

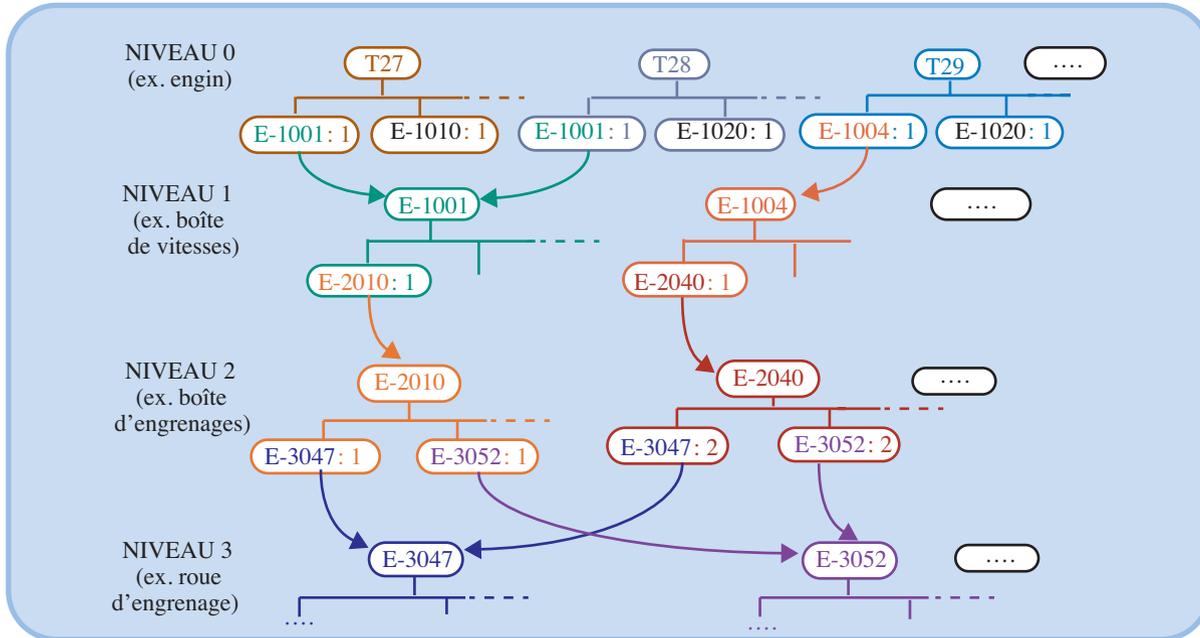
# TECHNIQUES DE PLANIFICATION DE LA PRODUCTION

## I LES PRINCIPES DE BASE DE FONCTIONNEMENT DE TOUTE MRP

- **Planification de la production**: décision tactique dans systèmes productifs produisant pour stock ou assemblant à la commande; programmation de la production
- **MRP**
  - **MRP**, *Material Requirement Planning*, capacités infinies **MRP I** ou « mrp » (little MRP)
  - **MRP II**, *Manufacturing Resource Planning*, ajustement charge - capacité, sur  $\mathcal{E}$  de MRP I
  - Logiciel visant à **contrôler**  $\mathcal{E}$  **des ressources**:
    - années 70 (contingence)
    - 80 BDR  $\rightarrow$  ERP, *Enterprise Resources Planning* (ou ERM, *Enterprise Resources Management*); architecture modulaire permettant de composer à la carte un système de gestion sur mesure, s'appuyant sur une BDR partagée par tous; module de MRP II
- **Définition MRP**: démarche simulateur utilisant des heuristiques de résolution de problèmes anticipés, s'appuyant sur SI complet et visant à déterminer une programmation détaillée au plus tard de la production pour satisfaire  $\mathcal{E}$  demandes finales d'un ensemble de périodes à venir

• **Concepts mobilisés :**

- **PDP**, Plan Directeur de Production programmation de la mise à disposition des produits finis, aux Services Commerciaux
- **Nomenclature** : codification exhaustive et non ambiguë de tous les composants



- **SI fiable** (stock...)
- **Délai d'obtention** : intervalle de temps séparant lancement en production d'une référence de sa livraison













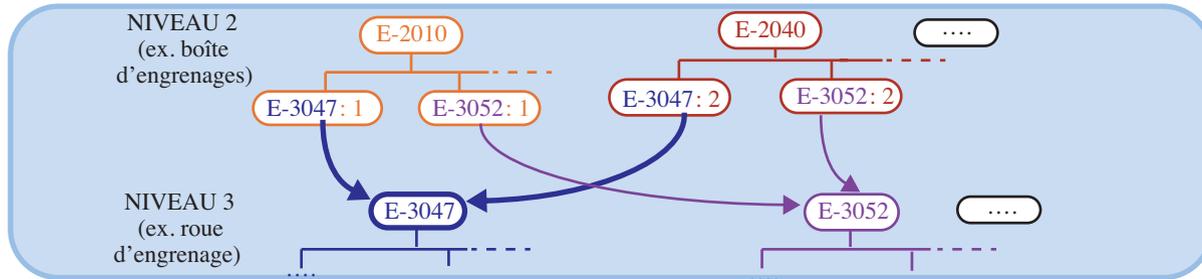


- Mécanisme de base

## Positions de stock finales

Période $t$	15	16	17	18	19	20	21	22
Besoins Bruts (BB <sub><i>t</i></sub> ) du E-2010	-	30	10	20	26	14	20	15
Livraisons attendues (Q <sub><i>t</i></sub> ) du E-2010 (effectuées en début de période)	-	22	13	0	0	0	0	0
Position de Stock (PS <sub><i>t</i></sub> ) du E-2010 (définie en fin de période, en l'absence de décision de nouvelles livraisons)	12	4	7	-13	-39	-53	-73	-88
Besoins Nets (BN <sub><i>t</i></sub> ) du E-2010	-	0	0	13	26	14	20	15
Livraisons programmées du E-2010 (effectuées en début de période)	-	0	0	53	0	0	35	0
Lancements en fabrication du E 2010 (effectués en début de période) délai L = 2 semaines	-	53	0	0	35	0	-	-
Position de stock (fin de période) intégrant les livraisons programmées et les livraisons attendues	12	12 + 22 - 30 = 4	4 + 13 - 10 = 7	7 + 53 - 20 = 40	40 + 0 - 26 = 14	14 + 0 - 14 = 0	0 + 35 - 20 = 15	15 + 0 - 15 = 0

