

ÉLÉMENTS DE CORRIGÉ

A-1) Calculez, pour chacun des postes, la durée de travail par produit.

Calculez ensuite la durée maximum de travail pouvant être allouée à chaque poste pour atteindre la productivité attendue.

Quels sont le (ou les) postes qui posent problème ? Comment résoudre ce (ou ces) problèmes ?

Le tableau ci-dessous récapitule les durées opératoires par poste, pour la réalisation d'un produit :

Poste 10	8
Poste 20	8
Poste 40	7.5
Poste 50	9.4
Poste 140	6
Poste 60	8
Poste 70	7.5
Poste 80 ou 90	7
Poste 110	8

Remarques :

- Pour le poste 10, quatre actions on lieues simultanément :
 - La mise en place du corps puis la mise en place du clapet (6 dmh)
 - La mise en place de l'insert (2 dmh)
 - La mise en place de la coupelle (2.2 dmh)
 - Le transfert du corps vers le plateau (2 dmh)

Le temps résultant de ces quatre opérations est donc de 6 dmh auquel il faut ajouter la durée de rotation du plateau, soit 2 dmh.

- Pour le poste 50, deux actions se produisent successivement: Le montage de la bague sur le manocontact (3.2 dmh), puis le montage de ce dernier (5.2 dmh), soit au total 8.4 dmh. Nous remarquons que l'opérateur doit s'interrompre pendant 50 dmh tout les 50 produits. Il convient donc d'ajouter 1 dmh, en moyenne au traitement d'un produit.
- Les postes 80 et 90 travaillent en parallèles. Sur l'ensemble de ces deux postes, la durée de réalisation du control est donc de 7 dmh.

Nous calculons tout d'abord la durée effective journalière :

Elle est de 24 heures, moins les 30mn par jour pour le changement de produit et les 3 fois 10mn pour les changements d'équipe (fonctionnement en 3X8). Il convient ensuite d'enlever de cette durée effective la durée des micros-pannes. On dispose donc de 23 X 0.985 soit 22,655 h pour réaliser les produits.

On doit fabriquer $N_B = 24000$ produits bons. N étant le nombre de produits à réaliser et N_R étant le nombre de produits non conformes, nous pouvons écrire :

$$N_R = \tau N$$

$$N_B = N - N_R$$

D'où :

$$N = \frac{N_B}{(1 - \tau)}$$

Il faut donc réaliser par jour 24625 produits.

La durée disponible pour réaliser un produit est donc :

$$\frac{22,655 \times 10000}{24625} = 9,2 \text{ dmh par produit}$$

Nous remarquons que la production sera cadencée par le poste 50. La durée moyenne sur ce poste étant de 9.4 dmh, la production de 24000 produits bons par jour ne pourra pas être atteinte. Il convient donc de diminuer la durée opératoire sur ce poste. Une solution possible serait de faire réaliser l'alimentation de la goulotte par l'opérateur du poste 140, situé à côté du poste 50. La durée sur le poste 50 deviendrait 8,4 dmh et celle du poste 140, 7 dmh. Toutes des durées opératoires seraient alors inférieures à la durée disponible pour réaliser un produit.

A-2) *N* étant le nombre d'opérateurs placés sur la ligne en plus de l'opérateur X et C la cadence de production obtenue, quelle est la relation entre C et N ?

Application numérique : Quelle sera la cadence atteinte si $N=4$?

Calculons la durée nécessaire à la réalisation d'un lot de 10 produits par un opérateur. Celle-ci se décompose en :

- La durée de montage des 10 produits sur chacun des postes de travail, soit :

$$3.5 \times 10 \times 8 = 280 \text{ dmh}$$

- La durée de production, soit $68.4 \times 10 = 684 \text{ dmh}$.
- La durée de transfert, de l'entrée vers le premier poste, entre les postes et du dernier poste vers la sortie, soit $9 \times 4.5 = 40.5 \text{ dmh}$

La réalisation d'un lot par un opérateur correspond à une durée de 1004.5 dmh, ce qui correspond, sur la durée effective de production de 2265 produits/jour. Les opérateurs ne se gênant pas entre eux, on peut écrire que :

$$C = 2265 \times N$$

Soit, si $N=4$ une cadence de 9060 produits par jour.

A-3) Proposez un tableau récapitulatif des avantages et inconvénients de chaque structure de poste. On définira clairement les critères choisis pour cette classification.

On se limitera, pour la réponse, à affecter un poids variant de 0 (ne répond pas au critère) à 4 (répond très bien au critère) pour chaque type de poste et chaque critère retenu.

Critère 1 : Importance du stock tampon.

Critère 2 : Découplage des postes. Aptitude d'un poste à ne pas perturber le comportement des autres postes.

Critère 3 : Possibilité de gestion locale du stock tampon. Il s'agit de l'aptitude que possède le poste de remettre en cause l'ordre de passage des produits sur le poste.

Critère 4 : Coût du poste

Critère 5 : Encombrement global du poste.

Critère 6 : Place prise par le poste sur la boucle centrale.

Proposition de notation des critères :

	Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Critère 5	Critère 6
Type A	1	0	0	4	4	2
Type B	2	2	0	3	3	2
Type C	3	3	0	2	2	4
Type D	4	4	4	1	1	3

A-4) Calculez Q_S en fonction de Q_E , τ_B et τ_R .

Application numérique :

$$Q_E = 10000 \text{ produits}$$

$$\tau_B = 0,8$$

$$\tau_R = 0,1$$

Le nombre de retouches pour un produit n'étant pas limité, nous avons :

$$Q_S = Q_E \tau_B \sum_{n=0}^{\infty} \tau_R^n$$

Soit

$$Q_S = \frac{Q_E \tau_B}{(1 - \tau_R)}$$

AN : $Q_S = 8889$ produits.

A-5) La situation de départ fixée pour l'étude est la suivante : une palette arrive en A et la zone de stockage du poste est vide. On considère que 10 palettes arrivent au point A pour être traitées par le poste, avec une période d'arrivée de 3s.

- Construire sur le document réponse DR1 un diagramme indiquant les situations successives des 10 palettes. On considèrera trois situations indiquées dans le tableau ci-dessous.
- En déduire, pour la 10ème palette arrivée, sa durée de blocage et sa durée d'attente dans la zone de stockage.

On trouvera à la page suite le document DR1 rempli pour cette question. Nous relevons pour la palette 10 une durée de blocage de 28s et une durée d'attente dans le stock de 36s.

A-6) La situation de départ fixée pour l'étude et la considération concernant l'arrivée de 10 palettes en A avec une période de 3s sont identiques à la question précédente.

- Construire sur le document réponse DR1 le diagramme en considérant cette nouvelle disposition permettant le non blocage des palettes en A.
- En fonctionnement stabilisé, 4 palettes étant régulièrement présentes sur la zone de stockage du poste, quelle doit être la durée minimale du tour supplémentaire pour que le poste ne soit jamais en manque de palette à l'entrée de la zone de travail (point B).
- En prenant comme durée du tour cette valeur, quelles sont les palettes qui font un tour supplémentaire ?

On trouvera à la page suite le document DR1 rempli pour cette question. Nous voyons que les palette 6 et 7, arrivant respectivement à $t=15$ et $t=18$ doivent faire un tour supplémentaire. La palette 8 arrivant à $t=21$ peut entrer dans le stock. Elle sera donc traitée après la palette 5. Les palettes 9 et 10 devront faire un tour supplémentaire. Il faut donc, pour que le poste ne soit pas en manque de palette que la palette 6 soit revenue au point B à $t=64$. Compte tenu du temps de transfert entre A et B de 10s, il faut donc que la palette 6 soit revenue à $t=54$. **La durée du tour supplémentaire ne doit donc pas excéder 39s.**

Les palettes 6, 7 8 et 10 feront un tout supplémentaire.

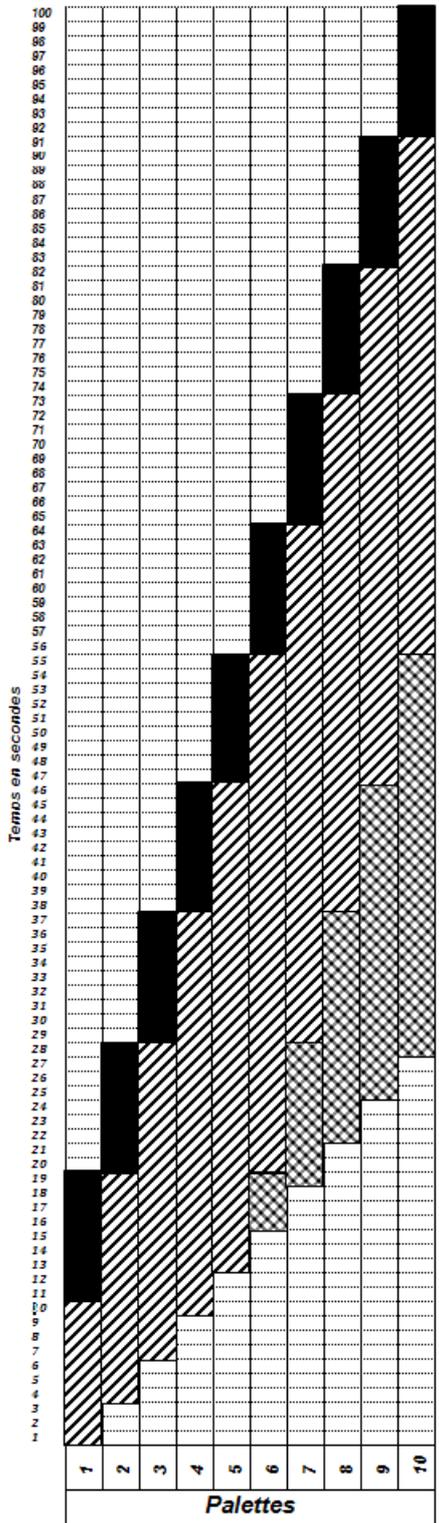


Diagramme question A.5

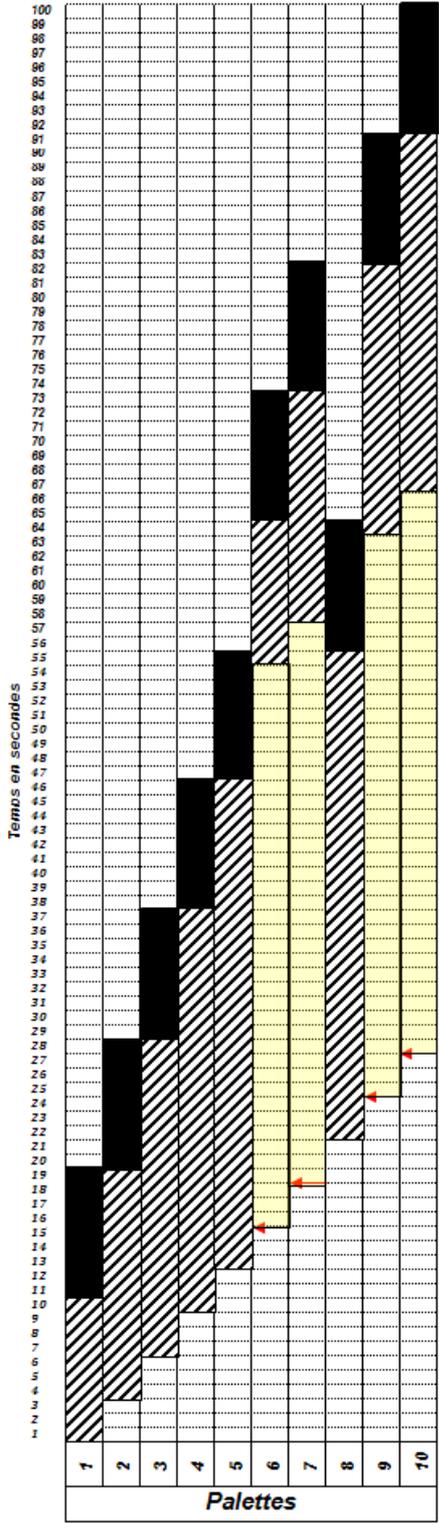
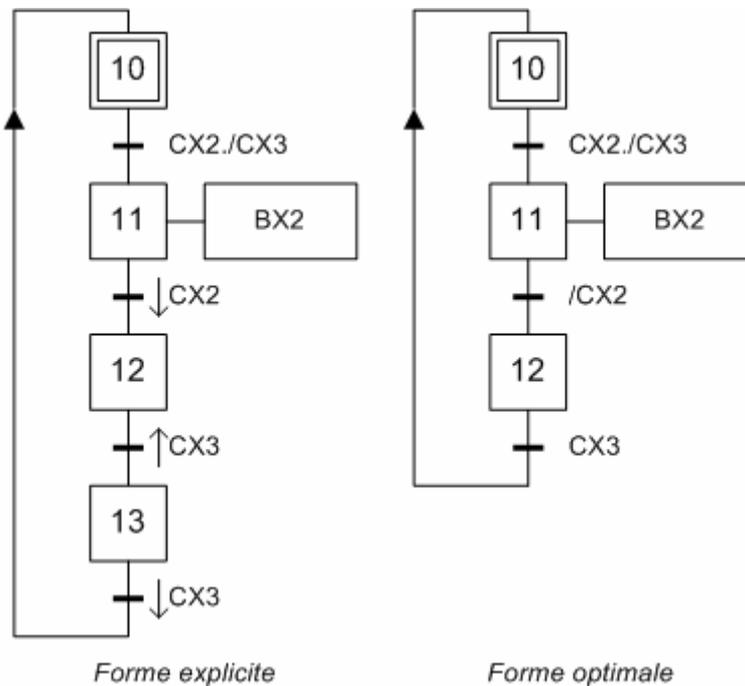


Diagramme question A.6

B-1-1) Dans la partie virage du poste, entre les capteurs CX2 et CX3, ne doit se trouver à tout instant qu'une seule palette, pour éviter des collisions semblables à celle mise en évidence dans l'annexe 9.

