

# IND8200 – Organisation Industrielle

## Cours 10 – Étude et mesures du travail, Aménagement et équilibrage

*par Catherine Laroche et Anis Berrada, Ing., M.Ing.*

# L'étude du travail

Aussi connu sous le terme OST (Organisation Scientifique du Travail)

Fonction qui vise à tirer le meilleur parti possible des ressources humaines, financières et techniques nécessaires à la création des biens et des services

# L'étude du travail

Deux approches:

- L'approche de conception: *à partir de zéro*
- L'approche d'amélioration: *étudier ce qui est en place pour le rendre plus efficient*

# L'étude du travail

Comprend:

- L'étude des méthodes (quoi, qui, où) qu'est-ce qu'on fait, qui le fait, où on le fait
- La mesure du travail (durée)
- L'étude des mouvements et l'ergonomie (comment)
- La rémunération (combien)

# L'étude des méthodes

Analyse systématique visant à définir le contenu des emplois et des méthodes de travail.

Deux écoles:

1. L'école scientifique, basée sur les notions de gestion scientifique du travail de F.W. Taylor, La spécialisation et la segmentation des tâches
2. L'approche du comportement, basée sur la satisfaction des besoins et des désirs du travailleur (face à l'insatisfaction généralisée envers leurs emplois).

## Étude des méthodes: approches basées sur le comportement

**Élargissement des tâches:** donner une plus grande partie de la tâche

**Rotation des postes de travail:** échange périodique de tâches

**Enrichissement des tâches:** augmentation du niveau de responsabilité (ex: planification, coordination)

travailler 4 jrs, 2 jrs de congé. Ceci fait en sorte que tu n'as pas trjs off samedi dimanche, ca change à chaque fois

**Équipes autogérées:** semi-autonome

*Qualité de vie au travail*





# Étude du travail: le graphique d'activités multiples

Produit : Aliments en vrac Processus : Poids/prix			Opérateur : L.W. Tracé par : R.G.	
Étape	Employé	Temps (en secondes)	Machine	
1	Recevoir sac de plastique du client et placer sur balance	0	Calcule et affiche le prix total. Produit autocollant du prix	
		1		
2	Entrer le prix/kg	2		
3		3	Calcule et affiche le prix total. Produit autocollant du prix	
4	Obtenir autocollant du prix et retirer sac	4		
		5		
5	Placer autocollant du prix sur sac	6		
		7		
6	Remettre sac au client	8		

Résumé				
Employé			Machine	
Temps (en secondes) %			Temps (en secondes) %	
Travail	7	87,5	1	12,5
Improductivité	1	12,5	7	87,5



# Étude du travail: l'ergonomie

## Étudie l'interface personne – machine

- C'est la science qui se penche sur les conditions de travail qui ont des conséquences directes sur le rendement:

Température et humidité

Ventilation

Éclairage

Bruit et vibrations

Pauses

Sécurité

Conception des outils et positions de travail

## La mesure du travail(durée): définition et impacts

“Application de certaines techniques visant à déterminer le temps que demande à un ouvrier qualifié l’exécution d’une tâche donnée avec un niveau de rendement bien défini”

- Planification de la production
- Mesure de la performance
- Détermination du prix de revient
- Détermination de la capacité de production
- Équilibrage de tâches

# La mesure du travail: objectifs

- Permet de déterminer le temps nécessaire permettant d'accomplir une tâche
- Focalise sur l'identification et la détermination des temps improductifs des diverses tâches afin de les éliminer
- Sert à déterminer le contenu d'une tâche par le calcul du temps d'exécution selon une norme de rendement préétablit dont l'ouvrier qualifié est la référence

# La mesure du travail: techniques utilisées

Les méthodes les plus utilisées pour la mesure du travail (une fois que chaque mouvement est divisé en éléments de base – **valeur-temps** – tels que déplacer, saisir, assembler) sont:

- **Le chronométrage** aller sur le plancher et chronométrer le temps que ça prends pr un employé
- Les données historiques (références) ou temps élémentaires  
on peut aussi se baser sur des données historiques
- Les observations instantanées (échantillonnage)
- Les normes de temps prédéterminés (temps préétablis)

# La mesure du travail par chronométrage: le nombre d'observation

Trois éléments importants :

- ❑ La variabilité des temps observés;
- ❑ Précision ou marge d'erreur maximale admissible en unités de temps;
- ❑ L'intervalle ou le degré de confiance.

$$n = \left( \frac{zS}{a\bar{x}} \right)^2 \Rightarrow n = \left( \frac{zS}{e} \right)^2$$

- ❑  $z$  : variable de la distribution normale pour une confiance désirée;
- ❑  $S$  : écart-type (déviations) de l'échantillon;
- ❑  $a$  : erreur admissible exprimée en %;
- ❑  $\bar{x}$  : moyenne de l'échantillon. ==> e (l'erreur)

$$e = a\bar{x}$$

## Chronométrage: le nombre d'observations - exemple

- Un analyste en génie industriel souhaite estimer le nombre d'observations nécessaires pour obtenir une erreur maximale précisée, avec une confiance de 95%.

Il effectue initialement 40 lectures, dont le TOM est de 5.2 minutes avec un écart type de 1.1 minute.