- **Mécanisme de base.**

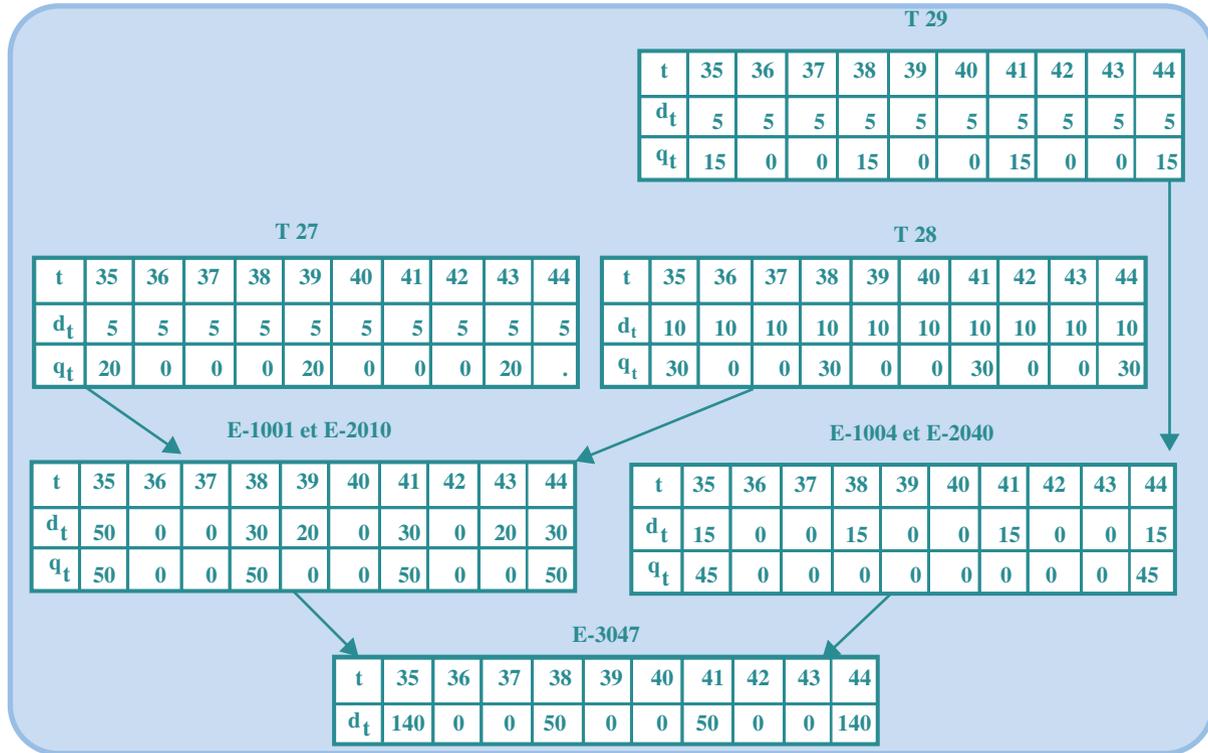


**Explosion des nomenclatures**  $\Rightarrow$  *définition des besoins bruts*

Période $t$	15	16	17	18	19	20	21	22
Lancements en fabrication du <i>E-2010</i> (effectués en début de période)	-	53	0	0	35	0	-	-
Besoins Bruts de <i>E-3047</i> impliqués par le lancement du <i>E-2010</i> et la nomenclature (1 <i>E-3047</i> par <i>E-2010</i> )	-	53	0	0	35	0	-	-
Lancement en fabrication du <i>E-2040</i> (calcul effectué par ailleurs)	-	10	15	25	15	18	12	15
Besoins Bruts de <i>E-3047</i> impliqués par le lancement du <i>E-2040</i> et la nomenclature (2 <i>E-3047</i> par <i>E-2040</i> )	-	20	30	50	30	36	24	30
Besoins Bruts de <i>E-3047</i> impliqués par les lancements du <i>E-2040</i> et du <i>E-2010</i>	-	73	30	50	65	36	Calculs inutiles	

- L'**inadéquation des politiques «classiques»** de gestion stocks au cas des stocks de fabrication
- **Dépendance des demandes** des composants dans les stocks de fabrication
  - **Stocks de distribution**: D appréhensible statistiquement
  - **Stock de fabrication** (ou stocks à étage): D externe du composant (stochastique) + D interne (certaine) vient de PDP; composant utilisé par plusieurs produits finis; cascade
  - **Dépendance des D**  $\Rightarrow$  qualité de service n'a plus de sens pour une référence donnée (ex: sous-ensemble avec 12 composants gérés indépendamment avec  $\alpha = 5\%$  :  $\text{dispo} = 0,95^{12} = 0,54$ )
- **Irrégularité de la demande**

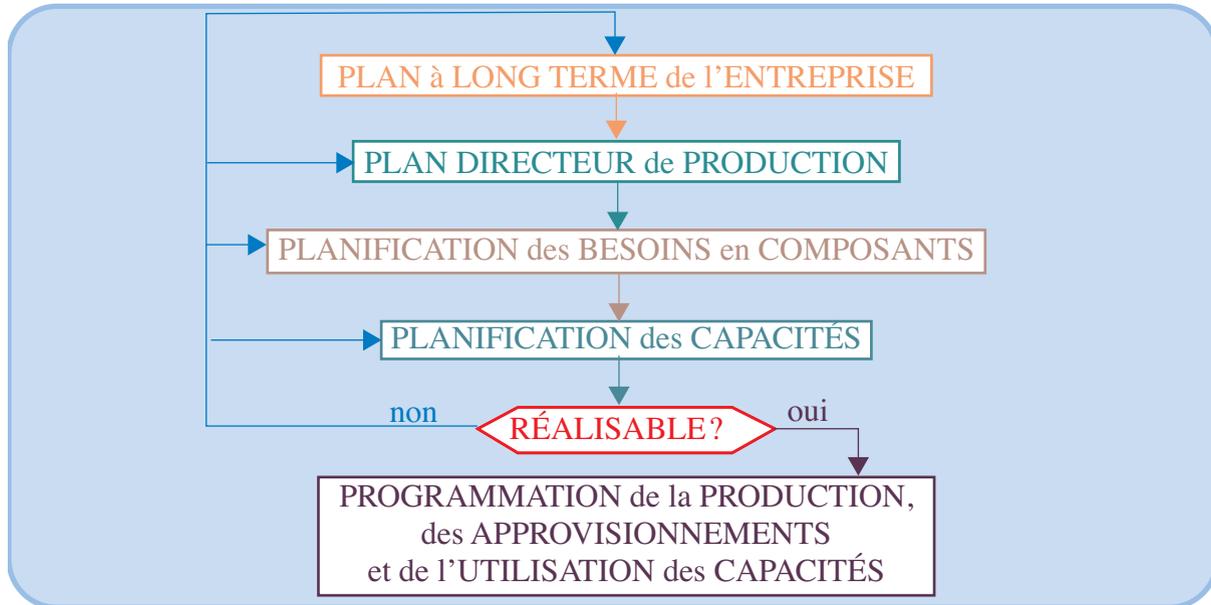
- fluctuation D liée à explosion des nomenclatures et lotissement



