



---

**PROJET de Sciences Industrielles pour l'ingénieur****Durée : 6 heures**

---

**Calculatrice autorisée**

N.B. : Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

**(Début du sujet)**

---

**PRESSE MULTI POINÇONNAGE**

---

**Sujet : page 1/30 à 20 /30*****Partie I : Étude du fonctionnement global du système******Partie II : Étude de FT1 : « Poinçonner une Tôle »******Partie III : Étude de FT21 : « Faire avancer la Tôle pas à pas »******Partie IV : Étude de FT22 : « Évacuer une Tôle »******Partie V : Étude de FT31 : « Acquérir et communiquer »*****Annexes : page 21/30 à 25/30****Documents réponses : page 26/30 à 30/30**

## Partie I : Étude du fonctionnement global du système

La presse multi-poinçonnage permet la fabrication de couvercles de boîtes de conserves. Elle peut s'adapter à de nombreux types de production, on peut modifier :

- Le nombre et le diamètre des outils.
- La taille, l'épaisseur et le matériau des tôles à poinçonner.

La presse est constituée de quatre grandes parties (Fig. 1) :

- Armoire de commande.
- Dispositif d'avancement des tôles.
- La presse.
- Dispositif d'évacuation.

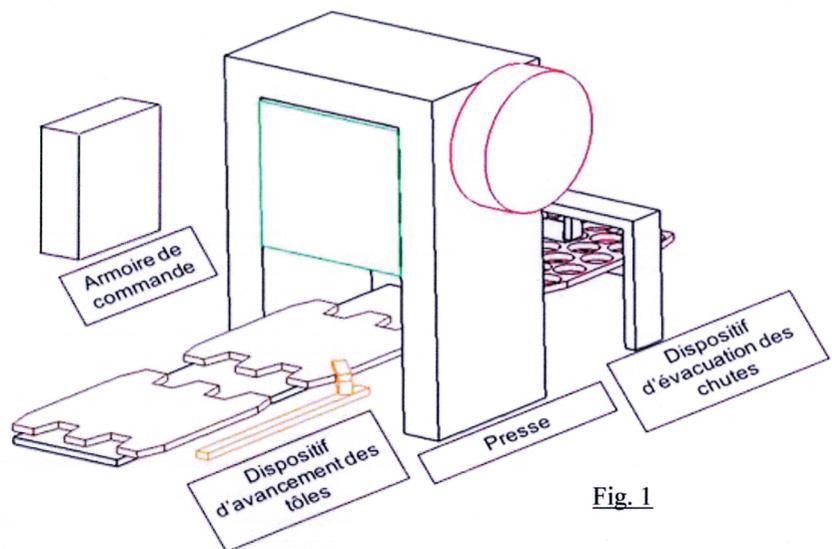


Fig. 1

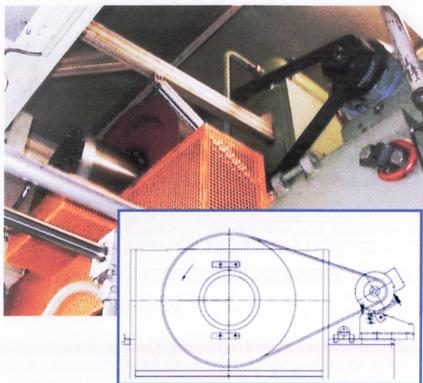


Fig.2 : Système d'entraînement

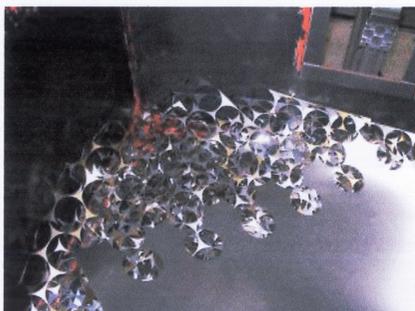


Fig. 3 : Bac de récupération des chutes

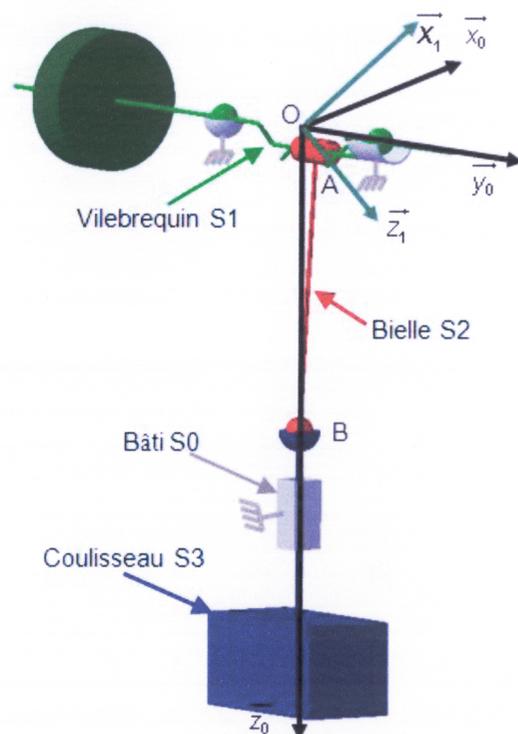


Fig. 4 : Ensemble vilebrequin coulisseau appelé « Axe Z »

