

**PARTIE A**  
*(Etude de l'automatisme)*

**Sous-partie A1 : Étude du circuit hydraulique**

**Question A1-1**

Calcul de la pression appliquée au vérin hydraulique :

La force dans le moule a pour expression :  $F_m = p_m \cdot S_m$  avec  $p_m$  = pression dans le moule  
 $S_m$  = surface utile du moule

La force développée par le vérin hydraulique a pour expression :  $F_p = p_p \cdot S_p$   
avec  $p_p$  = pression hydraulique  
 $S_p$  = surface du piston

Or  $F_m = F_p$  d'où  $p_m \cdot S_m = p_p \cdot S_p$ , expression de laquelle on tire  $p_p$ .

$$p_p = 7 \cdot 930 / (\pi \cdot D^2/4) = 21 \text{ bars}$$

Calcul du débit du groupe moto-pompe :  $Q = S_p \cdot V_m$

A la vitesse la plus élevée (soit 3000 mm/mn), on a le débit (en  $\text{cm}^3/\text{mn}$ ):

$$Q = 314 \cdot 300 = 94200 \text{ cm}^3/\text{mn} \text{ soit } 94,2 \text{ l/mn} \text{ ou encore } 1,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

La puissance du moteur ne doit pas être inférieure à :

$$P_{\text{mini}} = P_p \cdot Q = 21 \cdot 1,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 3,3 \text{ kW}$$

Le moteur proposé est donc satisfaisant.

**Question A1-2**

Un groupe moto-pompe fonctionne en continu. Il faut donc délester le circuit lorsqu'on ne pilote pas de mouvement. Le distributeur (7) permet donc une circulation d'huile qui évite l'échauffement du moteur.

### Question A1-3

Le débit du distributeur est de 63 l/mn pour un  $\Delta p$  de 5 bars. Ce débit est inférieur au débit nécessaire (94 l/mn).

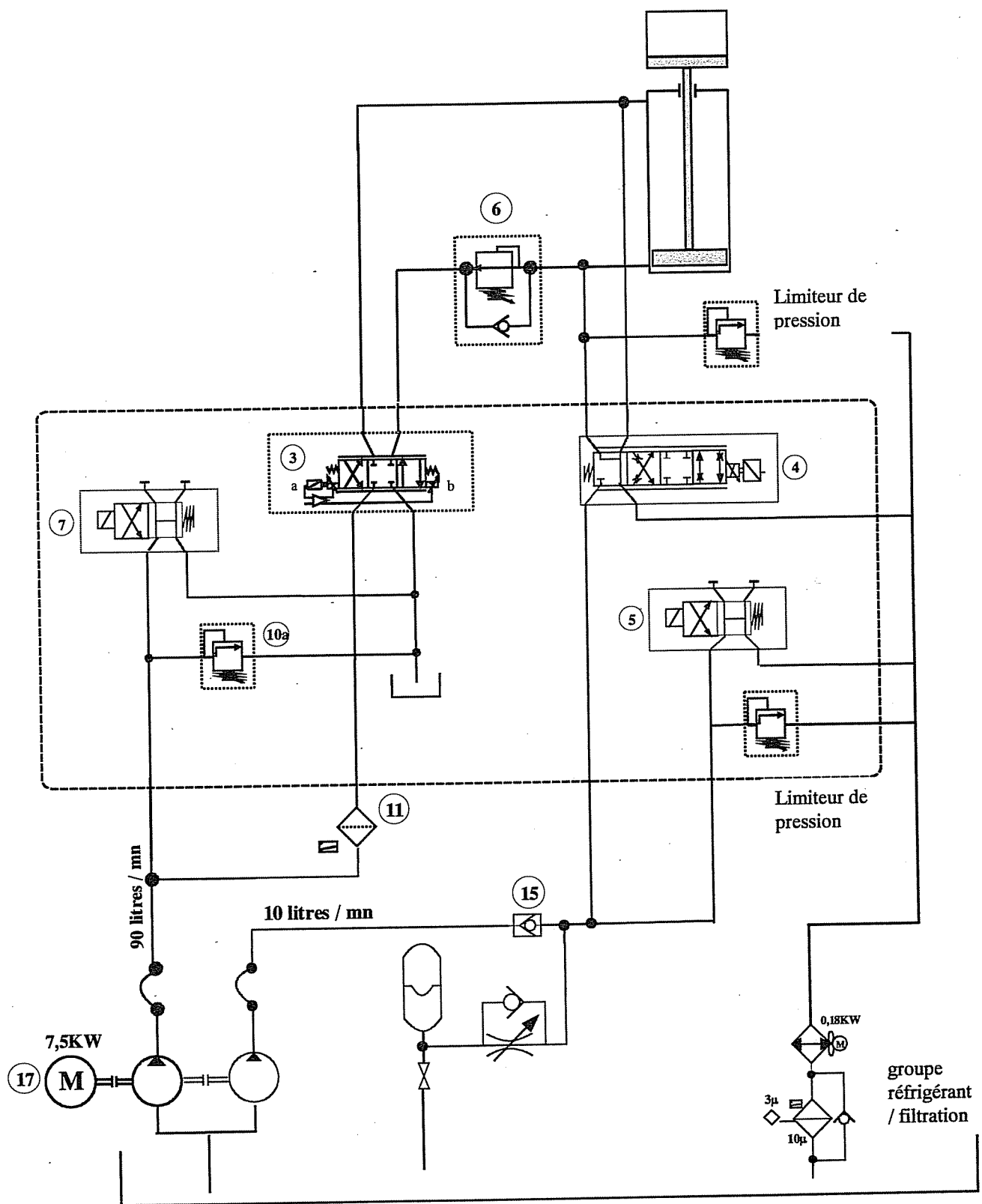
En appliquant la formule donnée par le constructeur (voir note de l'annexe 1 folio 2), on trouve :

$$\Delta p = 5 \cdot Q^2 / Q_{\text{nom}}^2 \text{ soit } 11 \text{ bars.}$$

Ce  $\Delta p$  correspond à une perte de pression de 11 bars qui n'est pas gênante compte tenu de la réserve de puissance moteur qui permet de compenser cette perte.

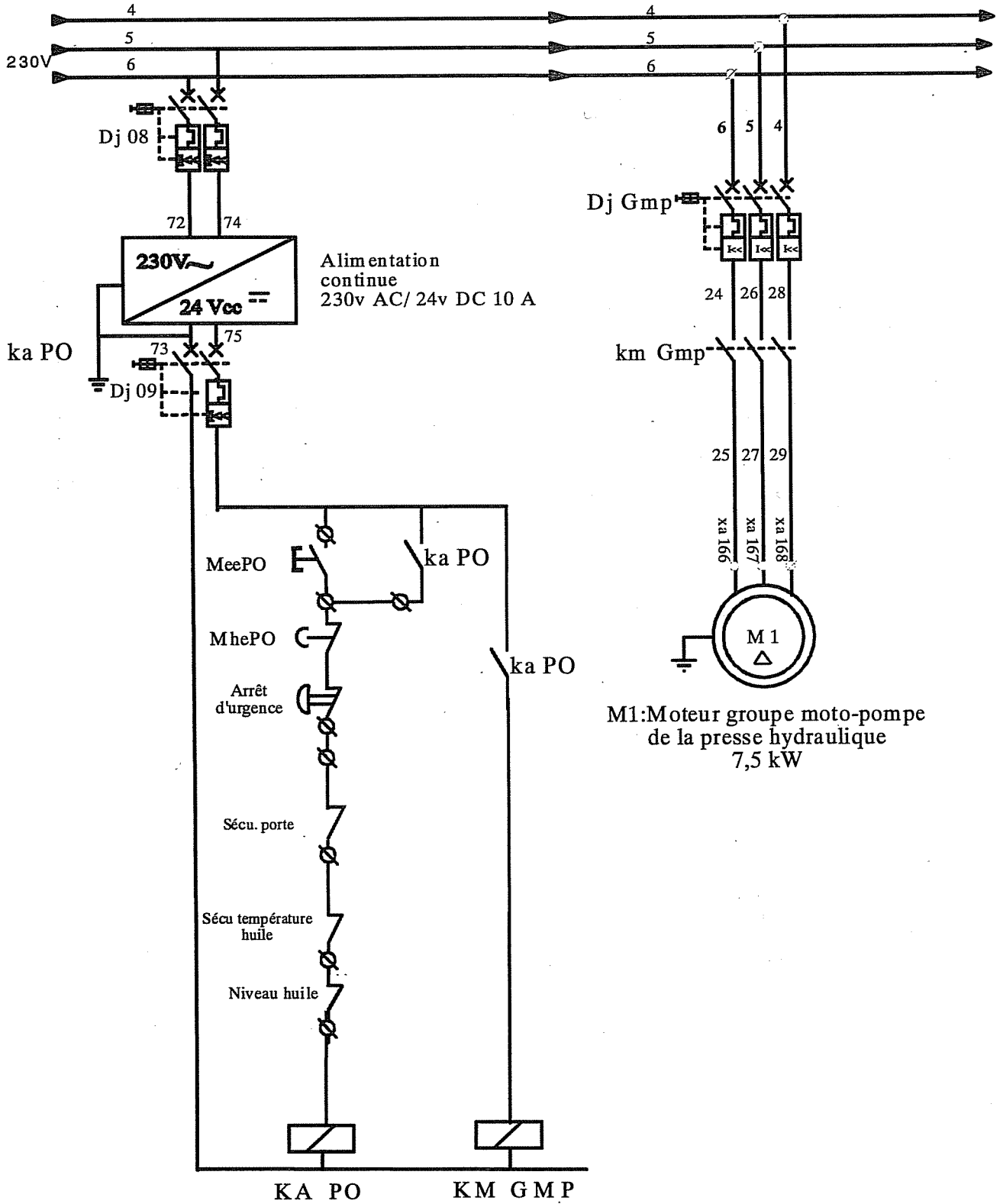
### Question A1-4

Voir schéma ci-après.



Sous-partie A2 : Étude de l'alimentation électrique

Question A2-1



## Question A2-2

Référence du disjoncteur magnéto-thermique : (pour moteur de 7,5 kW sous 230 V) : **GV2 M32**

## Sous-partie A3 : Circuit pneumatique

### Question A3-1

$F = p \cdot S$  avec  $F = 10 \text{ daN} \cdot 2$  (coeff de sécurité) et  $p = 6 \text{ bar}$  soit  $S = 3,33 \text{ cm}^2$

$$S = \pi \cdot D^2 / 4 \text{ d'où } D = 20,7 \text{ mm}$$

Vérifions que le vérin de diamètre 32 convient, compte tenu du diamètre de tige (12 mm).