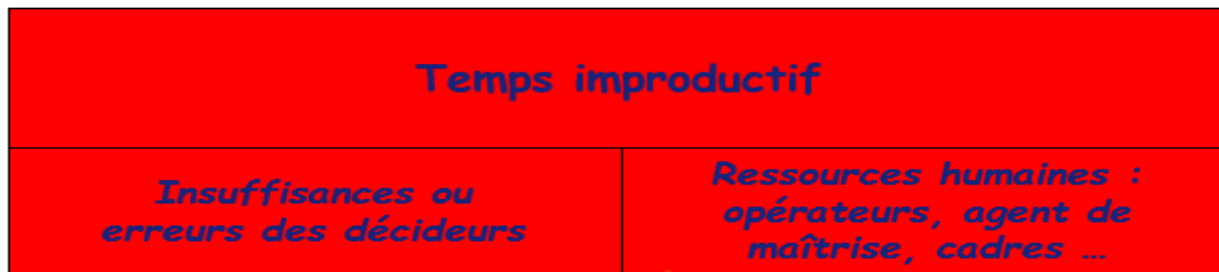
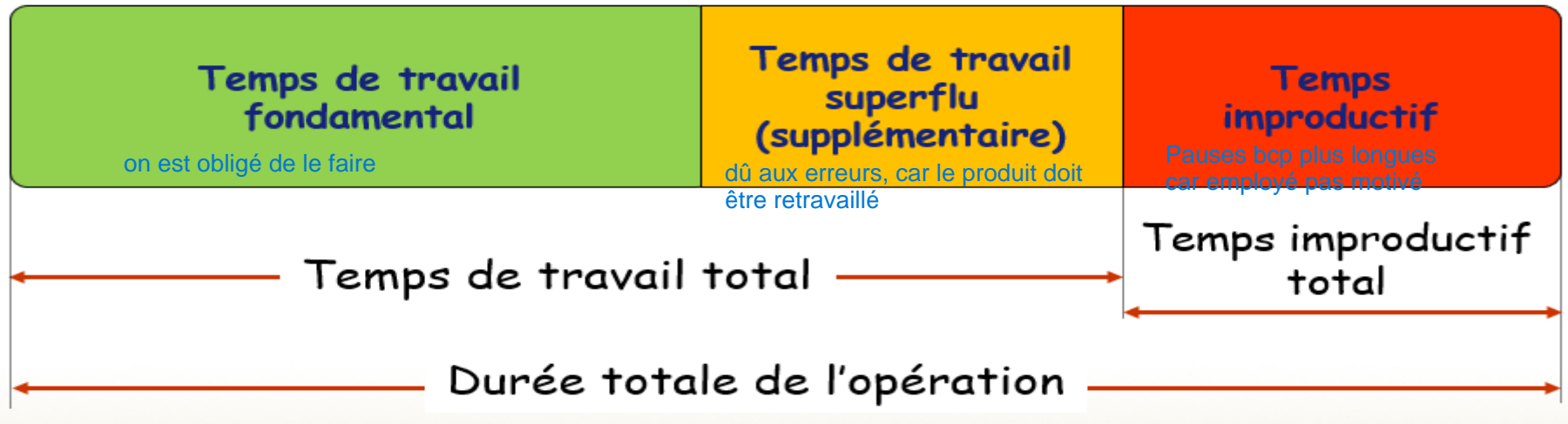
temps observation moyen (TOM) ==> x

Déterminer le nombre total d'observation nécessaire si:

- a) Une erreur maximale de 6% de la moyenne de l'échantillon est acceptée;
- b) Une erreur maximale de 0.4 minutes est acceptée.



# La composition d'un temps standard par chronométrage



Source : cours 3 sur l'évaluation des performances en entreprise, Université de Bordeaux

# La composition d'un temps standard par chronométrage

□ Un temps standard (TS) établi par chronométrage est composé :

■ d'un temps observé moyen - TOM

■ d'un facteur d'allure – FA

■ du temps de base – TB

■ de différentes majoration.

□ Retards inévitables, Délais - RI

□ Repos - R

□ Besoins personnels (fatigue) - BP

□ Majoration supplémentaire

■ Position de travail inconfortable

■ Conditions de travail

■ Monotonie de la tâche

■ Etc.

## Majoration:

Complément ajouté au temps de base afin de donner au travailleur la possibilité de se remettre des effets physiologiques de l'accomplissement d'une tâche déterminée dans des conditions données et afin de tenir compte de ses besoins personnels

$$TB = TOM * FA$$

# Le phénomène d'apprentissage: principe de la courbe

- La capacité d'un système a tendance à se modifier dans le temps. Généralement, la capacité va s'accroître car l'être humain apprend constamment et améliore sa productivité.
- L'apprentissage est un phénomène observé particulièrement dans la réalisation des produits complexes (avions, bateaux, etc.). Cette courbe établit la relation entre le temps nécessaire pour produire des quantités précises lorsqu'il y a de l'apprentissage.
- Les améliorations résultent aussi d'un ensemble de facteurs (meilleure préparation du travail, choix d'équipements et d'outillage, la gestion des processus, etc.) On parle alors d'apprentissage de l'organisation.

