

10 exercices corrigés sur le pilotage de la production

Exercice 2.1 (Gestion d'affaire – Pert (délais, coûts))

► Énoncé

Vous êtes responsable d'une affaire qui doit se terminer au plus tard le 30 novembre et dont les données vous sont communiquées ci-après, sous forme de tableau d'inventaire des tâches et d'un diagramme PERT avec les calculs de dates au plus tôt et au plus tard :

N° Tâche	Durée (en mois)	Contraintes d'antériorité	Moyens nécessaires	Coût (en €)	Responsable
A	1	E	MB1 : 150 h.	75	Sté JUILLET
B	2	A, D	ME2 : 300 h.	150	Sté AVRIL
C	3	F	MC1 : 200 h.	200	Sté FÉVRIER
D	2	–	ME2 : 250 h. MA6 : 100 h.	125	Sté AVRIL
E	2	–	ME2 : 200 h.	100	Sté AVRIL
F	3	E	MP4 : 200 h.	100	Ent. PRINTEMPS

Pour simplifier, nous considérons que la charge de chaque moyen est uniformément répartie pendant toute la durée de la tâche. La capacité « réaliste » d'un mois normal est en moyenne de 150 h. Il n'y a pas de vacances.

De même, nous considérons que, de manière générale, la dépense relative à chaque activité (il s'agit de la location des équipements nécessaires) s'effectue lors de l'achèvement de celle-ci, et que la vente de l'ouvrage au client est faite à l'achèvement de la dernière tâche (paiement en une seule fois).

► Travail demandé

1. Analyse de cette affaire
 - 1.1. Établir le graphe de cette affaire
 - 1.2. Déterminer le chemin critique et les marges libres et totales de chaque tâche
2. Dans une politique de planification des tâches qui maximise la sécurité sur les délais :
 - 2.1. Établissez le diagramme de GANTT
 - 2.2. Dessinez le diagramme de charge du moyen ME2.
 - 2.3. Conclusion ?
3. Dans une politique de planification des tâches qui minimise les coûts financiers liés à l'immobilisation des capitaux :
 - 3.1. Établissez le diagramme de GANTT
 - 3.2. Dessinez le diagramme de l'immobilisation financière.

Exercice 2.2 (Pert probabiliste)

► Énoncé

Lors de votre prise en charge d'une construction, l'ingénieur chargé de cette affaire vous a fourni les informations suivantes :

Exercices

	A	B	C	D	E	F	G	H
Durée optimiste	12	2	1,5	4	4	1	2	
Durée probable	14,5	2,5	1,5	7,5	6,5	1	2,5	
Durée pessimiste	20	6	4,5	14	12	1	6	
Durée moyenne	15	3	2	8	7	1	3	0
Début + Tôt	0	17	15	15	0	15	17	17
Début + Tard	0	20	18	15	13	19	20	20
Chemin Critique	*			*				

a besoin de	A	B	C	D	E	F	G	H
A		x	x	x		x	x	
B								
C		x					x	x
D								
E		x					x	x
F		x						
G								
H		x						

Février 2006

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M

Mars 2006

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V

Les durées sont exprimées en jours et l'entreprise ne travaille pas les Samedi et Dimanche.

Rappel : Écart type d'une loi de distribution β : $\sigma = \sqrt{\left(\frac{t_p - t_0}{6}\right)^2}$

► Travail demandé

1. Quelle est la durée moyenne de réalisation de cette construction ?
2. Calculer la probabilité de réaliser cette construction en 25 jours.
3. Calculer la durée de fabrication (nombre entier de jours) qui assure une probabilité minimum de 95 % de réaliser cette construction. Quelle est, en fait, la probabilité de réaliser cette construction qui correspond à la durée que vous venez de trouver ?
4. Quelles sont les dates de début au plus tôt de chaque tâche si on souhaite terminer cette construction le 20 mars 2006 (Raisonnement sur les durées moyennes des tâches).
5. Le responsable de la réalisation de la tâche E vous demande la possibilité de démarrer son chantier le 2 mars 2006 au matin. Quelle est votre attitude et pourquoi ?
6. Le responsable du chantier B vous demande, après la décision que vous avez prise dans la question précédente, de démarrer au plus tôt afin de se libérer le plus rapidement possible. Quelle date lui donnez-vous et pourquoi ?

Exercice 2.3 (Johnson)

► *Énoncé*

Étant donné les fabrications P_i réalisées sur les moyens M1 et M2 conformément aux OF suivants :

P1			P2			P3			P4		
Phase	Moyen	Temps									
10	M1	20	10	M1	10	10	M1	14	10	M1	12
20	M2	25	20	M2	8	20	M2	11	20	M2	10

P5			P6			P7			P8		
Phase	Moyen	Temps									
10	M1	12	10	M1	18	10	M1	25	10	M1	15
20	M2	15	20	M2	12	20	M2	20	20	M2	20

Le temps interopérateur correspondant au transfert des produits entre les moyens sera considéré comme nul.

► *Travail demandé*

- Calculer la durée de fabrication de ces 8 produits si on les fabrique au plus tôt dans l'ordre des numéros de produit. Quel est le temps d'inactivité de chaque moyen ?
- Calculer la durée de fabrication de ces 8 produits si on les fabrique au plus tôt dans l'ordre déterminé par l'algorithme de Johnson.
 - Quel est le temps d'inactivité de chaque moyen ?
 - Quel gain obtient-on en appliquant cet algorithme ?

Exercice 2.4 (Johnson généralisé)

► *Énoncé*

Soit une ligne de fabrication de 7 postes (P1 à P7) sur laquelle on désire réaliser les 8 produits (A à H) suivants :

A			B			C			D		
Phase	Moyen	Temps									
10	P1	15	10	P1	3	10	P1	4	10	P1	12
20	P2	2	20	P2	5	20	P2	11	20	P2	20
30	P3	7	30	P3	7	30	P3	12	30	P3	5
40	P4	7	40	P4	12	40	P4	7	40	P4	3
50	P5	12	50	P5	1	50	P5	18	50	P5	12
60	P7	5	60	P6	1	60	P6	3	60	P6	3
			70	P7	2	70	P7	9	70	P7	9

E			F			G			H		
Phase	Moyen	Temps									
10	P2	1	10	P1	5	10	P1	3	10	P1	7
20	P4	5	20	P3	3	20	P4	12	20	P2	1
30	P6	3	30	P4	5				30	P3	11
40	P7	2	40	P5	11				40	P4	2
			50	P6	5				50	P5	9
			60	P7	5				60	P6	8
									70	P7	7

Exercices

Dans cet exercice, nous estimerons que le temps de transfert des produits entre les postes est négligeable.

► Travail demandé

1. Indiquez l'algorithme d'ordonnancement qui permet de minimiser le temps global de réalisation de ces 8 produits (A à H).
2. Trouver l'ordre de fabrication de ces 8 produits en appliquant l'algorithme que vous proposez.
3. Représenter graphiquement la prévision de réalisation au plus tôt de ces fabrications dans le temps :
 - 3.1. Les produits en ordonnées
 - 3.2. Les moyens en ordonnées.