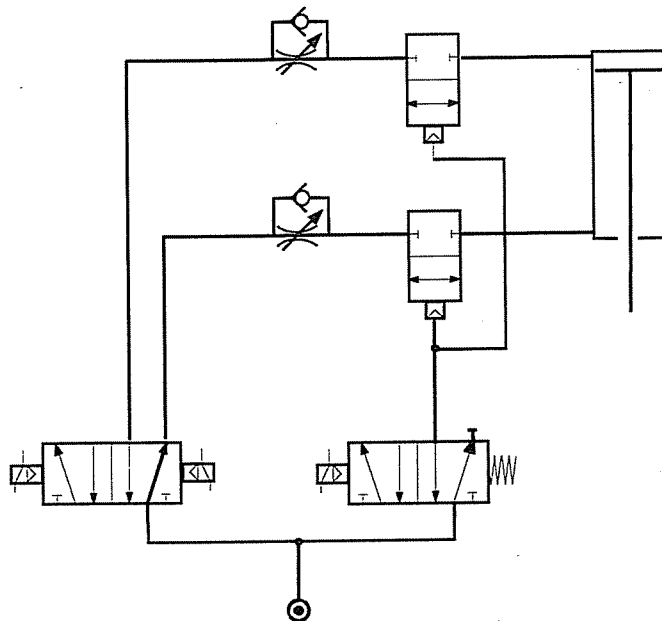
Donc pour la montée de la grille,  $S = \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4 = 6900 \text{ mm}^2$  ce qui donne une poussée  $F = 6 \cdot 6,9 = 41 \text{ daN}$  ce qui est suffisant.

On va choisir le vérin de dimension supérieure  $D = 32 \text{ mm}$  et  $d = 12 \text{ mm}$ .

La référence du vérin qui en résulte est : **P1E-T 032 M S-0600**

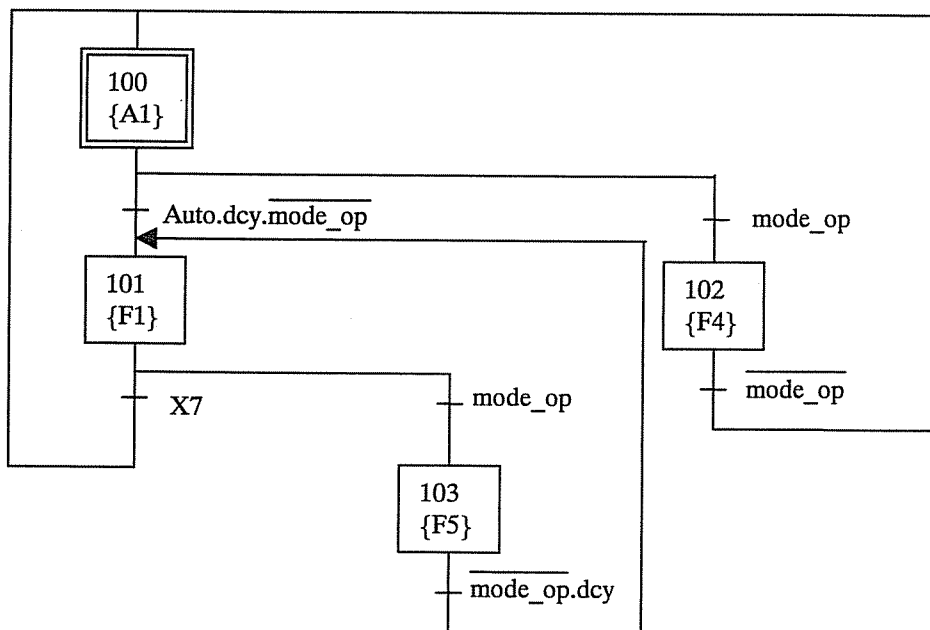
### Question A3-2

Le schéma ci-après présente un exemple de solution possible :



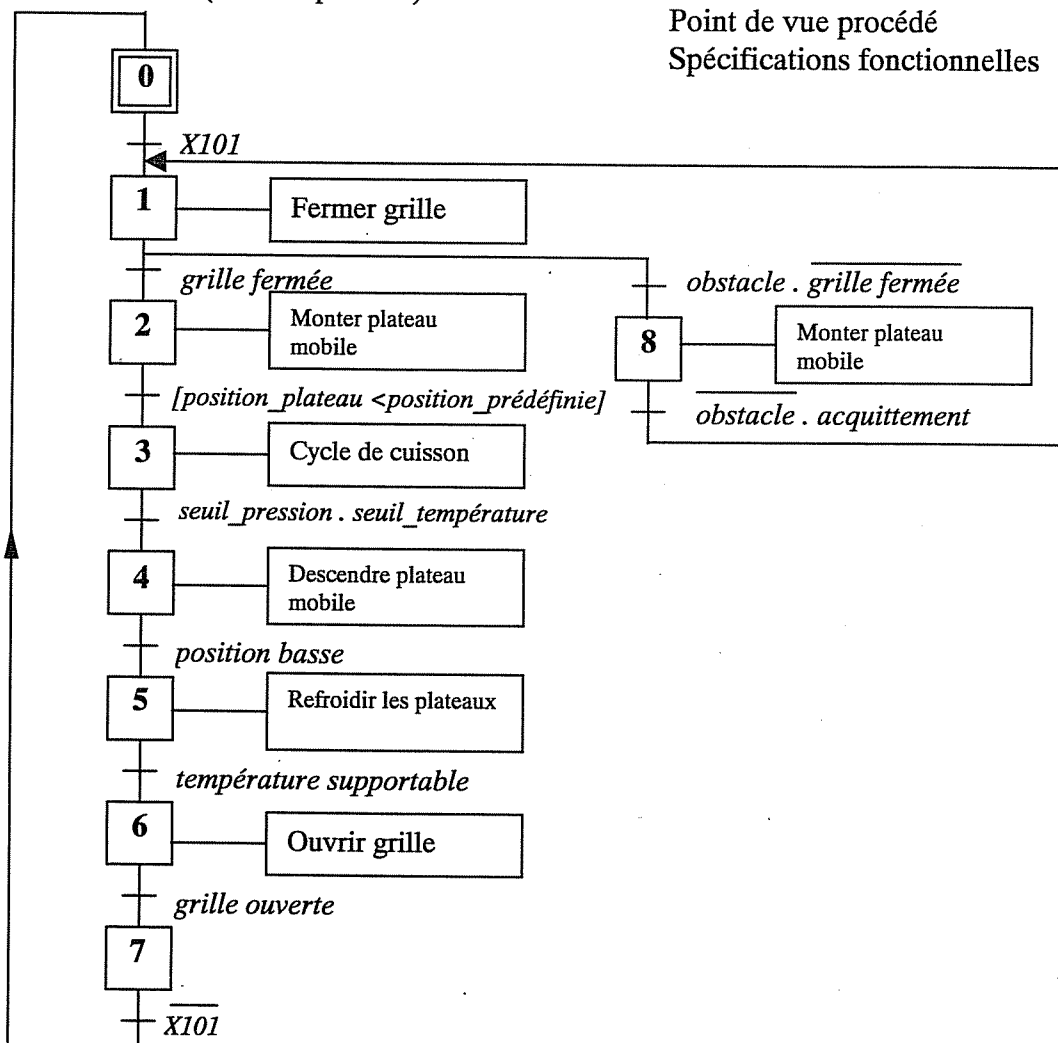
## Sous-partie A4 : Étude séquentielle

### Question A4-1



### Question A4-2

Voir le grafcet ci-dessous (solution possible).

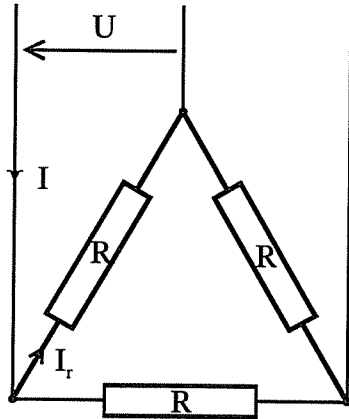


## PARTIE B

*(Étude de la mise en température du moule de pales de compresseur)*

### Sous-partie B1 : Détermination de la puissance de chauffe

**Question B1-1 :**



Dans le cas d'un montage en triangle, la puissance absorbée par effet joule de chaque ensemble est égale à 3 fois celle d'une cartouche résistante.

$$P_{\text{calor\_ensemble}\Delta} = 3 \cdot P_{\text{calor\_cartouche}} = 3600 \text{ W}$$

$$P_{\text{calor\_ensemble}\Delta} = 3 \cdot R I_r^2 = P_{\text{électrique}} = \sqrt{3} U I$$

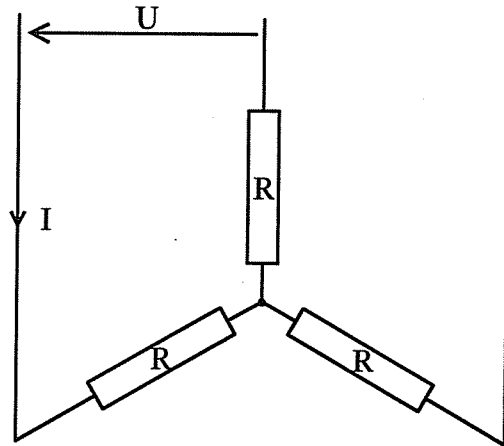
D'où l'intensité efficace par phase :

$$I = \frac{P_{\text{calor\_ensemble}\Delta}}{\sqrt{3} U} = 9 \text{ A}$$

La résistance de chaque cartouche résistante est égale à :

$$R = \frac{U^2}{P_{\text{calor\_cartouche}}} = 44 \Omega$$

**Question B1-2 :**



Dans le cas d'un montage en étoile, la puissance absorbée par effet joule de chaque ensemble est égale à celle d'une cartouche résistante.

$$P_{\text{calor\_ensemble}\star} = P_{\text{calor\_cartouche}} = 1200 \text{ W}$$

