

ANNEXE « A »

➤ Composants conservatives. Invariants de place :

C'est une propriété découlant directement de la structure du réseau de Petri, c'est –à– dire ne dépendant pas de son marquage initial.

Un invariant de place est une fonction linéaire du marquage des places dont la valeur est une constante. Il correspond à une contrainte sur les états et les activités du système qui sera toujours vérifiée, quelles que soit ses évolutions.

$$\forall \mathbf{M} \text{ accessible ; } \sum_{i=1}^L \mathbf{M}(\mathbf{P}_i) = C \quad / C : \text{constant}$$

➤ Réinitialisation et états d'accueil :

Après avoir solutionné les dysfonctionnements dans un système de production, on se ramène habituellement à un état précis qui permet de relancer le système.

En termes de RdP, ce problème a trait à la propriété de réinitialisation et à l'existence d'états d'accueil.

- Un RdP a un **état d'accueil "Ma"** pour un marquage initial $\mathbf{M}_0$, si pour tout marquage accessible " $\mathbf{M}_i$ ", il existe : " $\mathbf{S}_i$ " (séquence de franchissement) tel que : $\mathbf{M}_i (\mathbf{S}_i \rightarrow \mathbf{M}_a$.
- Un RdP est **Réinitialisable** pour un marquage initial $\mathbf{M}_0$, Si " $\mathbf{M}_0$ " est une état d'accueil. On peut remarqué que la plupart des sytèmes ont des fonctionnements répétitifs et donc les réseaux de petri utilisés seront réinitialisables.

➤ Vivacité et blocage :

- Une transition $\mathbf{T}_j$ est **VIVANTE** pour un marquage initial $\mathbf{M}_0$ si pour tout marquage accessible " $\mathbf{M}_i$ "; il existe une séquence de franchissements $\mathbf{S}$ qui contient la transition " $\mathbf{T}_j$ " à partir de " $\mathbf{M}_i$ ".

Autrement dit, quelle que soit l'évolution, il subsistera toujours une possibilité de franchir " $\mathbf{T}_j$ ".

- Un RdP est **VIVANT** pour un marquage initial $\mathbf{M}_0$ si toutes ses transitions sont VIVANTES pour $\mathbf{M}_0$.

Autrement dit, si un RdP est VIVANT, cela signifie que, quelle que soit l'évolution, aucune transition ne deviendra définitivement infranchissable.

- Un marquage atteignable ‘‘M’’ d’un RdP est un **blocage** si aucune transition n’est franchissable à partir de « M ».

D’autre part ; un RdP est **sans blocage** si aucun de ses marquages atteignables ‘‘M’’ n’est un blocage.

➤ **Les arcs inhibiteurs :**

Les arcs inhibiteurs ont été introduits pour augmenter la puissance de modélisation des RdP. Un arc inhibiteur relie une place à une transition . L’introduction des arcs inhibiteur conduit à modifier les règles de franchissement des transitions de la manière suivante.

Soit $(^{\circ}T_j)_1$ l’ensemble des places d’entrée de ‘‘Tj’’ reliées à ‘‘tj’’ par un arc inhibiteur et soit $(^{\circ}T_j)_2$ l’ensemble des places d’entrée de ‘‘Tj’’ reliées à ‘‘tj’’ par un arc normal .

Alors ‘‘Tj’’ est franchissable si et seulement si :

Tout : $P \in (^{\circ}T_j)_1$ ne contient aucun jeton et tout $P \in (^{\circ}T_j)_2$ contient au moins $W(P,t)$ jetons, où $W(P,t)$ est le poids associé à l’arc (P,t) .

Franchir la transition Tj consiste à :

Retirer $W(P,t)$ jetons des places en amont de la transition concernée sauf la place d’où provient l’arc inhibiteur. Et ajouter $W(P,t)$ jetons dans tout place en aval.

Les arcs inhibiteurs permettent donc de rendre des actions possibles lorsque certaines places sont vides.

ANNEXE « B »

Standars cadences BAG 11/13 KG

Equipement	Cadence calculee	Taux de production	Cadence Standard <i>Piece/heure</i>	Cadence reel Conforme <i>Piece/heure</i>
flanc	11.94	79%	943	943
Enbouti superieur	5.30	85%	450	446
Enbouti inferieur	5.30	85%	450	446
Pied BAG	2.45	96%	235	235
Soudage pied	4.48	87%	389	388
Soudage collerette	4.06	92.6% ¹	376	369
Soudage circulaire	4.14	89.85%	372	371
four	4.00	90%	360	360
Banc d'epreuve	5.28	89.96%	475	470
Grenaille metalisaion	5.84	83.56%	488	488
BAG finis	4.18	96.88%	369	406
Collerette forgee	8.57	81.60%	624	622
Collerette finis	8.40	80%	672	660

ANNEXE « C »

Standards consommation BAG 11/13KG

l. p c	Poid brut (kg)	Poid net(kg)	dechet
Flanc	6.8237	5.1404	1.6833
Emboutis superieur	5.1404	4.9950	0.1454
Emboutis inferieur	5.1404	5.1250	0.0154
Pied	1.5251	1.4000	0.1251
Soudage pied	6.525	6.525	0.0941
Soudage collerette	5.575	5.575	
Soudage circulaire	12.330	12.330	
Four	12.330	12.330	
Banc d'épreuve	12.330	12.330	
Grenaille metalisation	12.330	12.330	
Peinture	13.444	13.444	

ANNEXE « D »

Historique de panne et de reparation :

A. Découpeuse flanc :

Code	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travail
MC 005	11/04	02h :00	4h :00
	12/04	01h :30	3h :00
	12/04	03h :00	6h :00
	19/04	06h :00	8h :00
	24/04	1h :00	1h :00
	28/04	1h :00	2h :00
	08/05	1h :30	3 h :00
	12/05	2h :00	4h :00
	14/01	4h :00	4h :00
	24/01	3h :30	3h :00
	09/02	14h :00	19h :00
	16/02	10h :00	11h :00
	29/02	3h :00	6h :00
	10/03	2h :00	4h :00
	04/04	3h :00	4h :30
	07/04	1h :00	2h :00
	07/04	3h :35	7h :00
	10/04	1h :00	1h :00

B. Presse d'emboutissage superieur :

Presse d'emboutissage superieur	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
MC 020	03/01	1h :00	2h :00
	03/01	2h :00	4h :00
	11/01	6h :00	9h :00
	12/01	2h :00	4h :00
	12/01	3h :00	6h :00
	11/01	1 h :00	2h :00
	13/01	8 h :00	8h :00
	14/01	3h :00	3h :00
	14/01	8 h :00	8h :00
	17/01	3h :00	3h :00
	04/02	2h :00	2h :00
	15/02	1h :00	2h :00
	29/02	2h :00	4h :00
	24/03	1h :00	1h :00
	28/03	2h :00	4h :00
Presse d'emboutissage inferieur	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
MC 46	21/04	20h :00	48h :00
	26/04	5h :00	5h :00
	04/05	2h :00	2h :00
	19/05	5h :00	5h :00
	16/05	3h :00	3h :00
	17/05	1h :00	2h :00
	18/06	2h :00	2h :00
	19/06	5h :00	8h :00
	22/06	2h :00	4h :00

C. Soudeuse collerette :

code	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
SUO 20	19/01	3h:00	3h:00
	08/02	1h:00	2h:00
	07/03	1h:00	1h:00
	21/04	1h:00	2h:00
	22/04	1h:30	1h:35
SUO 21	10/01	2h:00	2h:00
	13/01	4h:30	9h:00
	14/01	2h:00	2h:00
	31/03	2h:00	4h:00
	13/04	1h:00	1h:00
	25/04	8h:00	9h:00
	15/05	3h:00	3h:00
SUO 22	06/01	3h:00	3h:00
	28/01	1h:00	2h:00
	14/02	1h:00	2h:00
	21/03	4h:30	4h:30
	24/03	1h:00	1h:00
	07/04	1h:30	3h :00
	05/05	2h:00	2h:00
	11/05	4h:00	4h:00
SUO 23	20/02	2h:00	2h :00
	22/03	1h:00	1h :00
	20/04	2h:00	2h:00
	24/04	2h:00	2h:00

D. Soudeuse pied :

Code	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
SUO 40	05/04	2h:30	5h:00
SUO 41	15/04	10h:00	14h:00
SUO 42	07/01	3h:00	3h:00
	24/01	1h:00	1h:30
	11/03	6h:00	12h:00
	20/04	1h:00	1h:00
	28/04	2h:00	2h:00
	21/05	2h:00	2h:00
	22/05	2h:30	5h:00
	29/05	1h:30	1h:00
SUO 43	11/04	2h:00	2h:00
	12/04	2h:00	2h:00
SUO 44	.....		
SUO 45	12/01	2h:00	4h:00

E. Soudeuse collé:

Decoupeuse pied	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
N 1	18/04	2h :00	2h :00
	19/05	6h :00	6h :00
N2	10/01	1h :00	1h :00
	16/03	1h :00	1h :00
	16/03	2h :00	2h :00
	24/03	2h :30	2h :30
N3	.....	.....	.....
N4	.....	.....	.....
N5	.....	.....	.....

F. Decoupeuse pied :

Decoupeuse pied	Date d'arrêts	Arret machine	Tempt de travail
MCO 77	11/05	3h :00	3h :00
	12/05	8h :00	10h :00
	18/05	8h :00	11h :00
	23/05	1h :00	1h :00
	24/05	2h :00	2h :00
	29/05	2h :00	2h :00
	31/05	2h :00	4h :00
	05/01	1h :00	1h :00
	06/01	2h :00	4h :00
	17/01	1h :00	1h :00
	25/01	4h :00	4h :00
	11/02	2h :00	2h :00
	23/02	12 :00	12h :00
	07/03	2h :30	5h :00
	14/03	1h :30	1h :00
	28/03	1h :00	1h :00
	30/03	5h :00	10h :00
	05/04	4h :00	4h :00

G. Soudage circulaire

Soudage circulaire	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
SUO 60	18/04	4h:00	9h:00
	25/04	1h:30	3h:00
	28/04	2h:00	5h:00
	28/04	2h:00	5h:00
SUO 61	04/02	2h:00	4h:00
	14/02	0h:50	0h:50
	01/03	2h:00	2h:00
	21/05	2h:00	2h:00
SUO 62	10/01	1h:00	1h:00
	11/01	4h:00	4h:00
	21/01	1h:00	1h:00
	04/02	2h:00	2h:00
	15/05	3h:00	3h:00
SUO 63	10/01	1h :00	1h :00
	11/01	1h :00	1h :00
	16/03	2h :30	2h :30
	04/05	3h :00	3h :00

H. Four a recuit

Four à recuit	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
CMTM TS 203	09/02	2h :00	4h :00
	01/03	1h :00	1h :00
	16/03	5h :00	10h :00
	20/03	8 h :00	12h :00
	22/03	3h :00	6h :00
	04/04	0h :00	2h :30
	11/05	10h :00	16h :00

I. Degraissage :

degraissage	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
TS 101	29/05	5h :00	5h :00

J. Banc d'preuve :

Banc d'preuve	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
EP 007	24/04	5h :00	5h :00
	27/04	5h :00	5h :00
	26/04	1h :00	2h :00
	08/05	4h :00	4h :00
	11/05	1h :00	1h :00

K. Greneillage :

Greneillage	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
TS 309	05/01	0h:30	0h:30
	24/01	4h:30	11h:30
	15/02	4h:00	4h:00
	15/02	4h:00	4h:00
	10/03	16h:00	20h:00
	14/03	1h:30	3h:00
	14/03	4h:00	6h:00
	15/03	2h:00	2h:00
	21/03	6h:00	6h:00
	27/03	1h:00	1h:00
	28/03	1h:00	1h:00
	30/03	1h:00	1h:00

TS 305	06/01	7h:00	7h:00
	19/01	1h:00	1h:00
	28/01	2h:00	6h:00
	24/01	2h:35	5h:00
	08/02	9h:00	16h:00
	17/02	1h:00	1h:00
	13/03	1h:00	2h:00
	21/03	4h:00	4h:00
	19/04	2h:00	2h:00
	19/04	8h:00	8h:00
TS 303	03/05	7h:30	13h:00
	03/01	1h:30	3h :00
	11/01	3h:00	3h :00
	24/01	3h:00	3h :00
	09/03	12h:00	20h :00
	21/03	5h :00	10h :00
	23/03	3h :00	6h :00
	21/03	6h :00	6h :00
	20/03	4h :00	4h :00
	12/04	1h :00	1h :00
	17/04	2h :00	2h :00
	25/04	4h :00	4h :00
	27/04	1h :35	1h :35
	01/05	5h :00	5h :00
	08/05	8h :00	18h :00
	11/05	2h :00	2 h :00

L. Métalisation:

métalisation	Date d'arrets	Arret machine	Tempt de travaille
TS 306	10/01	2h:00	4h:00
	11/01	2h:00	2h:00
	11/01	1h:00	1h:00
	27/01	1h:00	3h:00
	10/02	2h:00	4h:00
	11/02	1h:00	2h:00
	24/02	1h:30	3h:00
	29/02	1h:00	2h:00
	01/03	2h:00	4h:00
	11/03	8h:00	14h:00
	16/03	3h:00	3h:00
	19/03	6h:00	6h:00
	06/04	6h:00	12h:00
	07/04	1h:00	1h:00
TS 304	17/02	7h:00	7h:00
	01/03	2h:00	4h:00
	29/03	1h:00	2h:00
	11/04	1h:00	2h:00
	04/05	4h:00	4h:00
	15/05	12h:00	12h:00
	16/05	5h:00	5h:00
TS 310	03/01	10h:00	20h:00
	04/01	7h:00	13:00
	01/01	5h:00	5h:00
	21/01	5h:00	15h:00
	20/01	1h:00	1h:00
	26/01	1h:00	2h:00
	27/01	1h:00	2h:00
	28/01	4h:00	8h:00
	04/02	3h:00	3h:00
	04/02	3h:00	6h:00
	07/02	1h:00	1h:00

ANNEXE « E »

Chronometrage des taches:

Operation	Temp de fabrication d'une piece (seconde)	Moyenne (minute)
Ceintrage	6.53 6.93 6.17 6.55 6.75 6.45 6.54 6.63 6.71 6.55	0.11
Pesage	4.72 3.47 3.86 4.73 4.81 4.90 4.72 4.34 4.04 4.16	0.073
Ceintrage	2 min. 05 second 1 min. 57 seconde 2 min. 09 seconde 2 min. 14 econde	0.11
Cambage	1 min. 34 seconde 1 min. 40 seconde 1 min. 36 seconde 1 min. 40 seconde	0.14
Vissage robinet	1 min. 44 seconde 1 min. 35 seconde 1 min. 25 econde 1 min. 37 seconde	0.13

*ANNEXE « F »***Quantité mensuelles livrer à NAFTAL**

Mois	Quantité (pièce)
Aout	7500
Sept	20 000
Oct	29 098
Nov	30 800
Dec	46 430
Janvier	41 460
Fevrier	21 720
Mars	26 500
Avril	36 010
Mai	48 482
Juin	44 000
Juillet	21 492

ANNEXE « G »

Les coûts de production pour chaque poste

E BAG	
Unite : BAG Batna	
Fiche prix de revient	unité de mesure : 1000
Produit : emboutis INF	Code : K0106
Désignation	Valeur (DA)
Total matières	4 134. 200
Total accessoires	286 987. 949
Total main d'œuvre	3 303. 429
Total charges indirectes de production	16 910. 417
Coût de production	331 335. 995
Coût engendrée par le poste	24 348. 046
Produit : Emboutis sup	
code :k0 101	
Designation	Valeur (DA)
Total matières	4 134. 200
Total accessoires	286 987. 949
Total main d'œuvre	4 208. 072
Total charges indirectes de production	21 541. 328
Coût de production	316 871. 549
Coût engendrée par le poste	29 883. 600

Produit : Pied BAG	
code :k0 104	
Designation	Valeur (DA)
Total accessoires	93 527. 500
Total main d'œuvre	5 995. 113
Total charges indirectes de production	30 689. 275
Coût de production	130 211. 888

Produit : Emboutis INF + Pieds		code :k0 109
Designation	Valeur (DA)	
Total matières	7 450. 000	
Total accessoires	443 755. 623	
Total main d'œuvre	3 967. 311	
Total charges indirectes de production	24 938. 595	
Coût de production	480 111.528	
Coût engendrée par le poste	36 355. 950	

Produit : Emboutis sup + collerrtte		code :k0 110
Designation	Valeur (DA)	
Total matières	104 667. 547	
Total accessoires	318 455. 907	
Total main d'œuvre	4 540. 970	
Total charges indirectes de production	28 544. 632	
Coût de production	456 209. 057	
Coût engendrée par le poste	137 753. 150	

Produit : Emboutis sup + collier		code : /
Designation	Valeur (DA)	
Total matières	127 409. 900	
Total accessoires	458 490. 102	
Total main d'œuvre	487 3. 089	
Total charges indirectes de production	30 632. 338	
Coût de production	621 405. 429	
Coût engendrée par le poste	162 915. 327	

Produit : BAG soudee		code :k0 105
Designation	Valeur (DA)	
Total matières	43 530. 000	
Total accessoires	1107 024. 542	
Total main d'œuvre	6068. 717	
Total charges indirectes de production	38 148. 079	
Coût de production	1194 771. 338	
Coût engendrée par le poste	87 746. 796	

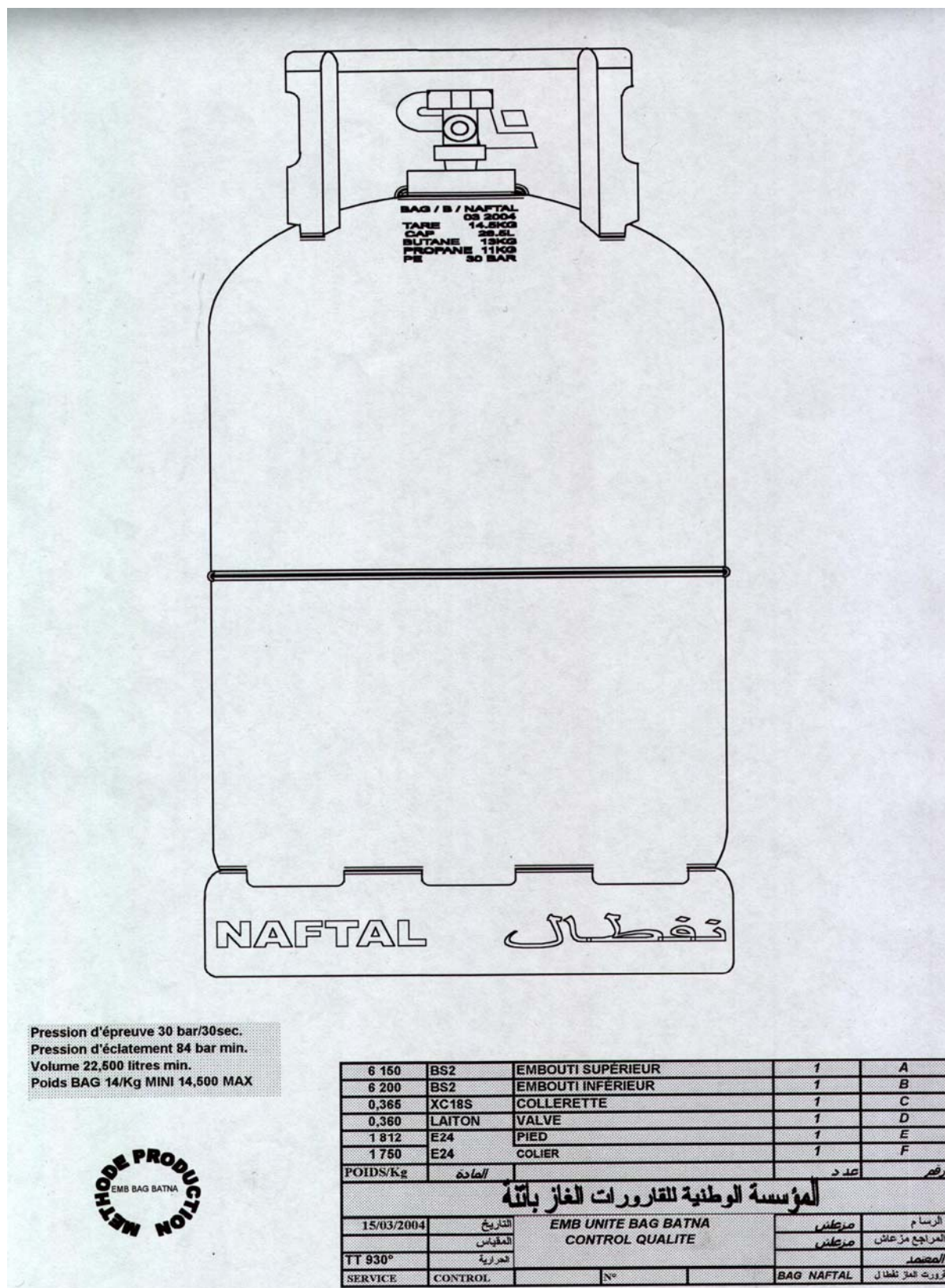
Produit : BAG recuite code :k0 115	
Designation	Valeur (DA)
Total accessoires	1 194 771. 338
Total main d'œuvre	5 682. 470
Total charges indirectes de production	24 378. 710
Coût de production	1224 832.519
Coût engendrée par le poste	30 061.181

Produit : BAG epreuve code : k0 107	
Designation	Valeur (DA)
Total accessoires	1237 080. 844
Total main d'œuvre	6 237. 667
Total charges indirectes de production	26 760. 593
Coût de production	1 270 079. 103
Coût engendrée par le poste	32 998. 259

Produit : BAG metallisee code : k0 116	
designation	Valeur (DA)
Total matières	36 549. 183
Total accessoires	1270079. 103
Total main d'œuvre	8 951. 715
Total charges indirectes de production	38 404. 297
Coût de production	1353 984. 299
Coût engendrée par le poste	83 905. 196

Produit : BAG FINIE NAFTAL code :k0 601	
Designation	Valeur (DA)
Total matières	210 654. 199
Total accessoires	1353 984. 299
Total main d'œuvre	15 160. 627
Total charges indirectes de production	65 041.526
Coût de production	1 644 840. 650
Coût engendrée par le poste	290 856. 351

ANNEXE « H »



BIBLIOGRAPHIE

[M. Allam].

Mohamed Allam : « Sur l'analyse quantitatives des réseaux de Petri hybrides : une approche basée sur les automates hybrides » Thèse de doctorat, (INPG-1998).

[J. L. Bri et M. Pol]

Jean – Lowis Brissard et Mare Polizzi : « Des outils pour la gestion de production industrielle ». AFNOR gestion 1990 – 2^{ème} tirage.

[F. Blo].

François Blondel : « Gestion de la production : comprendre les logiques de gestion industrielle pour agir ». Dunod, Paris 1999 – 2^{ème} édition.

[L. Bir].

Laurent Bironneau : « Le choix des méthodes et outil de pilotage de la production dans un milieu industrielle » Thèse de doctorat, Centre de recherche de rennes en économie et gestion (2000).

[J-M. Bol].

Jean-Marc Bollon : « Etude de différentes politiques de pilotage de système de production » Thèse de doctorat, (INPG –2003).

[Le bail et al].

J. Le bail, H. Alla et R. David: « Hybrid Petri Nets ». Proceeding of the european control conference, Grenoble (France, Juiellet 1991).

[Burbidge]

J-L. Burbidge: « The introduction of group technology ».New York, John Wiley 1975.

[J. Cas]. [L. Dan]. [B. Met].

Jacques CASTELNAU et Loïs Daniel. Brono Mettling : « Le pilotage Stratégique : comment mobiliser l'énergie collective ». Deuxième d'édition - 2^{ème} tirage 2002.

[Cortes-Comer].

N. Cortes-Comer: « JIT is made to order ». IEEE, Septembre 1986.

[Dav et Alla].

René David et Hassene Alla : « Du Grafect aux Réseaux de Petri ». Hermes, Paris 1989.

[Di Mascolo].

Maria Di Mascolo : « Modélisation et évaluation des performances de systèmes de production gérés en KANBAN ».Thèse de doctorat, (INPG-1990).

[DAV].

R. David: « Systemes hybrids: Modélisation par réseaux de Petri Hybrides». Journé d'étude 'Analyse et supervision des systèmes hybrides'. Lyon(France, Février 1996).

[Dub et For].

D. Dubois et J-P Forestier: « Productivité et en-cours moyens d'un ensemble de deux machines séparées par un stock ». Revue, Rairo automatique, vol.16 n°2. 1982.

[David et Alla].

R. David et H. Alla : « Du grafctet aux Réseaux de Petri ». Hermés, Paris, France 1992 (2^{émé} édition).

[Edwards].

J-N. Edwards: « MRP and KANBAN, American style ». APICS 26th annual international conference proceeding.

[Florin et Natkin].

G. Florin et S. Natkin : « Les réseaux de Petri stochastiques ». Vol 4 n°1-1990.

[B. Gho et P. Riou].

Ben jamain Ghozlan et Pierre Riou : « Gestion de production : L'évolution des modèles productifs ». Université de paris (Pantheon- Sorbonne) 2000-2001.

[W. Geo].

W.George Plossl : « La nouvelle donné de la gestion de production ». AFNOR 1993.

[Gallagher et Knight].

C-C. Gallagher et W-A. knight: « group Technology ». Londers, Butterworths 1973.

[Ger].

S. B. Gershwin : «Continuous model of an unreliable two stage material flow systeme with finite interstage buffer ». Technical Report, MIT. Septembre 1980.

[Hall].

R.Hall: « zero inventories ». USA, Jones Irwin. 1983.

[Laz]. [G. Dra]. [A. El Moudni]. [N. Zer].

I. Lazarescu, G. Draghici, A. El Moudni et N. Zerhouni : « Modélisation et simulation de systèmes de production hybrides a l'aide de Réseaux de Petri ». Article.

[R. Kap et D. P. Nor].

Robert Kaplan et David.P. Norton : « Le tableau de bord prospectif : «pilotage stratégique des 4 axes du succès ». Edition d'organisa 1998 – septième tirage 2002.

[MARS].

M. Mars: « Réseaux de Petri et algebra (max,+) : deux approche pour l'étude des systèmes à événements discrets ». APII, vol. 28 n°4. 1989.

[S. Mon].

Sperry Monique : « Les systèmes de production dans un environnement CIM ». AFNOR.1986.

[D. M- EP Mhamdi].

Duali M- EP Mhamedi : «La modélisation des systèmes de production Intégrant les concepts de structures, d'activités et de flux ». Thèse de doctorat, LAP Strasbourg.

[Menga].

G.Menga. (communication privée) 1987.

[Mur].

T.Murata : Petri Nets : « Properties, analysis and applications ». Proceeding of the IEEE transactions, vol.77 n°4. Avril 1989.

[Monden].

Y. Monden : « Adaptable Kanban systeme helps Toyota maitain Just in Time production». Americain Institute of Industriel Engineers 1981.

[Peterson].

J-l. Peterson: Petri Nets theory and modling of systems. Prentice Hall. Englewood. 1981.

[O. Pov]

Olivier Poveda : « Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée, Modélisation des processus, analyse et instrumentation ». Thèse de doctorat, INPG (Institut National Polytechnique de Grenoble). 14 Déc 2001.

[J-M. Proth et X. Xie]

Jean- Marie Proth et Xiaolan Xie: « Réseaux de Petri pour la conception et la gestion des systèmes de production » Thèse de doctorat, INRIA (metz) masson –1995.

[Ramchandani]

C. Ramchandani : «analysis of asynchonus concurrent systemes by timed Petri Nets». Combridge, MA. MIT. Project MAC. Feb 1974.

[P. Rac]. [D. Buchs].

Pascal Racloz et Didier Buchs : « Réseaux de Petri : vérification des propriétés ». (ELA – 1996).

[Rolstadas]

A. Rolstadas: «Tends in production management systemes ». Advances in production Management systemes. Amsterdam 1986.

[F. Raf]. [A. Adel].

Fritas Rafik et Abdessmed Adel : « Modélisation dynamique d'un système de gestion de production par L'utilisation de la méthode GRAICO. Application au sein de la CIMAT ». Mémoire d'ingéniera, université de Batna. LAP (2001/2002).

[Schonberger]

R. G. Schonberger : « Just in time production systems : Replacing complexity with simplicity in manufacturing management ». Industrial engineering 1984.

[Senderson]

R.J.Senderson: « Industrial Robots, A summary and forecast for manufacturing Managers». Tech Ten corporation, USA1982.

[Sifakis].

J.Sifakis: « Le contrôle des systèmes asynchrones: concepts, propriétés, analyse statique ». Thèse de doctorat, institut national polytechnique de grenoble (France, 1979).

[N. SOUL] :

Nicolas Soulard : « La méthode KANBAN dans l'industrie automobile Actuelle ». Thèse de doctorat, Centre national associe de Versailles (2001/2002).

[SAVA].

Alexandru Tiberiu SAVA : « Sur la synthèse de la commande des systèmes à événements discret Temporisés » Thèse de doctorat, (INPG-2001).

[Sil et Ter].

M. Silva et E. Teruel: « Petri Nets for the design and operation of manufacturing systems. Proceeding of the international conference on computer integrated manufacturing and automation technology ». Grenoble (France, Mai 1996).

[VAL].

R. Valette: « Les Réseaux de Petri ». Rapport de cours. LAAS-CNRS. Toulouse 1995.

[VAL].

Robert Valette : « Les Réseaux de Petri ». Rapport de cours, LAAS- CRNS toulouse (Septembre 2001).

[Wild].

R. Wild : «The techniques of production management ». Londers, Holt Reinhart et Winston 1971.

[N. Zer].

N. Zerhouni : « Démarche de pilotage pour améliorer la réactivité industrielle ». Article. Laboratoire d'automatique de Besançon. Institut de productique, France.

Introduction :

Tout système de production est une organisation dont la fonction est d'offrir des biens ou des services. Il se voit assigné des objectifs, physiques, monétaires ou sociaux, et ses résultats sont mesurés à l'aide d'indicateurs de performance à partir desquels sont menés des actions comme la reconception, l'amélioration, l'optimisation, etc. Les concepteurs, les exploitants du système de production attendent donc que les processus (physiques et informationnels), les ressources (équipements, matières, hommes, ...etc.), les acteurs qui composent le système de production, concourent aux multiples objectifs assignés.

La production est donc considérée comme la nouvelle arme de la compétitivité, et les entreprises industrielles se retrouvent de ce fait dans un environnement totalement modifié.

Les dirigeants et les gestionnaires de la production cherchant à piloter le système de production sont confrontés à une évolution rapide. Il s'agit pour eux d'imaginer de nouvelles stratégies pour faire face d'une part à la concurrence intense qui caractérise ce nouvel environnement et d'autre part atteindre les objectifs assignés.

Pour marquer la césure qu'implique cette vision, des contrôleurs de gestion affirment qu'il faut passer du « paradigme du contrôle » au « paradigme du pilotage », ou ce que nous appelons **le contrôle évolutif** [Philippe Iorino].

Dans ce chapitre, on fait le point sur le statut de pilotage en tant que paradigme de gestion de production. En premier lieu on présente l'organisation du processus de production pour pouvoir bien le situer dans l'environnement de l'atelier. Mais, nous nous intéresserons à l'analyse de la fonction de pilotage et le rôle de ce dernier pour assurer une meilleure cohérence entre les différents éléments de la production pour arriver à la détermination des conditions de réussite dans une entreprise.

1/ Définition de la production :

La production est une transformation de ressources appartenant à un même système productif et conduisant à la création de bien ou de services. Les ressources mobilisées à cette fin peuvent être de quatre types :

- o Des équipements (machines, installations, bâtiments)
- o Des personnels (opérateurs intervenants directement dans le processus de transformation ou contribuant d'une manière ou d'une autre à son bon déroulement).
- o Des matières (Matières premières, composants).
- o Des informations (gammes opératoires, nomenclatures, procédures).

1-1/ La production est un processus :

Pour être maîtrisé et avoir une flexibilité maximum afin de s'adapter aux changements, la production est considérée comme un processus englobant les fournisseurs, toutes les activités internes et les clients de l'entreprise. Le pilotage de la production doit être intégré au sein d'un système unique représenté par la figure (1).

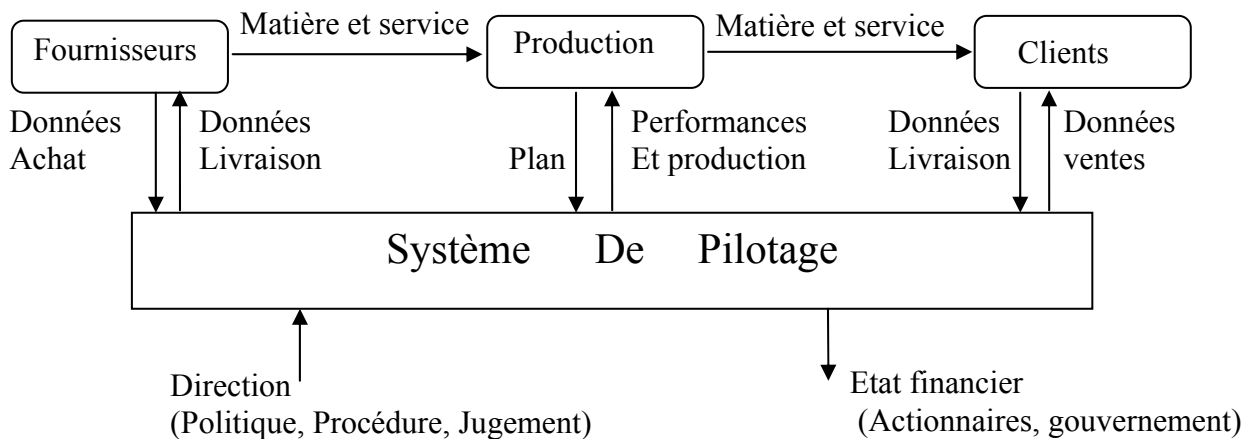


Fig (1): Flux majeurs dans la production [W-Geo, 93]

Mieux les opérations sont gérées, plus le système à utiliser est simple. Le système de pilotage doit être étroitement intégré pour fonctionner harmonieusement avec l'ensemble. Tout comme les éléments du corps humain ont besoin d'un cerveau qui coordonne toutes les fonctions. Isoler certaines parties dans des sous-systèmes indépendants, produira des résultats infiniment moins satisfaisants, et peut même mener à l'échec.

