Concours e3a-Polytech, France

Session 2005, filière PSI

Sciences industrielles de l'ingénieur

Durée : 5 heures

Ce que traite le sujet

- Partie A : analyse fonctionnelle et structurelle, modèle de commande
- Partie B1 : compresseur à spirales
- Partie B2 : régulation de la température de cuve
- Partie C : production de solution

Sujet reproduit sans retouche à partir de la page suivante.

Résumé des parties, chapitres de cours liés et autres années : prepahelp.com/annales/e3a/psi/2005/si

Prepa Help ne revendique aucun droit sur le sujet, propriété de l'organisateur du concours.

C44V

e3a

CONCOURS ENSAM - ESTP - EUCLIDE - ARCHIMEDE

Epreuve de Sciences Industrielles PSI

durée 5 heures

Dossier remis aux candidats:

Un énoncé comportant **11** pages de texte en trois parties : **ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE** (Partie A, page 3) , **VERIFICATION DE PERFORMANCES** (Partie B, page 3) et **PRODUCTION DE SOLUTION** (Partie C, page 9)

Un dossier comportant **8** pages de documents annexes et deux documents réponse à rendre : **DR1** et **DR2**.

Nota :

- Les calculatrices sont autorisées.
- Les trois parties sont indépendantes ; il est néanmoins conseillé de les traiter dans l'ordre du sujet pour une bonne compréhension de celui-ci.
- Si au cours de l'épreuve le candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives et hypothèses qu'il est amené à prendre.

Placer chaque partie dans une copie séparée et regrouper le tout dans une copie vierge.

SYSTEME DE TRAITEMENT THERMIQUE VINICOLE

L'élaboration des vins fait appel à des opérations œnologiques où la température du moût* ou du vin doit respecter un cycle thermique précis.

La courbe présentée figure 1 donne l'exemple d'un tel cycle où l'amplitude thermique totale varie de quelques dizaines de degrés, avec une tolérance de quelques degrés seulement à un moment donné, pour une durée s'étalant sur plusieurs semaines.

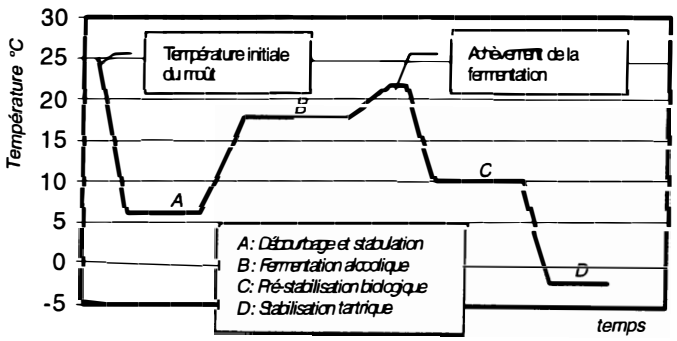


Figure 1 : Cycle de vinification d'un vin « blanc sec »

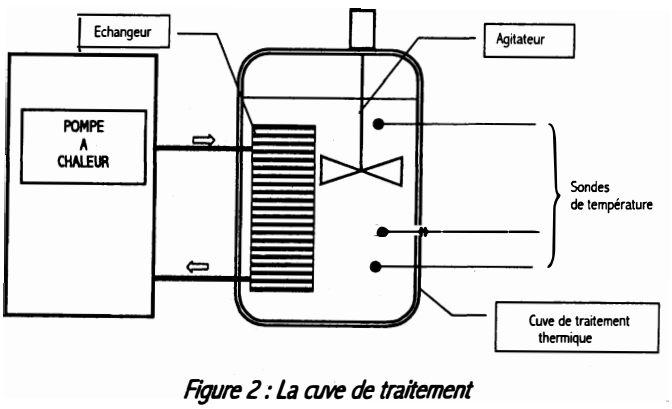


Figure 2 : La cuve de traitement

Pour obtenir à chaque instant cette température idéale, il faut pouvoir **CHAUFFER** ou **REFROIDIR** le produit (moût ou vin) sachant que :

- ces cycles sont conduits dans des conditions climatiques variables, dans des locaux à température variable,
- ces cycles peuvent largement varier dans la même exploitation, d'une cuve à l'autre, d'une année à l'autre en fonction des choix œnologiques,
- la fermentation alcoolique s'accompagne d'un dégagement de chaleur.