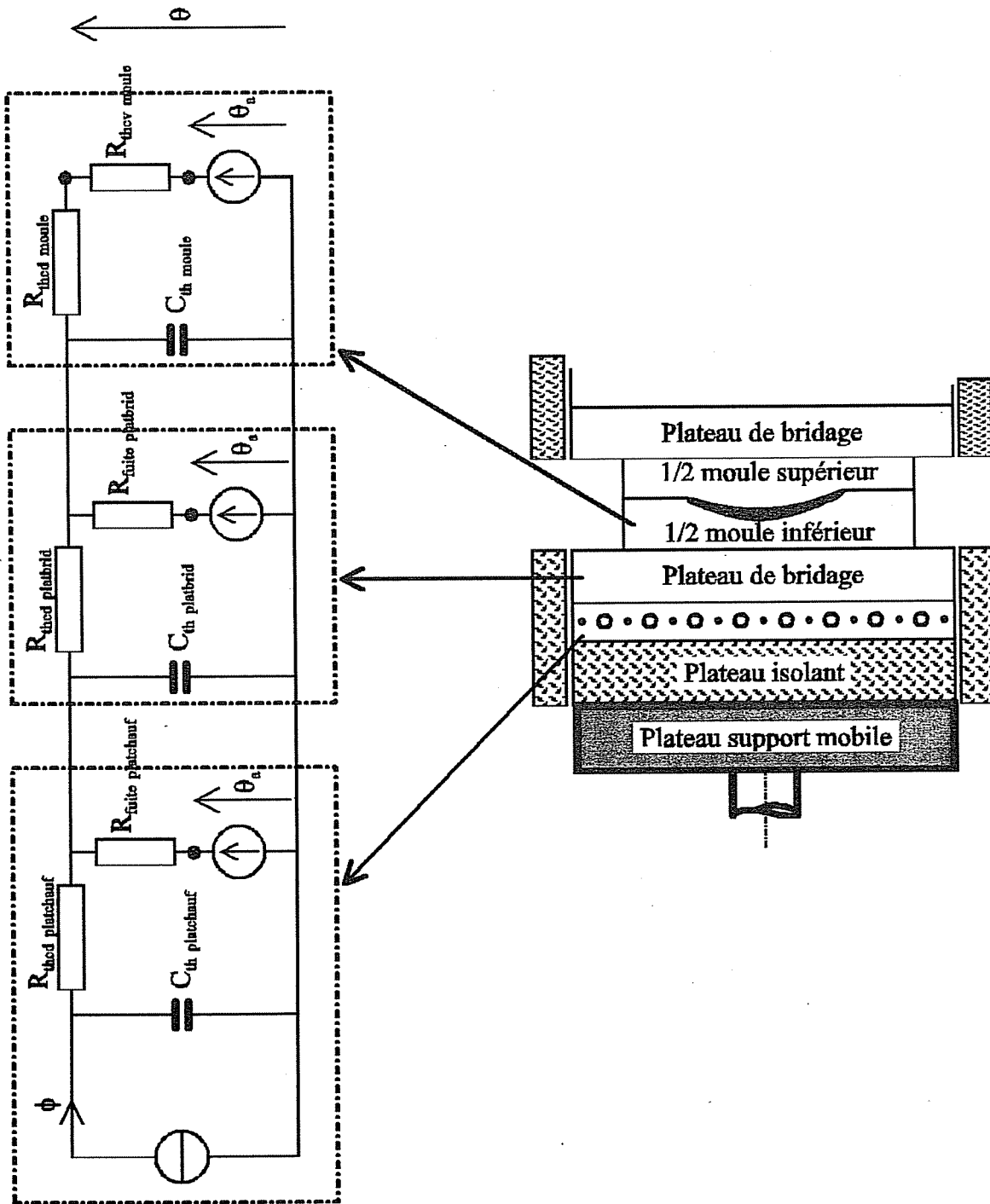
L'intensité efficace par phase :

$$\frac{U}{\sqrt{3}} = R I \quad \text{d'où} \quad I = \frac{U}{\sqrt{3} R} = 3 \text{ A}$$

Sous-partie B2 : Modélisation du processus de mise en température

Question B2-1 :

L'objectif de la sous-partie B2 est d'élaborer des modèles de connaissance simples du processus, utilisable ensuite dans une étude de régulation thermique. Or, lorsqu'on utilise les relations de la thermique, le système d'équations devient très vite complexe (sinus et cosinus hyperbolique en « s »), et donc inutilisable. Nous avons choisi, pour ce sujet, d'analyser le comportement de ce processus thermique par analogie électrique.





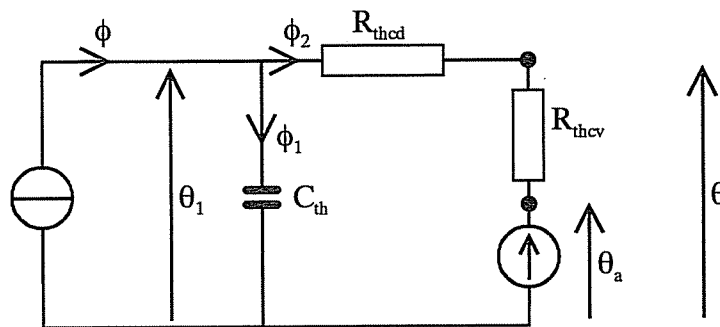
Nous pouvons ainsi définir une capacité thermique, une résistance thermique par conduction et une par convection (résistance de fuite vers l'extérieur) pour chacun des éléments (plateau chauffant/refroidissant, plateau de bridage, demi-moule).

Le modèle électrique équivalent présenté à la figure ci-dessus est déjà très simplifié et nécessite des hypothèses parfois « fortes » ; mais peu importe, l'objectif est de qualifier et quantifier approximativement le processus.

**Quelques hypothèses simplificatrices :**

- le système est unidirectionnel ;
- le système est symétrique donc le flux est nul au niveau de la pièce ;
- la résistance de contact entre chaque élément est nulle ;
- les plateaux sont homogènes (hypothèse forte car tous les plateaux sont percés et le plateau chauffant/refroidissant est traversé par des tubes en cuivre ! ! ) ;
- les coefficients caractéristiques des matériaux sont constants (chaleur spécifique, conductivité thermique, ... ..) ;
- le système est linéaire ;
- ... ..

**Questions B2-2 et B2-3 :**



De ce schéma électrique, nous pouvons extraire quatre relations qui nous permettront d'établir une relation exprimant la température du moule  $\Theta(s)$  en fonction des entrées  $\phi(s)$  et  $\Theta_a(s)$ .

$$\begin{cases} (1) \rightarrow \Theta(s) - \Theta_a(s) = R_{thcv} \cdot \phi_2(s) \\ (2) \rightarrow \phi(s) = \phi_1(s) + \phi_2(s) \\ (3) \rightarrow \Theta_1(s) - \Theta(s) = R_{thcd} \cdot \phi_2(s) \\ (4) \rightarrow \Theta_1(s) - \Theta_a(s) = \frac{1}{C_{th}s} \cdot \phi_1(s) \end{cases}$$

D'où

$$\Theta(s) = \frac{R_{thcv}}{1 + C_{th} (R_{thcd} + R_{thcv})s} \cdot \phi(s) + \Theta_a(s)$$

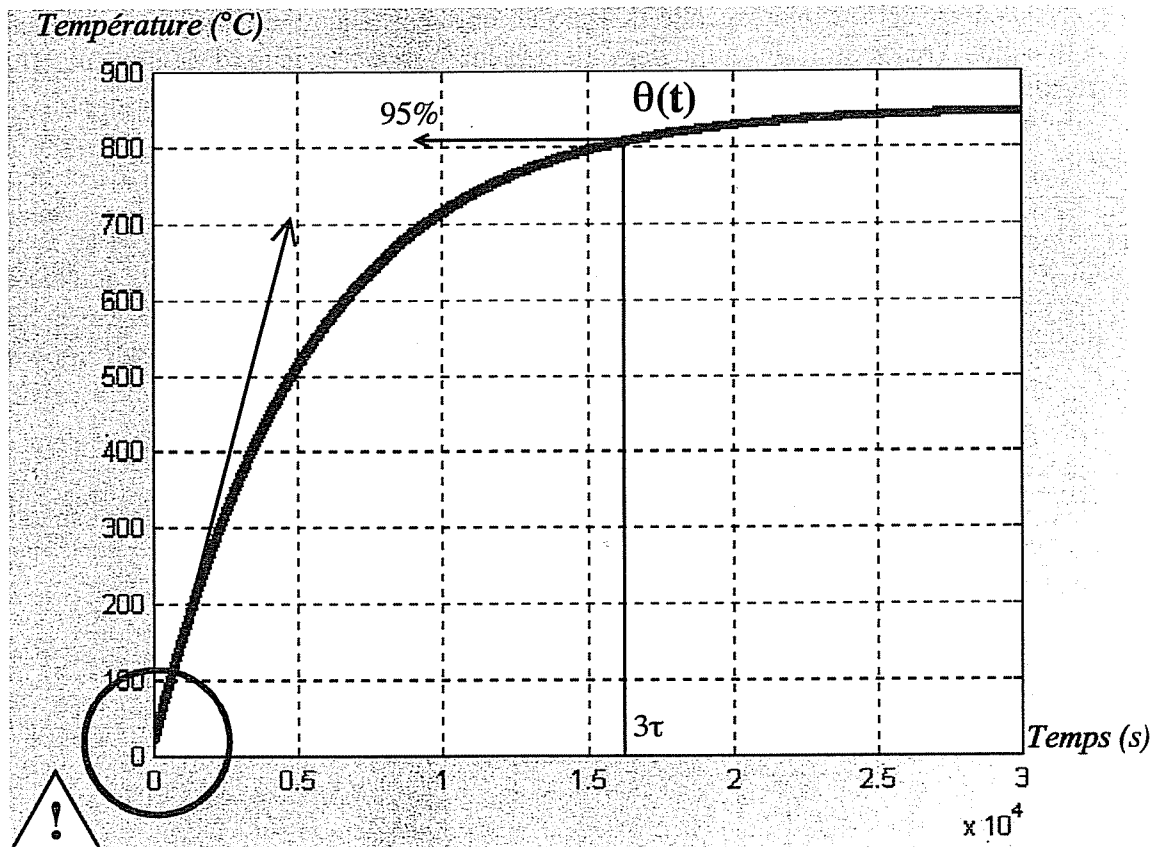
**Applications numériques :**

$$C_{th} = 19392 + 7800 \cdot 450 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \cdot 10^{-3} \cdot 0,11 \cdot 10^{+3} \cdot 4,1855 = 64640 \text{ J/deg.}$$

$$R_{thcv} = 7,68 \cdot 10^{-2} \text{ deg./W}$$

$$R_{thcd} = 1,54 \cdot 10^{-3} + \frac{70 \cdot 10^{-3}}{54 \cdot 450 \cdot 10^{-3} \cdot 400 \cdot 10^{-3}} = 8,75 \cdot 10^{-3} \text{ deg./W}$$

$$\Theta(s) = \frac{7,68 \cdot 10^{-2}}{1 + 5529s} \cdot \phi(s) + \Theta_a(s)$$



La courbe est une fonction du premier degré décalée vers le haut de 20°C. Les paramètres caractéristiques sont la température maximale atteinte au niveau de la pièce (= 850°C, si le processus est toujours linéaire à ces températures !!) et sa constante de temps ( $\tau = 5529$ s) ou encore le temps de réponse à 5% ( $T5\% = 3\tau$ ). Elle donne une idée sur le comportement thermique de l'ensemble de chauffant.

Cependant, le modèle proposé est éloigné de la réalité physique (du moins dans ce domaine d'activités) car la pente à l'origine n'est pas nulle.

#### Question B2-4 :

En procédant de façon analogue à la question B2-2, nous pouvons déterminer l'expression de la température du moule  $\Theta(s)$  en fonction des entrées  $\phi(s)$  et  $\Theta_a(s)$  :

$$\Theta(s) = \frac{R_{thcv}}{1 + [C_{th1}(R_{thcd1} + R_{thcd2} + R_{thcv}) + C_{th2}(R_{thcd2} + R_{thcv})]s + C_{th1}R_{thcd1}(R_{thcd2} + R_{thcv})s^2} \cdot \phi(s) + \Theta_a(s)$$

Dans ce cas de modélisation, le gain statique de la fonction de transfert en poursuite est le même que celui défini précédemment (heureusement !). Par contre, le dénominateur est une fonction du deuxième ordre. Par conséquent, la pente à l'origine est nulle, et correspond davantage à une réalité physique.