# Le phénomène d'apprentissage: utilité

- Utilisé surtout pour les activités répétitives et complexes
- Mesurer le temps nécessaire à l'exécution d'une opération et prévoir ce temps dans le futur
- Céduler et planifier la main-d'œuvre
- Négocier les achats
- Déterminer les prix des nouveaux produits
- Planifier la capacité
- Approvisionnement
- Planifier les budgets, achats et inventaires
- Planification de la production
- Détermination de la capacité de production
- Établissement du prix de revient

**Donc, facilite la planification et l'utilisation optimale des installations**

## Le phénomène d'apprentissage: la courbe d'apprentissage

Courbe exponentielle selon la loi de Wright

Temps fabrication 2ème  
unité / temps fabrication  
de la 1ère unité = 80%

$$T_i = T_1 * F_1(\rho, i)$$

Où:

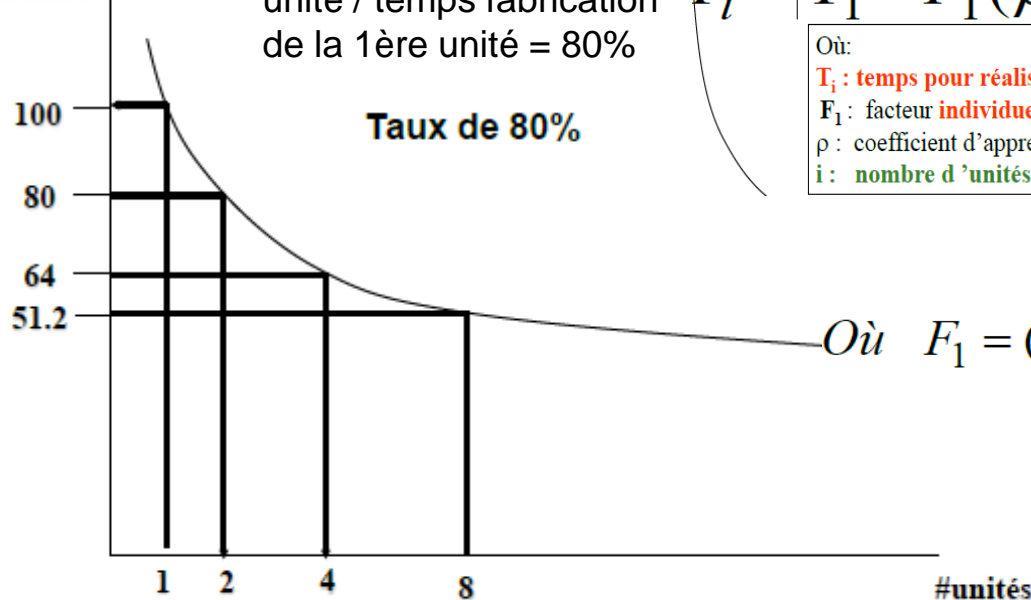
$T_i$  : temps pour réaliser la  $i^{\text{ème}}$  unité

$F_1$  : facteur **individuel** d'apprentissage

$\rho$  : coefficient d'apprentissage

$i$  : nombre d'unités

Temps/unité



Nombre d'unités ( $i$ )

Où  $F_1 = (i)^{(\ln \rho / \ln 2)}$

« À chaque *doublement* du volume de production d'un produit, le *temps* de main-d'œuvre requis pour la *dernière* unité diminue d'un *taux constant* »

## La courbe d'apprentissage – Facteur cumulatif

Où:

$T_{1 \rightarrow i}$  : temps pour réaliser **les  $i$**  premières unités

$F_2$  : **facteur cumulatif** d'apprentissage

$\rho$  : coefficient d'apprentissage

$i$  : nombre d'unités

$$T_{1 \rightarrow i} = T_1 * F_2(\rho, i)$$

Ind  
Berruud, 115,7

# Le phénomène d'apprentissage: exemple d'utilisation

Temps cumulés pour différentes valeurs de  $\rho$  lorsque  $t_1=1$  heure-personne: valeurs de  $F_i(\rho)$

Unité	Coefficient $\rho$							
	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.600	1.650	1.700	1.750	1.800	1.850	1.900	1.950
3	2.045	2.155	2.268	2.384	2.502	2.623	2.746	2.872
4	2.404	2.578	2.758	2.946	3.142	3.345	3.556	3.774
5	2.710	2.946	3.195	3.459	3.738	4.031	4.339	4.662
6	2.977	3.274	3.593	3.934	4.299	4.688	5.101	5.538
7	3.216	3.572	3.960	4.380	4.834	5.322	5.845	6.404
8	3.432	3.847	4.303	4.802	5.346	5.936	6.574	7.261
9	3.630	4.102	4.626	5.204	5.839	6.533	7.290	8.111
10	3.813	4.341	4.931	5.589	6.315	7.116	7.994	8.955
12	4.144	4.780	5.501	6.315	7.227	8.244	9.374	10.620
14	4.438	5.177	6.026	6.994	8.092	9.331	10.720	12.270
16	4.704	5.541	6.514	7.635	8.920	10.380	12.040	13.910
18	4.946	5.879	6.972	8.245	9.716	11.410	13.330	15.520
20	5.171	6.195	7.407	8.828	10.480	12.400	14.610	17.130
25	5.668	6.909	8.404	10.190	12.310	14.800	17.710	21.100
30	6.097	7.540	9.305	11.450	14.020	17.090	20.730	25.000
35	6.478	8.109	10.130	12.720	15.640	19.290	23.670	28.860
40	6.821	8.631	10.900	13.720	17.190	21.430	26.540	32.680
45	7.134	9.114	11.620	14.770	18.680	23.500	29.370	36.470
50	7.422	9.565	12.310	15.780	20.120	25.510	32.140	40.220



## Le phénomène d'apprentissage: exemple d'utilisation

La production d'un certain nombre de séries télévisées suit une courbe d'apprentissage de 80%. Il faut 100 heures pour faire la 1ère.