**Analyse fonctionnelle :**

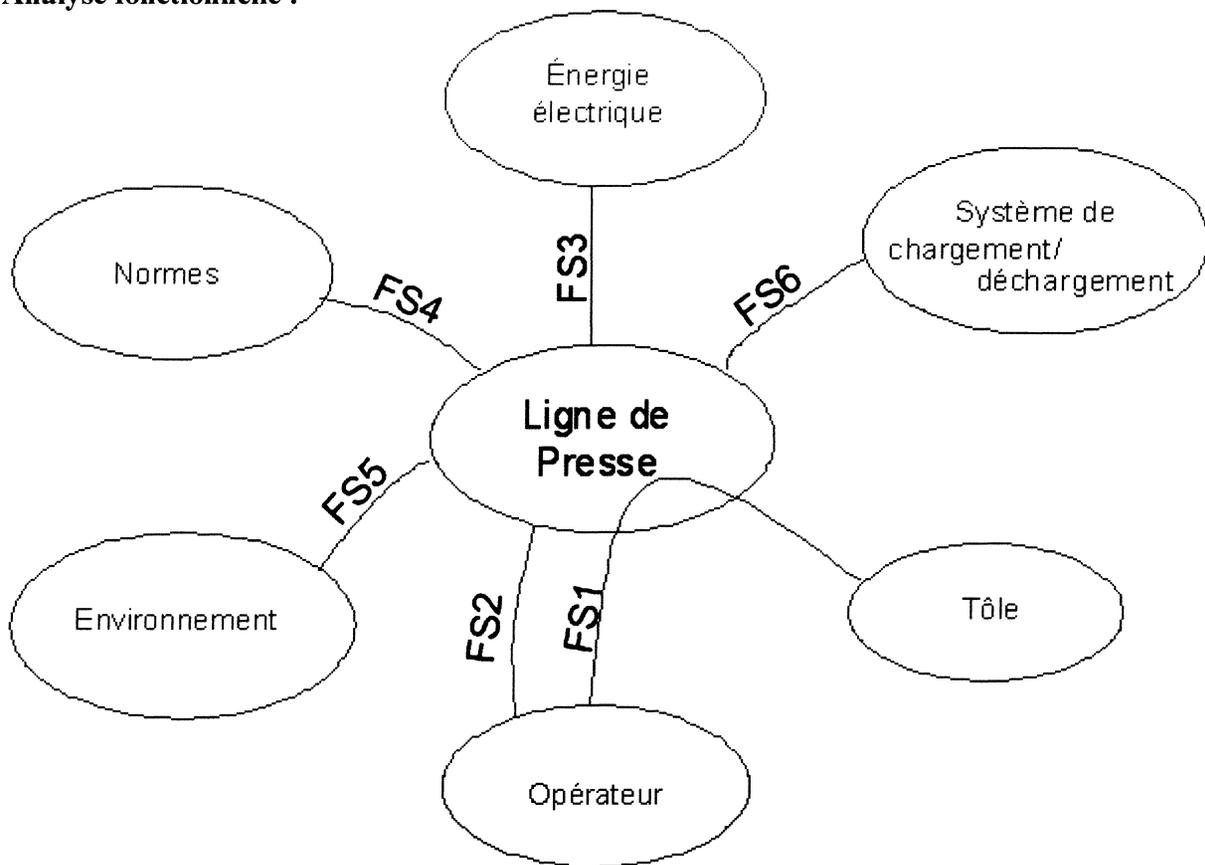
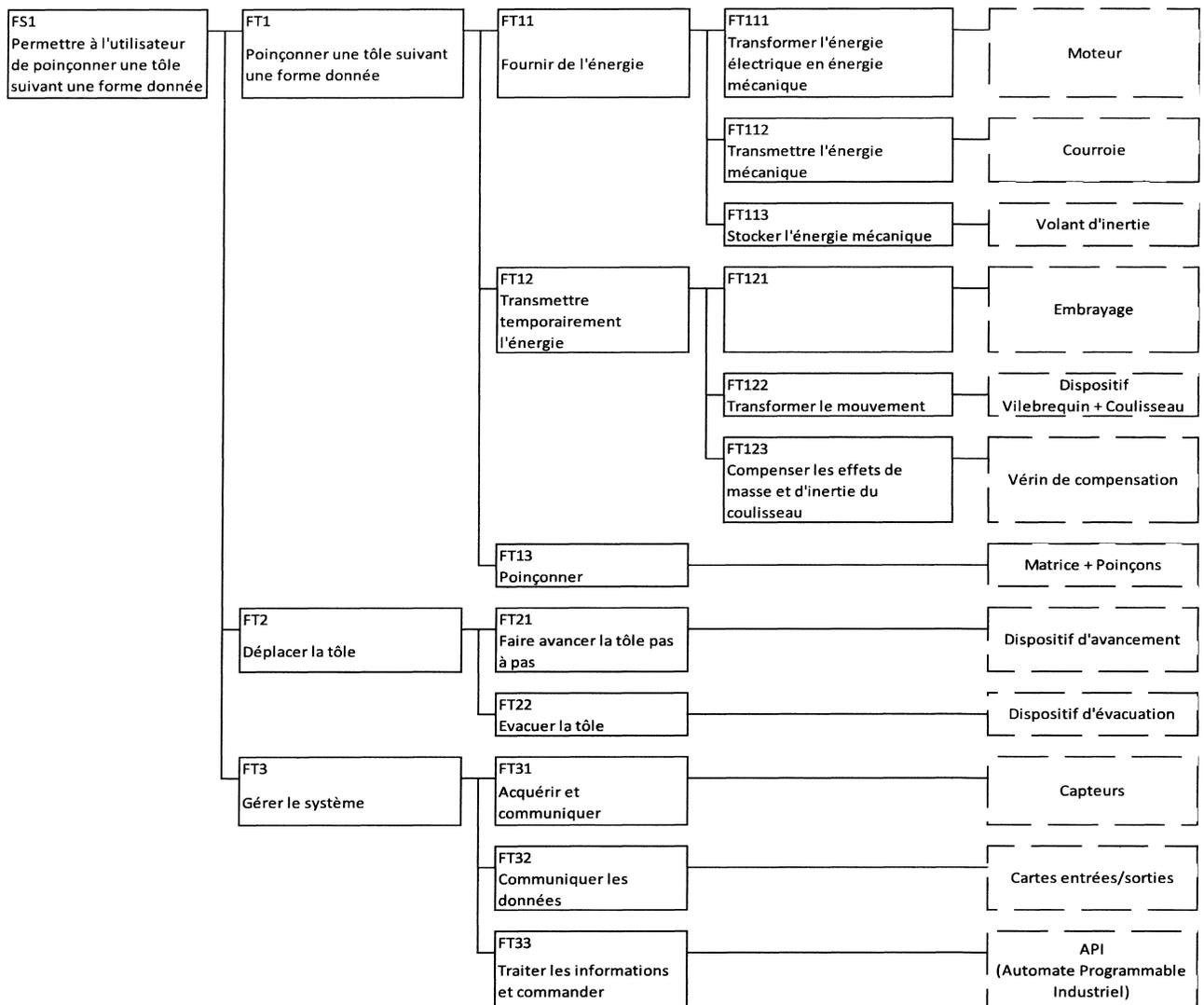


Fig. 5

Fonction	Critère	Niveau
FS1 : Permettre à l'utilisateur de poinçonner une tôle suivant une forme donnée	Cadence des coups Force de frappe	De 80 à 240 coups/minute 50000N
FS2 : Dialoguer avec l'utilisateur		
FS3 : Être adapté à l'énergie disponible	Tension	3x 400V
FS4 : Répondre aux normes en vigueur	EN 60204	
FS5 : Être adapté à l'environnement	Masse Encombrement	30 tonnes 10x10x15m
FS6 : Permettre l'adaptation du système de chargement/déchargement		

## FAST partiel :



Un moteur asynchrone assure la rotation d'un dispositif « vilebrequin + coulisseau » qui entraîne les outils en translation. Un codeur situé sur l'arbre moteur permet de connaître la position du vilebrequin.

Le mouvement du coulisseau est symbolisé par le diagramme suivant (Fig. 6),  $\theta$  représente la position du vilebrequin.

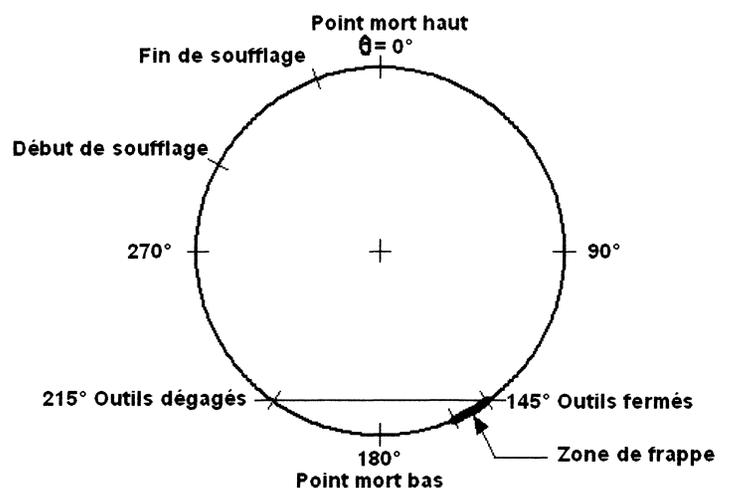


Fig. 6

Lorsque le coulisseau est suffisamment remonté, les tôles sont acheminées d'un pas par un système de pince. La pince est entraînée en translation par un moteur à courant continu avant le poinçonnage suivant.

Après le poinçonnage les outils remontent, les couvercles restent accrochés aux outils, un dispositif de soufflage permet de les décrocher.

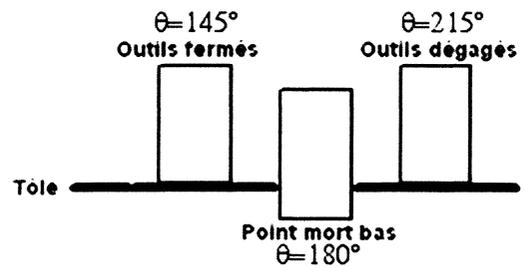


Fig. 7

En cas de détection de défaut (couvercle non évacué), le coulisseau est désaccouplé du moteur par l'intermédiaire d'un embrayage. Le coulisseau doit être freiné avant le poinçonnage suivant.

**Q1** Énoncer la fonction technique du FAST, FT121.

La cadence de production conditionne le fonctionnement du système. Il est constitué de 4 grandes parties (Fig. 1 page 2/30) que nous allons analyser.

Dans ce sujet, nous étudierons les fonctions suivantes :

- FT1 : « Poinçonner une tôle » (réalisée par la presse) ;
- FT21 : « Faire avancer la tôle pas à pas » (réalisée par le dispositif d'avancement) ;
- FT22 : « Evacuer une tôle » (réalisée par le dispositif d'évacuation) ;
- FT31 : « Acquérir et communiquer » (réalisée dans l'armoire de commande).

## ***Partie II : Étude de FT1 : « Poinçonner une tôle »***

L'objectif de cette partie est de vérifier le choix du moto-variateur et de dimensionner le vérin de compensation.

L'étude sera divisée en trois étapes :

- Vérification du dimensionnement du moteur ;
- Étude de la solution technologique utilisée pour le variateur de vitesse ;
- Dimensionnement de la tige du vérin de compensation.

