

épreuve d'automatique - informatique industrielle

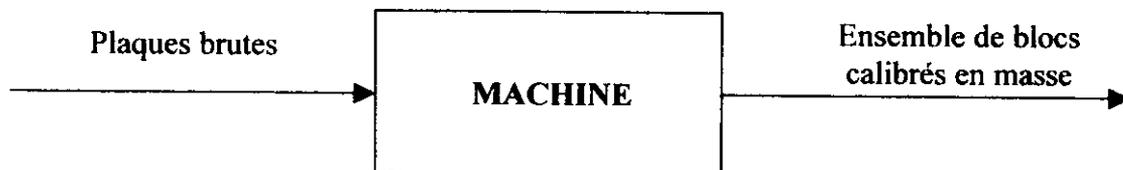
Durée : 4 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris programmable et alphanumérique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits.

Le candidat doit obligatoirement traiter les trois parties sur des copies distinctes, en précisant bien sur chaque copie le titre, le repère et la partie de l'épreuve traitée.

Machine à peser les blocs



Le système objet de l'étude dont la **figure N°1** donne un aperçu de l'architecture générale, se compose de trois grandes parties :

- Un système de positionnement et de coupe de type « guillotine » destiné à trancher des plaques primaires et obtenir ainsi des blocs calibrés en masse.

Le problème consiste donc à transformer cette donnée d'entrée exprimée en grammes en une valeur de déplacement de la plaque sous la guillotine fonction de ses caractéristiques dimensionnelles.

La **figure N°2** détaille le système de coupe.

Le schéma, **figure N°3**, présente le principe du système de positionnement des plaques permettant d'ajuster la coupe à effectuer en fonction du poids désiré.

- Un système de pesée en continu qui oriente la destination du bloc en fonction du résultat réel mesuré.
- Un ensemble de six boîtes de réception, à remplir avec des blocs afin d'obtenir un poids préétabli, auquel on associera le système d'évacuation des boîtes.

La précision dimensionnelle des plaques ne permet pas une visée directe du poids à obtenir. On cherche donc, à l'issue d'une première coupe, à obtenir les trois quarts du poids total préétabli et, après pesée de ce premier bloc, une seconde coupe tente de produire un deuxième bloc complémentaire.

Les six boîtes permettent un déroulement du cycle « en alterné », comme indiqué dans la description du fonctionnement, avec un taux de rebuts inférieur à 2%.

Extrait du cahier des charges fonctionnel

	Fonction	Critères et caractéristiques	Niveaux
FP1	Alimenter la machine en plaques primaires	Plaques Longueur : Largeur : Epaisseur : Poids moyen : Convoyeur à Tapis	500 mm maxi, bords dentelés 400 mm maxi, calibré 50 mm 7 kg 10 plaques en attente
FP2	Positionner les plaques sous la trancheuse	Asservissement de position Précision :	$\pm 1\%$
FP3	Trancher les plaques	Vérin hydraulique asservi Diamètre vérin : Diamètre tige : Course : Vitesse de coupe : Effort : Masse en mouvement :	D = ? d = ? c = 310 mm V = 0,2 m / s Fz = 15000 daN M = 300 kg
FP4	Peser les blocs	Balance dynamique Cadence : Tolérance :	6 pesées par minute $\pm 20g$ (blocs < 2kg) $\pm 1\%$ au delà
FP5	Trier les blocs	Caisses	Six maxi, plus une de rebus
FC1	Etre commandé en toute sécurité	Asservissement de coupe Précision en vitesse : Précision en effort : Modes de fonctionnement	5 % 5 % Automatique et manuel
FC2	Etre alimenté en énergie	Tension d'alimentation Pression hydraulique	380 V nominal 15 MPa

Description du fonctionnement

1- Début d'une campagne

La machine est entièrement vide de produits.

Les caisses vides se trouvent sous les clapets C1 à C6, au rebus et en attente sur le convoyeur de stockage.

L'opérateur fournit ses consignes à l'automatisme (nombre et poids de chaque caisse).

2- Chargement de la machine

C'est le passage en mode « production normale » qui enclenche automatiquement la mise en route du tapis d'amenée et le système, situé en amont, de production de plaques primaires. Une cellule « présence plaque », dont la position est indiquée **figure N°3**, détecte l'arrivée de la première plaque et gère ensuite la mise en route et l'arrêt du tapis d'amenée.

3- Cycle de pesée

Pour obtenir un temps de cycle minimum, on ne peut pas attendre la valeur du poids du bloc que l'on vient de couper pour donner la valeur du déplacement de la plaque et enclencher la coupe du bloc suivant.

Le cycle se déroule donc « en alterné » avec deux blocs. Au départ, une carte spécifique nommée « carte basic » (voir description de la structure de l'automatisation) envoie à l'automate la valeur du déplacement et la destination prévue (numéro de caisse) pour les deux premiers morceaux à couper en fonction des paramètres de la série. L'automate lance le cycle de positionnement et de coupe des deux premiers blocs ; à la fin de la pesée du premier bloc la carte basic envoie à l'automate la valeur du déplacement et la destination prévue du troisième bloc ainsi que la destination finale du premier (qui est la destination prévue si le résultat de la pesée est conforme à la consigne sinon le bloc est orienté vers une autre caisse ou vers le rebus si toutes les caisses sont occupées).

L'automate lance le cycle de positionnement et de coupe du troisième bloc ; lors de ces opérations le deuxième bloc est pesé, la carte basic envoie à l'automate la valeur du déplacement et la destination prévue du quatrième bloc ainsi que la destination finale du deuxième et ainsi de suite.