L'application numérique montre que l'une des 2 racines du dénominateur de cette fonction de transfert est particulièrement dominante. Une modélisation plus fine, prenant en compte tous les paramètres (non linéarités, résistances de contact, ...), permettrait de mieux représenter le processus et ainsi de mieux le commander.

$$\Theta(s) = \frac{7,6810^{-2}}{(1 + 5328s)(1 + 3,810^{-3}s)} \cdot \phi(s) + \Theta_a(s)$$

## Sous-partie B3 : Étude de la régulation de température

### B31 Analyse fréquentielle

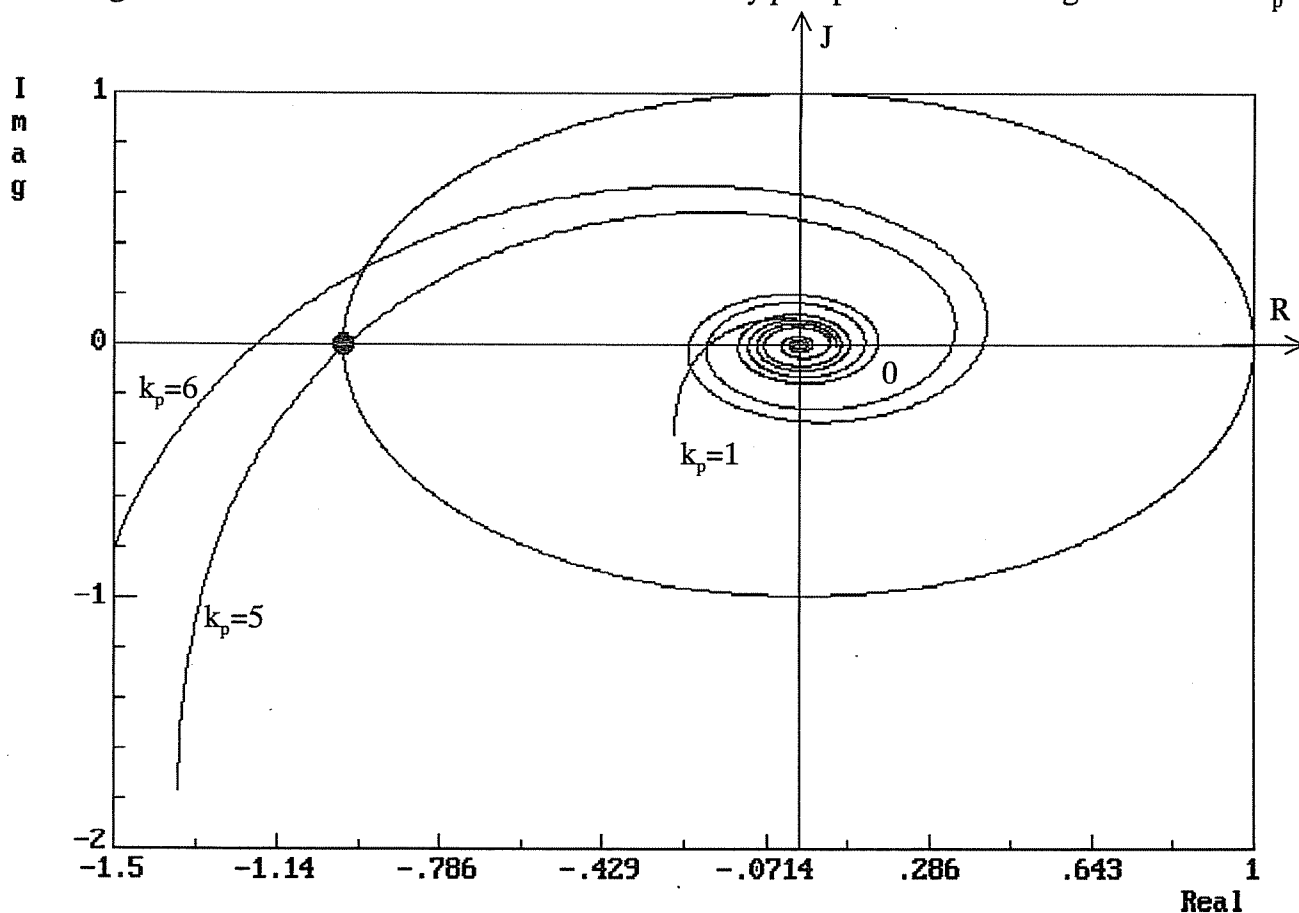
#### Question B31-1 :

$$T(s) = \frac{\Theta(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{k_p K}{(1 + \tau s)} e^{-T_r s} \text{ d'où la fonction de transfert complexe } \underline{T}(j\omega) = \frac{k_p K}{(1 + \tau j\omega)} e^{-T_r j\omega}$$

L'expression du module et celle de l'argument de la fonction de transfert  $\underline{T}(j\omega)$  sont égales à :

$$\begin{cases} |\underline{T}(j\omega)| = \frac{k_p K}{\sqrt{1 + \tau^2 \omega^2}} \\ \text{Arg}(\underline{T}(j\omega)) = -T_r \omega - \arctg(\tau \omega) \end{cases}$$

La figure ci-dessous montre les lieux de transfert de Nyquist pour 3 valeurs de gain de boucle  $k_p$ .



#### Question B31-2 :

La limite de stabilité du processus est obtenue lorsque le lieu de transfert passe par le point critique  $(-1, 0)$  (module égal à 1 ; déphasage égal à  $-180^\circ$ ).

$$\begin{cases} |\underline{T}(j\omega)| = \frac{k_p K}{\sqrt{1 + \tau^2 \omega^2}} = 1 \\ \text{Arg}(\underline{T}(j\omega)) = -T_r \omega - \arctg(\tau \omega) = -\pi \end{cases}$$

$$\text{d'où } \tau\omega = \text{tg}(\pi - T_r\omega) \text{ ou encore } \left(\frac{\tau}{T_r}\right) T_r\omega = \text{tg}(\pi - T_r\omega)$$

$$\text{En considérant } \tau \gg T_r, (\pi - T_r\omega) = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{2T_r} = 6,610^{-3} \text{ rad/s}$$

$$\frac{k_p K}{\sqrt{1 + \tau^2 \frac{\pi^2}{4T_r^2}}} = 1 \Rightarrow k_p = \frac{1}{K} \sqrt{1 + \tau^2 \frac{\pi^2}{4T_r^2}} \approx 5 \text{ \% de consigne/}^\circ\text{C}$$

**Nota :**

Pour information, la recherche des solutions de l'équation sans simplification, à l'aide d'un logiciel spécialisé, donne une solution égale à  $\omega = 6,75 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}$  et  $k_p = 5,05 \text{ \% de consigne/}^\circ\text{C}$ .

Le processus thermique sera stable à condition que le gain de boucle  $k_p \leq 5$ . La figure précédente montre que pour une valeur égale à 5, le lieu de Nyquist passe par le point critique  $(-1, 0)$ .

### Question B31-3 :

La valeur minimale du gain  $k_p$  permettant de respecter l'erreur permanente autorisée sur la température, lorsque la consigne est constante, est égale à 4,1 % de consigne/°C.

$$\begin{aligned} \varepsilon_s &= \lim_{t \rightarrow \infty} [\theta_{\text{ref}}(t) - \theta(t)] = \lim_{s \rightarrow 0} s [\Theta_{\text{ref}}(s) - \Theta(s)] = \lim_{s \rightarrow 0} s \Theta_{\text{ref}}(s) \left[ 1 - \frac{\Theta(s)}{\Theta_{\text{ref}}(s)} \right] \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} s \Theta_{\text{ref}}(s) \left[ 1 - \frac{k_p K e^{-T_r s}}{1 + \tau s + k_p K e^{-T_r s}} \right] \leq 5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\text{D'où } \boxed{k_p \geq 4,1}$$

### B32 Analyse par lieu des pôles

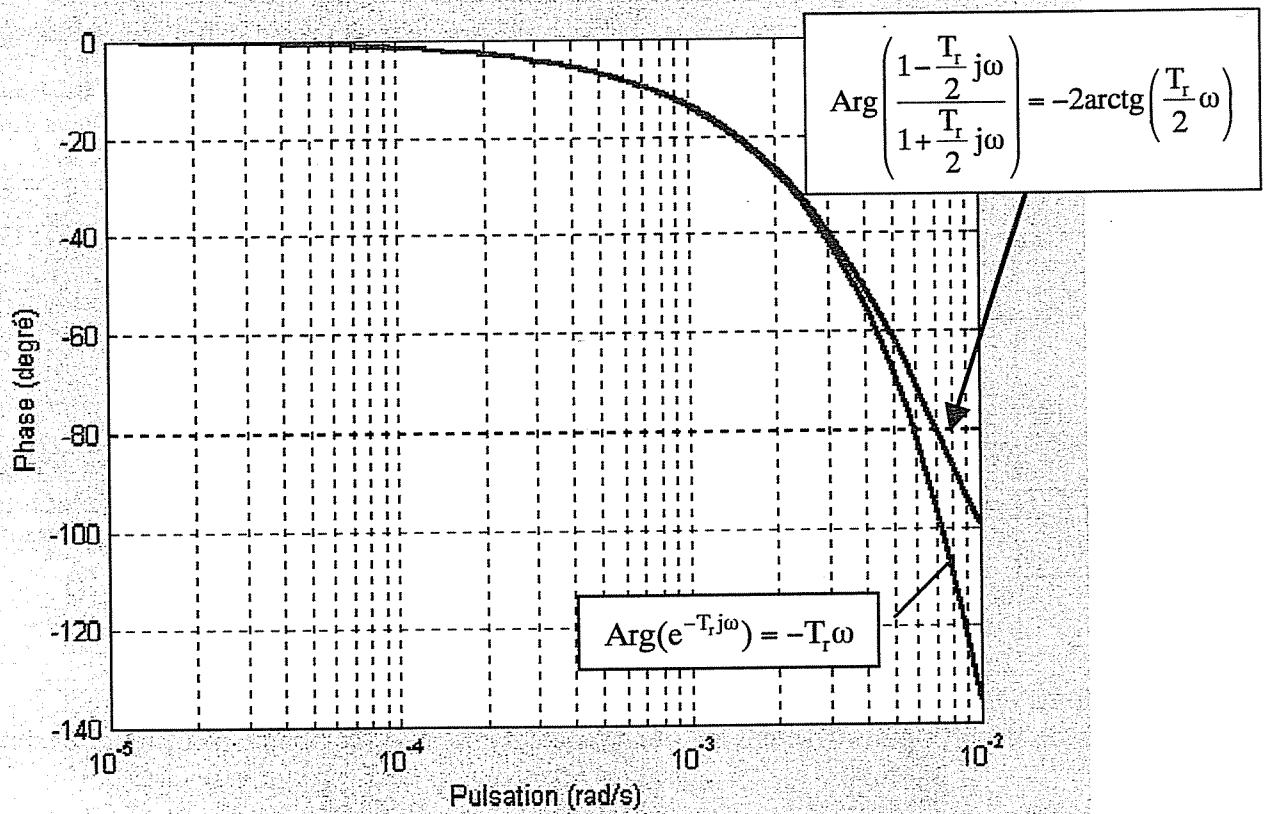
#### Question B32-1 :

Le retard, selon l'approximation de Padé, est représenté par une constellation de pôles stables et de zéros instables dans sa forme générale. La fonction de Padé d'ordre 1 a pour expression :

$$e^{(-T_r s)} \approx \frac{1 - \frac{T_r}{2} s}{1 + \frac{T_r}{2} s}$$

$$\begin{cases} \text{Arg} \left( \frac{1 - \frac{T_r}{2} j\omega}{1 + \frac{T_r}{2} j\omega} \right) = -2 \text{arctg} \left( \frac{T_r}{2} \omega \right) \\ \text{Arg}(e^{-T_r j\omega}) = -T_r \omega \end{cases}$$

Dans les 2 cas, les diagrammes d'amplitude sont les mêmes. Par contre, les diagrammes de phase ne sont identiques que dans les basses fréquences (voir figure ci-dessous). Cependant, l'approximation du retard selon Padé est valable car la constante de temps du processus thermique est très grande ( $\tau = 6350 \text{ s}$  où encore  $1/\tau = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ rad/s}$ ).