### **Chaîne d'énergie partielle de la presse**

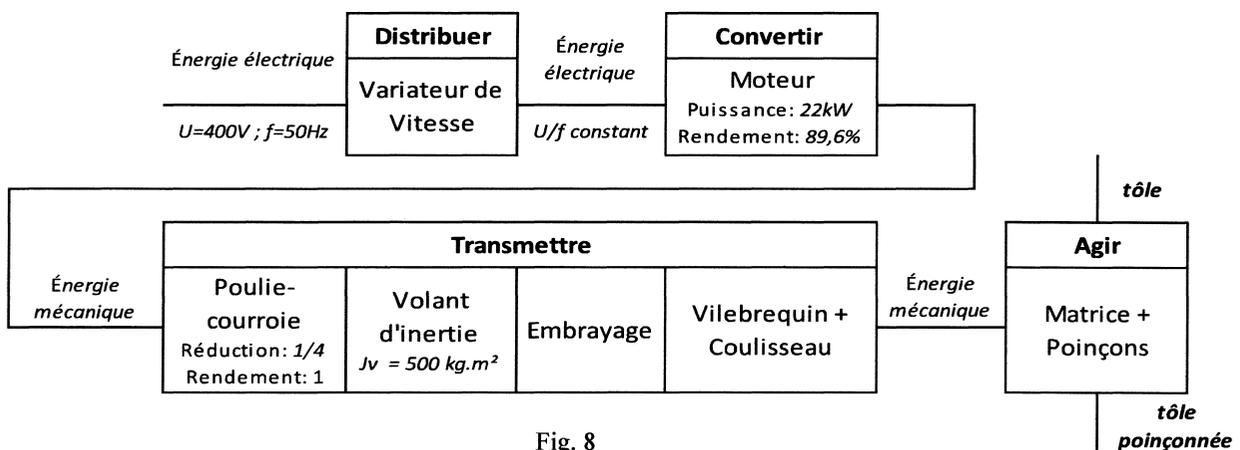


Fig. 8

## Étude de la motorisation du poinçonnage : FT11 : « Fournir de l'énergie »

Objectif : Vérification du choix du moteur et justification de l'intérêt d'une réversibilité de la commande du moteur.

Le couple moteur dépend du couple de frappe et du couple nécessaire au mouvement du coulisseau.

Le moteur choisi pour assurer l'entraînement a les caractéristiques suivantes :

LS 200 L :  $22 \text{ kW}$  ;  $230 / 400 \text{ V}$  ;  $975 \text{ min}^{-1}$  ;  $\cos \varphi = 0,81$  ; Rendement  $\eta = 89,6 \%$  ;  
 $J = 0,287 \text{ kg.mm}^2$  ;  $I_D / I_N = 6,7$  ;  $C_D / C_N = 2,1$  ;  $C_M / C_N = 2,8$  ;

Réseau : 3 x 400 V.

$I_D$  : courant de démarrage moteur.

**Q 2.1** Déterminer : le couplage, le courant nominal  $I_N$ , le couple nominal  $C_N$ , le nombre de paires de pôles  $p$ , le couple de démarrage  $C_D$ , le couple maximum  $C_M$  du moteur et le glissement nominal du moteur  $g$ .

Détermination de la loi entrée/sortie du dispositif « vilebrequin + coulisseau », détermination de la vitesse du coulisseau au moment de la frappe.

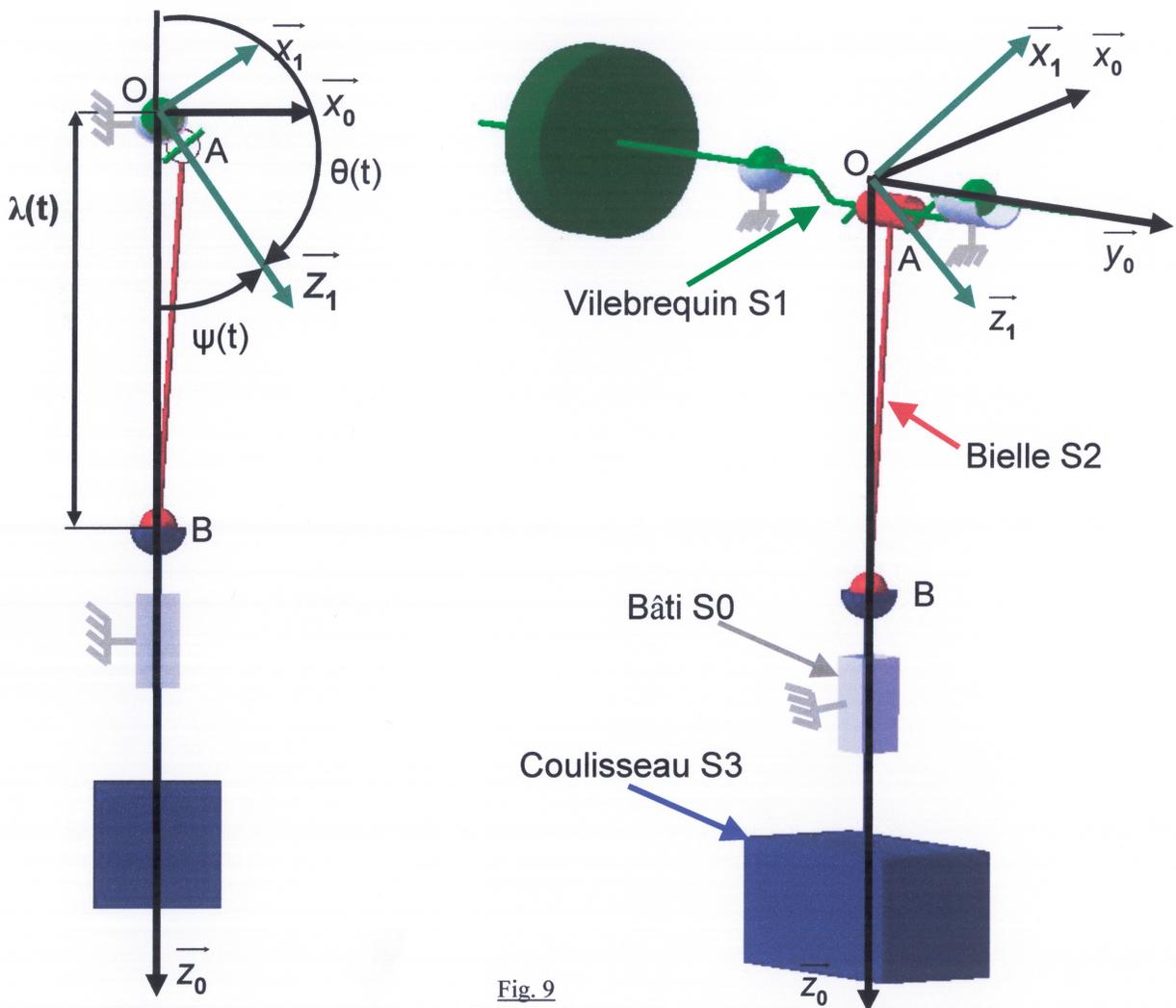


Fig. 9

On considère (Fig. 9 page 6/30) une partie de la presse composée d'un bâti (S0), d'un vilebrequin (S1), d'une bielle (S2) et d'un coulisseau (S3). Le vilebrequin est entraîné par un moteur et un dispositif « poulies-courroie » de rapport de réduction  $\frac{1}{4}$  (non représenté ici). Un système de compensation (2 vérins) annule le poids du coulisseau.

Soit  $R_0(0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  un repère lié à (S0) (fixe). Le solide (S1) est en liaison pivot d'axe  $(0, \vec{y}_0)$  par rapport au solide (S0).  $R_1(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$  est un repère lié à (S1). Posons  $\psi = (\vec{z}_0, \vec{z}_1)$  avec  $\dot{\psi}(t) = \omega_v(t)$  avec  $\omega_v$  constante positive exprimée en radians par seconde. On pose  $\vec{OA} = a\vec{z}_1$  avec A centre de la liaison entre (S1) et (S2).  $a = 60 \text{ mm}$ .

Le solide (S2) est en liaison pivot d'axe  $(A, \vec{y}_0)$  par rapport à (S1).  $R_2(A, \vec{x}_2, \vec{y}_2, \vec{z}_2)$  est un repère lié à (S2). On pose  $\beta = (\vec{z}_0, \vec{z}_2)$ . Soit B le centre de la liaison entre (S2) et (S0) tel que :  $\vec{AB} = b\vec{z}_2$ .  $b = 600 \text{ mm}$ .

Enfin, il y a une liaison glissière entre le solide (S0) et (S3) telle que  $\vec{OB} = \lambda\vec{z}_0$ .