Le début de l'algorithme de pesée est le suivant :

Algorithme	Commentaires
Engagement première plaque	
Détermination du déplacement pour une approche correspondant aux $\frac{3}{4}$ de la consigne poids d'une caisse	Soit N la première valeur visée
Coupe	
Détermination du déplacement pour une approche correspondant aux $\frac{3}{4}$ de la consigne poids d'une caisse	Soit N+ la deuxième valeur visée
Récupération du poids	Valeur réelle de $\frac{3}{4}$ N
Orientation vers première case	Pesée N, case N
Coupe	Relative à N+
Détermination du déplacement pour un complément de pesée	Complément à la valeur réelle de N
Récupération du poids	Valeur réelle de $\frac{3}{4}$ N+
Orientation vers case libre	Pesée N+, case N+
Coupe	Relative au complément visé de N
Détermination du déplacement pour un complément de pesée	Complément à la valeur réelle de N+
Récupération du poids	Valeur réelle de N
Coupe	Relative au complément visé de N+
Répéter	
Si poids pesée N est conforme à l'attendu ...	

Lorsque le poids obtenu dans une caisse correspond à la valeur de consigne à la tolérance près, la carte basic envoie à l'automate (en même temps que les autres valeurs) l'ordre d'évacuation de cette caisse qui est alors automatiquement remplacée.

Description de la structure de l'automatisation

Un premier automate gère l'ensemble du séquentiel des dispositifs d'aménagement des plaques et des caisses vides, du système de positionnement des plaques, du système de coupe et celui de tri.

Il comprend, en plus, des cartes spécifiques gérant les asservissements et la carte basic pour l'algorithme de pesée.

La balance dynamique dialogue avec cet automate par E/S TOR et par liaison série pour les échanges numériques.

Un deuxième automate gère le système embarqué et le tapis d'évacuation des caisses.

