force se transmet à travers les paliers des cylindres et les cylindres se déforment en fonction de ces forces exercées.

Nombre de cages	5
Largeur (mm)	600 - 1880
Epaisseur à l'entrée (mm)	1.5 – 5.0
Epaisseur à la sortie (mm)	0.18 – 2.0
Réduction Maxi	90%
Force de laminage	10 – 15 Kgf/mm²

❖ **Equipement de l'atelier des cylindres TANDEM**

- Trois rectifieuses dont deux pour la rectification des cylindres de travail et un pour les cylindres d'appui.
- Un basculeur d'empoises.
- Une machine à laver les roulements.
- Une machine de démontage des empoises des cylindres d'appui.
- Deux machines de démontage des empoises des cylindres de travail.
- Un système de réchauffage des cylindres de travail.
- Divers supports et râteliers de stockage des différents cylindres nus et équipés.

❖ **Réductions des épaisseurs par cage**

La distribution d'une manière harmonique des épaisseurs de la bande laminée à la sortie de chaque cage du laminoir tandem à 5 Cages va minimiser la consommation de l'énergie et crée du profit au niveau des résultats économiques du laminage tandem.

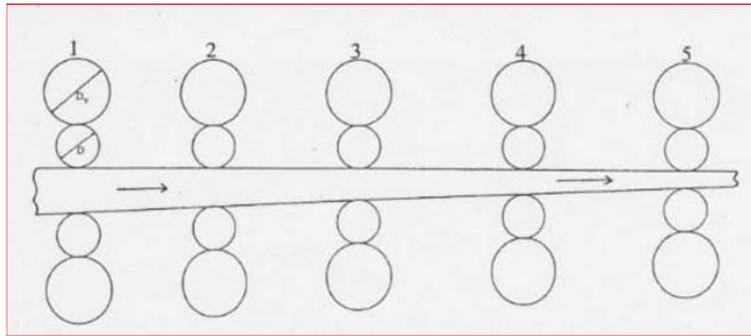


Figure 3. 5. Diagramme schématique du flux et des réductions par cages

❖ Description du laminoir tandem

Le laminoir tandem est composé de trois zones :

- **Zone d'entrée** : elle comprend un convoyeur d'entrée, la préparation des bobines et la débobineuse.
- **Zone de laminage** : elle est constituée essentiellement du laminoir tandem comprenant cinq cages identiques. Chacune de ces cages de travail se compose à son tour de la cage proprement dite : de la commande et des équipements auxiliaires.
- **Zone de sortie** : elle est composée de : chariot de bobine, zone d'inspection, convoyeur de bobines, enrouleuse et peseuse de bobines.

❖ Ligne de galvanisation

- Pour répondre aux impératifs d'exploitation, et pour des raisons d'ordre économique, la section entrée de la ligne de galvanisation comporte deux dérouleuses avec équipements auxiliaires. Pendant d'une bande se trouve en cours de déroulement, la bobine suivante est placée sur l'autre dérouleuse et la tête de la nouvelle bande amenée jusqu'à la soudeuse. Ceci permet de réduire à un minimum les temps d'arrêt dans la section entrée et, par suite, de limiter la réserve de bande dans l'accumulateur (360 m à 2.4 min) tout en exploitant à plein la capacité de la ligne.
- Le rôle de la soudeuse est de souder bout à bout à chaque fois la queue de la bande déroulée et la tête de la bande suivante. Les opérations nécessaires à ce soudage s'effectuent en grande partis de façon automatique.

❖ Ligne de cisailage (fabrication de la tôle)

Les bobines galvanisées sont transférées au niveau de la ligne de cisailage pour être cisillées en tôles à la longueur demandée par le client. Chaque 30 ou 40 tôles sont empaquetées dans un paquet et emballées.

Le type des aciers ainsi que les caractéristiques utilisées sont présentées dans la section Annexe.