Exercice 2.5 (Calcul et lissage de charges)

► Énoncé

Lors de l'établissement de son planning d'atelier, le responsable de l'ordonnancement d'une entreprise de mécanique constate le vendredi soir de la semaine 2006-39, pour un des postes de charge indépendant d'une de ses sections d'atelier, la répartition des charges suivante :

Semaine	2006-40		2006-41		2006-42		2006-43		2006-44		2006-45	
Charges prévues (h)	OF10	5,00	OF16	10,00	OF11	7,00	OF17	3,00	OF19	7,00	OF21	8,00
	OF15	9,00	OF09	8,00	OF18	6,00	OF22	10,00	OF23	8,00	OF26	5,00
	OF12	7,00	OF13	10,00	OF20	8,00	OF27	7,00	OF25	9,00	OF28	7,00
	OF14	4,00			OF24	5,00	OF30	7,00			OF29	9,00
	OF32	8,00					OF31	8,00			OF33	8,00

Compte tenu de l'organisation mise en place dans cette entreprise, ces charges concernent des fabrications qui ont été jalonnées au plus tard.

Octobre 2006

S 40							S 41							S 42							S 43							S 44		
D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Novembre 2006

S 44					S 45							S 46							S 47							S 48			
M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

L'horaire hebdomadaire de travail de l'entreprise est de 35 heures réparties en 5 jours de 7 heures.

Chaque opérateur est responsable de sa machine et, de ce fait, assure un entretien hebdomadaire qui représente 30 minutes pour chaque poste. Le nettoyage journalier ainsi que les différents arrêts divers représentent également un arrêt d'environ 1/2 heure par jour.

En qualité d'adjoint à ce responsable de l'ordonnancement, vous êtes chargé plus particulièrement du bon fonctionnement de ce poste de charge. En cas de surcharge, il vous est nécessaire de proposer des solutions d'équilibrage qui vous permettent d'effectuer la charge de travail

prévue. Il n'existe malheureusement pas de sous-traitants aptes à vous décharger du travail, par contre, le chef d'entreprise accepte d'autoriser des heures supplémentaires si elles sont correctement justifiées.

Si vous souhaitez déplacer un OF pour effectuer un équilibrage des charges, la nature même du travail, ainsi que l'organisation du travail vous oblige à déplacer la totalité d'un OF sur une semaine (il n'est pas possible de réaliser un OF sur 2 semaines consécutives).

► *Travail demandé*

Pour la période d'étude allant de la semaine 2006-40 à la semaine 2006-45 et une unité de planification correspondant à une semaine :

1. Calculer les taux de chargement, d'utilisation et de disponibilité de ce poste pour chaque période de l'horizon d'étude. En déduire les périodes de surcharge et de sous-charge de ce poste.
2. Dans quel sens doit-on effectuer les décalages d'OF pour effectuer un lissage de charge lorsque celui-ci est possible. Pourquoi ?
3. Vérifier la faisabilité d'un lissage de charge par décalage d'OF. Que constatez-vous ?
4. Prendre les décisions qui s'imposent pour réaliser ces prévisions de charge (donner par semaine la liste des OF à réaliser ainsi que les heures supplémentaires justifiées que vous demandez de faire).

Exercice 2.6 (Optimisation gamme)

► *Énoncé*

Un produit P est réalisé suivant la gamme de fabrication suivante :

Phase	Moyen	Temps	
		TS (ch)	Top (ch)
10	M1	15	9
20	M2	30	20
30	M3	15	8
40	M4	20	11
50	M5	70	20

Il est à noter que les temps de transfert peuvent être estimés à :

- Entre M1 et M2 Temps de transfert = 1 h 30
- Entre M2 et M3 Temps de transfert = 2 h
- Entre M3 et M4 Temps de transfert = 1 h
- Entre M4 et M5 Temps de transfert = 1 h

L'horaire hebdomadaire de travail de l'entreprise est de 35 heures réparties en 5 jours de 7 heures. Chaque opérateur est responsable de sa machine et, de ce fait, assure un entretien hebdomadaire qui représente 30 minutes pour chaque poste. Le nettoyage journalier ainsi que les différents arrêts divers représentent également un arrêt d'environ 1/2 heure par jour.

► *Travail demandé*

Souhaitant définir la politique de lancement en fabrication, on vous demande d'étudier différentes politiques pour une quantité à fabriquer de 300 pièces :

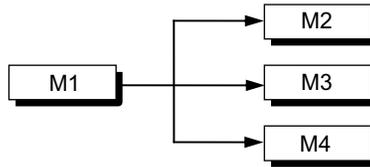
Exercices

1. Durée de fabrication « maximum » (sans chevauchement)
 - 1.1. Représenter le graphique représentant l'évolution de la durée en fonction du temps
 - 1.2. Calculer cette durée (en jours ouvrables)
2. Durée de fabrication avec chevauchement des temps série
 - 2.1. Représenter le graphique représentant l'évolution de la durée en fonction du temps
 - 2.2. Calculer cette durée (en jours ouvrables)
3. Durée de fabrication avec lot de transfert sans chevauchement des temps série
 - 3.1. Représenter le graphique représentant l'évolution de la durée en fonction du temps
 - 3.2. Établir l'équation de la durée de fabrication en fonction de la taille du lot de transfert (LT) et la taille du lot de fabrication (Q)
 - 3.3. Calculer cette durée (en jours ouvrables) pour un lot de transfert de 100 pièces
 - 3.4. Déterminer le lot de transfert qui permettrait de réaliser cet OF en 20 jours ouvrables
 - 3.5. Déterminer la durée minimum de réalisation de cet OF

Exercice 2.7 (Kanban)

► Énoncé

Étant donné la maille Kanban suivante composée des 4 postes de travail M1, M2, M3 et M4.



Le poste M1 est prévu pour fournir des pièces P aux postes M2, M3 et M4. Sachant que :

- l'on consomme :
 - 30 pièces P par jour au poste M2,
 - 45 pièces P par jour au poste M3,
 - 105 pièces P par jour au poste M4.
- l'on souhaite avoir des containers contenant, pour des questions de logistique, plus de 6 pièces P.

► Travail demandé

1. Déterminez le nombre de pièces P que doit contenir chaque container.
2. Combien de « Kanbans » doivent circuler entre M1 et chacun des autres postes (M2, M3, et M4) ?
3. Combien d'emplacements de « Kanbans » doit-on prévoir pour la pièce P sur le TOP du poste M1 ?

Exercice 2.8 (OPT)

► Énoncé

Un produit A est réalisé, sur une chaîne automatisée dédiée uniquement à la fabrication de ce produit, conformément à la gamme de fabrication suivante :

Fabrication Pièce « A »			
Phase	Moyen	Temps opératoire	Opérations
10	M1	0,50 h	Usinage
20	M2	0,42 h	Usinage
30	M3	0,53 h	Montage

► *Travail demandé*

Sachant que cette chaîne automatisée travaille 8 heures par jour.

1. Quelle est la cadence journalière de la chaîne ?
2. Quel est le poste goulot de la chaîne ? Pourquoi ?
3. Quelles sont les valeurs des temps morts sur les postes non-goulots ?