■ Estimez le temps requis pour produire la 4ème série ?

■ Estimez le temps requis pour les 4 premières séries ?

■ Estimez le temps moyen par unité ?  $f_4(0,8) = 0.64$   
voir sur Moodle la feuille

$$A) t_4 = t_1 \times f_4(0,8) = 100 \times 0,64 = 64 \text{ heures}$$

$$B) t_{1-4} = t_1 \times F_4(0,8) = 100 \times 3,142 = 314,2 \text{ hrs}$$

$$C) T. \text{ moy.} = t_{1-4} / 4 = 314,2 / 4 = 78,55 \text{ hres}$$

## Le phénomène d'apprentissage: autre exemple

La 1<sup>e</sup> unité d'assemblage d'un module spatial a demandé 500 heures-personne. Par l'expérience de l'entreprise,  $\rho = 75\%$ .

■ Combien de temps prendra la 25ième unité ?

■ Combien de temps prendront les 25 unités ?

$$f_{25}(0,75) = 0,2629$$

■ Quel est le temps moyen pour ces 25 unités ?

$$A) t_{25} = t_1 \times f_{25}(0,75) = 500 \times 0,2629 = 131,45 \text{ hres-pers.}$$

$$B) t_{1-25} = t_1 \times F_{25}(0,75) = 500 \times 10,19 = 5\,095 \text{ hres-pers.}$$

$$C) T. \text{ moy.} = t_{1-25} / 25 = 5\,095 / 25 = 203,8 \text{ hres-pers.}$$

# Le phénomène d'apprentissage: autre exemple

La 10<sup>e</sup> unité d'un train d'atterrissage a requis 30 heures-personne d'usinage tandis que la 20<sup>e</sup> unité en a exigé 27.

- Combien de temps ont pris la 1<sup>e</sup> et la 5<sup>e</sup> ?
- Combien de temps prendront la 25<sup>e</sup> et la 30<sup>e</sup> unité ?
- Quel est le temps moyen d'usinage des 5 premières unités ?

$$A) \rho = t_{20} / t_{10} = 27 / 30 = 0,90$$

$$t_{10} = t_1 \times f_{10}(0,9), \text{ d'où } t_1 = t_{10} / f_{10}(0,9) = 30 / 0,7047 = 42,57 \text{ h-p}$$

$$t_5 = t_1 \times f_5(0,9) = 42,57(0,783) = 33,33 \text{ h-p}$$

$$\text{ou } t_5 = t_{10} / \rho = 30 / 0,9 = 33,33 \text{ h-p}$$

$$B) t_{25} = t_1 \times f_{25}(0,9) = 42,57(0,6131) = 26,1 \text{ h-p}$$

$$t_{30} = t_1 \times f_{30}(0,9) = 42,57(0,5963) = 25,38 \text{ h-p}$$

$$C) t_{1-5} = t_1 \times F_5(0,9) = 42,57(4,339) = 184,71 \text{ h-p}$$

$$T. \text{ moy.} = t_{1-5} / 5 = 184,71 / 5 = 36,94 \text{ h-p}$$

# L'étude de l'aménagement

Étudie et détermine la disposition des bâtiments, des locaux et des installations d'une entreprise.

Intimement reliée à:

- **La circulation:** qui étudie l'intensité des mouvements et le cheminement des biens et services à l'intérieur de l'entreprise

- **La manutention:** qui étudie les meilleurs moyens de manipuler les biens et services

# Pourquoi faire un aménagement? Objectifs

## 1. Afin d'améliorer :

- ☐ Le procédé,
- ☐ Le contrôle des matières (premières, autres, etc.),
- ☐ La maintenance,
- ☐ La manutention.

Matières  
premières

Produits  
finis

## 2. Afin d'utiliser efficacement :

- ☐ La m/o directe,
- ☐ Les équipements,
- ☐ Les espaces,
- ☐ L'énergie.

## 3. Afin de minimiser les investissements,

## 4. Afin d'améliorer la flexibilité,

## 5. Afin d'améliorer la sécurité et/ou le moral des employés.

# L'étude de l'aménagement: types d'aménagement

- **L'aménagement stationnaire** : le produit demeure fixe; on déplace le matériel, les travailleurs et l'équipement au besoin

Ex: avion, maison, bateau

- **L'aménagement processus** : les opérations de même nature sont groupées dans le même service capable de traiter une variété de demandes

Ex: Usine de meubles qui se divise en ateliers de sciage, de découpage, de rembourrage

- **L'aménagement produit** : les ressources nécessaires à compléter un produit sont installées dans la même zone et disposées dans l'ordre logique des activités de fabrication du produit; plusieurs modèles existent:

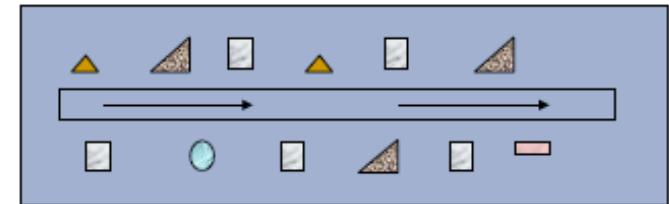
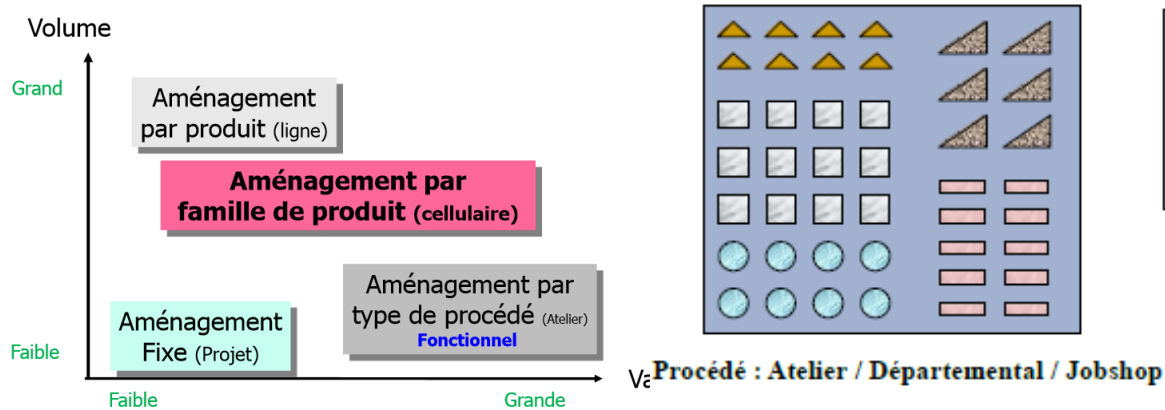
- En ligne droite
- En serpentín
- En U
- Circulaire

Ex: chaîne de montage

- **L'aménagement cellulaire** : Une cellule par une famille de produits

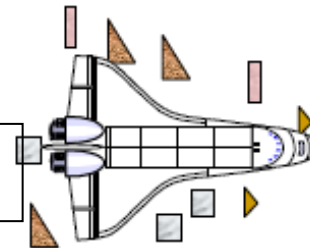


# L'étude de l'aménagement: types d'aménagement

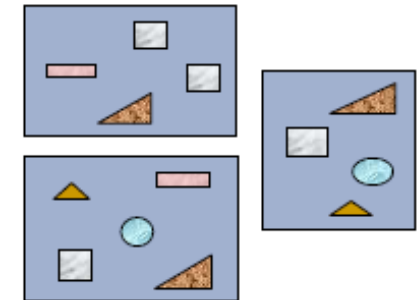


Produit : ligne d'assemblage

## Aménagement fonctionnel



jet : Produit fixe, postes mobiles

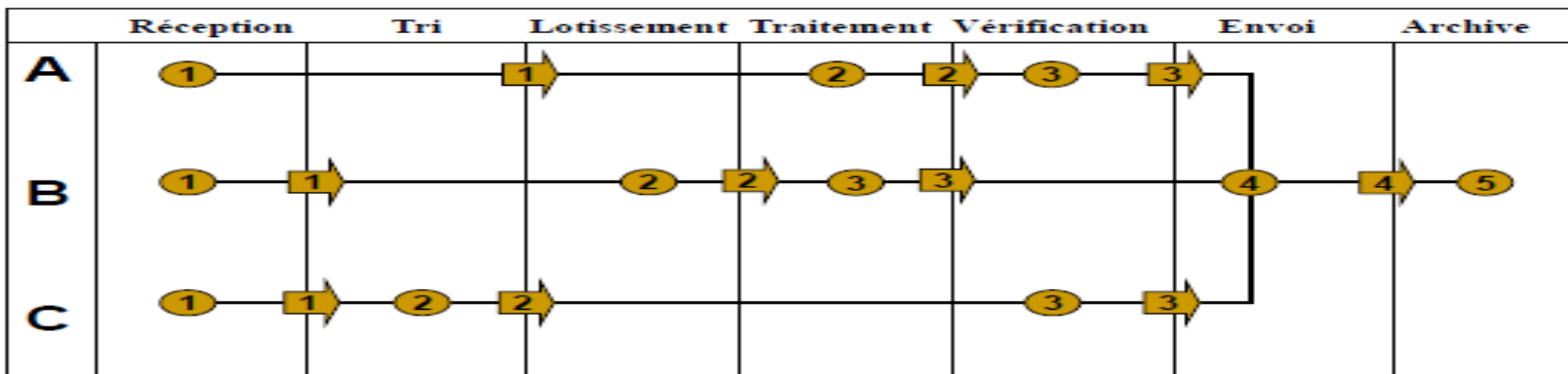
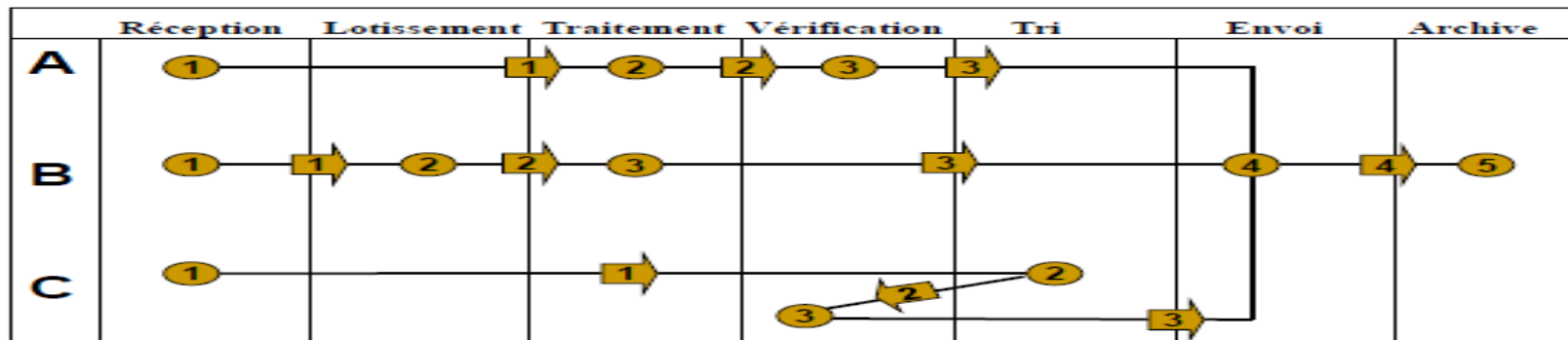
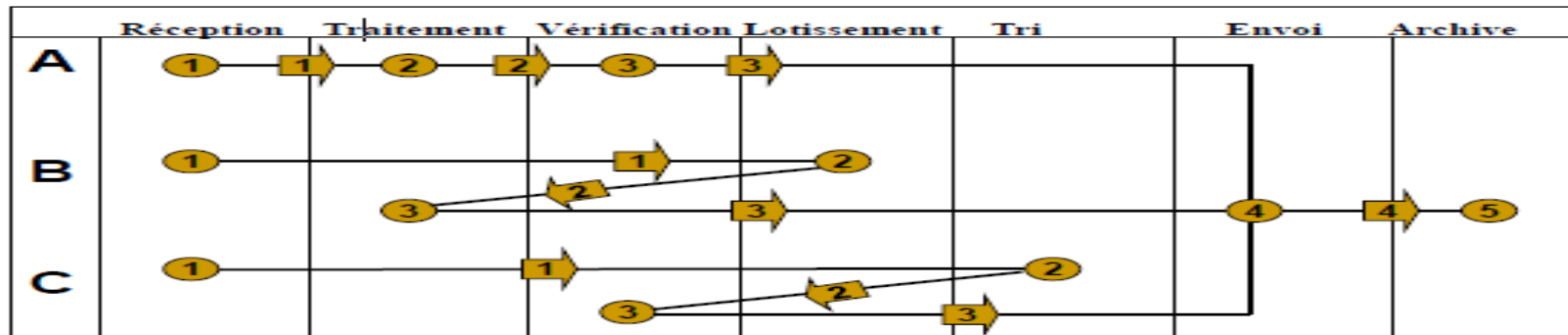