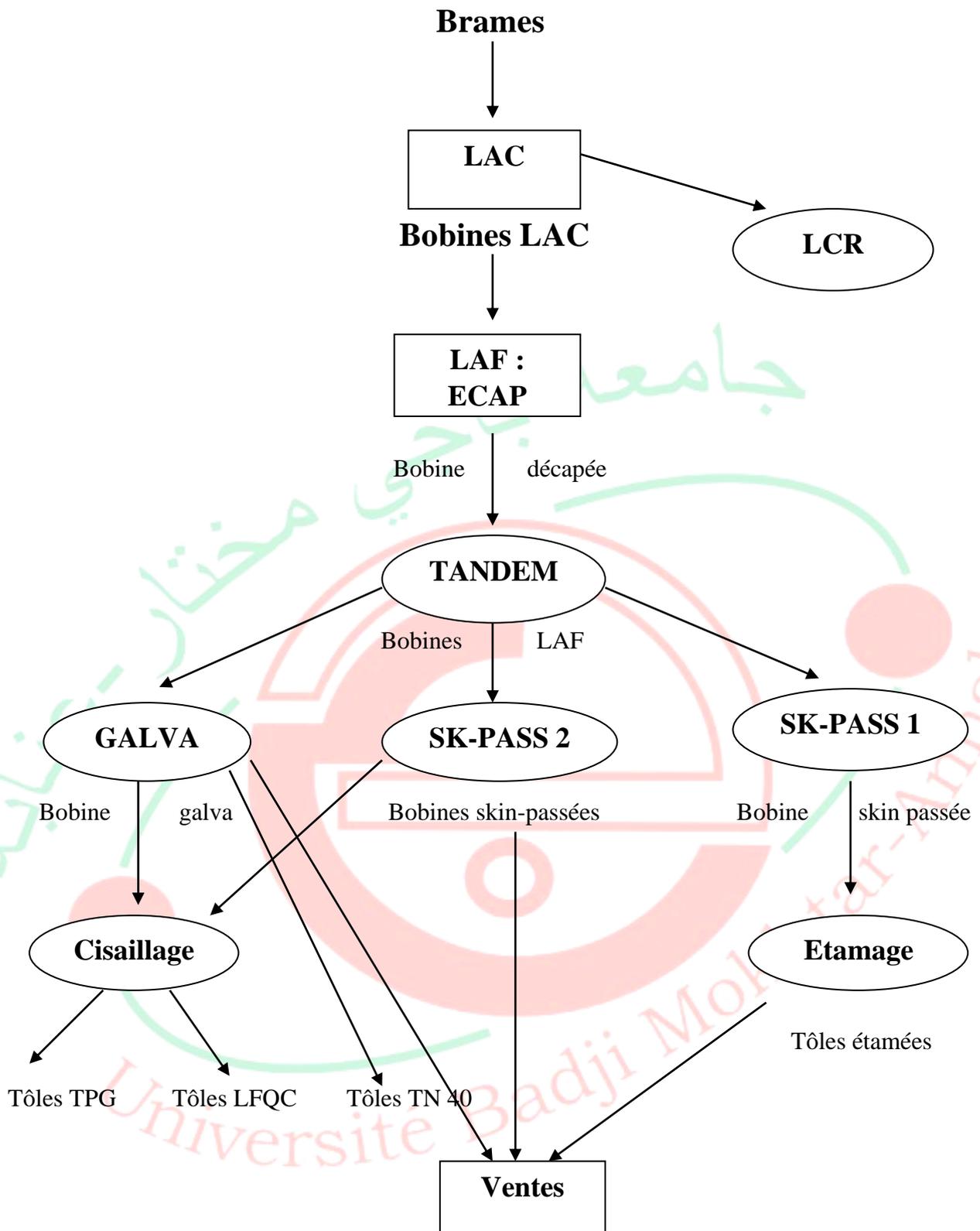


Figure 3. 6. Cycle de fabrication d'une tôle

3.3. Mise en place de la méthode KANBAN

3.3.1. Méthodologie

La méthodologie de mise en route d'un enchaînement KANBAN s'établit de la manière suivante :
Pour chaque référence travaillée.

❖ *Collecter les données relatives au flux à organiser :*

- Caractéristiques du flux.
- Caractéristiques du poste amont (fournisseur)
 - Caractéristiques du poste aval (client).
- Caractéristiques de la liaison poste amont-poste aval.

❖ *Définir les paramètres de fonctionnement :*

- Capacité et nombre de machines par poste.
- Capacité des conteneurs (lot mini de transfert).
- Taille du lot mini de fabrication autorisant un lancement (position de l'index vert).
 - Taille de l'en-cours mini (position de l'index rouge).
 - Taille du tampon de régulation.

❖ *Mettre en œuvre :*

- Confectionner le planning d'ordonnancement.
 - Définir le contenu des KANBANS.
- Définir les règles de circulation des KANBANS et du fonctionnement du planning.

❖ *Affiner le planning :*

- Régler les index en fonction de l'évolution du système.
- Améliorer l'écoulement du flux.