FIGURE N°1 : Schéma architectural de la machine à découper et peser les plaques

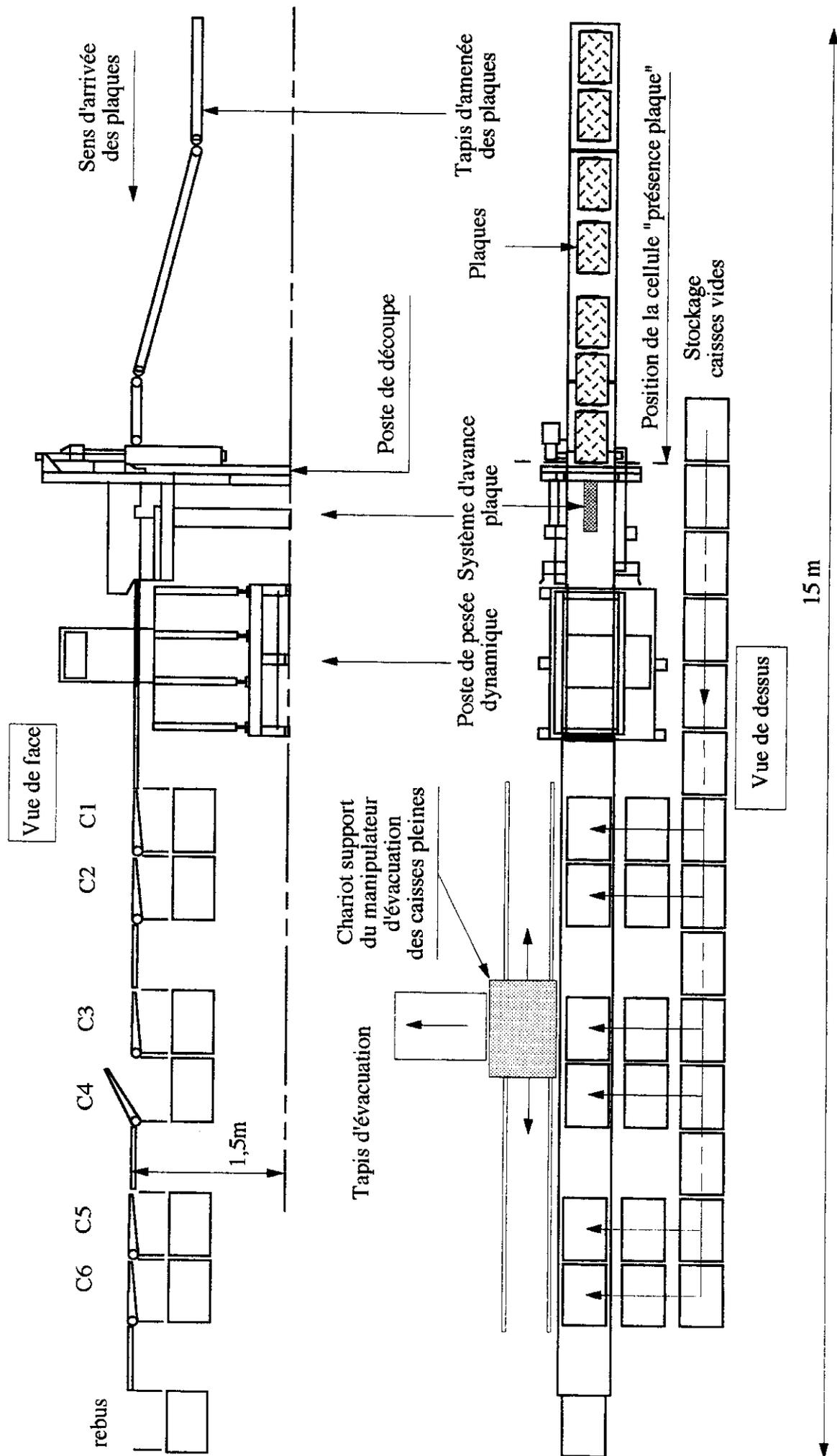


FIGURE N°2 : Système de coupe

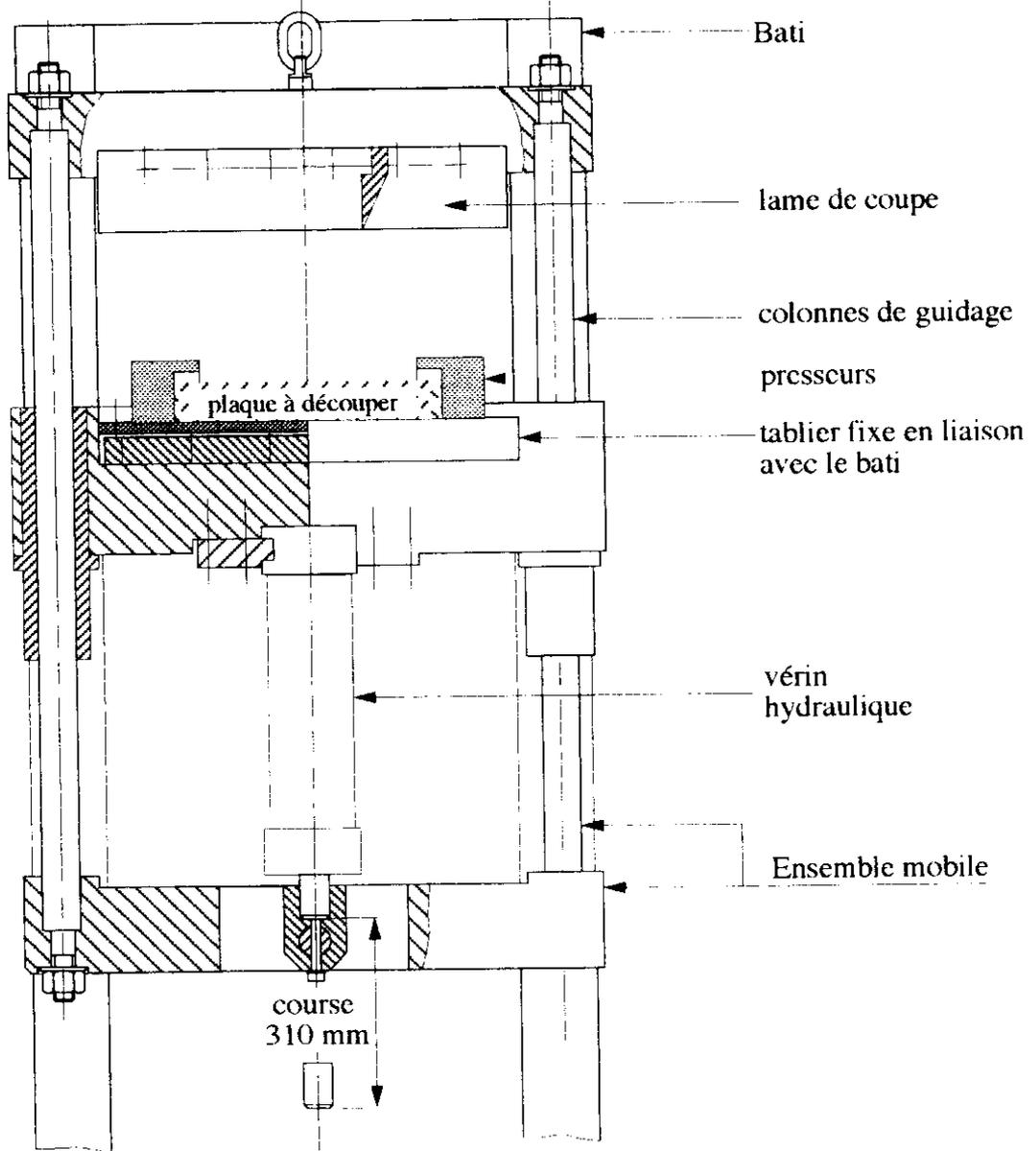


FIGURE N°3 : Système de positionnement des plaques

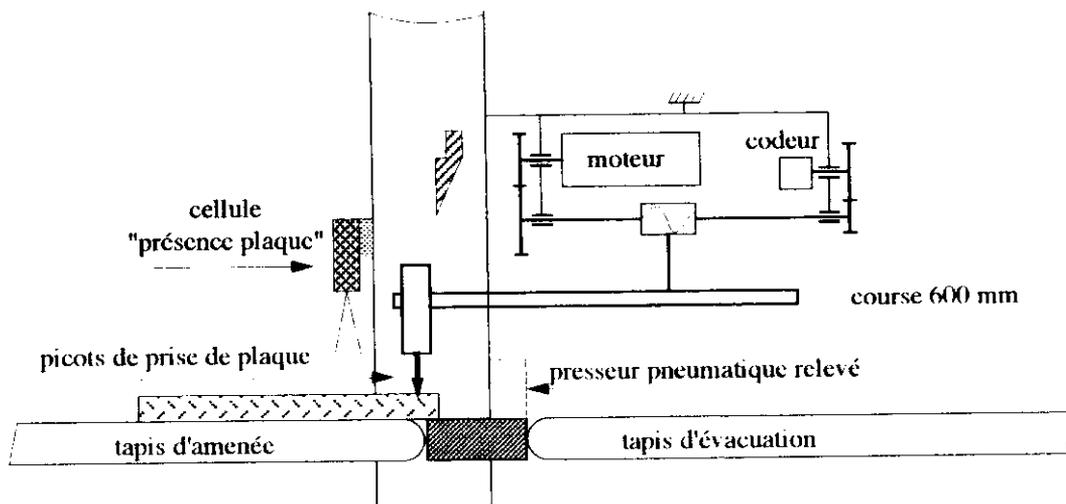
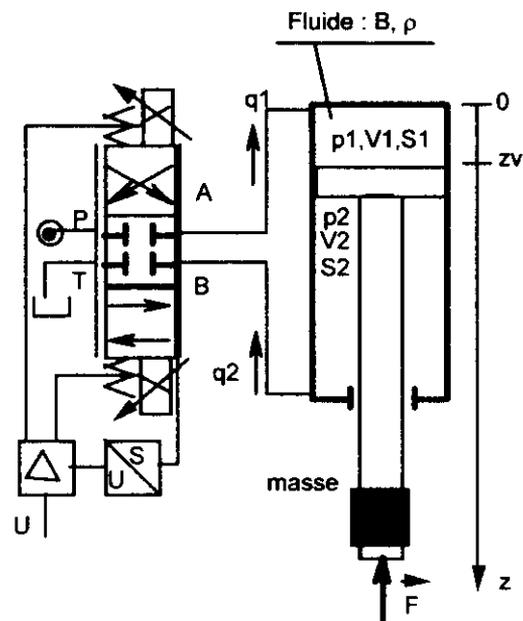