**Q 2.2** Par une fermeture géométrique trouver la relation entre  $\lambda$  et  $\psi$ .

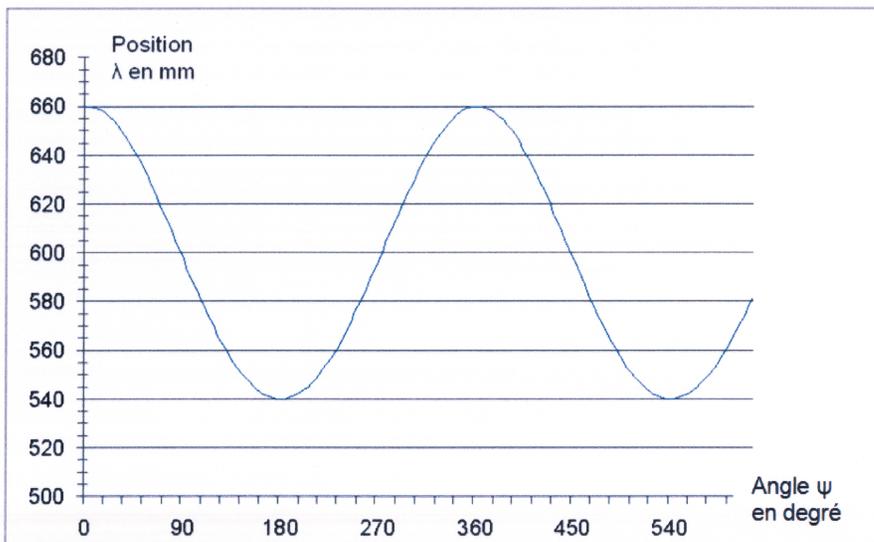


Fig. 10

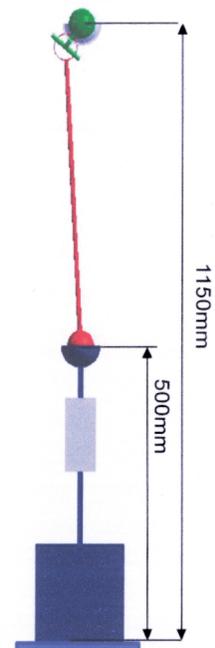


Fig. 11

La **figure 10** représente la loi entrée/sortie  $\lambda$  en fonction de  $\psi$  que vous venez de déterminer et la **figure 11** représente la position de la presse au moment de la frappe.

**Q 2.3** En déduire  $\lambda$  et  $\psi$  au moment de la frappe.

On peut exprimer  $\lambda$  sous la forme :  $\lambda = a \cdot \cos(\psi) + \sqrt{b^2 - a^2 \cdot \sin^2(\psi)}$

**Q 2.4** En déduire la vitesse du coulisseau  $\vec{V}_{B \in S3/S0}$  en fonction de  $t$ ,  $\omega_v$ ,  $\psi$ ,  $a$  et  $b$ .

**Q 2.5** Pour la position déterminée à la question **Q 2.3**, trouver la vitesse du coulisseau  $V_p$  au moment de la frappe. La vitesse de rotation du vilebrequin est  $\omega_v = 25 \text{ rad/s}$ .

Recherche du couple moteur maximal du système au moment de la frappe.

Soit l'effort au moment de la frappe  $F_p = 50\,000\text{ N}$ .

**Hypothèses :**

Les liaisons sont parfaites, le rendement de la transmission poulie courroie est de 1.

Seule l'inertie du volant est prise en compte ; soit  $J_v$  son inertie autour de son axe de rotation.

La vitesse de rotation du moteur  $\omega_m$  est considérée constante et égale à 100 rad/s.

Le poids du coulisseau est compensé par deux vérins.

Dans cette question, l'inertie du coulisseau n'est pas prise en compte car on cherche seulement le couple dû à la frappe.

**Q 2.6** En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, exprimer le couple moteur  $C_f$  au moment de la frappe en fonction de  $F_p$ ,  $V_p$  et  $\omega_m$ .

Pour cela :

- Définir le système isolé.
- Réaliser le bilan des actions mécaniques internes et externes. En déduire les puissances à prendre en compte.
- Etablir l'énergie cinétique du système isolé.
- Appliquer le théorème de l'énergie cinétique et en déduire le couple moteur.

Lorsque le couple développé par une machine n'est pas constant sur son cycle de fonctionnement, on recherche le couple thermique équivalent  $C_{TH}$  qui provoquerait le même échauffement afin de choisir le moteur.

Pour cette question, le couple au moment de la frappe est  $C_f = 500\text{ Nm}$ .

Le temps de frappe est d'environ  $1/250^e$  du temps de rotation.

Pendant les phases de montée et de descente le couple nécessaire au mouvement du coulisseau est sinusoïdal.  $C_c(\theta) = 100 \cdot \sin(2\theta)$

**Q 2.7** Déterminer ce couple  $C_{TH}$  sur un cycle de fonctionnement (de période  $T$ ) sachant que :

$$C_{TH}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T C^2(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T C_c^2(t) \cdot dt + \frac{1}{T} \int_0^T C_f^2 \cdot dt$$

**Q 2.8** À partir des valeurs des couples  $C_f$  et  $C_{TH}$ , justifier le choix du moteur.

Ce moteur est alimenté par un convertisseur de fréquence réversible.

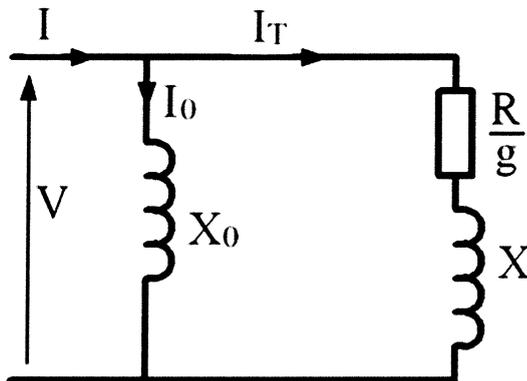
On se propose de justifier le choix et l'intérêt de ce convertisseur en étudiant successivement :

- La caractéristique couple/vitesse du moteur.
- La nécessité d'une commande  $U/f$  constante pour le convertisseur de fréquence.
- La réversibilité du variateur.

Détermination de la caractéristique couple / vitesse du moteur.

Le schéma équivalent simplifié par phase ramené au stator est le suivant (Fig. 12) :

Les seules pertes envisagées sont les pertes joules rotoriques  $P_{JR}$ .



- I courant absorbé par le moteur.
- $I_0$  courant magnétisant.
- $I_T$  courant équivalent transmis au rotor.
- V tension simple.
- $X_0$  inductance magnétisante.
- R résistance rotorique.
- g glissement.
- X réactance de fuite.
- $X = L\omega$ .

Fig. 12

- Q 2.9** Donner sur le document réponse (DR1 page 26/30) l'allure de la caractéristique de couple électromagnétique C en fonction du glissement g pour  $g > 0$ .  
Placer les points correspondant au démarrage, au fonctionnement nominal et au synchronisme.

On se propose de déterminer les points particuliers de cette caractéristique en fonction des éléments du schéma équivalent.

- Q 2.10** Déterminer la puissance électromagnétique  $P_{em}$  en fonction des éléments du circuit.
- Q 2.11** Exprimer les pertes joules rotoriques  $P_{JR}$  et la puissance utile  $P_u$  en fonction de la puissance transmise.
- Q 2.12** Donner l'expression du couple électromagnétique C en fonction des éléments du circuit et de la pulsation des courants statoriques  $\omega$ . Mettre cette expression sous la forme  $C = \alpha.g / 1 + \beta.g^2$
- Q 2.13** À partir de cette expression, vérifier que le couple électromagnétique est nul au synchronisme et qu'il passe par un maximum  $C_M$ .
- Q 2.14** Déterminer l'expression littérale des coordonnées de ce maximum.
- Q 2.15** Montrer que pour un fonctionnement proche de la vitesse de synchronisme à tension et fréquence constantes le couple électromagnétique s'exprime  $C = K g$ .
- Q 2.16** Déterminer l'expression de K.
- Q 2.17** À partir des caractéristiques du moteur calculées à la question Q 2.1, évaluer la valeur du coefficient K et des paramètres R, X du modèle équivalent.
- Q 2.18** Déterminer l'expression du couple de démarrage théorique  $C_D$  et faire l'application numérique.

