

---

# Leçon 5

## Ordonnancement : OPT

---

**L'objectif principal de la leçon est de connaître et de comprendre la méthode de gestion et d'ordonnancement d'un atelier par les contraintes.**

A l'issue de la leçon l'étudiant doit être capable :

- *de définir une machine goulot,*
- *d'identifier et d'appliquer les principales règles de la méthode de gestion par les contraintes,*
- *de comprendre les fonctionnalités d'un logiciel de type OPT.*

## **SOMMAIRE**

|           |                                                                                                                                         |          |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUCTION .....</b>                                                                                                               | <b>3</b> |
| <b>2.</b> | <b>LES RESSOURCES GOULOTS.....</b>                                                                                                      | <b>3</b> |
| <b>3</b>  | <b>RÈGLES OPT.....</b>                                                                                                                  | <b>5</b> |
| 3.1       | ÉQUILIBRER LES FLUX ET NON LES CAPACITÉS.....                                                                                           | 5        |
| 3.2       | LE NIVEAU D'UTILISATION D'UN NON-GOULOT N'EST PAS DÉTERMINÉ PAR SON PROPRE<br>POTENTIEL, MAIS PAR D'AUTRES CONTRAINTES DU SYSTÈME ..... | 6        |
| 3.3       | UTILISATION ET PLEIN EMPLOI D'UNE RESSOURCE NE SONT PAS SYNONYMES.....                                                                  | 7        |
| 3.4       | UNE HEURE PERDUE SUR UN GOULOT EST UNE HEURE PERDUE SUR TOUT LE SYSTÈME .....                                                           | 8        |
| 3.5       | UNE HEURE GAGNÉE SUR UN NON GOULOT N'EST QU'UN LEURRE .....                                                                             | 8        |
| 3.6       | LES GOULOTS DÉTERMINENT À LA FOIS LE DÉBIT ET LES NIVEAUX DES STOCKS .....                                                              | 9        |

### Ordonnancement : OPT

#### 1. Introduction

Aux États-Unis, à la fin des années 70 est apparue une méthode de gestion industrielle appelée OPT (Optimized Production Technology).

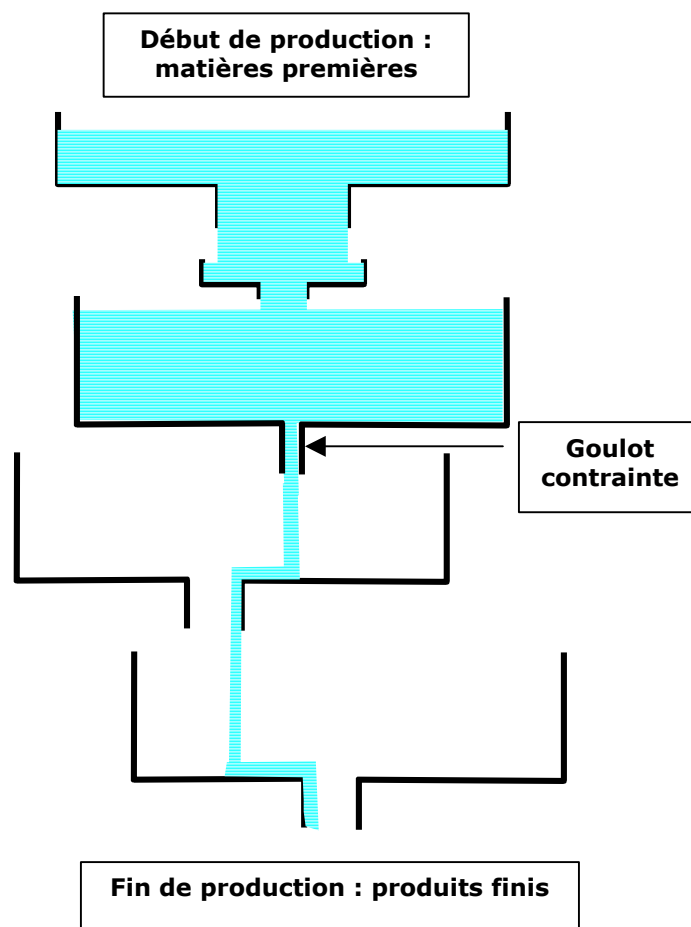
Cette méthode a donné naissance à une théorie plus globale nommée "management par les contraintes" qui va au-delà de la gestion industrielle et qui englobe celle de l'entreprise.