* Voir la définition de ce terme sur le document « ANNEXE 1 »

Le produit est contenu dans une cuve métallique où est immergé un échangeur constitué d'un réseau de tubes parcouru par un fluide caloporteur (eau) chargé d'évacuer ou d'amener les calories par échange thermique. Un agitateur à grandes pales tournant à vitesse lente, situé dans la cuve permet d'homogénéiser la température du produit qui est évaluée à l'aide de dix sondes de température placées dans la cuve.

Une pompe à chaleur dont le fonctionnement suit deux cycles différents, un cycle de « production de FROID » et un de « production de CHAUD » permet de refroidir ou réchauffer le fluide caloporteur.
L'architecture fonctionnelle de cette pompe à chaleur répond à celle d'un circuit frigorifique organisé autour d'un condenseur*, d'un compresseur*, d'un détendeur* et d'un évaporateur*. Un fluide frigorigène circule en continu dans ce circuit et subit des transformations thermodynamiques. Le document « ANNEXE 2 » donne le schéma simplifié de l'installation où ne figurent que les composants nécessaires à la compréhension de cette architecture. Outre le circuit du fluide frigorigène, apparaissent d'autres circuits. Le diagramme FAST suivant les définit partiellement, dans le cadre du cycle « Production de Froid ».

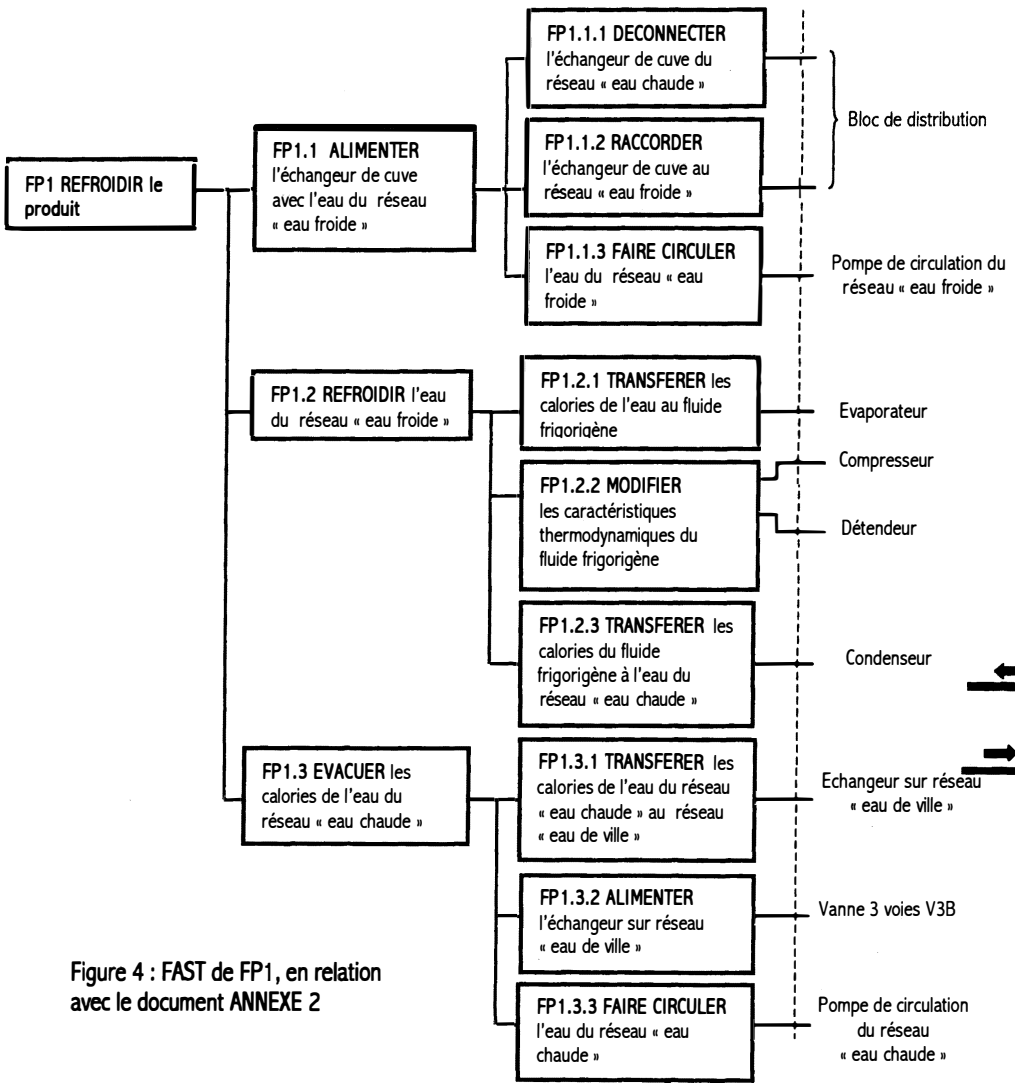


Figure 4 : FAST de FP1, en relation avec le document ANNEXE 2

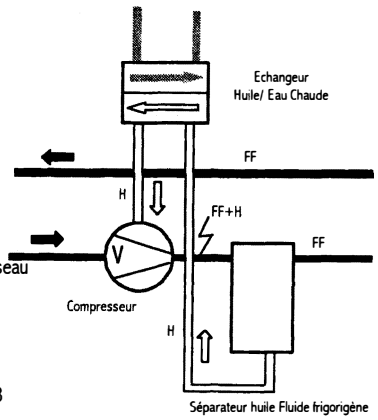


Figure 3 : Compresseur et Circuit d'huile

La régulation en continu de l'enlèvement (ou l'apport) de calories par le fluide frigorigène permet le contrôle de la température interne de la cuve. Cette régulation est obtenue à partir de la variation de la puissance frigorifique de la pompe à chaleur qui dépend directement du débit du fluide frigorigène dans le circuit. Le contrôle de ce débit est réalisé par l'asservissement en vitesse du moteur du compresseur.
Afin d'assurer la lubrification et l'étanchéité internes au compresseur, le fluide frigorigène est mélangé à l'huile avant d'être comprimé (voir figure 4). L'huile est récupérée en sortie du compresseur grâce au séparateur qui permet d'envoyer dans le circuit un fluide frigorigène « dégraissé ». Un échangeur placé sur le circuit de retour d'huile permet son refroidissement et la récupération de la quantité de chaleur correspondante.