3.3.2. Calcul du nombre de Kanban

Pour calculer le nombre de Kanban nécessaire, on doit respecter les étapes suivantes :

Etape 1 : Collecter les données relatives aux flux à organiser

❖ *Caractéristiques du flux*

➤ *Caractéristiques du flux*

Nous avons :

- Une demande journalière moyenne de 3500 Tôles ;
- Une variation de la demande : + ou - 10 %

➤ *Caractéristiques des postes*

- L'atelier de travail en 3 x 8 Heures, avec 5 jours par semaine suite à la perte temps de préparation des machines, nous estimons que le temps réel de travail est de 7 heures au lieu de 8 heures
- Le taux d'aléas de l'ensemble : nommé aussi le taux de non disponibilité, est de 12.5 % soit une disponibilité de 87.5 %
- La cadence moyenne de production est donnée par le tableau suivant :

Table 3. 1. Cadence moyenne des postes

POSTE	CADENCE MOYENNE (8 h)
Préparation et engagement de la bobine	2374
Contrôle visuel	2251
Contrôle dimensionnel	2251
Contrôle de l'aspect de surface	1175
Contrôle caractéristique mécanique	791

➤ *Caractéristique de la liaison poste amont-poste aval*

Pour simplifier le modèle KANBAN on considère :

- La durée de transport d'un conteneur entre deux postes est nulle.
- Collecte des KANBANS : chaque KANBAN est recyclé dès que le poste aval entame le conteneur sur lequel il était fixé. Donc le temps de retour de KANBAN est nul.

Etape 2 : Définir les paramètres de fonctionnement

➤ *Capacité des conteneurs*

La taille du conteneur définit la vitesse du flux de matières.

Le conteneur est le plus petit lot de transfert entre deux postes ou deux ateliers.

Plus sa capacité est petite plus le délai d'obtention des pièces est faible.

La règle donnée par Toyota est la suivante : « **La capacité des conteneurs doit correspondre au 1/10 de la demande journalière** ».

Dans notre cas la demande journalière est de **3500** tôles en moyenne. Nous retiendrons le nombre de **3500/10=350** tôles correspondant.

La durée d'écoulement de **1.2 H** au poste aval de fabrications des tôles.

- Le tableau 3.1 présente les différentes durées d'écoulement pour les différentes postes.

Table 3. 2. La durée d'écoulement au poste aval

Poste	Durée découlement en Heure
Préparation et engagement de la bobine	1.2
Contrôle visuel	1.25
Contrôle dimensionnel	1.25
Contrôle de l'aspect	2.5
Contrôle caractéristique mécanique	3.5

➤ **Taille du lot mini de fabrication**

- Le lot minimum de fabrication pour un lancement est le nombre minimal de KANBAN présenté sur le planning d'un poste qui autorise l'activation de celui-ci alors qu'il est désactivé.
- Si on prend comme exemple la fabrication des tôles comme poste amont, sa cadence est de 2374 pièce /8 Heure ; le lot de fabrication sera de $(2374/8) \times 2 = 593.5$ « 2 Heures représentent le temps de changement et de réglage). Ce qui représente (593.5 /350) soit 2 conteneurs, ou encore 350 tôle ce qui est équivalent à une durée de production de 2.4 H au poste amont de fabrication des tôles. Avec le même raisonnement nous avons calculé le nombre de conteneur (qui détermine le lot minimal de fabrication), ainsi que la durée de production au poste amont « comme montré dans le tableau 3.3 ».

Table 3. 3. Le lot de fabrication et la durée de fabrication

POSTE	Lot mini de fabrication « conteneur »	La durée de fabrication au poste amont « H »
Engagement de la bobine	2	2.4
Contrôle visuel	2	2.5
Contrôle dimensionnel	2	2.5
Contrôle de l'aspect	1	2.5
Contrôle caractéristique mécanique	1	3.5

➤ **Taille de l'en-cours mini**

L'en-cours mini doit permettre d'éviter la rupture d'approvisionnement au poste aval. C'est l'anti-aléa minimum du flux. Il est déterminé par le temps de réponse en catastrophe du poste amont si le poste aval a un besoin urgent des pièces, donc c'est la durée minimale d'une rotation complète d'un KANBAN. En tenant compte des aléas du système de production, cette durée est composée du :

- Le temps d'usinage d'un conteneur au poste amont.
- Le temps de transit de ce conteneur vers le poste aval.
- Le temps de recyclage du KANBAN.

Pour notre cas on a :

- Le temps de transit d'un conteneur entre deux postes est nul
- Le temps de recyclage de KANBAN est nul
- Le temps d'usinage d'un conteneur au poste amont est représenté dans le tableau 3.4.

Le temps de réglage et le temps d'attente planning sont représentés dans le tableau 3.5.

Table 3. 4. Le temps de réglage et le temps d'attente planning

POSTE	Le temps de réglage et le temps d'attente planning
Engagement de la bobine	0
Contrôle visuel	1.25
Contrôle dimensionnel	1.25
Contrôle de l'aspect	2.5
Contrôle caractéristique mécanique	0

Si on prend le cas de fabrication des tôles, on a :

- Recyclage d'un KANBAN 0 0 H
- Usinage de conteneur 1.25 H
- Livraison de conteneur au poste aval 0 0 H
- Le temps de réglage et le temps d'attente planning 0.0 H
- * Rotation complète d'un KANBAN 1.25 H

Il s'agit de **1.25 H** pendant lesquelles la fabrication des tôles produit. Cela représente :

$$2374(1.25/8) = 370 \text{ unités d'où : } 370/350 = 1$$

Donc on prendra un conteneur pour tenir compte des aléas possible aux postes.