L'approche faite ici ne concerne que l'ordonnancement et ne prend pas en compte les autres aspects de la théorie globale.

#### 2. Les ressources goulots

Si l'on représente un processus de production par un ensemble de cuves où chaque cuve représente un poste de production.

Les produits "coulent" à travers ces cuves et le diamètre de chaque cuve est proportionnel au flux de pièces pouvant être réalisées sur le poste.



En amont du goulot les cuves sont pleines car le goulot n'arrive pas à absorber le flux de pièces produites par les postes précédents. Cela équivaut à dire que devant le poste goulot un grand nombre d'en-cours vont apparaître.

Par contre les cuves situées derrière le poste goulot sont elles en sous charge car elles ne peuvent traiter que ce qui provient du goulot.

On constate que le goulot limite le flux de sortie.

La chaîne de production est dite déséquilibrée car les capacités des ressources (personnel, machines) ne sont pas identiques.

Dans le cadre de la gestion classique la tendance est d'essayer d'équilibrer les capacités, en ce qui concerne la gestion par les contraintes on considère que le déséquilibre est inévitable et qu'il faut le gérer au mieux en optimisant les flux.

Pour cela il faut tout d'abord définir les postes goulots mais qu'est-ce qu'un goulot ?

**Un goulot est une ressource dont la capacité est en moyenne égale ou inférieure aux besoins.**

**Toutes les autre ressources dont la capacité est en moyenne supérieure aux besoins sont considérées comme des non goulots.**

"En moyenne" est une précision importante car il faut que la période soit assez longue pour ne pas prendre en compte les déséquilibres temporaires dus par exemple à des tailles de lots importantes et bien cerner le déséquilibre structurel qui permet de trouver les goulots "chroniques".

La capacité de la ressource n'est pas la capacité théorique donnée par exemple par le constructeur mais la capacité effective qui tient compte des aléas (pannes, rebuts, urgences etc..) qui peuvent arriver à la ressource.

La méthode la plus simple pour trouver la ressource goulot est certainement de comparer les niveaux des en-cours devant chaque ressource.

Ce niveau ne doit pas être mesuré en nombre de pièces mais plutôt en nombre d'heures de production nécessaires pour les absorber.

En effet un grand nombre de pièces peut être absorbé par une machine si le temps de fabrication est très court.

**Il faut toutefois prendre quelques précautions :**

- Prendre des mesures à différents moments de la journée, de la semaine.
- Réaliser les mesures pendant un temps plus long que les cycles de fabrication.
- Écarter des mesures les productions exceptionnelles.

### Il faut aussi éviter quelques pièges :

- Si les lots de production sont très importants ils peuvent générer des déséquilibres temporaires mais non structurels.
- Les en-cours en attente devant une ressource peuvent très bien être entreposés dans un autre endroit où il y a plus de place.