Exercice 2.9 (OPT)

► *Énoncé*

Une pièce est réalisée sur une ligne de fabrication dédiée suivant la gamme de fabrication suivante :

Gamme de fabrication		
Phase	Moyen	Temps (mn)
10	A	10
20	B	5
30	C	10
40	D	15
50	B	15

► *Travail demandé*

Sachant que l'on doit réaliser une commande de 100 pièces pour un client :

1. Quelle est la machine goulot ? Pourquoi ?
2. Combien peut-on faire de pièces par heure sur cette ligne de fabrication en régime établi ? [indiquer la (ou les) règle(s) OPT qui justifie(nt) votre calcul].
3. Calculer la durée du cycle de fabrication de cette commande en considérant que le lot de transfert est égal à 100 ? (En heures et minutes).
4. Diminution du cycle de fabrication
 - 4.1. Que faudrait-il faire pour diminuer ce cycle de fabrication sans diminuer le temps opératoire de chaque phase ?
 - 4.2. Déterminer, dans ce cas, le cycle de fabrication minimum (En heures et minutes).
 - 4.3. Indiquer la (ou les) règle(s) OPT qui justifie(nt) votre proposition.
5. Le chef d'équipe impose à l'opérateur du poste A de produire au maximum de sa cadence pendant 20 heures, pensant que des pièces similaires seront, sans doute, nécessaires ultérieurement dans d'autres commandes. Si ce n'est pas le cas, quelle est la quantité de pièces non utilisées induites par cette décision ? [indiquer la (ou les) règle(s) OPT qui justifie(nt) votre calcul].
6. La machine du poste D tombant très souvent en panne du fait de sa vétusté, sa capacité réelle est estimée à 70 % de sa capacité nominale. Refaire les questions 1 et 2 dans ces nouvelles conditions.

Exercices

Exercice 2.10 (Méthode des chaînons)

► *Énoncé*

Implantation par la méthode des chaînons de 12 moyens notés de A à L :

Produits	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	Quantités (N)	
								N/mois	N/transfert
1	C	I	G	A				1 000	100
2	D	G	L	E				2 000	200
3	K	J	A	G	I			2 400	100
4	A	K	G	D	F			800	200
5	L	I	D	H	A			1 400	200
6	B	J	A	H	F	D	G	8 000	200
7	B	K	G	D	A	H	F	600	100
8	L	C	E					1 800	100

► *Travail demandé*

À partir des gammes et des quantités fournies dans le tableau précédent :

1. Bâtir le tableau des chaînons.
2. Définir l'ordre d'implantation
3. Réaliser un canevas d'implantation par la méthode des chaînons (Indiquer les trafics sur les chaînons).

Corrigé de l'exercice 2.1 (Gestion d'affaire – Pert (délais, coûts))

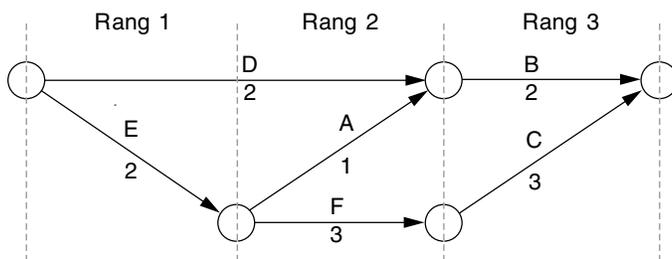
1. Analyse de cette affaire

1.1. Graphe de cette affaire

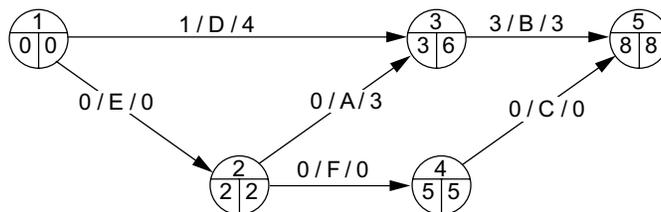
- Recherche du rang de chaque tâche

Rang 1			Rang 2			Rang 3		
Tâche	Antériorité	Rang	Tâche	Antériorité	Rang	Tâche	Antériorité	Rang
A	E		A	E	2	A	E	2
B	A, D		B	A, D		B	A, D	3
C	F		C	F		C	F	3
D	–	1	D	–	1	D	–	1
E	–	1	E	–	1	E	–	1
F	E		F	E	2	F	E	2

- Construction du graphe



1.2. Chemin critique et marges de chaque tâche

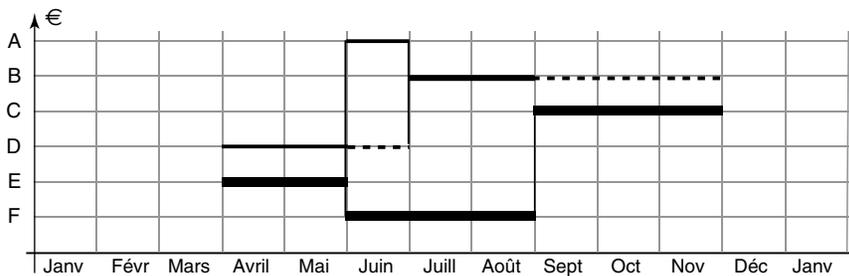


	A	B	C	D	E	F
Durée	1	2	3	2	2	3
Début + Tôt	2	3	5	0	0	2
Début + Tard	5	6	5	4	0	2
Fin + Tôt	3	5	8	2	2	5
Fin + Tard	6	8	8	6	2	5
Marge totale	3	3	0	4	0	0
Marge libre	0	3	0	1	0	0
Chemin Critique			x		x	x

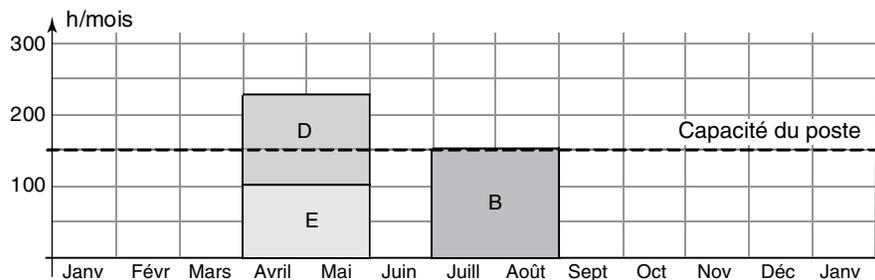
2. Dans une politique de planification qui maximise la sécurité sur les délais

2.1. Établissez le diagramme de GANTT

Une politique qui vise à maximiser la sécurité consiste à placer l'ensemble des tâches au plus tôt. Les dates « relatives » sont transformées en dates réelles.



2.2. Dessinez le diagramme de charge du moyen ME2



2.3. Conclusion ?

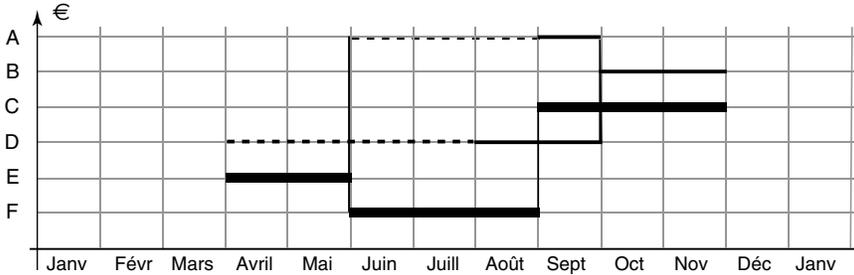
Dans le cas d'un chargement au plus tôt, le poste ME2 est en surcharge. Il est donc nécessaire de chercher une solution d'équilibrage :

- Par augmentation de la capacité : heures supplémentaires...
- Par diminution des charges : Sous-traitance, utilisation des marges pour décalage de la tâche D...
- Combinatoire des 2 types de solutions.