A partir du bilan des E/S de la figure B2, élaborer le grafcet (G7_VIR), d'étape initiale 10, du convoyage de la palette dans la zone virage.



Grafcet (G7_VIR)

Au départ, quand une palette arrive en CX2, il faut s'assurer qu'il n'y ait pas de palette en CX3. Puis quand on pilote la descente de la butée, le grafcet – visible dans sa forme explicite – suit l'évolution de la palette en étant réceptif aux événements ↓CX2, puis ↑CX3, puis enfin ↓CX3. Ainsi on est sûr de n'autoriser le passage d'une palette dans le virage, qu'à la condition que cette zone soit vide. On préférera la forme optimale, plus simple, du grafcet (G7_VIR).

B-1-2) A partir du bilan des E/S de la figure B3, élaborer le grafcet (G7_DIV) du convoyage des palettes dans la zone divergence en complétant le document réponse DR2.

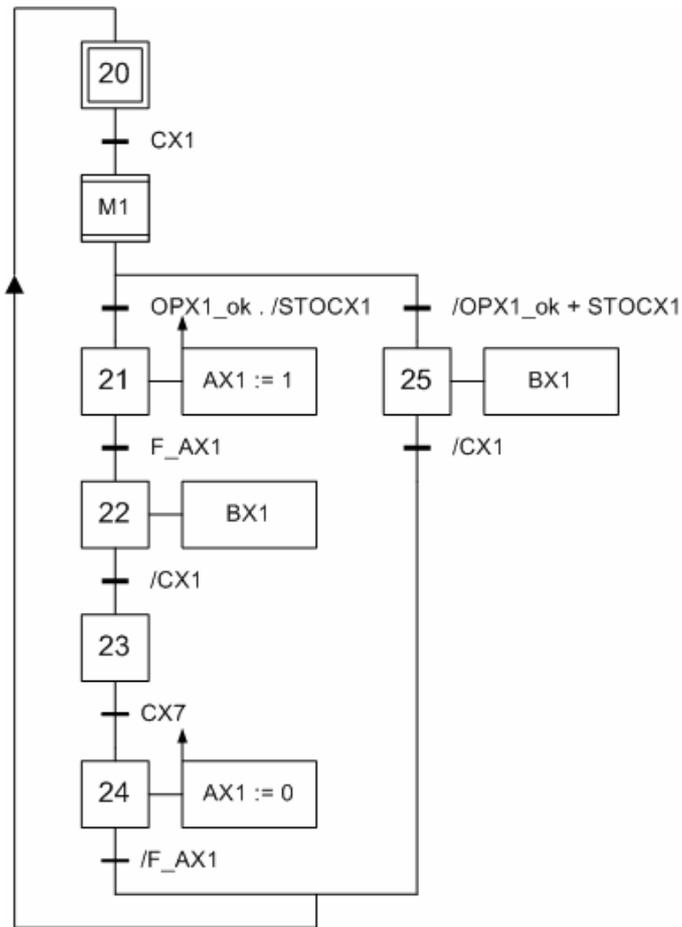
Remarque : les opérations de lecture d'étiquette et de traitement numérique pour créer la variable OPX1_ok, sont réalisées dans la macro-étape M1. L'expansion de M1 n'est demandée dans cette question.

Le grafcet comporte une divergence en OU pour traiter l'aiguillage du convoyeur.

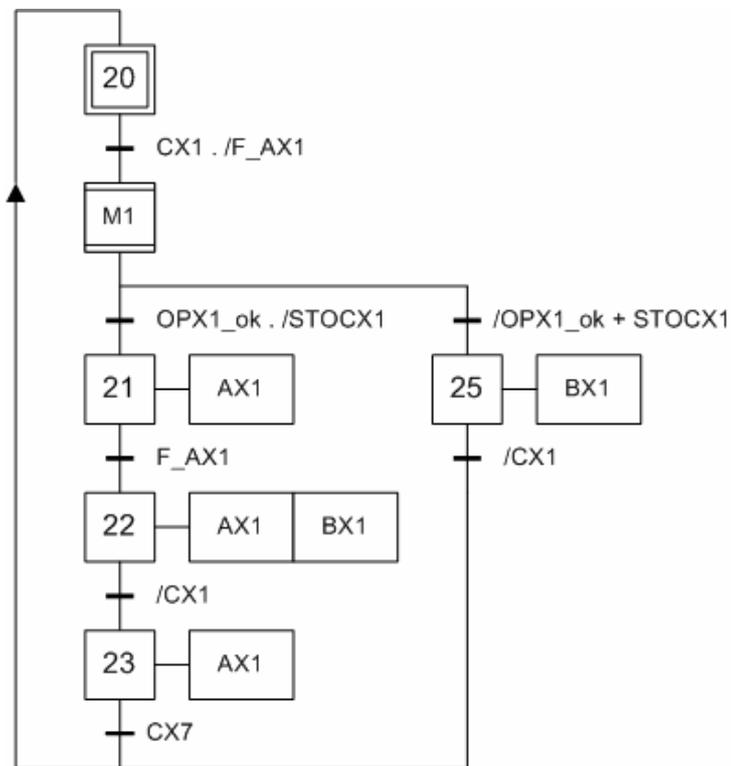
Si $(/OPX1_ok + STOCX) = 1$, alors on pilote la descente de la butée pour laisser passer la palette sur la boucle centrale du transfert. Au contraire, si $(OPX1_ok \cdot /STOCX) = 1$, on pilote l'aiguillage puis la descente de la butée pour envoyer la palette sur la boucle de travail.

Dans cette séquence on attend que la palette arrive en CX7 pour remettre l'aiguillage dans sa position initiale.

Attention la commande de AX1 est monostable, il faut donc la maintenir à différentes étapes de la séquence ou utiliser des actions mémorisées comme le montre les deux solutions de grafcet ci-après.



Grafcet (G7_DIV) : solution avec actions mémorisées pour la commande d'AX1



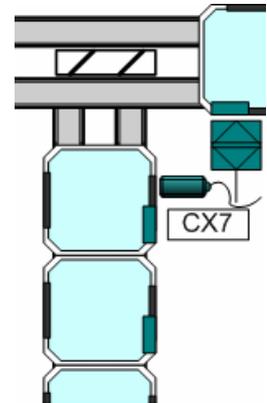
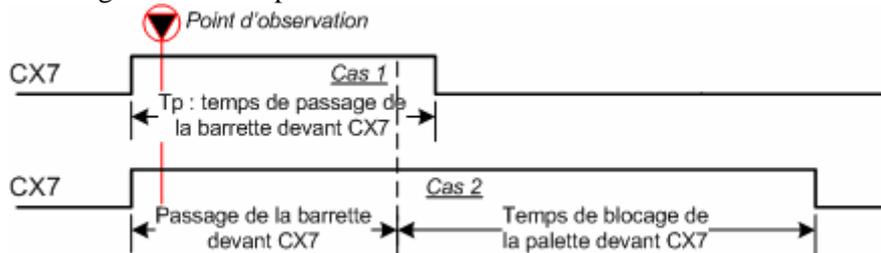
Grafcet (G7_DIV) : solution avec une action continue pour la commande d'AX1

B-1-3) Si l'on adopte la première solution (avec le signal du capteur CX7), donner le traitement logique qui permettra de créer la variable interne STOCX1. Expliciter.
 Si l'on adopte la deuxième solution (sans exploiter le signal du capteur CX7), donner le traitement logique qui permettra de créer la variable interne STOCX1.
 Comparer objectivement les deux solutions techniques et donner celle de votre choix en l'argumentant.

En exploitant le signal du capteur CX7 seul

Lorsque le stock de la boucle de travail est plein, la dernière palette va rester bloquée devant le capteur CX7, comme le montre la figure ci-contre.

Chronogramme correspondant :



Cas 1 : passage normal d'une palette devant CX7.

Cas 2 : arrivée de la dernière palette possible du stock maxi.

Quand le signal CX7 prend la valeur 1 (point d'observation en rouge sur le chronogramme), on ne sait pas si c'est le cas 1 de passage devant CX7 ou le cas 2 de stock plein. Donc, dès que CX7 prend la valeur 1, il faut considérer que $STOCX1 = 1$. D'où l'équation logique simple : $STOCX1 = CX7$

Non demandé : une autre solution consiste à exploiter deux signaux, CX7 et CX2.

On gère le stock de 5 palettes comme une pile FIFO (first in first out).

Incrémentation du compteur de stock : si $\uparrow CX7$, alors $C := C + 1$

Décrémentation du compteur de stock : si $\downarrow CX2$, alors $C := C - 1$

Et $STOCX1 = [C = 5]$

Sans exploiter le signal du capteur CX7

On gère le stock de 5 palettes entre CX7 et CX2 comme une pile FIFO.

Incrémentation du compteur de stock : si $\downarrow X23(G7_DIV)$, alors $C := C + 1$

Décrémentation du compteur de stock : si $\uparrow X12(G7_VIR)$, alors $C := C - 1$

Et $STOCX1 = [C = 5]$

La deuxième solution est plus simple à mettre en œuvre car elle ne nécessite aucun réglage ; pas de réglage précis de la position de CX7. Autre avantage, on sait au plus tôt que le stock est plein et ne considère pas que le stock est plein lors d'un passage fugace de palette devant CX7.

Naturellement, cela suppose qu'aucune intervention manuelle sur les palettes de la boucle de travail, ne vienne modifier le stock.

B-1-4) À partir de cette nouvelle configuration proposer une nouvelle version des grafjets (G7_TRA) et (G7_DIV) pour éviter tous les types de collision possibles en zone de convergence.

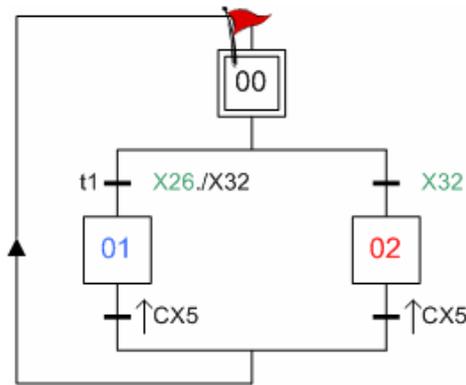
En cas de conflit, il faut donner une priorité que vous prendrez soin de justifier.

Il existe une zone commune sur la boucle centrale de transfert, entre CX1 et CX5, à partager entre le G7_DIV et le G7_TRA. Le Grafjet « partage de ressource », (G7_PAR), va arbitrer les demandes d'accès à cette zone. Son étape drapeau X00(G7_PAR) représente l'autorisation unique qui peut être donnée à l'un ou à l'autre.

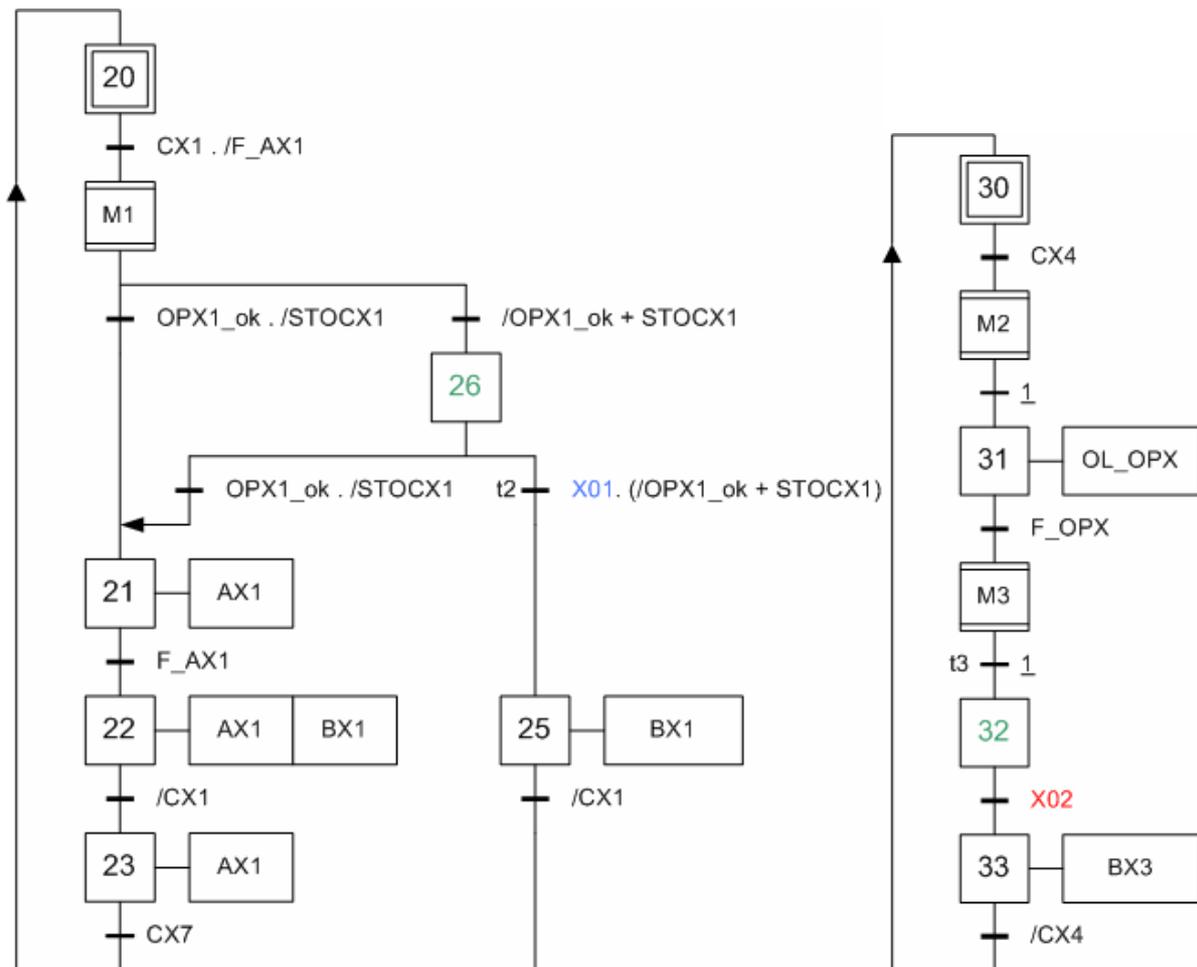
X26(G7_DIV) demande l'autorisation pour traverser cette zone, et attend l'information délivrée par X01(G7_PAR). L'autorisation donnée n'est donc plus disponible car X00(G7_PAR) = 0.