## 3 Règles OPT

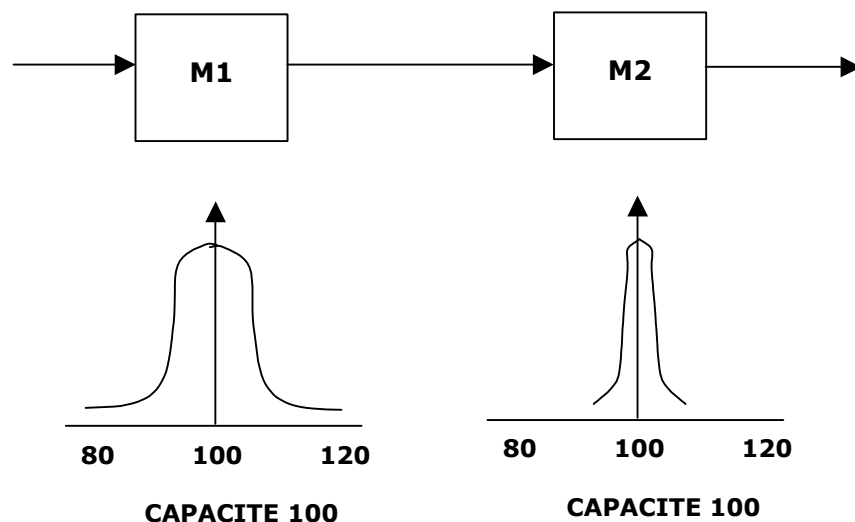
### 3.1 Équilibrer les flux et non les capacités

Dans la démarche classique d'une entreprise de production on cherche à équilibrer les capacités car si elles ne le sont pas certains postes seront contraints d'attendre les postes ayant une capacité inférieure. La recherche de l'équilibre est très difficile à réaliser et si l'on y parvient au moins partiellement, certains aléas viennent perturber la production en rendant la cadence aléatoire, ces aléas génèrent pour les postes suivants des retards.

#### Exemple :

4 pièces passent sur deux machines M1 et M2, M1 est un poste manuel et M2 une machine automatisée.

La capacité moyenne des deux postes est de 100 ch pour réaliser une pièce, elle varie de façon aléatoire (habileté, fatigue de l'opérateur, pannes, nettoyages....).



Considérons la production de ces quatre pièces sur les deux postes de travail :

|         | Machine M1 | Machine M2 |
|---------|------------|------------|
| N°pièce | Prévu      | Prévu      |
| 1       | 0-100      | 100-200    |
| 2       | 100-200    | 200-300    |
| 3       | 200-300    | 300-400    |
| 4       | 300-400    | 400-500    |

|         | MACHINE M1 |         |            | MACHINE M2 |         |            |
|---------|------------|---------|------------|------------|---------|------------|
| N°pièce | Prévu      | Réalisé | Différence | Prévu      | Réalisé | Différence |
| 1       | 0-100      | 0-120   | 20         | 100-200    | 120-220 | 20         |
| 2       | 100-200    | 120-240 | 40         | 200-300    | 240-340 | 40         |
| 3       | 200-300    | 240-320 | 20         | 300-400    | 340-440 | 40         |
| 4       | 300-400    | 320-400 | 0          | 400-500    | 440-540 | 40         |

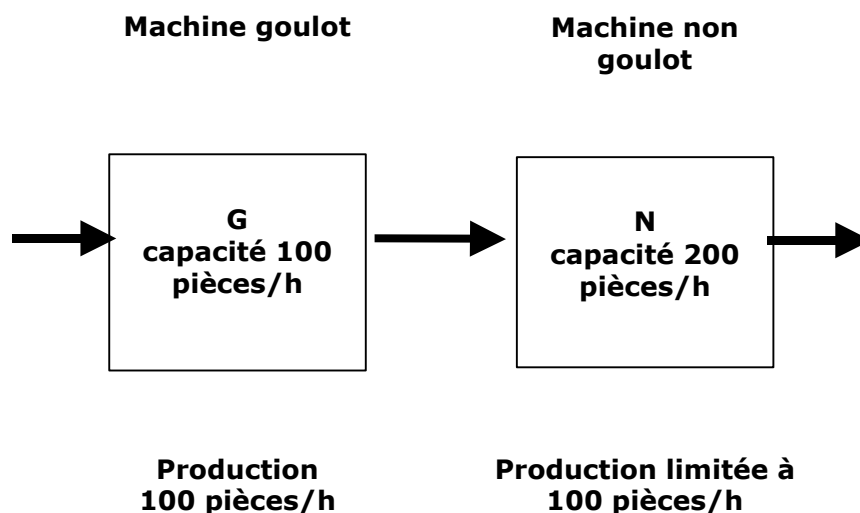
Si l'on considère la machine M1 la différence entre le prévu et le réalisé pour les quatre pièces est de 0, pourtant il existe bien un retard global à la sortie de M2 de la pièce 4 bien que la machine M2 ait respecté scrupuleusement les prévisions.