Cellulaire : Une cellule par famille de produits

## Aménagement cellulaire

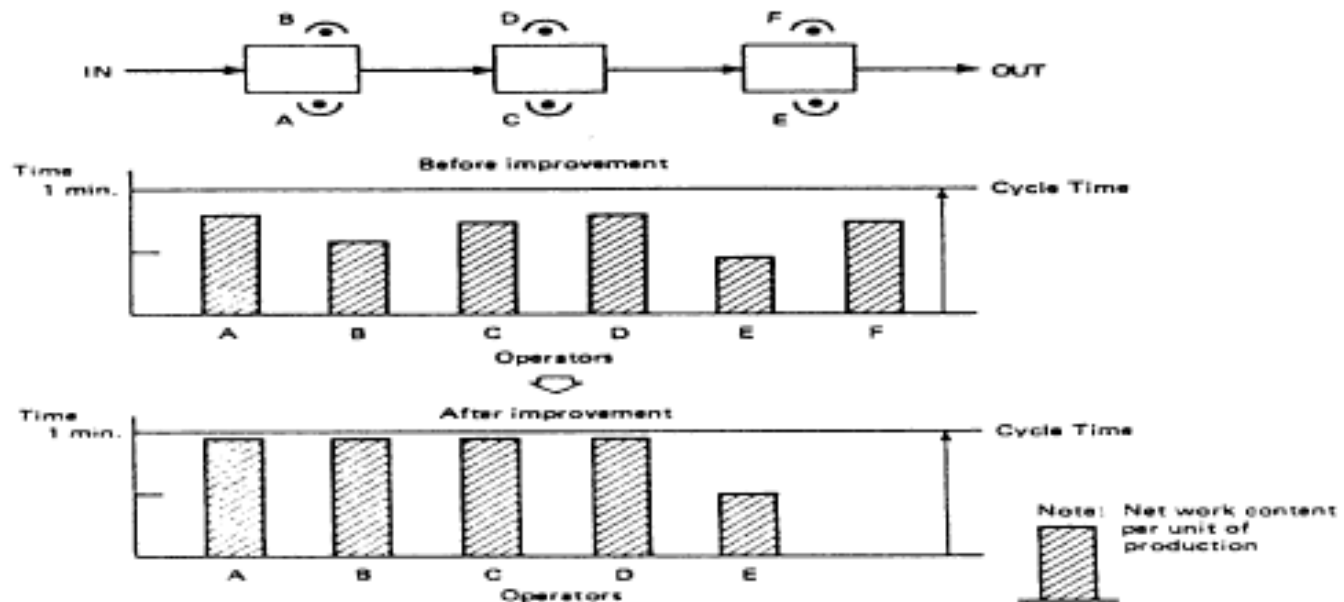
- Permet de fabriquer des produits différents, mais nécessitant la même séquence d'opérations dans des cellules autonomes et avec des opérateurs polyvalents (généralement configuré en U ou cellulaire)
- Combine les avantages de flexibilité de l'aménagement procédé avec l'efficacité de l'aménagement produit