**Question B32-2 :**

La linéarisation du retard par l'utilisation de l'approximation de Padé (1<sup>er</sup> ordre) donne une fonction de transfert « boucle ouverte »  $T(s)$  égale à :

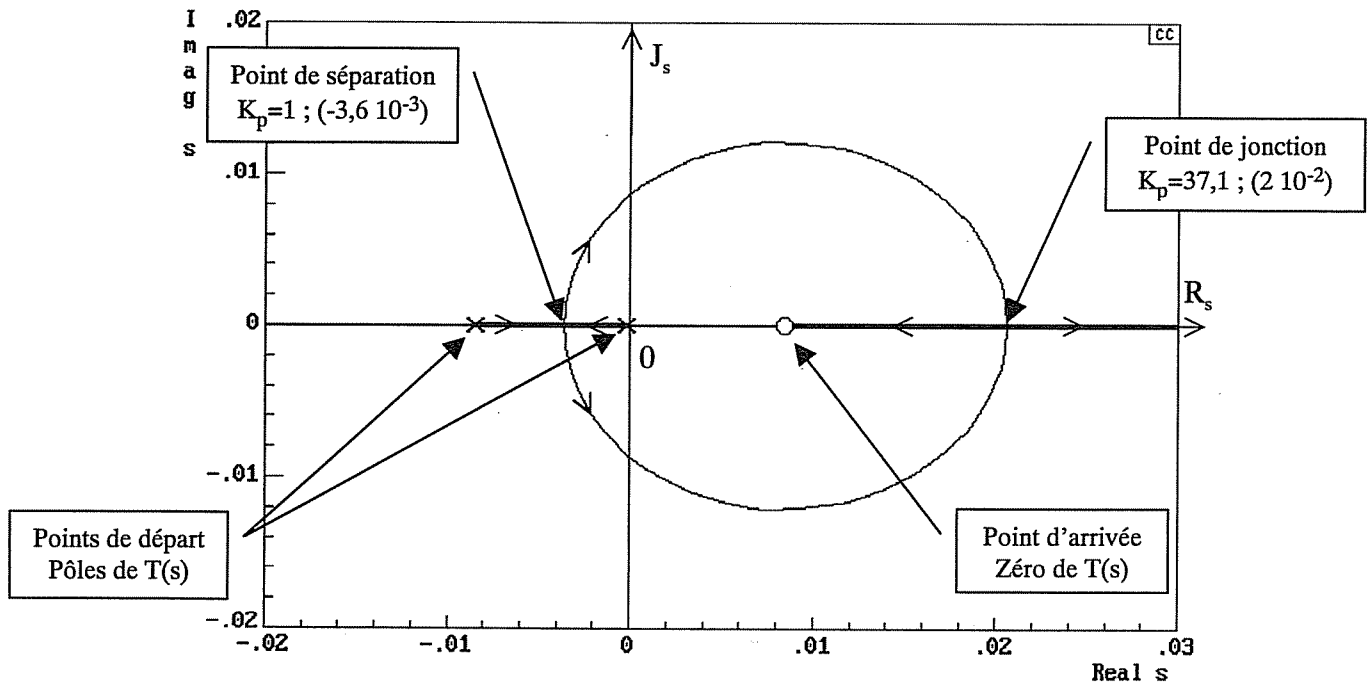
$$T(s) = \frac{\Theta(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{k_p K}{(1 + \tau s)} \frac{\left(1 - \frac{T_r}{2} s\right)}{\left(1 + \frac{T_r}{2} s\right)} = \frac{k_p K}{\tau} \frac{1}{\left(s + \frac{1}{\tau}\right)} \frac{\left(s - \frac{2}{T_r}\right)}{\left(s + \frac{2}{T_r}\right)}$$

Le polynôme caractéristique est donc un polynôme du deuxième degré d'expression :

$$\begin{aligned} P_c(s) &= k_p K \left(1 - \frac{T_r}{2} s\right) + (1 + \tau s) \left(1 + \frac{T_r}{2} s\right) \\ &= (1 + k_p K) + \left[ (1 - k_p K) \frac{T_r}{2} + \tau \right] s + \tau \frac{T_r}{2} s^2 \end{aligned}$$

**Question B32-3 :**

La figure ci-dessous présente le lieu des racines du polynôme caractéristique lorsque le gain de boucle  $k_p$  évolue de zéro vers l'infini (lieu d'Evans). L'étude consiste alors à chercher les racines du polynôme du deuxième degré (racines réelles, complexes conjuguées ou racines doubles).



Polynôme du deuxième degré  $\Rightarrow$  lieu à 2 branches.

Points de départ : pôles (racines du dénominateur) de  $T(s)$  (ces points sont représentés par des « x »).

$$k_p = 0 ; \left(-\frac{1}{\tau}\right) \text{ et } \left(-\frac{2}{T_r}\right)$$

Points d'arrivée : un zéro (racine du numérateur) de  $T(s)$  (ce point est représenté par un « o ») et un point rejeté à l'infini sur l'axe réel.

$$k_p \rightarrow \infty ; \left(\frac{2}{T_r}\right)$$

Points de séparation et de jonction : ce sont les points correspondant à des racines doubles (discriminant  $\Delta = 0$ ).

- a)  $k_p = 1 ; (-3,6 \cdot 10^{-3})$  point de séparation
- b)  $k_p = 37,1 ; (2 \cdot 10^{-2})$  point de jonction

La limite de stabilité du processus est définie par les points d'intersection des branches du lieu avec l'axe des imaginaires.

$$(1 + k_p K) + \left[ (1 - k_p K) \frac{T_r}{2} + \tau \right] j \omega_c - \tau \frac{T_r}{2} \omega_c^2 = 0$$

On a un système à 2 équations à résoudre.

$$\begin{cases} (1 + k_p K) - \tau \frac{T_r}{2} \omega_c^2 = 0 \\ \left[ (1 - k_p K) \frac{T_r}{2} + \tau \right] \omega_c = 0 \end{cases}$$

a)  $k_p = \frac{2\tau}{KT_r} + \frac{1}{K} = 6,5 ; (8,7 \cdot 10^{-3} j) \text{ et } (-8,7 \cdot 10^{-3} j)$  cas où  $k_p \geq 0$

b)  $k_p = -\frac{1}{K} = -1 ; (0)$  cas où  $k_p < 0$  (non étudié !)

**Question B32-4 :**

Le polynôme caractéristique est égal à :

$$P_c(s) = (1 + k_p K) + \left[ (1 - k_p K) \frac{T_r}{2} + \tau \right] s + \tau \frac{T_r}{2} s^2$$

1	$\tau \frac{T_r}{2}$	$(1 + k_p K)$
2	$(1 - k_p K) \frac{T_r}{2} + \tau$	0
3	$(1 + k_p K)$	0

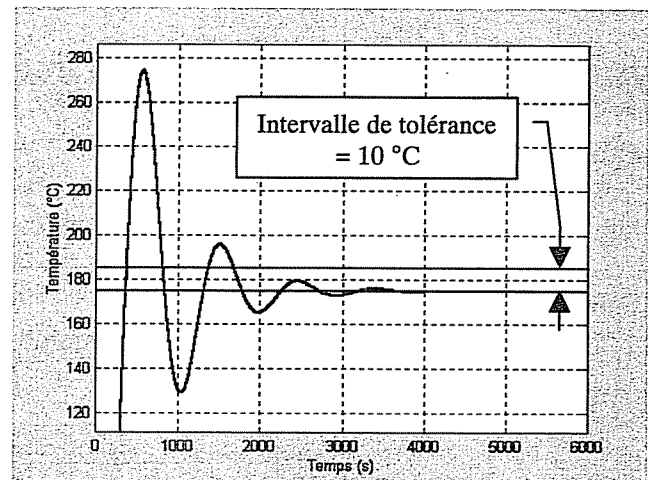
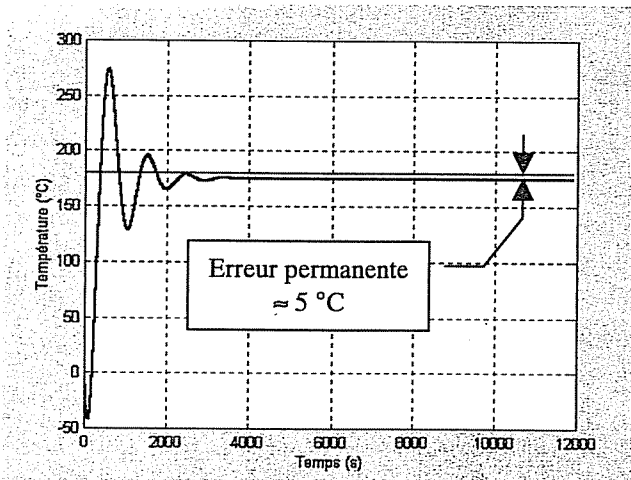
D'après le critère de Routh, pour que le processus soit stable, tous les coefficients de la colonne des pivots doivent être de même signe. On obtient un système à 2 équations identique au précédent. La stabilité est vérifiée pour des valeurs de gain de boucle comprises entre  $[-1, 6.5]$ .