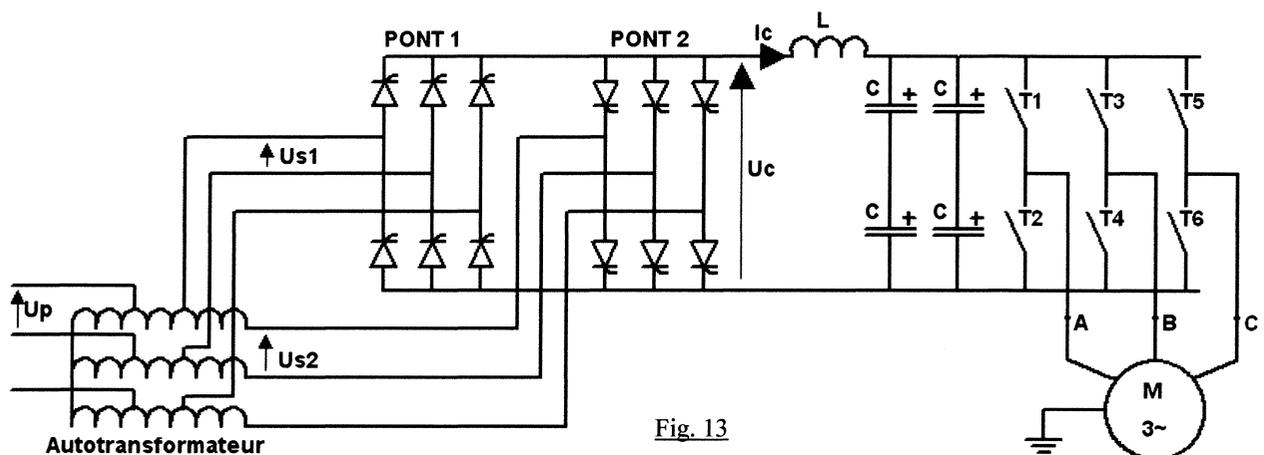
**Q 2.19** Pour permettre le démarrage des moteurs dans de bonnes conditions, la valeur réelle du couple de démarrage est très supérieure à cette valeur théorique. Indiquer sur quel paramètre les constructeurs agissent et les solutions technologiques retenues pour augmenter le couple au démarrage.

**Q 2.20** Compléter sur le document réponse (DR1 page 26/30) la caractéristique  $C = f(g)$  lorsque  $g$  est négatif et proche du synchronisme. Indiquer à quoi correspond ce mode de fonctionnement et s'il est utilisé sur la presse.

**Q 2.21** Le moteur de la presse est alimenté par un convertisseur de fréquence de type U / f constant. À partir de l'étude précédente, montrer qu'il est nécessaire de garder le rapport U / f constant pour garder  $C_M$  constant.

## Étude du convertisseur de fréquence

Schéma de principe:



Caractéristiques de l'autotransformateur :

$S_n = 37 \text{ kVA}$        $U_p = 400 \text{ V}$   
 $U_{s1} = 435 \text{ V}$        $U_{s2} = 510 \text{ V}$

Les caractéristiques nominales du bus continu sont les suivantes :

$U_c = 530 \text{ V}$  ; courant permanent  $I_c = 125 \text{ A}$ .

Capacités de filtrage :      4 condensateurs  $C = 10\,000 \mu\text{F}$ , 350 V

Inductance :       $L = 1 \text{ mH}$ , 80 A

La conversion alternatif-continu est réalisée par des ponts tout thyristors. Le fonctionnement est similaire au fonctionnement des ponts redresseur à diodes mais la mise en conduction des thyristors s'effectue à partir d'un angle  $\alpha$ , noté angle de retard à l'amorçage.

Deux boucles de régulation permettent d'asservir l'angle de retard à l'amorçage des thyristors des 2 ponts à la tension et au courant coté continu.

### Étude du convertisseur continu / alternatif à fréquence variable

On rappelle :

Cadence maximale = 240 coups/minute.

Cadence minimale = 80 coups/minute.

La poinçonneuse peut fonctionner à différentes cadences, pour s'adapter à la production de couvercles de différents diamètres.

Rapport de réduction du système poulie courroie  $\frac{1}{4}$ .

**Q 2.22** Calculer les fréquences d'alimentation du moteur nécessaires pour permettre les cadences de fonctionnement extrêmes. Pour ce calcul, on peut négliger le glissement.

**Q 2.23** L'onduleur est constitué de 6 interrupteurs bidirectionnels en courants.

Tracer sur le document réponse (**DR1 page 26/30**) l'allure des tensions aux bornes du moteur  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  et  $U_{CA}$  en fonction des périodes de conduction des interrupteurs. On supposera que la tension  $U_c$  reste constante.

**Q 2.24** Sur quel paramètre doit-on agir pour faire varier la fréquence d'alimentation du moteur ?

**Q 2.25** Calculer la valeur efficace de ces tensions et vérifier que le moteur pourra être alimenté sous sa tension nominale.

**Q 2.26** Quelle est la technique utilisée industriellement pour obtenir des courants absorbés par le moteur proche d'une onde sinusoïdale à partir de telles tensions ?

### Étude du convertisseur commandé alternatif / continu.

**Q 2.27** Indiquer sur le document réponse (**DR2 page 27/30**) les quadrants de fonctionnement du moteur de la presse. En déduire le rôle des 2 ponts tout thyristors montés tête bêche.

### Étude du freinage.

En cas de défaut lors de l'emboutissage (présence de 2 plaques...) il est nécessaire d'arrêter la presse le plus rapidement possible ( $< 10$  s). Le coulisseau est désaccouplé du moteur et est freiné.

Le variateur assure l'arrêt de l'ensemble « moteur ; volant d'inertie » en renvoyant l'énergie au réseau.

Inertie du volant :  $J_v = 500 \text{ kg.m}^2$

On admet que les rendements des différentes parties de la chaîne de conversion d'énergie sont les suivants :

Réducteur à courroies :  $\eta_R = 90\%$

Moteur :  $\eta_M = 89,6 \%$

Convertisseurs :  $\eta_{CONV} = 100 \%$

**Q 2.28** Déterminer l'énergie renvoyée sur le réseau  $E_R$  pendant la phase de freinage à partir de l'énergie cinétique emmagasinée par le volant d'inertie  $E_C$ .

**Q 2.29** Évaluer le temps de freinage si le courant de l'étage continu est limité à 50A (fonctionnement en limitation de courant). Vérifier que ce temps est compatible avec le cahier des charges. On admet que la tension continue reste égale à 530 V.

### Conclusion.

**Q 2.30** Justifier l'intérêt de ce convertisseur réversible.

## Étude du système de compensation: FT123 : « Compenser les effets de masse du coulisseau »

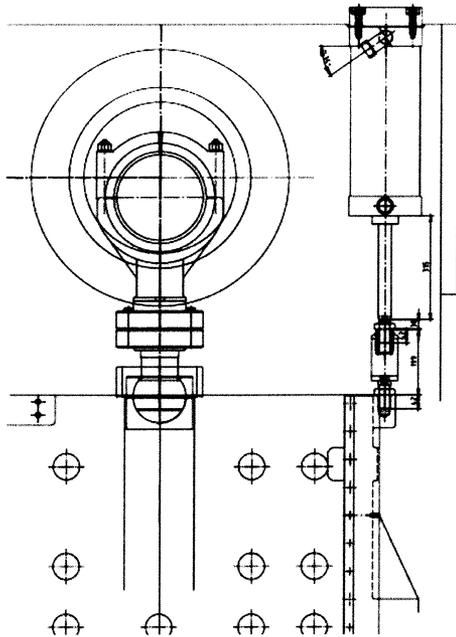


Fig. 14

Initialement, la presse devait être livrée avec un seul vérin de compensation. Pour des raisons d'équilibrage des efforts dans la liaison coulisseau-bâti, l'entreprise a décidé d'en rajouter un deuxième. Ces vérins seront fournis sur commande par un sous-traitant. L'entreprise est en charge de dimensionner ces vérins et de choisir le matériau par rapport à des essais de traction fournis par ce même sous-traitant.

*L'objectif de cette partie est de dimensionner la tige des deux vérins de compensation. Ce dimensionnement se fera presse arrêtée.*

Les vérins servent à compenser le poids du coulisseau, c'est-à-dire que l'effort dû à la masse du coulisseau n'a aucun effet sur l'effort transmis par la bielle.

La masse du coulisseau est de 2200kg.

- Q 2.31** En déduire les efforts dans chaque tige de vérin quand la presse est arrêtée.
- Q 2.32** Quel est le matériau le plus adapté pour la tige de vérin (acier, fonte, alliage d'aluminium, alliage de cuivre) ? Justifier votre choix.
- Q 2.33** Le sous-traitant fournit un essai de traction (**AN5 page 25/30**).  
Indiquer la signification des deux valeurs présentes sur l'essai de traction (800MPa et 1080MPa). Quelle est la grandeur à utiliser pour dimensionner la tige ?
- Q 2.34** Quelle est la section  $S$  minimum de la tige du vérin à utiliser en prenant en compte un coefficient de sécurité de 8 (estimation réalisée pour supporter les effets dynamiques) ? En déduire le diamètre de la tige.