Les retards dus à ces aléas se répercutent sur toute la chaîne de production aval, d'autres aléas surviennent et viennent augmenter les retards.

Il est donc illusoire de parler de chaîne équilibrée en capacité. Il faut donc chercher à équilibrer les flux.

### **3.2 Le niveau d'utilisation d'un non-goulot n'est pas déterminé par son propre potentiel, mais par d'autres contraintes du système**

Soient deux machines : une goulot (G) et une non goulot (N).



La machine N a son potentiel de production limité à 100 pièces/h car le flux de pièces est limité par la machine G goulot.

Cette situation est identique même si N est située en amont ou si elle se trouve séparée de G par d'autres machines.

Si vous décidez d'investir dans une machine de production en choisissant une machine rapide mais plus onéreuse avec comme justification que le retour sur investissement sera plus court,

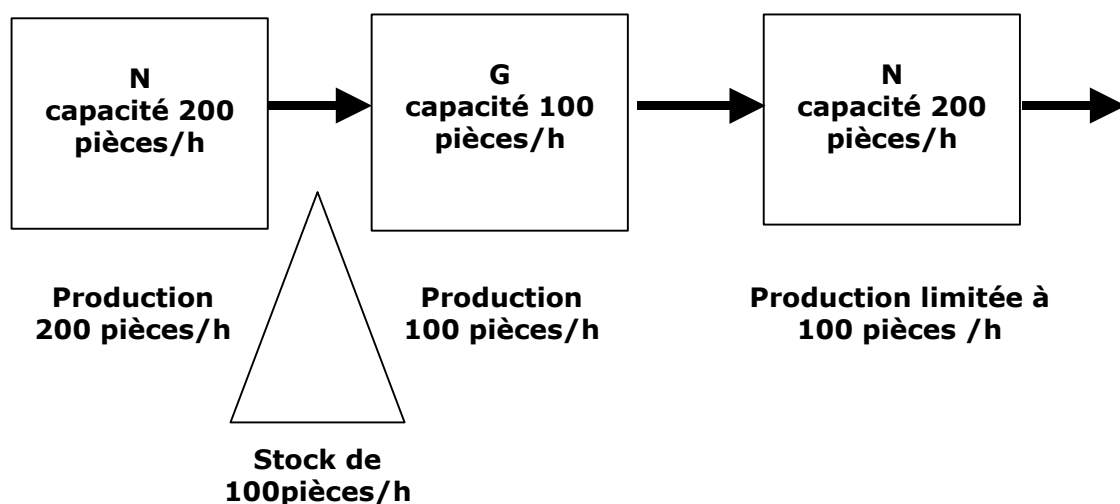
cette machine devant être placée dans une chaîne de production limitée par une contrainte goulot, les arguments de choix d'investissement ne sont donc plus valables.

Ceci n'est qu'un exemple montrant combien il est important pour une non goulot de prendre en compte son environnement et notamment les contraintes du système.

### 3.3 Utilisation et plein emploi d'une ressource ne sont pas synonymes

Supposons trois machines : 2 non goulots (N) et une goulot (G).

Si la ressource en amont de G est utilisée à sa pleine capacité elle produira un stock de 100 pièces par heures qui ne sera jamais abordé par G.



On s'aperçoit bien ici que l'on ne peut pas utiliser les mêmes règles de fonctionnement pour une ressource goulot que pour une non goulot.

Dans la logique de la productivité traditionnelle (qui est encore très répandue) si une ressource est disponible, elle doit être en train de produire. Si elle ne produit pas c'est du gaspillage.

Ce type de raisonnement amène à des en-cours importants qui à terme risquent d'être obsolètes et d'entraîner du gaspillage.