1-2/ Les objectifs de la production :

A la question, quels sont les principaux objectifs des entreprises manufacturières, la plupart des personnes, qu'ils appartiennent ou non au milieu de l'industrie, répondront probablement : « Réaliser un maximum de bénéfices, dominer leurs marchés ».

Les objectifs fondamentaux des entreprises industrielles ont été identifiés par **Henry Ford** en **1926**, dans son livre « **Today and Tomorrow** », on peut les récapituler dans l'ordre hiérarchique défini par **Ford**.

Ils sont aujourd'hui encore reconnus comme les buts que doivent atteindre les entreprises afin d'être au premier rang dans leur secteur d'activité :

- Satisfaire pleinement les clients.
- Réaliser des bénéfices adéquats.
- Utiliser efficacement le capital.
- Créer d'avantage de richesse.
- Etre correct envers fournisseurs et clients.

2/ Organisation du processus de production :

Des analystes des systèmes de production, comme [Wild, 71] ont identifié deux grandes catégories d'organisations industrielles, à savoir la production en processus continu et la production discrète. La première consiste à fabriquer en continu un produit en utilisant souvent des moyens chimiques plutôt que physiques ou mécaniques.

La deuxième consiste à fabriquer des articles distincts, soit en série, soit en section homogène, comme le montre la figure (2).

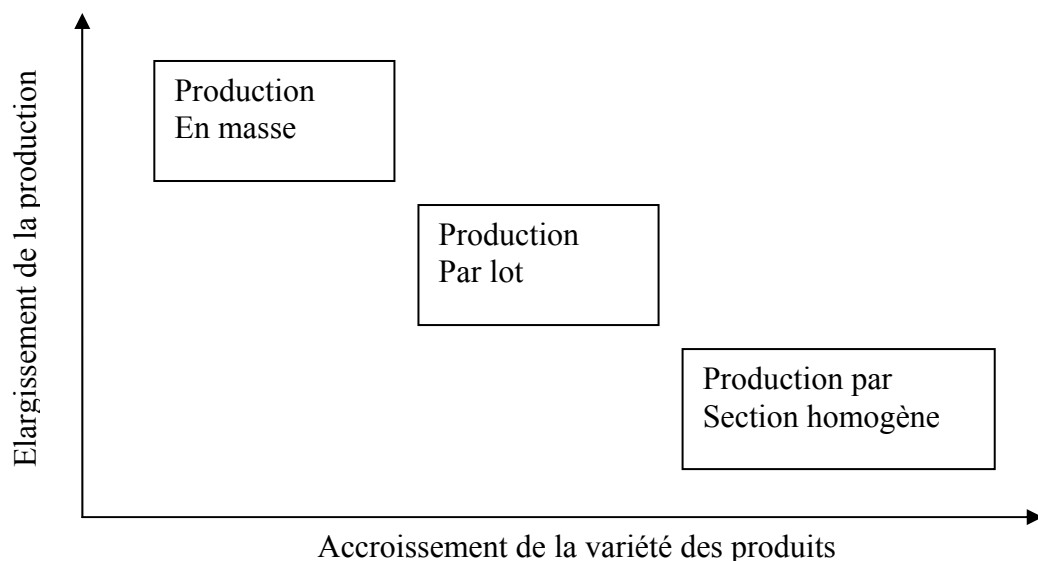


Fig (2) : Classification de la production discrète [MON. AFNOR, 86]

2-1/ Production en section homogène :

La production en section homogène se caractérise par des cycles de fabrication de très faible volume mais portant sur un grand nombre de produits différents. Ces produits sont très peu standardisés, dans le sens où ils n'ont que très peu de composants communs. Pour fabriquer des produits différents, l'entreprise doit avoir une capacité de production très

souple. Ce qui implique un équipement facilement adaptable, capable d'effectuer des tâches très diverses, et des opérateurs hautement qualifiés. Les ateliers spécialisés ont généralement une politique de production ou d'usinage sur mesure en ce qui concerne les stocks.

2-2/ Production par lot :

Ce mode de production se caractérise par des cycles de fabrication d'un volume moyen portant sur un nombre moyen de produits.

La production par lot se définit comme la fabrication d'un produit en petites séries, ou lots, par des opérations successives, dont chacune est réalisée sur l'ensemble du lot avant de passer à la suivante.

Le système de production doit être raisonnablement souple et s'appuyer sur un équipement polyvalent pour pouvoir s'adapter à la diversité des besoins et aux fluctuations de la demande. La production par lot peut être considérée comme un moyen terme entre les deux extrêmes qui est la production par section homogène et la production de masse, lorsque la quantité demandée n'est pas suffisante pour justifier une production en très grande série [Sanderson,82]. Elle permet toutefois des économies au niveau de l'amortissement des coûts de changement de fabrication ; compte tenu de la très grande diversité des tâches à accomplir, la production par lot est tout aussi complexe que la production par section homogène. La fabrication et l'assemblage sont un exemple typique de production par lot.

2-3/ Production de masse :

Des cycles de fabrication en très grande quantité portant sur un nombre relativement réduit de produits sont la marque de la production de masse. Tous les produits sont extrêmement standardisés. En général, la demande de produits est stable et leur conception varie très peu à court et moyen terme [Rolstadas, 86].

L'appareil de production est constitué de machines très spécialisées, bien qu'elles soient extrêmement coûteuses, le coût est amorti par des cycles de production très longs.

3/ Définition du pilotage [N.Zer]:

Dès qu'on désire définir ce qu'est le pilotage, une première difficulté apparaît. Au contraire du contrôle d'organisation, il n'existe pas, à ce jour, de définition bien formulée de ce qu'est le pilotage. Pour notre part, nous énoncerons cinq propositions de base qui nous paraissent bien cerner ce qu'est le pilotage.

Proposition 1 :

Une organisation comprend un ensemble d'acteurs qui interagissent entre eux pour produire, en temps fini, un résultat global pertinent par rapport à un environnement externe. Ce résultat attendu pour un horizon donné est appelé objectif stratégique.

L'objectif stratégique est défini en termes qualitatifs suffisamment généraux pour être compris par tous les acteurs.

Proposition 2 :

Tout acteur réalise un ensemble d'actions grâce à ses compétences. Les compétences mises en œuvre sont à la fois individuelles et collectives. Elles s'améliorent en continu.

Proposition 3 :

La connaissance et le pouvoir sont distribués au sein de l'organisation. Aucun acteur n'a toute la connaissance ou tout le pouvoir. Le contrôle est réparti et ses modalités sont multiples. Ce ci suppose donc à la fois un contrôle d'organisation horizontal et vertical.

Proposition 4 :

Un système de pilotage est un sous-système mis en œuvre par les acteurs, pour exercer leurs compétences, de sorte à garantir l'obtention d'objectifs stratégiques qualitatifs définis dans un contexte incertain.

Ce système intègre des modèles de description, d'évaluation de performance et d'action, partagés entre les acteurs. Le système de pilotage repose sur un système d'information réparti.

Proposition 5 :

La mise en œuvre d'un système de pilotage se traduit par une amélioration collective : « piloter, c'est définir et mettre en œuvre des méthodes qui permettent d'apprendre ensemble : à agir ensemble de manière performante ; à agir ensemble de manière de plus en plus performante ». Cette amélioration se traduit par une évaluation des performances, mais aussi une meilleure compréhension collective des objectifs et des facteurs qui y contribuent.

Ces cinq propositions de base aident à définir ce qu'est le pilotage.

Définition :

Le Pilotage est un mode de contrôle d'organisation nécessaire quand l'environnement devient incertain et dans lequel l'évaluation de performance repose sur l'apprentissage organisationnel.

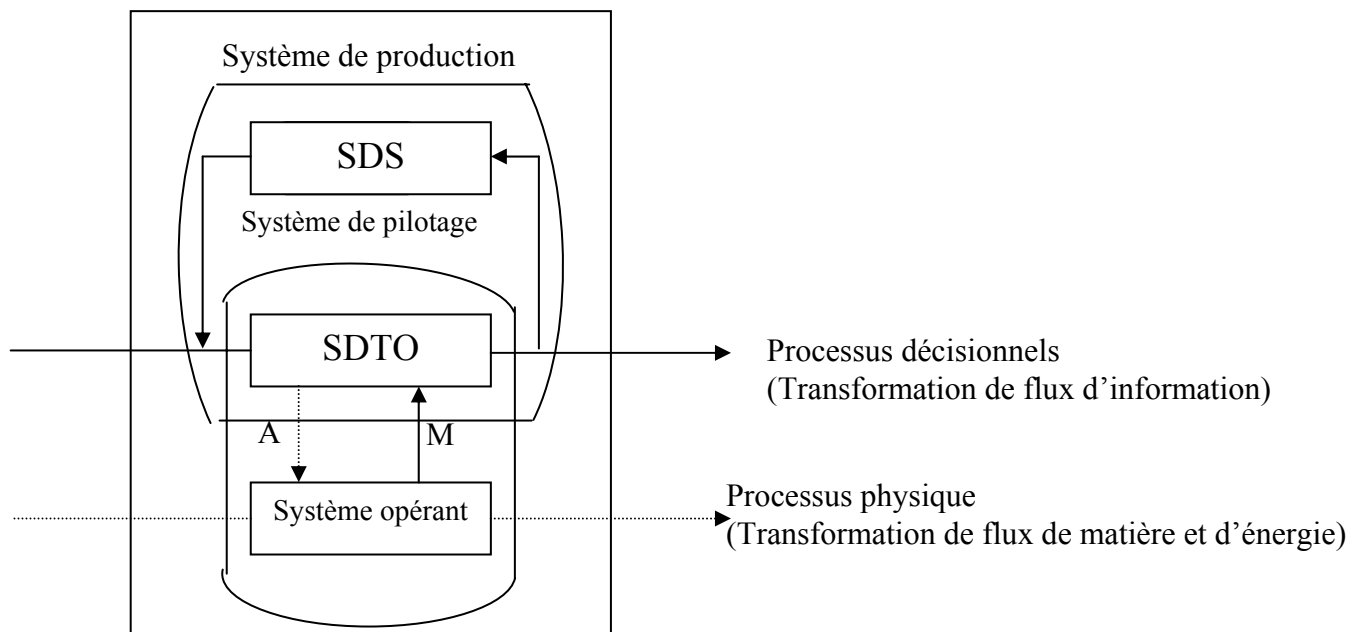
Le pilotage s'appuie sur un système de pilotage qui assure différentes fonctions nécessaires au pilotage.

4/ Le système de pilotage :

Le pilotage s'appuie sur un système d'information support que nous appelons « **système de pilotage** ». On peut définir celui-ci comme une ensemble cohérent d'outils dont la fonction est de capter, traiter, mémoriser, transmettre, présenter, synthétiser, distribuer, des données associées aux compétences des acteurs. Il est situé entre [fig. (3)]:

- Un Système Décisionnel Stratégique (SDS), qui fixe des objectifs globaux qualitatifs.
- Des Système Décisionnels Tactiques et Opérationnels (SDTO), dotés de compétences cognitives, voire pratiques, pour ceux qui agissent sur le système opérant (flèche **A**) et qui mesurent le résultat de leur action physique (flèche **M**). Alors **A** et **M** formant une boucle de commande.

Les **SDTO** sont reliés entre eux au sein de ce que nous appelons des processus décisionnels, par des flux informationnels bidirectionnels. Cette bidirectionnalité s'explique par la complémentarité qui existe entre décideurs. Ceci fonde la « **Cohérence** » de l'organisation.



Fig(3): Un système de pilotage dédié au système de production [I-FIL]

5/ Le pilotage est un système de maîtrise des opérations de production :

Toute activité peut être maîtrisée, à un degré plus ou moins grand : la production ne fait pas exception à la règle.

L'efficacité de la maîtrise et le temps de réaction aux changements sont fonction de la complexité du processus, ainsi que des caractéristiques de l'environnement.

Pour ce qui concerne le système de pilotage, tout processus de production est maîtrisable si les éléments suivants sont réunis :

- Un nombre fini de composants liés les uns aux autres, dont les interactions prévisibles produisent les résultats souhaités.
- Des entrées mesurables.
- Des sorties mesurables, avec un but précis à atteindre.
- Un pilotage capable de varier les entrées pour influencer sur le processus et réguler les sorties.
- Un retour d'information apportant des données sur les performances effectives du processus par rapport au plan avec un délai minimum pour la remontée des informations et durant lequel doivent être mises en œuvre les actions correctives.

La complexité et la diversité des activités de fabrication, l'existence de nombreuses forces extérieures imprévisibles et ayant une incidence directe sur le système de pilotage, montre qu'une seule méthode ne puisse être appliquée à tous les cas avec une garantie de succès.

6/ La recherche d'un nouveau modèle :

Les exigences de production ont évolué et le modèle **taylorien** a révélé ses limites, c'est pourquoi il a fallu définir de nouvelles attentes en termes d'organisation de la production. Ceci a été à l'origine du développement de modèles mieux adaptés à ces attentes à savoir : Le « **MRP** » (**Matériels Requirements Planning** ou **Manufacturing Ressource Planning**) et le « **JAT** » (**Juste à Temps**). Il en synthétise tous les aspects d'analyse et de prise de décision.

6-1/ Pourquoi faut-il un changement ?

La modification de l'environnement économique et l'évolution technologique ont fortement contribué à remettre en cause le modèle taylorien :

❖ La demande adressée à la production évolue :

Dans les années 50, il fallait six mois pour obtenir deux commandes sur véhicule standard. Dans les années 80-90, le client s'attend à trouver les véhicules qu'il souhaite avec 20000 variantes, une qualité, une fiabilité et un service élevé.

On demande à la production une grande flexibilité en volume et en produit, de savoir travailler sans stock et d'être disponible pour lancer rapidement de nouveaux produits.

❖ **La nécessité de diminuer les temps de fabrication :**

Il est un fait que les coûts salariaux sont élevés, c'est pourquoi l'entreprise lorsqu'elle ne délocalise pas sa production optera pour la diminution des temps de fabrication. Concrètement, cela se traduit par le recours à l'automatisation, l'informatisation et l'organisation.

Ainsi dans l'industrie textile, le temps de fabrication d'une chemise est passé de 20 minutes à 5 minutes et dans l'industrie automobile, le temps de montage d'une voiture est passé de 25 heures à 16 heures.

6-2/ Les nouveaux indicateurs de performance :

❖ **La polyvalence et la responsabilisation des acteurs :**

On donne plus d'importance à l'homme, on lui accorde une plus grande participation au niveau de la création et de la production. L'homme se voit responsabiliser afin que sa motivation augmente. De plus est instauré un système de rotation des tâches pour éviter la lassitude dans le travail et la polyvalence est favorisée.

❖ **La qualité :**

Pour se démarquer de la concurrence, il est désormais nécessaire de respecter les impératifs posés par la **qualité totale** ou les **cinq zéro** (« O » défaut ; « O » papier ; « O » délai ; « O » stock ; « O » panne).

❖ **La flexibilité :**

La flexibilité devient impérative pour apporter la réponse la plus rapide possible et la plus adaptée à la demande et à la concurrence.

❖ **L'apprentissage :**

L'apprentissage permet de développer la polyvalence et de mieux faire face à de changement d'objectifs stratégiques dictés par la présence d'aléas techniques, sociaux ou commerciaux.

6-3/ Les modèles « JAT » et « MRP » :

6-3-1/ Le modèle du juste à temps « JAT » :

❖ **Origine :**

Dans les années 60, après avoir analysé les méthodes fordistes « **Eiji Toyoda** », membre de la famille fondatrice du groupe « **Taichi ohno** », a mis au point cette méthode. Il faut noter qu'à

cette époque, la productivité japonaise était dix fois inférieure à la productivité américaine. Après 20 ans de rodage, la méthode fut largement utilisée au Japon.

❖ **Caractéristiques du modèle « JAT » :**

Pour répondre à une demande de plus en plus segmentée, les producteurs élargissent les gammes de produit. Dans ce contexte, la logique fordiste de production de masse, de consommation standardisée devient insuffisante pour assurer la compétitivité.

Désormais, il faut produire à la commande et coller aux variations, quantitatives et qualitatives, de la demande.

En d'autres termes, une double exigence doit être satisfaite : Satisfaire le client et équilibrer l'exploitation. La méthode « **JAT** » repose sur l'aide fondamentale que les pièces doivent être fabriquées au moment où l'on en a besoin. Donc, il s'agit d'une **Méthode d'appel par l'aval** (le poste demandeur), ce que signifie que le flux de production est « **tiré** » (ou encore **flux tendus**) alors qu'il est poussé de l'amont vers les magasins dans les méthodes traditionnelles. C'est un système de pilotage de la production à court terme.

Les ordres de fabrication ne sont plus dictés par le planning mais par le poste aval, qui utilise à cette fin une étiquette (**KANBAN** en japonais) sur laquelle on mentionne la quantité souhaitée. Cette méthode a pour conséquence de réduire les stocks, puisqu'elle a pour objectif le **zéro stock**, ainsi que les en-cours.

6-3-2/ Le modèle « MRP » :

❖ **Origine :**

La méthode «MRP» (Planification des besoins en composants) est historiquement la première méthode dont l'usage est lié à celui de l'ordinateur, et elle est à la base de la GPAO.

Elle a été conçue à partir de 1965 par le Dr. Joseph Orlicky, américain d'origine tchèque. Il a créé en 1970 avec George Plossl et Olivier Wight le programme américain de gestion de la production par la méthode « MRP ». Cette méthode calcule par éclatement de nomenclature les quantités en composants nécessitées par le carnet de commandes, puis consiste à suggérer des quantités à acheter ou à approvisionner. J. Orlicky a été le premier à automatiser cette décomposition à l'aide de l'informatique.

❖ **Caractéristiques du modèle « MRP » :**

Le point de départ du « MRP » est que tous les produits à fabriquer ou à assembler peuvent être représentés par une nomenclature qui décrit la relation (parent / enfant) entre un ensemble et les pièces ou les matières premières qui le composent. Avant que le calcul des

besoins nets ne soit aussi largement utilisé, les stocks et la production étaient généralement planifiés à l'aide de méthodes fondées sur le suivi des stocks. Ce qui fait la différence entre ces dernières méthodes et la démarche « MRP » c'est le passage de la gestion du niveau des stocks à la gestion du flux des matières.

« MRP » est un système de gestion du flux dans la mesure où les commandes qu'il lance portent exclusivement sur les pièces indispensables pour maintenir le flux de production.

Donc il s'agit d'une **méthode d'appel par amont**, ce que signifie que le flux de production est « **Poussé** ».

De plus, ces commandes peuvent entraîner soit des achats, soit une fabrication sur place. « MRP » est aussi un système de planification des priorités puisqu'il quantifie les besoins mais sans tenir compte de toutes les contraintes qui entrent en jeu dans la planification, en particulier en ce qui concerne la capacité de production.

6-3-3/ La combinaison du modèle « JAT » et « MRP » :

Le modèle « JAT » s'inscrit dans une logique de « **Flux tirés** », où la fabrication n'est jamais anticipée. C'est pourquoi il peut être intéressant de le combiner avec le modèle de planification « MRP » qui est dans une logique inverse c'est-à-dire celle des « **Flux poussés** ».

Le modèle « MRP » en actualisant quotidiennement les données, en fonction des informations commerciales reçues, permet d'anticiper la demande.

Cette anticipation de la demande a pour objectifs de mieux gérer les stocks à moyen et long terme (maîtrise des délais de commande et de la valeur des stocks). Cette mission rejoint en un sens celle du modèle « JAT », cependant les deux modèles n'agissent pas au même niveau : la logique du « MRP » est d'anticiper la demande pour planifier l'approvisionnement tandis que celle du « JAT » est de se laisser guider par la demande pour produire.

Conclusion :

Le développement du pilotage de production a connu des progrès rapides. Les techniques d'accompagnement des systèmes de pilotage furent développées et expérimentées.

Parmi les raisons d'échecs des entreprises tiennent à ce que les techniciens considèrent le pilotage des systèmes de production comme des outils et non comme le moyen pour les dirigeants de gérer l'ensemble des activités.

De plus, des industries majeures, ne voyaient pas comment appliquer à leurs opérations les approches ayant fait leurs preuves dans la production en série et par lots. Elles se sentaient différentes et attendaient donc des concepts entièrement différents en matière de maîtrise.

Dans les années 60, les cadres industriels cherchaient à déterminer le volume exact des stocks tampons afin de se prémunir contre les variations de la demande et les incertitudes de l'offre dans un environnement complexe. Ils ont fait appel aux ordinateurs et aux techniques statistiques, pour constituer les tampons appropriés, aux endroits appropriés et au moment appropriés.

Dans les années 70, les ordinateurs et les systèmes « MRP » furent mis à contribution pour affiner les calendriers afin de jouer sur les priorités pour améliorer les performances. Certains managers prient conscience, à cette occasion, de la nécessité de disposer de données précises et de plans directeurs valables, ainsi que de la valeur d'une bonne exécution.

Dans les années 80, l'importance des délais d'exécution courts et de la flexibilité, ainsi que la possibilité de résoudre nombre des problèmes de production, apparurent clairement. Des termes comme « production en flux tendus » et « juste à temps » devinrent à la mode : ils occasionnèrent un regain d'activité dans beaucoup d'entreprises mais seuls quelques uns obtinrent des améliorations spectaculaires. Non pas parce que les concepts que ces termes exprimaient étaient faux, mais parce que trop de managers ne firent pas l'effort de s'informer des préalables.

En prétendant que l'application de ces idées se limitait aux entreprises produisant de gros volumes ou qu'elle impliquait de lourds investissements pour diminuer la taille des lots et modifier la disposition des sites. Ces excuses, aussi mauvaises les unes que les autres, montraient leur ignorance fondamentale dans ce secteur capital des entreprises industrielles.

Le pilotage est avant tout un comportement, une mentalité, des attitudes et aussi des concepts, des méthodes et des outils partagés par un ensemble de responsables.

Introduction :

La réussite des entreprises japonaises sur les marchés internationaux a suscité un vif intérêt chez nombre de leurs homologues occidentaux. Beaucoup affirment que le secret du succès de l'industrie japonaise réside dans le « juste –à – temps ». Le juste – à – temps [JAT] est une philosophie de production dont le but est très simple : « Produire les articles demandés, avec la qualité demandée, les quantités demandées et dans les délais demandés ».

Schonberger (1984) a décrit le JAT comme un système de production qui remplace la « complexité par la simplicité ». Le JAT a commencé à attirer l'attention des responsables des entreprises industrielles dans les années 80. Les managers occidentaux, sensibles au succès de leurs homologues japonais, sont aujourd'hui convaincus qu'ils doivent absolument adopter l'approche juste –à – temps s'ils veulent être compétitifs sur les marchés mondiaux.

Dans ce chapitre, on va examiner en détail la philosophie de production en JAT, sur la quelle repose la mise en œuvre du concept ainsi que la conception et la planification du système de production. C'est souvent l'aspect le moins bien maîtrisé du JAT mais, sous de nombreux aspects, c'est le plus important.

La philosophie JAT comporte un ensemble de stratégies de production fondamentales qui constituent, lorsqu'elle sont mises en pratique, la base du système JAT et facilitent l'utilisation du « KANBAN ».

1/ L'approche juste –à- temps :

Le « JAT » peut être envisagé selon trois points de vue, comme le montre la figure (1) :

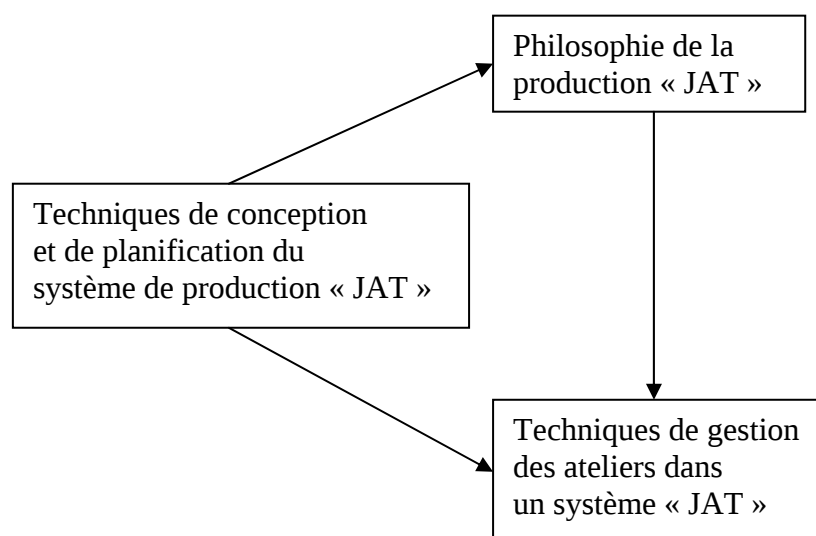


Fig (1) : L'approche juste –à- temps [S.Mon, 86]

Le système de pilotage de l'atelier est la manifestation la plus visible de l'approche JAT, car il fait appel aux cartes kanban.

Ces cartes permettent de contrôler le lancement de la production et le flux des matières, de manière à avoir exactement la quantité d'articles nécessaires, exactement à l'endroit voulu et exactement au moment voulu.

Cortes – Comerer (1986) affirme que : « dans l'usine Hewlett- packard de Cupertino, en californie..... le temps nécessaire pour assembler 31 cartes de circuits imprimés a été ramené de 15 jours en 1982 à 11,3 heures en 1986. Pendant la même période, la stock d'en – cours de circuits imprimés est tombé de 670 000 dollars à 20 000 dollars et le nombre de commandes en retard a été réduit de 200 en moyenne à 2 ... le secret de cette réussite est la production juste -à- temps... ».

De ce fait, le système « JAT » né dans les usines « Toyota » au japon au début des années 60, il est aujourd'hui utilisé dans des industries très variées.

2/Les objectifs de la production JAT :

La production JAT implique une volonté constante d'atteindre l'excellence dans toutes les phases de la conception et du fonctionnement des systèmes de production.

Le « JAT » aussi nommée « **Production à flux tirés** » consiste à mettre en place un système de production permettant de fabriquer avec une efficacité optimum des articles sans défaut. Il vise à produire uniquement les articles nécessaires, au moment voulu et dans les quantités requises. Plus spécifiquement, les objectifs du « JAT » sont les cinq zéro à savoir [Edwards 1983] :

- Zéro défaut
- Zéro stock
- Zéro temps de changement
- Zéro délai
- Zéro panne

2-1/ Zéro défaut :

Dans la gestion de production classique, l'objectif « zéro défaut » est rarement envisagé. Les responsables qualité raisonnent et planifient généralement en termes de taux de défaut par lot et de niveaux de qualité acceptables pour les produits fabriqués. Ils partent implicitement du principe qu'une certaine proportion de produits défectueux ne peut être évitée et qu'il faut

donc s'efforcer de parvenir à un niveau raisonnable de conformité par rapport aux spécifications et aux attentes du client.

C'est l'inverse du raisonnement sur lequel repose l'approche JAT, qui vise à éliminer définitivement toutes les causes de défauts et engendre ainsi la volonté d'atteindre l'excellence à tous les stades du processus de fabrication.

2-2/ zéro stock :

Selon la conception classique de la production, les stocks, y compris les en-cours et les produits finis, sont considérés comme des actifs dans la mesure où ils représentent la valeur ajoutée peu à peu dans le système. Du point de vue du chef d'atelier, les stocks sont également une bonne chose parce qu'ils sont la somme du travail accompli par ses hommes et un indicateur d'efficacité de la fonction production.

Les stocks apparaissent souvent comme des tampons qui protègent des éventuelles défaillances des fournisseurs. Les stocks tampon sont une assurance d'une part contre les interruptions de travail aux yeux des chefs d'ateliers, et d'autre part contre les commandes imprévus des clients aux yeux des ventes.

De plus, la recherche de l'efficacité, lorsqu'elle est mesurée en termes d'utilisation des machines dans les ateliers, incite contre maîtres et managers à faire en sorte que l'équipement et les centres de charge ne cessent jamais de travailler. Même si leur activité n'est pas toujours justifiée par les commandes en cours mais plutôt destinée à répondre à une demande future, mais encore non concrétisée.

D'une autre part, un bon chef d'atelier fait tout son possible pour que ces machines soient toujours occupées. Paradoxalement, ces centres de charge sont souvent les plus performants et peuvent donc générer des stocks considérables, donc l'importance accordée à la récupération de l'investissement en faisant tourner les machines sans interruption.

La conséquence de cette volonté d'amortir le capital investi est claire : les stocks accumulés dépassent le nécessaires. La direction fait parfois pression pour que le niveau des stocks de l'usine soit réduit, mais cette action passe souvent après le souci constant d'accroître l'efficacité de la production.

Enfin, les comptables voient dans les stocks un actif à faire figure au bilan. Les dirigeants n'ont peut être pas préconisé la constitution de stocks importants, mais s'ils ont à choisir entre un faible taux d'utilisation des équipements et des stocks élevés d'autre part, ils choisissent le plus souvent la deuxième option.

Tous cela est en contradiction avec le principe du « JAT » selon le quel les stocks sont une catastrophe et sont la preuve d’une mauvaise conception de la production, d’un défaut de coordination et du mauvais fonctionnement du système de production.

2-3/ Zéro temps de changement :

L’objectif de la production par série économique était de réduire au minimum le coût total des stocks en établissant un juste équilibre entre les coûts de possession des stocks et le coût de changements de fabrication. Des lots très importants sont synonymes de stocks coûteux. Avec les lots très petits, le coût des stocks est réduit en proportion mais le nombre de changements est accru.

2-4/ Zéro délai :

Une autre conséquence positive des petits lots est leur incidence sur la flexibilité. Conjugués à des délais très courts, ils améliorent considérablement la flexibilité du système de production.

Des délais longs obligent le système de production à s’appuyer sur des prévisions et à lancer les ordres de fabrication avant que les commandes ne soient passées. De plus, si un lot a déjà franchi un certain nombre d’étapes dans le processus de production, il est difficile, sinon impossible de modifier la taille du lot compte tenu de l’évolution à court terme de la demande. Des lots de petite taille, associés à des délais courts, font que le système de production n’est pas engagé dans un programme de production particulier pendant une longue période et qu’il est donc plus facile de l’adapter aux fluctuations à court terme de la demande.

Pour approcher d’un « délai zéro », les produits, le système et les processus de production doivent être conçus de manière à exécuter rapidement les commandes.

Les approches classiques concevaient généralement le produit et le processus séparément. La philosophie JAT adopte une approche globale, qui tient compte de l’interdépendance entre ces activités.

On ne saurait trop insister sur l’importance de l’objectif « zéro délai » lorsqu’on sait combien le marché oblige les fabricants à répondre rapidement à la demande de toute sorte de produits.

S’il est impossible d’arriver au zéro délai, un système de production qui vise à approcher cet objectif idéal et s’efforce constamment de réduire les délais au minimum absolu, sera beaucoup plus efficace que ses concurrents.

2-5/ Zéro panne :

L'appareil de production doit être organisé de manière à éviter tout gaspillage des ressources physiques de production et à offrir la plus grande réactivité possible.

Les différentes actions mises en place par l'approche « JAT » sont les suivantes :

- Recrutement d'opérateurs hautement qualifiés et polyvalents qui peuvent effectuer des tâches simples ou complexes et qui sont capables de travailler sur des machines très différentes.
- Mobilisation de ces individus autour de projets d'amélioration (repérage des dysfonctionnements et proposition de solutions d'amélioration).
- Implantation des machines ou organisation des processus au sein de l'usine permettant d'utiliser cette polyvalence sans déplacement important d'opérateurs.
- Maintenance productive ou maintien des machines en parfait état de marche (fiabilité absolue) grâce à une maintenance préventive efficace.
- Mise en place sur les machines de système d'auto –arrêt.
- Mise en place de systèmes de changements rapides d'outils: la méthode la plus connue dans ce cas est celle du système « **SMED** : Single Minute Exchange of Dies (changement d'outils exprimé par un seul chiffre) ».

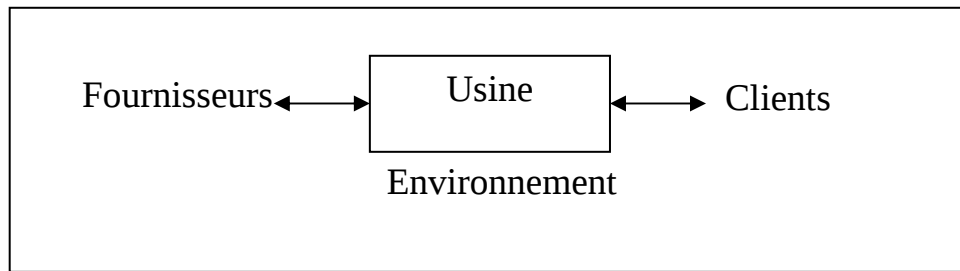
3/ Eléments clés de l'approche JAT :

La philosophie « JAT » appliquée à la conception du produit et du système de fabrication est basée sur les points suivants :

- Savoir adapter la conception du produit aux attentes du marché, sachant que le cycle de vie des produits est de plus en plus court et en tenant compte des aspects fabrication dès la phase de conception.
- Définir des familles de produits en fonction d'un certain nombre d'objectifs de production fondamentaux, et concevoir les systèmes de production propres à faciliter la fabrication de ces familles en jouant sur les flux.
- Instaurer avec les fournisseurs des relations qui assurent la synchronisation parfaite des livraisons de matières et de pièces.

Ces trois éléments peuvent être considérés comme faisant partie intégrante d'une approche globale de la production dans laquelle l'usine fait partie d'un environnement, comme le montre la figure (2).

Au premier plan, se trouvent l'usine et ses relations avec les clients sur le marché et à l'arrière – plan les rapports de l'usine avec ses fournisseurs.



Fig(2) : Environnement de l'usine sous l'angle « JAT » [J.Cas, 2002]

3-1/ Adapter la conception du produit aux attentes du marché :

Il est évident que même avec les technologies sophistiquées et flexibles dont elles disposent aujourd'hui les entreprises ne peuvent pas offrir au grand public des produits sur mesure à un prix compétitif.

Il appartient à l'industrie d'interpréter les souhaits du marché et dans une certaine mesure, d'orienter le marché de manière à pouvoir répondre efficacement à ses attentes. Il faut pour cela concevoir une gamme de produits qui anticipe les exigences du marché.

Pour atteindre cet objectif, la conception des produits doit être modulaire une gamme très étendue et une grande variété de styles de produits risquent de se traduire par des coûts de fabrication élevés, en effet les systèmes de production flexibles coûtent chers alors les produits qui en sortent seront onéreux.

La rationalisation de la gamme de produit permet d'abaisser les coûts de production en réduisant le nombre de changements de fabrication, le volume des stocks, les plans, ...etc.