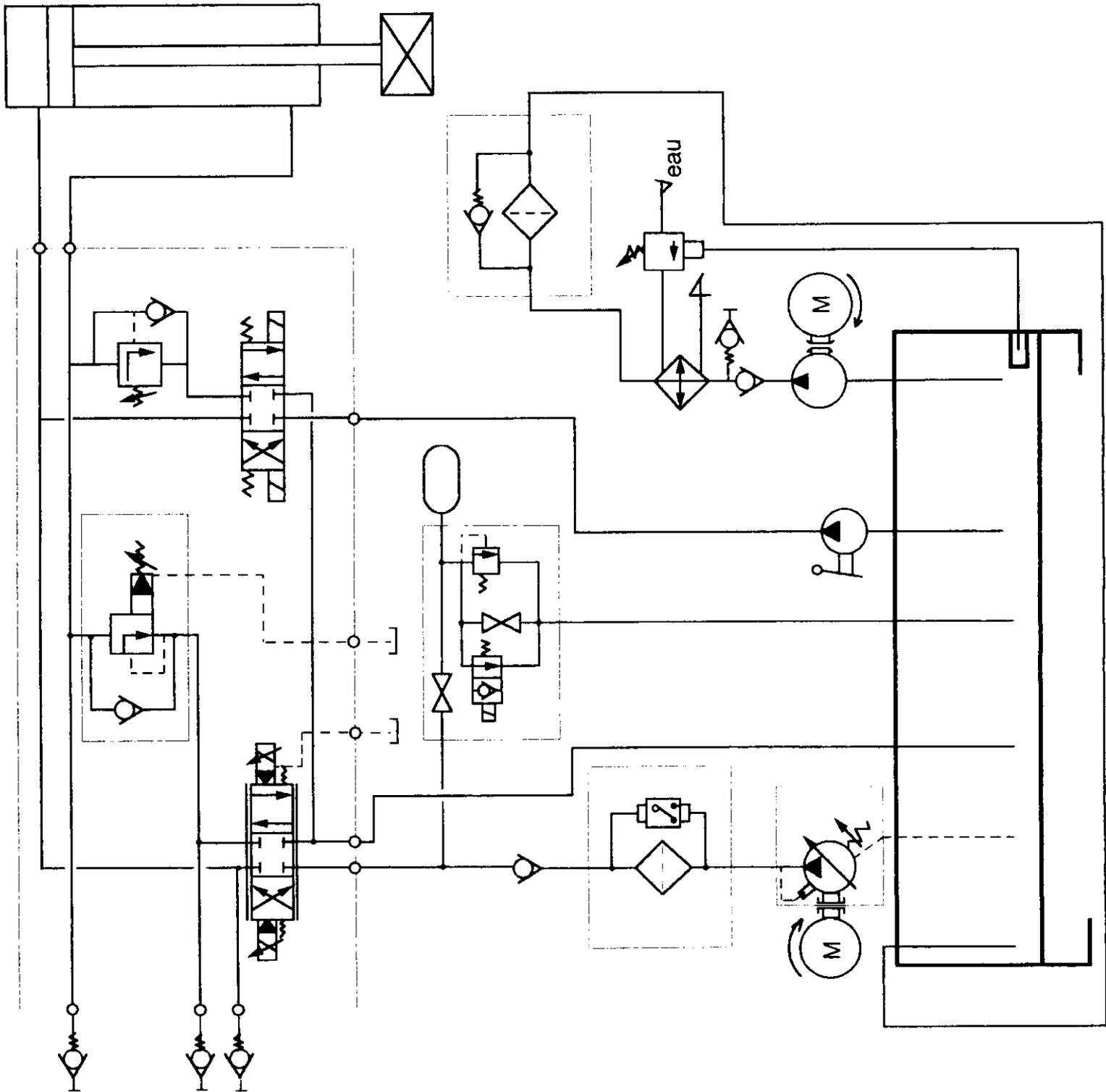
Figure N°4 : Modèle d'étude et paramétrage de l'ensemble vérin – distributeur



Principales notations

- q_1 et q_2 : débits relatifs aux chambres 1 et 2
- $p_1 = p_A$ et $p_2 = p_B$: pressions dans les deux chambres des vérins et les conduites de liaison
- p_P et p_T : pressions d'alimentation et de retour du distributeur proportionnel
- Δp_n : perte de charge nominale par voie (35 bar pour une servo valve)
- q_n : débit nominal du distributeur (perte de charge nominale et ouverture maximale)
- u_n : tension nominale de commande du pilote du distributeur (ouverture maximale)
- u : tension de commande du pilote du distributeur
- V_1 et V_2 : volumes de fluides soumis à p_1 et p_2
- B : module de compressibilité du fluide (en MPa)
- z_v : déplacement de la tige du piston (supposée indéformable)
- c : course totale du piston
- m_e : masse équivalente de la charge ramenée au vérin (régime dynamique)
- \vec{F} : résultante équivalente des actions mécaniques sur le vérin
- v : vitesse linéaire de déplacement
- f_e : coefficient de frottement visqueux équivalent (frottements secs négligés)
- r_h : coefficient caractérisant la raideur hydraulique du vérin
- r_{me} : coefficient caractérisant la raideur équivalente de l'ensemble de la transmission liée au vérin
- λ : coefficient de fuite entre chambres.