## Partie III : Étude de FT21 : « Faire avancer la Tôle pas à pas »

Objectif : déterminer les paramètres de l'asservissement pour respecter les cadences de fonctionnement de la presse.

La tôle est acheminée par pas successifs de  $d_p=77$  mm entre chaque coup de coulisseau. Le positionnement doit se faire avec une précision de 0,02 mm pour diminuer au maximum les chutes de matière lors du poinçonnage.

Une pince permet de maintenir la tôle. Elle est elle-même entraînée en translation par l'intermédiaire d'un ensemble « Moteur à courant continu + Transmission par pignon-crémaillère ».

### Étude du système d'avancement de la pince

#### Préliminaire

Objectif : déterminer le temps disponible pour l'avancement dans un cycle de fonctionnement.

La roue dentée qui entraîne la crémaillère dispose de  $Z = 24$  dents, le pas d'une dent est de  $p=5$ mm, voir figure ci-dessous (Fig. 16).

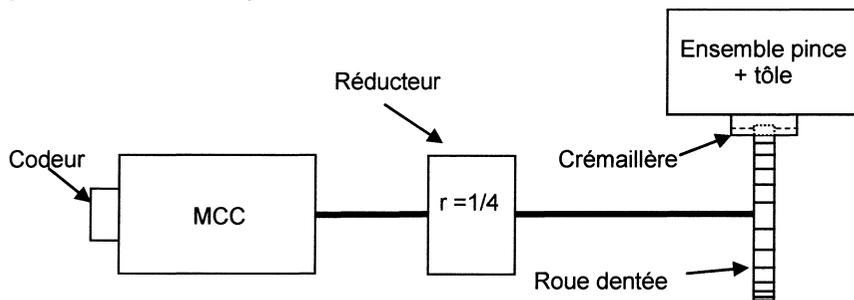


Fig. 16

Un codeur incrémental est situé sur l'axe moteur. Ce codeur doit être capable de détecter un déplacement de 0,02 mm.

**Q 3.1** Déterminer le nombre de points par tour nécessaires.

Ce codeur dispose de trois signaux en sorties : A, B et Z

- Les signaux A et B sont déphasés d'un angle de  $90^\circ$ .
- Le signal Z correspond au top zéro.

**Q 3.2** Donner les chronogrammes des signaux A et B sachant que A est en avance sur B pour un déplacement avant.

On désire détecter le sens de déplacement de l'ensemble.

**Q 3.3** A partir du chronogramme, donner les équations logiques du sens AV et du sens AR en fonction des deux sorties A et B du codeur.

On dispose d'une bascule de type D pour générer une information logique image du sens de rotation.



**Q 3.4** Rappeler son principe de fonctionnement.

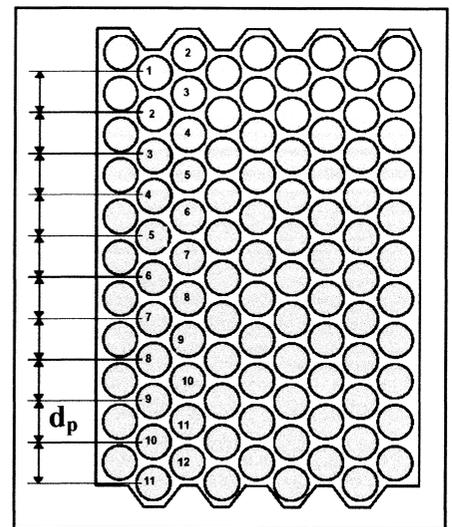


Fig. 15

**Q 3.5** Réaliser sur le document réponse (DR2 page 27/30) le schéma permettant de disposer d'une information logique S telle que  $S=1$  dans le cas d'un déplacement avant et  $S=0$  dans le cas d'un déplacement arrière.

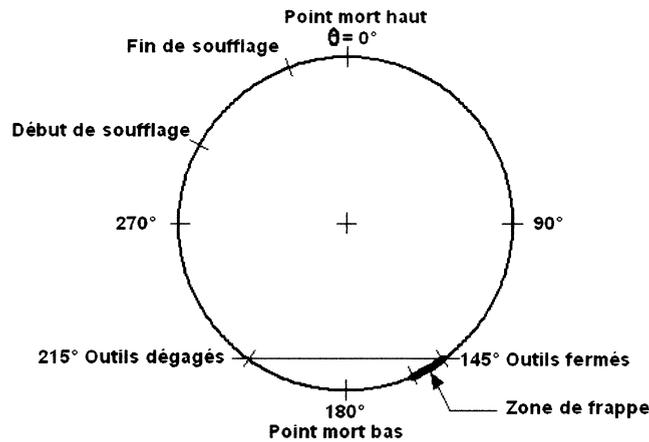


Fig. 17 : Position du vilebrequin

Entre  $0^\circ$  et  $145^\circ$  et entre  $215^\circ$  et  $360^\circ$ , les poinçons sont sortis de la plaque. La tôle peut avancer.

**Q 3.6** Déterminer le temps de cycle maximum  $T_{c_{\max}}$  disponible pour effectuer le déplacement de la tôle. On sait que la cadence maximum est de 240 coups/minute et que les positions outils fermés et outils dégagés sont respectivement à  $145^\circ$  et  $215^\circ$ .

**Q 3.7** Pour un déplacement de la tôle à vitesse maximum  $v_{\max} = 1\,500$  mm/s déterminer le temps  $T_v$  nécessaire pour parcourir la distance  $d_p = 77$  mm. En déduire le temps approximatif disponible  $T_t$  pour les phases transitoires de vitesse (phases d'accélération et de décélération).

Asservissement de l'axe.

*Objectif : déterminer les paramètres de l'asservissement pour que la tôle puisse être positionnée entre deux coups de poinçonnage avec une précision suffisante et une marge de stabilité suffisante.*

La motorisation utilisée est un moteur à courant continu (MCC).

On admet que la boucle de régulation de courant fonctionne en régime linéaire. Compte tenu des constantes de temps de la boucle de vitesse, elle est assimilée à un gain pur intégré dans le gain A du variateur.

On rappelle le schéma fonctionnel de la boucle de régulation de vitesse d'un MCC (Fig. 18).

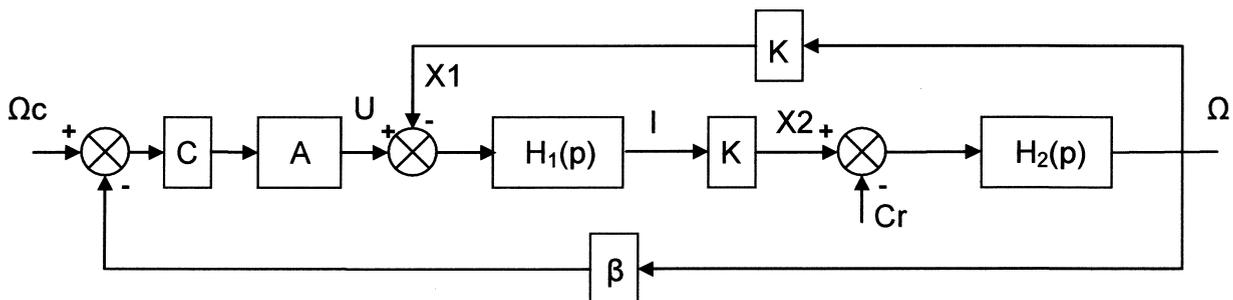


Fig. 18

Avec :

- C : Gain du correcteur proportionnel ;
- A : Gain du variateur ;
- Cr : Couple résistant ;
- $\Omega$  : Vitesse angulaire ;
- $\Omega_c$  : Consigne de vitesse.

**Q 3.8** Déterminer les deux grandeurs physiques manquantes X1, X2.

**Q 3.9** À partir des équations de fonctionnement du MCC retrouver l'expression des deux fonctions de transfert H1 et H2 en fonction des grandeurs suivantes :

- R : résistance de l'induit du MCC ;
- L : inductance totale ramenée à l'induit ;
- J : moment d'inertie total ramené sur l'axe moteur ;
- f : coefficient de frottements fluides.

**Q 3.10** On néglige le couple résistant Cr ainsi que L et f. Déterminer alors le schéma fonctionnel simplifié entre les grandeurs U et  $\Omega$ .

**Q 3.11** Déterminer la fonction de transfert  $H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)}$  et montrer que celle-ci peut se mettre sous la forme  $H(p) = \frac{K'}{1+\tau_m p}$ . Exprimez alors K' et  $\tau_m$ .