Un automate programmable pilote l'ensemble de l'installation en gérant les cycles de traitement à partir des lois de conduite (analogues à celle de la figure 1, page 1) fournies par le vinificateur grâce à un micro-ordinateur. Cet automate intègre les fonctions de régulation nécessaires à la commande des cycles de production de chaud et de froid. Il recueille les informations issues de différents capteurs (température, pression et débit) placés dans le processus.

* Voir la définition de ce terme sur le document « ANNEXE 1 »

A - ANALYSE FONCTIONNELLE ET STRUCTURELLE
ETUDE DU MODELE DE COMMANDE

Le document « ANNEXE 3 » donne le modèle de commande partiel de l'installation. Le système est en mode de marche « Automatique », la température de cuve est donnée par la mesure θ_m et la consigne de température par la valeur de θ_{cv}.

La situation (ensemble des étapes actives à un instant donné) du grafcet **G1** et de l'encapsulation **G11** de l'étape 3, est à l'instant t_0 : {3,10}.

On donne les valeurs de θ_m et θ_{cv} à différents instants du fonctionnement dans le tableau, figure 5. Ces températures sont supposées constantes entre deux instants consécutifs de ce tableau. On pose : $\Delta\theta = \theta_{cv} - \theta_m$.

instants	θ_{cv} (°C)	θ_m (°C)
t_0 = 0 s	12	8
t_1 = 600 s	10,5	11,7
t_2 = 1500 s	10	10

Figure 5 : Températures relevées

Question 1 :

- Donner la liste des situations que présentent les grafcets **G1** et **G11** depuis l'instant t_0 jusqu'à la première désactivation de l'étape 12.
- Donner à partir de la situation précédemment atteinte, la situation de ces deux grafcets générée par les valeurs des températures relevées à l'instant t_1.
- Donner à partir de la situation précédemment atteinte, la situation de ces deux grafcets générée par les valeurs des températures relevées à l'instant t_2.
- Quelques secondes après l'instant t_2, l'opérateur manœuvre la commande « arrêt ». Comment peut-il alors placer le système dans la situation {3,10, 20}.