**Question B32-5 :**

Les coefficients d'amortissement  $\zeta$  et de la pulsation naturelle  $\omega_n$  ont pour expression :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{2(1 + k_p K)}{\tau T_r}} = 6,8 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \omega_n \frac{\left[ (1 - k_p K) \frac{T_r}{2} + \tau \right]}{(1 + k_p K)} = 0,24$$



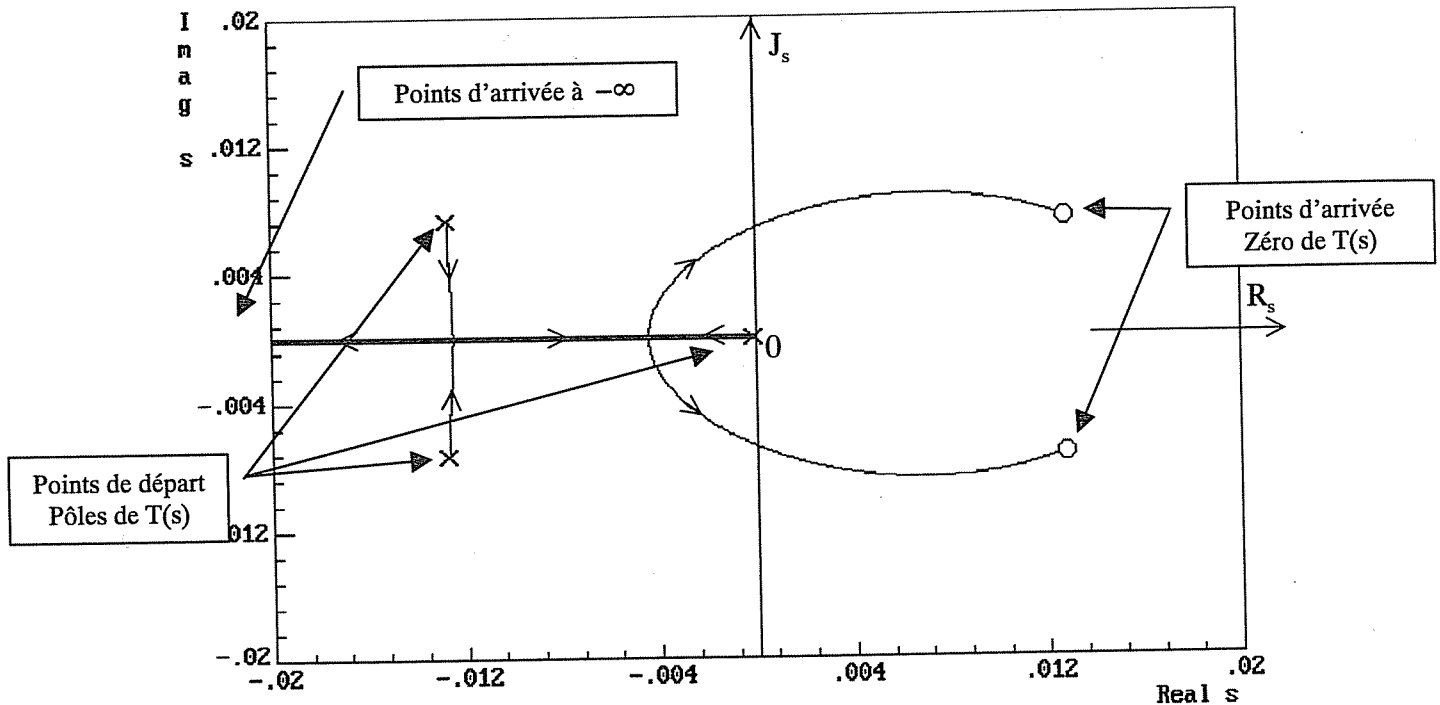
Le coefficient d'amortissement est très faible ( $\zeta \ll 1$ ) ; aussi le dépassement sera important. Les figures ci-dessus montrent que, pour une consigne constante égale à 180 °C, la période transitoire de la réponse indicielle est incompatible avec les recommandations du fabricant.

**Question B32-6 :**

Dans le cas où le retard est approché par la formule de Padé limitée au 2<sup>ème</sup> ordre, le polynôme caractéristique est un polynôme de degré trois égal à :

$$P_c(s) = (1 + k_p K) + \left[ (1 - k_p K) \frac{T_r}{2} + \tau \right] s + \frac{T_r}{2} \left[ (1 + k_p K) \frac{T_r}{6} + \tau \right] s^2 + \tau \frac{T_r^2}{12} s^3$$

La figure ci-dessous montre le lieu d'Evans correspondant.



**B33 Synthèse d'un correcteur proportionnel intégral**

**Question B33-1 :**

L'utilisation d'un correcteur à action proportionnelle et intégrale permet d'éliminer l'écart sur la température en régime permanent stationnaire car il possède un terme d'intégration.

**Question B33-2 :**

Le polynôme caractéristique est un polynôme du deuxième degré d'expression :

$$P_c(s) = k_p K \left( 1 - \frac{T_r}{2} s \right) + \tau_i s \left( 1 + \frac{T_r}{2} s \right)$$

$$= k_p K + \left( \tau_i - k_p K \frac{T_r}{2} \right) s + \tau_i \frac{T_r}{2} s^2$$

Polynôme du deuxième degré  $\Rightarrow$  lieu à 2 branches.

Points de départ : pôles de T(s).  $k_p = 0$  ;  $(0)$  et  $\left( -\frac{2}{T_r} \right)$

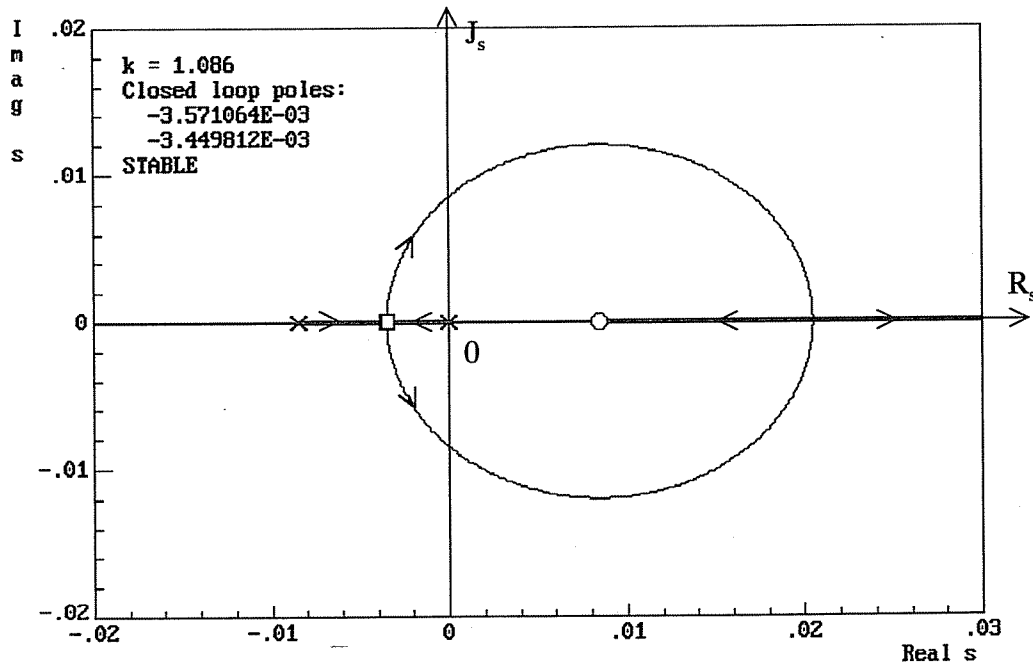
Points d'arrivée : zéro (racine du numérateur) de T(s).  $k_p \rightarrow \infty$  ;  $\left( \frac{2}{T_r} \right)$

Points de séparation et de jonction : ce sont les points correspondant à des racines doubles.

a)  $k_p = 1,086$  ;  $(-3,5 \cdot 10^{-3})$  point de séparation

b)  $k_p = 36,9$  ;  $(2 \cdot 10^{-2})$  point de jonction

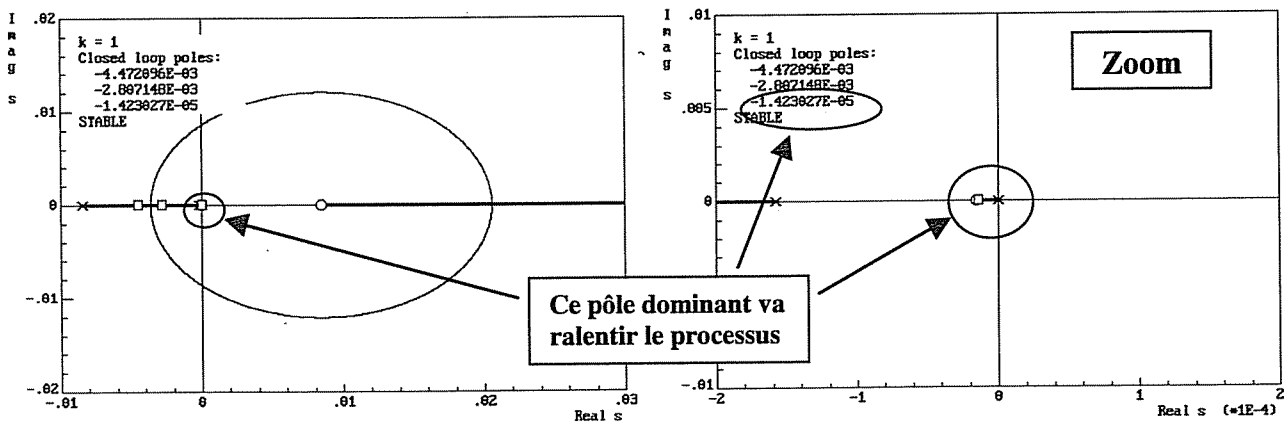




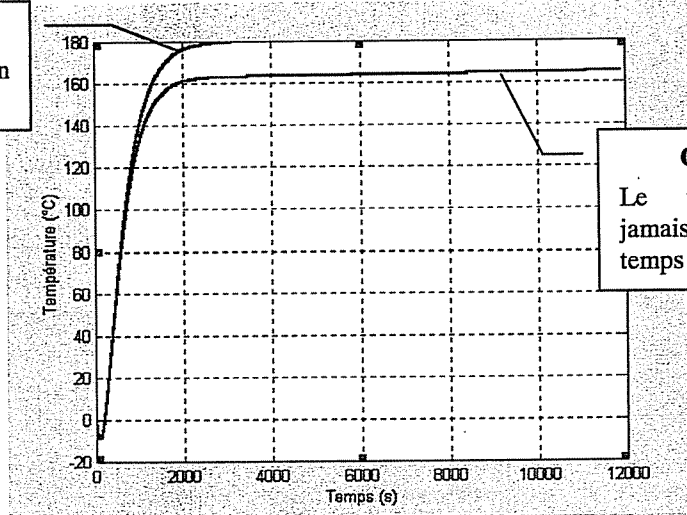
La valeur maximale du gain  $k_p$  dans le cas où l'utilisateur de la presse souhaite que la température des plateaux ne dépasse pas la consigne est de 1,086 % de consigne/°C. En effet, cette valeur correspond au point de séparation car les racines doivent être réelles ( $\zeta \geq 1$ ) pour qu'il n'y ait pas de dépassement.