FIGURE N° 5 : Schéma hydraulique partiel



Première partie

Etude du système de coupe

L'étude proposée concerne la définition d'éléments d'avant-projet du dispositif permettant la coupe des plaques.

Comme le montre le schéma hydraulique simplifié de l'installation (**figure N° 5** de la présentation), il est envisagé de commander les mouvements du vérin à l'aide d'un distributeur proportionnel piloté par l'automate programmable.

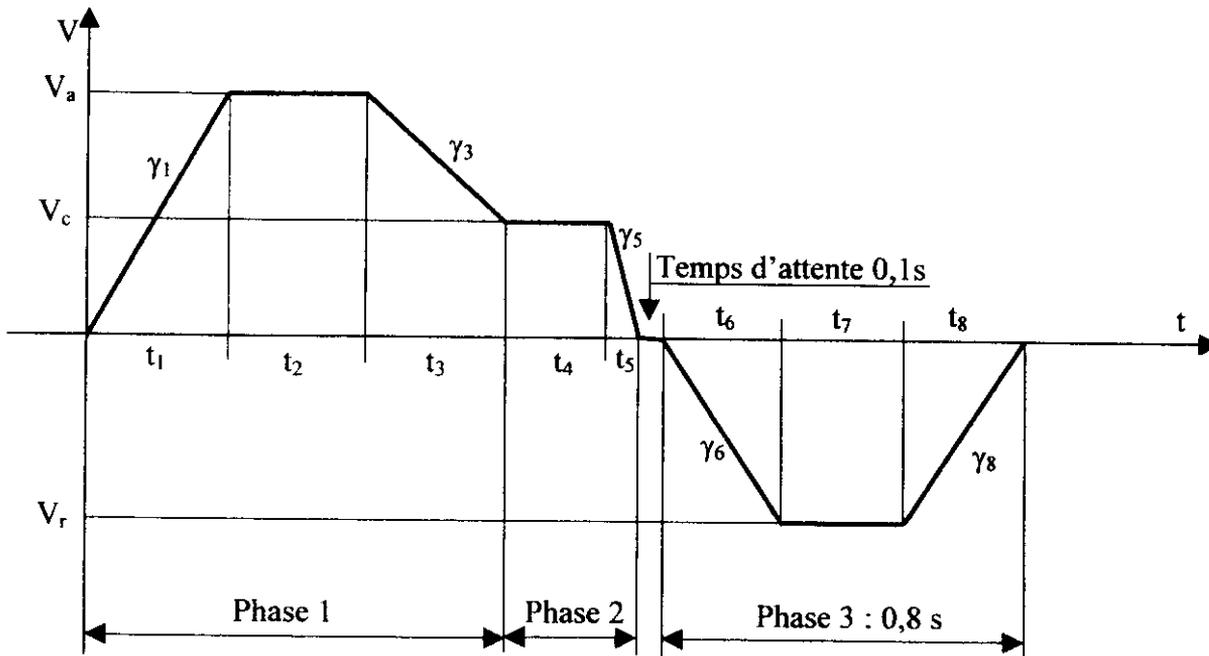
Le modèle d'étude et le paramétrage utilisés sont ceux de la **figure N° 4**.

1- Détermination des paramètres cinématiques.

Le schéma ci-dessous représente la loi de commande en vitesse utilisée pour un cycle complet de coupe (descente et remontée du vérin).

La durée du cycle, imposée par le cahier des charges fonctionnel et les différents temps opératoires, est de deux secondes.

Les deux phases d'approche et de retour rapide sont régies par une loi de commande trapézoïdale dite économique, c'est-à-dire que les durées d'accélération, de décélération et en palier sont égales (nous avons donc $t_1 = t_2 = t_3$ et $t_6 = t_7 = t_8$).



La course totale du vérin est de 310 mm.

La phase 2 (phase de coupe) doit répondre aux deux exigences suivantes :

- une vitesse de coupe constante
- une vitesse nulle à l'arrivée pour ne pas endommager la contre lame.

On impose donc une décélération sur les trois derniers millimètres de la descente.

Déterminer l'ensemble des paramètres cinématiques (V, γ) permettant de satisfaire ces conditions de fonctionnement.

2- Détermination du vérin hydraulique.

On se place, pour cette détermination dans la phase de coupe, en régime permanent ($V_c = \text{cste}$).
On donne les équations des débits à travers le distributeur dans le cas de sortie de tige et en

considérant que le rapport $\frac{u}{u_n} = 1$:

$$q_1 = q_n \sqrt{\frac{p_p - p_1}{\Delta' p_n}} \quad \text{et} \quad q_2 = q_n \sqrt{\frac{p_2 - p_r}{\Delta' p_n}}$$

2-1 Montrer qu'il existe un taux de charge optimal selon un point de vue énergétique dont vous donnerez la signification physique. On fera l'hypothèse que les raideurs sont infinies et les fuites négligeables (toute autre hypothèse est laissée à l'initiative du candidat).

2-2 Déterminer en avant-projet les caractéristiques du vérin (D et d) pour un fonctionnement correspondant à un taux de charge de 0,6. On fera l'hypothèse que les pertes par frottement sont négligeables.

2-3 Evaluer les caractéristiques de fonctionnement de la servo valve en vue de sa détermination.

3- Détermination des éléments du circuit.

3-1 En fonction des caractéristiques du vérin trouvées précédemment, calculer pour le régime le plus défavorable quel doit être le débit maximum de la pompe.