Remarques concernant les grafcets du document « ANNEXE 3 »

Grafcet G1

- *θcv : consigne de température de cuve*
- *M2 : macro-étape où diverses opérations (préchauffage de l'huile du compresseur, dégivrages éventuels, etc…) sont commandées préalablement à l'exploitation du système.*
- *M5 : macro-étape où diverses opérations de mise au repos de l'installation sont commandées.*
- *M6 : macro-étape correspondant au mode de marche manuelle où l'opérateur a accès directement à chaque commande d'actionneur (pompes, electrovannes, etc..)*
- *L'étape **3** est une étape « **encapsulante** » qui possède deux **encapsulations G11** et **G12**. Son activation provoque l'activation des étapes repérées par une (*) dans les encapsulations. La désactivation de **3** provoque la désactivation de toutes les étapes actives de **G11** et **G12** à cet instant-là.*

Grafcet G11

- *L'instruction « := » est une instruction d'affectation d'une valeur à une variable.*
- *Exemple : « δ :=0 » signifie que la valeur 0 est affectée à la variable δ.*
- *Les durées des actions de calcul associées aux étapes **11** et **12** sont négligeables.*

Grafcet G12

- *Désignation des Sorties*
  *« **EVXX -** » : fermer l'électrovanne EVXX*
  *« **EVXX +** » : ouvrir l'électrovanne EVXX*
- *La figure 6 précise les notations concernant le temps où t_1 et t_2 sont des quantités positives représentant des durées. Si l'une de ces durées (t_1 ou t_2) est nulle, elle peut être omise dans l'expression de la variable a .*

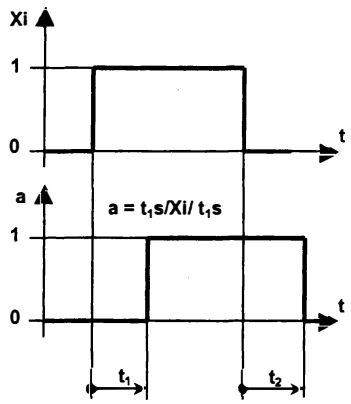


Figure 6 : La variable « temps » dans le Grafcet

Question 2 :

En considérant que l'installation fonctionne successivement selon chaque cycle de production :

- Définir l'état des électrovannes du bloc de distribution en complétant le tableau **R1** du document réponse **DR1**. Par convention une vanne ouverte sera indiquée par un « O » dans ce tableau et une vanne fermée par un « F ».
- Donner la situation correspondante de **G12** pour chaque cycle.
- Déterminer le temps de passage d'un cycle à l'autre.

B - VERIFICATION DES PERFORMANCES

1 ETUDE DE LA FONCTION FP1.2.2 : MODIFIER les caractéristiques thermodynamiques du fluide frigorigène

Le moyen mis en œuvre pour réaliser cette fonction est un compresseur à spirales. Le mélange huile-fluide frigorigène qui transite dans le compresseur est en relation avec son environnement par deux entrées et une sortie :

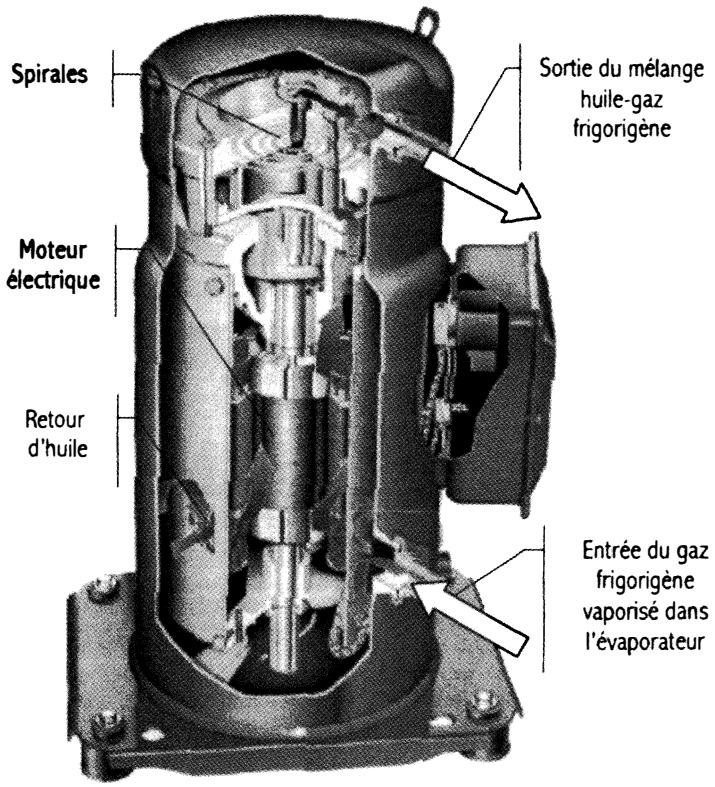


Figure 7 : Compresseur à spirales en coupe

- L'entrée du fluide frigorigène vaporisé dans l'évaporateur ;
- L'entrée de retour de l'huile débarrassée de son gaz « comprimé » ;
- La sortie du mélange huile-gaz frigorigène.