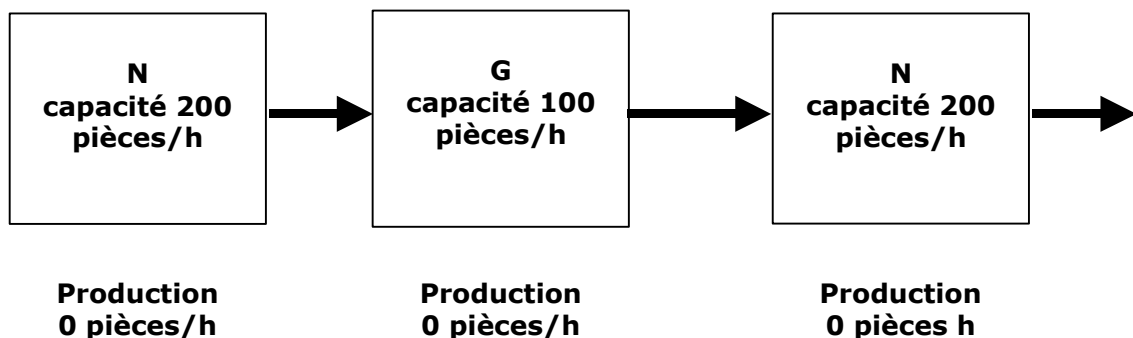
### 3.4 Une heure perdue sur un goulot est une heure perdue sur tout le système

Supposons que la ressource N en amont de la ressource G soit, pour une raison quelconque (panne, approvisionnement en composants défectueux, nettoyage etc.), improductive pendant une heure.

S'il n'y a pas de stock de protection entre N et G, la ressource G va stopper sa production.

Afin de rattraper ce retard de 100 pièces produites, N va fabriquer 200 pièces dans l'heure suivante mais cela ne permettra pas de compenser la production de pièces perdues car c'est G qui limite le flux et ne pourra pas produire plus de 100 pièces/heure.

Ce qui montre bien que la production perdue sur un goulot est perdue pour tout le système car une ressource goulot (contrairement à une non goulot) ne dispose pas de réserve de capacité pour compenser les éventuels arrêts ou retards.



### 3.5 Une heure gagnée sur un non goulot n'est qu'un leurre

Lorsque l'on désire réduire les temps improductifs (réglages, pannes) dans une logique traditionnelle on agit sur les ressources ayant les temps les plus importants.

Par exemple si on désire mettre en place une démarche de maintenance préventive afin de diminuer les arrêts dus aux pannes on l'appliquera en premier lieu sur la machine ayant les pannes les plus longues. Mais l'on risque de gagner du temps sur une non goulot ce qui n'augmentera pas son utilisation (voir règle n° 2) et donc n'augmentera pas le flux de pièces.

Dans une démarche de type OPT, les gains de temps de production se font systématiquement sur les goulots.

De la même manière, si l'on désire implanter une démarche smed la priorité de mise en place sera faite aux goulots et non pas sur la machine qui a le temps de changement de série le plus important.

### 3.6 Les goulots déterminent à la fois le débit et les niveaux des stocks

Considérons une chaîne de production constituée de machines non goulots (parties I et II) et d'une machine goulot.

La partie II qui se trouve derrière la machine goulot G est en sur capacité car elle se trouve derrière la machine goulot dont la capacité est plus faible et qui limite le débit.

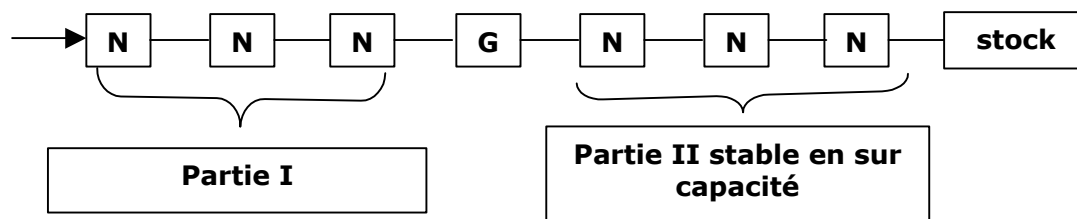
On peut donc considérer que cette partie est relativement stable car les aléas sont compensés par la réserve de capacité et que les temps de production prévisionnels sont relativement fiables et stables.