Dès que la palette atteint CX5 cela réactive X00 qui peut autoriser une autre demande, par exemple la sortie d'une palette du poste de travail sur la boucle centrale. La demande se fait avec X32(G7_TRA) et l'autorisation délivrée avec X02(G7_PAR).

En cas de demandes simultanées de nos deux antagonistes, une priorité est donnée à l'évacuation du poste de travail (G7_TRA) avec la réceptivité (X26. /X32) associée à la transition t1 du grafcet partage de ressource.



Grafcet partage de ressource (G7_PAR)



Grafcet (G7_DIV)

Grafcet (G7_TRA)

B-1-5) Avec la solution précédemment trouvée en question B-1-4, peut-il arriver qu'une palette finie de travailler, soit contrainte d'attendre en CX4 avant de pouvoir quitter le poste ? Si oui, expliquer les circonstances.

Pour une cadence optimale, il est nécessaire que la commande du convoyage dans cette zone de convergence ne provoque pas d'attente de palettes au poste de travail (en CX4), sous peine de créer un goulet d'étranglement.

A l'aide d'un schéma commenté, proposer une modification de la partie opérative pour éviter cet aléa.

Donner ensuite le ou les grafjets modifiés en conséquence. Justifier les choix effectués.

Si, juste après avoir franchi la transition t2 du (G7_DIV), le grafjet (G7_TRA) franchit la transition t3, alors la palette au poste de travail attend tout le temps qu'une autre palette traverse la boucle centrale de CX1 à CX5, avant d'être autorisée à quitter CX4.

Modifications de la partie opérative envisagées

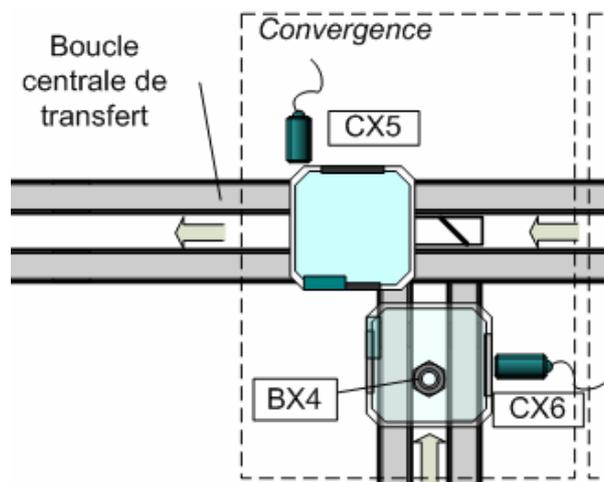
On ajoute en sortie de boucle de travail une butée modulaire BX4 ainsi qu'un détecteur de présence palette associé CX6 comme le montre le schéma ci-dessous.

Cette modification permet de créer un petit stock tampon de 3 palettes à la sortie du poste de travail CX4 et ainsi ne pas dépendre d'une attente pénalisante de libération de la zone commune.

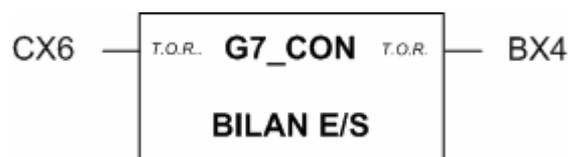
Le bilan des entrées/sorties pour le grafjet qui va commander cette butée (G7_CON) est donné ci-dessous.

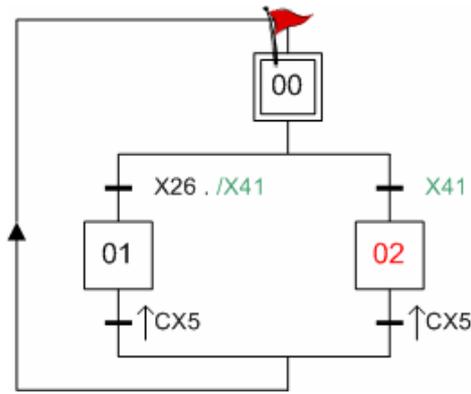
Le partage de la ressource se fait maintenant avec le grafjet (G7_CON) grâce à l'étape X41 qui sollicite la ressource et l'autorisation est toujours donnée par X02(G7_PAR).

Quant au stock tampon de 3 palettes entre CX4 et CX6, il est géré comme une pile FIFO avec une incrémentation du compteur se fait avec une action au franchissement de la transition t5 de (G7_TRA) et une décrémentation avec une action au franchissement de la transition t4 de (G7_CON).

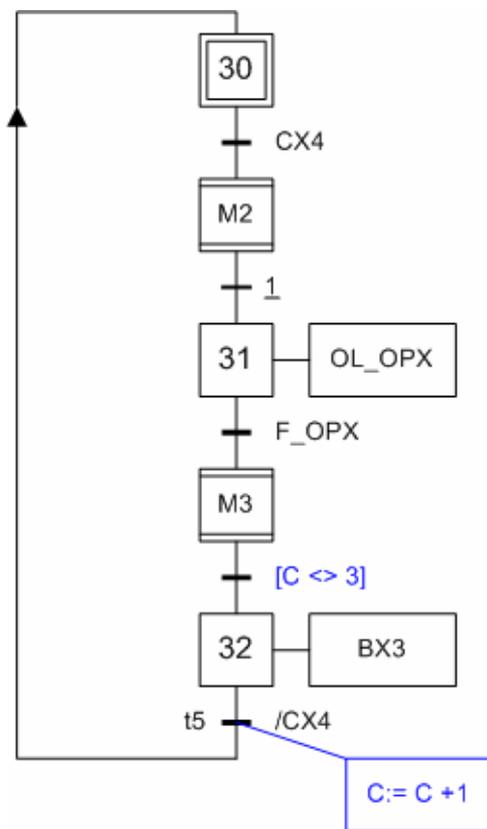


Modification de la partie opérative: ajout de la butée BX4 et du détecteur CX6

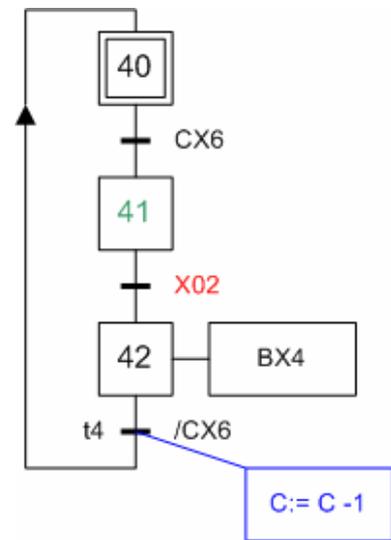




Grafcet partage de ressource (G7_PAR)



Grafcet (G7_TRA)



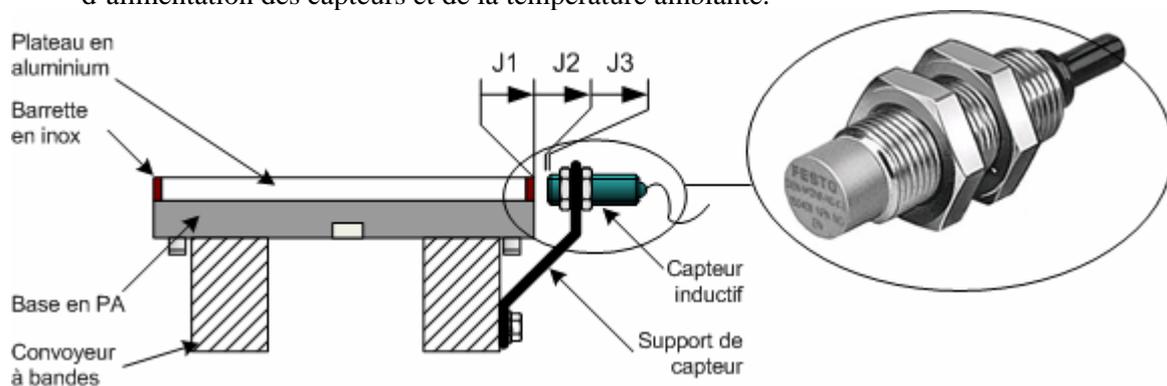
C=3 est le nombre de palettes pouvant se trouver derriere CX4 et jusqu'à CX6

Grafcet (G7_CON)

B-2-1) A l'aide du document constructeur de la palette en annexe 10, et celui des capteurs inductifs en annexe 12, faire le choix d'un capteur capable. A l'aide d'un schéma donner les conditions géométriques de montage de ce capteur, par rapport à la palette et la butée, pour garantir un fonctionnement fiable et cohérent avec l'automatisme. Justifier les choix faits.

Pour garantir un fonctionnement fiable il faut respecter les conditions fonctionnelles suivantes :

- Tenir compte du jeu J1 maxi de la palette par rapport au convoyeur ;
- Créer un jeu J2 positif confortable, entre la palette mobile et le capteur fixe pour éviter toute interférence mécanique ;
- Ne pas contraindre l'exploitant à des réglages de position de capteur trop précis (se donner une tolérance J3 dans le réglage) ;
- Tenir compte des performances réelles du détecteur inductif en présence d'un matériau à détecter qui est de l'acier inoxydable (matériau de la barrette) ;
- Tenir compte des tolérances de fabrication des composants, des variations de tension d'alimentation des capteurs et de la température ambiante.



Implantation des détecteurs inductifs en périphérie du convoyeur

Le montage du capteur peut se faire sans noyer la tête. On prendra donc un produit « non noyé ». L'implantation du détecteur est donnée dans la figure ci-dessus.

J1 maxi vaut 1 mm. Cette information est donnée par le constructeur en annexe 10. C'est la somme des principales tolérances de fabrication des palettes et du convoyeur. Mais toutes n'y sont pas.

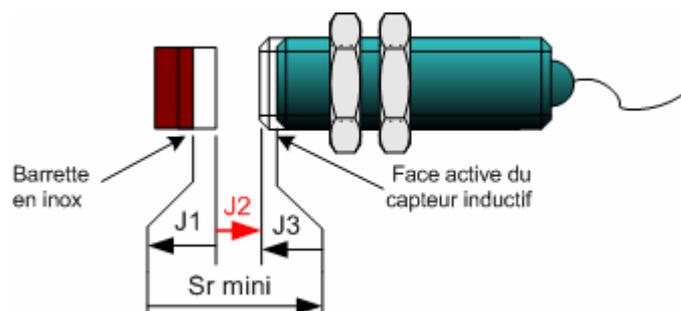
Choix raisonnables de jeux d'installation :

- Une valeur J2 de 0,5 mm est un minimum pour éviter les risques d'interférences mécaniques ;
- Une valeur J3 de 0,5 mm de tolérance minimum de réglage de la position du capteur, faire rendre aisé les interventions des techniciens.

Le premier produit capable dans la gamme Festo proposée en annexe 12 est peut être le modèle de taille M8 avec une portée nominale S_n de 2,5 mm. Pour la détection d'un acier inoxydable on applique le coefficient réducteur de la distance de commutation qui est de 0,7.

Soit une portée réelle $S_r = 0,7 \times S_n = 1,75$ mm.

Le suivant dans la gamme est le modèle M12, avec une portée de 4 mm. Le coefficient réducteur pour l'inox est dans ce cas de 0,8. D'où $S_r = 0,8 \times S_n = 3,2$ mm.



Caractérisation des jeux J1, J3 et de la condition de J2 mini

La figure ci-dessus symbolise les jeux et condition de fonctionnement.