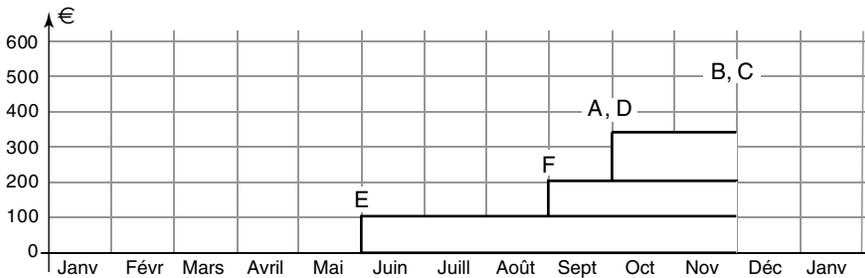
3. Avec une politique de planification qui minimise les coûts financiers

3.1. Diagramme de GANTT

Diagramme de GANTT au plus tard, pour minimiser les coûts financiers liés à l’immobilisation des capitaux :



3.2. Diagramme d’immobilisation financière, avec calage au plus tard



Corrigé de l’exercice 2.2 (Pert probabiliste)

1. Durée moyenne de réalisation de cette construction

Pour déterminer la durée de la réalisation, il faut raisonner sur le chemin critique.

La tâche la plus tardive étant la tâche D, on peut en déduire la durée totale de la réalisation :

$$\text{Durée} = \text{Début de la tâche D} + \text{Durée de la tâche D} = 15 + 8 = 23 \text{ jours}$$

2. Probabilité de réaliser cette construction en 25 jours

Le calcul s’effectue sur les n tâches composant le chemin critique. Pour chacune d’entre elles,

on calcule l’écart type correspondant : $\sigma = \sqrt{\left(\frac{t_p - t_o}{6}\right)^2}$

Sachant que l’espérance mathématique, ou variance, d’une somme de variables aléatoires indépendantes est égale à la somme des espérances mathématiques de ces variables, il est possible

de déterminer l’écart type relatif à l’ensemble de la fabrication : $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} \sigma_i^2}$.

Tâche	t_o	t_r	t_p	t_m	σ^2	σ
A	12	14,5	20	15	1,78	1,334
D	4	7,5	14	8	2,78	1,667
Σ				23	4,56	2,135

De plus, en estimant que la somme de n variables aléatoires tend à suivre une loi normale \mathcal{N} quand n augmente, quelles que soient les lois de probabilité suivies par ces variables, on en tire la distribution de probabilité de la durée minimale d'exécution de la fabrication.

Dans notre exemple, si D est la variable aléatoire continue mesurant la durée du chemin critique en unités de temps, D suit la loi :

$$D = \mathcal{N}(23 ; 2,135)$$

Attention : Cette loi ne devrait pas s'appliquer à notre exemple, car n est beaucoup trop petit, mais nous l'avons utilisé pour expliquer le raisonnement.

On peut alors déterminer la probabilité de réaliser la fabrication de durée D en L unités de temps $\mathcal{P}(D \leq L)$:

$$\begin{aligned} \mathcal{P}(D \leq L) &= \mathcal{P}\left(\frac{(D - t_m)}{\sigma} \leq \frac{(L - t_m)}{\sigma}\right) \rightarrow \mathcal{P}\left(T \leq \frac{25 - 23}{2,135}\right) \\ &= \mathcal{P}(T \leq 0,9367) = \Pi(0,94) \end{aligned}$$

En considérant la fonction de répartition de la loi normale, centrée, réduite, on utilise le tableau de répartition d'une probabilité d'une valeur inférieure à t :

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7290	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9779	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9961	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

Corrigés des exercices

Dans notre exemple, nous trouvons $\mathcal{P}(D \leq 25) = 82,64 \%$

3. Recherche d'une probabilité minimum de 95 %

3.1. Durée de fabrication assurant une probabilité minimum de 95 %

Pour trouver la limite acceptable, nous tenons le raisonnement inverse. 95%, obtenu par extrapolation linéaire, nous permet de dire que $\mathcal{P}(D \leq L) = \Pi(1,645)$

$$\text{On en déduit que } \frac{L - 23}{2,135} = 1,645,$$

ce qui nous donne $L = 23 + (1,645 \times 2,135) = 26,51$ jours.

Comme nous devons avoir un nombre entier de jours, cela nous donne un délai de 27 jours.

3.2. Probabilité de réaliser cette construction en 27 jours

Nous rappliquons le raisonnement de la question 2 pour déterminer cette probabilité :

$$\begin{aligned} \mathcal{P}(D \leq L) &= \mathcal{P}\left(\frac{(D - t_m)}{\sigma} \leq \frac{(L - t_m)}{\sigma}\right) \rightarrow \mathcal{P}\left(T \leq \frac{27 - 23}{2,135}\right) \\ &= \mathcal{P}(T \leq 1,8735) = \Pi(1,873) \end{aligned}$$

Par extrapolation linéaire, on trouve une probabilité réelle de :

$$\mathcal{P}(D \leq 27) = 0,9693 + ((0,9699 - 0,9693) \times 0,35) = 96,95 \%$$

4. Dates de début au plus tôt de chaque tâche

La date de début au plus tôt de la construction est obtenue en plaçant au plus tard le chemin critique. Cela nous donne un début de réalisation le 15 février 2006. À partir de cette date, il est possible de déterminer les dates au plus tôt de chaque tâche :

Février 2006

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	
A															—	—	—			—	—	—	—	—			—	—	
B																													
C																													
D																													
E															—	—	—			—	—	—	—						
F																													
G																													

Mars 2006

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	
A	—	—	—			—	—																						
B										—			—	—															
C								—	—																				
D								—	—	—			—	—	—	—	—												
E																													
F								—																					
G										—			—	—															

On en déduit le tableau de lancement en fabrication au plus tôt suivant :

Tâche	Début au plus tôt
A	Mercredi 15 février 2006
B	Vendredi 10 mars 2006
C	Mercredi 8 mars 2006
D	Mercredi 8 mars 2006
E	Mercredi 15 février 2006
F	Mercredi 8 mars 2006
G	Vendredi 10 mars 2006

5. Réponse pour un démarrage de E le 2 mars 2006 au matin

Avant de prendre une décision, il est nécessaire de calculer les marges de cette tâche.

Marge totale = Début au plus tard – Début au plus tôt = 13 – 0 = 13 Jours

Marge libre = Début au plus tôt des tâches suivantes – Fin au plus tôt de la tâche
 = 17 – 7 = 10 jours.

En connaissance de ces informations, il est possible d’accepter la demande du responsable de la tâche E de démarrer le 2 mars, mais il faut se souvenir, ou prévenir, que les tâches B et G ne pourront démarrer au plus tôt que le lundi 13 mars 2006.

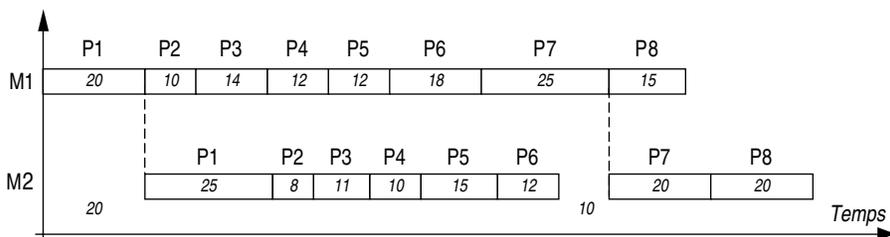
6. Réponse pour un démarrage de B le plus tôt possible

Compte tenu de la réponse précédente, la tâche B ne peut démarre au plus tôt que le lundi 13 mars 2006.