Aussi le stock généré en fin de chaîne va dépendre directement de la machine goulot.

En effet la date de réalisation du stock est relativement fiable car elle est donnée par celle de la machine goulot plus le temps de production de la partie II.

Si la machine goulot produit trop en avance elle va générer un stock.

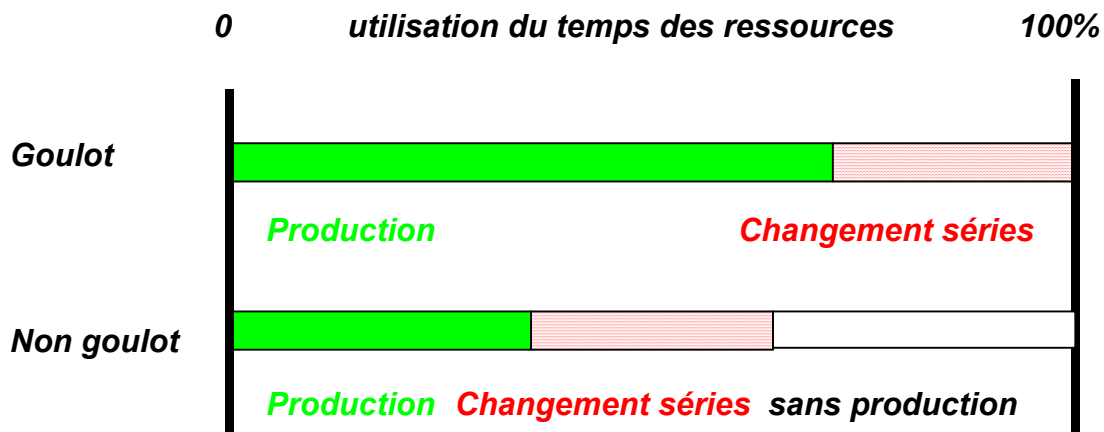
Le stock moyen sera d'autant **plus grand** que la machine **goulot produira en avance**, celle ci détermine bien le niveau des stocks.



#### Taille des lots de fabrication

Dans la logique OPT un débit maximum des goulots est recherché (voir règle 4, une heure perdue sur un goulot est une heure perdue pour tout le système).

Les temps d'utilisation des goulots et des non goulots peuvent se présenter ainsi :



### Taille des lots sur les goulots :

Les temps sont décomposés en temps de changement de série et temps de production pour les goulots.

Comme les goulots limitent le débit des pièces il faut augmenter leur temps de production et donc minimiser les pertes de débit dues aux temps de changement de série (voir méthode Smed) en les diminuant.

Par contre, contrairement à l'approche classique où la taille des lots est celle dite économique dans la méthode OPT, cette taille de lots n'est pas fixe mais elle préconise une taille variable déterminée dynamiquement en fonction de la demande.

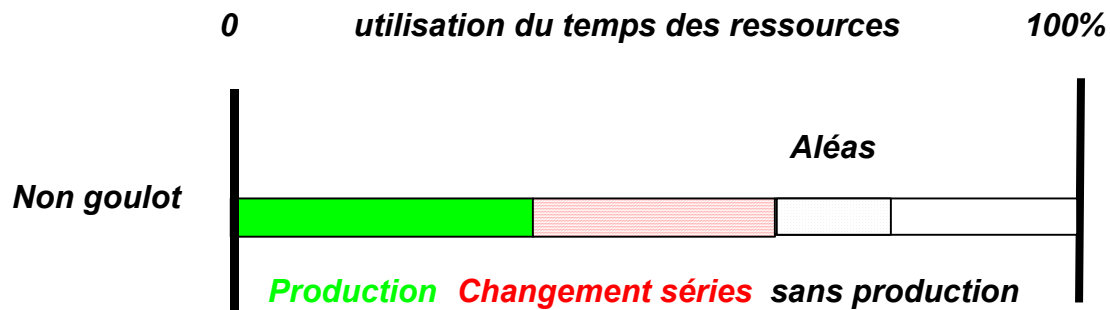
Ce n'est plus une donnée, elle est calculée à chaque lancement. Certains processus néanmoins ne sont pas flexibles et leurs temps de série ne peuvent être rendus négligeables aussi les tailles des lots peuvent rester importantes.