Si l'on pose $J2$ mini comme condition alors l'équation de la chaîne fonctionnelle est :

$$J2 \text{ mini} = Sr \text{ mini} - J1 \text{ maxi} - J3 \text{ maxi}$$

d'où:

$$Sr \text{ mini} = J2 \text{ mini} + J1 \text{ maxi} + J3 \text{ maxi}$$

$$Sr \text{ mini} = 0,5 + 1 + 0,5$$

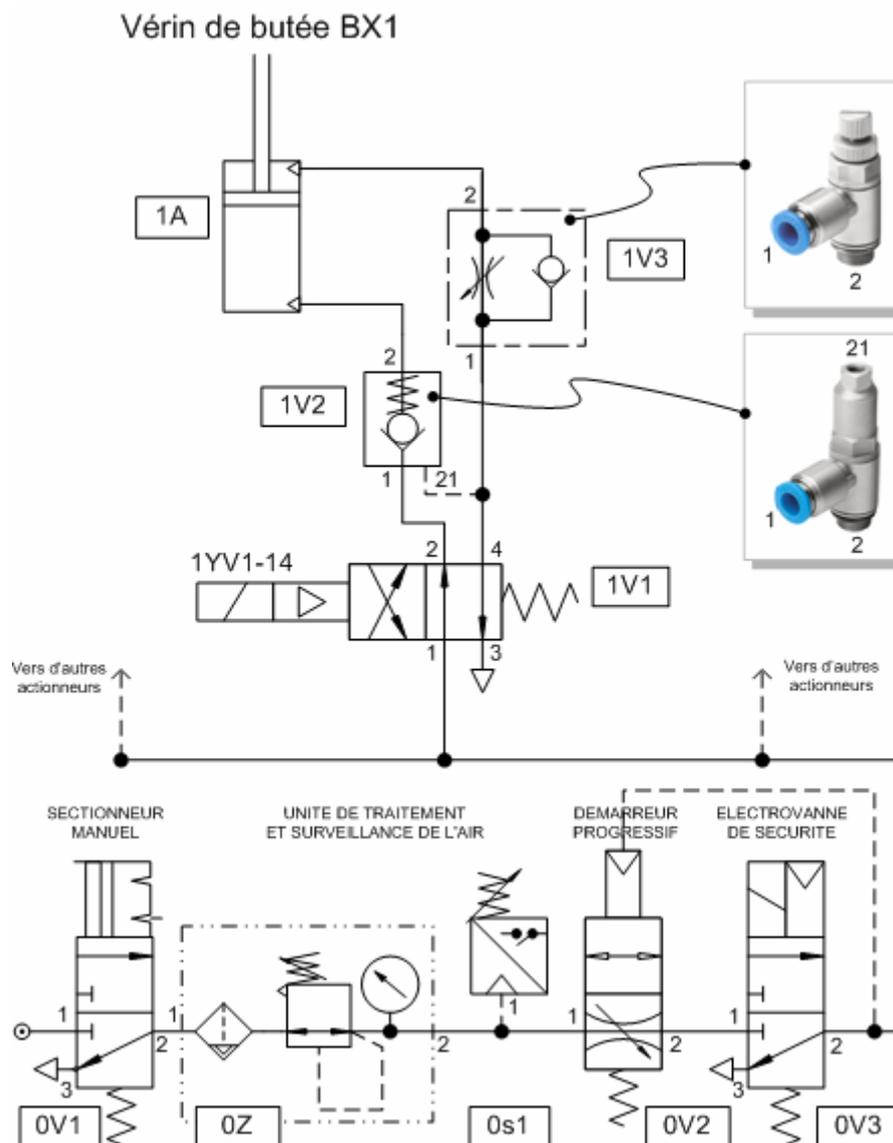
$$Sr \text{ mini} = 2 \text{ mm}$$

Le capteur M8 ne convient donc pas.

Le choix se portera sur le M12 avec sa portée réelle $Sr = 3,2 \text{ mm}$.

Si l'on veut être fiabiliste jusqu'au bout en prenant, non pas S_n , mais la caractéristique distance de commutation sûre $S_a = 3,24 \text{ mm}$ qui intègre tous les dispersions dues aux variations (température, tension d'alimentation, dispersions de fabrication), on obtient $Sr = 0,8 \times S_a = 2,59 \text{ mm}$, ce qui convient toujours.

B-2-2) Elaborer le schéma de câblage du circuit de puissance pneumatique d'une butée pour assurer ce fonctionnement. Argumenter les choix faits.



Circuit d'alimentation et de puissance pneumatique d'une butée

A partir de la pression délivrée par le circuit d'alimentation, le circuit de puissance de chaque actionneur réalise quatre fonctions qui sont :

- le pilotage de ses mouvements ;
- la maîtrise de ses efforts ;
- la maîtrise de ses vitesses ;
- et la commande sécuritaire.

Concernant le pilotage notre vérin double effet peut des satisfaire d'un distributeur 4/2. Il n'est rien demandé pour la maîtrise des efforts. Seule la vitesse de sortie de tige doit être réglable, on le fait grâce au régleur de débit unidirectionnel placé sur la chambre avant du vérin.

Par contre les butées doivent restées en position tige sortie en cas d'arrêt de sécurité et de coupure accidentelle d'énergie.

Cette fonction est indissociable du comportement du circuit d'alimentation – et en particulier de l'électrovanne de sécurité, qui coupe et purge les circuits de puissance de chaque actionneur. Elle est aussi conditionnée par le circuit de commande électrique qui coupe tous les signaux de pilotage des distributeurs en cas d'arrêt de sécurité.

Partant de cet axiome, deux commandes sécuritaires d'actionneur peuvent être choisies : une libération du vérin par la mise à l'échappement de ses chambres ou bien alors un blocage du vérin par effet pneumatique ou mécanique. Ici c'est un blocage de position tige sortie qui est demandé.

Le blocage se réalise technologiquement de plusieurs façons :

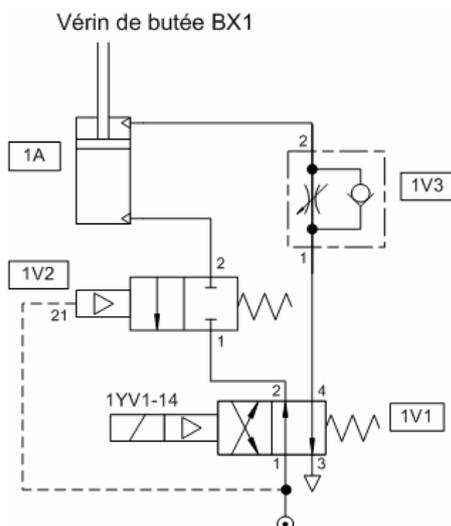
- par une troisième position centre fermé d'un distributeur 4/3 ou 5/3 (blocage pneumatique) ;
- par un clapet anti-retour piloté (blocage pneumatique) ;
- par un ou deux bloqueur 2/2 (blocage pneumatique) ;
- par un bloqueur mécanique sur tige, intégré au vérin.

Chacune de ces solutions présente des caractéristiques différentes de rapidité, dureté et durabilité de blocage ainsi que de coût. Le choix se fait en regard des risques estimés. Ainsi la solution de bloqueur mécanique – qui présente les meilleures performances – sera réservée aux risques les plus critiques eu égard à son prix de revient. Le tableau ci-dessous situe les solutions.

Solution technologique	Type blocage	Performance (de + à + + + +)	Coût (de 0 à 10)
Bloqueur mécanique de tige	mécanique	+ + + +	10
Deux bloqueurs 2/2	pneumatique	+ +	2
Un bloqueur 2/2	pneumatique	+ +	1
Clapet anti-retour piloté	pneumatique	+ +	1
Distributeur 3 positions	pneumatique	+	0

Tableau comparatif des quatre solutions technologiques de blocage

Ici on a le choix entre trois solutions simples et économiques, dont les performances sont tout à compatibles avec les risques sur la machine : solution distributeur à 3 positions à centre fermé, clapet anti-retour piloté ou un bloqueur 2/2.



Mais la solution du distributeur à 3 positions nécessite d'utiliser deux commandes pour son pilotage.

Il est certes monostable, mais possède deux pilotages. On ne la retiendra donc pas.

Le schéma du circuit de puissance de la butée BX1 ci-dessus illustre la solution optimale avec le clapet anti-retour piloté.

Attention la connexion de signal de pilotage 21 du clapet 1V1 doit se faire obligatoirement entre la sortie 2 de 1V2 et l'entrée 1 de 1V3. En effet en cas de d'arrêt de sécurité cette partie du circuit est mise à l'échappement instantanément via l'échappement 3 de 1V1, ce qui permet le dépiloteage immédiat de 1V2 pour bloquer sans tarder le vérin 1A.

La deuxième solution adaptée au contexte est l'utilisation d'un bloqueur 2/2 comme le montre le schéma ci-contre.

B-3-1) A l'aide du nouveau bilan des E/S de la zone de divergence (fig. B9), définir l'expansion M1 du grafcet (G7_DIV) incluant le traitement numérique pour réaliser la lecture du pointeur d'adresse de la phase à réaliser, la lecture du code opération de cette phase, le test de compatibilité du code opération avec le poste X et générer la variable OPX1_ok. Remarque importante : le traitement numérique doit être décrit en langage littéral structuré en respectant scrupuleusement la syntaxe définie en annexe 13.

En XE1 on demande à lire le pointeur d'adresse à l'adresse 01 de l'étiquette électronique.

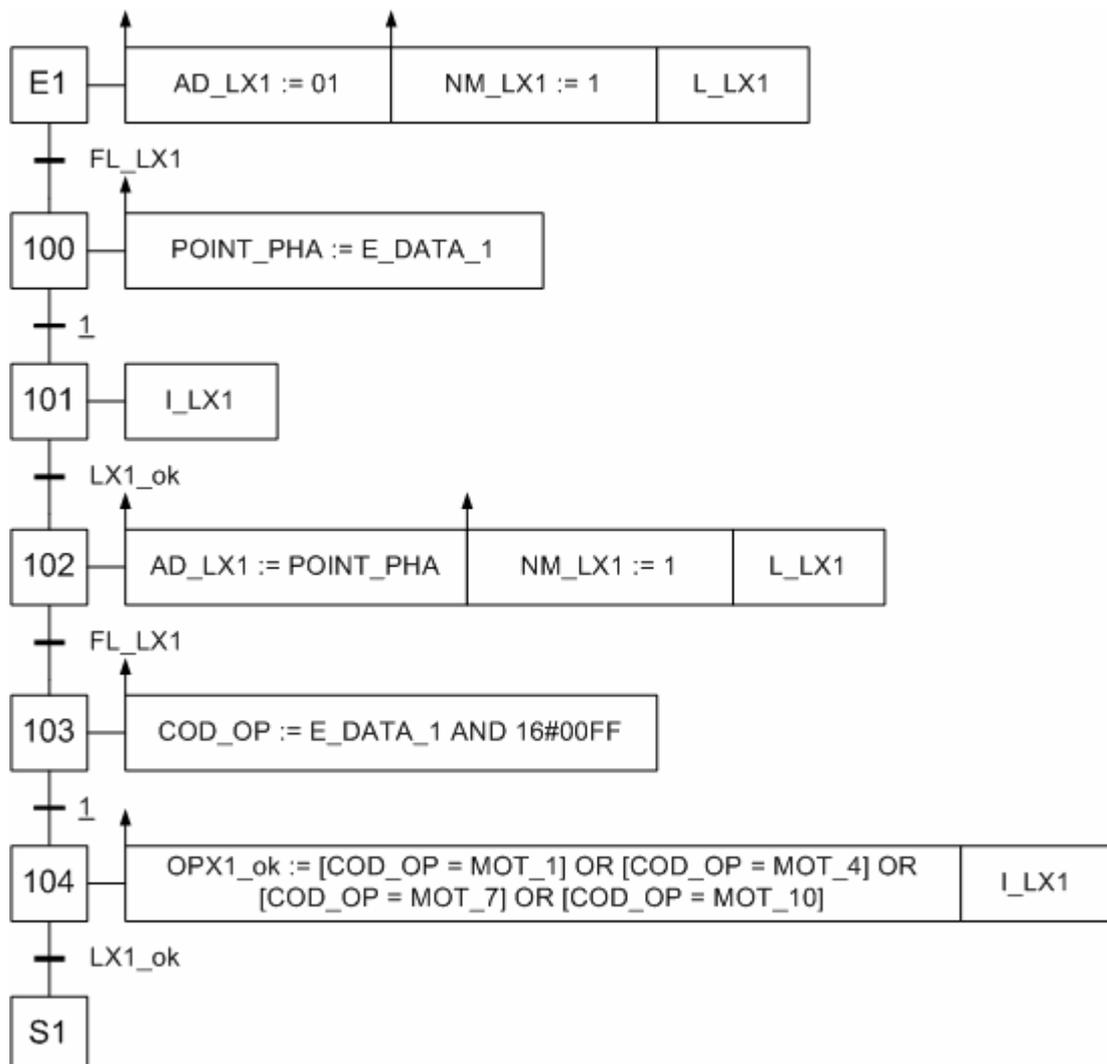
En X100 on mémorise la valeur du pointeur dans la variable interne POINT_PHA.

En X101, initialisation de la mémoire tampon.

En X102 on va lire le contenu du mot de 16 bits à l'adresse définie par le pointeur dans l'étiquette.