## II LES CONDITIONS PRÉALABLES DE LA MISE EN PLACE D'UNE MRP

### II-1 Existence d'un plan directeur de production

- **Établissement PDP**: direction commerciale + direction de la production : programme de mise à disposition de produits finis et de pièces détachées tenant compte des souhaits du service commercial tout en restant techniquement réalisable (vision CL + large)
- PDP **greffé** sur un plan à long terme de production (base agrégée)



- PDP **includ** souvent stocks de sécurité
- **Distinction** fréquente dans PDP de **commandes fermes** passées et **prévisions**
- Périodicité (établissement & application mécanisme): 1 à 2 semaines; qqf quotidien
- **Horizon de planification**  $\geq$  plus grand des cumuls des délais d'obtention des composants primaires et de leurs constituants (chemin critique)





- **Assemblage à la commande: nomenclature de planification:** variantes du module  $P$  du produit A on a la répartition suivante: 10%, 15%, 30%, 5%, 40%  $\Rightarrow$  1 unité de A, il faut 0,1 unité de  $P_1$ , 0,15 unité de  $P_2$ ...
- **4 remarques**
  - **nomenclature dépend fortement des processus productifs**
  - nomenclature  $\Rightarrow$  **stockage effectif**
  - exceptions:
    - en - : emballages, articles à forte consommation et faible valeur
    - en + : nomenclature fantôme (pas de stockage et utilisation immédiate par autre centre)
  - coexistence de plusieurs nomenclatures d'un même produit final (cycle de fabrication long)
  - pb avec nomenclatures non arborescente (désassemblage)

### II-3 Existence d'un système d'information fiable sur l'état des stocks

### II-4 Existence d'un fichier des délais d'obtention

- **Délai d'obtention** =  $\Sigma$  temps opératoires (fct lot) + temps de lancement + temps inter-opératoires; délai de sécurité
- DL parfois traité comme une contrainte à respecter (et non paramètre)

## II-5 Existence de gammes et de données sur les capacités des centres de production

- **Capacités** définies pour chaque période de l'horizon de planification;  $\pm$  agrégé; polyvalence
- **Gammes** de fabrication et d'assemblage utilisées en planification: grossières (éventuellement profil moyen de chargement)

## II-6 Existence de fichiers nécessaires à la détermination des priorités

- **Nécessaire** pour déterminer le transfert de charge
- **Logique utilisée: minimisation du coût de possession des encours**; exemple:
  - surcharge de 100 heures dans atelier produisant les références *A* et *B*
  - *A* utilise 50 € de composants; *B* utilise 10 € de composants
  - Temps unitaires de production: 1 heure pour *A* et 2 heures pour *B*
  - Coût standard horaire est de 80 €
  - Coûts unitaires *A*:  $50 + 80 \times 1 = 130$  € et *B*:  $10 + 80 \times 2 = 170$  €
  - 1 heure transférée
    - sur *A*  $\Rightarrow$  une création d'encours de 130 €
    - sur *B*  $\Rightarrow$  une création d'encours de  $170 / 2 = 85$  €
- **Pas de solution réalisable**  $\Rightarrow$  révision PDP: traçage ou **pegging**

### III LES PRINCIPES DE BASE DE FONCTIONNEMENT DE TOUTE MRP

#### III-1 Description du mécanisme élémentaire de calcul de la MRP

pour mémoire

##### III-1.1 Détermination des besoins nets d'un composant

- Généralisation

- $PS_t$ : la position de stock à la fin de la période  $t$  (après livraison et satisfaction de la demande),
- $SD_t$ : le stock physiquement disponible à la fin de la période  $t$ ,
- $Q_t$ : la livraison attendue (en début de période  $t$ ),
- $BB_t$ : les besoins bruts de la période  $t$ ,
- $BN_t$ : les besoins nets de la période  $t$ .