3-2/ Familles de produits et production fondée sur les flux :

Dans les systèmes JAT ; la définition des familles de produits est importante pour plusieurs raisons tout d'abord, elle facilite le processus de conception et diminue la diversification inutile et les répétitions de tâches identiques dans la conception des produits.

Gallagher et Kinght (1973) définissent la technologie de groupe comme « une technique qui permet d'identifier et de rassembler des composants apparentés ou similaires dans un processus de production, afin de profiter de leurs similitudes en s'appuyant, par exemple sur les économies inhérentes aux méthodes de production basées sur les flux ».

Dans la technologie de groupe, les composants sont réunis en familles en fonction de similitudes comme les formes des pièces, les finitions, les matériaux, les tolérances et les procédés de fabrication requis.

Burbidge (1975) estime qu'une organisation basée sur les processus est néfaste à l'efficacité de production et affirme qu'elle allonge les délais de fabrication et ne favorise pas la délégation de la responsabilité des produits jusqu'au niveau de l'atelier.

3-3/ Les relations avec les fournisseurs dans un environnement « JAT » :

Les principes du « JAT » ne se limitent pas aux confins étroits de l'usine ; ils s'étendent aussi en aval à ses clients et en amont à ses fournisseurs qui l'approvisionnent en matières et en composants. L'approche consiste à mettre en place des relations solides et durables avec un petit nombre de fournisseurs, de leur donner les informations nécessaires pour qu'ils soient compétitifs. De les aider à résoudre les problèmes qu'ils peuvent rencontrer et de partager avec eux les connaissances acquises sur ces propres processus de fabrication afin qu'ils les appliquent chez eux et améliorent ainsi constamment la qualité des composants qu'ils fournissent.

Cela suppose d'inscrire la relation (client / fournisseur) dans la durée et implique la volonté de construire une relation fondée sur la coopération, un échange constant d'information et où les deux parties oeuvrent ensemble à atteindre des buts communs.

La distance qui sépare une usine de ses fournisseurs joue un rôle important dans le choix de la taille des lots de livraison.

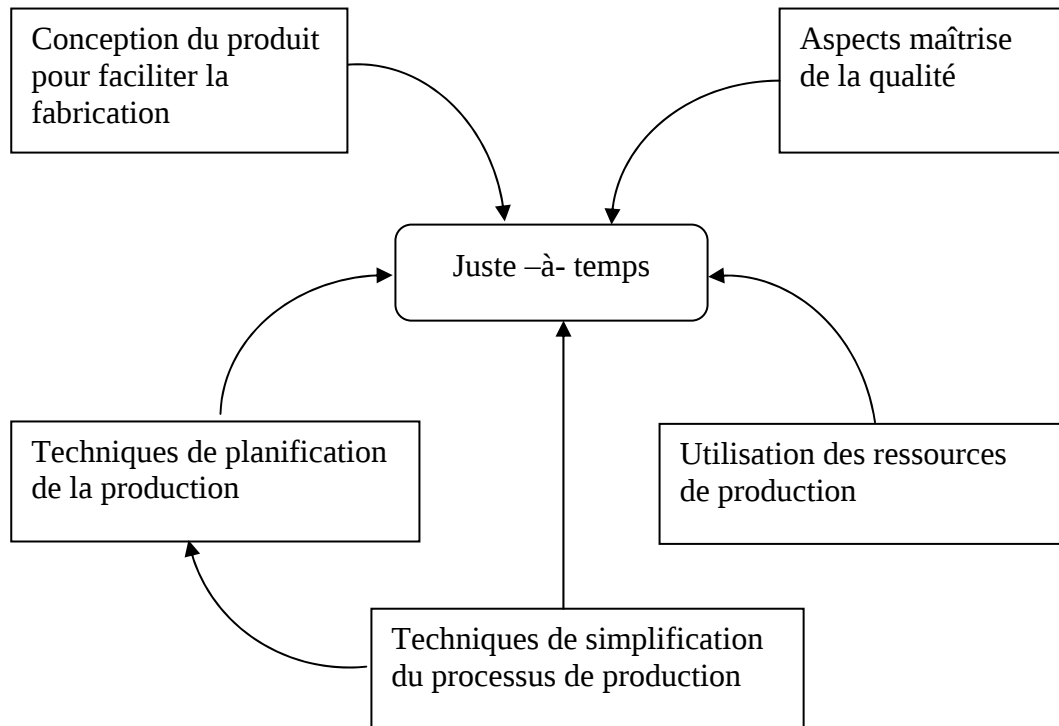
Plus le fournisseur est proche de son client, plus il est facile de livrer souvent de petites quantités. Dans l'idéal, cela peut permettre au fournisseur d'adopter lui-même le « JAT ».

Les avantages des achats « JAT » sont nombreux :

- Diminution des stocks pour les articles achetés avec peu de retouches.
- Réduction des délais de contrôle et de production.
- Amélioration de l'adaptation à la demande.
- Permettre d'atteindre la production « JAT ».

4/ Conception et planification des systèmes de production « JAT » :

La figure (3) représente les techniques qui accompagnent l'approche « JAT » et facilitent la mise en place de l'environnement nécessaire à la mise en pratique de cette méthode.



*Fig(3) : techniques de production qui sous-tendent le juste -à- temps
[S.Mon, 86]AFNOR*

4-1/ Une conception qui facilite la fabrication :

On peut dire qu'il incombait aux concepteurs d'interpréter les souhaits du marché et, si possible, de l'orienter en offrant une gamme de produits qui permet au système de production de s'adapter efficacement au marché.

Il faut pour cela concevoir des produits qui devancent les attentes du marché, qui soient suffisamment variés pour y répondre et qui soient fabriqués à un prix compatible avec ce que le marché est disposé à payer

Les solutions ne manquent pas. L'une d'elles consiste à augmenter la variété des produits offerts sans pour autant augmenter la variété des processus de fabrication et la complexité des opérations.

Il faut souligner que le principe de la conception des produits en fonction de la fabrication n'est pas spécifique au « JAT ». Ce qui nous semble propre au « JAT », c'est l'importance qu'il accorde au fait que la conception du processus et celle du produit semblent être traitées sur un même plan. La conception modulaire est un des moyens de parvenir à ce but.

4-2/techniques de planification de la production :

Pour aider la production à répondre efficacement aux variations à court terme de la demande, le JAT s'efforce d'établir un équilibre entre la demande attendue et les capacités du système de production afin de pouvoir faire face aux fluctuations à court terme, d'un volume relativement modéré, sans bouleverser profondément le système. La technique utilisée pour atteindre cet équilibre s'appelle « **le lissage de la production** ».

Lorsque la production est lissée, une seule chaîne peut fabriquer chaque jour de nombreux produits différents, en fonction de la demande.

La technique du lissage s'appuie sur des délais de production courts pour adapter la capacité du système à la demande du marché. Ce lissage de la production est obtenu par :

- Mixage des productions (fabrication alternée des différents produits).
- Fabrication par petits lots qui est alors autorisée grâce à un coût de lancement de fabrication faible.
- Eviter la constitution des stocks tampons trop importants.

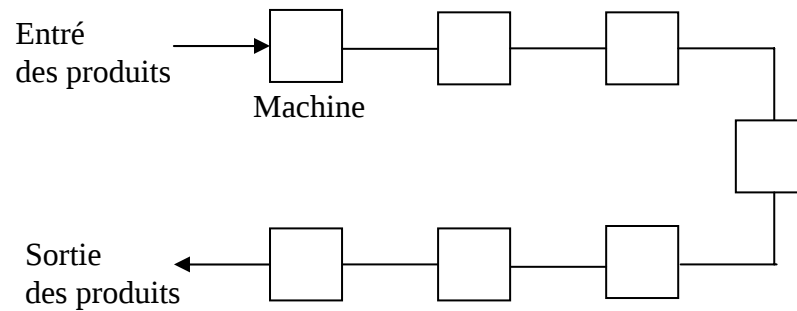
4-3/ techniques de simplification du processus de fabrication :

Au niveau d'une chaîne ou d'un centre de travail, le JAT réduit le temps de fabrication en utilisant ce que l'on appelle des « *disposition en U* ».

L'organisation de la production au niveau du centre de charge est conçue en fonction d'objectifs qui sont analogues à ceux de l'usine, à savoir :

- Laisser de la flexibilité concernant le nombre d'opérateurs affectés à chaque centre de charge, pour pouvoir s'adapter aux fluctuations mineures de la demande et donc du programme de production.
- Utiliser les compétences des opérateurs multi fonctionnels.
- Faciliter l'évolution vers la fabrication et le déplacement unité par unité entre les centres de charge.
- Prévoir la réévaluation et la révision des opérations standard.

C'est pour atteindre ces objectifs que la disposition en U, représentée dans la figure (4), a été créée (Monden 1981) cette disposition permet d'affecter un opérateur multi fonctionnel à plusieurs machines en raison de leur proximité.



Fig(4) : Cellule de travail en U [J.L.Bri /M.Pol,90]

Cette disposition permet d'élargir ou de rétrécir la gamme des tâches que chaque opérateur exécute et donc d'augmenter ou de réduire le nombre d'opérateurs. Elle permet de fabriquer et de déplacer les pièces unité par unité, puisque les machines sont proches les unes des autres et peuvent être reliées par des bandes transporteuses.

La synchronisation est assurée puisque pour une unité qui pénètre dans le circuit une autre en sort du centre de charge suivant.

4-4/ L'utilisation des ressources de production :

L'approche JAT à l'égard des ressources dont dispose une usine est intéressante, elle peut se résumer par une simple phrase : « *être occupé n'est pas nécessairement synonyme d'être productifs* » cette philosophie s'applique plus particulièrement à l'utilisation des ressources humaines et physiques.

Alors un système JAT s'efforce d'utiliser pleinement et efficacement ces ressources de production que sont les hommes et les machines.

A/Une main-d'œuvre flexible :

La main-d'œuvre est donc flexible de deux façons. On peut l'augmenter ou la réduire par le truchement des opérateurs temporaires.

Elle peut aussi être redéployée dans les centres de charge, ce qui exige des compétences polyvalentes et une organisation judicieuse des machines.

B/Équipement flexible :

Les contraintes liées à l'équipement sont prises en compte dès la phase de conception, un équipement multifonctionnel contribue à résoudre à l'exigence de variété du marché.

Les machines dédiées développées pour produire en masse ne conviennent pas pour une production répétitive. En les modifiant et en les complétant par un minimum de dispositifs et

d'outils, elles deviennent des machines polyvalentes capables de fabriquer une gamme de produits qui répond aux attentes du marché.

4-5/ Les aspects contrôle qualité en JAT :

La finalité du système JAT est le « zéro défaut ». Cette démarche implique un engagement sans faille pour éliminer totalement tous les gaspillages y compris, les baisses de rendement et les retouches occasionnées par des défauts des productions ou du processus.

Les méthodes utilisées pour parvenir au zéro défaut sont celles de l'amélioration continue et régulière du processus de production.

Le contrôle a pour but de prévenir les défauts plus que de les détecter. Dans la mesure de possible, les machines sont capables de vérifier elles –même les pièces qu'elles fabriquent à mesure qu'elles les produisent, et sont dotées pour ce faire d'un dispositif d'arrêt automatique.

C'est une étape sur la voie de l'automatisation intégrale des systèmes grâce au système de l'arrêt automatique, les machines fabriquent exclusivement des produits conformes à 100%. Donc, plus besoin de retouches, de stocks tampons ou de sécurité, ce qui ne peut qu'accroître la capacité d'adaptation à la demande et favoriser la mise en place de la production juste –à–temps.

Conclusion :

On a présenté les principes et les techniques qui servent à créer l'environnement dans lequel un système « JAT » peut être mis en œuvre.

Il est clair que dans l'approche JAT de la production un effort considérable de planification et d'organisation est accompli pour faire en sorte que l'environnement de production réunisse toutes les conditions qui permettront d'atteindre l'excellence.

La conception et la gestion des systèmes de production dans l'esprit JAT ont été analysées sous plusieurs angles :

- La conception des produits pour faciliter la fabrication et l'assemblage.
- Les techniques qui facilitent l'utilisation de systèmes simples de pilotage de la production.
- Comment utiliser les ressources de production.
- Les procédures de contrôle et d'assurance qualité.

L'approche « JAT » accorde beaucoup d'importance à la conception des processus et des systèmes de production.

Introduction:

Aujourd'hui dans le monde des affaires, les enjeux stratégiques et financiers sont 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 efficaces et fournissent 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.

1/ 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/ 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.

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 précisément du KANBAN.

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, où 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**.

3/ 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 la quelle ce sont les commandes des clients qui déclenchent automatiquement la fabrication par remontée des ordres depuis la sortie des produits.

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.
- 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.

4/ KANBAN : Un système de gestion de production « Tiré » :

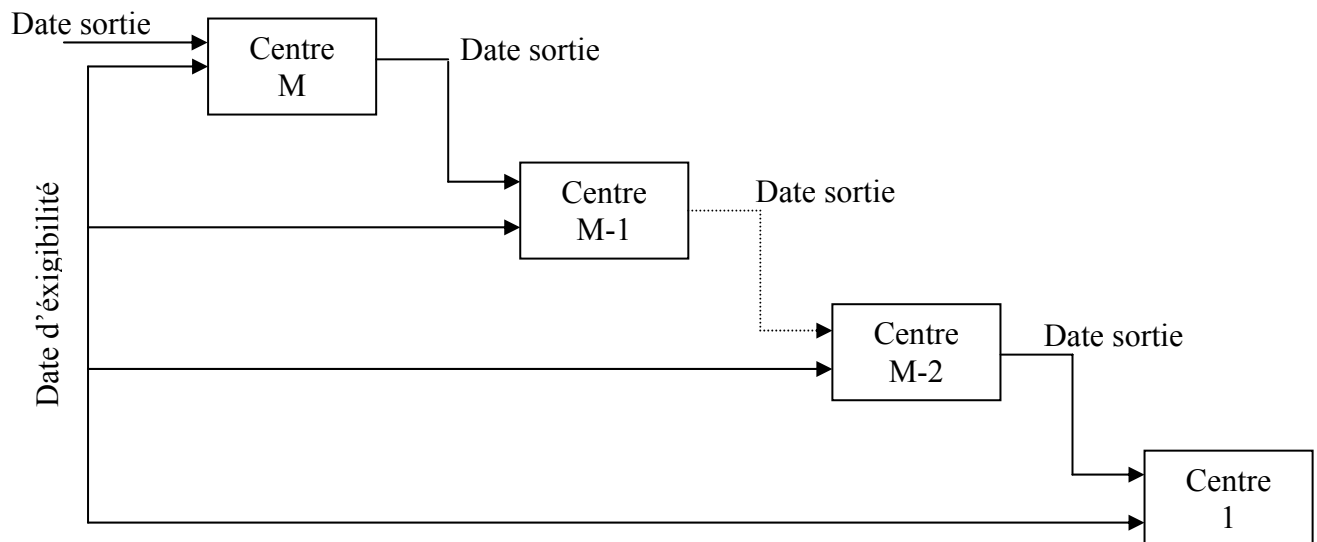
Comme nous l'avons cité au premier chapitre, « MRP » fonctionne au niveau des ateliers comme un système « poussé », alors que la KANBAN est considéré comme un système « tiré ». Avant d'entrer dans le détail du KANBAN, on va examiner brièvement les différences entre ces deux types de systèmes.

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 (1) [Menga 87] considérons un système ou un composant doit être traité par une série de poste de travail, de **M** à **1**, dans le quelle 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 le date de sortie pour le poste qui suit et ainsi de suite.

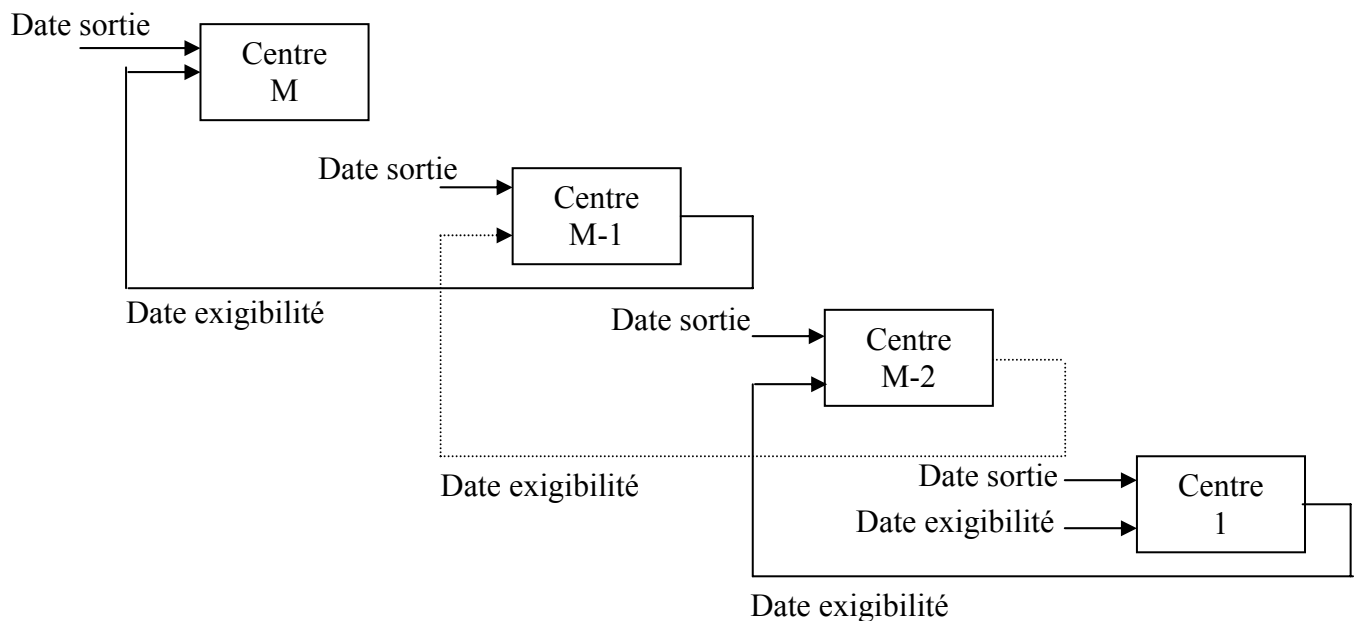
Un produit est ainsi poussé dans le système, enpartant de la sortie des matières premières, et du premier poste de travail jusqu'au dernier, ou il est achevé. Le **MRP** est l'exemple type d'un système « poussé ».



Fig(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) [Menga 87] représente un système « tiré ».



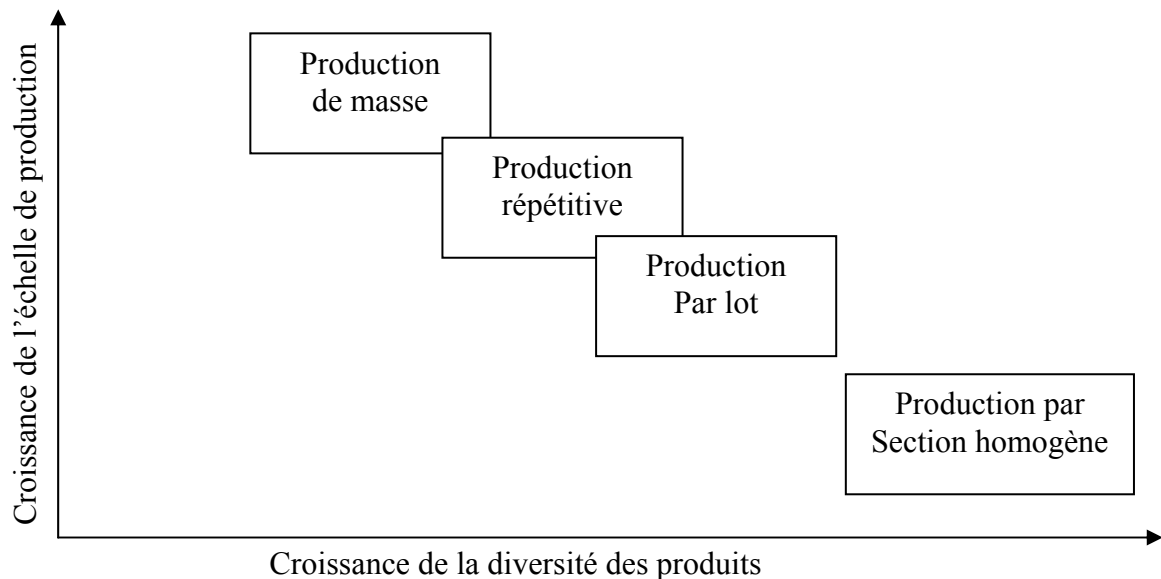
Fig(2): Système tiré

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**.

5/ La fabrication répétitive :

D'après [Hall 1983] la fabrication répétitive est : « la fabrication l'usinage, l'assemblage d'éléments discrets, standard, produit en grandes quantités, ou bien de produits assemblés à des volumes élevés à partir d'options standard..... l'idéal est de transférer directement les pièces d'un poste de travail à un autre ».

Ainsi dans la classification de la production discrète (figure 2 chap.I) on peut ajouter la production répétitive et nous obtenons la classification donnée par la figure (3).



Fig(3) : Classification de la production discrète [S.Mon, 86] AFNOR

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

6/ Pilotage d'un atelier par KANBAN :

Avec KANBAN, seule la ligne de fabrication final 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 juste 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 laquelle 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.

7/ Les cartes kanban :

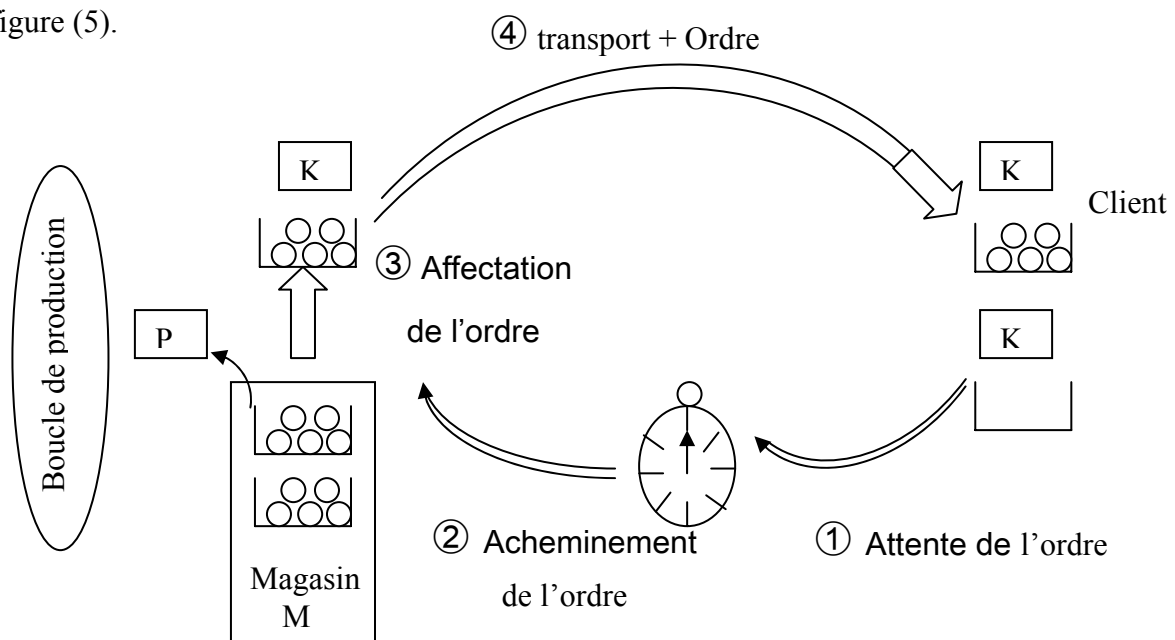
KANBAN veut dire carte en japonais. Ces cartes sont généralement des fiches rectangulaires placées dans un étui en plastique. Il existe différents types de cartes mais les plus utilisés sont :

- ❖ *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 (figure 4) :

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

Fig (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 (5).



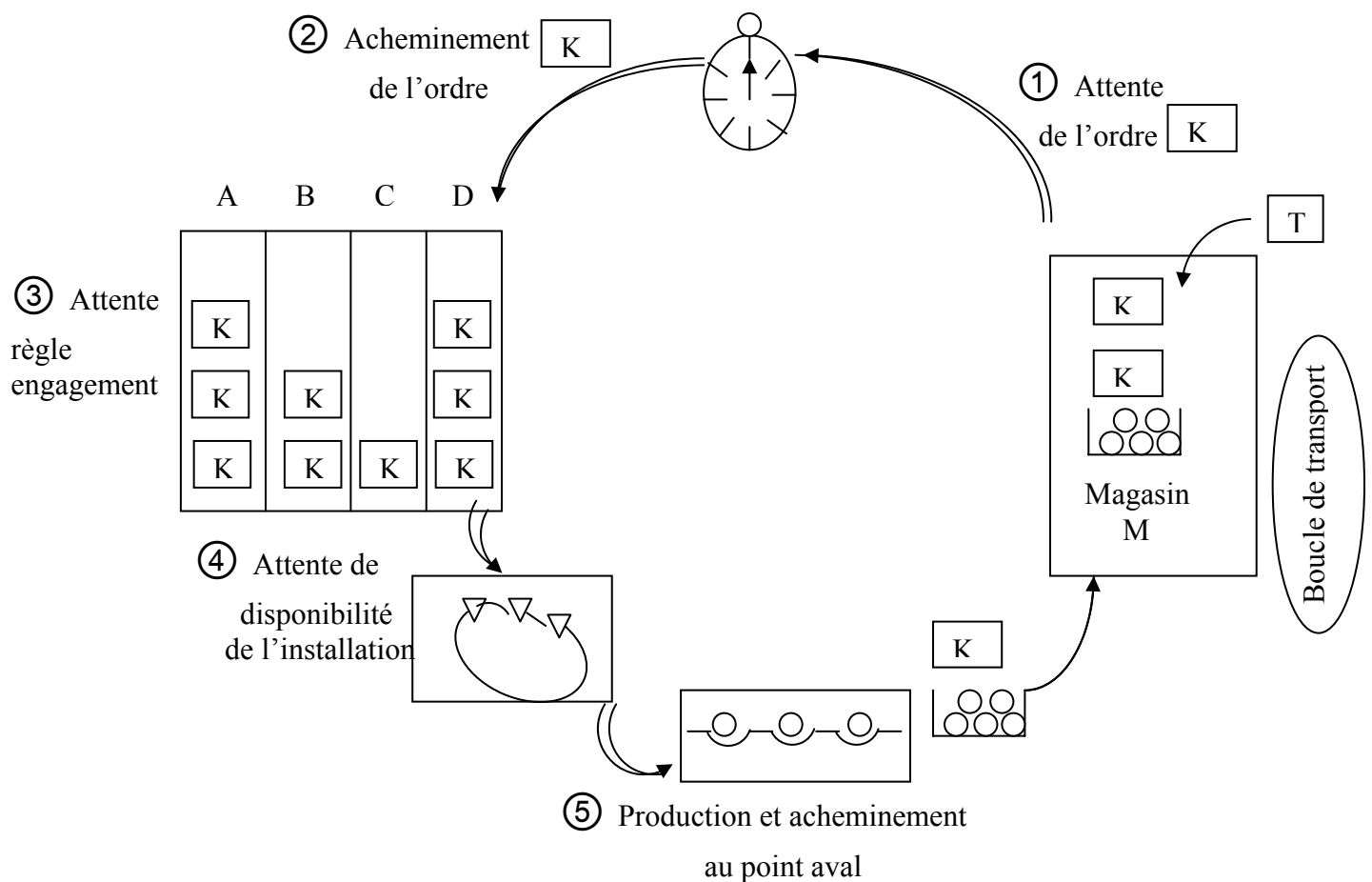
Fig(5): Boucle de transport [N.Soul, 2001]

- ❖ *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 : Préparation cadre
Réf-pièce	P-447	
Nom pièce : Cadre brut		

Fig (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 ou 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 (7).



Fig(7) : Boucle de production [N-Soul, 2001]

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

7-1/ 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 nécessaire 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 supérieur 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 on 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.

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.

7-2/ 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, le kanban chemine dans un processus de la façon schématisée par la figure (8).

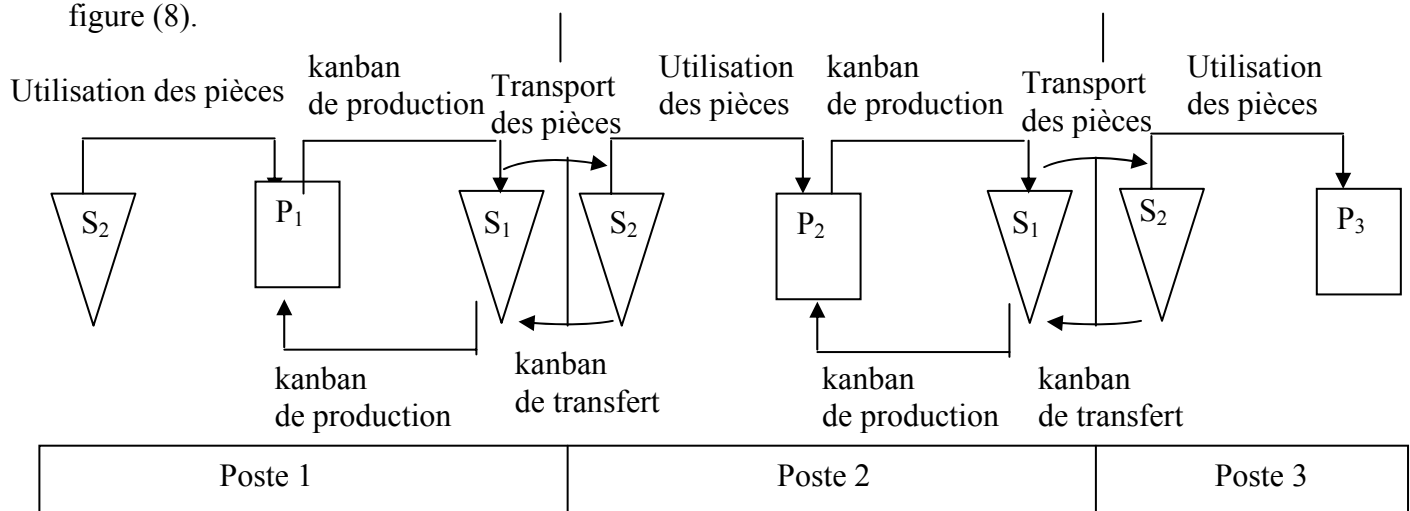


Fig (8) : Schéma de principe de circulation des kanbans [N-Soul, 2001]

(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 le 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'indiquée 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 soit 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.

7-3/ Le nombre de 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 pièce 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.

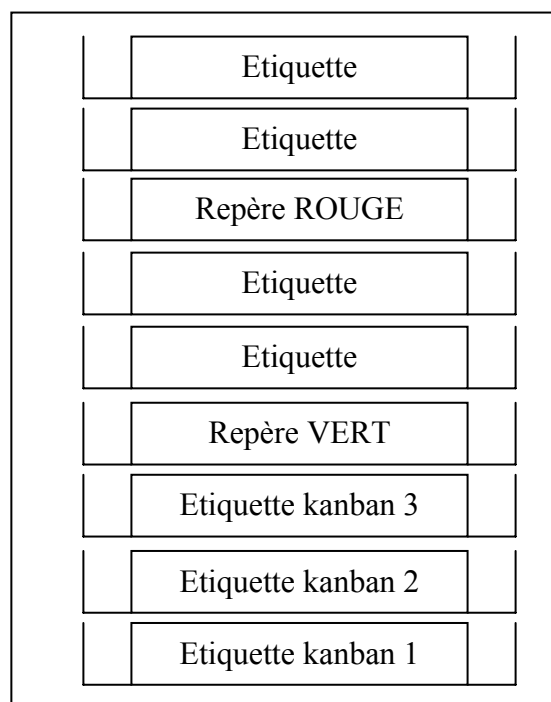


Fig (9) : Présentation d'un tableau KANBAN

La figure (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.

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.

8/ 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.

9/Les conditions nécessaires au bon fonctionnement du KANBAN :

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

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.

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 polyvalent, 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.

Introduction:

La modélisation des systèmes de production, particulièrement celle des systèmes flexible, est un problème complexe. Elle constitue une étape très importante dans la vie d'un système donnée. En effet, disposer d'un « *bon modèle* » apporte une aide indispensable aux concepteurs (Système en cours de conception) ainsi qu'aux utilisateurs finaux (système exploitation). Ce modèle va permettre, selon l'objectif visé, de faire de la simulation, de l'évaluation de performance, etc.

Des entretiens et des analyses menés dans les entreprises ont montré la place important occupée par les outils de modélisation, tout en soulignant leurs limites face a la complexité du monde réel. Le choix de l'outils de modélisation et d'analyse relève, dans tous les cas, d'un compromis entre :

- D'une part, **la puissance de modélisation** : aptitude de l'outil à s'accorder aux spécificités du système considéré et a en faciliter la représentation.
- D'autre part, **la puissance de décision** : possibilité de valider le modèle établi et d'analyser le comportement du système.

Notre choix est porté sur les réseaux de Petri (RdP) comme outil de modélisation. Ils constituent, depuis leur introduction en 1962 par **Carl Adam Petri** un puissant outil graphique de représentation des phénomènes et mécanismes séquentiels, de modélisation des systèmes à évènements discrets [MUR 89] ; [SIL96]. Les modèles obtenus, outre leur expression graphique de la structure des systèmes, permettent une analyse des propriétés et par conséquent, une validation de leurs spécifications.

Dans ce chapitre on présent quelques notions sur les RdP. La complexité des systèmes de production a entraîné des extensions des RdP. Ainsi on peu citer [RdP stochastique / RdP temporisé / RdP hybrides / RdP coloré, etc.].

1\ notions de base des RdP :

Un Réseaux de Petri (RdP) est un graphe biparti constitué de deux type de nœuds : **les places** et **les transition**. Des **Arcs** orientés relient places et transitions. Un arc ne relit jamais deux nœuds de même nature. Généralement, les places sont représentées par des cercles et les transitions par des barres. Chaque place peut contenir un ou plusieurs **jetons** ou **marques**. Ces jetons permettent de modéliser la dynamique du système. Le marquage d'un RdP est un vecteur à composants entier positives ou nulles.

Pour Illustrer les définitions qui président, considérons le RdP de la figure (1). Cet RdP comporte quatre places notées : P_1, P_2, P_3 et P_4 et deux transitions notées T_1 et T_2 ; modélise un système de production tel que (P_1 et P_2) représentent des stocks. (P_3 et P_4) représentent la disponibilité de machine et les transitions représentent l'exécution des pièces sur les machines. Chaque place contient un nombre entier de marques ou jetons. Le nombre de marques contenues dans la place « P_i » est noté « m_i ».