**Question B33-3 :**

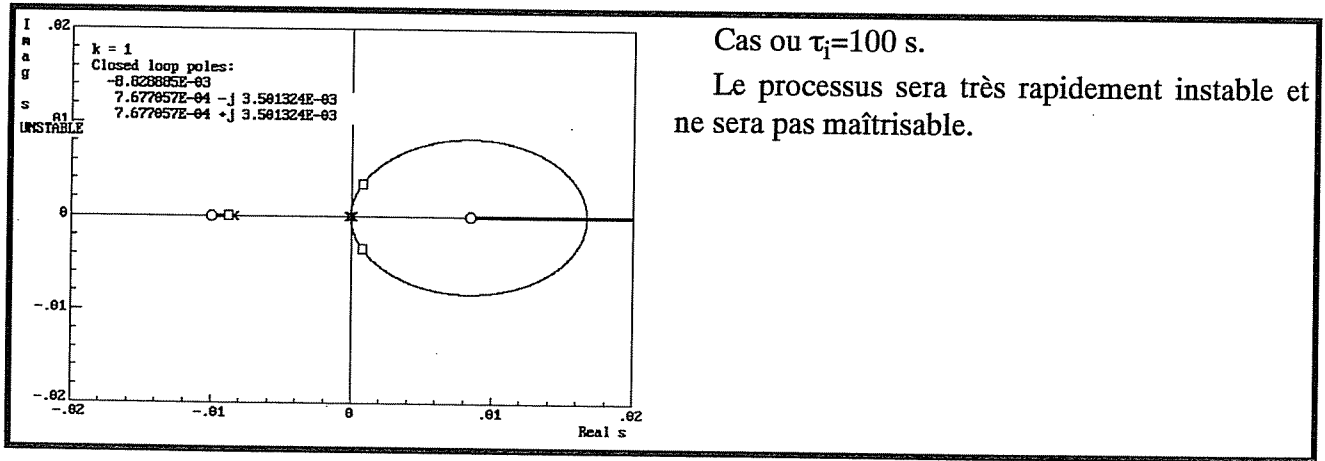
**Cas où  $\tau_i = 63500$  s**



**Cas où  $\tau_i = 6350$  s**  
Le processus est bien réglé.



**Cas où  $\tau_i = 63500$  s**  
Le processus n'atteindra jamais sa consigne dans le temps imparti.



**Question B33-4 :**

L'évolution de la température dans la pièce composite est donnée par l'équation ci-dessous (modèle simplifié).

$$\Theta(s) = \frac{R_{thcv}}{1 + C_{th} (R_{thcd} + R_{thcv})s} \cdot \phi(s) + \Theta_a(s)$$

La constante de temps dépend de trois paramètres :  $C_{th}$ ,  $R_{thcd}$  et  $R_{thcv}$ .

- $C_{th}$  = masse volumique \* section \* épaisseur \* chaleur spécifique
- $R_{thcd}$  = épaisseur / (conductivité thermique \* section)
- $R_{thcv}$  =  $1 / (h * section)$

Les solutions permettant de diminuer la constante de temps du processus thermique, afin d'assurer la production désirée, sont :

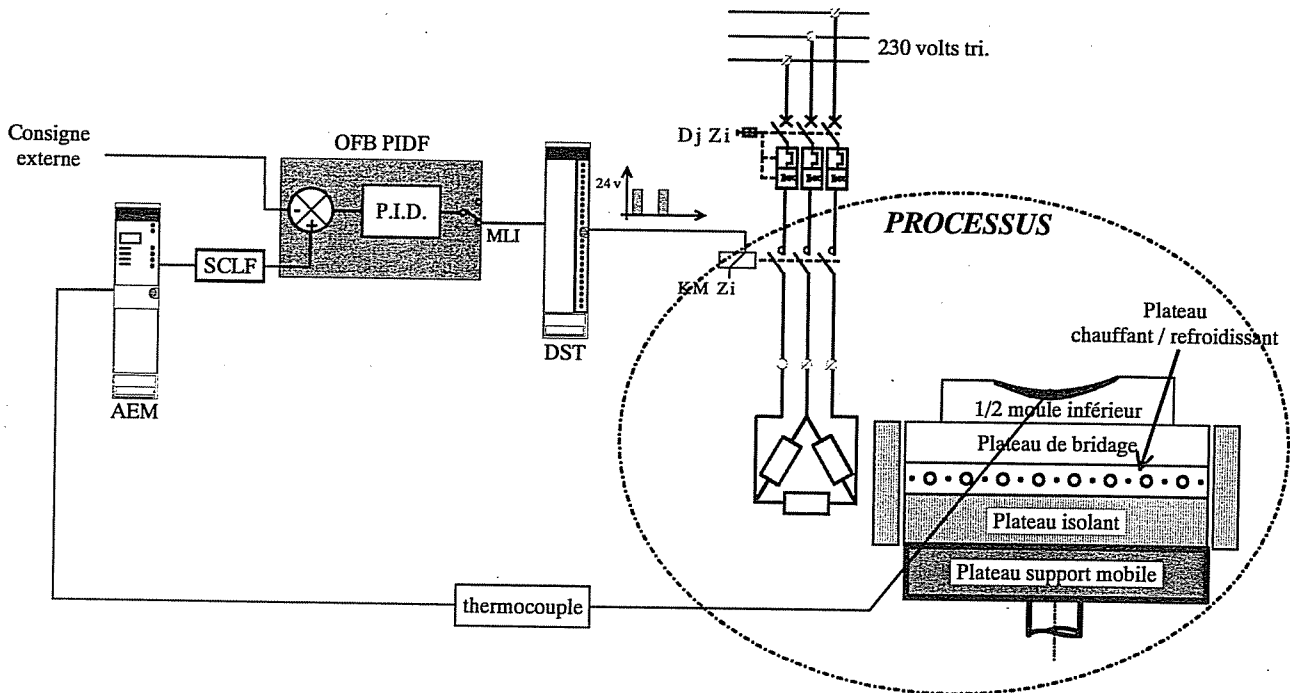
- la diminution de l'épaisseur des plaques ;
- le choix judicieux des matériaux utilisés (masse volumique, conductivité thermique, chaleur spécifique, ...).

La solution classiquement utilisée est le chauffage par cartouches résistantes directement situées dans le moule.

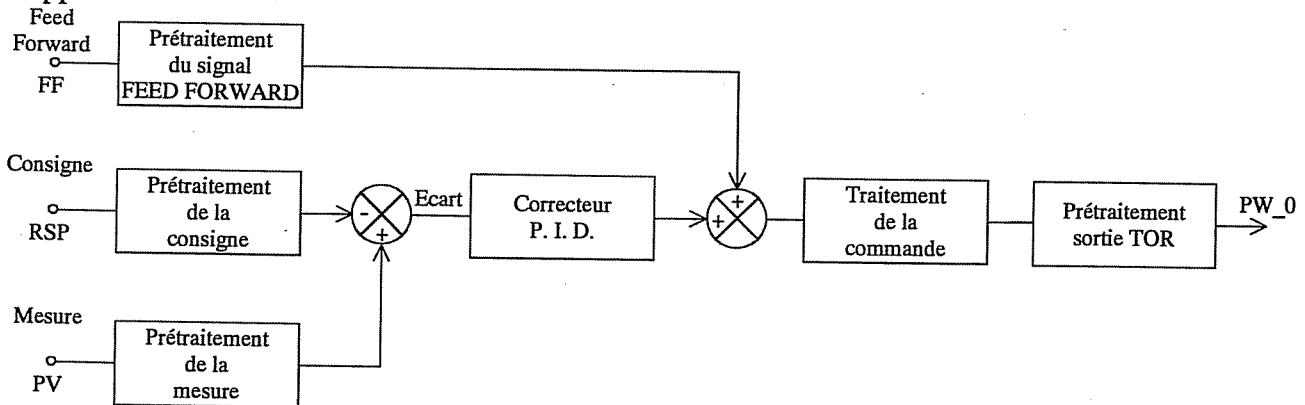
## Sous-partie B4 : Etude d'un régulateur industriel

### B41 Etude d'un régulateur industriel

#### Question B41-1 :



L'OFB *PIDF*, permettant de réaliser une boucle de régulation PID, est constitué de plusieurs blocs fonctionnels. La figure ci-dessous présente le schéma bloc minimal correspondant à l'application étudiée.



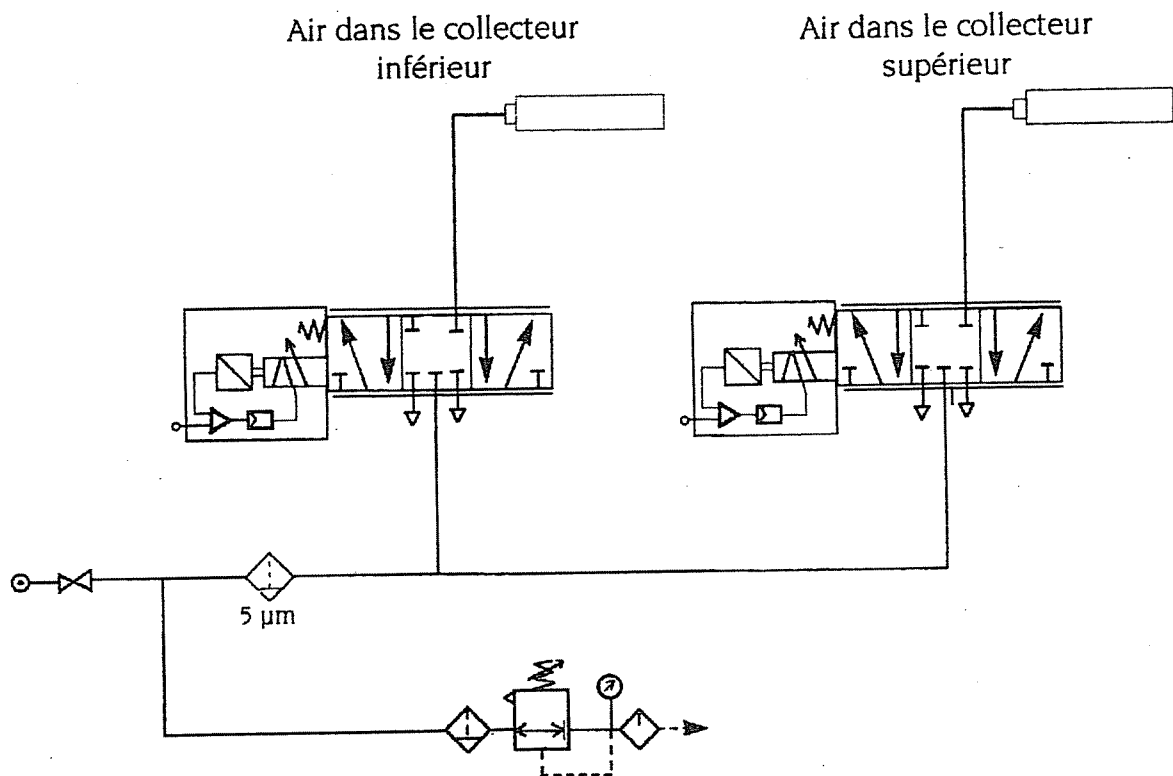
- **La branche mesure** copie la mesure dans une donnée interne  $PIDF_i, PV$ . Elle est ensuite comparée à des bornes haute et basse et à des seuils d'alarmes haut et bas.
- **La branche consigne** copie la consigne dans une donnée interne  $PIDF_i, RSP$ . Elle est ensuite écrêtée pour attaquer le PID.
- **L'action PID** : le calcul de la valeur de sortie s'effectue à partir de la mesure et de la consigne exprimées en pourcent d'échelle (format normalisé). Le correcteur est à structure mixte dont la fonction de transfert est de la forme :

$$\frac{S(s)}{\varepsilon(s)} = k_p \left[ 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \frac{\tau_d s}{1 + \frac{\tau_d}{k_d} s} \right]$$