Un moteur électrique asynchrone intégré à l'ensemble fournit l'énergie nécessaire à la compression. Les éléments mécaniques mobiles principaux du compresseur ainsi que le schéma cinématique qui leur est associé se trouvent sur le document « ANNEXE 4 ». On y distingue (figures 4.1 et 4.2) :

- L'arbre d'entrée muni du rotor du moteur électrique et de son excentrique : il constitue le solide **1** ;
- Le bâti dont la partie arrière est en liaison pivot avec l'arbre, et la partie avant munie d'une spirale taillée dans la masse : il constitue le solide **0** ;
- La spirale mobile en liaison linéaire-annulaire avec l'arbre : elle constitue le solide **2** ;
- L'anneau de liaison qui est en liaison glissière avec le bâti et la spirale mobile : il constitue le solide **3** .

Le paramétrage utilisé est le suivant :

$R_0 : (O,\vec{i}_0,\vec{j}_0,\vec{k}_0)$ repère lié au bâti **0**; $R_1 : (O,\vec{i}_1,\vec{j}_1,\vec{k}_{01})$ repère lié à **1**;

$R_2 : (A,\vec{i}_{02},\vec{j}_{02},\vec{k}_{012})$ repère lié à **2**; $R_3 : (G_3,\vec{i}_{023},\vec{j}_{023},\vec{k}_{0123})$ repère lié à **3**.

***Remarque** : deux vecteurs identiques comme $\vec{k}_0$ et $\vec{k}_1$ seront notés $\vec{k}_{01}$ (vecteur commun à deux bases).*

$\overrightarrow{OA} = e\,\vec{i}_1$ (e, l'excentration ou rayon manivelle est une constante positive : e= 10 mm);

Liaison 3-0: glissière de direction $\vec{i}_{023}$; $\overrightarrow{OG_3} = x.\vec{i}_{023}$ $(t \rightarrow x(t))$

Liaison 1-2: linéaire-annulaire d'axe (A ; $\vec{k}_{0123}$) ;

Liaison 2-3: glissière de direction $\vec{j}_{023}$;

Liaison 0-1: pivot d'axe $(O,\vec{k}_{0123})$; $B_0 \xrightarrow{(O,\vec{k}_{0123}),\,\alpha = (\vec{i}_0,\vec{i}_1)} B_1\,(t \rightarrow \alpha(t))$.

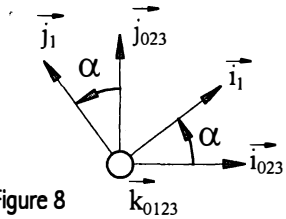


Figure 8

La figure 5.1 du document « ANNEXE 5 » représente une vue plane du mécanisme. Les deux spirales « théoriques » (sans épaisseur) S_0 et S_2 (S_0 fixe en traits fins et S_2 mobile en traits forts) ont en commun les points C_1, C_2, C_3 et C_4. La géométrie est telle que :

$$\overrightarrow{C_3C_1} = \overrightarrow{C_2C_4} = 2.e.\vec{i}_1$$

1.1 Etude du transfert de fluide

Sur le document réponse **DR1** sont représentées quatre positions angulaires différentes de l'arbre d'entrée **1** par rapport au bâti **0** et les deux spirales (S_0 fixe en traits fins et S_2 mobile en traits forts). Le fluide traversant le compresseur (mélange d'huile et de fluide frigorigène) est présent dans l'enceinte où se trouvent les deux spirales. La zone hachurée sur la figure où $\alpha = \pi/2$, correspond au fluide admis en périphérie.

Question 3 :

- Sur le document réponse **DR1**, sur chacune des quatre figures, identifier par coloriage ou hachurage (une couleur par tour) les zones qui permettent de montrer la progression du volume de fluide emprisonné à travers le compresseur.
- Préciser combien de tours de l'arbre d'entrée **1** par rapport au bâti **0** sont nécessaires pour conduire le volume de fluide de l'admission périphérique vers la zone centrale de refoulement.