Les marques présentes dans la place P_2 correspondant au nombre de palettes présentes initialement dans le stock en amont de la deuxième machine. Le marquage du réseau, noté M , est défini par le vecteur de ces marquages. Le marquage initial de cet RdP est $M_0 = (0.4.1.1)$

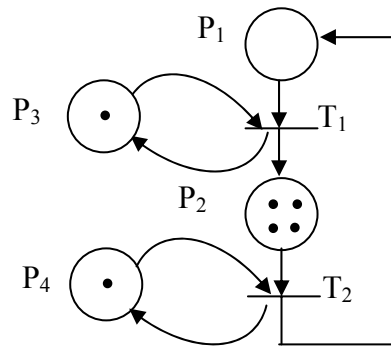


Fig (1): RdP modélisant un système de production

A chaque arc est associé un **poids** donné par un entier positif, par défaut il est égale à « 1 ». Si tous les poids des arcs sont égaux à « 1 » le RdP est dit **ordinaire**.

De manière plus formelle on dira qu'un RdP est un quintuplet

$$R = (P, T, \text{Pré}, \text{Post}, M_0) \text{ ou:}$$

- P et T sont respectivement, les ensembles finis et nom vides des places et des transitions, tel que $P \cap T = \emptyset$

- pré est l'application **d'incidence avant**, telle que :

$$\begin{aligned} \text{pré} : P \times T &\longrightarrow \mathbb{N} \\ (P_i, T_j) &\longrightarrow \text{pré}(P_i, T_j) = \text{poids de l'arc reliant la} \\ &\quad \text{place } P_i \text{ à la transition } T_j. \end{aligned}$$

- Post est l'application **d'incidence arrière**, telle que :

$$\begin{aligned} \text{Post} : P \times T &\longrightarrow \mathbb{N} \\ (P_i, T_j) &\longrightarrow \text{post}(P_i, T_j) = \text{poids de l'arc reliant la transition} \\ &\quad T_j \text{ à la place } P_i \end{aligned}$$

- M_0 est le marquage initial.

2/ Règle d'évaluation d'un RdP :

L'évolution d'un RdP dépend du franchissement de ses transitions. T_j est validée si est seulement si $m_i \geq \text{pré}(P_i, T_j)$. Pour tout $P_i \in {}^\circ T_j$ ou ${}^\circ T_j$ est l'ensemble des places d'entrée de la transition T_j .

Si une transition est validée, son franchissement modifie le marquage des places en amont et en aval. Le franchissement d'une transition a pour conséquences le retrait d'un nombre de marques égale aux poids des arcs pour les places en amont de la transition et l'ajout d'un nombre de marques égal au poids des arcs pour les places en aval.

Nous appelons une séquence de franchissements, une suite de transition qui sont franchissables successivement.

3/ Description des RdP par l'algèbre linéaire :

Les RdP doivent leur description analytique à la théorie de l'algèbre linéaire [peterson. 1981]. Dans cette théorie l'évolution du marquage est exprimé par une équation fondamentale que nous rappelons dans ce qui suit.

3-1°/ Matrices d'incidence :

On appelle matrice d'incidences **Avant** la matrice :

$$W^- = [W_{ij}^-] ; \text{ où } W_{ij}^- = \text{pré}(P_i, T_j)$$

On appelle matrice d'incidences **arrière** la matrice

$$W^+ = [W_{ij}^+] ; \text{ où } W_{ij}^+ = \text{post}(P_i, T_j)$$

On appelle **matrice d'incidence** la matrice W telle que :

$$W = [W_{ij}] = W^+ - W^-$$

3-2°/ Equation Fondamental :

Soit "S" une séquence de franchissement réalisable à partir d'un marquage M_I , ce qui peut s'écrire $M_I [S \rightarrow$. Le vecteur caractéristique de la séquence S noté $\underline{S}$ est le vecteur de dimension m dont la composante numéro "j" correspond au nombre de franchissements de la transition T_j dans la séquence S . Si la séquence de franchissements est telle que $M_I [S \rightarrow M_K$, le marquage M_K est obtenu à partir de **l'équation fondamentale** :

$$M_K = M_I + W \cdot \underline{S}$$

Si le RdP doit être placé dans un contexte d'utilisation industrielle, la représentation du système peut ne pas être exprimée uniquement en terme de séquençage logique des tâches,

mais aussi par la prise en compte de durée d'opérations et d'événements extérieurs non descriptibles par un formalisme. D'autre part, l'équation fondamentale ne garantit pas que S soit franchissable, elle nous permet simplement de trouver le nouveau marquage lorsqu'on connaît le marquage M_i et la séquence franchissable S .

4°/ Ensemble des extension des RdP :

Depuis la publication de la thèse de «Carl Adam Petri » dans les années 60, les réseaux de Petri ont reçu une attention qui ne cesse de croître. Ceci est dû au fait que les RdP permettent de modéliser, spécifier et évaluer des systèmes différents (systèmes de production / Réseau et communication / perturbations de type Panne- machine etc.).

Cette diversité des systèmes a permis l'apparition de plusieurs classes de modèles, selon la nature des attributs pertinents, et les règles d'évolution requises.

4-1°/Les RdP Temporisés :

Un RdP temporisé permet de décrire un système dont le fonctionnement dépend du temps. C'est à dire qu'il peut s'écouler une certaine durée entre le début d'une opération et la fin de celle-ci, les RdP temporisés sont utilisés pour rendre compte de cette durée. Les RdP temporisés sont utiles pour l'évaluation de performances des systèmes.

Il y a principalement deux façons de modéliser la temporisation d'un RdP [Ramchandani, 1974], soit la temporisation est associée aux places : c'est un **RdP P-temporisé** [Sifakis, 1979]. Dans le cas où la temporisation est associée aux transitions, on parle d'un **RdP T-temporisé**. On utilisera le mot **RdP temporisé** pour désigner un RdP T-temporisé.

4-1-1°/Définition d'un RdP T-temporisé :

Un RdP temporisé est un doublet $\langle R, \text{tempo} \rangle$ tel que :

- R est un RdP marqué
- Tempo est une application de l'ensemble T des transitions dans l'ensemble des nombres rationnels positifs ou nuls.

$\text{Tempo}(T_j) = d_j$ = temporisation associée à la transition T_j .

4-1-2°/ Principe de fonctionnement :

Considérons le RdP de la figure (2), modélisant le système de production où le temps opératoire d'une pièce sur la première machine est $d_1 = 1/2$ unité de temps, l'exécution d'une pièce sur la deuxième machine nécessite $d_2 = 1/3$ unité de temps.

Dans un RdP temporisé, une marque peut avoir deux états : Elle peut être **réservée** (o) pour le franchissement d'une transition T_j ou **Non réservée** (•) (figure2)

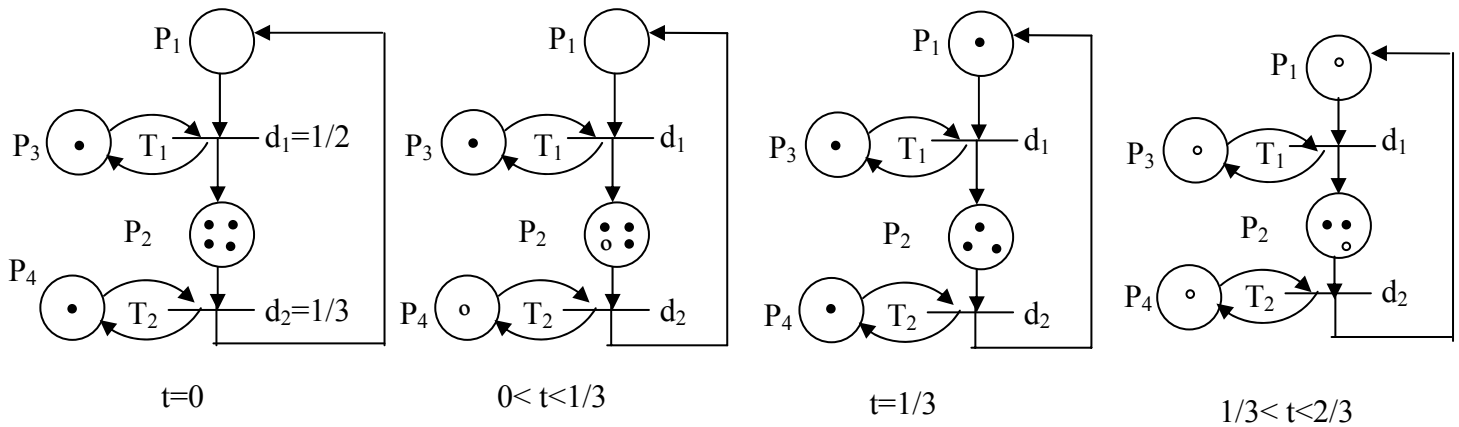


Fig (2): Fonctionnement d'un RdP temporisé

A tout instant t , le marquage présent M est la somme de deux marquage M^R et M^N , tel que M^R est le marquage constitué des marquage réservées et M^N est le marquage constitué des marquages non réservées. Une transition est validée pour le marquage $M = M^R + M^N$ si elle est validée pour le marquage M^N .

4-2°/ Les RdP stochastiques (RdPS) :

Les RdP stochastiques ont été définis pour répondre à certains problèmes d'évaluation quantitative de systèmes industriels. Il s'agit par exemple des calculs de sûreté de fonctionnement ou du performances de processus de fabrication qui doivent faire l'objet d'une évaluation prévisionnelle.

Dans un RdP temporisé, une durée fixe est associée à chaque place ou à chaque transition du Réseau. On obtient des modèles qui sont bien adaptés pour étudier des systèmes où les durées opératoires sont fixes. Cependant, il existe des phénomènes qui ne peuvent pas être bien modélisés avec des durées constantes.

Les RdPS introduit par G. Florin et S. Natkin [FLO et AL.90] constituent un outil capable de modéliser des phénomènes aléatoires dans les domaines d'applications les plus variés [DAV 96] :

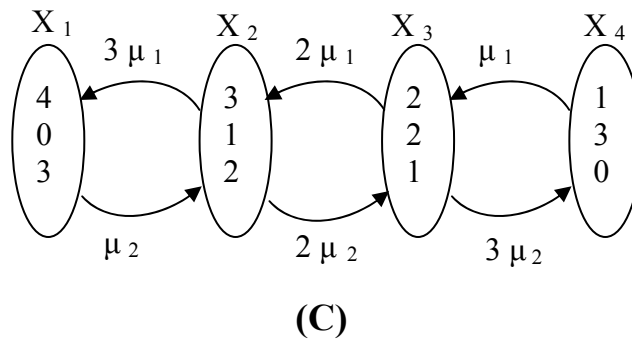
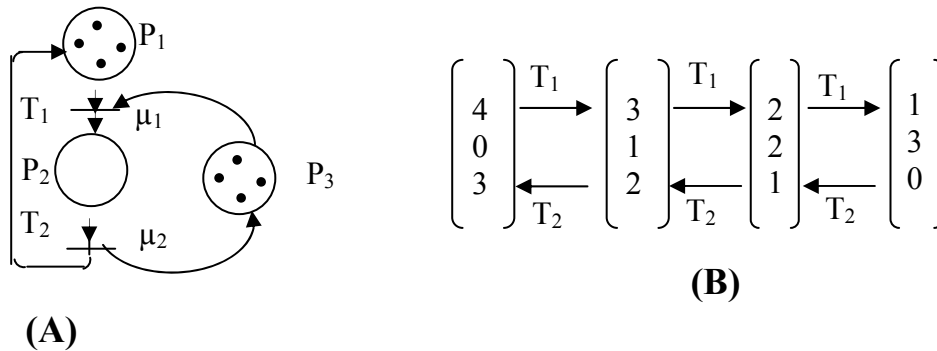
- Arrivée de tâche dans l'unité centrale d'un ordinateur ;
- Occurrence d'accidents dans une entreprise ;
- Attente de clients se présentant de manière aléatoire dans un serveur ;
- Apparition de pannes dans un parc de machines,...etc.

4-2-1° Définition et Notions :

Dans un RdPS un temps aléatoire est associé au franchissement d'une transition. L'hypothèse la plus couramment utilisée est que les durées de franchissement sont distribuées selon des lois exponentielles. Ces lois sont très intéressantes pour plusieurs raisons :

- Elles sont très imprévisibles tout en restant centrées autour d'une valeur moyenne ;
- Elles sont sans mémoire, c'est à dire que la probabilité qu'un événement arrive dans l'intervalle de temps $[t, t+ dt]$ ne dépend que de la longueur (dt) de cet intervalle et non pas de sa position relative sur l'axe des temps.

Les RdP stochastique se définissent formellement comme étant un sextuplet $(P, T, \text{Pré}, \text{Post}, \text{Mo}, F)$ d'où $(P, T, \text{Pré}, \text{Post}, \text{Mo})$ est un Rdp marqué et F la fonction de franchissement. Pour chaque marquage $\mathbf{M}$ appartenant au graphe des marquages du RdP, F associé à chaque transition T_j une variable aléatoire continue, le temps de franchissement. Ces dernières sont indépendamment distribuées [MARS 89]. Cette notion illustré sur la figure (3-A).



*Fig (3) (A) – RdP stochastique – (B)– graphe des marquages accessible
(C) chaîne de markov*

Les RdPS peuvent être utilisés pour obtenir des résultats théoriques sous des hypothèses très générales. Par contre, la seule exploitation numérique de tels réseaux qui semble à l'heure actuelle possible est la simulation. Pour obtenir des modèles exploitables par un calcul

numérique, il est nécessaire de considérer des sous-ensembles de RdPS (par exemple : les RdPS **Markoviens**).

Grâce aux RdPS, il est possible de réunir en un même modèle des RdPS et des modèles probabilistes. Par ailleurs les RdPS offrent l'avantage (par rapport aux **chaîne de markov**) de permettre à des personnes non familiarisées avec les phénomènes stochastiques d'étudier le comportement du système au quel ils s'intéressent puisque ces calculs leurs sont transparents.

4-2-2/ Durée de sensibilisation stochastique :

Au lieu de prendre, de façon égale, toutes les variables d'un intervalle $[\Theta \text{ min}, \Theta \text{ max}]$ on peut supposer que la durée de franchissement est une variable stochastique Θ avec une distribution de probabilité exponentielle :

$$\text{Pr } [\Theta \leq t] = 1 - e^{-\lambda t}$$

La fonction $\text{Pr } \Theta (t)$ décrit la probabilité pour que le franchissement ait lieu avant t c'est-à-dire pour que la durée de sensibilisation soit inférieure à t .

On en déduit que la valeur moyenne de la durée de sensibilisation est :

$$\bar{\Theta} = \int_0^{\infty} (1 - \text{Pr } \Theta (t)) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda$$

λ est appelé **taux de transition**.

4-2-3/ Analyse d'un RdP stochastique :

Pour analyser un RdPS, deux approches complémentaires peuvent être utilisées. La première, celle de conservation dans un RdP, on obtient alors des relations de conservation du marquage et du taux de franchissement.

La deuxième approche consiste à l'utilisation **des chaînes de Markov**, qui s'obtiennent par la construction du graphe des marquages accessibles en associant à chaque arc par un taux de franchissement qui dépend du taux associé à la transition que l'on franchie en amont de cette transition. La figure [(3-(B)-(C))] donne le graphe de marquages accessibles du RdPS et la chaîne de Markov associée.

Pour évaluer les performances d'un RdPS, on procède au calcul des paramètres quantitatifs à l'aide du vecteur des probabilités stationnaires parmi les principaux paramètres [Dav et ALLA, 89] on a :

- La probabilité d'état en régime stationnaire.
- La fréquence moyenne de franchissement.
- Le nombre moyen de marquage.
- Le temps moyen de séjour des marques dans chaque place.

A°/ Probabilité d'état en régime stationnaire :

Le générateur du processus markovien associé au RdPS est une matrice carrée « **A** » de dimension (LXL). D'ou « L » est le nombre fini d'états de la chaîne de Markov correspondante.

Après avoir construit le générateur **A** du processus markovien, la résolution du système linéaire homogène :

$$\begin{cases} \mathbf{Pr}^* \cdot \mathbf{A} = 0 \\ \sum_{k=1}^l \mathbf{Pr}_k^* = 1 \end{cases}$$

Permet d'obtenir les probabilités d'états en régime permanent (Si le régime d'un système se stabilise après un temps fini).

B°/ fréquence moyenne de franchissement :

La fréquence moyenne de franchissement d'une transition T_j est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{F}_j^* = \sum_{k=1}^l \mu_j(\mathbf{K}) \cdot \mathbf{Pr}_k^* \quad ; \text{ pour } : T_j \text{ franchissable pour } M_k$$

Ou : $\mathbf{Pr}_k^*$: la probabilité d'état en régime stationnaire.

l : le nombre d'états de la chaîne de Markov.

C°/Nombre moyen de marque dans une place :

Le nombre moyen de marquage d'une place P_i en régime stationnaire est $\mathbf{M}^*$ tel que :

$$\mathbf{M}^*(\mathbf{P}_i) = \sum_{k=1}^l \mathbf{M}_j(\mathbf{k}) \cdot \mathbf{Pr}_k^*$$

Ou $\mathbf{M}_j(\mathbf{k})$: est le nombre de marquage de P_i au marquage M_j .

C°/ Temps moyen de séjour :

Le temps moyen de séjour d'une marque dans une place est obtenu par la formule de Little :

$$D^*(P_i) = \frac{M^*(P_i)}{\text{Post } i \text{ F}^*}$$

4-3°/ Les RdP continus :

Les réseaux de Petri sont largement utilisés pour modéliser différents systèmes. Dans un RdP, le marquage d'une place peut correspondre, soit à l'état booléen d'un dispositif (Une ressource est disponible ou pas), soit à un nombre entier (nombre de pièces dans un stock). Mais quand un RdP contient un grand nombre de jetons, le nombre d'états atteignables explose. C'est une limitation pratique à l'utilisation des RdP.

4-3-1°/ Définition et notions :

Les RdP continus sont une extension des RdP discrets. Un RdP continu est RdP dans lequel le nombre de marques de chaque place est un nombre réel positif. Cette notion de nombre réel représentant les marquages des places a apporté une nouvelle définition du franchissement des transitions. Lorsqu'une transition T_j est validée, son franchissement consiste à enlever une quantité x des places en amont de T_j , et à ajouter cette quantité x dans les places en aval de T_j . La valeur x est appelée **quantité de franchissement**. Il est possible de démontrer que le comportement d'un RdP continu est un cas limite de RdP discret, obtenu lorsque chacune des marques du réseau est divisée en " k " jetons et que " k " tend vers l'infini [David et Alla 92].

De la même façon que pour les RdP discret temporisé, une temporisation est introduite pour le RdP continu. Ainsi à chaque transition est associé un taux de franchissement U_j , si " d_j " est la temporisation associée à la transition T_j , alors $U_j = 1/d_j$. Ce taux de franchissement de U_j est homogène à une vitesse.

Remarque :

Pour la représentation d'un modèle d'un RdP continu on utilise un double cercle pour identifier une place continue, et un rectangle pour une transition continu [figure (4)].

4-3-2°/ Le modèle de base (RdPCC) :

Il y a deux types des RdP continu, qui sont les RdP continu à vitesse constantes (le modèle de base) et les RdP continu à vitesse variables.

Un RdP continu à vitesse constantes (RdPCC) est un sextuplet, $R = \langle P, T, \text{Pré}, \text{Post}, V, \text{Mo} \rangle$ tel que :

- (P, T, Pré, post, Mo) garde la même définition que pour un RdP marqué.
- V : est une application qui associe une vitesse maximale à chaque transition.

Le marquage initial Mo est un vecteur de nombres réels positifs ou nuls. Sachant que $M(t)$ représente le marquage du RdP à l'instant t . Quant à la vitesse $V(T_j) = V_j$: elle correspond aussi aux taux de franchissement U_j de T_j . La matrice d'incidence W est égale à (Post-Pré). Cette matrice permet de déterminer l'évolution d'un RdP continu. L'évolution d'un RdP continu est donnée par la relation fondamentale suivante :

$$dM / dt = W \cdot v(t)$$

Ou : W : Matrice d'incidence

$v(t)$: est le vecteur des vitesses instantanées de franchissement.

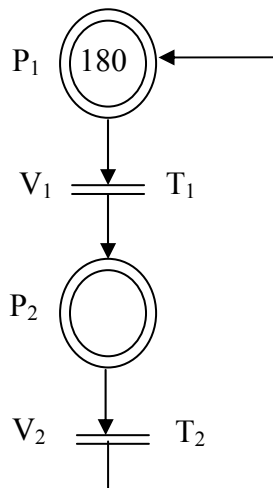
Cette relation montre que la variation du marquage par unité de temps est égale aux flux entrant moins le flux sortant.

4-3-3°/ Principe de fonctionnement :

Reprenons un exemple pour expliquer comment évolue un RdP continu. Les temporisations associées aux transitions sont remplacées par des vitesses de franchissement maximal.

On suppose qu'un liquide s'écoule d'un réservoir (1) à un réservoir (2) par gravité (3 litres/seconde). Et remonté du réservoir (2) au réservoir (1) par une pompe (2 litres/seconde) ; à l'état initial , il y a 180 litres dans le réservoir (1) et le réservoir (2) est vide.

Le comportement de ce système est modélisé par le RdP continu temporisé de la figure (4), ou les marquage dans P_1 et P_2 représentent les quantités de liquide dans les réservoirs (1) et (2) ; respectivement ; les vitesses V_1 et V_2 associées aux transitions T_1 et T_2 correspondent aux vitesses d'écoulement du liquide.



Fig(4) : RdP continu modélisant le système d'écoulement d'un liquide

Dans ce modèle ; quand $m_1 > 0$, la transition T_1 est franchie à la vitesse $V_1 = 3$ l/s. Quand $m_2 > 0$ (pour tout $t > 0$ puisque $V_1 > V_2$) la transition T_2 est franchie à la vitesse $V_2 = 2$ l/s. On en déduit.

$$m_1(t + dt) = m_1(t) - (V_1 - V_2) dt = m_1(t) - (3-2) dt$$

$$m_2(t + dt) = m_2(t) + (V_1 - V_2) dt = m_2(t) + (3-2) dt$$

Or : $m_1(0) = 180$ et $m_2(0) = 0$, on obtient :

$$\begin{cases} m_1(t) = 180-t \\ m_2(t) = t \end{cases}$$

Les équations précédente restent vérifiées tant que $m_1 > 0$.

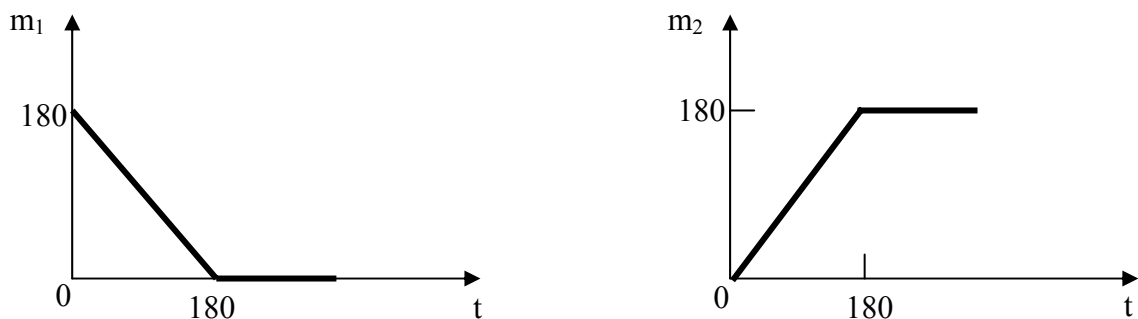
Au temps $t=180$, $m_1 = 0$ et $m_2 = 180$. La transition T_2 peut encore être franchie à sa vitesse maximale puisque $m_2 > 0$, mais pas T_1 ; en effet $m_1 = 0$ (réservoir (1) est vide). Cependant m_1 est alimenté à la vitesse V_2 par franchissement de T_2 (le réservoir (1) est alimenté par le pompage). Donc, la transition T_1 peut être franchie à la vitesse $V_2 = 2$ l/s qui n'est plus la vitesse maximale.

Donc :

$$\begin{cases} v_1(t) = V_1 = 3 \\ v_2(t) = V_2 = 2 \end{cases} \text{ Pour } 0 < t < 180$$

$$\begin{cases} v_1(t) = V_2 = 2 \\ v_2(t) = V_2 = 2 \end{cases} \text{ Pour } t \geq 180$$

Les marquages correspondants sont illustrés par la figure (5) suivante :



Fig(5): Evaluation du marquage du R&P continu

4-4°/ Les Rdp hybrides :

Les Rdp continus sont bien adaptés pour modéliser un fonctionnement permanent. Cependant, l'état de disponibilité ou d'indisponibilité d'une machine ne peut pas être modélisé par ces derniers.

Dans le but de fournir un modèle basé sur les Rdp et permettant la modélisation homogène des systèmes physiques réunissant à la fois une partie continue et une partie discrète, un nouveau type de Rdp a été développé : **les Rdp hybrides**.

Un Rdp hybrides comporte des places et des transition continues et des places et transition discrètes [le bail et al 1991].

Un modèle autonome a été défini, mais cette notion n'est pas suffisante pour des systèmes réels, car le variable temps intervient toujours dans le fonctionnement de ces systèmes. Donc l'ajoute de cette variable est nécessaire. Ainsi les Rdp hybrides temporisés ont été définis.

4-4-1°/ Définitions et notions :

A°/ Un Rdp hybride temporisé, appelé simplement Rdp hybride, est un septuplet

$R = \langle P, T, h, \text{Pré}, \text{Post}, \text{tempo}, \text{Mo} \rangle$ tel que :

- P et T : sont respectivement, les ensembles finis des places et des transitions.
- $h : \text{PUT} \longrightarrow \{C, D\}$, appelé **fonction hybride**, indique pour chacun des nœud s'il s'agit d'un nœud discret (D) ou continu (C).
- Pré et post : sont respectivement ; l'application d'incidence avant et d'incidence arrière, telle que :

Si : $h(P) = D$

$$\begin{cases} \text{Pré} : P \times T \longrightarrow N \\ \text{Post} : P \times T \longrightarrow N \end{cases}$$

Et Si : $h(P) = C$

$$\begin{cases} \text{Pré} : P \times T \longrightarrow R^+ \\ \text{Post} : P \times T \longrightarrow R^+ \end{cases}$$

- Tempo : c'est l'application qui associe à chaque transition T_j un nombre réel positif d_j tel que :
 - o La temporisation associée à une D-transition T_j vaut d_j .
 - o La vitesse maximale de franchissement associée à une C-transition T_j vaut $V_j = 1/d_j$.
- Mo : est le marquage initial.

B°/ On définit la matrice d'incidence associée à un Rdp hybride de la manière suivante :

$$W = [W_{ij}] , \text{ tel que : } W_{ij} = \text{post}(P_i, T_j) - \text{Pré}(P_i, T_j)$$

Il est possible de numéroté les places et les transitions du réseau de façon à ce que toutes les D- places aient un indice plus petit que celui des C- places; de même pour les D- transitions. De cette façon la matrice d'incidence peut être représentée par :

$$W = \begin{pmatrix} W_D & 0 \\ W_{CD} & W_C \end{pmatrix}$$

C°/ Le marquage $M(t)$ à un instant t donné peut être déduit à partir du marquage initial M_0 en utilisant l'équation fondamentale suivante :

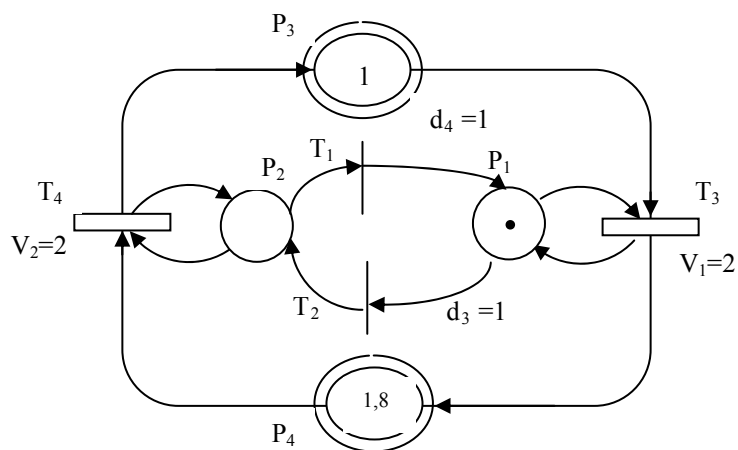
$$M(t) = \begin{pmatrix} M_D(t) \\ M_C(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_D(0) \\ M_C(0) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_D & 0 \\ W_{CD} & W_C \end{pmatrix} \cdot \left\{ \begin{pmatrix} \delta(t) \\ 0 \end{pmatrix} + \int_0^t \begin{pmatrix} 0 \\ V(\mu) \end{pmatrix} d\mu \right\}$$

- $M_D(t)$ et $M_C(t)$ sont respectivement, le marquage discret et le marquage continu à l'instant t .
- $M_D(0)$ et $M_C(0)$ sont respectivement, le marquage initiale des D- places e des C- places.
- $\delta(t)$; représente le nombre de fois que chaque D- transition est franchie, les composantes associées aux C- transition sont nulles.
- Les composantes du vecteur $V(\mu)$ représentent les vitesses instantanées associées aux C- transitions, les composantes associées aux D- transitions sont nulles.

4-4-2°/ Principe de fonctionnement et Graphe d'évolution :

Pour la détermination du principe de fonctionnement d'un RdP hybride, on considère l'exemple d'un système de production modélisé par un RdP hybride. En suite on par court l'évolution de se système.

La figure (6) présente un RdP hybride, la partie continue est interprétée comme un RdPCC. Ce modèle représente le fonctionnement suivant. Une machine est affectée périodiquement à une opération (1) (transition T3) pendant une unité de temps, puis à une opération (2) (transition T4) pendant une unité de temps. Alors que P1 et P2 représentent la disponibilité des ressources.

Fig (6): R $\dot{d}$ P hybride

Pour le marquage continu, il est possible de déterminer des phases pendant lesquelles le marquage des D- places ainsi que le vecteur des vitesses instantanées restent constants. Chaque phase est appelée **état comportemental invariant [IB- état (Invariant Behavior)]**. Le graphe d'évolution d'un RdP hybride est composé d'une suite d'IB- états (figure 7).

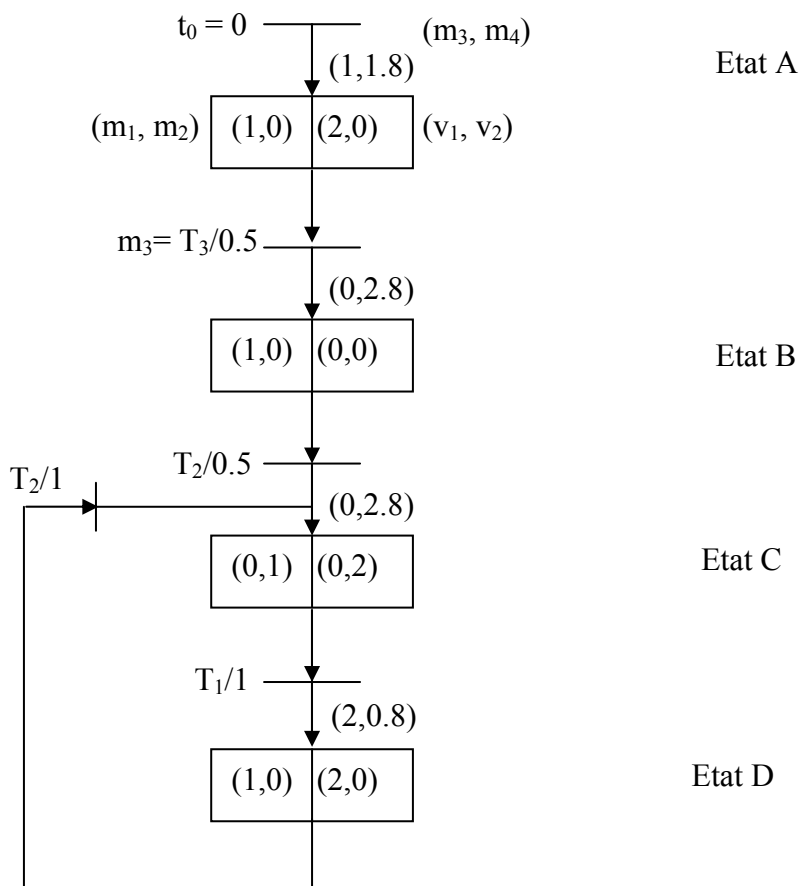


Fig (7): graphe d'évolution

4-5°/ Les RdP colorés (RdPC) :

Quels sont les modèles qui permettent une identification facile des produits ?

Les RdP, dits de Haut niveau [VAL 95], donnent une description compacte, structurée et permettent d'attacher une partie des données aux jetons ce qui autorise l'identification. C'est le cas des réseaux de pétri colorés.

Les RdP colorés sont une voie possible pour obtenir des modèles de traitement le largement inférieure aux modèles équivalents que l'on obtiendrait avec les RdP élémentaires introduits précédemment. Ils sont donc souvent utilisés pour modéliser des systèmes de production.

Dans un RdPC on associe à chaque marque d'une place **un identificateur** ou **une couleur**. Chaque transition peut être franchie de différentes manières représentées par les différentes couleurs de franchissement associées à la transition. La relation entre les couleurs de franchissement et le marquage coloré concerné est définie par des fonctions associées aux arcs [DAV et AL 92].

4-5-1°/ Définition des RdPC :

Un RdP colorée R est un sextuplet ; $R = \langle P, T, \text{Pré}, \text{Post}, \text{Mo}, C \rangle$ tel que :

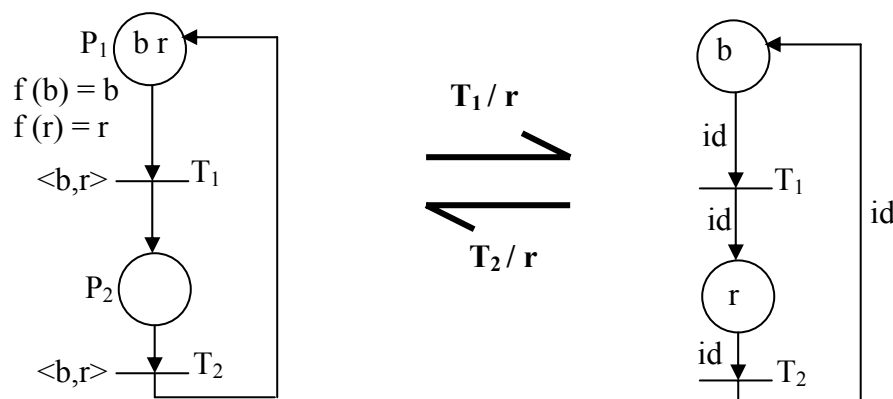
- $(P, T, \text{Pré}, \text{Post}, \text{Mo})$: garde la même définition que pour un RdP.
- C : est l'ensemble des couleurs.