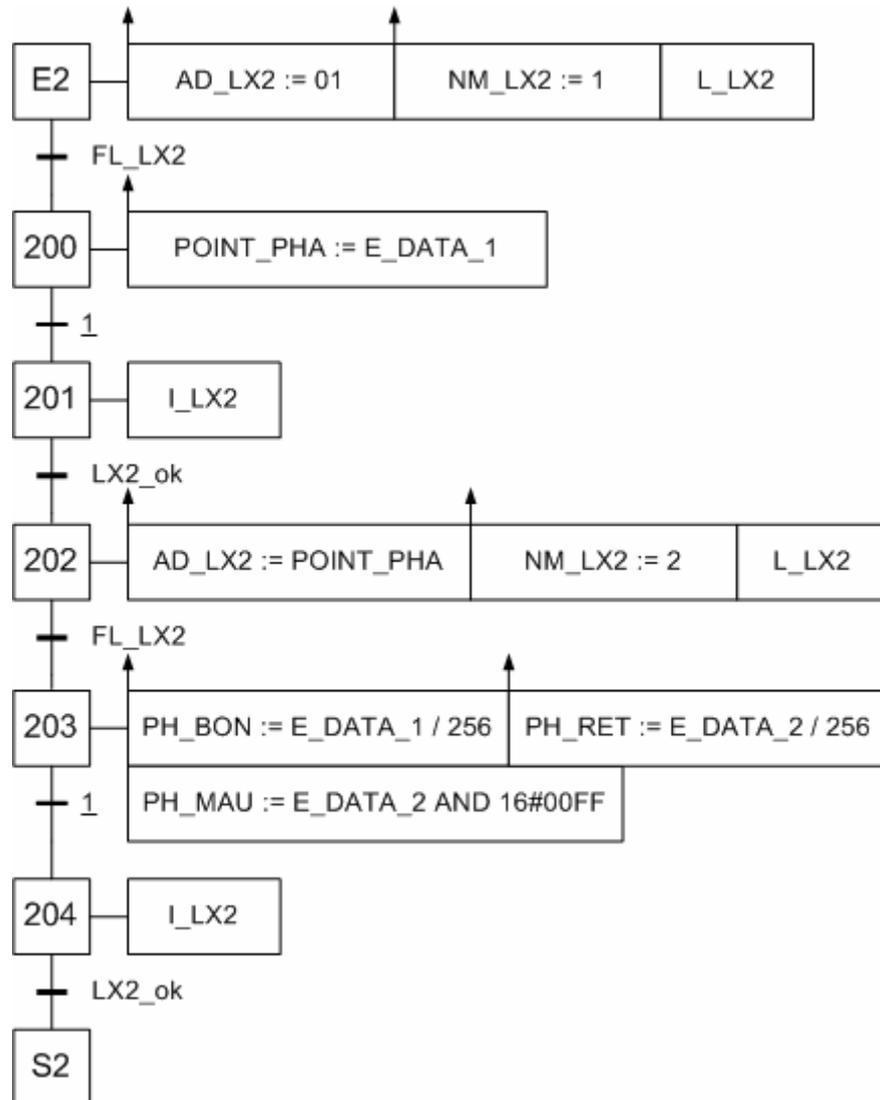
En X103 on récupère le code de l'opération en effectuant un masque sur la valeur rapatriée de l'étiquette, car seul l'octet de poids faible est significatif.

En X104 on détermine si ce code opération est semblable à un de ceux du poste X. Si oui, on met la variable OPX1_ok à 1.



Expansion M1 du grafcet (G7_DIV)

B-3-2) A l'aide du nouveau bilan des E/S de la zone de travail (figure B10), définir les expansions M2 et M3 du grafcet (G7_TRA) incluant le traitement numérique pour réaliser la lecture et mémorisation des trois numéros de phases suivantes, le calcul de la nouvelle valeur du pointeur d'adresse (POINT_PHA) en fonction du résultat (bon, mauvais ou retouche) et l'écriture de ce pointeur dans l'étiquette.



Expansion M2 du grafcet (G7_TRA)

En XE2 on demande à lire le pointeur d'adresse à l'adresse 01 de l'étiquette électronique.

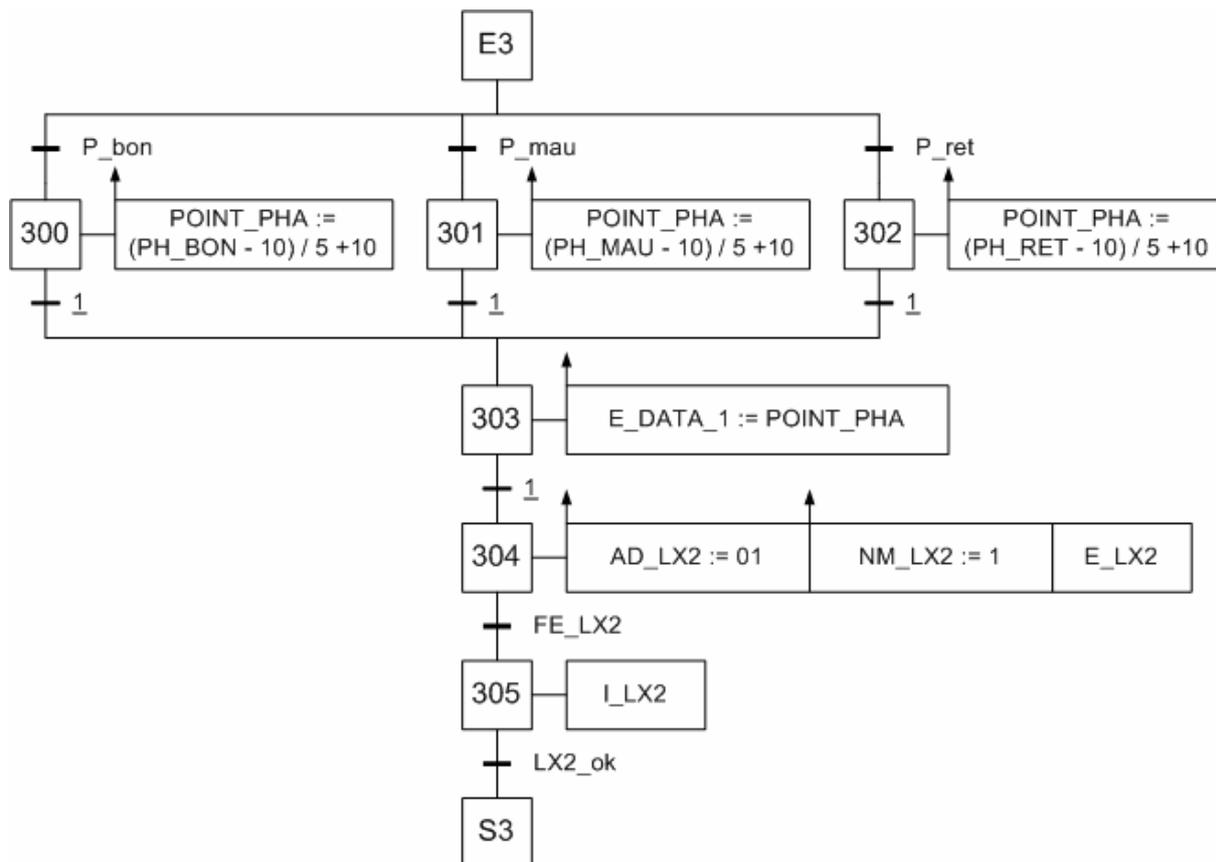
En X200 on mémorise la valeur du pointeur dans la variable interne POINT_PHA.

En X201, initialisation de la mémoire tampon.

En X202 on va lire le contenu de deux mots consécutifs à partir de l'adresse définie par le pointeur dans l'étiquette.

En X203 on récupère les trois numéros de phase (PH_BON, PH_MAU, PH_RET) dans les octets des deux mots de 16 bits, E_DATA_1 et E_DATA_2. Cela s'effectue en réalisant des masques sur l'octet de poids fort ou des décalages à droite de 8 rangs. Par exemple, l'instruction (PH_BON := E_DATA_1 / 256) provoque un décalage à droite de 8 bits pour déplacer l'octet de poids fort en lieu et place de l'octet de poids faible.

En X204, initialisation de la mémoire tampon.



Expansion M3 du grafcet (G7_TRA)

En fonction du résultat du travail fait au poste (pièce bonne, mauvaise ou à retoucher) on évolue dans une des trois étapes X300, X301 et X302, où l'on calcule l'adresse (dans l'étiquette électronique) de la phase dont on connaît le numéro.

Explications :

Si le contenu de PH_BON est 70, cela signifie que la prochaine phase à réaliser est la phase 70. Les informations relatives à cette phase se trouvent dans 2 mots consécutifs aux adresses 22 et 23 de l'étiquette. C'est donc cette valeur 22 qui doit être stockée dans le pointeur d'adresse POINT_PHA.

Adresse mémoire	Données		Zones mémoire
21	Zone « gamme »
22	N° de phase si bon	Code opération de la Phase 70	
23	N° de phase si retouche	N° de phase si mauvais	
24	

Extrait de l'adressage des données stockées dans l'étiquette électronique

La phase 10 est stockée à l'adresse 10 de l'étiquette. La phase 20 est stockée à l'adresse 12.

La phase 30 est stockée à l'adresse 14, et ainsi de suite.

La relation entre l'adresse et le numéro de phase est donc : Adresse := (N° de phase – 10)/5 + 10.

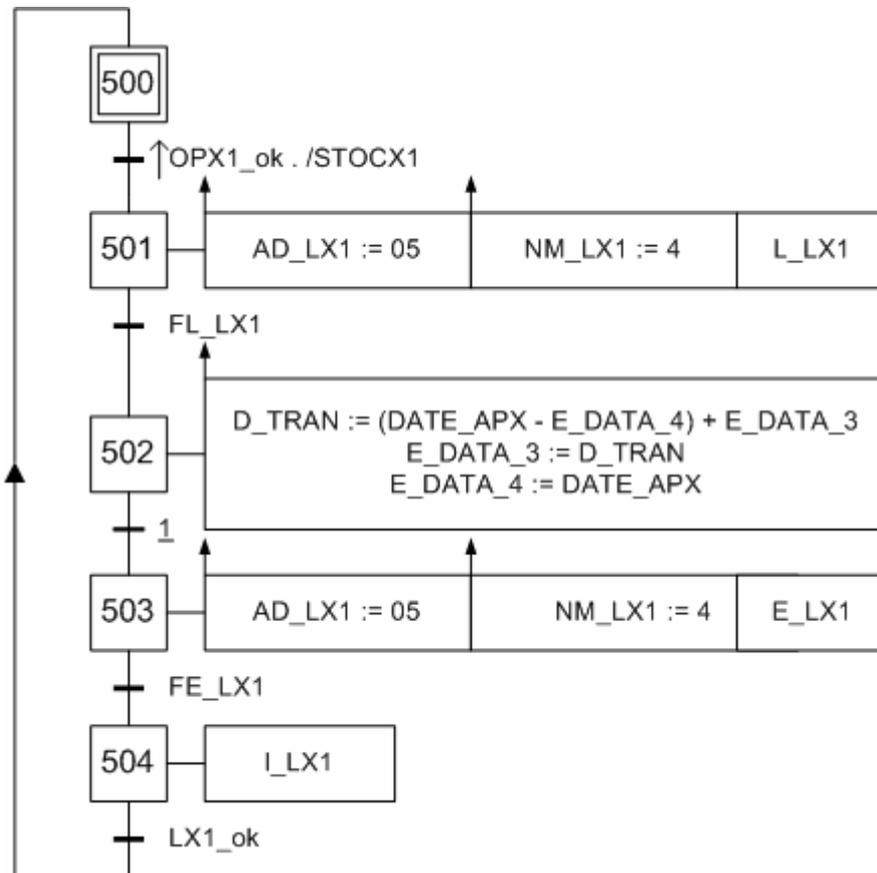
En X303, on place l'adresse calculée précédemment dans la mémoire tampon.

En X304, on écrit la valeur de POINT_PHA à l'adresse 01 de l'étiquette.

En X305, initialisation de la mémoire tampon.

B-3-3) A l'aide du bilan des E/S (figure B11), définir le traitement numérique de gestion (TNUM_GES) qui permet de comptabiliser ces trois durées et de les mettre à jour sur l'étiquette électronique dans la zone « résultats généraux » aux adresses 05, 06 et 07.

Remarque : s'il est nécessaire de mémoriser de manière décentralisée une ou deux informations intermédiaires sur l'étiquette, utiliser les adresses disponibles 08 et 09, en expliquant la raison.