Il faut alors réaliser un compromis entre les pertes de débit d'un côté et de l'autre le respect des délais et l'augmentation des encours.

### Taille des lots sur les non goulots :

Les non goulots possèdent des réserves de capacité qui permettent de pallier les aléas ainsi que les déséquilibres dus par exemple à des tailles de lots trop importantes.

Il serait tentant d'utiliser cette réserve en temps de changement de série ce qui permettrait de diminuer la taille des lots de production, mais la gestion par les contraintes préconise de laisser cette réserve de capacité afin de pallier d'éventuelles surcharges ponctuelles et de consacrer ce temps perdu pour le personnel à l'amélioration continue.



### Lot de transfert et lot de fabrication

Lot de transfert : quantité de pièces transférée d'une ressource à l'autre.

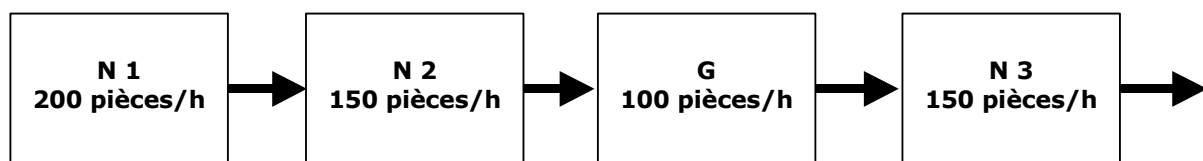
Lot de fabrication : quantité de pièces produite sur une ressource entre deux changements de série.

La gestion d'un atelier par les contraintes comme d'autres préconise de minimiser la taille des lots de transfert ainsi que les coûts et les délais de transfert.

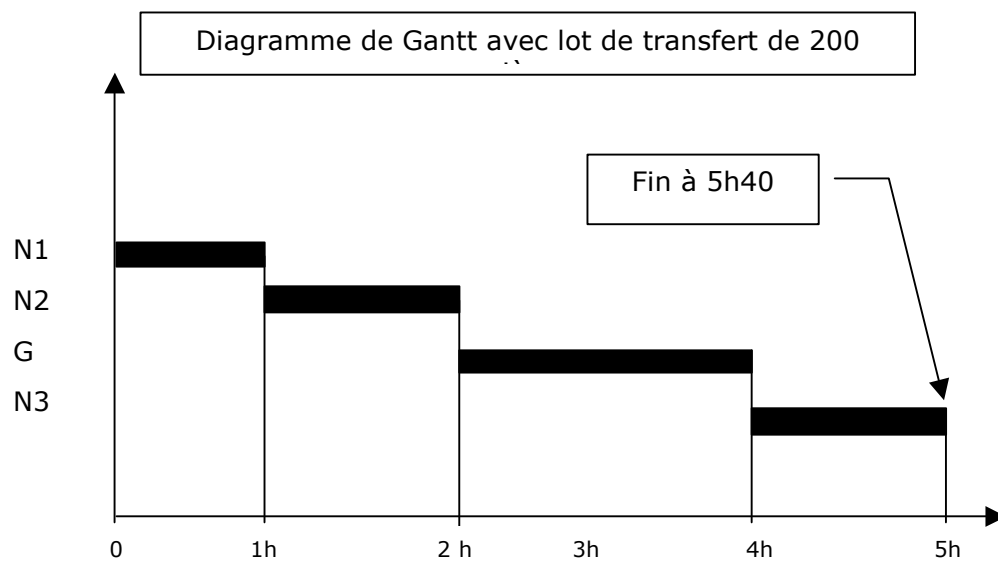
La solution idéale étant un lot de transfert d'une pièce à condition que l'implantation, les systèmes de transfert soient bien adaptés (exemple l'automobile).