Dans le cas général, une couleur est représentée par un N-Uplet $C_K = \langle C_{K1}, C_{K2}, \dots, C_{Kn} \rangle$.

Ce N-uplet est nécessaire lorsqu'une marque doit porter une information complexe. Par exemple dans un système de production, le triplet $\langle o, p, m \rangle$ peut représenter : la nature d'un objet, sa position dans une file d'attente et la machine sur la quelle il doit passer.

4-5-2°/ Notion de fonction :

Une fonction est associée à chaque arc pour traduire la relation qu'il y a entre la couleur associée à la transition et choisie pour franchir cette transition et la couleur associée à la place correspondante. La **Fonction identité (id)**, elle n'introduit aucun changement de couleur (figure 8).



Fig(8) : RdP colorée avec fonction identité

Il existe plusieurs autres fonction tel que : Décoloration : **déc**, incrémentation : **succ**, décrémentation : **Préc**,...etc.

Conclusion :

On a vu qu'un réseau de Petri pouvait être vu sous l'un des deux aspects suivants :

- Un graphe avec deux types de sommets et un comportement dynamique.
- Un ensemble de matrices dont le comportement dynamique est décrit par un système linéaire (équation fondamentale).

Il peut également être considéré comme un système de production de connaissance sous la forme (condition $\implies$ Action).

D'une façon générale, les RdP sont considérés comme l'outil le mieux adapté à la modélisation de la dynamique des systèmes de production. Cette distinction est due à son aspect formel et à la représentation graphique. Les avantages peuvent être résumés par les caractéristiques suivantes : formalisme visuel, support mathématique, modularité, spécification hiérarchique et en fin, description des systèmes dont le fonctionnement n'est pas complètement déterminé par les règles opératoires.

La nature des informations à considérer et à intégrer aux modèles est diverse, les objectifs assignés à ces modèles également, d'où une prolifération de familles de RdP, chacune d'elles tentant de répondre à une vue des systèmes de production, de sa conception et de sa conduite.

CONCLUSION GENERALE:

Au jourd'hui, les entreprises évoluent dans un environnement très incertain, changeant et dominé par une forte concurrence. Pour rester compétitives, elles doivent s'adapter toujours plus rapidement et garantir leurs réactivités. Afin d'atteindre cet objectif, les entreprises doivent maîtriser la complexité de leurs système de production.

Dans un souci d'élaborer un modèle RdP et de lui associer un mécanisme de prise de décision, basé sur les critères de gestion par KANBAN suite aux perturbations de type panne machine.

La première est la modélisation par l' RdP du système de production de l'entreprise « BAG ».

La deuxième est la proposition d'une gestion par KANBAN de ce système.

La modélisation par les RdP nous amène à un modèle compact permettant également une étude analytique du système de production pour l'évaluation de ses performances et son pilotage.

Concernant l'évaluation des performances du système de production l'outil RdP est souple et permet une description **modulaire** et **fonctionnelle**. Il permet de décrire chacune des fonctionnalités du système, et fait ressortir les ordres de fabrication en synchronisant l'ensemble.

Les règles d'évolution sont simples, et apportent un gain réel en temps de calcul, puisqu'on ne fait évoluer que les transitions qui doivent être franchies.

Ainsi, par cette modélisation, il nous a été possible de mettre en exergue les performances du système de production de l'entreprise BAG d'une manière générale, et plus particulièrement celles ayant trait au dimensionnement et ceci dans l'objectif de déterminer, le nombre de kanban, la capacité des conteneurs...etc.

L'objectif à atteindre par l'application de la gestion par KANBAN est la satisfaction du client aussi bien sous l'angle de la quantité que des délais.

La méthode KANBAN doit gérer les flux de production de telle sorte qu'il n'y ait ni trop de pièces dans le système ni pas assez. Ainsi, le contrôle du nombre de pièce présentes dans les stocks et processus de fabrication devient possible et assure la maîtrise des coûts de production et des coûts ou contraintes de satisfaction de la demande.

Par le biais de la méthode KANBAN. On a déterminé les niveaux du stock des produits finis ou semi finis nécessaire à la prise en charge de toute nouvelle commande. Ainsi que 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.

Ainsi il est par fois nécessaire de ralentir la remontée de l'information portée sur l'ordre de fabrication pour éviter d'avoir une accumulation de pièces devant une machine qui n'arrive pas à suivre la cadence, et l'inverse peu se produire si la demande n'est pas remontée suffisamment rapidement, le système risque de prendre du retard pour servir les demandes.

Suite au contact que nous avons eu avec l'environnement réel de l'entreprise, on dira que la culture de l'entreprise publique algérienne dont la BAG n'a pas encore autant évolué, il s'agit d'un tout autre type de management ; celui du retranchement derrière des procédures et des explications lourds et dépassées et lorsqu'elles font défaut, on se trouve de bonnes excuses pour la non atteinte des objectifs fixés.

Ainsi nos perspectives sont définies dans l'objectif d'atteindre une satisfaction totale de la clientèle. La révision des procédures de programmation reste insuffisante si, parallèlement à cela, il n'y a pas une implication des conditions de l'approche juste-à-temps pour la réussite. La politique KANBAN doit être basée sur un programme cohérent de redéploiement des ressources de production :

- Révision de la procédure actuelle et aller vers une procédure plus performante.
- Changer les idées de voir le changement comme une rupture , non justifiée avec le passé et ne s'inscrit pas dans l'évolution naturelle de l'entreprise.
- Introduire des catalysations pour motiver les travailleurs à atteindre les objectifs quantitatifs et qualitatifs.
- Former les agents pour appliquer les nouvelles procédures pour mieux s'adapter au changement du marché.
- Ne pas accepter les retards comme inévitables, quelles qu'en soient les causes.
- Rejeter toutes les raisons avancées pour justifier les marges de temps ou les stocks-tampons.
- Accorder la plus haute priorité à la réduction du temps consacré à la réalisation des tâches.

L'évolution vers une production répétitive plus efficace est assurée par la réduction des délais de changement et des tailles de lot, ainsi que par la création d'aires de stockage formelles à chaque poste de travail. La seule mise en œuvre des cartes kanban, entraîne une amélioration

de la performance du procédé. En effet les opérateurs deviennent plus attentifs à la stabilité des paramètres qu'il doivent maîtriser, mais surtout ils enrichissent leur expérience, réagissent plus vite et ont une vision plus préventive du fonctionnement de leur procédé.

Les cartes kanbans laissant progressivement la place à des recueils d'information en temps réel permettant une maîtrise complète du procédé et un pilotage de plus en plus préventif. Ces progrès sont nécessaires pour intégrer les procédés dans des flux tendus avec des stocks nuls. La mise en place de système d'information de KANBAN est capable de :

- Produire l'information en temps réel grâce à l'information des procédures dans les tableaux d'ordonnancement.
- Traduire les données fournies en critères de performance pour évaluer les différentes structures de production et la perception de la clientèle des services offerts.
- Tenir le client informé grâce à des panneaux d'affichage sans cesse actualisés et contrôlés.
- Etre à l'écoute du client en gérant d'une façon très rigoureuse.
- Décentralisation des informations et les ordres de fabrication.

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 organisationnelle d'autre part. Toute fois, ce travail a permis de mettre en exergue tous les points faibles dans la gestion actuelle du système de production de la BAG et a contribué d'une manière considérable dans la démarche de l'amélioration de gestion de production de cette dernière.

Conclusion :

La complexité des systèmes de production est telle que l'évaluation de leurs performances est désormais devenue indispensable. Pour répondre aux exigences imposées par le marché, il est nécessaire de maîtriser et par conséquent de modéliser le système de production de l'entreprise cible. En effet, cette modélisation par les RdP, aboutit à la conception d'un nouveau système de gestion de production.

L'arme concurrentielle majeure est de savoir répondre rapidement et précisément à la demande de client pour le conquérir et le conserver. En général, il y'a deux moyens d'offrir des délais courts et fiables. Le premier est le système KANBAN mis en place et qu'est un processus de commande efficace, fiable, sans défaut et rapide ; couplé à un processus de production réactif. Le second et celle de l'entreprise cible « **BAG** » qui consiste à fabriquer et conserver des stocks de produits en prévisions des commandes.

La première option permet à l'entreprise d'être un fournisseur ponctuel et à faible coût. La seconde entraîne des coûts de fabrication, de gestion des stocks très élevés et ne permet pas de répondre rapidement aux commandes de produits que l'entreprise n'a pas en stock. Pour passer de l'une à l'autre, l'adaptation avec le « **JAT** » constitue un objectif clé pour le processus de production.

Les performances du système de fabrication étudié [état des machines, capacité des stocks, en-cours moyen, taux de la satisfaction de la demande... etc.] sont calculé à l'aides du modèle « RdP » qui joue un rôle simplificateur de déroulement des activités de production. Ces résultats sont suffisants pour dimensionner l'atelier.

Donc le RdP du système KANBAN au sein de la « **BAG** » peut contribuer à l'amélioration de la performances du procédé comme suit :

➤ **Le contrôle des procédés :**

Le modèle RdP de la figure (4) donne au pilote du procédé des informations pertinentes lui indiquant quand il doit agir. Il lui permet d'acquérir une meilleure connaissance de son procédé par le suivi de son évolution dans le temps. Ainsi, il facilite une accumulation d'expérience nécessaire à l'amélioration de la politique KANBAN utilisée.

➤ **Amélioration de la productivité :**

La mise en œuvre de l'RdP KANBAN doit conduire à une réduction des produits semi-finis dans les en-cours. Cette diminution du taux des en-cours entraîne comme

on a vu une augmentation de la productivité par la synchronisation entre postes ; une diminution des coûts et une augmentation de la capacité réelle de production.

➤ **Stabilisation des procédés :**

Le RdP modélisant le système KANBAN est une aide efficace pour faire fonctionner les procédés KANBAN de façon régulière et prévisible pour la satisfaction de client et les coûts de production.

Or nous savons que le procédé KANBAN assure un flux régulier de produit est une garantie importante pour l'obtention d'un niveau acceptable de satisfactions de client. Et ainsi l'intervention de façon préventive.

➤ **Maîtrise de procédé :**

Le RdP KANBAN permet de maîtriser le procédé par la visualisation de l'évolution de produits au sein de processus de fabrication et ainsi l'intervention de façon préventive.

➤ **Apport d'un langage commun pour l'évaluation des performances :**

La modélisation par RdP apporte des informations objectives sur l'évolution du procédé dans le temps. Elles servent alors de base de communication entre les niveaux hiérarchiques de la fabrication, les différents services, les clients et les fournisseurs.

Cet avantage des RdP est considérable pour éviter de faire des expérimentations directes sur le système existant. Il apparaît que l'évaluation des performances de système de production constitue un point clé, tant pour son dimensionnement que pour sa conduite.

JE DEDIE CE MODESTE MEMOIRE :

✂ A MES TRES CHERS PARENTS QUI M'ONT TOUJOURS SOUTENUS
ET QUI ONT SACRIFIES LEURS VIES AFIN DE FAIRE DE MOI CE QUE
JE SUIS. QUE DIEU LES PROTEGE

✂ A MES CHERES SOEURS

✂ A MES CHERES FRERES

✂ A NOTRE TROIS ANGES «HADIL, MALAK(KOUKI) ET
MEYORA »

✂ A TOUS MES AMIS

**D
E
D
I
C
A
C
E
S**

F.Rafik

Introduction:

La détermination de toute performance et son exploitation dans un système quel qu'il soit passe obligatoirement par son analyse. Dans ce chapitre on représente dans la première partie la phase analyse qui permet de définir les caractéristiques du système existant. Et elle a pour but d'identifier les éléments et les composants de ce dernier.

L'analyse du système est faite par une modélisation du système de production de l'entreprise cible la « BAG » (entreprise de production des Bouteilles A Gaz) par les réseaux de Petri.

Vu la complexité du système de production de la BAG nous avons opté pour sa décomposition en quatre sous systèmes qui sont :

- Sous système mécanique (I) représentant l'emboutissage.
- Sous système mécanique (II) représentant la fabrication de pieds.
- Sous système de soudage.
- Sous système de finition.

Le système de production à étudier est dans un premiers temps traduit en un modèle utilisant les réseaux de pétri qui permet une analyse formelle des propriétés structurelles et comportementales. Une fois ces propriétés satisfaites, la méthode KANBAN permet une estimation de la performance du système étudié.

Le processus de production commence avec la réception des commandes et se termine par la livraison du produit au client. Il a pour but de fournir, de manière efficace, régulière et ponctuelle des produits existants à un client connu.

Les activités de processus de fabrication « BAG » sont répétitives ; il est donc facile d'y appliquer les techniques KANBAN pour le piloter et améliorer les opérations de réception et de traitement des commandes, la gestion de production et les livraisons.

INTRODUCTION GENERALE:

Pendant les trentes 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. L'organisation taylorienne permettait 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 -à- temps.

Dans ce contexte, l'entreprise algérienne comme tout autre entreprise doit se maintenir sur un marché de plus en plus compétitif. Aussi elle doit produire mieux en terme de qualité et de quantité, dans les meilleurs 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 sont menés au **LAP** (Laboratoire d'Automatique et Productique) 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 modélisation.

Le travail présenté dans ce mémoire est l'une des approches des travaux du groupe **G.I.L (Gestion Industrielle et Logistique)** du **LAP**. Notre choix est porté sur **KANBAN** comme méthode de gestion de production et les **RdP** (Réseaux de Petri) comme outil de

modélisation. L'objectif de cette étude est en effet: **l'amélioration de la gestion des systèmes 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 deux parties.

La première partie traite l'aspect théorique du sujet, elle comporte quatre chapitres.

Le premier chapitre présente des notions sur les processus de production et leur pilotage pour assurer une meilleure cohérence entre les différents éléments de la production.

Le deuxième chapitre introduit la philosophie du juste à temps (JAT) pour mieux situer dans quel contexte a été mis en place le système KANBAN.

Dans le troisième chapitre on présente l'outil pour gérer les produits en flux tendus qui est le KANBAN. Notre étude a porté essentiellement sur la présentation des objectifs et l'identification des éléments clés de cette approche en production.

La présentation de l'outil de modélisation « **RdP** » a fait l'objet du quatrième chapitre. Lors de cette présentation on a mis en exergue le fait que cet outil offre d'une part un support graphique très intéressant pour l'évaluation des systèmes, et d'autre part il permet de dégager les propriétés du système étudié sans passer par la simulation.

La seconde partie de ce travail est consacrée à l'application de la méthode KANBAN à une entreprise algérienne. L'entreprise cible dans notre cas est la « **BAG** » (Entreprise de Fabrication des Bouteilles à Gaz). La première étape de cette application consiste à établir le modèle RdP du système de production de l'entreprise « BAG ». Ceci a permis l'identification de certaines performances de ce système, à savoir : la production maximale, les en-cours, le temps de réponse, le temps d'attente des demandes etc.

Une fois ce modèle établi, on lui associé un mécanisme de décision, basé sur les critères Kanban, consécutif aux perturbations de type panne machine. Ainsi, le principe consiste à définir autour de l'opération, un comportement de réactivité permettant d'adapter la conduite en réponse à des changements de situations. Ce processus d'adaptation qui s'appuie sur des degrés plus ou moins élevés de flexibilité opérationnelle permet de répondre localement aux sollicitations agissant sur l'opération et qui, dans notre cas d'étude est « la satisfaction des commandes avec le respect de délai ».

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

Liste des Tableaux

APPLICATION

PARTIE I : Modélisation et détermination de la disponibilité du système de production « BAG »

Tab (1) : Tableau de panne par machine	74
Tab (2) : Tableau de récupération par machine	75
Tab (3) : taux de disponibilité de système	81

PARTIE II : Mise en place et Modélisation du système KANBAN

Tab (1) : Les cadences moyennes des postes	85
Tab (2) : La durée d'écoulement au poste aval	86
Tab (3) : Le lot mini de fabrication et la durée de lancement	87
Tab (4) : L'en-cours mini et la marge pour réagir	89
Tab (5) : Le tampon de régulation	90
Tab (6) : Les plannings d'ordonnancement et l'en-cours max	92
Tab (7) : L'efficacité de cycle de production (ECP)	97
Tab (8) : Le surplus de stock tampon et ses coûts	99
Tab (9) : La différence entre quantité produite et le délai de satisfaction client	103
Tab (10) : représente la satisfaction de demande	107

Liste des figures

CHAPITRE 1 : Des notions sur les processus de production

Fig (1) : Flux majeurs dans la production	4
Fig (2) : Classification de la production discrète	5
Fig (3) : Un système de pilotage dédié au système de production	8

CHAPITRE 2 : Le Juste –à- Temps (JAT)

Fig (1) : L’approche Juste –à- Temps.....	14
Fig (2) : Environnement de l’usine sous l’angle « JAT ».....	19
Fig (3) : Techniques de production qui sous-tendent le Juste- à –Temps.....	21
Fig (4) : Cellule de travail en « U ».....	23

CHAPITRE 3 : Le système KANBAN

Fig (1) : Système « Poussé ».....	28
Fig (2) : Système « Tiré »	29
Fig (3) : Classification de la production discrète	30
Fig (4) : Carte de transfert	31
Fig (5) : Boucle de transport	31
Fig (6) : Carte de production	32
Fig (7) : Boucle de production	32
Fig (8) : Schéma de principe de circulation des kanbans	34
Fig (9) : Présentation d’un tableau KANBAN.....	36

CHAPITRE 4 : les RdP un outil de modélisation

Fig (1) : RdP modélisant un système de production.....	41
Fig (2) : Fonctionnement d’un RdP Temporisé	44
Fig (3) : [A] RdP stochastique [B] Graphe de marquage [C] Chaîne de Markov	45
Fig (4) : RdP continu modélisant le système d’écoulement d’un liquide	49
Fig (5) : Evaluation du marquage du RdP continu	50
Fig (6) : RdP hybride	53
Fig (7) : Graphe d’évolution	53
Fig (8) : RdP coloré avec fonction identité.....	54

APPLICATION

PARTIE I : Modélisation et détermination de la disponibilité du système de production « BAG »

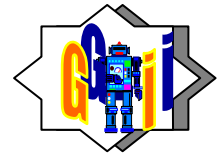
Fig (1) : Processus de fabrication d'une bouteille a gaz	58
Fig (2) : Modèle RdP de la partie mécanique (I) –Emboutissage-	64
Fig (3) : Modèle RdP de la partie mécanique (II) –Fabrication des pieds-	66
Fig (4) : Modèle RdP de la partie soudage	68
Fig (5) : Modèle RdP de la partie finition	71
Fig (6) : Modèle RdP de la partie mécanique (I) avec l'introduction de la notion des pannes –Emboutissage-	76
Fig (7) : Modèle RdP de la partie mécanique (II) avec l'introduction de la notion des pannes	77
Fig (8) : Modèle RdP de la partie soudage avec l'introduction de la notion des pannes	78
Fig (9) : Modèle RdP de la partie finition avec l'introduction de la notion des pannes	79

PARTIE II : Mise en place et Modélisation du système KANBAN

Fig (1) : Système de production du BAG décomposé en mailles	84
Fig (2) : Planning d'ordonnancement pour le poste marquage collerette	91
Fig (3) : RdP modélisant une maille « i » et ses relations avec les mailles avoisinantes	94
Fig (4) : RdP modélisant le système KANBAN dans « BAG »	95
Fig (5) : Capacité de stockage dans les différentes postes	100
Fig (6) : Histogramme présentant le coût du surplus cumulé	101
Fig (7) : Quantité produite dans les deux approches	104
Fig (8) : Diagramme représente la différence entre quantités	105
Fig (9) : RdP modélisant le système de gestion de production « BAG » autoriser un délai de satisfaction de client	106
Fig (10) : le pourcentage de la satisfaction de client	107
Fig (11): L'influence d'un non respect du délai sur le système de production	108



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE HADJ LAKHDAR « BATNA »
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL
LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE ET PRODUCTIQUE (LAP)



MEMOIRE DE MAGISTER

PRESENTE AU

Laboratoire d'Automatique et Productique

En vue de l'obtention du diplôme de
MAGISTER

Spécialité
Génie Industriel

PAR
FRITAS RAFIK
Ingénieur en Génie industriel

Thème:

**MODELISATION PAR LES RESEAUX DE PETRI
D'UN SYSTEME DE PRODUCTION
GERE EN KANBAN
APPLICATION A L'ENTREPRISE "BAG"**

Directeur de mémoire: **Dr .N.K. Mouss**

JURY :

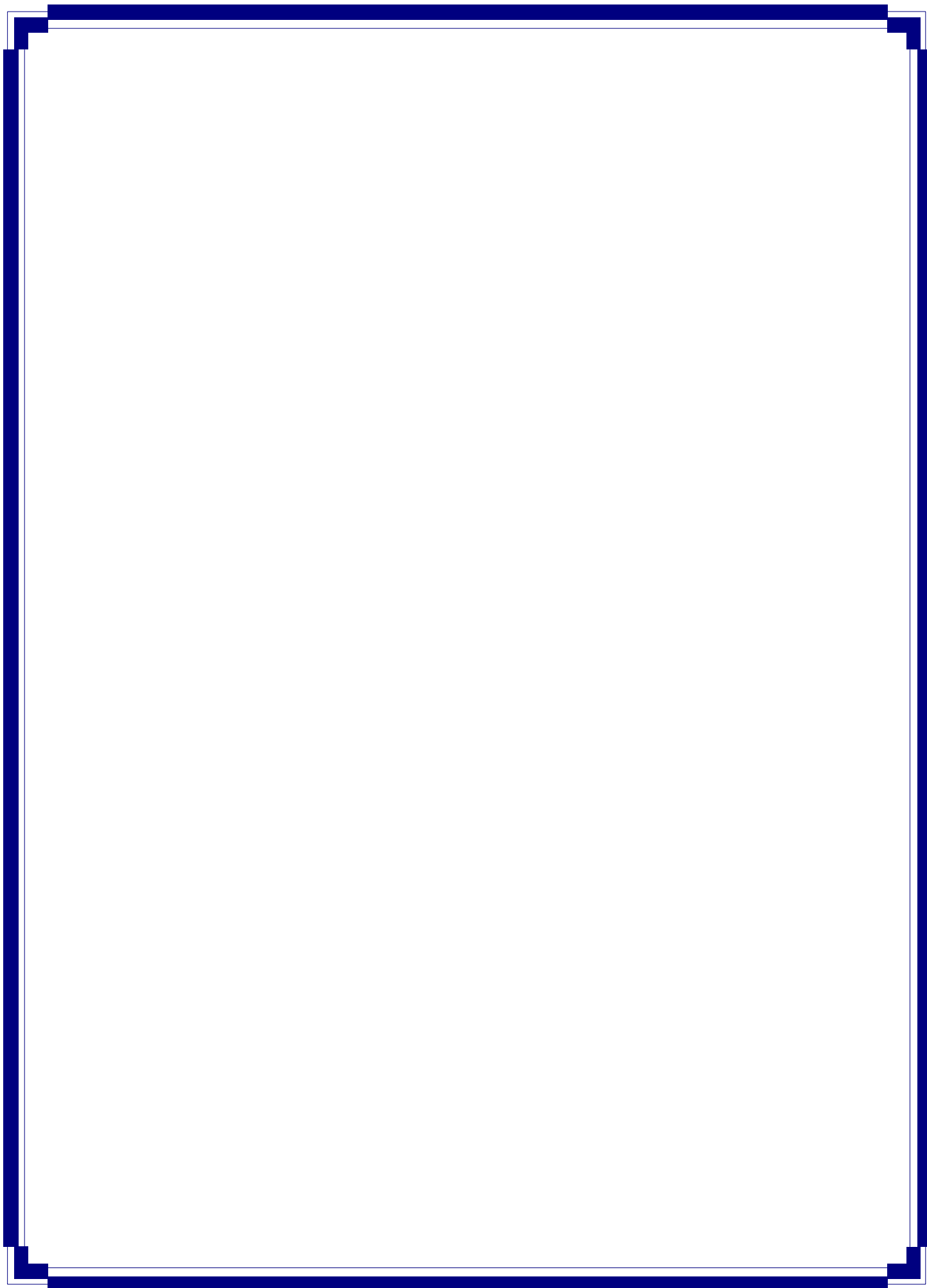
Prof. H. CHAABANE
Dr. N. K. MOUSS
Dr. L. H. MOUSS
Dr. M. DJEBABRA
Dr. M. L. BENAÏSSA
Mr. B. SOUDANI

Professeur
MC
MC
MC

UNIVERSITE de BATNA
UNIVERSITE de BATNA
UNIVERSITE de BATNA
UNIVERSITE de BATNA
PDG de L'AGRO CENTRE BLIDA
Chef de dpt Adm-Personnel Entreprise BAG

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Invité

Année Universitaire 2004 / 2005



1 /Présentation de l'entreprise :

L'entreprise nationale des emballages métalliques (EN E.M.B) appartient au secteur de l'industrie lourde, enveloppant plusieurs unités implantées sur le territoire national, parmi elles l'unité BAG Batna.

L'unité BAG Batna a été implantée en 1974 au nord de la zone industrielle de la ville de Batna, elle s'étend sur une surface de 7 hectares dont 17710 m² couverts.

L'unité a pour objectif de produire les bouteilles à gaz (11/13 Kg) afin de satisfaire le besoin du territoire national et plus particulièrement l'est algérien.

L'unité est entrée en production en juin 1978, sa capacité installée est de 800000 bouteilles par ans, mais actuellement son extension a permis de passer à une production de 1000000 bouteilles par an. Son effectifs est de 525 personnes repartis dans les différents services :

- Personnels techniques y compris 314 ouvriers.
- Agents de maîtrises et techniciens 166 ouvriers.
- Cadres 44.

Parmi les fournisseurs étrangers qui équipent cette unité :

- La société (S.M.G).
- Berromberg (R.F.G).
- Meteo-welco (Angleterre).
- Mouratille (France).
- Thissen (R.F.A).
- Peddingghaous (R.F.A).
- Unité Saint Etienne (France).
- L'acier XC18S est importé d'Espagne.

Quant aux fournisseurs nationaux on a :

- Le complexe El-Hadjar.
- Les tubes des pieds sont fournis par l'unité de Réghaia.
- Les robinets sont fournis par l'unité de Koumba.

2/ Description De Système de production :

Le système de production est divisé en quatre secteurs (figure 1)

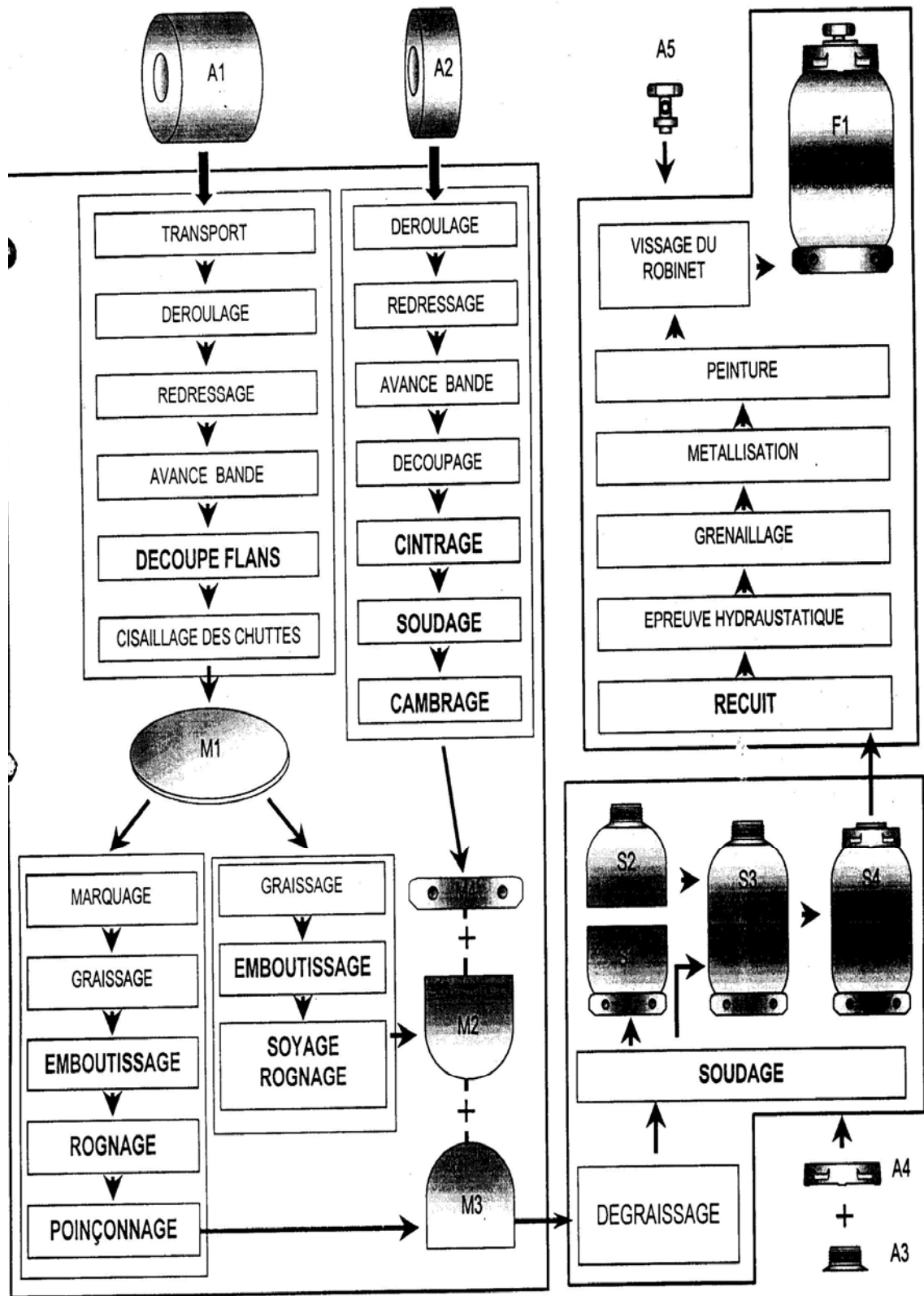


Fig (1) : Processus de fabrication d'une bouteille a gaz

A °/ SECTEUR MECANIQUE

A-1. Ligne d'emboutissage :

1- Dérouleuse :

Les bobines sont stockées dans le hall de stockage du secteur mécanique. Elles sont transportées à l'aide d'un pont roulant qui les dépose sur le chariot porte bobines. A l'aide d'un vérin la bobine est placée au niveau de la dérouleuse.

2- Redresseuse :

La redresseuse reçoit la tôle par le biais d'un opérateur. L'opération de redressage se fait à l'aide des cylindres qui font passer la tôle sur une table de guidage qui est liée à l'avance bande.

3- L'avance bande :

L'avance bande est munie de quatre pinces : deux fixes et deux mobiles qui font passer la tôle à la découpeuse des flancs

4- Découpeuse des flancs :

De l'avance bande la tôle est découpée en flancs (forme circulaire) par une presse découpeuse appelée « découpeuse des flancs ». Les flancs découpés sont transportés à l'aide de deux tapis roulants « transporteurs » l'un destiné aux emboutis supérieur et l'autre aux emboutis inférieurs. Les déchets qui restent sont découpés par une cisaille et introduit dans des bacs pour être évacués ensuite dans la presse à déchets.

4-1- Ligne des emboutis inférieures :

4-1-a- La graisseuse des flancs :

De la découpeuse des flancs et par l'intermédiaire d'un tapis roulant Les flancs sont graissés par une graisseuse des flancs pour faciliter l'opération d'emboutissage.

4-1-b- La presse d'emboutissage :

Les flancs graissés passent à la presse d'emboutissage par un tapis roulant pour leurs donner la forme d'emboutis.

4-1-c- La soyeuse rogneuse :

Les emboutis sortent de la presse d'emboutissage sur une bande transporteuse vers la soyeuse rogneuse pour leurs faire le soyage et le rognage.

- Soyage : consiste à enlever les sur cotes pour monter les emboutis aux dimensions voulues.
- Rognage : consiste à faire une rainure pour que les embouties supérieurs s'emboutent avec les embouties inférieures.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

4-2- La marque des flancs :

Sur les flancs découpés est imprimé la plaque signalétique qui porte les données suivantes :

BAG	BATNA
03/2000	
TARE	12Kg
CAP	26.5L
BUTANE	13Kg
PROPANE	11Kg
PE	30 bar

A -2 Ligne des pieds :

1- l'avance bande :

L'avance bande attrape le col pied à l'aide de deux pinces une fixe et l'autre mobile, puis elle le passe à la presse découpe pied.

2- La presse découpe pieds :

La presse découpe les pieds, les chutes sont évacuées dans le bac à déchets. Les pieds sont empilés par un ouvrier et transportés à l'aide d'un chariot à la cintrreuse.

3- La cintrreuse :

L'opérateur fait passer les pieds sur une cintrreuse pour leur donner une forme circulaire, ils sont transportés par un tapis roulant vers la soudeuse de pieds.

4- La cambreuse :

Une fois soudées les pieds ils sont transportés par un tapis roulant à la cambreuse ils y subissent l'opération de cambrage.

- Cambrage : consiste à couder les têtes des pieds à l'intérieur afin de pouvoir les souder avec l'embouti inférieur.

B ° / SECTEUR SOUDAGE

1 .Le dégraissage :

Tous les éléments de la bouteille finis (emboutis supérieurs et emboutis inférieurs) passent au dégraissage pour leur enlever les huiles et les saletés. Le dégraissage se fait en trois étapes :

Le lavage : Le lavage se fait par un mélange d'eau chaude et de carbonate de soude légère pour bien nettoyer.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

Le rinçage : Les éléments passent au rinçage pour les nettoyer du carbonate de soude.

Le séchage : Les éléments passent au séchage pour qu'on puisse les souder.

Après le dégraissage Les emboutis sont dirigés vers une soudeuse :

- * Les emboutis inférieurs pour être soudés aux pieds.
- * Les emboutis supérieurs pour être soudés aux collerettes.

Le type de soudure utilisé est le soudage par métal d'apport, décapant pour protéger la vision de l'opérateur.