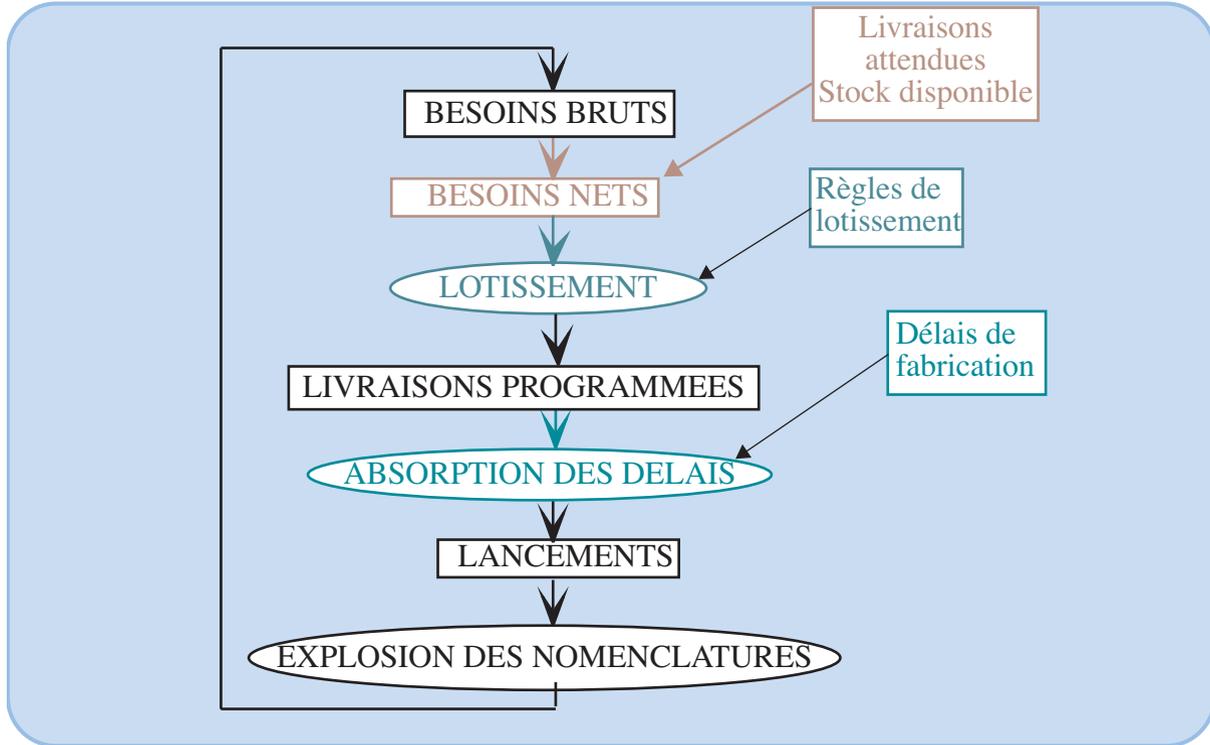
En l'absence de SS

- $PS_1 = SD_0 + Q_1 - BB_1$ , pour  $t = 1$       **Position de stock**
- $PS_t = PS_{t-1} + Q_t - BB_t$ , pour  $t > 1$
- $BN_t = 0$  pour  $t \leq \theta$ , où  $\theta$  est la durée du délai d'obtention
- $BN_t = \text{Max} [0, (BB_t - \{Q_t + \text{Max}(0, PS_{t-1})\})]$ , pour  $t > \theta$       **Besoins nets**

### III-1.2 Détermination de la couverture des besoins nets

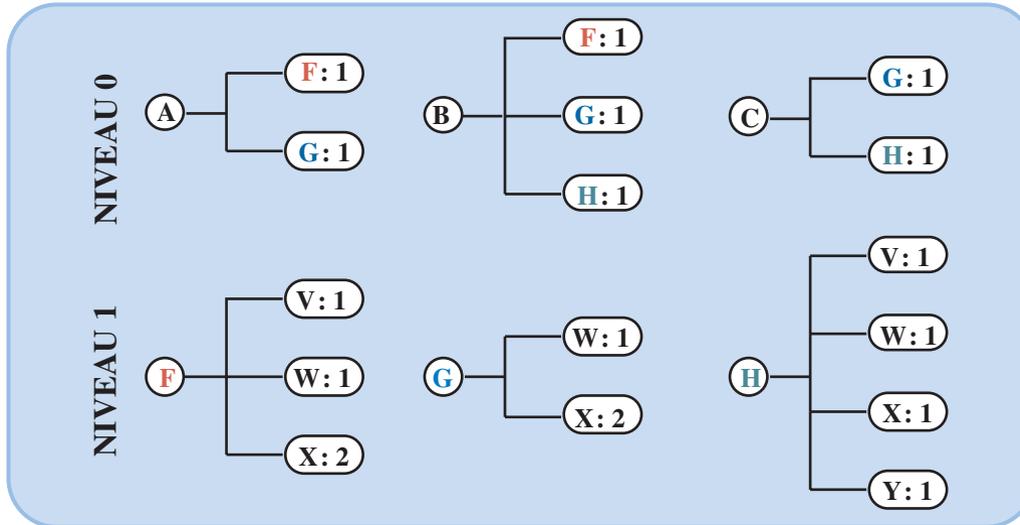
- **Lotissement**: technique du «lot pour lot» + autres (déjà vu) + Prise en compte des rebuts par majoration systématique ou (mieux) par SS
- **Absorption des délais**
- Remarques:
  - Seul le lancement de la *première période* = *décision irréversible*
  - lancements = OF (approvisionnement interne) ou OA (approvisionnement externe)
  - Mécanisme d'absorption des délais  $\Rightarrow$  neutralisation dernières périodes.

### III-2 Utilisation «en cascade» du mécanisme élémentaire de calcul



### III-3 Détermination des charges découlant du programme de production

- MRP I calcule svt les charges; MRP II: ajustement «charge – capacité»
- Exemple
  - Nomenclature



- A, B et C  $\Rightarrow$  atelier d'assemblage final (références du niveau 0)
- F, G et H  $\Rightarrow$  atelier d'assemblage intermédiaire
- V, W et Y  $\Rightarrow$  atelier d'usinage (X est acheté)



- Autres données

Références		Livraison attendue (en début de mois)		Position de stock (en fin de mois)	Temps Opérateur Unitaire (en heure/unité)	Délai d'obtention (en mois)	Coût unitaire des matières utilisées (en dollars liduriens/unité)
		Novembre 2000	Décembre 2000	Octobre 2000			
Produits finis	A	10000	0	300	0,020 heure	1 mois	5,00 \$
	B	12500	0	100	0,010 heure	1 mois	6,00 \$
	C	17300	0	100	0,020 heure	1 mois	6,00 \$
Sous - ensembles	F	27400	23000	500	0,005 heure	2 mois	1,00 \$
	G	48200	0	700	0,010 heure	1 mois	2,00 \$
	H	31400	0	4800	0,020 heure	1 mois	1,00 \$
Composants	V	56600	55500	500	0,005 heure	2 mois	0,50 \$
	W	91200	0	500	0,010 heure	1 mois	0,75 \$
	X	154000	0	1000	0 heure (achat)	1 mois	2,00 \$
	Y	31800	0	300	0,010 heure	1 mois	1,00 \$

ATELIERS	PÉRIODES									COÛT HORAIRE (en dollars liduriens)
	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	
<b>Assemblage final</b>	capacité suffisante ( $\Rightarrow$ pas de problème d'ajustement «charge – capacité»)									90 \$
<b>Assemblage intermédiaire</b>	1150	1150	1150	1250	1250	1280	1250	1200	1200	100 \$
<b>Usinage</b>	1630	1600	1700	1650	1650	1700	1600			150 \$

- Règle du «lot pour lot»

- Lancement du niveau « assemblage final » (à capacité infinie)

		PÉRIODES												
		Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	Août 2001	Septembre 2001	Octobre 2001
Référence A	Besoins Bruts (PDP)		10300	12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
	Livraisons attendues		10000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock	300	0	-12800	-22500	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées		0	12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
	Lancements		12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000	
Référence B	Besoins Bruts (PDP)		12600	13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
	Livraisons attendues		12500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock	100	0	-13400	-25400	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées		0	13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
	Lancements		13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000	
Référence C	Besoins Bruts (PDP)		17400	20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
	Livraisons attendues		17300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock	100	0	-20100	-36400	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées		0	20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
	Lancements		20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500	