# Exemple d'aménagement

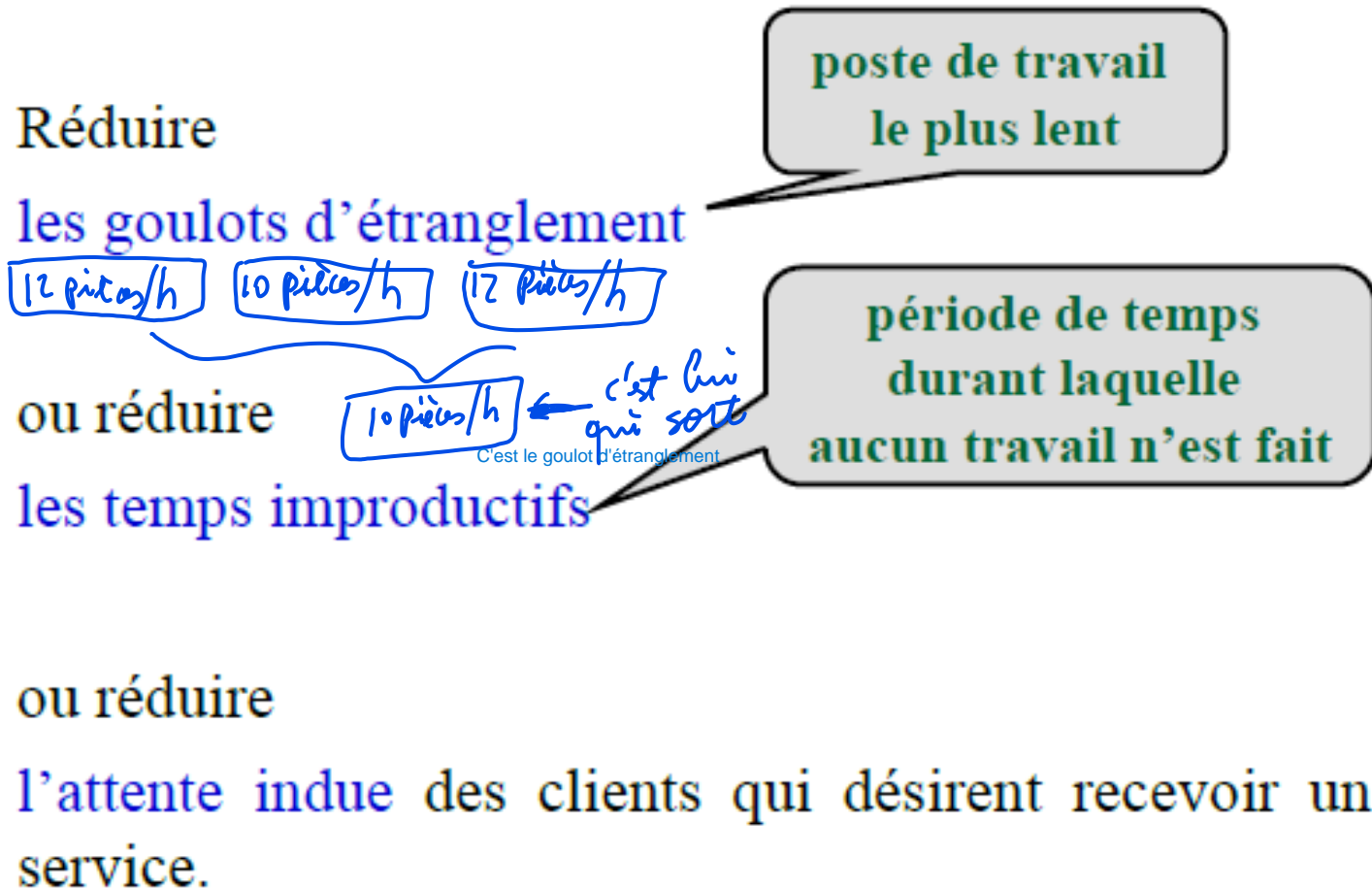


# Équilibrage de processus

Processus d'assignation des tâches  
à des postes de travail de manière  
à ce que le temps d'exécution soit  
approximativement égal pour chaque poste



# Équilibrage de processus: objectifs



# Équilibrage de processus: quelques définitions

□ Temps du cycle de production minimal =  
Au temp de la tâche le plus long

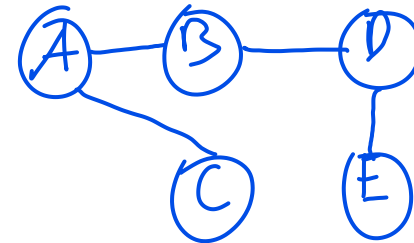
□ Temps du cycle de production maximal = La somme des temps de tâches.

□ Temps du cycle de production désiré =  
dépend de la demande

$$\frac{\text{Temps de production ou opération par quart de travail (TP ou TO)}}{\text{Taux de productin désiré, demande désirée (D)}}$$

□ Capacité de production=

$$\frac{\text{Temps de production ou opération par quart de travail (TP ou TO)}}{\text{Temps du cycle de productin (TC)}}$$



En combinant des tâches élémentaires dans les postes ,on peut déterminer le nombre minimal théorique de postes nécessaires pour produire un taux de production précis comme suit :

$$N_{\min} = \frac{\text{le temps total de cycle de l'ensemble des tâches } (\sum t)}{\text{le temps du cycle de production désiré (TC)}}$$

N min: si ca rentre dans ce nombre minimal tant mieux, si ca rentre pas on est obligé de créer un poste supplémentaire

## Équilibrage de processus: quelques définitions

❑ **Temps improductif de la chaîne (  $T_{imp}$  ) :**

Somme des heures non utilisées sur chaque poste de travail par rapport au temps cyclique.