Le poste amont (fabrication des tôles) disposera donc d'un délai d'écoulement d'un conteneur au poste aval soit :

$$1.25h * 1(\text{conteneur}) = 1.25H$$

La marge dont dispose ce poste aval amont pour réagir est donc des :

$$1.25H - 1.25H = 0H$$

D'une manière analogue, on détermine les en-cours mini de chaque poste (voir tableau 3.5)

Table 3. 5.L'en-cours mini et la marge pour réagir

POSTE	En-cours mini (conteneur)	MARGE POUR REAGIR
Engagement de la bobine	1	0
Contrôle visuel	1	1.25
Contrôle dimensionnel	1	1.25
Contrôle de l'aspect	0	2.5
Contrôle caractéristique mécanique	0	0

❖ **Taille du tampon de régulation**

Le tampon de régulation sert à donner de la souplesse au système et à limiter les demandes en " catastrophe ". Le besoin de souplesse est particulièrement nécessaire lorsque le poste amont travaille plusieurs références de pièces. Nous estimerons le tampon nécessaire à 1.25 heures.

Pour l'embouti supérieur on a : $2374 * 1.25 = 2967$ unités Ce qui correspond à $2967/350 = 8,47 = 9$ conteneurs.

Il n'y a pas de contre-indication à prendre un tampon important. Si dans la pratique il s'avère excessif, il suffira d'éliminer les kanbans superflus.

Le tableau suivant représente les tampons de régulation de chaque poste et ses capacités

Table 3. 6.Tampons de régulation

POSTE	TAMPON DE REGULATION (conteneur)	TAILLE DE TOMPON DE REGULATION
Engagement de la bobine	9	2967
Contrôle visuel	8	2813
Contrôle dimensionnel	8	2813
Contrôle de l'aspect	4	1468
Contrôle caractéristique mécanique	3	988

Etape 3 : Mise en œuvre

❖ *Définir le planning d'ordonnement*

Les ordres de fabrication (KANBANs) sont placés dans un tableau d'ordonnement de la production. Il s'agit d'un tableau mural, qui sera placé au poste amont et sur lequel seront rangés les KANBANs, quand ils ne seront pas sur les conteneurs (KANBANs libres).

On définit trois zones de décision qui permettront de choisir le type de pièce à lancer en priorité.

- ❖ La zone « **Verte** » : est la première à recevoir des étiquettes. Si on est dans cette zone, on sait qu'il reste suffisamment de KANBANs dans l'atelier et donc des pièces finies ou en cours de fabrication pour satisfaire les besoins du consommateur.
- ❖ La zone « **Rouge** » : est la dernière à recevoir des étiquettes. Lorsque 'on est dans cette zone, le nombre de KANBANs libres revenus est tel qu'on risque fortement de ne pas fournir le consommateur. Il faut donc absolument lancer immédiatement la production des pièces concernées.

En fin, il existe une zone intermédiaire entre le lancement interdit et le lancement immédiat.

- La zone « **blanche** » : qui correspond à un état de l'atelier pour lequel il n'est pas indispensable de lancer la production de la pièce, mais pour lequel un nombre suffisant de KANBAN est revenu pour autoriser le lancement en fabrication du type de pièce concerné
- Si on prend le cas du poste amont de fabrication des tôles, les résultats de l'étape 2 nous donnent :

- Lot minimal de fabrication : 02 Kanban
- En-cours mini : 01 kanbans
- Tampon de régulation : 09 kanbans
- **TOTAL = 12 kanbans**

Le planning comportera donc : **12** emplacements. L'empilement des KANBANs se fera à partir du bas. L'allure du planning vide est donnée par la figure 2, les emplacements <1> et <2> concernent le lot mini de fabrication. L'index vert sera situé au-dessus de l'emplacement <2>.

Les emplacements de <3> à <11> concernant le tampon de régulation. Ensuite vient l'emplacement <12> de l'en-cours mini. L'index rouge sépare le tampon de régulation de l'en-cours mini. Voici l'allure du planning vide :