Corrigé de l’exercice 2.3 (Johnson)

1. Ordre d’arrivée des fabrications

Durée de fabrication dans l’ordre des numéros de produit.



Durée de fabrication = 20 + 10 + 14 + 12 + 12 + 18 + 25 + 20 + 20 = 151

Temps d’inactivité du moyen M2 : 20 + 10 = 30

2. Application de l’algorithme de Johnson

Ensemble E1 des pièces dont $T_{m1} \leq T_{m2}$: P1, P5, P8

Ensemble E2 des pièces dont $T_{m1} > T_{m2}$: P2, P3, P4, P6, P7

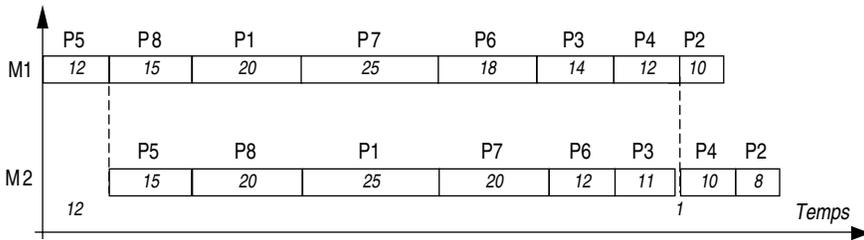
E1 dans l’ordre croissant de T_{m1} : P5, P8, P1

E2 dans l’ordre décroissant de T_{m2} : P7, P6, P3, P4, P2

Corrigés des exercices

ce qui nous donne l'ordre final :

P5, P8, P1, P7, P6, P3, P4, P2



Durée de fabrication = $12 + 15 + 20 + 25 + 18 + 14 + 12 + 10 + 8 = 134$

2.1. Temps d'inactivité de chaque moyen

Temps d'inactivité du moyen M1 : 0

Temps d'inactivité du moyen M2 : $12 + 1 = 13$

2.2. Gain obtenu en appliquant cet algorithme

Gain sur la durée de fabrication : $151 - 134 = 17$ qui se retrouve sur une amélioration de l'activité de M2 : $30 - 13 = 17$

Corrigé de l'exercice 2.4 (Johnson généralisé)

1. Algorithme d'ordonnement pour minimiser le temps global

Pour trouver l'ordre des fabrications, nous devons appliquer l'algorithme de Johnson généralisé. Pour cela il faut s'assurer que tous les moyens sont bien utilisés en séquence. Il suffit qu'un seul ne réponde pas à cette condition pour que l'algorithme ne s'applique pas.

2. Ordre de fabrication des 8 produits en appliquant cet algorithme

Pour chaque fabrication :

- Faire la somme des phases (N)
- Calculer $x = N - \text{dernière phase}$ (somme des $n - 1$ premières phases)
- Calculer $y = N - \text{première phase}$ (somme des $n - 1$ dernières phases)
- Calculer le rapport $k = \frac{x}{y}$
- L'ordre des fabrications est défini par l'ordre croissant de ce rapport k.

Appliqué à l'exercice, nous trouvons :

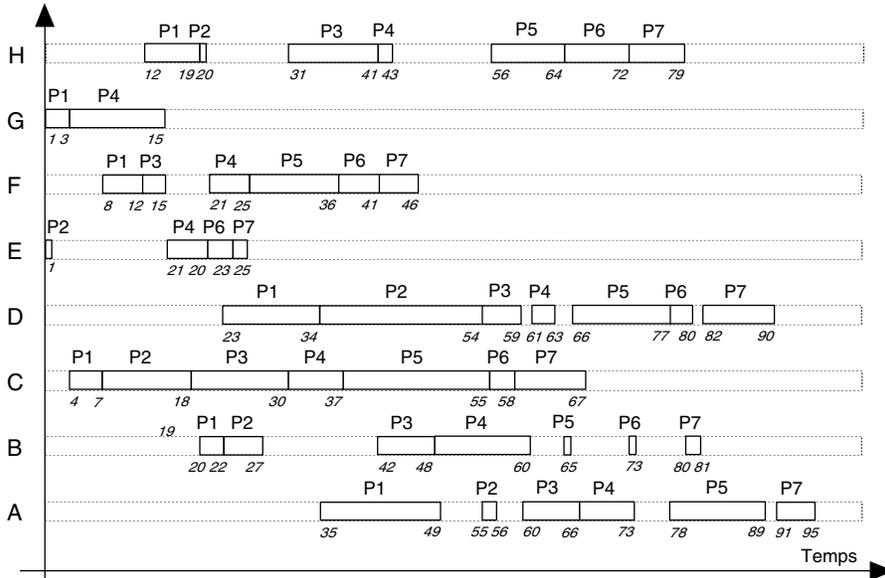
	A	B	C	D	E	F	G	H
P1	15	3	4	12		5	3	7
P2	2	5	11	20	1			1
P3	7	7	12	5		3		11
P4	7	12	7	3	5	5	12	2
P5	12	1	18	12		11		9
P6		1	3	3	3	5		8
P7	5	2	9	9	2	5		7
Σ	48	31	64	64	11	34	15	45
$x = \Sigma(n-1 \text{ prem})$	43	29	55	55	9	29	3	38
$y = \Sigma(n-1 \text{ dern})$	33	28	60	52	10	29	12	38
x/y	1,30	1,03	0,92	1,05	0,90	1	0,25	1

Ce qui nous donne l'ordre de fabrication suivant : G, E, C, F, H, B, D, A

3. Planning prévisionnel de réalisation des fabrications

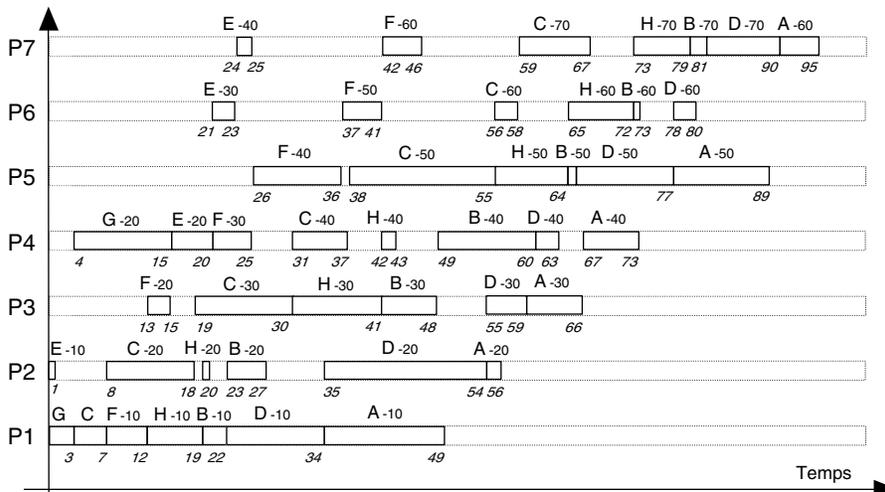
Le jalonnement se fait au plus tôt dans l'ordre donné par l'algorithme de Johnson généralisé.