- Hypothèse: pas de problème de capacité pour *Assemblage Final*
- Niveau 1

			PÉRIODES						
			Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	
Référence F	Besoins Bruts venant de	A <sup>†</sup>		12800	9700	10500	9700	10000	
		B <sup>‡</sup>		13400	12000	10700	10100	11500	
		PDP		1500	1400	1500	1600	2100	
		Σ		27700	23100	22700	21400	23600	
	Livraisons attendues			⊖ 27400	⊖ 23000	⊖ 0	⊖ 0	⊖ 0	
	Position de stock			⊕ 500	⊕ 200	⊕ 100	⊖ 22600	-44000	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	0	22600	21400	23600	
			DÉLAI D'OBTENTION = 2						
Lancements			22600	21400	23600	24400	24400		

			PÉRIODES											
			Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	Août 2001	Septembre 2001
Référence G	Besoins Bruts venant de	A		12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
		B		13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
		C		20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
		PDP		1700	1200	1700	1600	1800	1500	1400	1300	1200	1400	1800
		Σ		48000	39200	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900	42300
	Livraisons attendues		48200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		700	900	-38300	-78700	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	38300	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900	42300
Lancements			38300	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900	42300		
Référence H	Besoins Bruts venant de	B		13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
		C		20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
		PDP		2000	2300	1800	1900	2100	2000	2100	2000	2000	2000	2000
		Σ		35500	30600	30000	30000	32600	35500	34600	33300	32000	32500	32500
	Livraisons attendues			31400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		4800	700	-29900	-59900	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	29900	30000	30000	32600	35500	34600	33300	32000	32500	32500
	Lancements			29900	30000	30000	32600	35500	34600	33300	32000	32500	32500	

- Calcul charges du niveau 1

		PÉRIODES								
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001
Heures d'assemblage intermédiaire demandées	F	113	107	118	122	122	131	113	112	113
	G	383	404	394	423	456	449	456	412	419
	H	598	600	600	652	710	692	666	640	650
	Σ	1094	1111	1112	1197	1288	1272	1235	1164	1182
Heures disponibles		1150	1150	1150	1250	1250	1280	1250	1200	1200
Dépassement initial		0	0	0	0	38	0	0	0	0
Excédent initial		56	39	38	53	0	8	15	36	18

$$22600 \times 0,005 =$$

### III-4 L'ajustement «charge – capacité»

#### III-4.1 Ajustement par les stocks

- **Détermination de la référence à stocker**

- *coût unitaire de V*:  $0,5 + 0,005 \times 150 = 1,25 \$$
- *coût unitaire de W*:  $0,75 + 0,010 \times 150 = 2,25 \$$
- *coût unitaire de X*: *acheté à 2 \$*
- *coût unitaire de Y*:  $1 + 0,010 \times 150 = 2,50 \$$
- *coût unitaire de F*:  $1 + 0,005 \times 100 + (1 \times 1,25 + 1 \times 2,25 + 2 \times 2 + 0 \times 2,5) = 9 \$$
- *coût unitaire de G*:  $2 + 0,010 \times 100 + (0 \times 1,25 + 1 \times 2,25 + 2 \times 2 + 0 \times 2,5) = 9,25 \$$
- *coût unitaire de H*:  $1 + 0,020 \times 100 + (1 \times 1,25 + 1 \times 2,25 + 1 \times 2 + 1 \times 2,5) = 11 \$$
- *valeur de la production horaire de F*:  $9 \times (1/0,005) = 1800 \$$
- *valeur de la production horaire de G*:  $9,25 \times (1/0,010) = 925 \$$
- *valeur de la production horaire de H*:  $11 \times (1/0,020) = 550 \$$
- **Choix de H**

- Ajustement charge - capacité assemblage intermédiaire

		PÉRIODES								
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001
Heures d'assemblage intermédiaire demandées	F	113	107	118	122	122	131	113	112	113
	G	383	404	394	423	456	449	456	412	419
	H	598	600	600	652	710	692	666	640	650
	Σ	1094	1111	1112	1197	1288	1272	1235	1164	1182
Heures disponibles		1150	1150	1150	1250	1250	1280	1250	1200	1200
Dépassement initial		0	0	0	0	38	0	0	0	0
Excédent initial		56	39	38	53	0	8	15	36	18
Heures à reporter		0	0	0	0	38	0	0	0	0
Excédent final		56	39	38	15	0	8	15	36	18
Heures programmées		1094	1111	1112	1235	1250	1272	1235	1164	1182
Productions programmées	F	22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
	G	38300	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900
	H	29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500

$$22600 \times 0,005 =$$

- Explosion des nomenclatures pour usinage lancement à capacité infinie

			PÉRIODES									
			Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	AVRIL 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001
Référence V	Besoins Bruts venant de	F		22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
		H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500
		PDP		4000	3500	3800	3100	3600	3600	3500	3400	3500
		Σ		56500	54900	57400	62000	61600	64400	59400	57800	58600
	Livraisons attendues			56600	55500	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		500	600	1200	-56200	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	0	56200	62000	61600	64400	59400	57800	58600
Lancements			56200	62000	61600	64400	59400	57800	58600			
Référence W	Besoins Bruts venant de	F		22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
		G		38300	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900
		H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500
		PDP		700	1000	1100	900	1100	1300	1000	1000	1000
		Σ		91500	92800	94100	102100	104700	107000	102500	96600	98000
	Livraisons attendues			91200	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		500	200	-92600	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	92600	94100	102100	104700	107000	102500	96600	98000
	Lancements			92600	94100	102100	104700	107000	102500	96600	98000	

			PÉRIODES										
			Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	AVRIL 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	
Référence X	Besoins Bruts venant de	F		45200	42800	47200	48800	48800	52400	45200	44800	45200	
		G		76600	80800	78800	84600	91200	89800	91200	82400	83800	
		H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500	
		PDP		3000	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	
		Σ		154700	156100	158500	170400	176100	179300	172200	161700	164000	
	Livraisons attendues			154000	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Position de stock			1000	300	-155800	...	...	...	...	...	...	
	Besoins Nets = Livraisons programmées				0	155800	158500	170400	176100	179300	172200	161700	164000
Lancements				155800	158500	170400	176100	179300	172200	161700	164000		
Référence Y	Besoins Bruts venant de	H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500	
		PDP		1600	1700	1100	1500	1500	1500	1500	1500	1500	
		Σ		31500	31700	31100	36000	35100	36100	34800	33500	34000	
	Livraisons attendues				31800	0	0	0	0	0	0	0	
	Position de stock			300	600	-31100	...	...	...	...	...	...	
	Besoins Nets = Livraisons programmées				0	31100	31100	36000	35100	36100	34800	33500	34000
	Lancements				31100	31100	36000	35100	36100	34800	33500	34000	