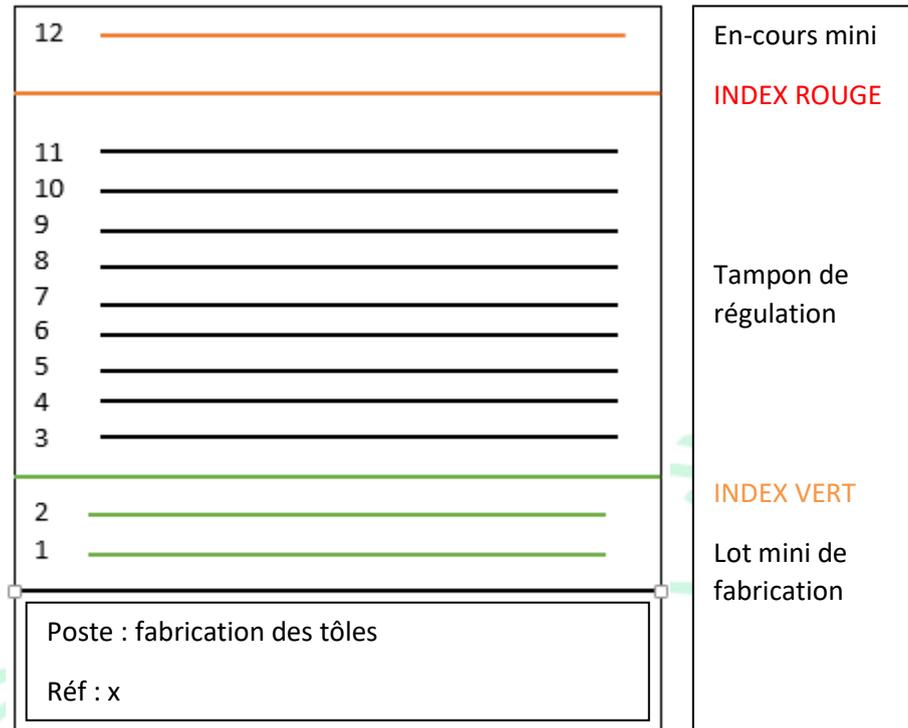


Figure 3. 7.Planning d’ordonnancement pour le poste de fabrication des tôles

Les (12) KANBANS représentent l’en-cours maximum entre les deux postes (Amont-Aval). Il sera ici de :

$$350 * 12 = 4200 \text{ tôles}$$

Il ne pourra jamais être supérieur à cette valeur. Donc l’en-cours moyen sera de : 54 tôles et l’anti-aléa moyen de : 54 tôles également.

De même on définit tous les plannings d’ordonnancement concernant toutes les postes dans le tableau 3.7 :

Table 3. 7.Tampons de régulation

POSTE	INDEX VERT	INDEX ROUGE	INDEX BLANCHE	TOTAL (Li)	EN-COURS MAX (tôles)
Engagement de la bobine	2	1	9	12	4200
Contrôle visuel	2	1	8	11	3850
Contrôle dimensionnel	2	1	8	11	3850
Contrôle de l’aspect	1	0	4	5	1750
Contrôle caractéristique mécanique	1	0	3	4	1400

❖ *Définir les règles de fonctionnement du planning*

Plus il y'a de KANBANs présents au planning moins il y a de la matière en circulation (encours) entre le poste amont et le poste aval. La modulation du flux s'opère donc par le contrôle du nombre de KANBANs sur le planning.

Les règles de fonctionnement du planning d'ordonnancement sont :

- 1- Le lancement devient obligatoire lorsque la pile atteint l'index rouge car on risque une rupture d'approvisionnement au poste aval.**
- 2- Le lancement est autorisé lorsque la pile s'arrête entre les deux index.**
- 3- Le lancement est interdit lorsque la pile de kanbans rangés sur le planning n'atteint pas l'index vert.**

Il faut bien comprendre la signification de l'index VERT. Cela ne veut pas dire, pour l'exemple de fabrication des tôles , que le lot de fabrication doit obligatoirement être de deux conteneurs. Cela signifie simplement que l'autorisation de lancer un lot en fabrication ne peut avoir lieu qu'à partir du moment où le nombre minimal de KANBANs au planning est au moins de deux.

Etape 4 : Affiner le planning

Le planning est à l'image d'instantanés photographiques. En cela, il ne permet pas de mémoriser ces états successifs. Or, pour supprimer des kanbans il est nécessaire de savoir lesquels, sur une longue période, n'ont jamais été utilisés.

Seul un suivi, par exemple informatique, peut permettre l'évolution en fonction du temps du planning.

3.4. Comparaison entre le modèle existant et le modèle KANBAN

❖ *Calcul de l'Efficacité de Cycle de Production [ECP]*

Le temps de production d'un lot d'articles est en général beaucoup plus long que le temps de transformation. Le délai de production d'un produit est composé de quatre éléments principaux, qui sont :

- Le temps de fabrication effective.
- Le temps de changement de fabrication.
- Le temps de déplacement.
- Le temps d'attente.

Le KANBAN a compris le rôle qu'ils jouent et s'efforce de les réduire autant que possible.

L'Efficacité de Cycle de Production (ECP) est un Ratio défini par :

$$ECP = \frac{\text{Temps de transformation}}{\text{Temps de production}}$$

Le temps de transformation : c'est le temps pendant lequel le produit est usiné ou assemblé.