3-2 La pompe choisie est une pompe à débit variable, justifier son emploi et la présence d'un accumulateur dans le circuit.

3-3 Quel est dans ce cas le rôle du limiteur de pression ?

En fonction des données complémentaires suivantes :

- rendement de la pompe $\eta = 0,9$
- température ambiante 30°C
- volume du réservoir $V = 1000$ litres
- surface d'échange $S = 4 \text{ m}^2$
- coefficient d'échange du réservoir $E = 10 \cdot 10^{-3} \text{ kcal/m}^2/\text{s}/^\circ\text{C}$
- chaleur massique de l'huile $c = 0,45 \text{ kcal/kg}/^\circ\text{C}$
- huile : $\rho = 0,9 \text{ kg/l}$

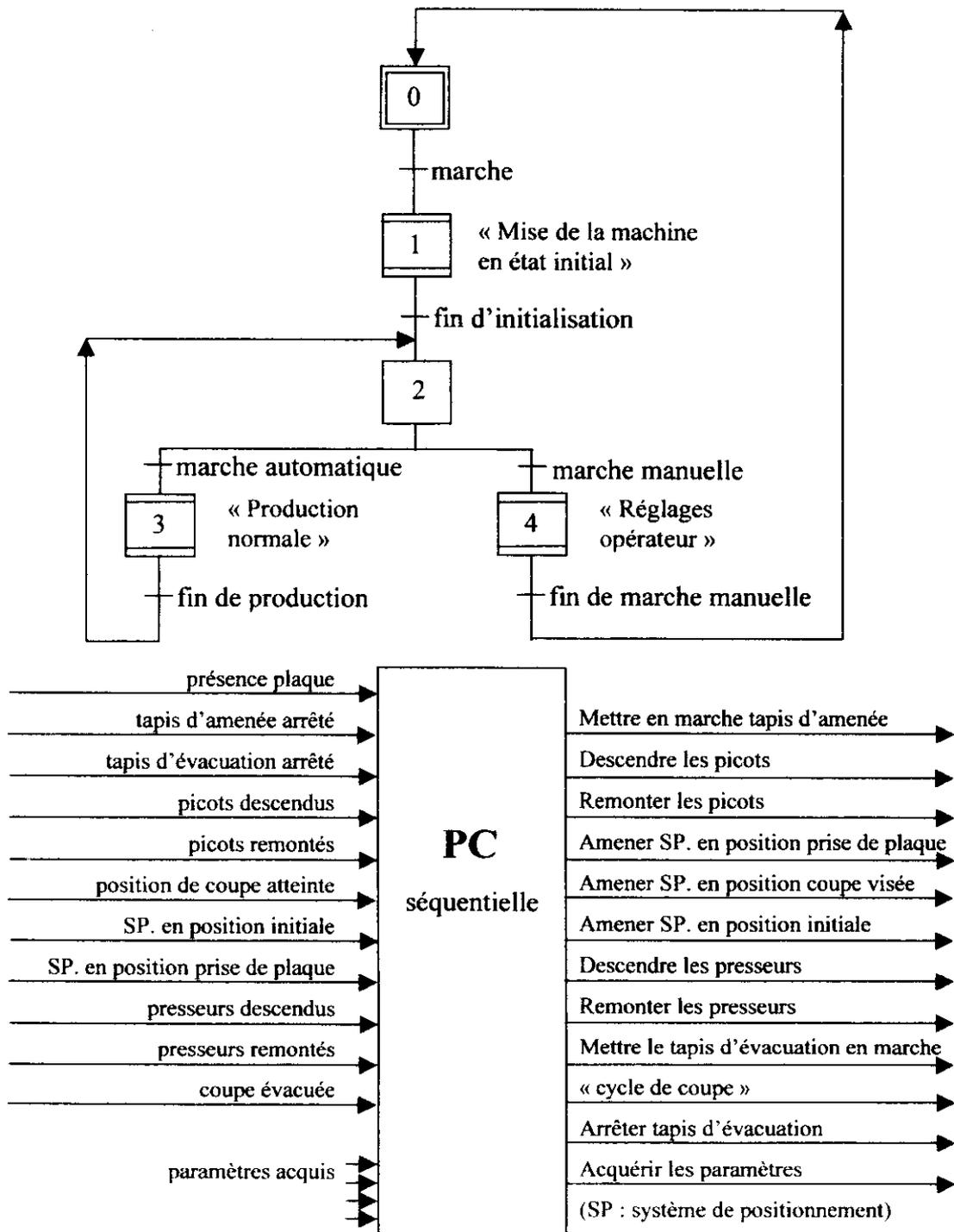
3-4 La présence du dispositif de refroidissement de l'huile se justifie-t-elle ?

Deuxième partie

Description du fonctionnement

1- Etude de l'enchaînement des opérations.

A partir de la description donnée dans la présentation du sujet et du bilan des entrées-sorties ci-après établir un grafcet unique, point de vue procédé, représentant le fonctionnement de l'ensemble des opérations. On s'attachera à bien définir les coordinations avec le graphe donné. La tâche indiquée entre guillemets est à représenter sous forme d'une macro étape dont on ne demande pas ici « l'expansion ».



2- Algorithme de fonctionnement de la pesée.

A partir de la description du cycle de pesée donnée dans la présentation du sujet et en utilisant les opérateurs :

Si, Alors, Sinon, Répéter, Jusqu'à, ...