3.1. Produits en ordonnées (planning destiné au service commercial)



Remarque : Nous pouvons noter, dans ce type de planning, la difficulté de voir la disponibilité des moyens lorsque l'on place une commande sur le planning.

3.2. Moyens en ordonnées (planning destiné à l'atelier)



Remarque : Ces deux plannings sont indispensables dans l'entreprise. Toutefois, compte tenu de la difficulté que nous avons rencontrée lors de l'élaboration du planning avec les produits en ordonnées, dans l'entreprise on établira en premier le planning d'utilisation des moyens et nous en dédierons le planning de réalisation des produits.

Corrigé de l'exercice 2.5 (Calcul et lissage de charges)

1. Calcul des différents taux du poste

1.1. Capacités du poste

La capacité réelle de fabrication des lundi, mardi, mercredi et jeudi est de :

$$7 \text{ h} - 0,5 \text{ h (arrêts divers)} = 6,5 \text{ heures.}$$

Pour le vendredi, la capacité réelle de fabrication est de :

$$7 \text{ h} - 0,5 \text{ h (arrêts divers)} - 0,5 \text{ h (entretien hebdomadaire)} = 6 \text{ heures.}$$

Pour les semaines 2006-40 à 2006-45, sauf la semaine 95-44, nous avons donc une capacité réelle de : $(6,5 \text{ h} \times 4 \text{ jours}) + 6 \text{ h} = 32 \text{ heures.}$

Pour la semaine 95-44, nous avons un jour férié (le 1^{er} novembre) ce qui nous donne une capacité réelle de : $(6,5 \text{ h} \times 3 \text{ jours}) + 6 \text{ h} = 25,5 \text{ heures.}$

1.2. Taux de chargement de ce poste

Semaine	2006-40	2006-41	2006-42	2006-43	2006-44	2006-45						
Capa théorique (h)	35	35	35	35	28	35						
Capa Réelle (h)	32	32	32	32	25,5	32						
Σ Charges (h)	33	28	26	35	24	37						
Charges prévues (h)	OF10	5,00	OF16	10,00	OF11	7,00	OF17	3,00	OF19	7,00	OF21	8,00
	OF15	9,00	OF09	8,00	OF18	6,00	OF22	10,00	OF23	8,00	OF26	5,00
	OF12	7,00	OF13	10,00	OF20	8,00	OF27	7,00	OF25	9,00	OF28	7,00
	OF14	4,00			OF24	5,00	OF30	7,00			OF29	9,00
	OF32	8,00					OF31	8,00			OF33	8,00
Taux chargement	103,13%	87,50%	81,25%	109,38%	94,12%	115,63%						
Taux Utilisation	94,29%	80,00%	74,29%	100,00%	85,71%	105,71%						
Taux Disponibilité	91,43%	91,43%	91,43%	91,43%	91,07%	91,43%						

1.3. Périodes de surcharge et de sous-charge du poste

On en déduit les périodes de surcharge de ce poste (taux de charge > 100 %) : Ces zones sont en grisé sur le tableau précédent. toutes les autres périodes sont en sous-charge.

Périodes de surcharge : Semaines 2006-40, 2006-43 et 2006-45

Périodes de sous-charge : Semaines 2006-41, 2006-42 et 2006-44

2. Sens des décalages d'OF pour effectuer un lissage de charge

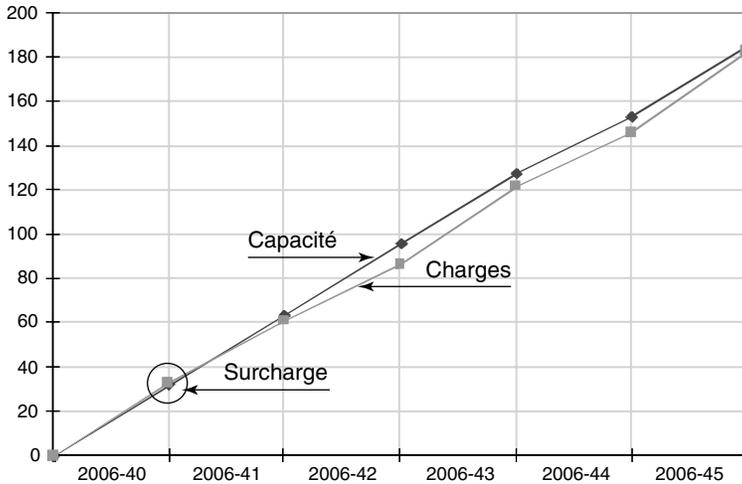
Si nous souhaitons décaler des OF pour effectuer un lissage, il faut le faire par l'amont car les OF ont été planifiés au plus tard. Cela revient à anticiper les besoins.

3. Faisabilité d'un lissage de charge par décalage d'OF

La vérification de la faisabilité de lissage par décalage consiste à comparer les courbes cumulées des capacités et charges sur la période.

	2006-40	2006-41	2006-42	2006-43	2006-44	2006-45
Capacité	32,00	32,00	32,00	32,00	25,50	32,00
Capacités cumulées	32,00	64,00	96,00	128,00	153,50	185,50
Charges	33,00	28,00	26,00	35,00	24,00	37,00
Charges cumulées	33,00	61,00	87,00	122,00	146,00	183,00

D'après le graphique des charges et des capacités cumulées, nous constatons que toute surcharge ponctuelle est lissable car le cumul des charges est toujours inférieur au cumul des capacités.



4. Planning des fabrications

Le lissage des charges consiste à prendre toute décision sur les lancements d'OF qui conduit à éliminer toute surcharge de poste et cherche à diminuer la sous-charge des postes. Il faut d'abord chercher à décaler les fabrications (ne conduit qu'à une augmentation des en-cours) avant d'envisager d'autres solutions (Sous-traitance, heures supplémentaires...).

Nous proposons d'avancer :

l'OF 17 de la semaine 2006-43 à la semaine 2006-41 et

l'OF 26 de la semaine 2006-45 à la semaine 2006-42

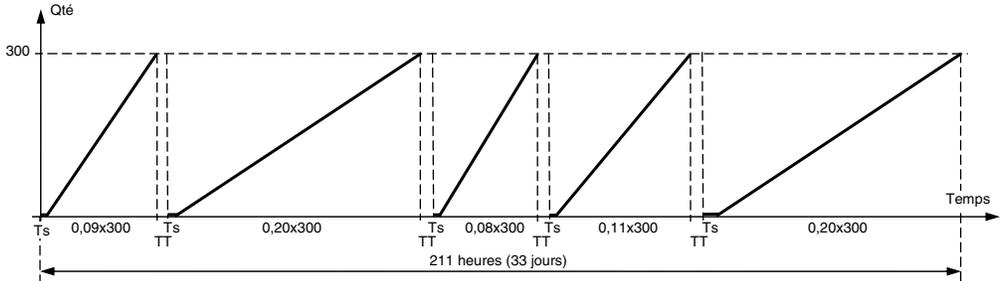
La courbe des charges cumulées et le résultat du décalage des OF nous démontrent que nous avons une surcharge non décalable d'une heure en semaine 2006-40. Il faut donc prévoir une heure supplémentaire cette semaine-là.