2. Ligne de soudage collerette :

Les collerettes et les embouties supérieures sont envoyées du dégraissage vers la ligne de soudeuse collerette. Cette ligne est composée de quatre machines travaillant en parallèle pour augmenter la cadence de production. Elle est alimentée par un stock tampon.

3. ligne de soudage pieds :

Cette ligne est composée de cinq postes, elle a pour rôle l'assemblage des embouties inférieures et des pieds par le soudage à métal sous gaz CO₂.

4. ligne de soudage circulaire :

Les lignes de soudage des pieds et de soudage des collerettes se rejoignent à la soudeuse circulaire qui va souder les emboutis supérieures avec les emboutis inférieurs pour former les bouteilles. Elle possède quatre machines identiques travaillant en parallèle. Le type de soudure utilisée est identique à celui de la soudeuse des collerettes.

C °/ SECTEUR FINITION :

1. Le four de traitement thermique (recuit) :

C'est un four pour traitement thermique qui fonctionne avec du gaz. Le traitement que subissent les bouteilles et le recuit pour éliminer les contraintes et les déformations que les éléments des bouteilles ont subies pendant les différentes étapes de leur fabrication.

Le four comprend cinq zones :

a- la zone (1) :

Les bouteilles entrent au four par un tapis à la température ambiante, cette zone fait monter la température des bouteilles à 700 °C c'est la zone de préchauffage.

b- La zone (2) :

Dans cette zone la température des bouteilles monte à 850°C c'est la zone de chauffage.

c- La zone (3) :

Dans cette zone la température monte de 880°C à 900°C.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

d- La zone (4) :

Dans cette zone la température devient $920^{\circ}\text{C} + 10^{\circ}\text{C}$.

Ces deux dernières zones sont les zones de maintien ou le recuit se fait.

e- La zone (5) :

Dans cette zone il y a un refroidisseur à air qui diminue la température des bouteilles jusqu'à environ 300°C .

Une fois les bouteilles formées, elles traversent sur le transporteur un trajet de 150m environ pour faire baisser leur température à la température ambiante. Les ouvriers les empilent en lots pour passer ensuite au banc d'épreuve.

2. Banc d'épreuve :

Les bouteilles empilées passent l'une après l'autre à l'aide d'un opérateur sur une machine qui les remplit avec de l'eau sous une pression de 30bar pour la vérification :

- Des joints de soudure de la collerette
- De la soudure circulaire
- Et enfin pour vérifier que la tôle ne contient pas des fuites.

Les bouteilles rebutées, sont transportées vers la presse à déchets pour être écrasées et emballées en bennes de déchets.

On doit prendre des bouteilles de chaque lot (coulée) pour un essai d'éclatement si le résultat est négatif. L'opération est répétée sur cinq bouteilles si le résultat est toujours négatif, le service de contrôle et des mines doivent passer à un contre essai de deux bouteilles pour déterminer le résultat final. Si le résultat est toujours négatif tout le lot sera rebuter. Si le résultat est positif le lot continue son processus vers la granulométrie.

3. La greneilleuse :

Une fois que les bouteilles sont éprouvées, elles sont envoyées vers la greneilleuse à l'aide d'un tapis roulant pour procéder à l'opération de grenailage pour rendre la bouteille poreuse.

4. La métallisation :

Les bouteilles sortent de la greneilleuse vers la métallisation. Cette opération est effectuée par une machine qui fait tourner la bouteille, le chalumeau fait fondre le fil de zinc sur toute la surface de la bouteille, pour la protéger contre la corrosion et permettre à la peinture. Chacune des lignes de métallisation et grenailages possèdent trois machines travaillant en parallèle.

5. La peinture :

La peinture se fait par une machine à pistolets qui injectent la peinture dans tous les sens, ceci pour toucher tous les cotés de la bouteille.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

6. Le séchoir :

Les bouteilles passent au séchoir pour que la peinture sèche.

7. Le vissage robinets :

Le vissage des robinets se fait en deux étapes ;

- La première étape manuellement par des ouvriers pour faire un entour spécial sur les robinets, ensuite faire un prévissage.
- La deuxième étape c'est le vissage des robinets par une machine automatique réglée à la pression voulue.

8. Le pesage :

Après le séchage, vissage robinets et vissage chapeau, les bouteilles passent au pesage sur un tapis roulant pour déterminer le poids final de chaque bouteille.

9. Le stockage :

Enfin les bouteilles passent au stockage pour être commercialisées.

3/ Modélisation du Système de Production :

La question majeur est : quel type de RdP utiliser ?

Le mode de fonctionnement de chacun des quatre sous système a implicitement « imposé » le type de RdP que nous devons utiliser pour le modéliser. Ainsi nous avons utilisé les RdP Hybrides, colorés et stochastique.

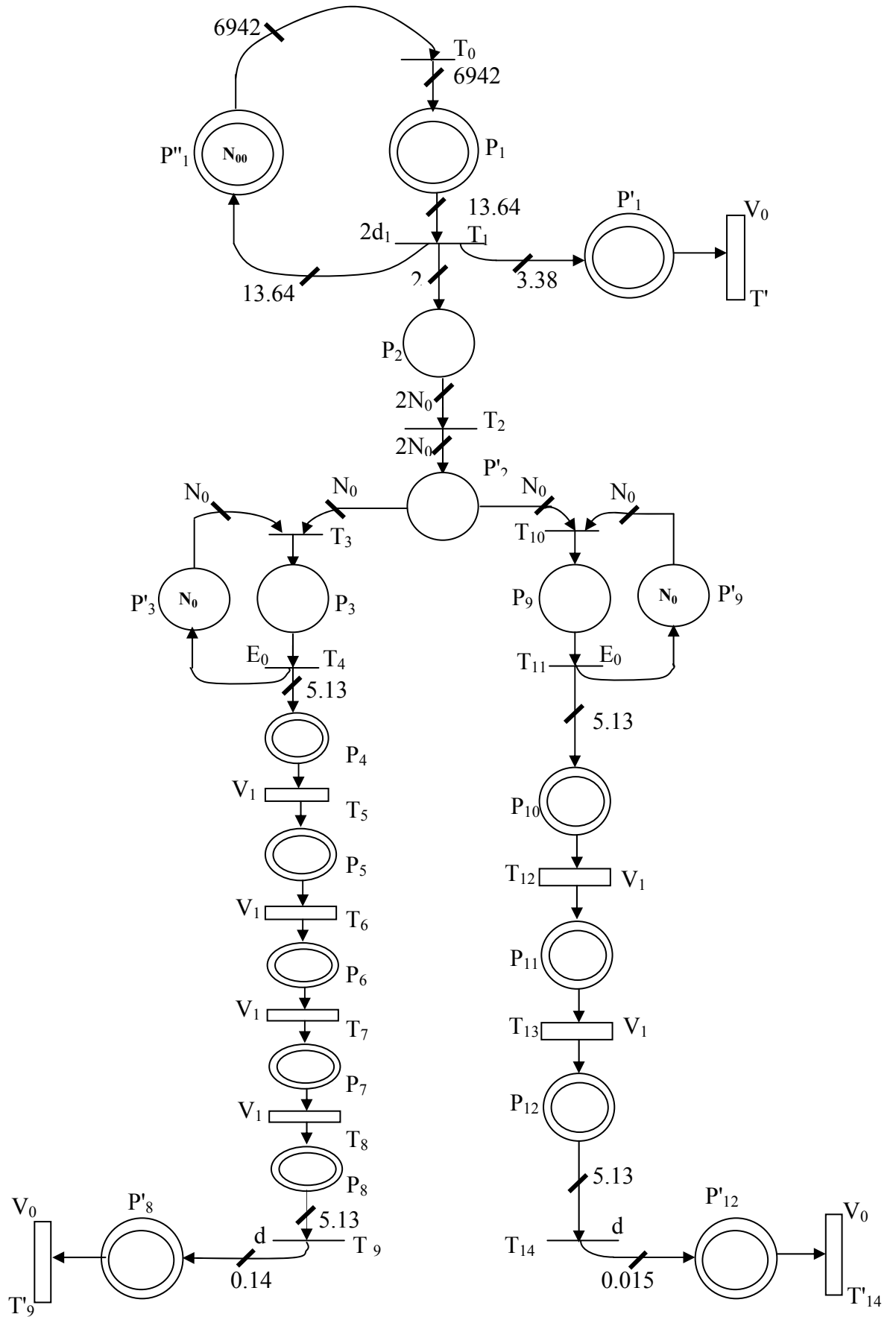
3-1°/ Modèle représentatif de la partie mécanique Globale :

La partie mécanique globale est composée de deux sous système [Partie mécanique (I) et partie mécanique (II)].

La partie mécanique (I) est constituée de deux lignes d'emboutissage, elle a pour finalité la fabrication des emboutilles supérieur et inférieur. Alors que la partie mécanique (II) a pour rôle la fabrication des pieds.

Ces deux parties sont caractérisé par la circulation d'un flux de matière première de manière continu (on tient dans cette partie à préciser la quantité des rebuts). Pour cela on a choisie de modéliser ce sous système par les RdP hybride, outil le mieux adapté pour la représentation des états discrets et continu en même temps. Les figures (2) et (3) nous donnent respectivement le modèle par RdP de la partie mécanique I et II.

Fig (2) : Modèle RdP de la partie mécanique (I) : (Emboutissage)



Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

A°/ Signification des places : Lorsque l'on considère un système qui effectue certain traitements, ceux-ci doivent être spécifiés. C'est pourquoi en plus d'un simple nom, il faut associer la spécification des traitements associés soit aux transitions soit aux places.

P₁ : découpage rouleau pour flancs.

P'₁ : déchet de découpage des flancs.

P₂ : Stock flancs.

P'₂ : Préparation de deux chariots de flancs à la fois.

P₃, P₉ : chariot de flancs.

P₄ : marquage flancs.

P₅, P₁₀ : lubrification flancs.

P₆ : emboutissage Sup.

P₇ : Rognage.

P₈ : poinçonnage.

P₁₁ : Emboutissage Inf.

P₁₂ : Soyage et Ronage.

P'₈ : déchet d'emboutissage Sup.

P'₁₂ : déchet d'emboutissage Inf.

E_o : l'ouvrier tire un flancs.

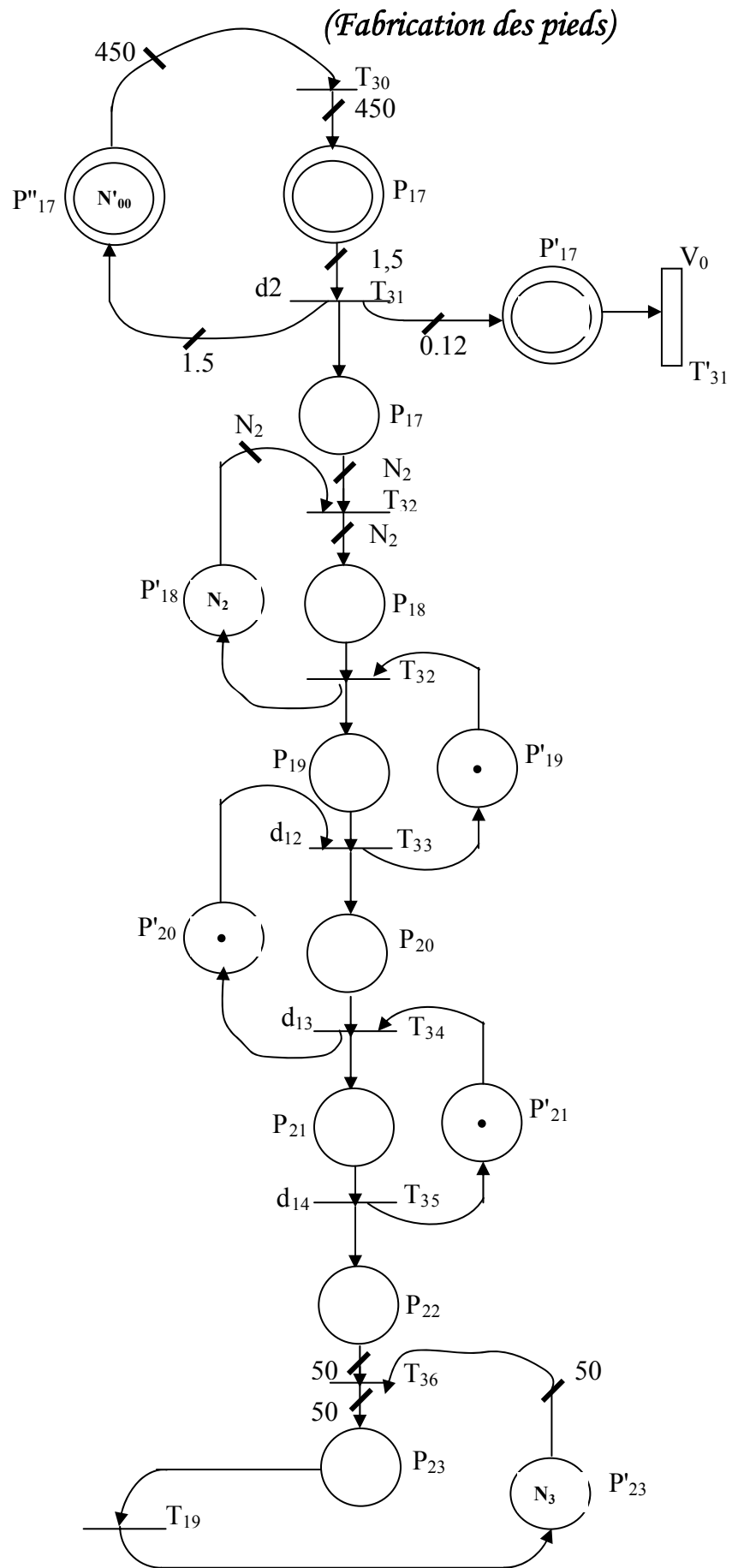
T= {l'ensemble de passage d'une opération à une autre}

B°/ Calcule des Paramètres :

Après l'élaboration du modèle graphique on doit calculer les différents paramètres à savoir.

Détermination de temporisation		
Cadence	Temporisation	
450 pièce / h	d (min)	0.13
943 pièce / h	d₁ (min)	0.063
Détermination de la vitesse de franchissement		
Cadence	Vitesse	
450 pièce / h	$V_0 = 1/d \text{ (min}^{-1}\text{)}$	7.7
450 pièce / h	$V_1 \text{ (min}^{-1}\text{)}$	7.7
Capacités des stocks tampon et des chariots		
Capacité de rouleau de production des flancs (Noo)		6942 kg
Chariot pour Flancs (No)		170 flancs

Fig (3) : Modèle RdP de la Partie Mécanique (II) :



Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

A°/Signification des places :

P₁₇ : découpage des rouleaux pour fabrication des pieds.

P'₁₇ : déchet barre de pied.

P*₁₇ : Stock barre pour la fabrication des pieds.

P₁₈ : chariot porte barre pour la fabrication des pieds.

P₁₉ : Cintrage.

P₂₀ : soudage pied.

P₂₁ : cambrage.

P₂₂ : Stock intermédiaire de pied.

P₂₃ : chariot pour pied.

T= {l'ensemble de passage d'une opération à une autre}

B°/ Calcul des Paramètres :

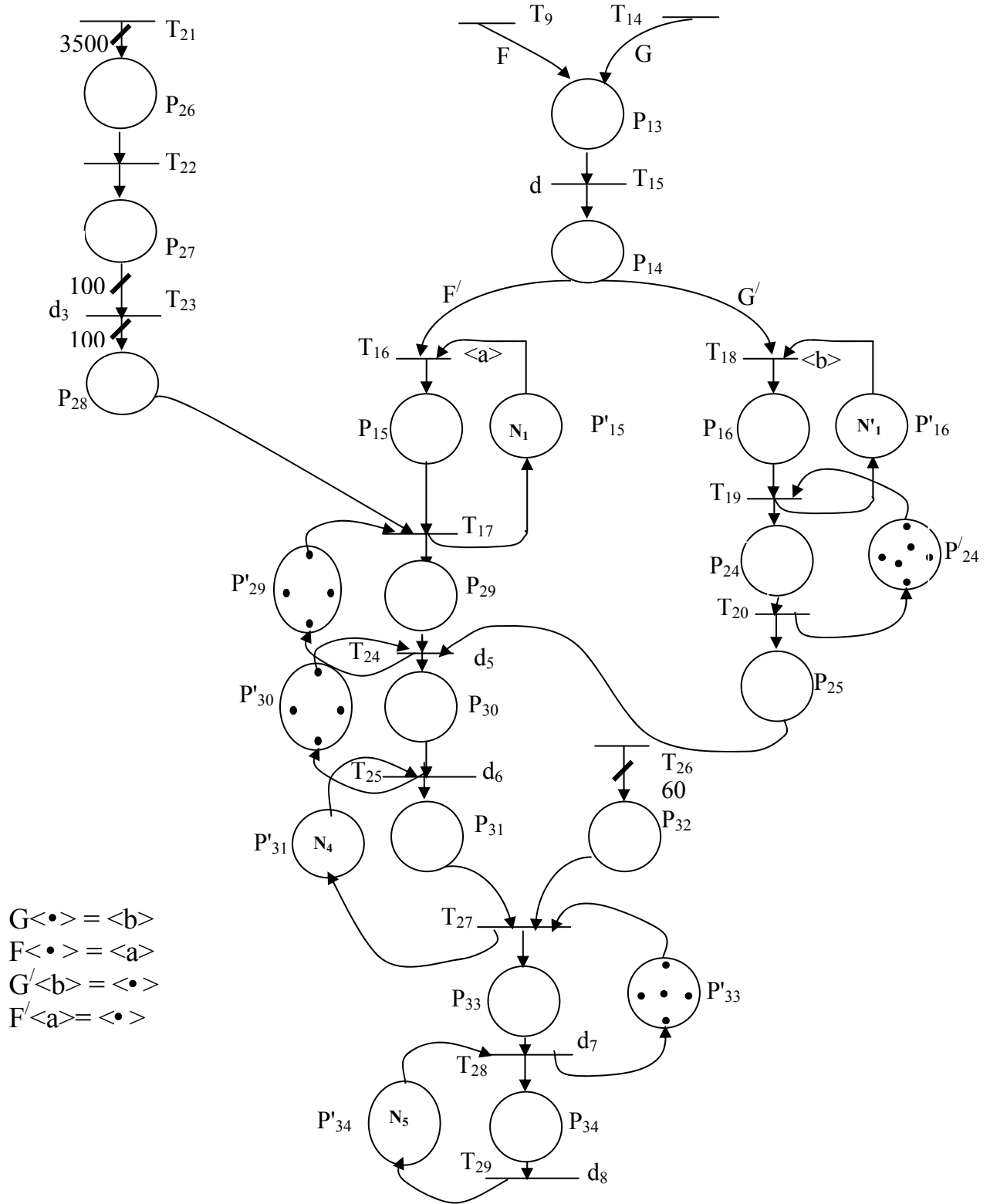
Pour le calcul des différentes temporisation, **d₁₂**, **d₁₃**, **d₁₄**. Nous avons chronométré les opérations concernées (voir annexe E)

Détermination des temporisations		
Cadence	Temporisation	
253 pièce / h	d₂ (min)	0.25
Poste	Temporisation	
Cintrage	d₁₂ (min)	0.11
Soudage	d₁₃ (min)	0.19
Cambrage	d₁₄ (min)	0.14
Capacités des stocks tampon et des chariots		
Capacité de rouleau de production des pieds		450 kg
Chariot pour baguette de pied (N ₂)		1100 pièces
Chariot pour pied (N ₃)		50pièces

3-2°/ Modèle représentatif de la partie soudage :

La partie soudage est caractérisée par le regroupement de deux lignes d'emboutissage (Supérieur et Inférieur) dans l'opération de dégraissage. Pour faire la distinction entre l'emboutille supérieur « Sup » et inférieur « Inf » on a eu recours au RdP coloré. Le modèle obtenu est représenté par la figure (4).

Fig (4) : Modèle Rdp de la partie soudage



Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

A°/Signification des places :

P₁₃ : tapis Roulant.

P₁₄ : dégraissage.

P₁₅ : Stock Intermédiaire d'embouteille supérieur (Emb sup).

P₁₆ : Stock intermédiaire d'embouteille inférieur (Emb Inf).

P₂₄ : Assemblage par soudage (pied + Emb Inf).

P₂₅ : Stock intermédiaire (pied + Emb Inf) = « A ».

P₂₆ : chariot porte collerette.

P₂₇ : marquage collerette.

P₂₈ : capacité de lot.

P₂₉ : Assemblage par soudage (collerette + Emb Sup) = « B ».

P₃₀ : Assemblage par soudage [(pied+Emb inf) + (collerette+Emb Sup)]= « A+B ».

P₃₁ : Stock intermédiaire des bouteilles sans collée.

P₃₂ : Chariot de collée de capacité 60.

P₃₃ : Assemblage par soudage [« A+B » (+) collée] = « C ».

P₃₄ : Stock intermédiaire des bouteilles à gaz non traité.

T= {l'ensemble de passage d'une opération à une autre}

B°/ Calcule des Paramètres :

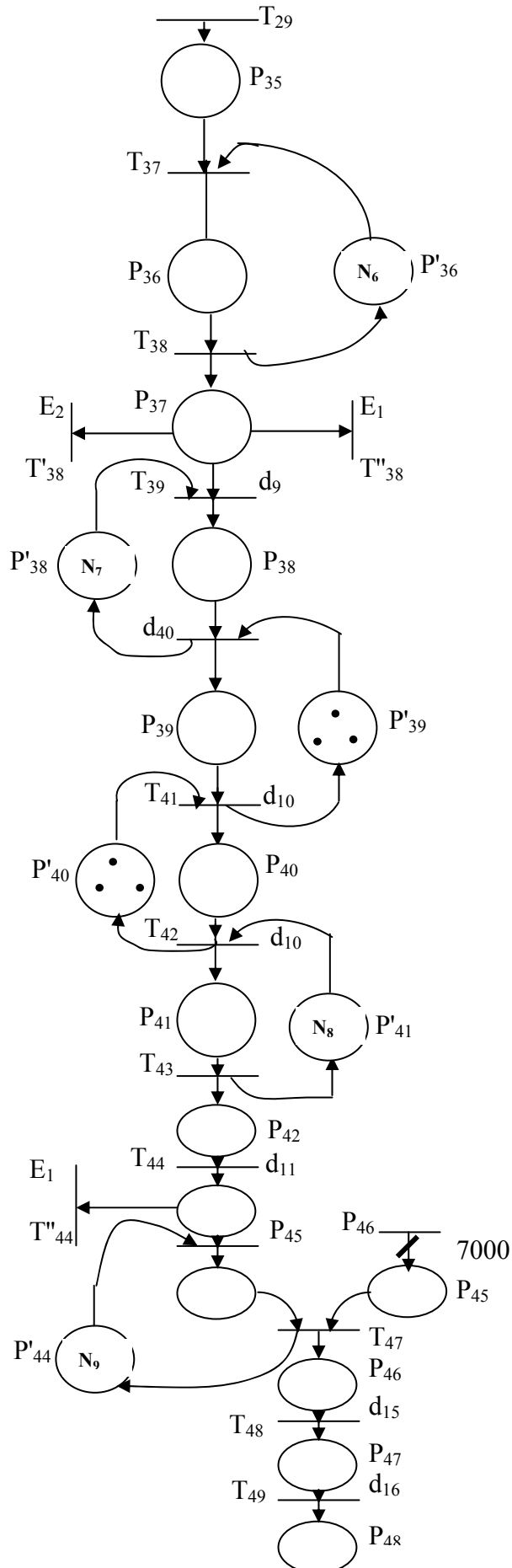
Détermination des temporisations		
Cadence	Temporisation	
450 pièce / h	d (min)	0.13
672 Pièce /h	d₃ (min)	0.09
376 Pièce /h	d₅ (min)	0.16
372 Pièce /h	d₆ = d₇ (min)	0.16
360 Pièce /h	d₈ (min)	0.17
Capacités des stocks tampon et des chariots		
Stock embouteille supérieur (N1)		5400
Stock embouteille inférieur (N ¹ /1)		5400
Stock des bouteilles à gaz sans collée (N4)		1000
Stock des bouteilles à gaz non traité (Ns)		4000
Caisse pour collerette		3500

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

3-3°/ Modèle représentatif de la partie finition:

Cette partie est caractérisé par son aspect discret, a ce stade la bouteille est fabriqué et elle suit un traitement de finition. La figure (5) nous donne le modèle RdP obtenu.

Fig(5) : Modèle RdP représentatif de la partie finition:



Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

A°/Signification des places :

P₃₅: traitement thermique.

P₃₆ : Stock bouteille à gaz traité.

P₃₇ : Bande d'épreuve (test Hydrostatique).

P₃₈: Stock bouteille à gaz après bande d'épreuve.

P₃₉ : Grenailage.

P₄₀ : Métallisation.

P₄₁: Stock bouteille à gaz avant peinture.

P₄₂: Peinture bouteille à gaz.

P₄₃: Contrôle Visuel.

P₄₄ : Stock bouteille à gaz avant vissage du robinet.

P₄₅ : chariot porte robinet.

P₄₆ : Vissage robinet.

P₄₇ : Pesage.

P₄₈: Stock produit finis.

E₁ : s'il y a un reprise. **E₂** : s'il y a un rejet.

T= {l'ensemble de passage d'une opération à une autre}

B°/ Calcule des Paramètres :

Détermination de temporisation		
Cadence	Temporisation	
475 pièce / h	d₉ (min)	0.13
488 Pièce /h	d₁₀ (min)	0.12
369 Pièce /h	d₁₁ (min)	0.16
Poste	Temporisation	
Vissage robinet	d₁₅ (min)	0.13
Pesage	d₁₆ (min)	0.073
Capacités des stocks tampon et des chariots		
Stock bouteille à gaz traité (N6)		7000
Stock bouteille à gaz après banc d'épreuve (N7)		3200
Stock bouteille à gaz avant peinture (N8)		1800
Stock bouteille à gaz après peinture (N9)		4500
Caisse pour robinet		7000

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

4°/ Influence des états des machines sur le système :

Dans cette partie on a introduit la notion de taux de panne (λ_i) et de taux de récupération (μ_i), l'état des machines est pris en considération par l'intermédiaire des taux de panne (λ_i) et de récupération (μ_i). Ces taux sont calculés sur la base de données qui nous ont été fournis par le département de maintenance (voir annexes). Ceci va nous permettre d'établir la disponibilité de système et celle des différentes poste.

4-1°/ Calcule des Taux de panne « λ_i »:

**Calcule du Nombre d'heure de fonctionnement :*

Dans ce calcule on prend la durée de 5 mois (2004)

12 mois $\longrightarrow$ 250 jours.

5 mois $\longrightarrow$ X

Alors : X= 104 jours

On a : 7^h 30 de travail par équipe.

Donc le nombre d'heure de fonctionnement dans 5 mois est :

$$7.5 \times 104 = 780h$$

Ainsi le taux de panne est :

$$\text{Taux de panne} = \frac{\text{Nbre d'heure d'arrêt pour une machine}}{\text{Nbre d'heure de fonctionnement}}$$

Nous récapitulons sur le tableau (1) représentatif des taux de panne des différentes machines.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

Machine [Nbre de machine]	Nbre d'heure d'arrêt (h)	Nbre d'heure d'arrêt pour une machine (h)	Taux de panne (h)
Soudeuse de pied « SUD » [6]	37.5	7.5	0.01
Soudeuse collerette « SU » [4]	56	14	0.018
Soudage circulaire [4]	34.83	8.7	0.011
Soudeuse collée [5]	14.5	209	0.004
Greineilleuse [3]	138.5	46.16	0.06
Métalisation [3]	110	36.66	0.05
Découpage flancs	63	/	0.08
Découpage barre	61.5	/	0.08
Presse d'emboutissage INF « MCO 46 »	45	/	0.06
Presse d'emboutissage SUP « MCO 20 »	43	/	0.055
Dégraissage TS « 101 »	5	/	0.006
Four à recuit CMTM « TS 203 »	29.83	/	0.038
Banc d'épreuve « PE 007 »	16	/	0.02

TAB (1): Taux de panne par machine

4.2°/ Calcule des Taux de récupération « µi » :

Le taux de récupération est donnée par :

$$\text{Taux de Récupération} = \frac{\text{Nbre d'heure de réparation pour une machine}}{\text{Nbre d'heure d'arrêt totale}}$$

Tel que :

Nbre d'heure d'arrêt totale= temps d'arrêt réel + temps de réparation.

Le tableau (2) nous donne les taux de récupération pour les différentes machines.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

Machines	Nbre d'heure de réparation (h)	Nbre d'heure de réparation pour 1 machine (h)	Nbre d'heure D'arrêt totale (h)	Taux de Récupération (h)
Soudeuse de pied « SUD » [6]	54.5	10.9	92	0.12
Soudeuse collerette « SU » [4]	69	17.25	125	0.14
Soudage circulaire[4]	49.33	12.33	84.16	0.15
Soudeuse collée [5]	14.5	2.9	29	0.1
Greineilleuse [3]	213	71	351.5	0.2
Métalisation [3]	173	57.66	283	0.2
Découpage flancs	93	/	156	0.59
Découpage barre	78	/	139.5	0.56
Presse d'emboutissage INF « MCO 46 »	74	/	119	0.62
Presse d'emboutissage SUP « MCO 20 »	62	/	105	0.59
Dégraissage TS « 101 »	5	/	10	0.5
Four a recuit CMTM « TS 203 »	51.5	/	81.33	0.63
Banc d'épreuve « PE 007 »	17	/	33	0.51

TAB (2): Taux de récupération par machine

4.3°/ Détermination des modèles avec l'introduction des taux de panne et de récupération :

Pour mieux représenter l'influence des équipements sur le fonctionnement du système on a associée à chaque équipement son taux de panne et de récupération. Les RdP stochastique sont les mieux adapté pour représenter cet aspect.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

Fig (7) : Modèle R&P de la Partie mécanique (II) avec l'introduction de la notion des pannes :

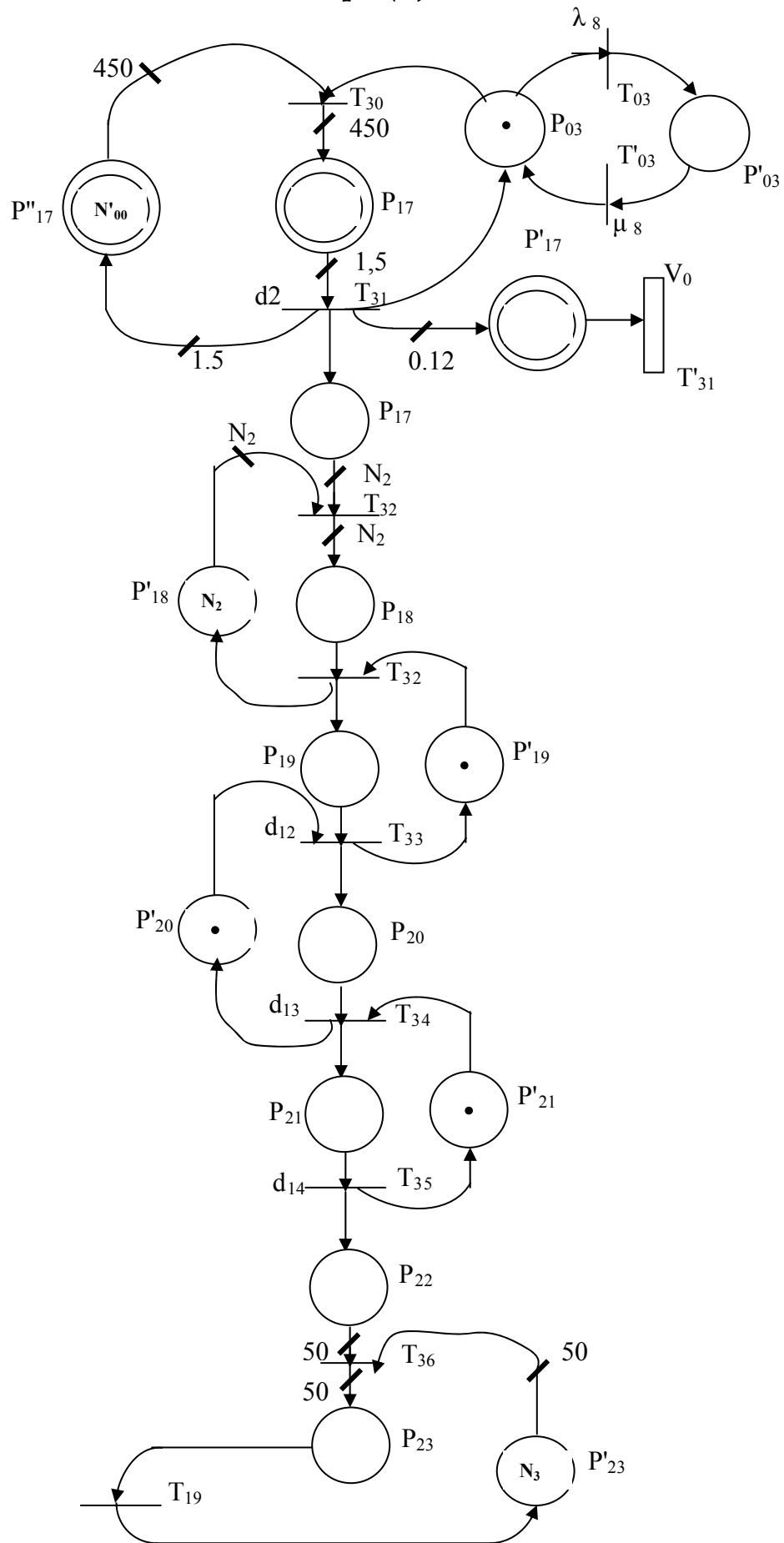
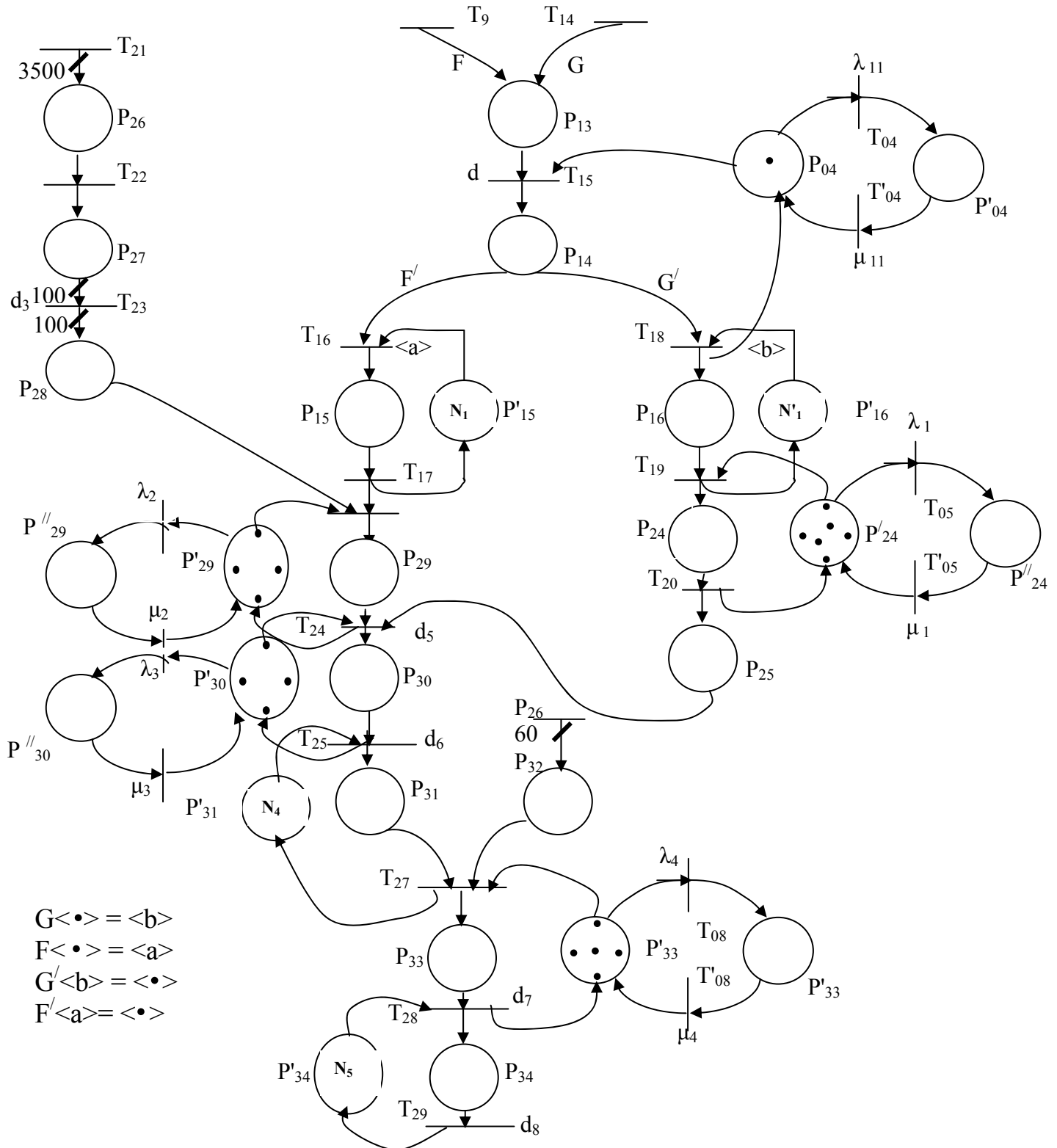


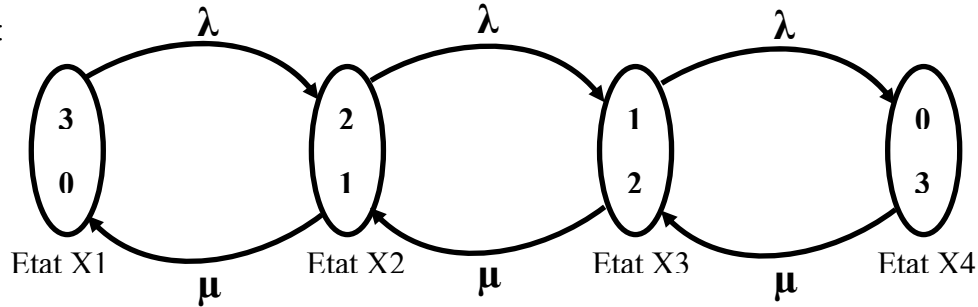
Fig (8): Modèle RdP de la Partie Soudage avec l'introduction de la notion des pannes :



5°/ Détermination des taux de disponibilité :

Pour la détermination des taux de disponibilité des différents postes, ainsi que leur taux d'aléas on utilise le processus markovien. La résolution des équations nous donne les différentes probabilités d'états en régime permanent de système.