Pour une production en flux tendus le temps de production d'une pièce est exactement égal au temps de transformation. L'ECP est donc égale à « 1 ». Ainsi plus le ECP se rapproche de « 1 », moins il y a de temps perdu et plus l'entreprise améliore sa réactivité aux demandes des clients.

Pour le cas des tôles on a :

- Le temps de transfert est calculé à partir du volume produit dans la période de la demande « 12 mois ». Par exemple pour la fabrication des tôles :

$$\begin{array}{l} 2374 \longrightarrow 1 \\ 2384 \text{ tôles (volume journalière)} \longrightarrow x \end{array}$$

Donc $X = 1/8H$

- Le temps de production se calcule à partir du volume souhaité atteindre à partir de système KANBAN dans les délais voulus de la demande. Par exemple dans le cas de fabrication des tôles :

$$\begin{array}{l} 2374 \longrightarrow 1 \\ 3500 \longrightarrow Y \end{array}$$

Donc $Y = 1.47/8H$

Le temps de production et le temps de transfert des autres postes du système sont donnés par le tableau 3.8.

Table 3. 8.L'efficacité de cycle de production (ECP)

POSTE	Temps de transfert (8h)	Temps de production (8h)
Engagement de la bobine	1	1.47
Contrôle visuel	1.05	1.55
Contrôle dimensionnel	1.05	1.55
Contrôle de l'aspect	2.02	2.97
Contrôle caractéristique mécanique	3	4.42
Totale	8.12	11.96
ECP %	67.89 %	

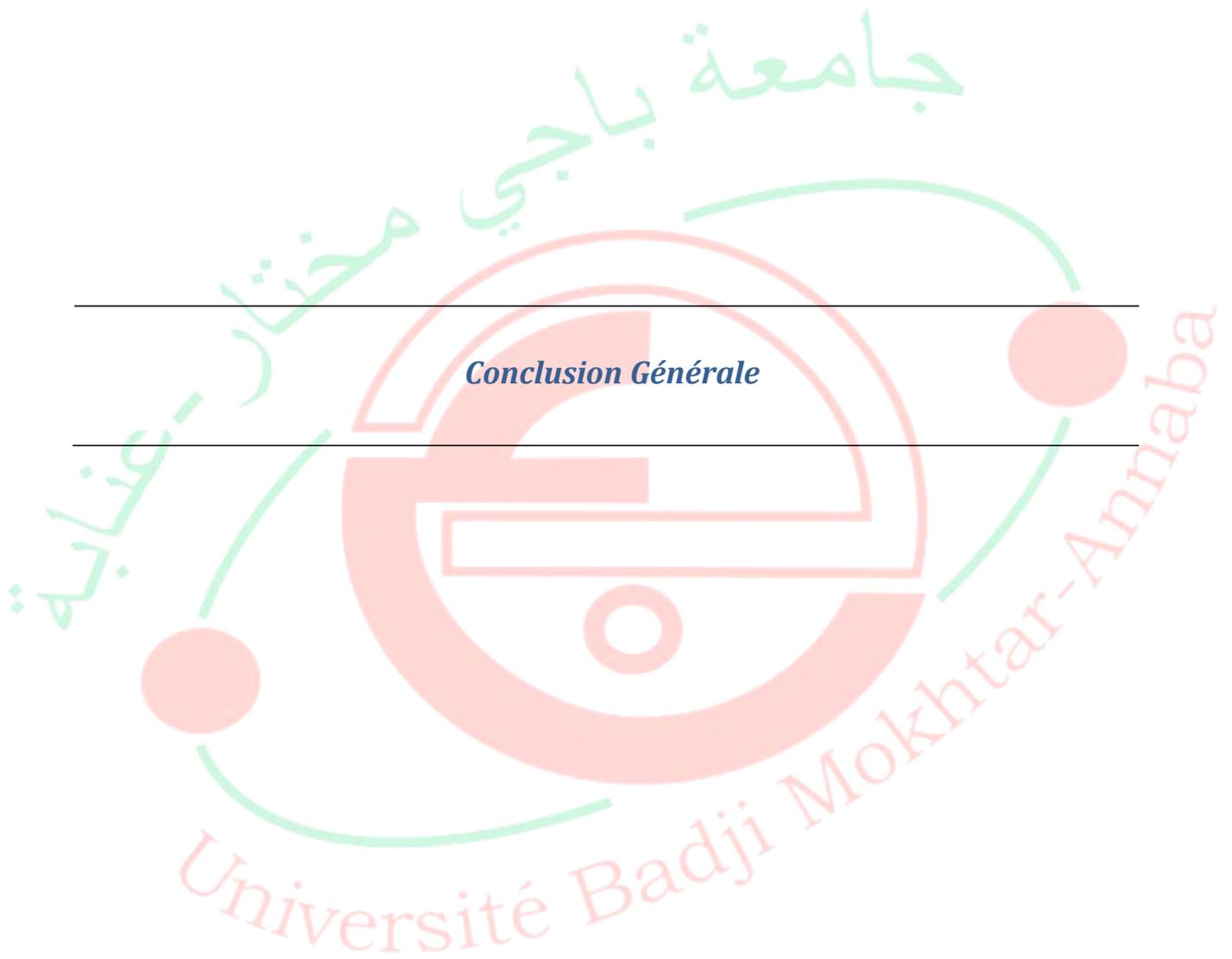
Le rendement global de l'unité de production dépend de l'ECP de cette dernière.