Semaine	2006-40	2006-41	2006-42	2006-43	2006-44	2006-45
Capacité (h)	32	32	32	32	25,5	32
Charges (h)	OF10 5,00	OF16 10,00	OF11 7,00	OF22 10,00	OF19 7,00	OF21 8,00
	OF15 9,00	OF09 8,00	OF18 6,00	OF27 7,00	OF23 8,00	OF28 7,00
	OF12 7,00	OF13 10,00	OF20 8,00	OF30 7,00	OF25 9,00	OF29 9,00
	OF14 4,00	OF17 3,00	OF24 5,00	OF31 8,00		OF33 8,00
	OF32 8,00		OF26 5,00			
Σ Charges (h)	33,00	31,00	31,00	32,00	24,00	32,00
Heures supp	1					

Corrigé de l'exercice 2.6 (Optimisation gamme)

1. Durée de fabrication « maximum » (sans chevauchement)

1.1. Graphique de la durée en fonction du temps



1.2. Calculer cette durée

$$\text{Durée} = 0,15 + (0,09 \times 300) + 1,5 + 0,30 + (0,20 \times 300) + 2 + 0,15 + (0,08 \times 300) + 1 + 0,20 + (0,11 \times 300) + 1 + 0,70 + (0,20 \times 300)$$

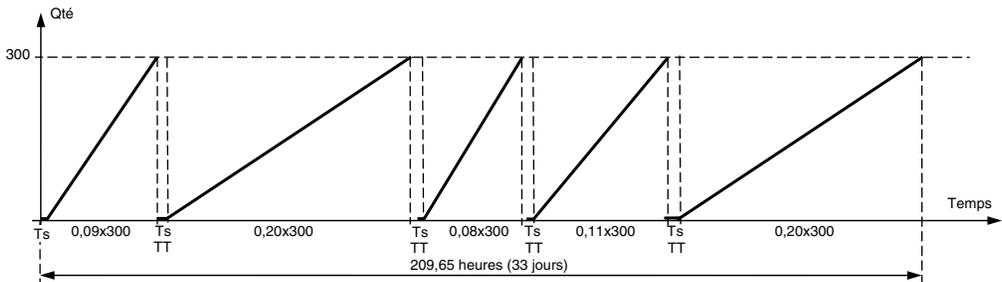
$$\text{Durée} = 0,15 + 27 + 1,80 + 60 + 2,15 + 24 + 1,20 + 33 + 1,70 + 60 = 211 \text{ heures}$$

$$\text{Durée} = \frac{211}{6,5} = 33 \text{ jours}$$

2. Durée de fabrication avec chevauchement des temps série

Une première optimisation consiste à anticiper le réglage du poste (temps série masqué) afin de pouvoir commencer à fabriquer dès l'arrivée des pièces.

2.1. Graphique de la durée en fonction du temps



2.2. Calculer cette durée (en jours ouvrables)

$$\text{Durée} = 0,15 + (0,09 \times 300) + 1,5 + (0,20 \times 300) + 2 + (0,08 \times 300) + 1 + (0,11 \times 300) + 1 + (0,20 \times 300)$$

$$\text{Durée} = 0,15 + 27 + 1,50 + 60 + 2 + 24 + 1 + 33 + 1 + 60 = 209,65 \text{ heures}$$

$$\text{Durée} = \frac{209,65}{6,5} = 33 \text{ jours}$$

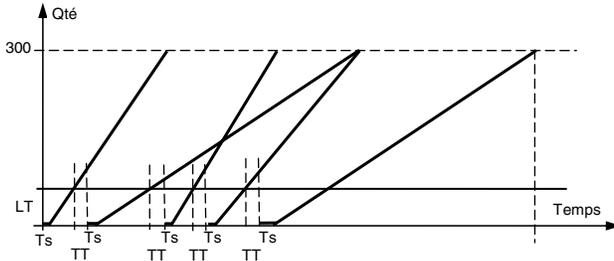
Commentaire : Les temps série étant faibles, une anticipation des réglages machine n'apporte pas d'amélioration

3. Durée de fabrication avec lot de transfert sans chevauchement des temps série

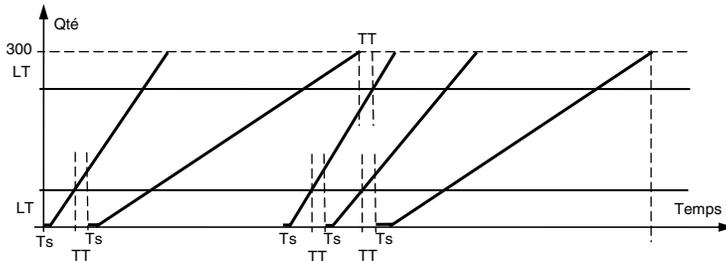
Une autre optimisation consiste à transmettre les pièces d'un poste à l'autre par lots de transfert.

3.1. Graphique de l'évolution de la durée en fonction du temps et du lot de transfert

En réalisant ce graphique, nous remarquons qu'il y a au moins un point de rupture entre la phase 20 et la phase 30.



Il est nécessaire, dans la construction de ce graphe, de s'assurer que toutes les pièces sont traitées. Lorsque le temps opératoire d'une phase est plus faible que le temps opératoire de la phase précédente, il faut synchroniser les pièces « par le haut ». Ce qui nous donne :



3.2. Équation de la durée de fabrication en fonction de la taille du lot de transfert (LT)

$$\text{Durée} = Ts_{\varphi 10} + \text{Top}_{\varphi 10} \times LT + TT_{\varphi 10 - \varphi 20} + Ts_{\varphi 20} + \text{Top}_{\varphi 20} \times Q + TT_{\varphi 20 - \varphi 30} - \text{Top}_{\varphi 30} \times (Q - 2LT) + TT_{\varphi 30 - \varphi 40} + Ts_{\varphi 40} + \text{Top}_{\varphi 40} \times LT + TT_{\varphi 40 - \varphi 50} + Ts_{\varphi 50} + \text{Top}_{\varphi 50} \times Q$$

$$\text{Durée} = (Ts_{\varphi 10} + TT_{\varphi 10 - \varphi 20} + Ts_{\varphi 20} + TT_{\varphi 20 - \varphi 30} + TT_{\varphi 30 - \varphi 40} + Ts_{\varphi 40} + TT_{\varphi 40 - \varphi 50} + Ts_{\varphi 50}) + LT \times (\text{Top}_{\varphi 10} + 2 \text{Top}_{\varphi 30} + \text{Top}_{\varphi 40}) + Q \times (\text{Top}_{\varphi 20} - \text{Top}_{\varphi 30} + \text{Top}_{\varphi 50})$$

Application numérique :

$$\text{Durée} = (0,15 + 1,50 + 0,30 + 2,00 + 1,00 + 0,20 + 1,00 + 0,70) + LT \times 0,09 + 2 \times 0,08 + 0,11 + Q \times 0,20 - 0,08 + 0,20$$

$$\text{Durée} = 6,85 + 0,36 LT + 0,32 Q$$

3.3. Durée de fabrication pour Q = 300 et LT = 100

$$\text{Durée} = 6,85 + 0,36 \times 100 + 0,32 \times 300 = 6,85 + 36 + 96 = 138,85 \text{ heures}$$

$$\text{Durée} = \frac{138,85}{6,5} = 22 \text{ jours}$$

3.4. Lot de transfert pour réaliser cet OF en 20 jours ouvrables

$$\text{Durée} = 102,85 + 0,36 LT = 6,5 \times 20 = 130 \text{ heures}$$

$$LT = \frac{130 - 102,85}{0,36} = 75 \text{ pièces}$$

Corrigés des exercices

3.5. Durée minimum de réalisation

La durée minimum de réalisation est obtenue lorsque le lot de transfert = 1 pièce

$$\text{Durée} = 102,85 + 0,36 = 103,21 \text{ heures}$$

$$\text{Durée} = \frac{103,21}{6,5} = 16 \text{ jours}$$

Corrigé de l'exercice 2.7 (Kanban)

1. Détermination de la taille des containers

Rappel : Tous les containers d'une même pièce sortant d'un poste contiennent le même nombre de pièces.