1.2 Etude de la géométrie du « contact » entre les deux spirales

La figure 5.2 du document « ANNEXE 5 » représente les deux spirales théoriques **S_0** et **S_2** (**S_0** fixe en traits fins et **S_2** mobile en traits forts) lorsque l'angle α est égal à 0. Sur chaque spirale, est situé un point générateur : M_0 pour **S_0** et M_2 pour **S_2**. Le paramétrage de ces points est tel que :

$$\overrightarrow{OM_0} = \rho_0 \, \vec{u}_0 \text{ et } (\vec{i}_0, \vec{u}_0) = \theta_0 \text{ avec } \rho_0 = \frac{e}{\pi}\theta_0 \; (\rho_0 \text{ en mm et } \theta_0 \text{ en rd, } \theta_0 \in [0, -\frac{11.\pi}{2}]) ;$$

$$\overrightarrow{AM_2} = \rho_2 \, \vec{u}_2 \text{ et } (\vec{i}_0, \vec{u}_2) = \theta_2 \text{ avec } \rho_2 = -\frac{e}{\pi}\theta_2 \; (\rho_2 \text{ en mm et } \theta_2 \text{ en rd, } \theta_2 \in [0, -\frac{11.\pi}{2}]) .$$

Les vecteurs $\vec{v}_0$ et $\vec{v}_2$ sont tels que les bases $(\vec{u}_0, \vec{v}_0, \vec{k}_0)$ et $(\vec{u}_2, \vec{v}_2, \vec{k}_0)$ sont orthonormées directes. Le vecteur tangent à **S_0** en M_0 est noté $\vec{t}_0$. Le vecteur tangent à **S_2** en M_2 est noté $\vec{t}_2$.

En C_2, point commun à **S_0** et **S_2** : $\vec{u}_0 = \vec{u}_{o2}$ et $\vec{u}_2 = \vec{u}_{22}$. Soit $\vec{t}_{02}$ le vecteur tangent à **S_0** en C_2 et $\vec{t}_{22}$ le vecteur tangent à **S_2** en C_2. Soit $\beta_0 = (\vec{u}_{02}, \vec{t}_{02})$ et $\beta_2 = (\vec{u}_{22}, \vec{t}_{22})$.

Question 4 :

- Montrer que $\beta_0 \neq \beta_2$: les deux spirales ne sont pas tangentes en C_2.

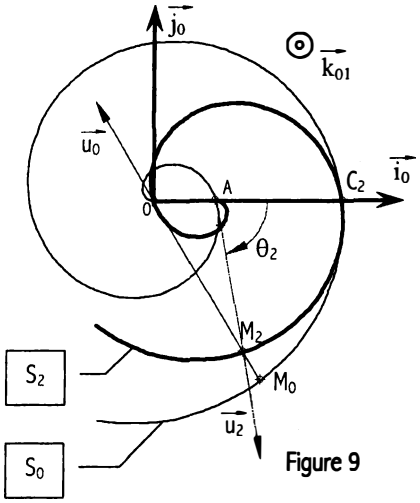


Figure 9

Les deux profils sont donc sécants entre autres points en C_1, C_2, C_3 et C_4. S'ils étaient fabriqués selon ce modèle, ils ne pourraient pas s'assembler et encore moins se mouvoir l'un par rapport à l'autre. Pour évaluer quantitativement le problème soulevé à la question 4, on se propose d'exprimer la « distance » qui sépare les deux spirales au voisinage du point C_2.

La figure 9 représente partiellement les deux spirales **S_0** et **S_2** au voisinage de C2 lorsque l'angle α est égal à 0.
La « distance » entre les deux spirales y est représentée par la coordonnée e_{cart} du vecteur $\overrightarrow{M_0M_2}$ sur $\vec{u}_0$: $\overrightarrow{M_0M_2} = e_{cart} \, \vec{u}_0$.

Le paramétrage est tel que :
$\overrightarrow{OM_0} = \rho_0 . \vec{u}_0$; $\overrightarrow{AM_2} = \rho_2 . \vec{u}_2$ et $(\vec{i}_0, \vec{u}_2) = \theta_2$;
$\overrightarrow{OA} = e . \vec{i}_0$ où e est constante (excentration du maneton / arbre).

L'utilisation de moyens de calcul adaptés permet d'obtenir le résultat graphique de la figure 10 : $e_{cart} = f(\theta_2)$.

Question 5 :

- Commenter le résultat graphique obtenu en précisant en quoi il est en relation avec le résultat de la question 4.