Le traitement numérique de gestion (TNUM_GES) au plot de lecture/écriture LX1

On crée une nouvelle variable DATE_EV qui est la date du dernier événement pour la palette. Les événements possibles sont :

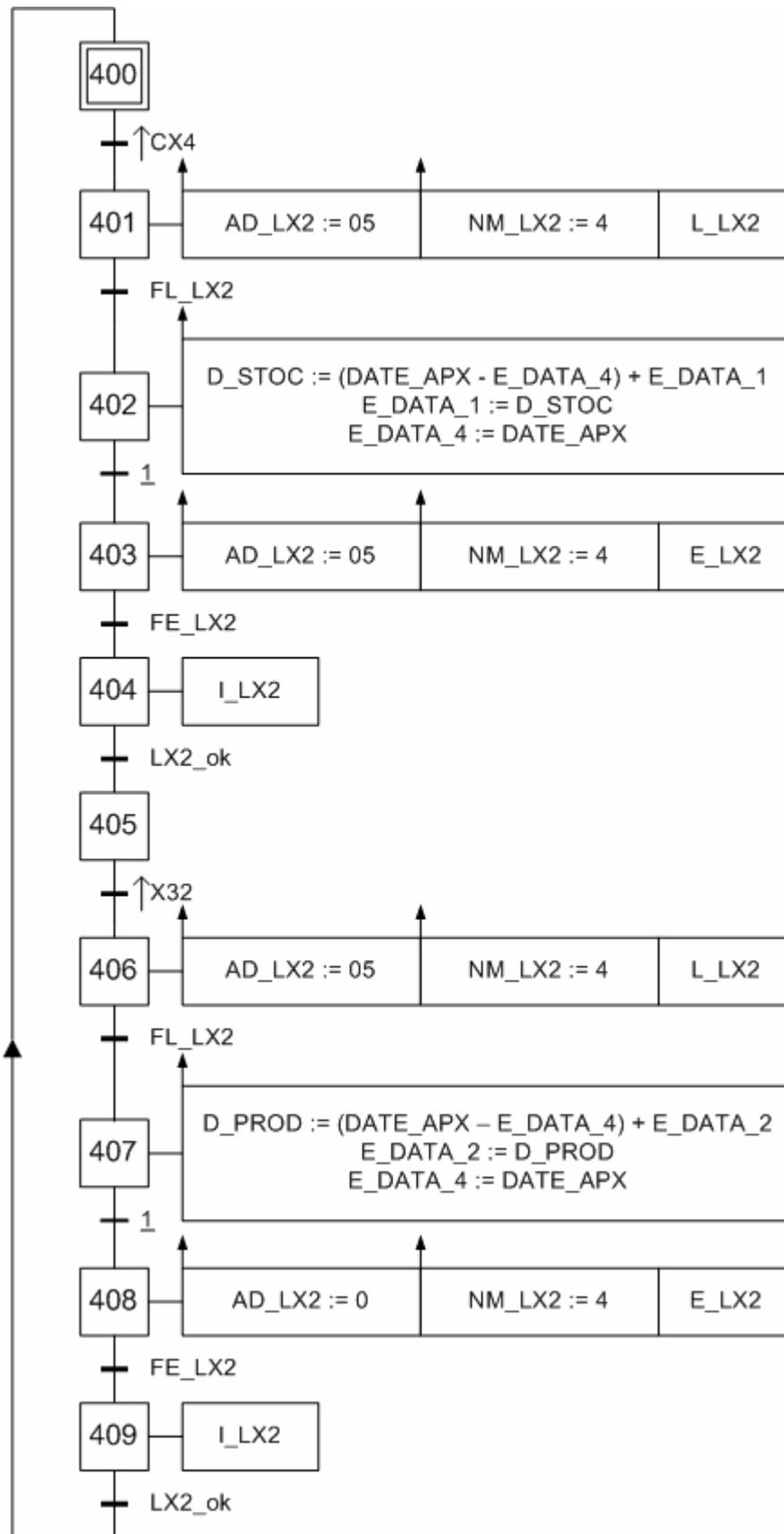
- $\uparrow(\text{OPX1_ok} . / \text{STOCX1})$: fin d'une période de transfert et début d'une période de stockage ;
- $\uparrow\text{CX4}$: fin d'une période de stockage et début d'une période de production ;
- $\uparrow\text{X32}(\text{G7_TRA})$: fin d'une période de production et début d'une période de transfert ;

Cette variable DATE_EV est liée à la palette, elle est donc stockée sur l'étiquette à l'adresse 08.

A chaque opération de lecture de l'étiquette électronique on retrouvera la valeur de DATE_EV dans le registre E_DATA_4, si l'on fait une lecture de 4 mots à partir de l'adresse 05.

Principe commun du traitement numérique :

- A chaque événement, on déclenche une première opération de lecture de nos quatre paramètres : D_STOC, D_PROD, D_TRAN, DATE_EV.
- Ensuite on calcule la durée totale de la phase qui se termine
- On mémorise dans l'étiquette la date du nouvel événement ainsi que la durée totale de la phase terminée que l'on vient de calculer.
- Ce traitement se répète trois fois, deux fois en CX4 sur LX2 aux événements $\uparrow\text{CX4}$ et $\uparrow\text{X32}$ et une fois en CX1 sur LX1 à l'événement $\uparrow(\text{OPX1_ok} . / \text{STOCX1})$.



Le traitement numérique de gestion (TNUM_GES) au plot de lecture/écriture LX2

C-1-1) Donnez l'expression littérale du moment d'inertie total équivalent ramené à l'arbre moteur J_e dans le cas d'un déplacement de l'axe Y

Application numérique :

$$J_m = 0.3 \text{ gm}^2$$

$$J_r = 0.022 \text{ gm}^2$$

$$J_v = 3 \text{ gm}^2$$

$$R = 45 \text{ mm}$$

$$n = 7.25$$

$$M = 150 \text{ Kg}$$

L'énergie cinétique de l'ensemble est :

$$\frac{1}{2} J_e \omega_m^2 = \frac{1}{2} (MV^2 + 2J_p \omega_r^2 + J_r \omega_m^2 + J_m \omega_m^2)$$

$$\frac{1}{2} J_e \omega_m^2 = \frac{1}{2} (M\lambda^2 \omega_m^2 + 2J_p \frac{\omega_m^2}{n^2} + J_r \omega_m^2 + J_m \omega_m^2)$$

$$\frac{1}{2} J_e \omega_m^2 = \frac{1}{2} (M\lambda^2 + \frac{2J_p}{n^2} + J_r + J_m) \omega_m^2$$

soit en identifiant :

$$J_e = M\lambda^2 + \frac{2J_p}{n^2} + J_r + J_m \text{ avec } \lambda = \frac{R}{n}$$

$$\text{AN : } J_e = 0.00621498 \text{ Kgm}^2$$

C-1-2) Pourquoi peut on écrire que :

$$P_{max} = C_m \omega_{m_{max}}$$

En l'absence de frottements et d'efforts résistants, on a :

$$J_e \frac{d\omega}{dt} = C_m$$

Lors des différentes phases du mouvement, le couple C_m sera soit :

- Constant dans le cas d'une rampe
- Nul dans le cas d'une vitesse constante.

La puissance $P = C_m \omega_m$ sera donc maximale lorsque la vitesse sera maximale, d'où $P_{max} = C_m \omega_{m_{max}}$

C1-3) Montrer que la puissance peut se mettre sous la forme :

$$P_{max} = A \frac{V^2}{t_a(D - t_a)^2}$$

avec A une constante.

Nous avons :

$$P_{max} = C_m \omega_{m_{max}} \text{ avec } \omega_{m_{max}} = \frac{V_{Max}}{\lambda}$$

Or, le principe fondamental de la dynamique nous donne : λ

$$J_e \frac{d\omega}{dt} = C_m \text{ soit } J_e \frac{dV}{\lambda dt} = C_m$$

Durant la phase d'accélération nous avons

$$\frac{dV}{dt} = a = \frac{V_{max}}{t_a}$$

Soit :

$$J_e \frac{1}{\lambda} \frac{V_{max}}{t_a} = C_m$$

D'où :

$$P_{max} = J_e \frac{1}{\lambda} \frac{V_{max}}{t_a} \frac{V_{max}}{\lambda} = \frac{J_e V_{max}^2}{\lambda^2 t_a}$$

Le déplacement total Y est tel que :

$$Y = \int_0^D V dt$$

Cela correspond à l'aire du trapèze, soit :

$$Y = V_{max}D - V_{max}t_a = V_{max}(D - t_a)$$

D'où :

$$V_{max} = \frac{Y}{(D - t_a)}$$

Soit finalement :

$$P_{max} = \frac{J_e}{\lambda^2} \frac{Y^2}{t_a(D - t_a)^2}$$

Nous avons donc bien

$$P_{max} = A \frac{Y^2}{t_a(D - t_a)^2} \text{ avec } A = \frac{J_e}{\lambda^2}$$

C-1-4) En déduire $t_a = D/3$.

Nous avons :

$$\frac{dP_{max}}{dt_a} = -A \frac{Y^2(D - 3t_a)}{t_a^2(D - t_a)^3}$$

Qui s'annule pour $t_a = D/3$.

C-1-5) Montrer qu'on a alors, en notant $\lambda=R/n$:

$$V_{max} = \frac{3Y}{2D} \qquad a = \frac{9Y}{2D^2}$$

$$\omega_{m_max} = \frac{3Y}{2\lambda D} \qquad C_m = \frac{9J_e Y}{2\lambda D}$$

Nous avons vu que :

$$V_{max} = \frac{Y}{(D - t_a)} \text{ avec } t_a = \frac{D}{3} \text{ soit } V_{max} = \frac{3Y}{2D}$$

De même pour l'accélération :

$$a = \frac{V_{max}}{t_a} \text{ donc } a = \frac{9Y}{2D^2}$$

De même,

$$\omega_{m_max} = \frac{V_{max}}{\lambda} \text{ donc } \omega_{m_max} = \frac{3Y}{2D\lambda}$$

Enfin,

$$P_{max} = \frac{J_e}{\lambda^2} \frac{Y^2}{t_a(D - t_a)^2} \text{ donc } P_{max} = \frac{J_e}{\lambda^2} \frac{27Y^2}{4D^3} \text{ d'où } C_m = \frac{P_{max}}{\omega_{m_max}} = \frac{9J_e Y}{2\lambda D}$$

C-1-6) Pour chacune des 13 phases de mouvement calculer les caractéristiques de la loi de mouvement. Présenter les résultats sous la forme d'un tableau.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-après :

phase	durée	Y	Accélération $a = \frac{9Y}{2D^2}$	vitesse masse $V_{\max} = \frac{3Y}{2D}$ ou V moyen	vitesse arbre moteur $\omega_m = \frac{V}{\lambda}$	couple à fournir $C_m = \frac{9J_e Y}{2\lambda D^2}$	$t_i \cdot C_{mi}^2$
t1	1.5		0	0	0.00	0.00	0.00
t2	0.17	0.5	4.5	0.75	1153.87	9	13.535
t3	0.17		0	1.5	2307.75	0.00	0.00
t4	0.17		-4.5	0.75	1153.87	-9	13.535
t5	1.5		0	0	0.00	0.00	0.00
t6	0.33	1	4.5	0.75	1153.87	4.5	6.77
t7	0.33		0	1.5	2307.75	0.00	0.00
t8	0.33		-4.5	0.75	1153.87	-4.5	6.77
t9	1.5		0	0	0.00	0.00	0.00
t10	0.17	0.5	4.5	0.75	1153.87	9	13.535
t11	0.17		0	1.5	2307.75	0.00	0.00
t12	0.17		-4.5	0.75	1153.87	-9	13.535
t13	1.5		0	0	0.00	0.00	0.00

C-1-7) - En utilisant le document de l'annexe 14 ; déterminer la vitesse moyenne V_{moy} et le couple thermique équivalent C_{eq} .

- En utilisant le document de l'annexe 15, choisir le moteur et le variateur associé.

Le tableau conduit aux caractéristiques suivantes :

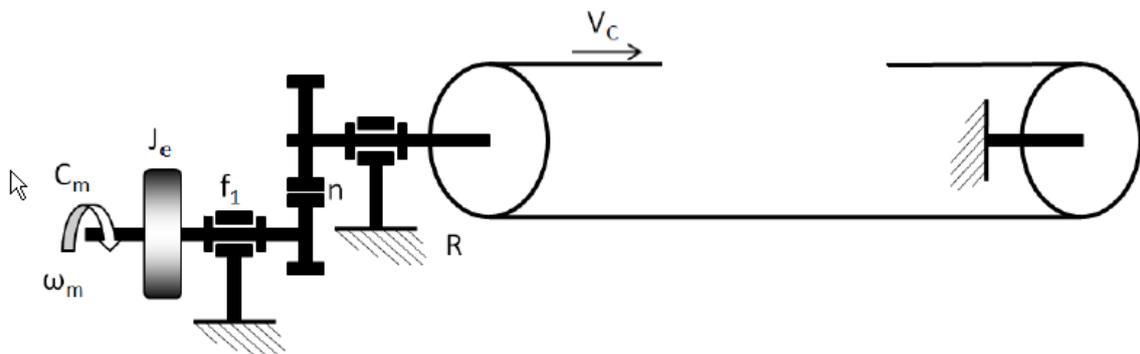
- $C_{\text{eq}} = 2.9 \text{ Nm}$
- $C_{\text{max}} = 9 \text{ Nm}$
- $V_{\text{moy}} = 385 \text{ tr/mn}$

Compte tenu de ces caractéristiques, on retient le moteur BPH0952N avec le variateur Lexium MDH 1017N00

C-2-1) - A partir de la figure C7 établir les équations différentielles reliant les différentes grandeurs physiques.

- Justifier alors le schéma bloc de la figure C8.