❑ **Pourcentage de temps improductifs (  $\%T_{imp}$  ):**

$$\%T_{imp} = \frac{\sum T_{imp}}{N_{effectif} \times TC} \times 100$$

$N_{eff}$  : Nombre effectif de postes de travail

❑ **Rendement (efficacité ou taux d'occupation moyen) de la chaîne**

$$\text{Efficacité} = (100 - T_{imp} \text{ en } \%)$$



# Équilibrage de processus: exemple

□ Considérez la chaîne d'assemblage suivante:

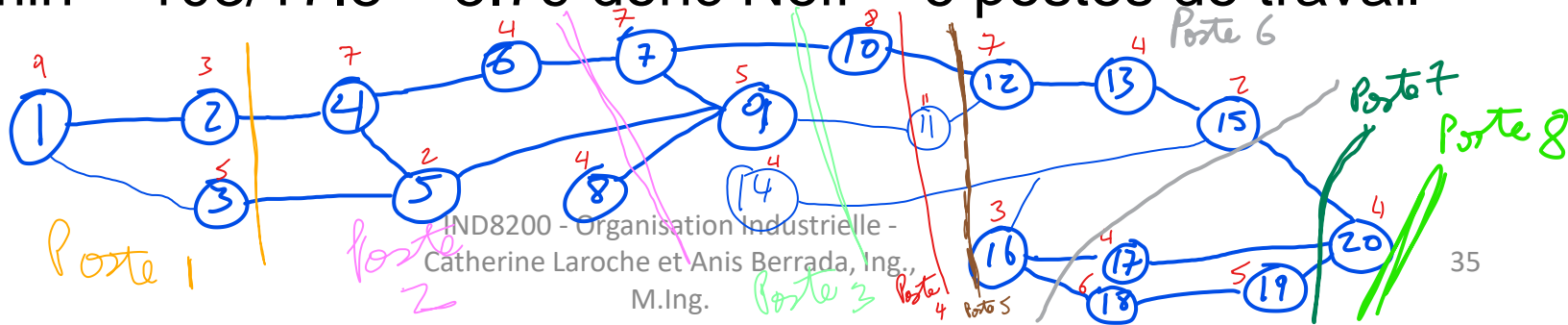
OPÉRATION	Temps d'opération (minutes)	Prédécesseurs immédiats	OPÉRATION	Temps d'opération (minutes)	Prédécesseurs immédiats
1	9		11	11	9
2	3	1	12	7	10,11
3	5	1	13	3	12
4	7	2	14	4	
5	2	3,4	15	2	13,14
6	4	4	16	3	11
7	7	6	17	4	16
8	4		18	6	16
9	5	5,7,8	19	5	18
10	8	7	20	4	15,17,19

## Équilibrage de processus: exemple

- a) Trouvez le TC minimal ?
- b) Trouvez le TC maximal ?
- c) Quel est le taux de production journalier (un quart de 8 heures)?
- d) Calculez le temps de cycle désiré pour une demande désirée de 27 par jour?
- e) Quel est le nombre minimal et le nombre effectif de postes nécessaires?
- f) Faites l'équilibrage du processus de cette chaîne de montage pour le  
attribuer des tâches à différents postes  
temps de cycle trouvé en d)

## Équilibrage de processus: exemple

- a) TC min = temps de l'opération la plus longue = 11 min (opération 11)
- b) TC max = 103 min (Somme de tous les temps)
- c) Taux de production max =  $(8 \cdot 60) / 11 = 43.6$  u/jr  
Taux de production min =  $480 / 103 = 4.7$  u/jr
- d)  $D = 27$  u/jr  $\rightarrow$  TC =  $480(\text{min/jr}) / 27(\text{u/jr}) = 17.8$  min/unité
- e)  $N_{\min} = 103 / 17.8 = 5.79$  donc  $N_{\text{eff}} = 6$  postes de travail



Question Prof: Est-ce qu'on peut mettre 17 et 2 dans le même poste de travail?

# Prochaine Séance

Ne pas dépasser 17.8!

Poste 1

$$T_{imp} = T_{cd} - \sum_{\text{poste}} t_{\text{traj}} = 0,77$$

Poste 2

$$T_{imp} = 17,77 - 17 = 0,77$$

Poste 3

$$T_{imp} = 17,77 - 16 = 1,77$$

- Prochaine séance: lire Chapitre 9, 10 et 15

car ne dispose pas

Poste 4

$$T_{imp} = 9,77$$

Poste 5

$$T_{imp} = 6,77$$

Poste 6

$$T_{imp} = 1,77$$

Poste 7

$$T_{imp} = 2,77$$

Poste 8

$$T_{imp} = 13,77$$

## Exercices à faire:

### Chapitre 6 (p.231): Problèmes avec solution 1

$$\sum T_{imp} = 13,77 + 2,77 + 1,77 + 6,77 + 9,77 + 1,77 + 0,77 + 0,77 = 38,16 \text{ min}$$

$$\% t_{imp} = \frac{38,16}{8 \cdot 17,17} \cdot 100 = 26,84\%$$

Réal!  $\Rightarrow$  effectif sur 8 postes à la fin

$$\% t_{\text{productif}} = 100 - 26,84 = 73,16\%$$

# Références

- Notes IND8200 – Javad Sadr
- Stevenson – Benedetti