Le schéma fonctionnel de la régulation de position devient alors (Fig. 19):

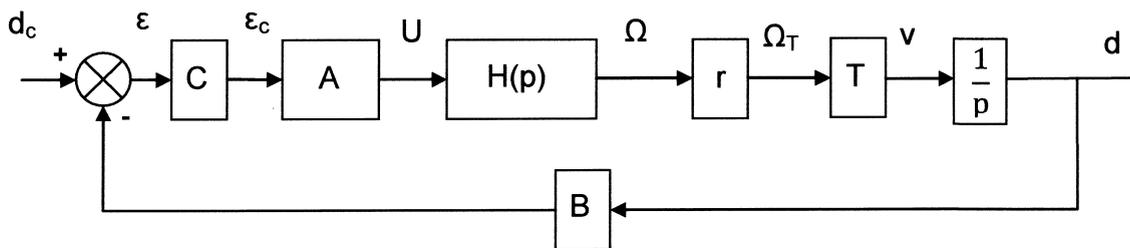


Fig. 19

Avec :

- $d_c$  : position de consigne demandée,
- d : position réelle de la tôle,
- T : rapport de transmission,
- r : rapport de réduction du réducteur,
- v : vitesse,
- B : gain de la chaîne de mesure de la position de la plaque.

**Q 3.12** Montrer que la fonction de transfert en boucle ouverte FTBO peut se mettre sous la forme :

$$FTBO = \frac{A_o}{(1+\tau_m p)\tau_m p}$$

Déterminer  $A_o$ .

**Q 3.13** Tracer l'allure des diagrammes de Bode (phase et gain) de la FTBO.

**Q 3.14** Donner la valeur numérique de  $A_0$  pour que la marge de phase soit de  $45^\circ$ .

**Q 3.15** Montrer que l'erreur statique  $\varepsilon$  est nulle.

On rappelle que l'erreur statique est donnée en régime permanent pour une entrée de type indicielle. Avec  $\varepsilon = \lim_{t \rightarrow \infty} [\varepsilon(t)] = \lim_{p \rightarrow 0} [p\varepsilon(p)]$

Conclusion.

Un essai indiciel sur la commande en vitesse de l'ensemble schématisé ci-dessous a été effectué.

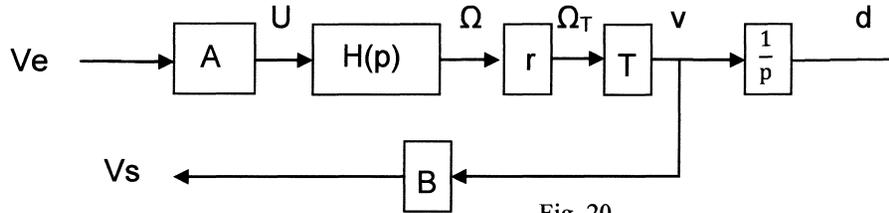


Fig. 20

Les courbes suivantes ont été relevées.

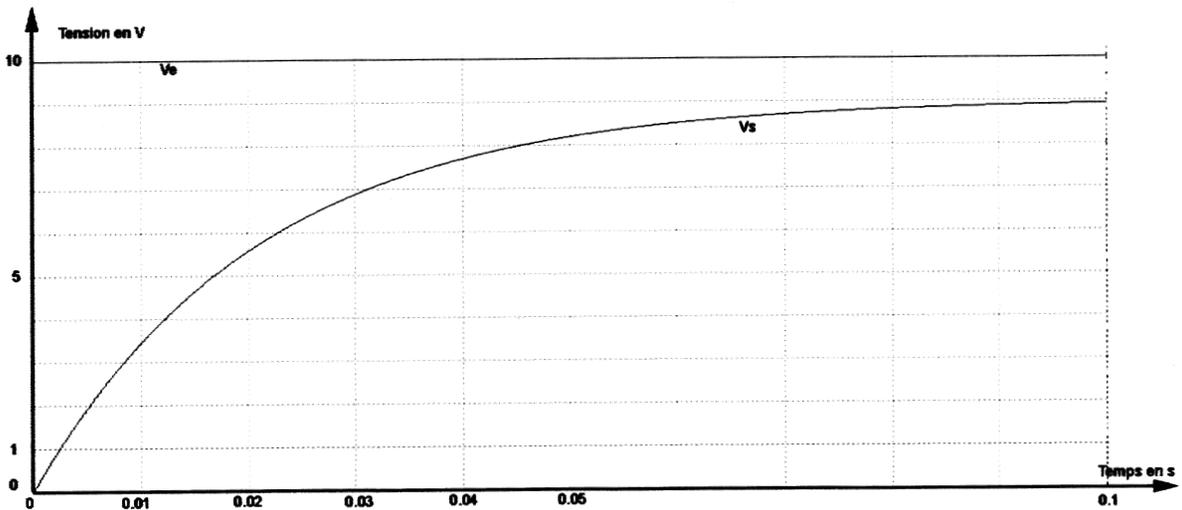


Fig. 21 : Réponse indicielle

**Q 3.16** Déterminer la constante de temps de cette réponse indicielle. Quelle est sa relation avec  $\tau_m$  ?

**Q 3.17** Déterminer le gain statique  $A_{rpi}$  de cette réponse indicielle.

En déduire la valeur  $C$  du correcteur pour obtenir la stabilité du système, assurée par le réglage de  $A_0$  de la question **Q 3.14**.

**Q 3.18** Vérifier que le temps  $T_R$  de réponse à 5% du système est compatible avec le temps maximum disponible pour la mise en vitesse de la tôle  $T_a = T_t/2$ . On prendra pour cette question  $T_t = 150$  ms. Conclusion.

## Étude de la pince.

*Objectif : déterminer le réglage de pression à effectuer pour assurer la préhension de la plaque.*

Pour éviter à la plaque de glisser dans la pince lors du déplacement de celle-ci, on cherche à la déformer lors du serrage (AN1 page 21/30 et AN2 page 22/30). Pour arriver à ce résultat, il est nécessaire d'appliquer un effort de 400N.

### Étude du mécanisme.

Pour cette étude, les liaisons entre les pièces 1/2, 2/3 et 3/4 sont modélisées par des liaisons pivots.

- Q 3.19** En vous appuyant sur le dessin de la « pince ouverte » (AN1 page 21/30, AN2 page 22/30), réaliser le graphe de liaisons du système.
- Q 3.20** Construire le schéma cinématique 3D en vue isométrique du système.
- Q 3.21** Dédire de cette modélisation le degré d'hyperstatisme.  
Quelles contraintes géométriques devra respecter la solution technologique ?

### Étude de l'effort de serrage.

Hypothèses d'étude :

- Les liaisons sont sans frottement ;
- L'influence du poids est négligée devant les autres actions mécaniques ;
- Le problème est plan ;
- Lorsque la pince est fermée et la plaque en position, on peut admettre que les points O, A et B sont alignés.

Pour l'étude qui va suivre, vous pourrez vous aider de l'annexe (AN2 page 22/30).

$$\overrightarrow{BC} = -e\vec{x} + f\vec{y} \text{ avec } e = 17\text{mm et } f = 51\text{mm}$$

$$\overrightarrow{DC} = g\vec{x} + h\vec{y} \text{ avec } g = 40\text{mm et } h = 1\text{mm}$$

- Q 3.22** Isoler le solide 3 et donner la direction des efforts  $\overrightarrow{A_{4 \rightarrow 3}}$  et  $\overrightarrow{B_{2 \rightarrow 3}}$  en A et B.
- Q 3.23** Isoler le solide 2 et calculer l'effort  $\overrightarrow{B_{3 \rightarrow 2}}$ .
- Q 3.24** Donner en indiquant votre raisonnement l'effort minimal que le fluide doit exercer sur le piston.
- Q 3.25** En déduire le réglage de la pression minimale nécessaire au serrage de la plaque.  
Diamètre du piston : 50 mm ; Diamètre de la tige : 12 mm.

## ***Partie IV : Étude de FT22 : « Evacuer une Tôle »***

*Objectif : Reconception du dispositif de guidage du système d'évacuation des tôles.*

La solution actuelle de guidage était réalisée par des coussinets. Ce choix avait été dicté par les faibles efforts appliqués sur les paliers.

Du fait d'une vitesse de rotation importante, l'usure prématurée des coussinets a été observée.

Il est donc nécessaire de réaliser une reconception du système et de guider le rouleau 3 avec des roulements à billes à contact radial afin de fiabiliser la machine et permettre à celle-ci un service en continu 24 heures sur 24.

### Choix des roulements

La vitesse de rotation du rouleau 3 est de  $3500 \text{ min}^{-1}$ .