Dans notre cas le : **ECP = 67.89 %** Il ne représente pas réellement les cadences des équipements autant qu'il représente la méthode avec laquelle sont gérés les capacités et les ressources de production. Par exemple, la rupture de stock ou l'arrêt d'un équipement engendre un retard dans le cycle de production qui ramène l'ECP à une valeur éloignée du « 1 ». Tandis que dans le système KANBAN la gestion des capacités et des ressources est prise en considération lors de la planification de production.

Tous fois, l'ECP nous donne une vue globale sur l'unité de production et où on est situé pour remédier notre système.

3.5. Conclusion

- Afin d'atteindre l'objectif, les entreprises doivent maîtriser la complexité de leurs systèmes de production.
- La méthode KANBAN a une aptitude de gérer les flux de production de telle sorte qu'il n'y ait ni trop de pièces dans le système ni pas assez.
- le contrôle du nombre de pièces présente dans les stocks et processus de fabrication devient possible, et peut déterminer les niveaux du stock des produits finis ou semi finis nécessaires à la prise en charge de toute nouvelle commande.
- les tableaux d'ordonnancement permettent de donner à l'opérateur de chaque poste une perception de son environnement et une capacité de contrôle local, il décide de lui-même des actions à entreprendre en fonction des objectifs locaux. C'est à dire qu'ils permettent de décider quoi faire, quand et où.
- En conclusion, on peut dire que cette étude reste limitée vu la complexité du domaine de management de la production d'une part, et de l'immensité du système choisi et la très grande interaction de ces composantes matérielles et organisationnelles d'autre part.



Conclusion Générale

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le management de la production recherche la performance de l'organisation mesurée, non seulement par les critères traditionnels, mais surtout par la qualité entendue au sens large, c'est-à-dire la capacité à créer de la valeur pour des clients, dans les meilleures conditions d'utilisation des ressources.

A travers cette étude, nous avons essayé de montrer l'importance et l'utilité que peut revêtir la mise en œuvre des outils du management (organisation de la production, planification de la production)

Au terme de notre approche, nous avons mis en évidence, dans l'univers industriel, le rôle du MRP, Kanban, TPM, SMED et OPT en tant qu'outils d'organisation de la production, PERT, POTENTIEL, et GANTT en tant qu'outils de planification de la production et de la MSP en tant qu'outils. Ces outils sont beaucoup plus vastes, beaucoup plus globaux, comprenant des actions en amont « études, méthodes, achat, fournisseurs » et des actions en aval de la fabrication.

Dans notre application, notre choix s'est focalisé sur la méthode Kanban et la démarche ECP pour bien illustrer d'une part, la manière la plus efficace d'organisation de la production par le Kanban.

Bibliographie

- [1] Colin R., Produire JAT en petites séries, Paris, Les éditions d'organisation, 1996.
- [2] Courtois A., Martin-Bonnefous Ch., Pillet M., Gestion de la production, Paris, Les Éditions d'Organisation, 2006.
- [3] Dornier Ph.-P., Fender M., La logistique globale, Paris, Les Éditions d'organisation, 2001.
- [4] Fabbe-Costes N. (coordonné par), Faire de la recherche en logistique et distribution, Paris, FNEGE, Vuibert, 2000.
- [5] Giard V., Gestion de la production et des flux, Paris, Economica, 2003.
- [6] Giard V., Processus productifs et programmation linéaire, Paris, Economica, PIQ Poche, 1998.
- [7] Giard V., Statistique appliquée à la Gestion, Paris, Economica, 1995.
- [8] Gogue J.-M., Management de la qualité, Paris, Economica Poche, 2001.
- [9] Gogue J.-M., Traité de la Qualité, Paris, Economica, 2000.
- [10] Gomez P.Y., Qualité et théorie des conventions, Paris, Economica, 1994.
- [11] Gratacap A., La gestion de production, Paris, Collection « Les Topos », Dunod, 2002.
- [12] Système KANBAN www.economie.gouv.qc.ca
- [13] La méthode KANBAN dans la logistique de fabrication www.bito.com
- [14] Gestion de production www.e-presta-formation.fr
- [15] Étude de la pertinence d'un KANBAN hal.archives-ouvertes.fr
- [16] La méthode KANBAN – Gestion des flux www.rocdacier.com
- [17] Méthode KANBAN www.sesa-systems.com
- [18] Étude expérimentale du pliage www.technique-ingenieur.fr
- [19] Les tôles www.plagssol.com
- [20] KANBAN www.sesa-systemes.com
- [21] Grua H., Segonzac J.-M., La production par les flux, Paris, Série Production Qualité, Dunod, 1999.
- [22] Ohno T., L'esprit Toyota, Paris, Masson, 2000.
- [23] Pache G., La logistique : enjeux stratégiques, Paris, Vuibert Entreprises, 2000.
- [24] Pellegrin C., Fondements de la décision de maintenance, Paris, Economica, PIQ Poche, 1997.
- [25] Fabbe-Costes N., « Information management in the logistics service industry : a strategic response to the reintegration of logistical activities », Transport Logistics, vol. 1, n° 2, 1997.
- [26] Fassio G., Risques et performances d'un réseau industriel d'approvisionnement, Revue Française de Gestion Industrielle, vol. 26, n° 3, 2007.