On isole



Th de l'EC par exemple

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} J_e \omega_n^2 \right] = C_m \omega_m - f_1 \omega_m^2 - F_c \cdot V_c$$

$$J_e \frac{d}{dt} \omega_n \omega_n = C_m \omega_m - f_1 \omega_m^2 - F_c \cdot V_c \text{ soit}$$

$$V_c = \frac{R}{n} \omega_n$$

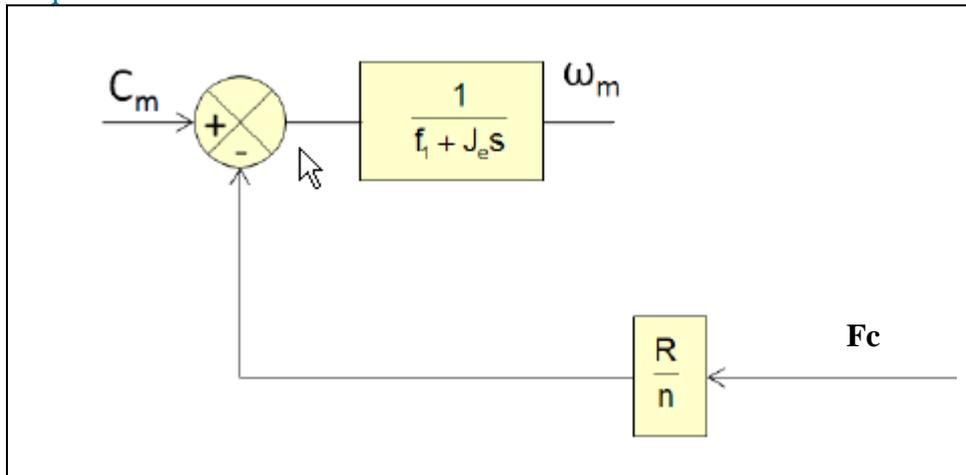
$$J_e \frac{d}{dt} \omega_n = C_m - f_1 \omega_m - F_c \cdot \frac{R}{n}$$

$$J_e \cdot s + f_1 \Omega_m(s) = C_m(s) - F_c(s) \cdot \frac{R}{n}$$

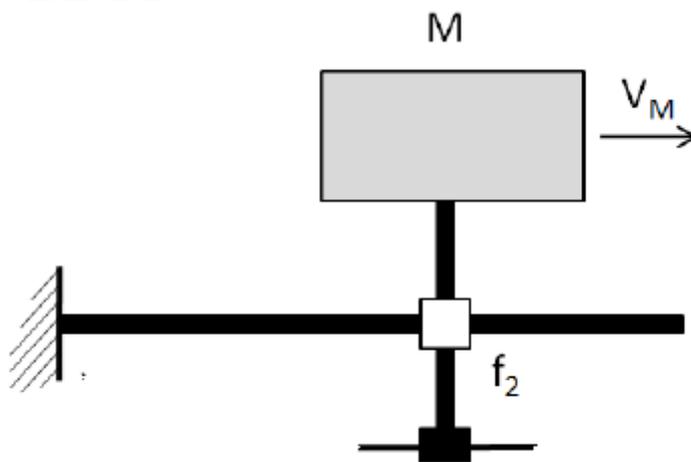
dans le domaine symbolique

$$J_e \cdot s + f_1 \Omega_m(s) = C_m(s) - F_c(s) \cdot \frac{R}{n}$$

ce qui donne le schéma bloc suivant

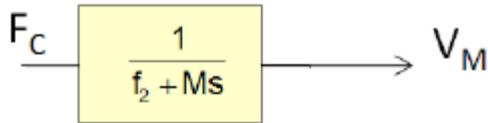


on isole maintenant



le PDD s'écrit (suivant Y)

$$M \frac{dy_m}{dt} = F_c - f_2 y_m \text{ soit dans le domaine symbolique } M \cdot s + f_2 V_m(s) = F_c$$



il ne reste plus qu'à déterminer F_c

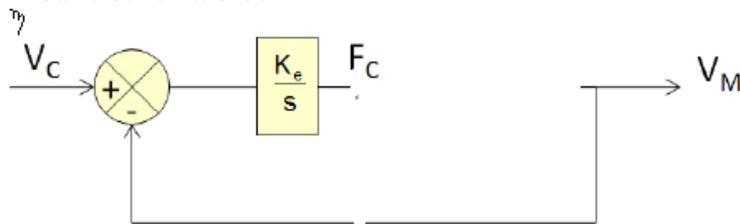
A l'équilibre		$F_{c_0} = 0$ $L_0 = y_{m0} - y_{c0}$
En mouvement		$F_c = -K_e L - L_0$ $L = y_m - y_c$ $F_c = -K_e y_m - y_{m0} - y_c - y_{c0}$

En se plaçant par rapport à la position d'équilibre en posant $Y_m = y_m - y_{m0}$
 $Y_c = y_c - y_{c0}$

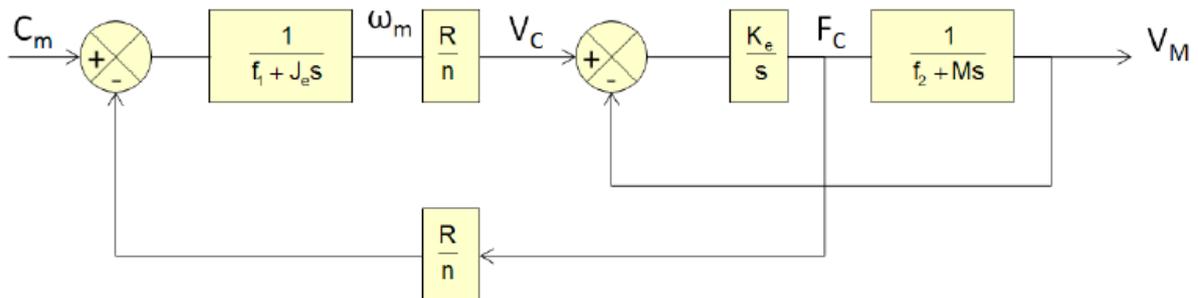
La relation devient $F_c = -K_e Y_m - Y_c$ soit dans le domaine symbolique

$$F_c(s) = K_e Y_c(s) - Y_m(s) \text{ puis en faisant intervenir la vitesse } F_c(s) = \frac{K_e}{s} V_c(s) - V_m(s)$$

D'où le schéma bloc



Pour justifier le schéma bloc de la figure C8, il suffit de connecter tous les blocs ci-dessus

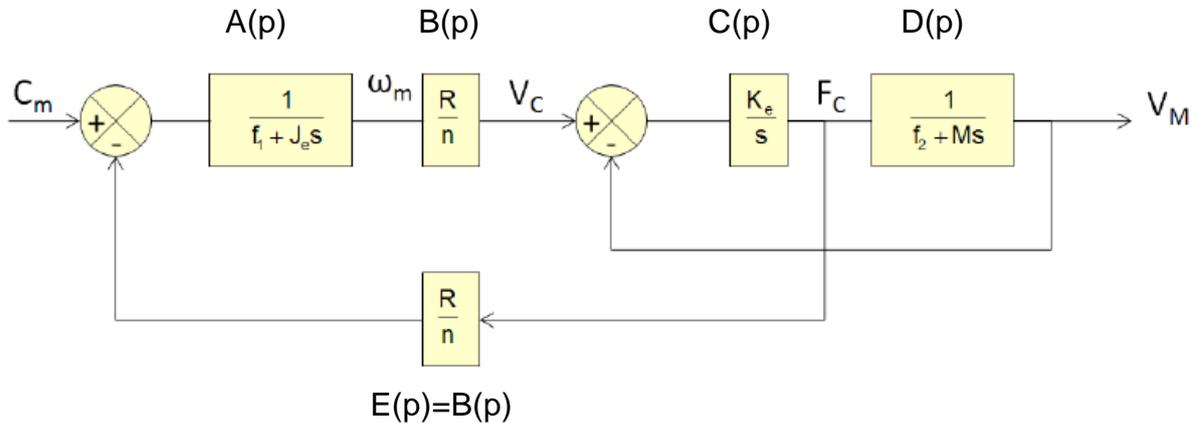


C-2-2) - A partir de la figure C8 établir l'expression de la fonction de transfert $H(s)=V_M(s)/C_m(s)$.

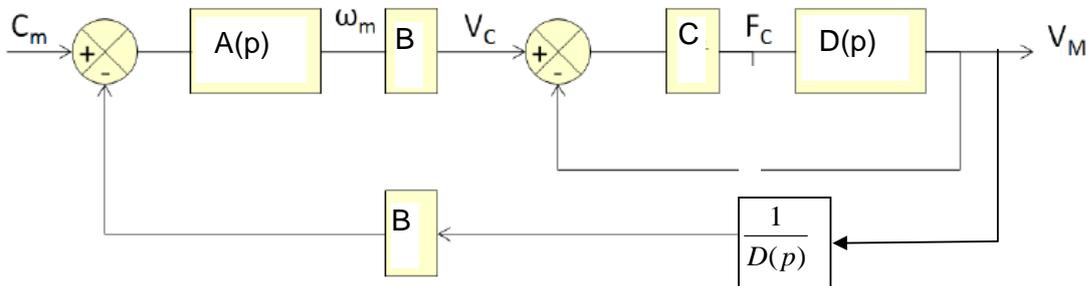
- Vérifier que l'expression littérale prend la forme :

$$H(s) = \frac{V_M(s)}{C_m(s)} = \frac{b_0}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + a_3s^3}$$

On pose pour se faciliter les calculs



on peut mettre le schéma bloc sous la forme suivante



D'où la fonction de transfert $H(s) = \frac{A \cdot B \cdot \frac{C \cdot D}{1 + C \cdot D}}{1 + A \cdot B \cdot \frac{C \cdot D}{1 + C \cdot D} \cdot B \cdot \frac{1}{D}}$ soit $H(s) = \frac{A \cdot B \cdot C \cdot D}{1 + C \cdot D + A \cdot B^2 C}$

$$H(s) = \frac{n \cdot K_e \cdot R}{n^2 \cdot J_e \cdot M \cdot s^3 + n^2 \cdot (f_1 \cdot M + J_e \cdot f_2) s^2 + (n^2 \cdot f_1 \cdot f_2 + n^2 \cdot J_e \cdot K_e + R^2 \cdot K_e \cdot M) s + n^2 \cdot f_1 \cdot K_e + R^2 K_e \cdot f_2}$$

$$H(s) = \frac{n \cdot R}{\frac{n^2 \cdot J_e \cdot M}{K_e} \cdot s^3 + \frac{n^2 \cdot (f_1 \cdot M + J_e \cdot f_2)}{K_e} s^2 + \frac{(n^2 \cdot f_1 \cdot f_2 + n^2 \cdot J_e \cdot K_e + R^2 \cdot K_e \cdot M)}{K_e} s + n^2 \cdot f_1 + R^2 \cdot f_2}$$

Cette expression littérale prend la forme : $H(s) = \frac{V_M(s)}{C_m(s)} = \frac{b_0}{a_0 + a_1 \cdot s + a_2 \cdot s^2 + a_3 \cdot s^3}$

C-2-3) Montrer que si la courroie est parfaitement rigide (K_e a une valeur infiniment grande)

$$\text{alors } H(s) \text{ devient : } H(s) = \frac{K_m}{1 + \tau \cdot s} = \frac{\frac{R}{n} \frac{1}{f_1 + \frac{R^2}{n^2} f_2}}{1 + \frac{J_e + \frac{R^2}{n^2} M}{f_1 + \frac{R^2}{n^2} f_2} s}$$

On peut soit reprendre du début, soit à partir d'un calcul de limite

$$\lim_{K_e \rightarrow +\infty} H(s) = \frac{n \cdot R}{n^2 \cdot J_e + R^2 \cdot M \cdot s + n^2 \cdot f_1 + R^2 \cdot f_2} = \frac{\frac{n \cdot R}{n^2 \cdot f_1 + R^2 \cdot f_2}}{\left(\frac{n^2 \cdot J_e + R^2 \cdot M}{n^2 \cdot f_1 + R^2 \cdot f_2} \right) \cdot s + 1}$$

$$H(s) = \frac{\frac{R}{n} \frac{1}{f_1 + \frac{R^2}{n^2} \cdot f_2}}{\left(\frac{J_e + \frac{R^2}{n^2} \cdot M}{f_1 + \frac{R^2}{n^2} \cdot f_2} \right) \cdot s + 1}$$

$$\text{AN } H(s) = \frac{0,326}{0,630 \cdot s + 0,465} = \frac{0,701}{1 + 1,35 \cdot s}$$

C-2-4) - Calculer les coefficients a_0, a_1, a_2, a_3 et b_0 .

- Montrer que la fonction de transfert peut s'écrire :

$$H(s) = \frac{V_M(s)}{C_m(s)} = \frac{K_m}{(1 + \tau_2 s) \left(1 + \frac{2\xi}{\omega_n} s + \frac{1}{\omega_n^2} s^2 \right)}$$

- Déterminer les coefficients K_m, τ_2, ξ et ω_n

Nous avons à partir du résultat de la question C2-2 :

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{nR}{K_e} & a_0 &= K_e(n^2 f_1 + R^2 f_2) & a_1 &= n^2 f_1 f_2 + n^2 J_e K_e + R^2 K_e M \\ a_2 &= n^2 (f_1 M + J_e f_2) & a_3 &= n^2 J_e M \end{aligned}$$

L'expression :

$$H(s) = \frac{V_M(s)}{C_m(s)} = \frac{K_m}{(1 + \tau_2 s) \left(1 + \frac{2\xi}{\omega_n} s + \frac{1}{\omega_n^2} s^2 \right)}$$

Correspond au mode dominant du premier ordre vu à la question C2-3 et un mode oscillant.