La forme réelle des spirales est taillée dans la masse d'un bloc de métal. Les courbes théoriques étudiées peuvent servir à programmer la trajectoire du centre de l'outil qui va usiner les spirales réelles. L'épaisseur de la paroi de chaque spirale est de 2 mm, répartis symétriquement par rapport à la spirale théorique. (voir figure 4.1 du document « ANNEXE 4 »)

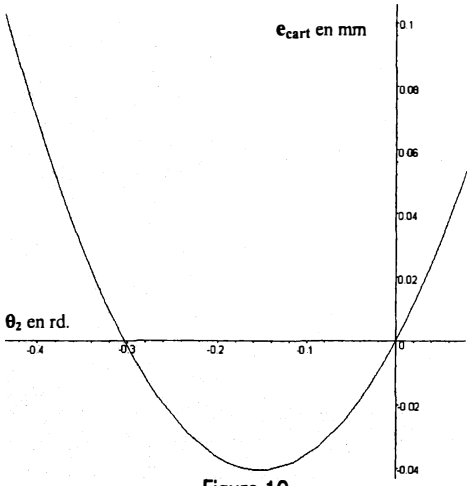


Figure 10

On rappelle que les spirales « théoriques » sont caractérisées par :

$$\rho_0 = \frac{e}{\pi}\theta_0 \text{ et } \rho_2 = -\frac{e}{\pi}\theta_2 \text{ avec :}$$

e=10mm, ρ_0 et ρ_2 en mm, θ_0 et θ_2 en rd, $\theta_0 \in [0, -\frac{11.\pi}{2}]$, $\theta_2 \in [0, -\frac{11.\pi}{2}]$.

Question 6 :

- Compte-tenu des résultats précédents et afin de caractériser géométriquement les deux spirales en vue de leur fabrication et leur assemblage, donner, en mm, une valeur possible de la nouvelle excentration e* du maneton.
- Sachant qu'un « jeu radial » fonctionnel j est nécessaire entre les deux spirales pour pallier notamment les imperfections de réalisation des formes, expliquer comment ce jeu affecte les performances du compresseur et en quoi la présence d'huile mélangée au fluide frigorigène compense cette dégradation de performance.

1.3 Disposition constructive des pièces en mouvement par rapport au bâti : conséquences sur le dimensionnement des liaisons

1.3.1 Répartition des masses en jeu

La figure 4.3 du document « ANNEXE 4 » représente l'assemblage des pièces **1**, **2** et **3**, mobiles par rapport au bâti. Ces pièces sont constituées de solides élémentaires distincts dont les caractéristiques géométriques et inertielles sont données sur ce document (figure 4.4).

A l'assemblage de chaque compresseur, le solide **1₄** est dimensionné (m_{14}, a_4) pour que G_Σ , centre d'inertie de Σ =**1**U**2**U**3** , soit situé sur l'axe (O, $\vec{k}_{0123}$). Cette disposition constructive conduit à une relation de dépendance entre les masses en jeu et les éléments géométriques utiles.

Question 7 :

- Donner cette relation de dépendance sous forme vectorielle.
- Donner les expressions de m_{14} et a_4 en fonction des masses et éléments géométriques utiles.

1.3.2 Conséquences : actions sur les liaisons.

Le modèle spatial de calcul est celui décrit par le document « ANNEXE 4 » figure 4.2, avec les hypothèses :

- Le mécanisme n'est soumis à aucune action mécanique de la part du fluide : fonctionnement « à vide ».
- Les actions mécaniques que délivre le moteur sur le solide 1, sont réductibles au torseur couple suivant :

$$\{M \to 1\}: \begin{Bmatrix} \vec{0} \\ C_M.\vec{k}_{0123} \end{Bmatrix}_O \text{ où } C_M \text{ est une fonction du temps.}$$

- Les liaisons sont parfaites.
- L'anneau de liaison **3** étant constitué d'un matériau à faible masse volumique et étant de faibles épaisseurs, sera considéré à masse nulle (voir figure 4.4 du document « ANNEXE 4 »).

Le compresseur a été conçu pour fonctionner en position verticale, c'est-à-dire avec la direction $\vec{k}_{0123}$ verticale ascendante. L'accélération de la pesanteur est donc représentée par $\vec{g} = -g.\vec{k}_{0123}$.

Question 8 :

- Ecrire globalement (bilan de torseurs) le principe fondamental de la dynamique en O, appliqué au système Σ = **1**U**2**U**3** dans son mouvement par rapport à **0** supposé galiléen.
- Indiquer parmi les quantités composant les torseurs précédents, celles qui sont concernées, et pourquoi, par la disposition constructive du paragraphe 1.3.1.
- Expliquer alors l'avantage que procure cette disposition pour les torseurs d'inter-efforts $\{0 \to 1\}$ et $\{0 \to 3\}$.
- Quel est l'intérêt pour ces mêmes torseurs de la position verticale de fonctionnement du compresseur ?