Une étude des possibilités des tailles des containers nous montre les combinaisons suivantes :

Entre M1 et M2		Entre M1 et M3		Entre M1 et M4	
Nb Kanbans	Nb Pièces	Nb Kanbans	Nb Pièces	Nb Kanbans	Nb Pièces
1	30	1	45	1	105
2	15	3	15	3	35
3	10	5	9	5	21
5	6	9	5	7	15
6	5	15	3	15	7
10	3	45	1	21	5
15	2			35	3
30	1			105	1

Nous constatons que les solutions possibles sont des containers de 15, 5, 3 ou 1 pièces.

Comme nous devons avoir des containers de plus de 6 pièces, chaque container contiendra 15 pièces.

2. Nombre de containers en circulation entre chaque poste

- Entre M1 et M2 nous aurons 2 containers
- M1 et M3 3 containers
- M1 et M4 7 containers.

3. Nombre d'emplacements Kanbans à prévoir

Nous devons prévoir, pour cette pièce, une place par container en circulation. Il faut donc prévoir 12 emplacements Kanbans pour cette pièce dans le TOP de la machine M1.

Corrigé de l'exercice 2.8 (OPT)

1. Cadence journalière de la chaîne

- Cadence journalière de chaque poste

La cadence d'un poste correspond aux nombres de pièces que ce poste peut réaliser par heure. Ici, nous obtenons donc :

$$\text{Cadence de M1 : } \frac{8}{0,5} = 16 \text{ pièces/heure}$$

$$\text{Cadence de M2 : } \frac{8}{0,42} = 19 \text{ pièces/heure}$$

$$\text{Cadence de M3 : } \frac{8}{0,53} = 15 \text{ pièces/heure}$$

- Cadence journalière de la chaîne

La cadence journalière de la chaîne est égale à la plus petite cadence des postes la constituant. En conséquence, on en déduit que cette chaîne est capable de produire 15 pièces par heure.

2. Poste goulot de la chaîne

Le poste M3 est le poste goulot car c'est celui :

- qui va le moins vite ou
- qui a le temps de fabrication le plus long.

3. Valeurs des temps morts sur les postes non-goulots

Les temps morts correspondent aux temps d'inoccupation des postes.

$$\text{Temps mort de M1 : } 8 - (15 \times 0,5) = 8 - 7,5 = 0,5 \text{ heure}$$

$$\text{Temps mort de M2 : } 8 - (15 \times 0,42) = 8 - 6,3 = 1,7 \text{ heure.}$$

Corrigé de l'exercice 2.9 (OPT)

1. Recherche de la machine goulot

Dans une production régulière sur une ligne de fabrication, le débit de la chaîne est égal au débit du plus faible maillon.

Le poste goulot est donc celui qui va le moins vite, c'est-à-dire celui sur lequel le travail dure le plus longtemps.

Temps d'utilisation de chaque poste pour une pièce de cette commande :

$$A = 10 \text{ min} \quad B = 5 + 15 = 20 \text{ min} \quad C = 10 \text{ min} \quad D = 15 \text{ min}$$

Le poste goulot est donc le poste B.

2. Cadence horaire de la chaîne

Compte tenu de la réponse précédente, nous ferons : $\frac{60}{20} = 3$ pièces par heure

3. Durée du cycle de fabrication de la commande

$$\text{Durée} = (10 \times 100) + (5 \times 100) + (10 \times 100) + (15 \times 100) + (15 \times 100) = 5\,500 \text{ min}$$

Soit 91 heures 40 minutes.

4. Diminution ce cycle de fabrication sans diminuer le temps opératoire

4.1. Diminuer du cycle de fabrication sans diminuer le temps opératoire de chaque phase

Il est possible de diminuer le cycle de fabrication en adoptant une taille de lot de transfert inférieur à la taille du lot de fabrication.

4.2. Cycle de fabrication minimum (En heures et minutes)

Ce cycle minimum est atteint lorsque le lot de transfert est égal à 1. Il est alors égal à :

$$(25 \times 1) + (20 \times 100) = 2\,025 \text{ minutes} \quad \text{Soit 33 heures 45 minutes}$$

4.3. Règle OPT justifiant la proposition

Règle 7 : Souvent, le lot de transfert ne doit pas être égal au lot de fabrication.

5. Nombre de pièces induites par la décision

Comme le poste A n'est pas affecté pendant 20 heures à la fabrication de ce type de pièces,

Corrigés des exercices

celui-ci pourra faire pendant ce temps : $\frac{20 \times 60}{10} = 120$ pièces. Cette décision aura permis de générer 20 pièces supplémentaires dans le stock.

Règle 2 : Le niveau d'utilisation d'un non-goulet n'est pas déterminé par son propre potentiel mais par d'autres contraintes du système.

Règle 3 : Utilisation et plein emploi d'une ressource ne sont pas synonymes.

6. Étude de la nouvelle machine goulot

Le poste D n'ayant que 70% de sa capacité nominale, ne pourra produire par heure que :

$$\frac{60 \times 0,70}{15} = 2,8 \text{ pièces par heure}$$

Cette cadence étant inférieure à la plus petite cadence précédente, c'est maintenant D qui devient poste goulot.

Corrigé de l'exercice 2-10 (Méthode des chaînons)

1. Bâter le tableau des chaînons.

Recherche du nombre de transferts

Produits	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7	Quantités (N)		Nb transferts
								N/mois	N/transfert	
1	C	I	G	A				1 000	100	10
2	D	G	L	E				2 000	200	10
3	K	J	A	G	I			2 400	100	24
4	A	K	G	D	F			800	200	4
5	L	I	D	H	A			1 400	200	7
6	B	J	A	H	F	D	G	8 000	200	40
7	B	K	G	D	A	H	F	600	100	6
8	L	C	E					1 800	100	18

	L	K	J	I	H	G	F	E	D	C	B	A
A		4	24 40		7 40	6 10 24			6			5 161
B		6	40								2 46	
C	18			10				18		3 46		
D				7	7	10 4	40 6	4 40	5 124			
E	10							2 28				
F					40 6		2 90					
G	10	4 6		10 24		5 148						
H					3 106							
I	7			4 58								
J		24	3 128									
K		4 44										
L	4 45											

2. Ordre d'implantation

Nous trions ce tableau avec comme critères :

- 1^{er} critère : Nombre de chaînons
- 2^e critère : Nombre de liaisons

Appliqué à l'exercice, nous trouvons l'ordre suivant : A(5/161), G(5/148), D(5/124), I(4/58), L(4/45), K(4/44), J(3/128), H(3/106), C(3/46), F(2/90), B(2/46), E(2/28)

3. Canevas d'implantation