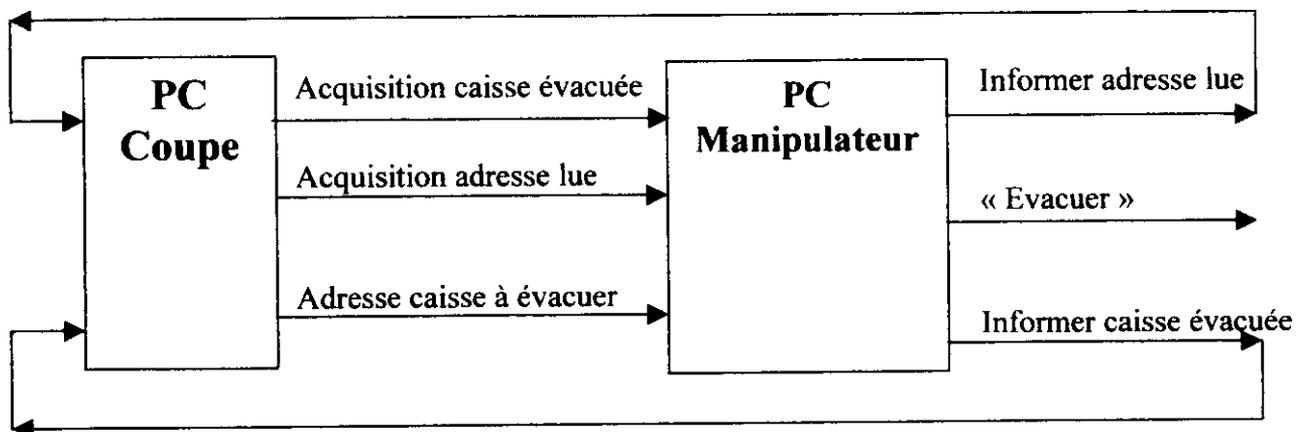
Compléter l'algorithme ébauché dans la présentation du sujet en vous attachant à remplir la colonne « commentaires » afin de préciser vos intentions.

3- Grafset de gestion du manipulateur d'évacuation des caisses pleines.

La partie commande gérant le système de coupe et de pesée envoie à celle qui gère le manipulateur les demandes d'évacuation des caisses pleines. Le critère de priorité retenu est celui du « premier arrivé, premier servi », réalisé à l'aide d'une pile FIFO qui permet d'informer la PC manipulateur sur les adresses des caisses à évacuer.

La structure de l'automatisation en deux PC séparées impose un échange d'informations qui permettent un fonctionnement en toute sécurité. Ainsi, toute évolution de la PC manipulateur doit être conditionnée à la réception de l'acquisition des informations qu'elle envoie à la PC coupe – pesée (voir schéma).

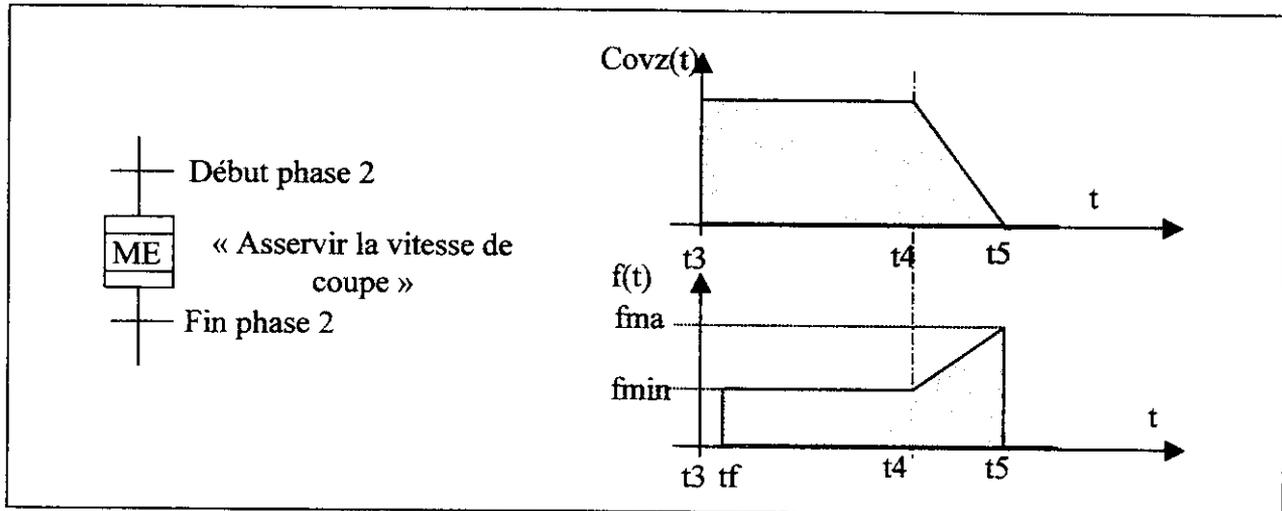
A partir des entrées-sorties ci-après, donner une représentation sous forme de grafset de la gestion des tâches d'évacuation des caisses par la PC manipulateur et des informations envoyées en respectant les principes de sécurité évoqués.



Troisième partie

Etude de l'asservissement du vérin hydraulique en phase 2

Lors de la phase 2 (phase de coupe de la plaque), on envisage d'asservir la vitesse de coupe. Pour cela le vérin de coupe est équipé d'un capteur de vitesse linéaire de fonction de transfert CV.



La commande de l'asservissement se déclenche en début de phase 2 et se termine en fin de coupe. Pendant le déroulement de la macro étape ME, on applique à l'asservissement la consigne $Covz(t)$ conformément à la loi de commande en vitesse de la coupe de la plaque. De plus au cours de la coupe on envisage une évolution de la résultante équivalente des actions mécaniques sur le vérin décrite sur le diagramme temporel de $f(t)$; sur ce graphe t_f figure le début de la coupe, c'est-à-dire l'instant où la lame rentre en contact avec la plaque ; t_f est suffisamment différent de t_3 pour que, à cet instant, la vitesse du vérin soit établie.

1- Modélisation du comportement dynamique.

1-1 A partir du paramétrage de la **figure N° 4** du dossier de présentation, écrire l'équation de mouvement de la plaque pendant la phase 2.