C'est en prend comme exemple le poste de greineillage qu'il a le processus markovien suivant :



On a :

$$\begin{cases} \Pr^* \cdot A = 0 \\ \sum_{k=1}^4 \Pr_k^* = 1 \end{cases}$$

Donc :

$$\begin{bmatrix} \Pr_1^* & \Pr_2^* & \Pr_3^* & \Pr_4^* \end{bmatrix} \begin{pmatrix} -\lambda & \lambda & 0 & 0 \\ \mu & -(\mu+\lambda) & \lambda & 0 \\ 0 & \mu & -(\mu+\lambda) & \lambda \\ 0 & 0 & \mu & -\mu \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

D'où on tire :

$$\begin{cases} \Pr_1^* = \frac{\mu^3}{\lambda^3 + \mu^3 + \lambda\mu^2 + \lambda^2\mu} = 0.70 \\ \Pr_2^* = \frac{\lambda\mu^2}{\lambda^3 + \mu^3 + \lambda\mu^2 + \lambda^2\mu} = 0.21 \\ \Pr_3^* = \frac{\lambda^2\mu}{\lambda^3 + \mu^3 + \lambda\mu^2 + \lambda^2\mu} = 0.06 \\ \Pr_4^* = \frac{\lambda^3}{\lambda^3 + \mu^3 + \lambda\mu^2 + \lambda^2\mu} = 0.03 \end{cases}$$

Les résultats peuvent être interprété de la manière suivante :

- ✓ $\Pr_1^*$: C'est la probabilité que les trois machines sont en état de marche.
- ✓ $\Pr_2^*$: C'est la probabilité qu'une machine soit défectueuse.
- ✓ $\Pr_3^*$: C'est la probabilité que deux machines soit défectueuse.
- ✓ $\Pr_4^*$: C'est la probabilité que les trois machines sont en état de panne (Taux d'indisponibilité).

On peut déterminer le taux de disponibilité (τ) : $[\tau = \Pr_1^* + \Pr_2^* + \Pr_3^* = 1 - \Pr_4^*]$; et le taux d'aléas (δ) : $[\delta = \Pr_2^* + \Pr_3^* + \Pr_4^* = 1 - \Pr_1^*]$. Du la même façon on calcule le taux de

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

disponibilité et le taux d'aléas pour les autres postes, les résultats sont présentés sur le tableau (3).

M _i	Pr [*] _k							(τ)	(δ)	
Soudage de pied	Pr [*] ₁	Pr [*] ₂	Pr [*] ₃	Pr [*] ₄	Pr [*] ₅	Pr [*] ₆	Pr [*] ₇	0.9999	0.0827	
	0.9173	0.0762	0.0061	0.0003	4*10 ⁻⁵	3*10 ⁻⁶	5.7*10 ⁻⁵			
Soudeuse collerrette	Pr [*] ₁	Pr [*] ₂	Pr [*] ₃	Pr [*] ₄	Pr [*] ₅			0.9996	0.1286	
	0.8714	0.112	0.0144	0.0018	0.0004					
Soudage circulaire	Pr [*] ₁	Pr [*] ₂	Pr [*] ₃	Pr [*] ₄	Pr [*] ₅			0.9998	0.0734	
	0.9266	0.068	0.0049	0.0003	0.0002					
Soudeuse collée	Pr [*] ₁	Pr [*] ₂	Pr [*] ₃	Pr [*] ₄	Pr [*] ₅	Pr [*] ₆		0.9995	0.04	
	0.96	0.038	0.0015	61*10 ⁻⁶	24*10 ⁻⁷	43.66*10 ⁻⁵				
Greineilleuse	Pr [*] ₁	Pr [*] ₂	Pr [*] ₃	Pr [*] ₄				0.97	0.3	
	0.70	0.21	0.06	0.03						
Métalisation	Pr [*] ₁	Pr [*] ₂	Pr [*] ₃	Pr [*] ₄				0.99	0.25	
	0.75	0.19	0.05	0.01						
	Pr [*] ₁			Pr [*] ₂						
Découpage flancs	0.88			0.12					0.88	0.12
Découpage barre	0.87			0.13					0.87	0.13
Emb INF	0.91			0.09					0.91	0.09
Emb SUP	0.91			0.09					0.91	0.09
Dégraissage	0.99			0.01					0.99	0.01
Four a recuit	0.94			0.06					0.94	0.06
Banc d'épreuve	0.96			0.04					0.96	0.04

TAB (3) : Taux de disponibilité de système

On peut calculer même le temps moyen de séjour représente le même résultat déterminé précédemment mais il est basé sur la notion de temps.

Application : Modélisation et détermination de la disponibilité du SP du BAG

Les performances d'un tel système dépendent fortement des pannes des machines. Lorsque une machine est en panne, le nombre de pièce augmente dans son stock amont alors qu'il diminue dans son stock aval. Si la panne dure trop long temps, le stock amont peut devenir plein et provoque ainsi le blocage de la machine en aval. De même, le stock aval peut devenir vide et provoquer la machine qui se suit.

On va voir dans la deuxième partie que le système KANBAN s'efforce d'utiliser pleinement et efficacement ces ressources de production.

Application : Mise en place et modélisation du système KANBAN

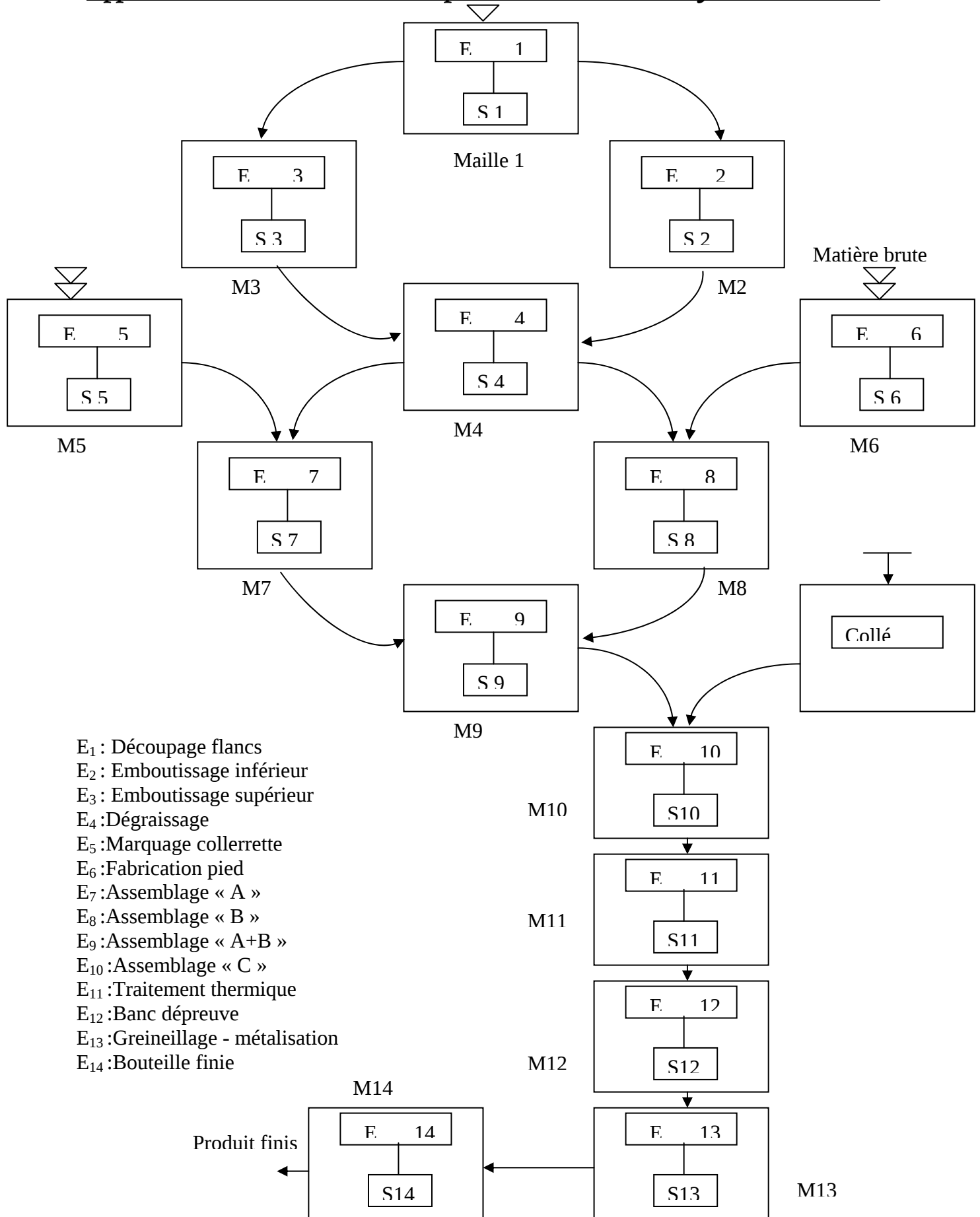


Fig (1) : Système de production du BAG décomposé en mailles

2°. Mise en place du système KANBAN :

Etape 1 : Collecter les données relatives au flux à organiser :

(1)^o/ Caractéristique du flux :

Pour la référence étudiée, nous avons :

- Une demande journalière moyenne de : **2335 bouteilles**
- Une variation de la demande de : **$\pm 5\%$**

(2)°/ Caractéristique des postes :

- L'atelier travail en (2×8), 5 jours par semaine. Suite à la perte de temps de désactivation des machines nous estimons que le temps de travail est de 7^h 30 min au lieu de 8^h.
- Le taux d'aléas de l'ensemble : c'est le taux de non disponibilité **11%**
- La cadence moyenne de production (Annexe 1) est donnée par le tableau (1) :

POSTE	CADENCE MOYENNE (pièce/h)
Découpage flancs	943
Emb INF	450
Emb SUP	450
Dégraissage	450
Marquage collerette	672
Fabrication pied	235
Assemblage « A »	376
Assemblage « B »	389
Assemblage « A+B »	372
Assemblage « C »	372
Traitement thermique	360
Banc d 'épreuve	475
Greneillage – Metalisation	488
Bouteille à gaz - fini	369

TAB (1): tableau représentant les cadences moyenne des postes

Pour simplifier le modèle KANBAN on considère :

- ## **Etape 2 : Définir les paramètres de fonctionnement :**

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

Dans notre cas la demande journalière est de 2335 bouteilles en moyenne. Nous retiendrons le nombre de **234 bouteilles** correspondant. A titre d'exemple à une durée d'écoulement de **21 min** au poste aval de marquage collerette. Le tableau (2) nous donne les différentes durées d'écoulement pour les différentes postes.

POSTE	DUREE D'ÉCOULEMENT (min)
Découpage flancs	15
Emb INF	32
Emb SUP	32
Dégraissage	32
Marquage collerette	21
Fabrication pied	60
Assemblage « A »	38
Assemblage « B »	37
Assemblage « A+B »	38
Assemblage « C »	38
Traitement thermique	39
Banc d 'épreuve	30
Greneillage – Metalisation	29
Bouteille à gaz fini	39

TAB (2): tableau représentant la durée d'écoulement au poste aval

Le lot minimum de fabrication pour un lancement est le nombre minimal de kanbans présents sur le planning d'un poste qui autorise l'activation de celui-ci alors qu'il est désactivé.

POSTE	LOT MINI DE FABRICATION (CONTENEUR)	DUREE DE PRODUCTION AU POSTE AMONT (min)
Découpage flancs	3	45
Emb INF	1	32
Emb SUP	1	32
Dégraissage	1	32
Marquage collerette	2	42
Fabrication pied	1	60
Assemblage « A »	1	38
Assemblage « B »	1	37
Assemblage « A+B »	1	38
Assemblage « C »	1	38
Traitement thermique	1	39
Banc d'épreuve	2	60
Greneillage – Metalisation	2	58
Bouteille à gaz fini	1	39

TAB (3): tableau représentant le lot mini de fabrication et la durée de lancement

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

Application : Mise en place et modélisation du système KANBAN

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 que :

- 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 sur le tableau (2).

Si on prend le cas de marquage collerette, on a :

❖ Recyclage d'un kanban :	0 0	min
❖ Usinage de conteneur:	2 1	min
❖ Livraison de conteneur au poste aval :	0 0	min
→ Rotation complète d'un kanban	2 1	min

Il s'agit de **21 min** pendant les quelles le marquage de collerette produit. Cela représente : $672 (21/60) = 235.2$ unités d'ou : $235.2/234 \cong 1$.

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

Le poste amont (marquage collerette) disposera donc d'un délai d'écoulement d'un conteneur au poste aval (assemblage « A ») soit :

$$21 \text{ min} \times 1 \text{ cont} = 21 \text{ min}$$

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

$$21 \text{ min} - 21 \text{ min} = 0 \text{ min}$$

D'une manière analogue, on détermine les en-cours mini de chaque poste (tableau 4) :

POSTE	TAMPON DE REGULATION (conteneur)	CAPACITE DE TAMPON DE REGULATION (Si)
Découpage flancs	11	2574
Emb INF	5	1170
Emb SUP	5	1170
Dégraissage	5	1170
Marquage collerette	8	1872
Fabrication pied	3	702
Assemblage « A »	5	1170
Assemblage « B »	5	1170
Assemblage « A+B »	4	936
Assemblage « C »	4	936
Traitement thermique	4	936
Banc d'épreuve	6	1404
Greneillage – Metalisation	6	1404
Bouteille à gaz fini	4	936

*TAB (5): tableau représentant le tampon de régulation***Etape 3 : Mise en oeuvre****(1)°/ Définir le planning d'ordonnancement :**

Les ordres de fabrication (kanbans) sont placés dans un tableau d'ordonnancement de la production. Il s'agit d'un tableau mural, qui sera placé au poste amont et sur le quel 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. C'est la zone « **blanche** » qui correspond à un état de l'atelier pour le quel il n'est

Application : Mise en place et modélisation du système KANBAN

pas indispensable de lancer la production de la pièce, mais pour le quel 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 du marquage collerette, les résultats de l'étape 2 nous donnent :

➤ Lot mini de fabrication :	2 kanbans
➤ En-cours mini :	1 kanban
➤ Tampon de régulation :	8 kanbans
Total :	11 kanbans

Le planning comportera donc : **11** 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 <10> concernant le tampon de régulation. Ensuite vient l'emplacement <11> de l'en-cours mini. L'index rouge sépare le tampon de régulation de l'en-cours mini.

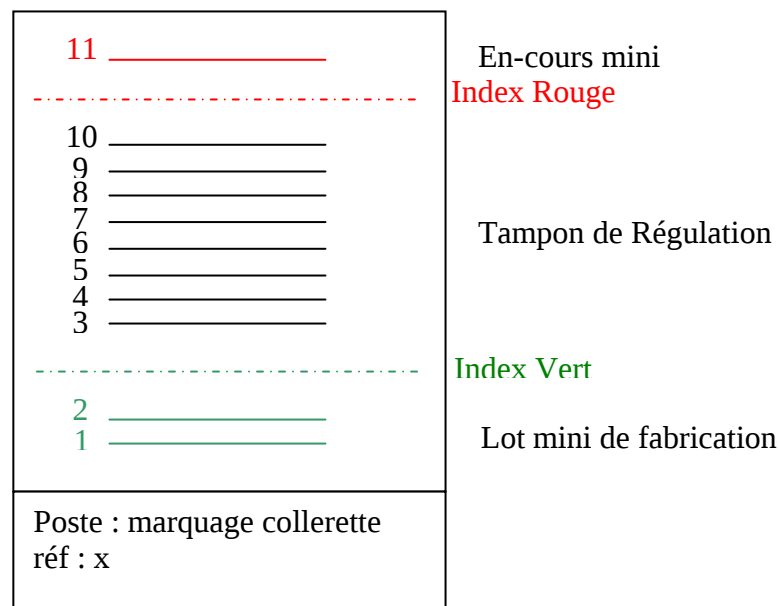


Fig (2) : Planning d'ordonnancement pour le poste marquage collerette

Les (11) kanbans représentent l'en-cours maximum entre les deux postes (Amont-Aval). Il sera ici de :

$$234 \times 11 = 2574 \text{ pièces}$$

Application : Mise en place et modélisation du système KANBAN

Il ne pourra jamais être supérieur à cette valeur. Donc l'en-cours moyen sera de : 1287 pièces et l'anti-Aléas moyen de : 1287 pièces également.

De même on définit tous les planning d'ordonnancement concernant toutes les postes dans le tableau (6) :

POSTE	INDEX VERT	INDEX ROUGE	INDEX BLANCHE	TOTAL (Li)	EN-COURS MAX (Pièce)
Découpage flancs	3	2	11	16	3744
Emb INF	1	2	5	8	1872
Emb SUP	1	2	5	8	1872
Dégraissage	1	2	5	8	1872
Marquage collerette	2	1	8	11	2574
Fabrication pied	1	1	3	5	1170
Assemblage « A »	1	2	5	8	1872
Assemblage « B »	1	2	5	8	1872
Assemblage « A+B »	1	2	4	7	1638
Assemblage « C »	1	2	4	7	1638
Traitement thermique	1	1	4	6	1404
Banc d'épreuve	2	2	6	10	2340
Greneillage Metalisation	2	2	6	10	2340
Bouteille à gaz fini	1	2	4	7	1638

***TAB (6) : Tableau représentant les plannings d'ordonnancement
et l'en-cours max.***

(2)°/ 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 (en-cours) 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 marquage collerette, 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 :

(1)°/ Modèle RdP du système KANBAN pour une maille :

Dans un système KANBAN, la gamme de fabrication (BAG) est décomposée en mailles comme on a vu sur la figure (1). A chaque maille est associée un nombre donné de kanbans noté « **K_i** ».

Un conteneur KANBAN arrivant à une maille est attaché à un kanban contenant la référence des produits en question et le nombre de produits figurant dans le conteneur déterminé. Ce kanban accompagne la fabrication de ce conteneur jusqu'à son départ de la maille. Le nombre totale de pièces dans la maille « **i** » est donc limité par le nombre « **K_i** », ce qui met en évidence le fait que le système KANBAN permet de contrôler le niveau d'en-cours à chaque maille.

Dans un système de production, une pièce subit des opérations de fabrication, mais également des opérations de transport, pour passer d'un processus de fabrication au suivant. Pour notre cas, le temps de transport entre deux processus de fabrication est nul ; c'est à dire qu'une pièce dans le stock de sortie d'une maille est immédiatement disponible pour le processus de production de la maille suivante.

Nous allons tout d'abord élaborer le modèle RdP relatif à un système KANBAN de base, constituée d'une seule maille, et cela pour faciliter la compréhension du modèle RdP du système KANBAN globale dans l'entreprise « BAG ». La figure (3) représente le modèle RdP d'une maille quelconque et ses relations avec les mailles avoisinantes.

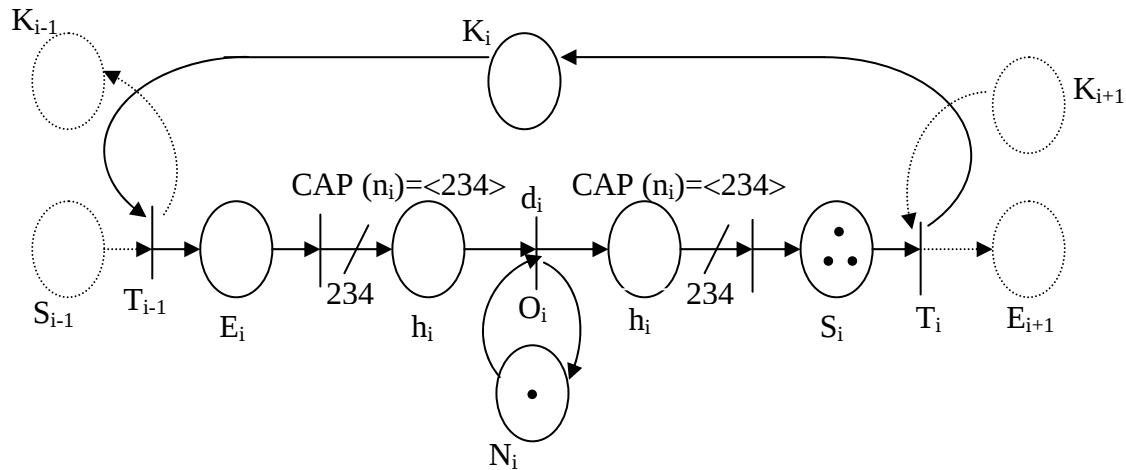


Fig (3): RdP modélisant une maille « i » et ses relations avec les mailles avoisinantes

Dans cet RdP [Di Mascolo], les places **Ki**, **Ei** et **Si** correspondent aux trois états possibles d'un kanban dans la maille « i » :

- La place « **Ki** » contient des jetons qui représentent les kanbans libres qui attendent un conteneur fini de la maille (**i-1**).
- La place « **Ei** » contient des jetons qui représentent les kanban attachés à un conteneur non finie se trouvant dans le processus de fabrication de la maille (**i**).
- La place « **Si** » contient des jetons qui représentent les kanbans attachés à un conteneur finie qui se trouve dans le stock de sortie de la maille (**i**).
- La transition « **Oi** » représentent l'opération de la maille (**i**) on associé à cette transition une temporisation qui représente le durée de l'opération « **di** ».
- Le nombre de jetons de la place « **Ni** » est égale au nombre de machines identiques pouvant travailler en parallèle pour effectuer l'opération de la maille (**i**).
- La transition « **Ti** » représente la synchronisation entre les mailles (**i**) et (**i+1**) ; c'est une transition immédiate qui est franchie dès qu'il y a un jeton dans la place (**Ki+1**) et un jeton dans la place « **Si** ».

(2)°/ RdP du système de production « BAG » géré en KANBAN :

On modélise les mailles du système de production (figure 1) « BAG » géré en KANBAN. Dans la maille final de la figure (4), un conteneur finie ne peut quitter le système et libérer le kanban qui lui est attaché que si une demande se présente, si non, le conteneur finie reste dans la maille et le kanban ne peut être libéré.

Dans une maille intermédiaire, le fonctionnement est similaire. Un conteneur dans cette maille ne peut la quitter et libérer le kanban correspondant que si un kanban correspondant à

l'ensemble du produit (bouteille à gaz) est disponible dans la station aval, si non, le conteneur est bloqué ainsi que le kanban. En effet, les conteneurs situés dans les mailles amont ne peuvent pas entrer dans la maille considérée si aucun kanban n'est disponible.

Donc dans le système KANBAN comme on l'a déjà dit, la production est déclenchée par la demande. On a :

D : Demande journalière en attente

di : (durée de l'opération tirée à partir du modèle représentatif de l'existant)

Donc : [$d_1 = (d_1) / d_2 = d_3 = d_4 = (d) / d_5 = (d_3) / d_6 = (d_2 + d_{12} + d_{13} + d_{14}) / d_7 = d_8 = (d_5) /$
 $d_9 = (d_6) / d_{10} = (d_7) / d_{11} = (d_8) / d_{12} = (d_9) / d_{13} = (d_{10}) / d_{14} = (d_{11} + d_{15} + d_{16})$].

Cet RdP représente le cas de la demande qui ne peut pas être immédiatement satisfaite et est mise en attente. Elle sera satisfaite lorsque on franchira la transition « **T₁₂** » par le dernier jeton dans la place « **D** », le nombre de jeton est égal aux demandes journalières et la transition « **T_D** » est une transition source qui représente le processus d'arrivée des demandes consécutives, elle ne peut être franchie que par un jeton à la fois.

On suppose dans ce modèle qu'il y a un approvisionnement continu en pièces brutes à l'entrée du système. Ainsi, la transition **T₀₀** peut être franchie dès qu'il y a un jeton dans la place « **K₁** » et un jeton dans la place « **K₀₁** ».

(3)°/Evolution du RdP et ces propriétés :

Le RdP de la figure (4), représente le système de production composé de **14 mailles** à l'arrivée d'une demande journalière, le nombre des kanbans est identifié par le nombre de jetons des places « **K_i** ».

Lorsque la production est lancée, une fois le lot minimum de fabrication atteint, la transition « **T₁₂** » est immédiatement franchie. Le marquage des places **S₁₄** et **D** diminue d'une marque et celui de la place « **K₁₄** » augmente d'une marque. La transition « **T₁₁** » est ainsi validée et aussitôt franchie. Son franchissement provoque le retrait d'une marque des places « **S₁₃** » et « **K₁₄** » et le dépôt d'une marque dans la place « **E₁₄** » et « **K₁₃** » et ainsi de suite jusqu'à la transition « **T₀₀** ». On arrive à un état où toutes les machines sont occupées.

Cet RdP représente bien les principes fondamentaux d'un système KANBAN. D'une part, le système de production est piloté par les demandes, les kanbans créent un lien entre les différentes mailles, d'autre part, le niveau d'en-cours à chaque maille est limité par le nombre de kanbans.

Cet RdP permet également de visualiser ce qui se passe en cas de panne [voir la détermination de la disponibilité du système de production (Partie I)] et possède en outre les propriétés suivantes :

- On peut rechercher **les composants conservatives** de ce réseau (ANNEXE A). Si on note : $M(P)$ le nombre de jetons dans la place « **P** », on peut voir que l'on a pour chaque maille (i) :

$$M(E_i) + M(S_i) + M(K_i) = Li$$

Tel que : **Li** est le nombre de kanban dans la maille (i).

Cet invariant permet de valider le modèle. En effet, on voit bien que le nombre de pièces dans la maille (i), en cours de fabrication ou finies, est limité à « **Li** ».

- Ce RdP est **Réinitialisable** (ANNEXE A) parce que on peut revenir au marquage initial à partir de n'importe qu'elle état.
- Ce RdP est **Vivant** (ANNEXE A) car le marquage de place « **D** » n'est pas une entrave au franchissement des transitions $[T_{00}, T_{01}, T_{02} \dots T_{12}]$, respectivement. Ces places peuvent toujours recevoir des marques par franchissement de « **T₀** ».

3. Comparaison entre le modèle existant et le modèle KANBAN :

3.1°/ Calcule 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 le quel 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. Le **ECP** est donc égale à « **1** ». Ainsi plus le **ECP** se rapproche de

Application : Mise en place et modélisation du système KANBAN

« 1 », moins il y a de temps perdu et plus l'entreprise améliore sa réactivité aux demandes des clients. Pour le cas de « BAG » on a :

- Le temps de transfert est calculé à partir du volume produit (ANNEXE F) dans la période de la demande (8 mois). Par exemple pour le marquage collerrette :

672 pièce —————→ **1 h**
 1397 pièces (volume journalière) —————→ **X**

Donc : X= 2.08 h

Le tableau (7) représente le temps de transfert des différents postes du système.

- Le temps de production se calculé à partir du volume souhaité atteindre à partir de système KANBAN dans les délais voulu de la demande. Par exemple dans le cas de marquage collerrette :

672 pièces —————→ **1 h**
 2335 pièces —————→ **y**

Donc : y = 3.47 h

Le temps de production des autres postes du système est donné par le tableau (7).

POSTE	Temps de transfert (h)	Temps de production (h)
Découpage flancs	1.48	2.48
Emb INF	3.10	5.19
Emb SUP	3.10	5.19
Dégraissage	3.10	5.19
Marquage collerrette	2.08	3.47
Fabrication pied	5.94	9.94
Assemblage « A »	3.71	6.21
Assemblage « B »	3.59	6
Assemblage « A+B »	3.75	6.28
Assemblage « C »	3.75	6.28
Traitement thermique	3.88	6.49
Banc d 'épreuve	2.94	4.91
Greneillage – Metalisation	2.86	4.78
Bouteille à gaz fini	3.78	6.32
TOTAL	47.06	78.73
ECP (%)	59.77	

TAB (7) : tableau représente l'efficacité de cycle de production (ECP)

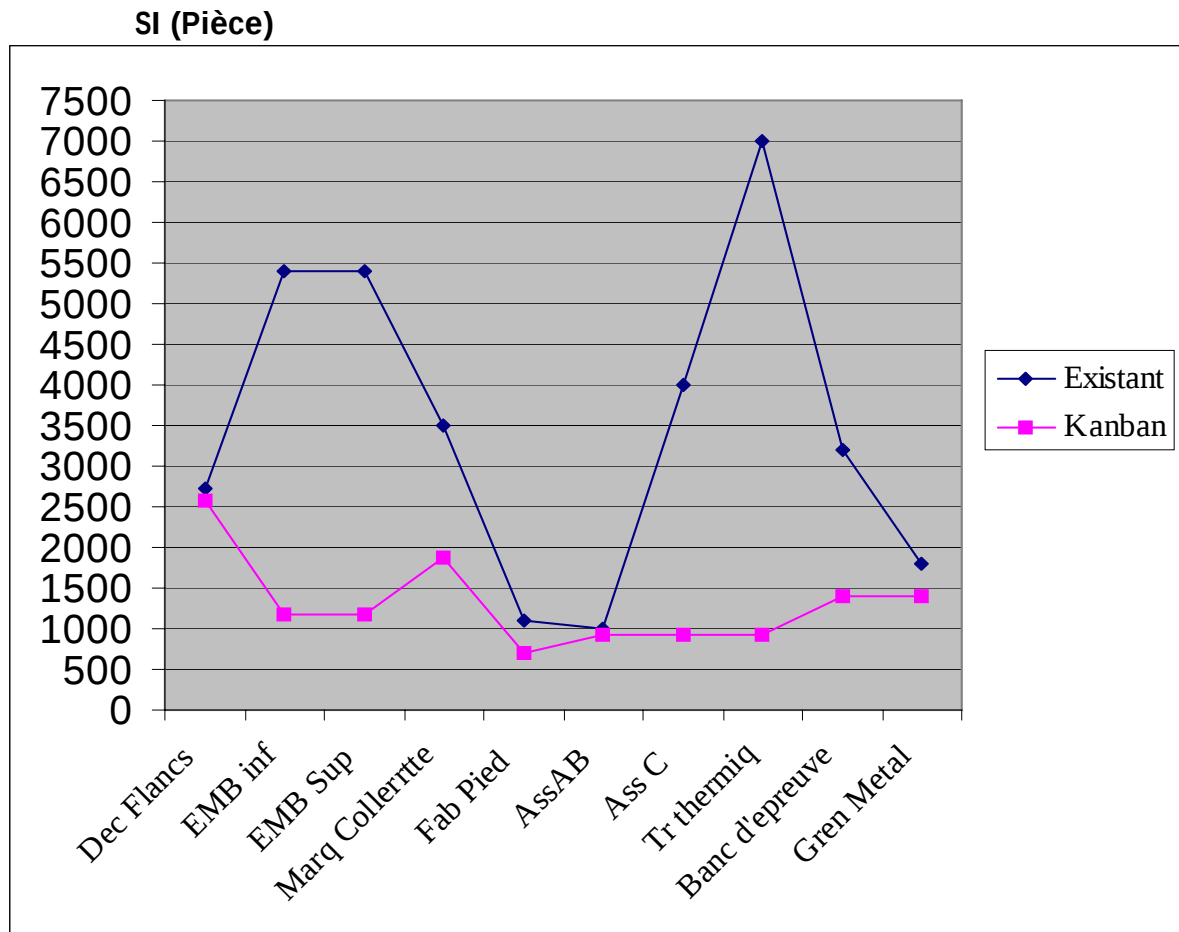


Fig (5) : Capacité de stockage dans les différentes postes

La première remarque que l'on peut faire est que la capacité de stockage d'une manière générale est plus faible dans le système géré par KANBAN que celle de système réel. Cependant elle est très proche au niveau des postes : découpage flancs, fabrication de pied, assemblage (A+B) et le postes grenaillage- métallisation. Mais significatif pour les postes traitement thermique et l'emboutissage inférieur et supérieur.