- Calcul des charges usinage

		PÉRIODES						
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001
<b>Heures d'assemblage intermédiaire demandées</b>	V	281	310	308	322	297	289	293
	W	926	941	1021	1047	1070	1025	966
	Y	311	311	360	351	361	348	335
	Σ	1518	1562	1689	1720	1728	1662	1594
<b>Heures disponibles</b>		1630	1600	1700	1650	1650	1700	1600
<b>Dépassement initial</b>		0	0	0	70	78	0	0
<b>Excédent initial</b>		112	38	11	0	0	38	6

- Transfert d'heures

		PÉRIODES						
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001
Heures d'assemblage intermédiaire demandées	V	281	310	308	322	297	289	293
	W	926	941	1021	1047	1070	1025	966
	Y	311	311	360	351	361	348	335
	Σ	1518	1562	1689	1720	1728	1662	1594
Heures disponibles		1630	1600	1700	1650	1650	1700	1600
Dépassement initial		0	0	0	70	78	0	0
Excédent initial		112	38	11			38	6
Cumul d'heures à reporter $C_t$		0	99	137	148	78	0	0
Variation $\Delta_t$ d'heures de la période		+99	+38	+11	-70	-78	0	0
Heures programmées								
Excédent final								

- Transfert d'heures

		PÉRIODES						
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001
Heures d'assemblage intermédiaire demandées	V	281	310	308	322	297	289	293
	W	926	941	1021	1047	1070	1025	966
	Y	311	311	360	351	361	348	335
	Σ	1518	1562	1689	1720	1728	1662	1594
Heures disponibles		1630	1600	1700	1650	1650	1700	1600
Dépassement initial		0	0	0	70	78	0	0
Excédent initial		112	38	11	0	0	38	6
Cumul d'heures à reporter $C_t$		0	99	137	148	78	0	0
Variation $\Delta_t$ d'heures de la période		+99	+38	+11	-70	-78	0	0
Heures programmées		1617	1600	1700	1650	1650	1662	1594
Excédent final		13	0	0	0	0	38	6

- **Choix de la référence**

- valeur de la production horaire de  $V$ :  $1,25 \times (1/0,005) = 250$  \$
- valeur de la production horaire de  $W$ :  $2,25 \times (1/0,010) = \mathbf{225}$  \$
- valeur de la production horaire de  $Y$ :  $2,50 \times (1/0,010) = 250$  \$
- Choix de  $W$

- **Programmation finale** usinage

		PÉRIODES						
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001
<b>Heures d'assemblage intermédiaire demandées</b>	V	281	310	308	322	297	289	293
	W	926	941	1021	1047	1070	1025	966
	Y	311	311	360	351	361	348	335
	Σ	1518	1562	1689	1720	1728	1662	1594
<b>Heures disponibles</b>		1630	1600	1700	1650	1650	1700	1600
<b>Dépassement initial</b>		0	0	0	70	78	0	0
<b>Excédent initial</b>		112	38	11	0	0	38	6
<b>Cumul d'heures à reporter <math>C_t</math></b>		0	99	137	148	78	0	0
<b>Variation <math>\Delta_t</math> d'heures de la période</b>		+ 99	+ 38	+ 11	- 70	- 78	0	0
<b>Heures programmées</b>		1617	1600	1700	1650	1650	1662	1594
<b>Excédent final</b>		13	0	0	0	0	38	6
<b>Productions programmées</b>	V	56200	62000	61600	64400	59400	57800	58600
	W	102500 <sup>†</sup>	97900	103200	97700	99200	102500	96600
	Y	31100	31100	36000	35100	36100	34800	33500

†.  $102500 = 92600 + 99 / 0,01$  ;  $97900 = 94100 + 38 / 0,01$  ; etc.

- **Évolution** prévisionnelle de la **position de stock** de W et **coût de possession** des stocks (= 1% de l'encours)

	PÉRIODES									Σ
	Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	
<b>Besoins Bruts de W</b>		91 500	92 800	94 100	102 100	104 700	107 000	102 500	96 600	
<b>Livraisons attendues de W</b>		91 200								
<b>Livraisons programmées de W</b>			102 500	97 900	103 200	97 700	99 200	102 500	96 600	
<b>Position de stock de W (fin de période)</b>	500	200	9 900	13 700	14 800	7 800	0	0	0	
<b>Valeur du stock (de fin de période)</b>	1 125	450	22 275	30 825	33 300	17 550	0	0	0	
<b>Coût de possession (de la période)</b>	11,25	4,50	222,75	308,25	333,00	175,50	0	0	0	1 055,25

### III-4.2 Ajustement par adaptation de la capacité

- Ajustement par HS (ou ST) possible
- Exemple de raisonnement:
  - valeur de la production horaire de  $W = 225 \Rightarrow$  CP mensuel =  $1\% \times 225 = 2,25$  \$
  - si heure supplémentaire = décaissement additionnel de 180 \$
  - point mort à  $180 / 2,25 = 80$  mois

### III-4.3 Remarques

- **Prise en compte de contraintes de stockage**
  - **Exemple** avec report de 20 H et contrainte à 108

Référence $i$	Temps opérateur $t_i$	Coût unitaire	Valeur de la production horaire	Encombrement unitaire $a_i$ (unité moyenne de stockage)	encombrement $a_i \frac{20}{t_i}$ associé à 20 H de production sur $i$
$P_1$	0,125	120	960,0	0,5	80 $\Rightarrow$ reliquat 28
$P_2$	0,160	150	937,5	0,8	100 $\Rightarrow$ reliquat 8
$P_3$	0,200	130	<b>Min = 650,0</b>	1,2	120 $\Rightarrow$ <b>impossible</b> (>108)

- **Pb PL:**  $Min(120x_1 + 150x_2 + 130x_3)$ ;  $0,125x_1 + 0,16x_2 + 0,2x_3 \geq 20$ ;  $0,5x_1 + 0,8x_2 + 1,2x_3 \leq 108$