Dans ce type d'emploi, la durée de vie des paliers à roulements  $L_{10H}$  doit être supérieure à 35 000 heures.

Sachant que l'effort radial supporté par chaque roulement est de 60N et que l'effort axial est négligeable, le roulement choisi est le 6206 (AN3 page 23/30).

**Q 4.1** Calculer la durée de vie en millions de tours pour un des deux roulements choisis.

**Q 4.2** En déduire sa durée de vie en heures. Conclure sachant que la valeur trouvée est très supérieure à la valeur limite (35 000 heures).

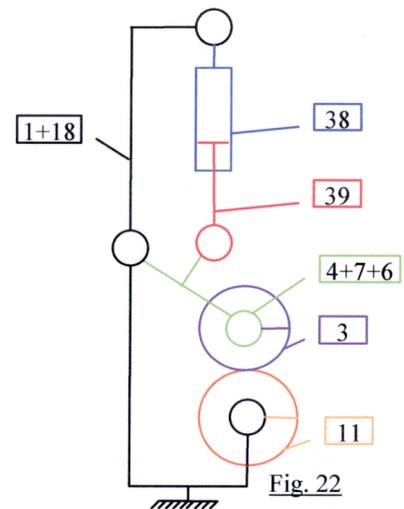
### Conception

Le choix des roulements étant fait, il faut maintenant les implanter dans le système.

Le schéma cinématique du système de pression vous est donné ci-contre (Fig. 22).

L'étude porte sur la liaison entre le rouleau 3 et l'arbre 4 (AN4 page 24/30).

L'arbre 4 est encastré dans les plaques supports 6 et 7.



**Q 4.3** En justifiant votre réponse, donner la nature des ajustements au niveau des portées de roulement sur l'arbre 4 et le rouleau 3.

**Q 4.4** Réaliser la conception (DR3 page 28/30) :

- de la liaison pivot entre 3 et 4,
- des liaisons encastrement entre 7 et 4 ; 6 et 4.

Vous indiquerez tous les ajustements et les tolérances que vous jugerez nécessaires.

**N.B. :** le rouleau 3 est recouvert d'un élastomère.

## Partie V : Étude de FT31 : « Acquérir et communiquer »

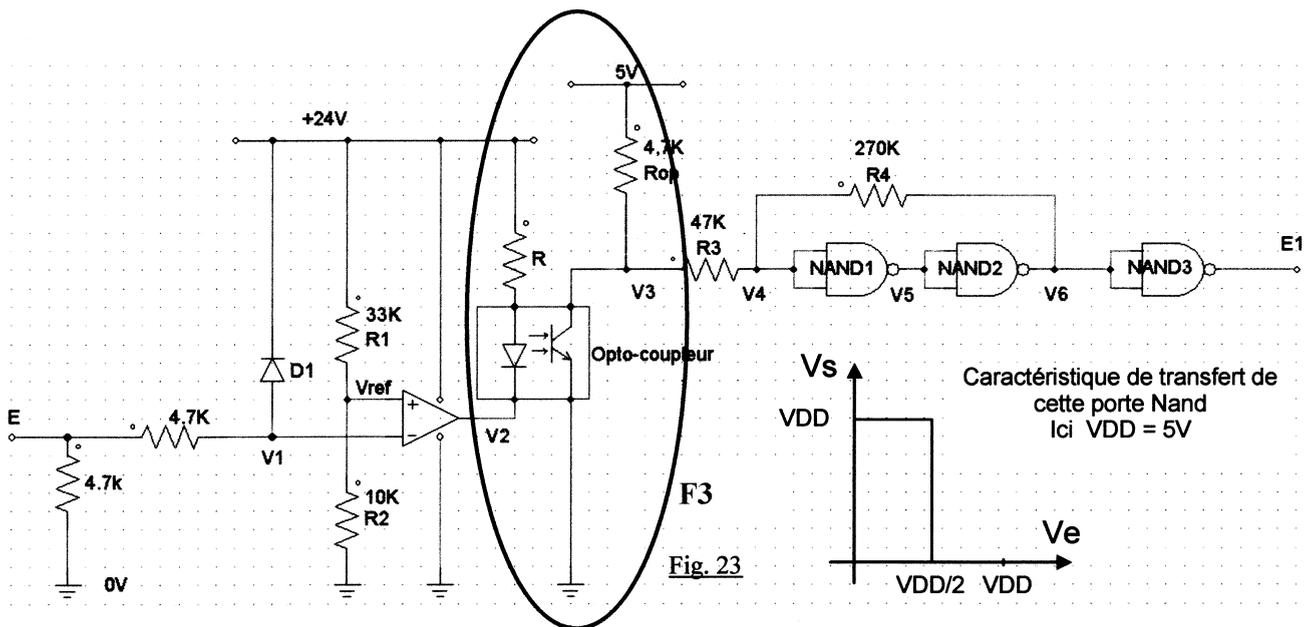
Objectif : On se propose d'étudier la mise en forme du signal de sortie du capteur « présence anormale de deux plaques » pour déterminer la valeur de l'épaisseur limite.

Un capteur délivrant une tension  $V_E$  proportionnelle à l'épaisseur est utilisé pour détecter la présence anormale de deux tôles (épaisseur d'une tôle = 0,8 mm).

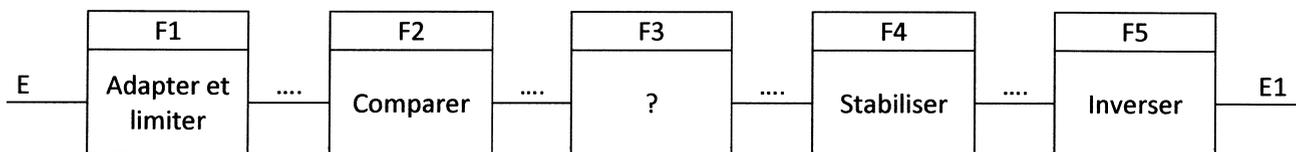
Le signal délivré  $V_E$  est compris entre 0 et 24VDC pour une épaisseur variant de 0 à 4,5 mm (DR5 page 30/30). En cas de présence de deux tôles, la machine doit alors être mise en sécurité.

L'information délivrée par le capteur est transmise via une carte d'entrée à l'automate programmable industriel (API) principal qui gère l'ensemble de la machine.

Les niveaux de tension des informations que reçoit cet automate doivent être de 0V ou 5V.



Les fonctions réalisées par cette interface sont les suivantes :



**Q 5.1** Entourer sur le schéma électrique les fonctions F1 ; F2 ; F4 et F5 et compléter les variables d'entrées et de sorties de ces fonctions sur le schéma fonctionnel. Répondre sur le document réponse (DR4 page 29/30).

On précise que l'amplificateur opérationnel est parfait.

On appelle  $V_E$  la tension appliquée à l'entrée E.

La tension de seuil de la diode D1 est  $V_{D1\text{seuil}} = 0.6V$ .

La documentation constructeur de l'opto-coupleur indique que pour un courant de polarisation de la diode de 20mA, la tension aux bornes vaut  $V_F = 2.5V$ . Quand il y a transmission du signal, la sortie de l'opto-coupleur est équivalente à  $R_{ON} = 600 \Omega$ . Dans le cas contraire la sortie est équivalente à  $R_{OFF} = 50 M\Omega$ .

- Q 5.2** Quel est le rôle de la diode D1 ? Compléter sur le document réponse (**DR5 page 30/30**) la caractéristique de transfert  $V1=f(V_E)$ .
- Q 5.3** Calculer  $V_{ref}$  . Compléter sur le document réponse (**DR5 page 30/30**) la caractéristique de transfert  $V2 = f(V_E)$ .
- Q 5.4** Quel est le rôle de l'opto-coupleur ? Compléter le nom de la fonction F3 sur le document réponse (**DR4 page 29/30**). Déterminer la valeur de la résistance R. Compléter sur le document réponse (**DR5 page 30/30**) la caractéristique de transfert  $V3 = f(V_E)$ .
- Q 5.5** Montrer que le seuil de basculement de l'étage composé de R3, R4, NAND1 et NAND2 n'est pas le même suivant que la tension V3 est croissante, avec comme condition initiale  $V6 = 0V$  ou décroissante, avec comme condition initiale  $V6 = 5V$ . Déterminer ces deux seuils :  $V3+$  et  $V3-$  . Compléter sur le document réponse (**DR5 page 30/30**) la fonction de transfert  $V6 = f(V3)$ .
- Q 5.6** En déduire à partir de quelle épaisseur le système détecte une anomalie. Quel sera alors le niveau logique de E1 ?

---

**Fin de l'énoncé**