Annexe A

A. Types d'acier d'une tôle galvanisée fabriquée d'ARCELOR MITAL

A.1. Acier de construction générale

NUANCES ET QUALITES	EPAISSEURS (mm)	TYPES D'ACIER	NORMES DE REFERENCE
A 33 S185	1,8 à 5,0	A9	NF A 35 501
	5,1 à 12,0	A13	NF EN 10025
A34/2	1,8 à 5,0	A9	NF A 35 501
	5,1 à 12,0	A13	
E24 /2-3 S235 JR	1,8 à 5,0	A9	NF A 35 501
	5,1 à 12,0	A13	NF EN 10025
E28 /2-3 S275 JR	1,8 à 5,0	A13	NF A 35 501
	5,1 à 12,0	C16	NF EN 10025

A.2. Acier pour emboutissage

NUANCES ET QUALITES	EPAISSEURS (mm)	TYPES D'ACIER	NORMES DE REFERENCE
BS1 P245NB	1,8 à 4,5	BS1	NFA 36 – 211 NF EN 10120
BS2 P265NB	1,8 à 4,5	BS2	NFA 36 – 211 NF EN 10120
1C DD11	1,8 à 12,0	A9	NFA 36 – 301 NF EN 10111

3C DD13	1,8 à 4,5	A5	NFA 36 – 301 NF EN 10111
------------	-----------	----	-----------------------------

A.3. Acier pour le laminage à froid

NUANCES ET QUALITES	EPAISSEURS (mm)	TYPES D'ACIER	NORMES DE REFERENCE
TC DC01	2,0 à 4,5	A9	NFA 36 – 401 NF EN 10130
XE DC03	2,0 à 4,5	A5	NFA 36 – 401 NF EN 10130
XES DC04	2,0 à 4,5	A5	NFA 36 – 401 NF EN 10130
CL1 DX51D	2,0 à 4,5	A9	NFA 36 – 321 NF EN 10142 et/ou NF EN 10327
F12T3	2,0 à 4,5	A9	NFA 37 – 501
ECROUI	2,0 à 4,5	A9	NFA 36 – 401 NF EN 10130

A.4. Températures au niveau du laminage à chaud pour aciers pour emboutissage

NUANCES ET QUALITES	TYPES D'ACIER	EPAISSEUR < 3,0 mm		EPAISSEUR ≥ 3,0 mm	
		T°C SF	T°C BOB	T°C SF	T°C BOB
BS1 P245NB	BS1	840 / 900	590 / 630	840 / 900	590 / 630
BS2 P265NB	BS2	890 / 910	590 / 610	890 / 910	590 / 610
1 C DD11	A9	880 / 920	630 / 660	880 / 920	630 / 660
3 C DD13	A5	890 / 920	670 / 690	890 / 920	670 / 690

A.5. Tempéreaures au niveau du laminoir à chaud aciers pour relaminage à froid

NUANCES ET QUALITES	TYPES D'ACIER	EPAISSEUR < 3 mm		EPAISSEUR ≥ 3 mm	
		T°C SF	T°C BOB	T°C SF	T°C BOB
TC DC01	A9	870 / 920	610 / 650	870 / 920	600 / 640
XE DC03	A5	870 / 920	590 / 630	870 / 920	560 / 600
XES DC04	A5	870 / 920	590 / 630	870 / 920	560 / 600
CLASSE I DX51D	A9	870 / 920	600 / 640	870 / 920	590 / 630
F12T3	A9	870 / 920	610 / 650	870 / 920	590 / 640
ECROUI	A9	870 / 920	600 / 640	870 / 920	600 / 640