- **Soluble par raisonnement**, l'optimum étant nécessairement combinaison  $P_1 - P_3$  ou  $P_2 - P_3$ 
  - choix  $P_1$  ou  $P_2$  par analyse tx marginal de substitution
    - . 1  $P_3$  ( $\rightarrow 0,2H$ ) prend le même espace que  $1,2 / 0,8 = 1,5 P_2$ , ( $\rightarrow 0,16 H \times 1,5 = 0,24 H$ )  
 $\Rightarrow$  encours =  $0,24 \times 937,5 = 225 \text{ €}$ ;
    - . 1  $P_3$  ( $\rightarrow 0,2H$ ) prend le même espace que  $1,2 / 0,5 = 2,4 P_1$ , ( $\rightarrow 0,125 H \times 2,4 = 0,3 H$ )  
 $\Rightarrow$  encours =  $0,3 \times 960 = 288 \text{ €}$ ;
    - .  $P_2$  est donc à choisir
  - Solution telle que  $0,16x_2 + 0,2x_3 = 20$  et  $0,8x_2 + 1,2x_3 = 108$
- **Si ajustement par stock impossible**: chercher à diminuer les lots (si pas «lot pour lot»), rééquilibrage des ressources (vers goulot), HS si possible et, en dernier ressort: révision PDP



## IV REMARQUES COMPLÉMENTAIRES

### IV-1 Améliorations des techniques de base de la MRP

#### IV-1.1 Introduction d'un stock de sécurité

- MRP: univers certain  $\Rightarrow$  délai de sécurité et stock de sécurité (SS) pour prendre en compte aléas
- SS facile si «lot pour lot» / EXEMPLE SS = 20% BB

Période $t$	15	16	17	18	19	20	21	22
Besoins Bruts $BB_t$	-	30	10	20	26	14	20	15
Livraisons attendues $Q_t$	-	22	13	0	0	0	0	0
Position de Stock $PS_t$ (hors stock de sécurité et livraisons programmées)	12	12 + 22 - 30 = 4 <sup>†</sup>	4 + 13 - 10 = 7 <sup>‡</sup>	7 + 0 - 20 = - 13	- 13 + 0 - 26 = - 39	...	...	...
Stock de Sécurité $SS_t$	-	30 x 0,2 = 6	10 x 0,2 = 2	20 x 0,2 = 4	26 x 0,2 $\cong$ 5	14 x 0,2 $\cong$ 3	20 x 0,2 = 4	15 x 0,2 = 3

†.  $PS_{16} < SS_{16} \Rightarrow$  Protection insuffisante mais il est trop tard.

‡.  $PS_{17} > SS_{17} \Rightarrow$  Protection suffisante.

## IV REMARQUES COMPLÉMENTAIRES

### IV-1 Améliorations des techniques de base de la MRP

#### IV-1.1 Introduction d'un stock de sécurité

- MRP: univers certain  $\Rightarrow$  délai de sécurité et stock de sécurité (SS) pour prendre en compte aléas
- SS facile si «lot pour lot» / EXEMPLE SS = 20% BB

Période $t$	15	16	17	18	19	20	21	22
Besoins Bruts $BB_t$	-	30	10	20	26	14	20	15
Livraisons attendues $Q_t$	-	22	13	0	0	0	0	0
Position de Stock $PS_t$ (hors stock de sécurité et livraisons programmées)	12	12 + 22 - 30 = 4	4 + 13 - 10 = 7	7 + 0 - 20 = - 13	- 13 + 0 - 26 = - 39	...	...	...
Stock de Sécurité $SS_t$	-	30 x 0,2 = 6	10 x 0,2 = 2	20 x 0,2 = 4	26 x 0,2 $\cong$ 5	14 x 0,2 $\cong$ 3	20 x 0,2 = 4	15 x 0,2 = 3
Besoins Nets $BN_t$ (= livraisons programmées)	-	0 (car $Q_t > 0$ )	0 (car $Q_t > 0$ )	20 + 4 - 7 = 17	26 + 5 - 4 = 27	14 + 3 - 5 = 12	20 + 4 - 3 = 21	15 + 3 - 4 = 14

- Pour

résumer:

- **Situation I**:  $Q_t > 0$ : livraison attendue  $\Rightarrow$  il est trop tard
  - **Situation II**:  $Q_t = 0 \Rightarrow$  on passe à livraison programmée (=  $BN_t$  car «lot pour lot»)
- 2 cas de figure:
- $BB_t + SS_t > PS_{t-1} \Rightarrow BN_t = BB_t + SS_t - PS_{t-1}$  et  $PS_t = SS_t$
  - $BB_t + SS_t \leq PS_{t-1} \Rightarrow BN_t = 0$  et  $PS_t = PS_{t-1} - BB_t$

## IV-1.2 Présentation des règles de lotissement utilisables

- **Technique du «lot pour lot»**
- **Quantité fixe de commande** (à déconseiller)

$t$	18	19	20	21	22
$BN_t$	13	26	14	20	15
$Q_t$	50	0	50	0	0
$PS_t$	37	11	47	27	12

*Stock inutile car en  $t = 20$ : obligation de réapprovisionnement*

- **Quantité couvrant les besoins nets de la période considérée ainsi que d'un nombre fixe de périodes à venir**: plusieurs solutions.
  - **Quantité économique périodique** (Wilson arrondi)
  - **Algorithme de Wagner et Whitin** (pour mémoire)

- **Heuristique de Silver et Meal** (ici sans SS)

- 

Solutions possibles de livraison en début de période $t = 18$	Coût moyen par période minimal (Silver & Meal)	
$Q_{18} = 13 \Rightarrow C_{18} = 100$	$100/1 = 100$	
$Q_{18} = 13 + 26 = 39 \Rightarrow C_{18} = 100 + 26 \times 2 \times 1 = 152$	$152/2 = 76$	
$Q_{18} = 39 + 14 = 53 \Rightarrow C_{18} = 152 + 14 \times 2 \times 2 = 208$	$208/3 = \underline{69,3}$	
$Q_{18} = 53 + 20 = 73 \Rightarrow C_{18} = 208 + 20 \times 2 \times 3 = 328$	$328/4 = 82$	

- Heuristique de Silver et Meal (ici sans SS)
- Heuristique de la minimisation du coût unitaire