B°/ L'allure de variation du coût de production engagé par chaque poste est donné par l'histogramme de la figure (6). L'axe des ordonnées est dimensionné en fonction de coût de surplus cumulé. Cet histogramme permet de comparer le coût engendré par chaque poste pour les deux paramètres cité dans le tableau (8) [capacité de surplus de stockage et son coût], et ainsi de repérer celui qui représente la valeur de perte la plus significative.

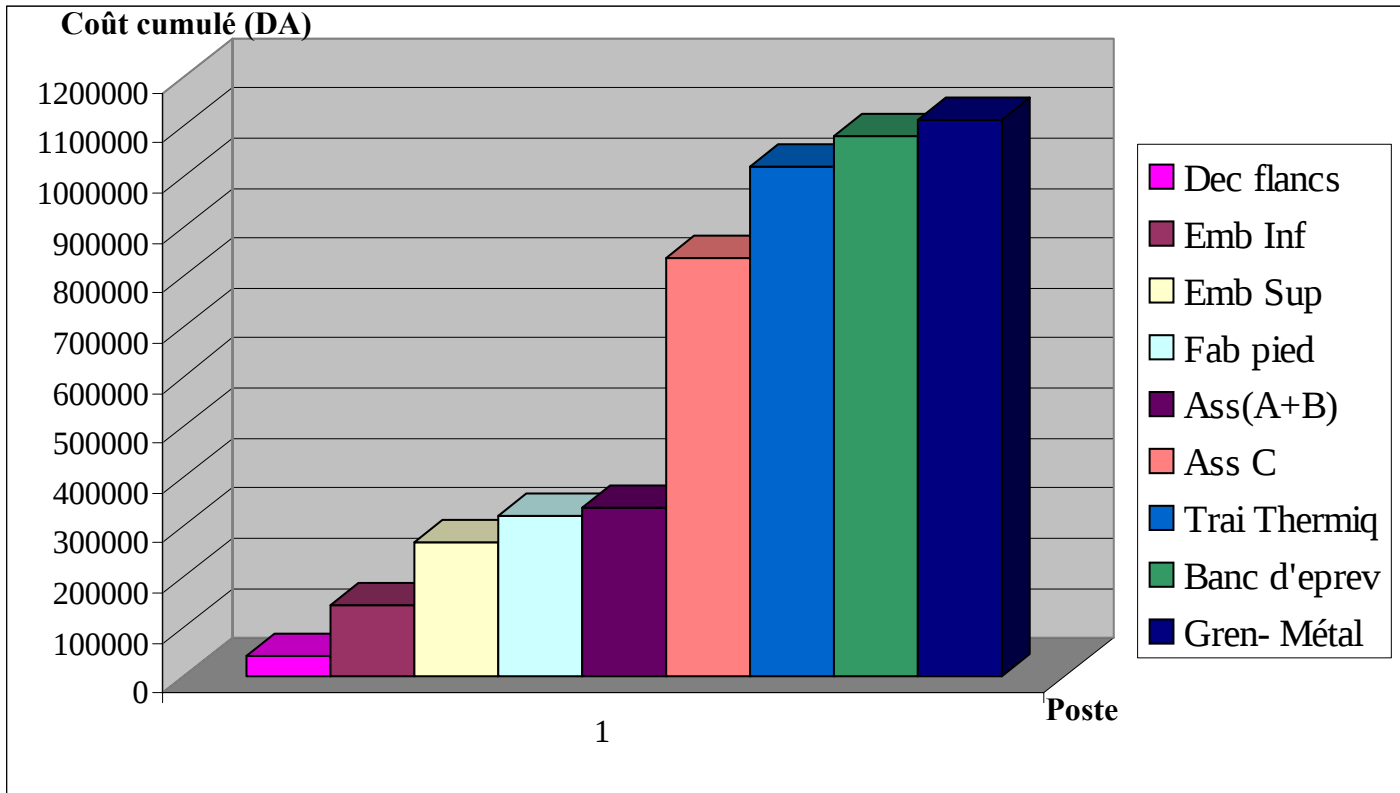


Fig (6): Histogramme présentant le coût du surplus cumulé

Remarque .

Quelle que soit la stratégie de l'entreprise, le coût de stockage des produits semi finis (ce qui n'a pas une valeur ajoutée encore) à toujours de l'importance.

Cet histogramme est la phase essentielle de la détermination des coûts engendrés par l'augmentation des stocks intermédiaires, ainsi que leurs répartitions par poste. L'histogramme présente une aide importante pour la détection de situations anormales. En effet il peut indiquer les postes critiques de cette situation.

Dans notre cas ; le poste : Assemblage (C) représente **44.88 %** des charges totale, ceci ne représente que la moitié du surplus de stock du traitement thermique. Cependant la cause de son augmentation est le coût de production élevée dans ce poste (**163 DA/unité**).

Ainsi, le poste traitement thermique qui représente un cas différent, c'est à dire malgré le coût de production faible dans ce poste (**30 DA/Unité**) ; représente **16.35 %** des charges totales, cela est du au surplus de stock qui est énorme.

Et d'autre part, si on prend le poste assemblage (A+B) comme exemple on remarque qu'il représente la moindre charge sur le surplus de stockage **1.5%**, malgré qu'il présente l'un des

Pour le poste découpage flancs dans la fin de période et après satisfaction du client (400 000 bouteilles), on remarque qu'il reste dans le stock intermédiaire

Contrairement le système KANBAN exige seulement la présence de trois conteneurs à l'attente de lancement et qui induise une valeur de : **201 474 DA**. Ce qui permet de récupérer un fonds de roulement de : **920 696 DA**.

Ainsi ce n'est pas seulement la capacité de surplus de stockage intermédiaire qui augmente le coût engendré par poste, mais le coût d'unité de production à un rôle très important. C'est la cause pour la qu'elle le système KANBAN essaye de réduire les stocks énorme dans les postes les plus coûteux.

3.3°/ Comparaison entre la quantité produite réellement et la quantité KANBAN :

A°/ Dans le modèle KANBAN on arrive en principe à satisfaire le client par les quantités demandés est dans les délais voulus ; si les conditions de « JAT » sont suivis. Le tableau (9) confirme cela. La demande est de 400 000 bouteilles pour un délai de : 8 mois livré pour le client (NAFTAL) ; divisée comme suite : **373 492 bouteilles réalisé par « BAG » et **29 508** bouteilles réalisé par l'unité de ELKOUBA.**

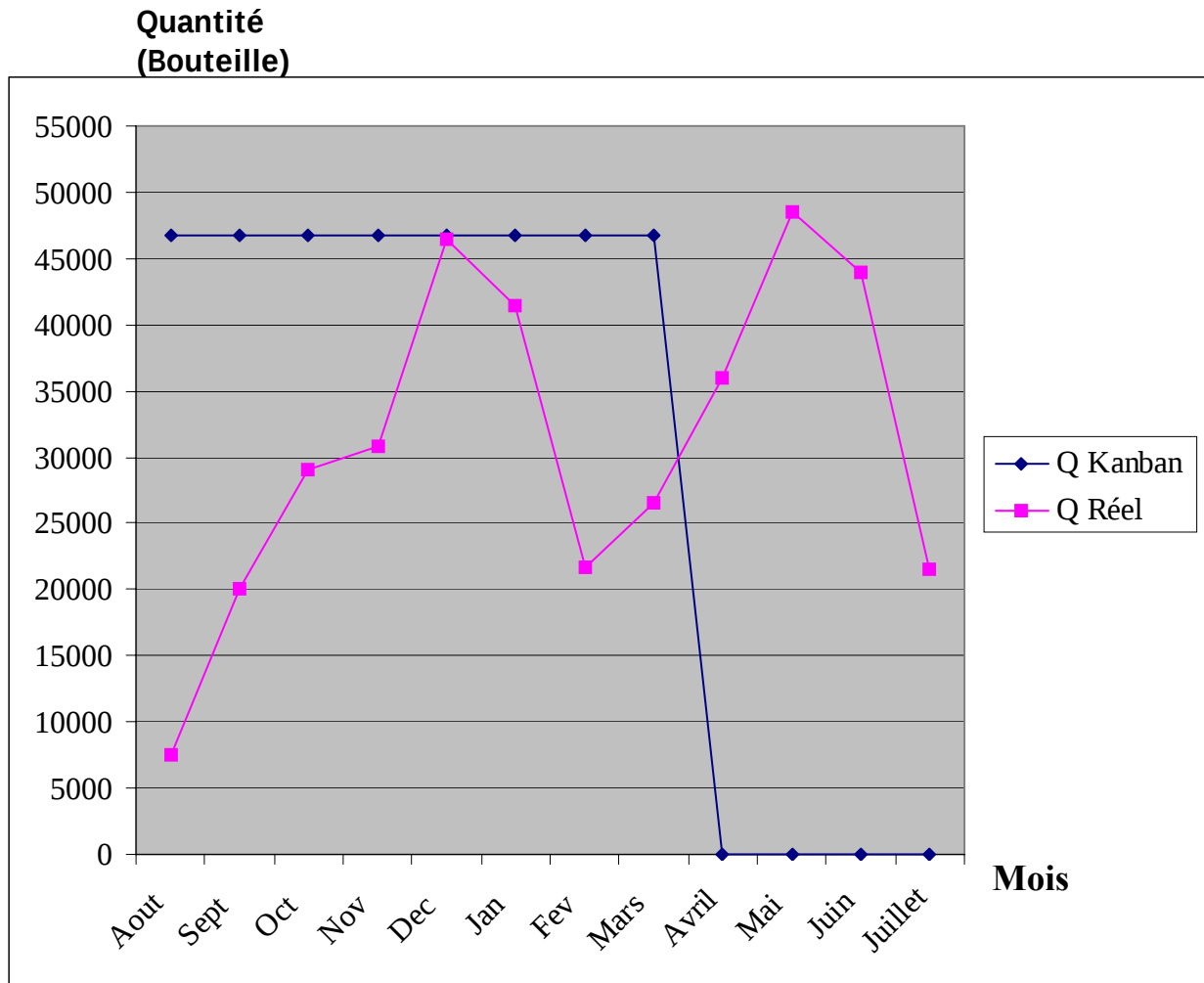


Fig (7) : Quantité produite dans les deux Approches

On observe sur cette courbe que l'entreprise « BAG » arrive à satisfaire la demande après : 12 mois sont un retard de plus de **3 mois** du délai voulu. Alors que la production par le fonctionnement KANBAN permet de satisfaire le client dans les délais prévu avec une marge de **108** bouteilles qui nous donnent une souplesse considérable dans le terme de qualité de produit. (Rejet pour non qualité)

B°/ Il est également possible de représenter à partir du tableau, les quantités manquantes au terme des 8 mois de contrat de livraison (figure 8). Autrement dit, les quantités produite hors délai de contrat (de "Avril" à "Juillet") pour compléter la quantité demandé et ainsi satisfaire le client.

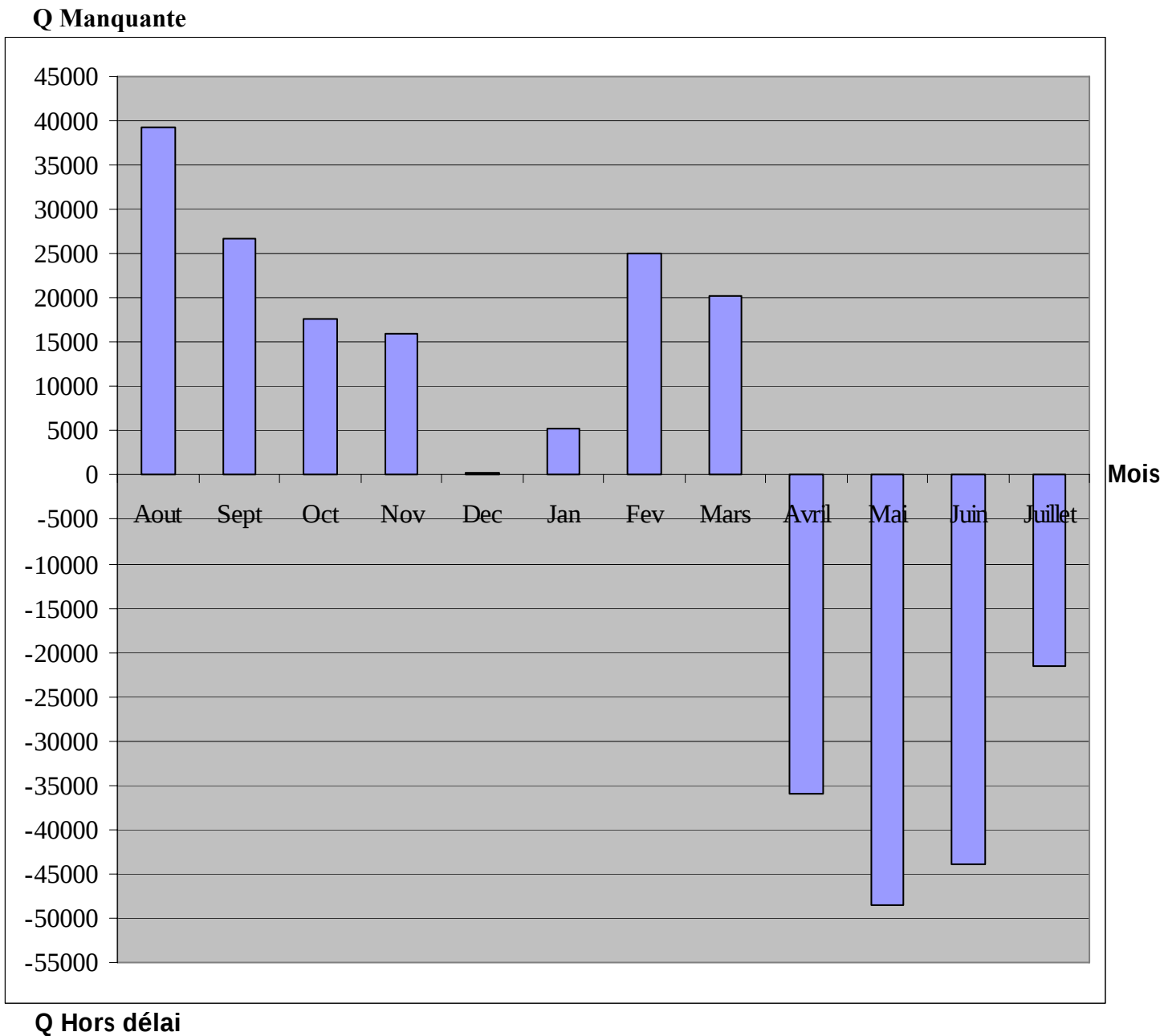


Fig (8) : Diagramme représente la différence entre Quantités

Dans ce diagramme, on remarque que le système de production se rapproche de son objectif aux mois de Décembre et Janvier. Mais qu'ils sont éloigné au mois d'Août suite aux travaux de prévention de matériel qui prennent un temps considérable.

Donc au contraire du résultat tiré à partir de système KANBAN, le système existant récupère ses pertes dans les **4 mois** après le délai de contrat.

On remarque dans ce cas que le système pousse pour satisfaire son client, cependant il lui arrive même de dépasser l'objectif voulu mois de « **MAI** » où se rapprocher mois de « **juin** ».

Ce qui nous a poussée de tirer comme conclusion que le système peut aller vers la réalisation de ses objectifs.

C°/Nous étudie ici le système de production « BAG » ou il n'y a pas de coût de non satisfaction des demandes si le temps pour satisfaire la demande est dépassé.

Les demandes sont servies dans les délais autorisés, si le système de production atteint ses objectifs. Dans le cas contraire, la demande est mise en retard jusqu'à ce que la production se termine.

Le réseau de pétri [Bollon, 2003] de la figure (9) modélise une demande. On considère que l'arrivée d'une demande suit un processus poissonien de taux « ∞ ». Cette demande passe à l'état de demande en retard, après un délai d'un taux « ∞ délai » (figure 8).

Le taux « β » représente le taux de production. La transition « T_1 » représente la satisfaction du client au délai, tandis que la transition « T_2 » représente la satisfaction du client hors délai.

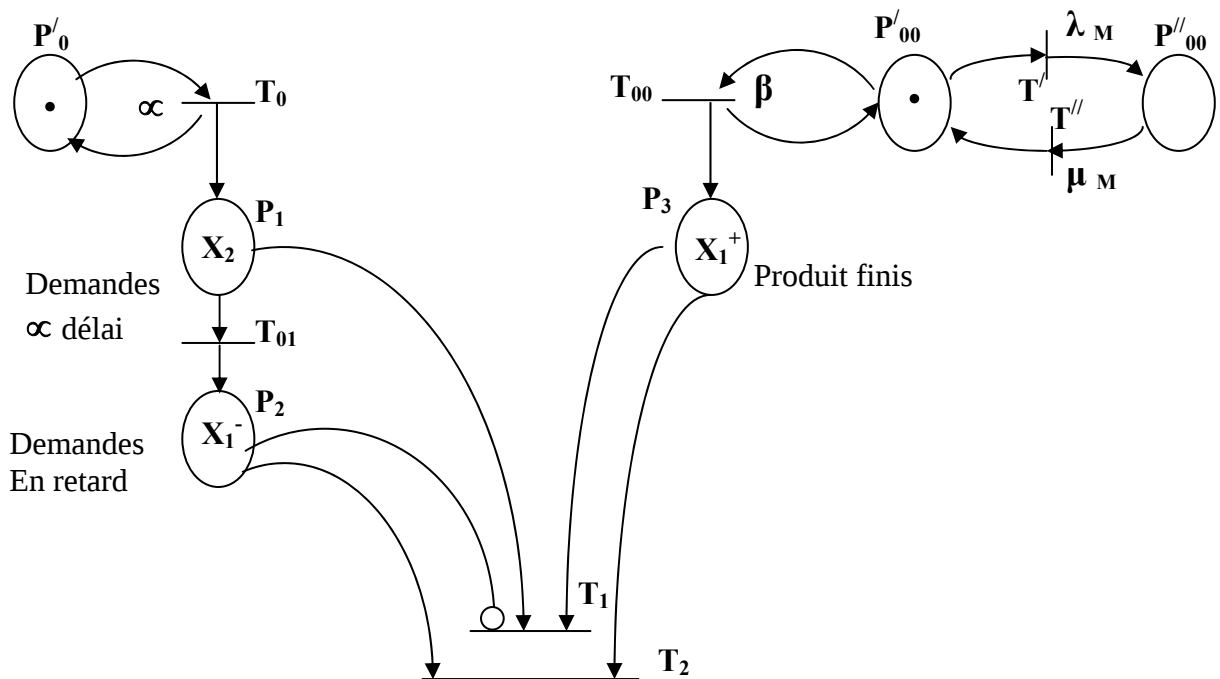


Fig (9): Rdp modélisant le système de gestion de production « BAG » autoriser un délai de satisfaction de client

Avec : X_2 : demandes.

X_1^+ : produit finis.

X_1^- : demande en retard (les demandes qui n'ont pas été servies dans le délai autorisé).

Un arc inhibiteur (ANNEXE A) donne la priorité à la satisfaction des demandes en retard. Lorsque il n'y a pas de demande en retard chaque demande est servie dans le délai déterminé au début du programme de production. Ainsi, il n'est pas possible d'avoir à la fois des produits finis et des demandes non servies, donc X_2 est toujours nul lorsque X_1 est positif.

Dans le cas de gestion de production par KANBAN, on arrive toujours à satisfaire le client dans les délais, c'est à dire que nous n'arrivons jamais au franchissement de la transition « T_2 » parce que X_1^- est toujours nul quelque soit X_2 (X_1 est toujours positif : $X_1 \geq X_2$). Dans notre cas le production mensuelle par KANBAN ($X_1 = 46700$ bouteilles / mois) est supérieur à la demande mensuelle du client (NAFTAL) qui est de 373 492 /8 , alors $X_2 = 46\ 687$ bouteilles / mois).

D°/ Dans notre analyse de délai de satisfaction du client, on peut dire que dans la production KANBAN c'est la synchronisation qui nous permet de maîtriser les délais au contraire de l'approche de gestion de production globale qui semble ne tenir compte que du lot total de fabrication.

Le délai de fabrication de la demande est considéré comme le temps où l'on apporte une valeur ajoutée au produit pendant son parcours dans le système de production (tableau 10).

Satisfaction de demande	Quantité produite	%
Satisfaction dans le délai	223 508	59.84
Satisfaction hors délai	149 984	40.16
TOTAL	373 492	100

TAB (10): tableau représente la satisfaction de demande

La figure (10) donne le pourcentage de la satisfaction du client en fonction de la quantité produite.

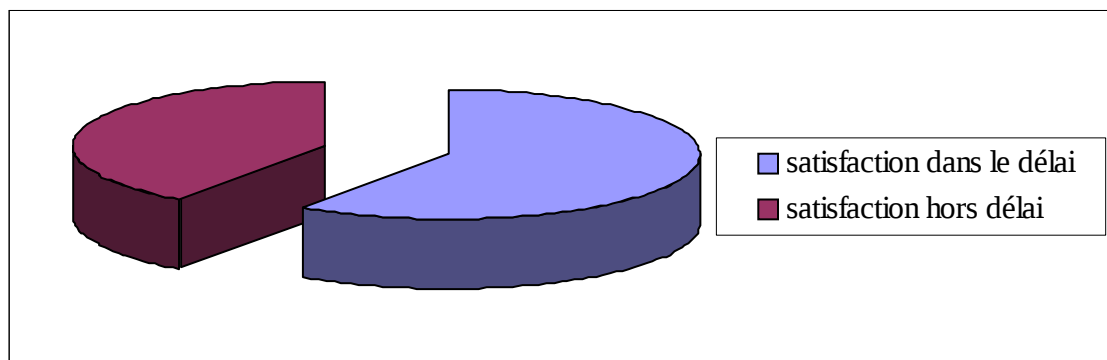


Fig (10): figure représente le pourcentage de la satisfaction de client

La marge bénéficiaire pour une bouteille est de : **215 DA**. La dépense de production est de : **1645 DA** [ANNEXE G]. Où d'après le tableau (10), la satisfaction hors délais représente : **40.16 %** de quantité demandé. Ainsi, le dépense est :

$$149\,984 \times 1645 \text{ soit } \mathbf{246\,723\,680\,DA}$$

Ce qui aurait permis à l'entreprise de réaliser un bénéfice de :

$$149\,984 \times 215 \text{ soit } \mathbf{32\,246\,560\,DA}$$

Par la même de dépasser le coût de retard (coût de non satisfaction de demande, pénalités contractuelles, dommages).

L'utilisation du modèle KANBAN (figure 9) nous a permis de distribuer les charges de production sur tous le système et réaliser une meilleur synchronisation entre les différents postes pour éliminer tous besoins dans n'importe quelle ressource (matière première, produit semi finie, panne des machines).

On constate alors que le problème majeur rencontré en gestion de production est donc bien le non-respect des délais. Ainsi, l'analyse de l'entreprise cible conduit à faire la constatation suivante. Lorsque le client n'est pas livré à temps, tous les ordres de fabrication deviennent urgents et prioritaires, les stocks se gonflent et l'allongement des cycles financiers augmente le besoin en fonds de roulement, d'où les difficultés. La figure (11) illustre clairement le problème cité. Il en résulte que la relation entre les commerciaux et la production devient tendue.

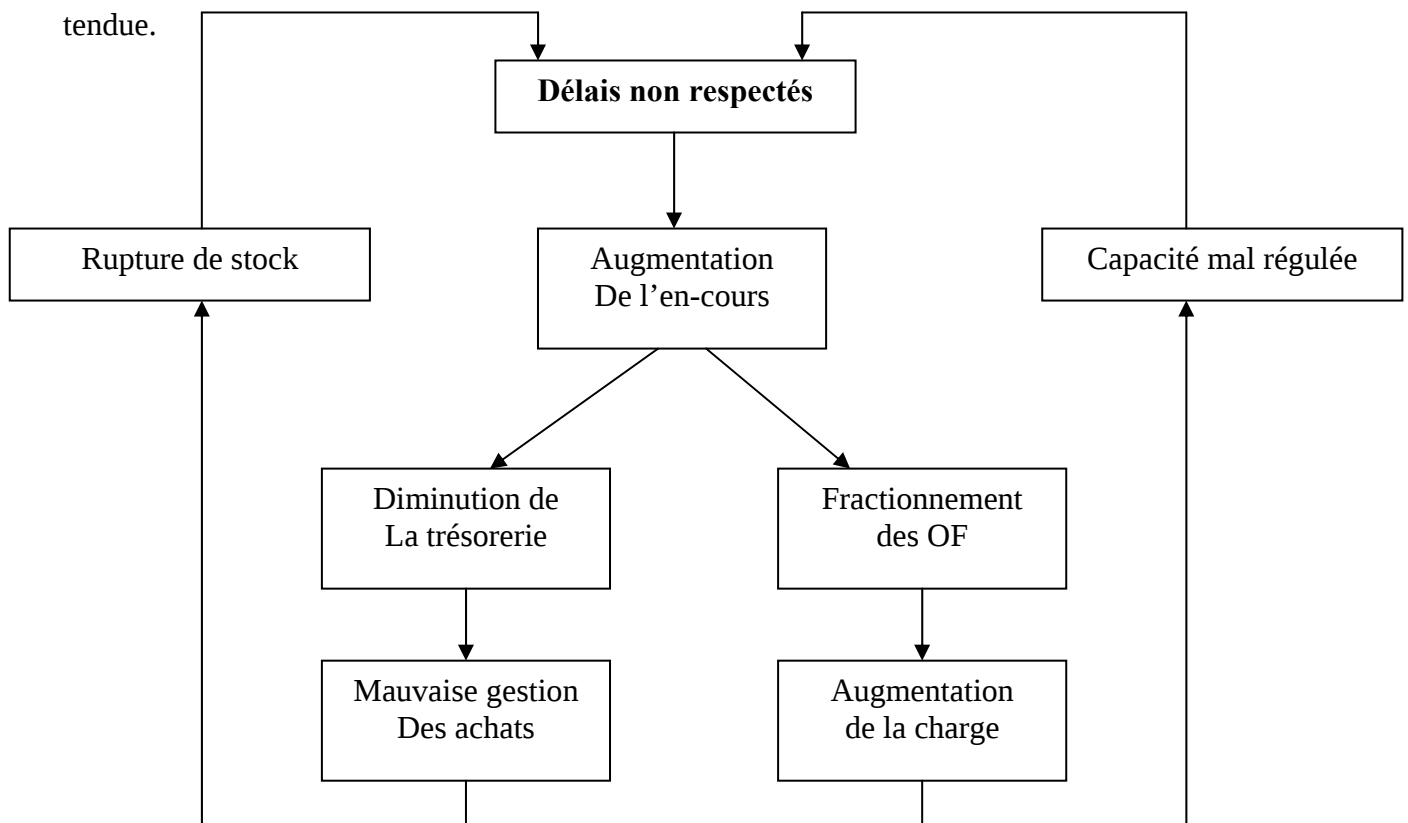


Fig (11): L'influence d'un non respect du délai sur le système de production

Remerciements

Je remercie DIEU tout puissant pour la santé, la volonté, le courage et la patience qu'il m'a donné durant ces années d'études.

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au laboratoire d'automatique et productique (LAP) au sein de l'équipe gestion industrielle et logistique (GIL).

Au terme de ce travail j'exprime ma profonde gratitude à *Dr. N. K. Mouss* pour avoir accepté de suivre la réalisation de ce travail, pour ses conseils et remarques qui ont été d'un grand apport.

Je remercie vivement les membres du jury qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail de thèse :

Prof. Hassane Chaabane,	Professeur à l'université de Batna.
Dr. Mebarek Djebabra	Maître de conférence à l'université de Batna.
Dr. N.K.mouss	Maître de conférence à l'université de Batna.
Dr. L.H. Mouss	Maître de conférence à l'université de Batna.
Dr. M.L. Benaissa	PDG de L'AGRO Centre, Blida.
Monsieur B. Soudani	Cadre délégué dans BAG.

Mes remerciements vont à tous les membres du département Génie Industriel.

Dr. Smadi Hassan
Mr. M.D. Mouss
M^{elle}. Benbrahim Meriem

Mes remerciements vont également à tous les membres de l'entreprise BAG.

Mes remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
 CHAPITRE 1 : notions sur les processus de production	
Introduction	3
1. Définition de la production	3
1-1. La production est un processus	4
1-2. Les objectifs de la production	4
2. Organisation du processus de production	5
2-1. Production en section homogène	5
2-2. Production par lot	6
2-3. Production de Masse	6
3. Définition du pilotage	6
4. Le système de pilotage	8
5. Le pilotage est un système de maîtrise des opérations de production	8
6. La recherche d'un nouveau Modèle	9
6-1. Pourquoi faut il un changement ?	9
6-2. Les nouveaux indicateurs de performance	10
6-3. Les Modèles « JAT » et « MRP »	10
6-3-1. Le Modèles du Juste à Temps « JAT »	10
6-3-2. Le Modèle « MRP »	11
6-3-3. La combinaison du modèle « JAT » et « MRP »	12
Conclusion	13
 CHAPITRE 2 : Le Juste –à- Temps (JAT)	
Introduction	14
1. L'approche Juste – à- temps	14
2. Les objectifs de la production JAT	15
2-1. Zéro défaut	15
2-2. Zéro stock	16
2-3. Zéro temps de changement	17
2-4. Zéro délai	17
2-5. Zéro panne	18
3. Eléments clés de l'approche JAT	18
3-1. Adapter la conception du produit aux attentes du marché	19
3-2. Familles de produits et production fondée sur les flux	19
3-3. Les relations avec les fournisseurs dans un environnement JAT.....	20
4. Conception et planification des systèmes de production JAT	20
4-1. Une conception qui facilite la fabrication	21
4-2. Techniques de planification de la production	22
4-3. Techniques de planification du processus de fabrication	22
4-4. L'utilisation des Ressources de production	23
4-5. Les aspects contrôle qualité en JAT	24
Conclusion	24
 CHAPITRE 3 : Le système KANBAN	
Introduction	25

1. Définition du KANBAN	25
2. Les origines du système KANBAN	26
3. Les objectifs	27
4. KANBAN : un système de gestion de production « Tiré »	28
5. La fabrication répétitive	29
6. Pilotage d'un Atelier par KANBNA	30
7. Les cartes kanbans	31
7-1. Règles d'utilisation de la carte kanban	33
7-2. Le mode de circulation du kanban	34
7-3. Le Nombre de kanban	35
8. Méthodologie	37
9. Les conditions nécessaires au bon fonctionnement du KANBAN	37
Conclusion	39

CHAPITRE 4 : les RdP un outil de modélisation

Introduction	40
1. Notions de base sur les RdP	40
2. Règle d'évaluations d'un RdP	42
3. Description des RdP par l'algèbre linéaire	42
3-1. Matrices d'incidence	42
3-2. Equation fondamentale	42
4. Ensembles des extensions des RdP	43
4-1. Les RdP Temporisés	43
4-1-1. Définition d'un RdP T-temporisé	43
4-1-2. Principe du fonctionnement	43
4-2. Les RdP stochastiques (RdPS)	44
4-2-1 Définition et Notions	45
4-2-2. Durée de sensibilisation stochastique	46
4-2-3. Analyse d'un RdP stochastique	46
4-3. Les RdP continus	48
4-3-1. Définition et Notions	48
4-3-2. Le modèle de base (RdPCC)	48
4-3-3. Principe de fonctionnement	49
4-4. Les RdP Hybrides	51
4-4-1. Définition et Notions	51
4-4-2. Principe de fonctionnement et Graphe d'évolution	52
4-5. Les RdP coloré (RdPC)	54
4-5-1. Définition des RdPC	54
4-5-2. Notion de fonction	54
Conclusion	55

APPLICATION

Introduction	56
--------------------	----

PARTIE I : Modélisation et détermination de la disponibilité du système de production « BAG »

1. Présentation de l'entreprise	57
2. Description de système	58
3. Modélisation de système de production	63
3-1. Modèle représentatif de la partie mécanique globale	63
3-2. Modèle représentatif de la partie soudage	67

3-3. Modèle représentatif de la partie finition	70
4. Influence des états des machines sur le système	73
4-1. Calcul des taux de panne (λ_i)	73
4-2. Calcul des taux de récupération (μ_i)	74
4-3. Détermination des modèles avec l'introduction des taux de panne et de récupération	75
5. Détermination des taux de disponibilité	80

PARTIE II : Mise en place et Modélisation du système KANBAN

1. Décomposition du système de production en mailles	83
2. Mise en place du système KANBAN	85
ETAPE 1 : Collecter les données relatives au flux à organiser	85
ETAPE 2 : Définir les paramètres de fonctionnement	86
ETAPE 3 : Mise en œuvre	90
ETAPE 4 : Affiner le planning	93
(1) Modèle RdP du système KANBAN pour une maille	93
(2) RdP du système de production BAG gérée en KANBAN	94
(3) Evolution du RdP et ces Propriétés	95
3. Comparaison entre modèle existant et modèle KANBAN	96
3-1. Calcul de l'efficacité de cycle de production (ECP)	96
3-2. Comparaison entre les stocks intermédiaires	98
3-3. Comparaison entre la quantité produite Réellement et la quantité KANBAN	102
Conclusion	109

CONCLUSION GENERALE	111
----------------------------------	-----

ANNEXES	114
----------------------	-----

BIBLIOGRAPHIE	133
----------------------------	-----