Nous avons donc :

$$K_m = \frac{R}{n} \frac{1}{(f_1 + \frac{R^2}{n^2} f_2)}$$

$$\tau_2 = \frac{J_e + \frac{R^2}{n^2} M}{f_1 + \frac{R^2}{n^2} f_2}$$

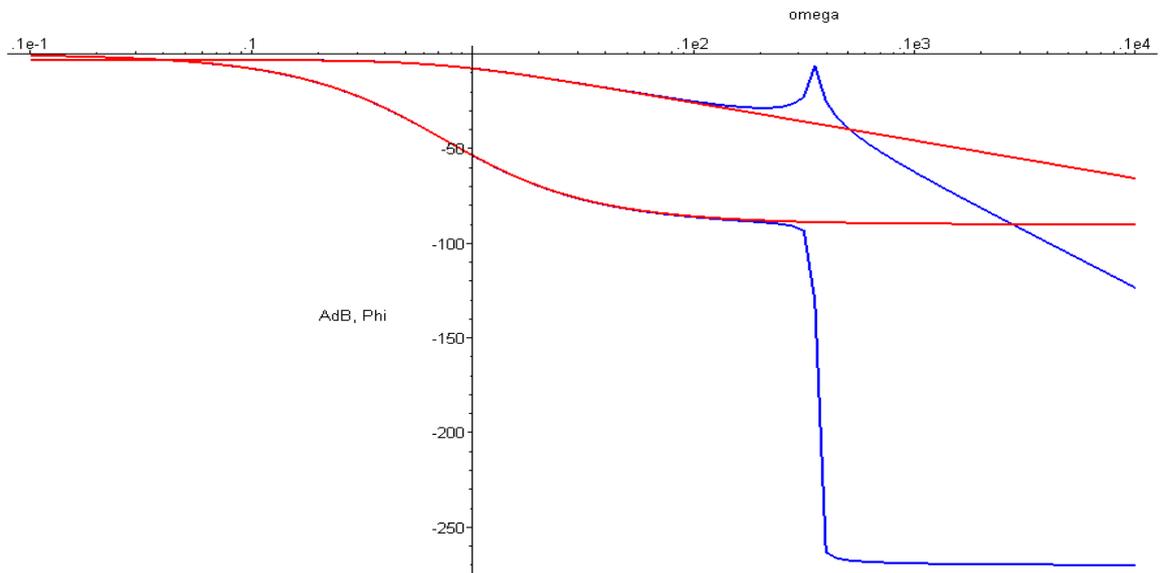
Nous avons donc :

$$\xi = \frac{1}{2} \frac{f_1 (\frac{R^2}{n^2} f_2)}{f_1 + \frac{R^2}{n^2} f_2} \sqrt{\frac{R^2}{n^2} K_e \frac{J_e (\frac{R^2}{n^2} M)}{J_e + \frac{R^2}{n^2} M}}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{\frac{R^2}{n^2} K_e (J_e + \frac{R^2}{n^2} M)}{J_e (\frac{R^2}{n^2} M)}}$$

C-2-5) Tracer les diagrammes de Bode de $H(s)$ et du premier ordre dominant, commenter.

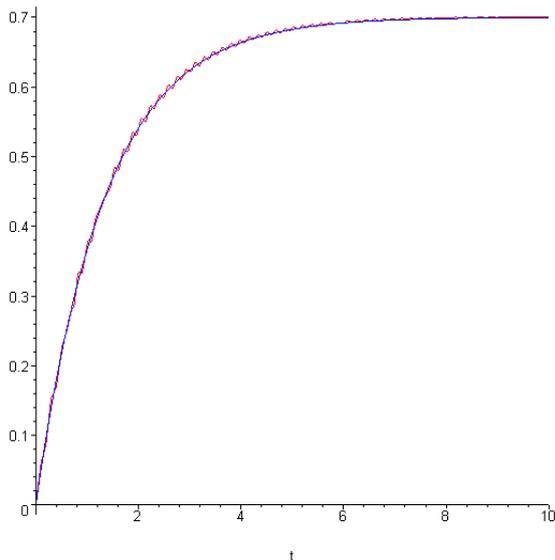
On note ci-dessous en rouge le premier ordre dominant, en bleu le modèle du 3eme ordre



C-2-6) On souhaite modéliser le fonctionnement par le modèle du premier ordre dominant, préciser à quelles conditions cette modélisation est valable.

Nous voyons que le modèle du premier ordre est utilisable si les fréquences de commandes (pulsations) restent inférieures à 10 rad/sec.

Remarque : la réponse à un échelon unitaire est

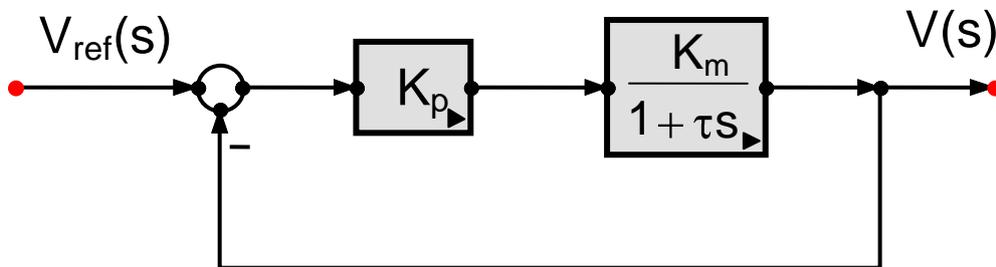


Ce qui valide bien ce modèle

C-3-1) - Donner le schéma bloc de la boucle d'asservissement de la vitesse.

- Quelle est l'expression de la fonction de transfert $H_v(s) = V(s)/V_{ref}(s)$?
- Mettre $H_v(s)$ sous sa forme canonique d'un premier ordre et donner l'expression du gain A_v et de la constante de temps τ_v .

Déterminer la valeur de K_p , qui permet d'avoir une dynamique de la boucle fermée de vitesse ($H_v(s)$) huit fois plus rapide que celle de la boucle ouverte.



$$H_v(s) = \frac{K_m \cdot K_p}{1 + K_m \cdot K_p + \tau \cdot s} = \frac{\frac{K_m \cdot K_p}{1 + K_m \cdot K_p}}{1 + \frac{\tau}{1 + K_m \cdot K_p} \cdot s}$$

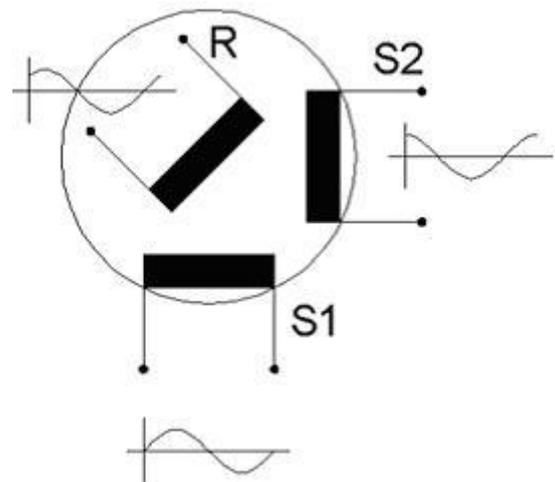
$$A_v = \frac{K_m \cdot K_p}{1 + K_m \cdot K_p} \text{ et } \tau_v = \frac{\tau}{1 + K_m \cdot K_p}$$

On souhaite $\tau_v = \frac{\tau}{8}$, d'où $\frac{\tau}{1 + K_m \cdot K_p} = \frac{\tau}{8} \Rightarrow \frac{7}{K_m} = K_p = 5,185$

C-3-2) - Quel est le principe de fonctionnement d'un résolveur ?

- Quelle est la précision de la mesure de position sur l'axe Y ?
- Quelle critique peut-on formuler sur ce choix de placement du capteur de position ?
- En déduire K_c , le gain de la mesure de position.

Dans un logement cylindrique sont disposés deux bobines de stator déplacées de 90° qui enferment le rotor situé dans le logement avec la bobine de rotor. La bobine du rotor est mise à l'extérieur par l'intermédiaire des balais et bagues. La bobine du stator S1 est excitée avec une tension sinusoïdale; la bobine de stator S2 est excitée avec une tension sinusoïdale décalée par rapport à S1 de 90°. Le décalage de phase de la tension induite dans la bobine du rotor dépend de la position du rotor:



- si le rotor se situe exactement en face par rapport à la bobine de stator S1, le décalage de phase de la tension du rotor est de 0°,
- si le rotor se situe exactement en face par rapport à la bobine de stator S2, le décalage de phase de la tension du rotor est de 90°,
- si le rotor est situé entre S1 et S2, le décalage de phase de la tension du rotor est de 45°.

Pendant une rotation du rotor, le résolveur donne une tension alternative avec un décalage de phase qui varie de 0° à 360°. Le décalage de phase de la tension de sortie du rotor par rapport à la tension excitatrice de S1 est alors une mesure du décalage d'angle du rotor.

Le résolveur est associé à un convertisseur 12 bits. La précision angulaire est donc de

$$\frac{2\pi}{2^{12}} = \frac{2\pi}{4096} = 0,0015\text{rad}$$

Compte tenu du gain en vitesse de la chaîne cinématique $\lambda = \frac{V}{\omega_m} = \frac{R}{n} = \frac{0,045}{7,25} = 6,20\text{mm/tour}$

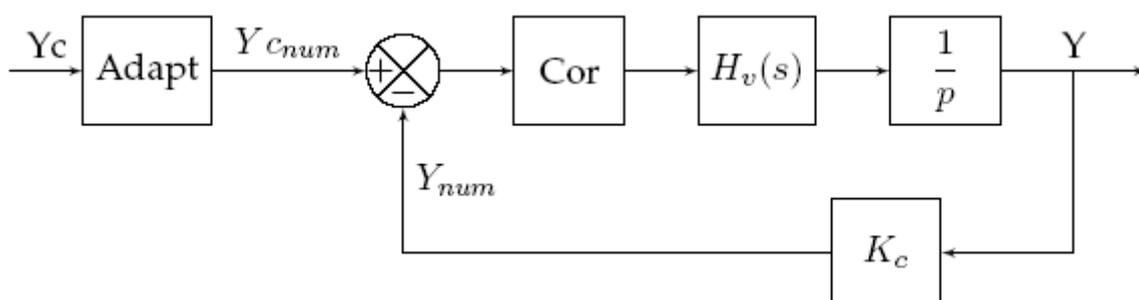
La précision de mesure sur l'axe Y est donc

$$\frac{6,20}{4096} \approx 0,00151\text{mm}$$

Mais cette précision est toute théorique, en effet celle-ci n'intègre pas les différents jeux de la transmission ni la raideur de la courroie crantée.

Gain du capteur

La boucle de position a l'allure suivante



le gain Kc permet d'avoir une image numérique de la position

$$K_c = \frac{4096}{6,2} \text{ pt/mm}$$

C-3-3) Quel est le principe d'une méthode de placement de pôle.

La structure de commande proposée correspond au schéma bloc de la figure C9 du sujet. La méthode cherche à déterminer les trois fonctions de transferts $T(s)$, $R(s)$ et $S(s)$. $R(s)$ et $S(s)$ seront choisies de manière à placer les pôles de la boucle fermée. $T(s)$ permettra d'ajuster le gain de l'asservissement. La méthode comporte cinq étapes :

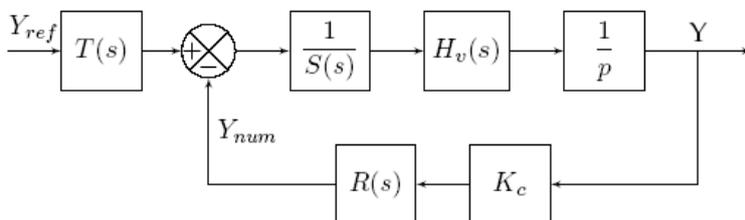
- Déterminer les polynômes $A(s)$ et $B(s)$, respectivement le dénominateur et le numérateur de la fonction de transfert en boucle ouverte.
- Déterminer les degrés des polynômes $R(s)$ et $S(s)$. Ceci permet de déterminer le degré du polynôme $P(s)$, dénominateur de la FT de la boucle fermée, et donc de déterminer le nombre de pôles à placer.
- Choix des pôles (racines de $P(s)$) en utilisant deux paramètres T_0 et T_c caractérisant la dynamique et la robustesse de l'asservissement.
- Par identification on détermine des polynômes $R(s)$ et $S(s)$.
- On détermine $T(s)$ pour que l'asservissement ait un gain=1.

C-3-4) - Montrer que la fonction $R(s)/S(s)$ peut être remplacée par un régulateur PD série avec filtre dont la fonction de transfert est :

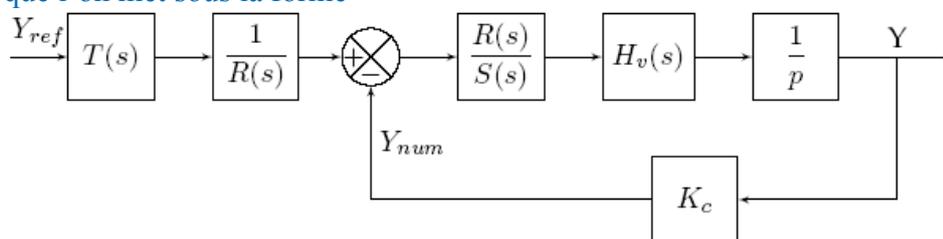
$$PD(s) = A_p \left(1 + \frac{sT_d}{1 + \tau_d s} \right)$$

- Donner les valeurs des paramètres du régulateur PD.

A partir du schéma bloc



que l'on met sous la forme



Nous avons :

$$\frac{R(s)}{S(s)} = \frac{4 \cdot 10^{-4} s + 2.4 \cdot 10^{-4}}{0.175 s + 6.2} = A_p \left(1 + \frac{sT_d}{1 + \tau_d s} \right)$$

$$\frac{R(s)}{S(s)} = \frac{4 \cdot 10^{-4} s + 2.4 \cdot 10^{-4}}{0.175 s + 6.2} = A_p \left(1 + \frac{s T_d}{1 + \tau_d s} \right) = \left(\frac{A_p + A_p (\tau_d + T_d) s}{1 + \tau_d s} \right)$$

$$= \frac{6.45 \cdot 10^{-5} s + 3.87 \cdot 10^{-5}}{2.82 \cdot 10^{-2} s + 1}$$

$$A_p = 3.87 \cdot 10^{-5}$$

$$\tau_d = 2.82 \cdot 10^{-2} \text{ s}$$

$$T_d = 1.638 \text{ s}$$