Solutions possibles de livraison en début de période $t = 18$	Coût moyen par période minimal (Silver & Meal)	Coût moyen unitaire minimal
$Q_{18} = 13 \Rightarrow C_{18} = 100$	$100/1 = 100$	$100/13 = 7,69$
$Q_{18} = 13 + 26 = 39 \Rightarrow C_{18} = 100 + 26 \times 2 \times 1 = 152$	$152/2 = 76$	$152/39 = \underline{3,90}$
$Q_{18} = 39 + 14 = 53 \Rightarrow C_{18} = 152 + 14 \times 2 \times 2 = 208$	$208/3 = \underline{69,3}$	$208/53 = 3,92$
$Q_{18} = 53 + 20 = 73 \Rightarrow C_{18} = 208 + 20 \times 2 \times 3 = 328$	$328/4 = 82$	$328/73 = 4,49$

- Recherche de la quantité où coût de lancement  $\cong$  coût total de possession ( $Q_{18} = 53$ )
- **Prise en compte SS**: Exemple  $SS = 20\%$  BB, avec  $BB_{18} = 43$  et  $PS_{17} = 30 \Rightarrow BN_{18} = 13$
- **Sol 1**:  $SS_{19} = 43 \times 0,2 = 9 \Rightarrow Q_{18} = 13 + 9 = 22 \Rightarrow 100 +$  coût de détention du SS (inutilisé)  $\Rightarrow 100 + 9 \times 2 \times 1 = 118$
- **Sol 2**:  $Q_{18} = 13 + 26 + SS = 39 + SS$ ; si calculé sur  $BB_{18} + BB_{19} = 43 + 26 = 69 \Rightarrow Q_{18} = 39 + 14 = 53 \Rightarrow$  coût  $= 152 + 14 \times 2 \times 2 = 208$
- **Sol 3**:  $Q_{18} = 39 + 14 + SS = 53 + SS$ ; si calculé sur  $BB_{18} + BB_{19} + BB_{20} = 43 + 26 + 14 = 83 \Rightarrow Q_{18} = 53 + 17 = 70 \Rightarrow$  coût  $= 208 + 17 \times 2 \times 3 = 310$ ; **Sol 4**:  $Q_{18} = 73 + 21 = 94 \Rightarrow$  coût  $= 496$

- Solutions

Solutions possibles de livraison en début de période $t = 18$	Coût moyen par période minimal (Silver & Meal)	Coût moyen unitaire minimal
$Q_{18} = 13 + 9 = 22 \Rightarrow C_{18} = 100 + 9 \times 2 \times 1 = 118$	$118/1 = 118$	$118/22 = 5,36$
$Q_{18} = 39 + 14 = 53 \Rightarrow C_{18} = 152 + 14 \times 2 \times 2 = 208$	$208/2 = 104$	$208/53 = \underline{3,92}$
$Q_{18} = 53 + 17 = 70 \Rightarrow C_{18} = 208 + 17 \times 2 \times 3 = 310$	$310/3 = \underline{103,3}$	$310/70 = 4,43$
$Q_{18} = 73 + 21 = 94 \Rightarrow C_{18} = 328 + 21 \times 2 \times 4 = 496$	$454/4 = 113,5$	$454/94 = 4,83$

- Remarques

- algorithme de Wagner & Whitin: seule méthode optimale mais vision locale; pas de méthodes optimales multi-échelons
- Problème de lotissement mal appréhendé en général par opérationnels

## IV-2 Utilisation périodique de la MRP – planification glissante –

- **Régénération périodique** du programme de production  $\Rightarrow$  **planification glissante**. Exemple
  - référence X, SS 10%BB, «lot pour lot»; capacité largement excédentaire

*Données de MRP établi à la fin de la semaine 12*

Semaine	12	13	14	15	16
Besoins Bruts de X pour la période		780	960	660	1060
Position de stock désirée pour X en fin de période		78	96	66	106
Livraison attendue pour X en début de période		700	0	0	0
Position de stock prévue pour X en fin de période	150	70	96	66	106
Besoins Nets de X pour la période =		0	986	630	1100
Livraison programmée pour X en début de période					
Lancements programmés X en début de période		986	630	1100	

- Si 40 pièces défectueuses dans livraison de 700 unités  $\Rightarrow PS_{13} = 70 - 40 = 30$  (au lieu de 70);
  - la position de stock prévisionnelle en fin de semaine 14 devient  $30 + 986 - 960 = 56$  (au lieu de 96);
  - les besoins nets de la semaine 15 deviennent  $660 + (66 - 56) = 670$  (au lieu de 630);
  - la position de stock prévisionnelle en fin de semaine 17 s'élève alors à  $0,1 \times 950 = 95$ ;
  - et les besoins nets de la semaine 17 sont égaux à  $950 + (95 - 106) = 939$ .

- Glissement de la MRP

*Données de MRP établi à la fin de la **semaine 13***

Semaine	13	14	15	16	17
Besoins Bruts de X pour la période		960	660	1060	950
Position de stock désirée pour X en fin de période		96	66	106	<b>95</b>
Livraison attendue pour X en début de période		<b>986</b>	0	0	0
Position de stock prévue pour X en fin de période	<b>30</b>	<b>56</b>	66	106	<b>95</b>
Besoins Nets de X pour la période =		0	<b>670</b>	1 100	<b>939</b>
Livraison programmée pour X en début de période					
Lancements programmés X en début de période		<b>670</b>	1 100	<b>939</b>	

- **Régénération ponctuelle** en différentiel (*net change system*)  $\Rightarrow$  **nervosité**, réduite en jouant sur lotissement, SS et gel de certains lancements programmés (ordres fermes)

#### IV-3 Relations entre la MRP et l'ordonnancement

- MRP inutilisable directement pour ordonnancement (découpage temporel, périodicité de traitement, programmation au + tard de MRP)
- Couplage par dates de livraison

#### IV-4 Intégration de la distribution dans la MRP: la DRP

- Pousser logique MRP à **distribution** en rajoutant des niveaux (→ PDP des entrepôts régionaux et nationaux) et en adaptant lotissement à transport ⇒ **Distribution Requirement Planning**
- **Remarques:**
  - possibilité de **répercussion instantanée des infos** de l'aval possible dans élaboration de PDP classique ⇒ découplage possible des systèmes
  - précision de **prévision** meilleure à un niveau agrégé
  - **organisation transport** (tournées) difficile à prendre correctement en compte
  - **arbitrage transport / stockage** en entrepôt: + complexe

#### IV-5 Améliorations possibles de la démarche suivie par la MRP

- Amélioration des heuristiques possible via **APS** (mais appel à PLNE pour le pb global impossible mais envisageable pour 2 ou 3 niveaux de nomenclature)
- Possibilité de faire appel à **planification hiérarchisée**