- **La compensation de perturbation** : dans une régulation classique PID, le correcteur réagit à des variations de la sortie du procédé (régulation en boucle fermée). De ce fait, si une perturbation intervient, le correcteur ne commencera à réagir que lorsque la mesure s'écartera de la consigne. La fonction Feed-forward permet de compenser une perturbation mesurable dès qu'elle apparaît. Cette fonction, en boucle ouverte, anticipe l'effet de la perturbation.
- **Le traitement de la commande** : l'utilisation de l'OUTBIAS permet, dans le cas où ni l'entrée Feed-Forward ni l'intégrale ne sont utilisées, d'assurer une précision au point de fonctionnement. Le signal de commande est ensuite borné par le limiteur. Un contrôle de la variation d'amplitude de la commande est réalisé par la boîte OUTRATE. La bande morte permet, une fois au point de fonctionnement, de limiter les petits à-coups de rattrapage vis à vis de l'actionneur. Le choix direct / reverse permet d'adapter le sens du correcteur à celui du couple actionneur / procédé.
- **La mise en forme du signal de commande** : la commande du relais statique est assurée par une sortie modulée en largeur. Le rapport (temps d'activation de la sortie modulée en largeur / période de modulation) correspond au pourcentage de la valeur définie par la commande.

### B42 Etude d'une solution de refroidissement

#### Question B42-1 :



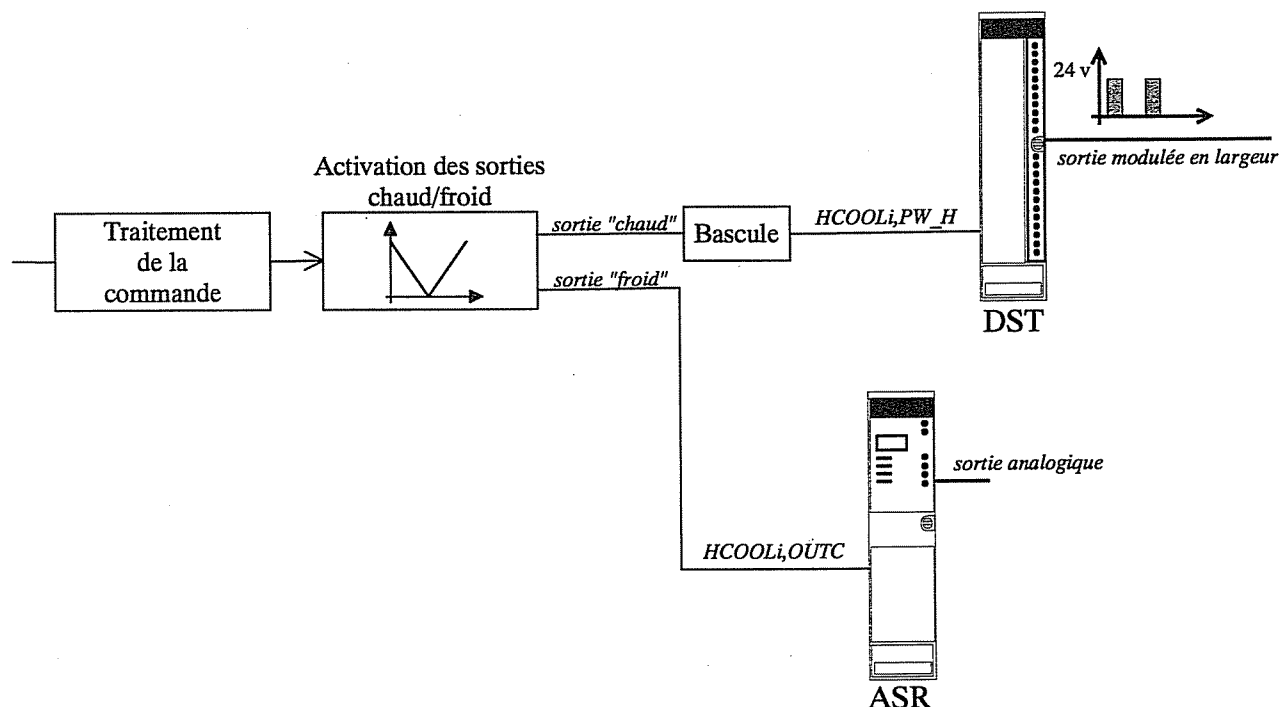
#### Question B42-2 :

L'OFB *HCOOL* est un régulateur PID qui permet de réguler la température, contrôlée par l'intermédiaire de deux actionneurs antagonistes (un des actionneurs chauffe, l'autre refroidit). Cet OFB ne se différencie de l'OFB PIDF que par un étage de sortie qui délivre deux signaux analogiques et deux sorties en modulation de largeur d'impulsion, pour la commande des canaux chaud et froid.

Le schéma bloc fonctionnel minimal permettant d'assurer la régulation thermique complète (chauffage et refroidissement) est présenté à la figure ci-dessous. Le choix du type de sortie

« chaud » et « froid » dépend de la technologie choisie pour les préactionneurs (relais statique pour le chauffage et distributeur pneumatique à commande proportionnelle pour le refroidissement).

Le correcteur fournit un paramètre de commande OUTPID dont la valeur est comprise entre 0 et 100%. Les sorties chaud et froid sont calculées à partir de OUTPID. Le réglage d'action proportionnelle différente sur les sorties chaude et froide est réalisé en jouant sur la pente de la sortie froide (la pente de la sortie chaude n'étant pas réglable).



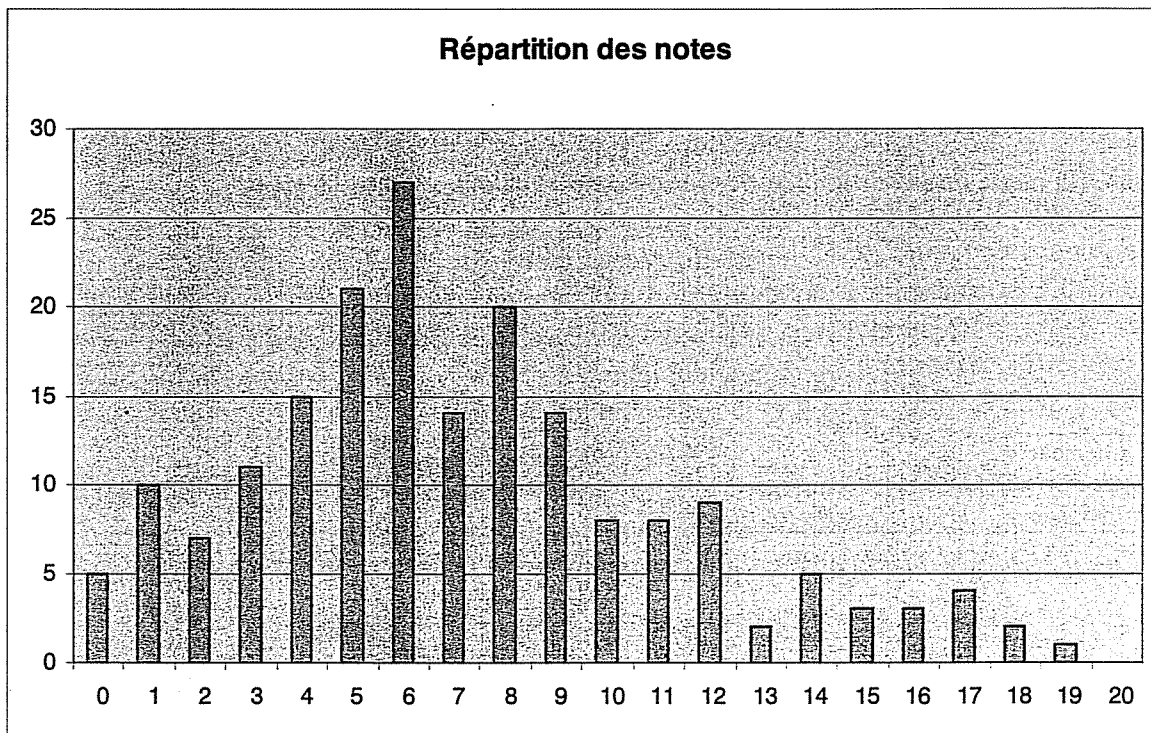
## RESULTATS ET COMMENTAIRES

Le sujet est composé de deux parties, elles-mêmes constituées de quatre sous-parties indépendantes. La partie A est orientée vers la connaissance technologique et vers la maîtrise des outils de description séquentielle des automatismes. La partie B est orientée vers la modélisation, la qualification et l'architecture des systèmes asservis.

La diversité du sujet, correspondant à la réalité industrielle, devait permettre à chaque candidat, de traiter tout ou partie du sujet.

La partie A fait appel à des connaissances technologiques liées aux diverses énergies du domaine des automatismes (pneumatique, hydraulique, électrique), ainsi qu'aux outils GRAFCET et GEMMA.

La partie B fait appel aux connaissances de base de l'électricité, aux outils de modélisation et d'analyse des systèmes asservis (Bode, Nyquist, lieu d'Evans, ...), ainsi qu'à leur connaissance pratique.



Globalement, les résultats de cette épreuve ne sont pas très satisfaisants. Une analyse fine des résultats montre que les candidats n'exploitent pas l'indépendance des sous-parties. Manifestement, les candidats passent beaucoup de temps dans les premières sous-parties. La partie A a été plus largement traitée que la partie B.

Pour la partie A, les réponses sont très souvent incomplètes sinon fausses. Si le schéma hydraulique est souvent compris, il en n'est pas de même pour le schéma électrique, pourtant des plus basiques. Des lacunes sur la connaissance des constituants d'automatisme amènent des réponses souvent farfelues sur les schémas pneumatiques.

Pour la partie B, les principes de la physique appliqués aux systèmes asservis sont souvent mal maîtrisés alors que l'on peut faire une analogie complète entre les systèmes mécanique, électrique, thermique, .... L'architecture fonctionnelle ainsi que les problèmes de mise en œuvre sont peu connus.

Globalement, les candidats ont montré des difficultés sur les aspects technologiques et sur l'étude théorique des systèmes asservis. Nous conseillons donc aux futurs candidats une préparation plus soutenue sur ces points particuliers. Il serait important de relire les annales des sessions antérieures abordant des problèmes analogues.