1-2 Donner l'expression du débit entrant q_1 au cours de la phase 2 en fonction des caractéristiques de la chambre 1 et des dimensions du vérin.

1-3 De la même façon donner l'expression de q_2 puis en déduire l'expression de Q (débit du distributeur) pour une position du vérin telle que :

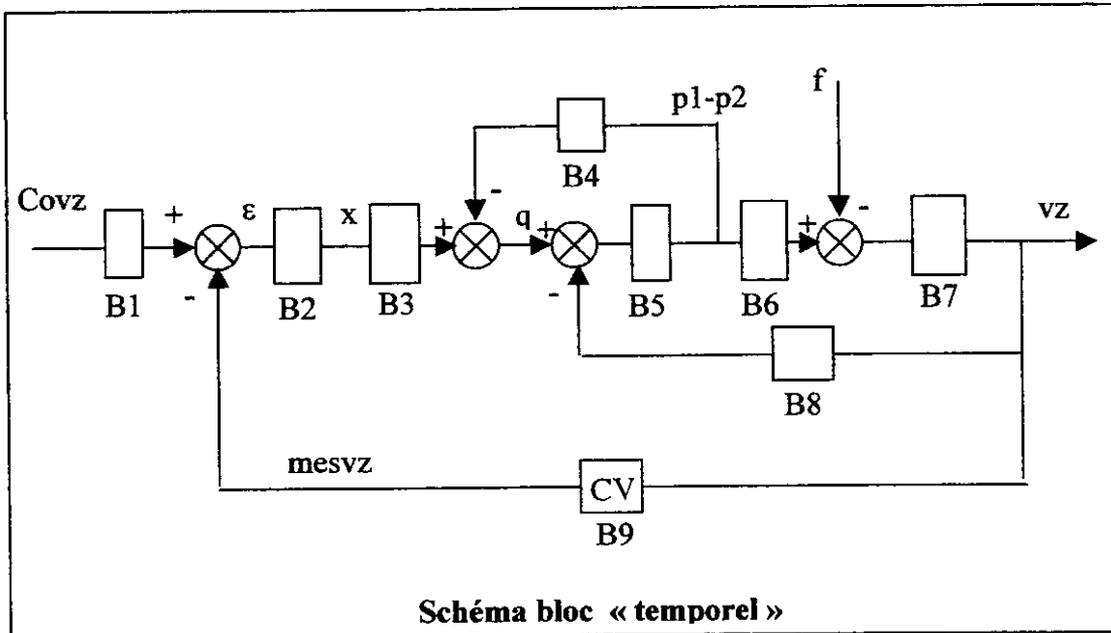
$$V_1 = V_2 = V \text{ et en considérant que } S_1 = S_2 = S.$$

On considère ensuite que la relation entre la position x du tiroir du distributeur et le débit sortant est de la forme suivante :

$$q = K_d \cdot x - \lambda_d (p_1 - p_2)$$

Avec $x = 0$ si le distributeur est en position centrale et $x > 0$ dans le cas d'une sortie de tige du vérin. Cette équation est obtenue par linéarisation de l'équation de pertes de charges dans le distributeur.

L'asservissement de vitesse du vérin peut alors se modéliser par le schéma temporel suivant :



Dans lequel :

- $Covz(t)$: consigne de vitesse du vérin ;
- $mesvz(t)$ est la mesure de vitesse du vérin obtenue par le capteur de fonction de transfert CV ;
- $x(t)$ est la position du tiroir du distributeur proportionnel ;
- $q(t)$ est le débit instantané traversant le distributeur ;
- $(p1 - p2)(t)$ est la différence de pression entre les deux chambres du vérin ;
- $vz(t)$ est la vitesse de déplacement du vérin ;
- $f(t)$ est la résultante équivalente des actions mécaniques sur le vérin.

Et aussi :

- ◆ B1 : bloc adaptateur de consigne qui permet un bon fonctionnement de la commande (c'est-à-dire un gain statique unitaire) ;
- ◆ B2 : bloc correcteur variable placé en amont de la chaîne directe afin d'améliorer les performances de la commande ; dans un premier temps, on prendra un correcteur proportionnel de gain variable KV ;
- ◆ B9 : correspond au capteur de vitesse de déplacement du vérin ;
- ◆ B3, B4, B5, B6, B7 et B8 sont à déterminer.

Notations : on note $G(p)$, ou G , la transformée de Laplace de la fonction $g(t)$ en considérant $g(0) = g'(0) = g''(0) = 0$.

1-4 A partir des résultats des questions 1-1 à 1-3 déterminer les fonctions de transfert associées aux blocs B3, B4, B5, B6, B7 et B8 ; en déduire le schéma bloc de la commande.

2- Etude et modification du comportement dynamique.

Le but de cette question est d'analyser le comportement dynamique de cet asservissement et de déterminer le correcteur (bloc B2) afin d'obtenir un bon comportement lors de la coupe de la plaque. (Prendre $B2 = KV$).

2-1 Tracer le schéma bloc équivalent à retour unitaire, en déduire la valeur du bloc B1.

2-2 On désire simplifier le schéma en négligeant les pertes de charges ($\lambda d = 0$) dans le distributeur. Tracer le nouveau schéma bloc puis exprimer VZ de la forme suivante :

$$VZ(p) = H1(p) \cdot COVZ(p) + H2(p) \cdot F(p)$$

3- Etude du comportement du système.

3-1 En considérant les trois phases de fonctionnement de l'asservissement, étudier avec $B2 = 1$ les performances de cette commande en terme de précision et de rapidité.

3-2 Proposer un type de correcteur qui améliore ce fonctionnement ; justifier ce choix en indiquant les paramètres sensibles et leur importance par rapport à la fonction de coupe de la plaque.