**Exemple** : une ligne de fabrication avec 4 postes (3 non goulots (N1, N2, N3) et un goulot G).

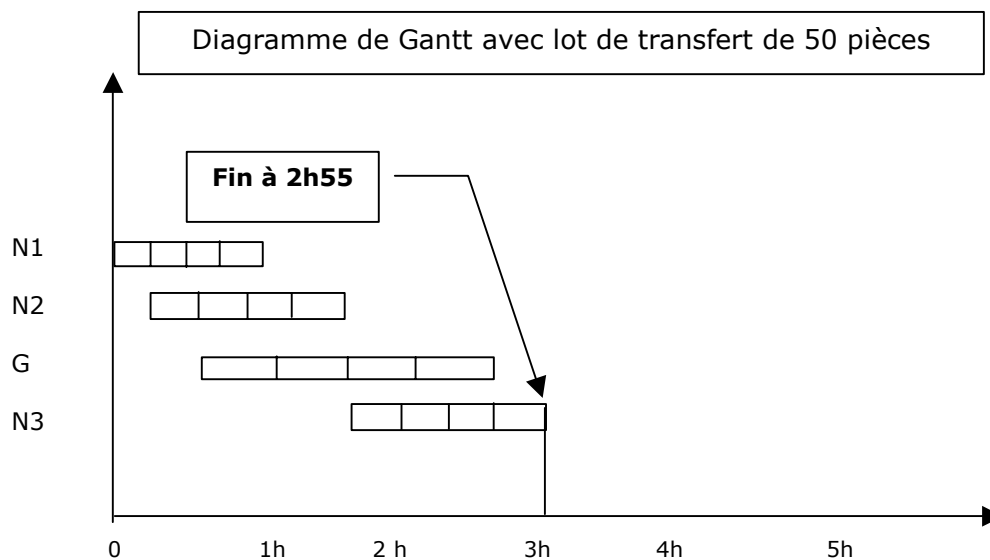
Dans le deuxième cas on conserve un lot de fabrication de 200 mais les lots de transfert ne sont plus que de 50 pièces, ce qui permet de gagner un temps considérable (presque 3h) sans gros investissement en réalisant simplement des actions en parallèle.



Dans le premier diagramme de Gantt les lots de transfert sont égaux aux lots de production : 200.



Dans le deuxième cas on conserve un lot de fabrication de 200 mais les lots de transfert ne sont plus que de 50 pièces, ce qui permet de gagner un temps considérable (presque 3h) sans gros investissement en réalisant simplement des actions en parallèle.



### Détermination des temps de fabrication :

Pour déterminer le temps de fabrication d'un lot de pièces sur un poste de production on procède de la façon suivante :

$$T = ts + tu * n + D$$

**ts** : temps série est le temps nécessaire (réglages de la machine, changement d'outillages, etc.) pour changer de série ou de lot de fabrication.

**tu** : est le temps pour fabriquer une pièce et n le nombre de pièces du lot.

**D** : étant le délai moyen de transfert sur le poste suivant (y compris les temps d'attente).

Dans une logique traditionnelle MRP le temps est estimé puis inséré dans le logiciel de gestion de production.

C'est ce temps qui permettra de calculer les dates des ordres de fabrication.

Mais le temps réel de fabrication peut être complètement différent du temps estimé.

Il peut survenir des aléas aussi bien lors du changement de série (difficultés de réglages, régleur absent, pannes) que lorsque la machine produit (dérive de la machine, opérateur nouveau, arrêts intempestifs dus à des problèmes de maintenance non résolus etc..) ou pour réaliser le transfert.

Ainsi les calculs réalisés pour lancer les fabrications sont réalisés à partir de temps de fabrication inexacts.

La gestion par les contraintes préconise d'établir les programmes en prenant en compte l'ensemble des contraintes en temps réel, ainsi le temps de fabrication ne serait plus une donnée figée mais serait déterminé par le programme.