2 ETUDE DE LA FONCTION : REGULER la température de la cuve

Cette étude est menée pour le cycle « **Production de FROID** ». Comme précédemment énoncé, la régulation de la température de cuve θ s'effectue par variation de la vitesse de rotation du moteur d'entraînement du compresseur. La chaîne fonctionnelle correspondante est définie figure 11.

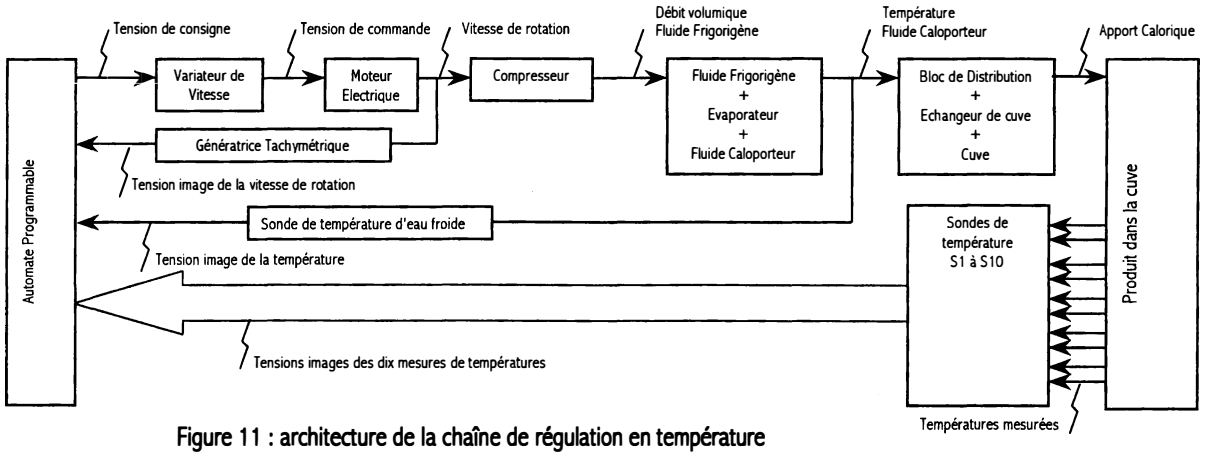


Figure 11 : architecture de la chaîne de régulation en température

La figure 6.1 du document « ANNEXE 6 » donne le modèle continu associé à cette chaîne où apparaissent plusieurs boucles imbriquées et deux « entrées », l'entrée de consigne de température de cuve θ_{cv} et une « perturbation » θ_{ext} correspondant à la température de l'air extérieur à la cuve. La complexité des échanges thermiques présents dans ce système et les phénomènes de non-linéarité liés aux écoulements des fluides ne permettent pas une modélisation aisée. Dans ces conditions, le concepteur est amené à effectuer des essais afin

d'identifier les modèles. Ceux-ci sont ensuite utilisés pour régler la boucle de commande. Des essais supplémentaires viennent ensuite valider ces réglages et permettent de les affiner.

2.1 Identification du modèle de déperdition thermique de la cuve

Les essais conduits ont permis de déterminer le modèle associé à l'échange thermique entre le produit contenu dans la cuve et l'air extérieur, c'est à dire la fonction de transfert $H_{dep}(p)$:

- La cuve a été remplie de produit à la température θ_0.
- L'échange thermique avec l'air extérieur à la température θ_{ext} est laissé libre, c'est à dire qu'il n'y a aucun apport ou retrait de chaleur effectué, la pompe à chaleur étant laissée au repos.
- L'évolution de la température θ du produit est mesurée et son enregistrement fournit la courbe expérimentale de la figure 12.

On admet au regard de cette courbe la validité d'un modèle correspondant à un système du premier ordre avec retard de fonction de transfert :

$$H_{dep}(p)=\frac{e^{-\tau_{dep}.p}}{1+T_{dep}.p}.$$

2.1.1 Etude analytique liminaire

On considère un système régi par une équation différentielle du type : $s(t)+T.\frac{ds(t)}{dt}=K.e(t)$.

Question 9 :

- Donner l'expression temporelle de s(t) lorsque $s(0)\neq 0$ ($s(0) = s_0$) pour $e(t) = e_0.u(t)$ * et e_0 constant .
- Tracer sur le même diagramme sa courbe représentative et celle de la solution avec conditions initiales nulles pour $s_0 < K.e_0$.
- Montrer que le tracé des tangentes à l'origine de ces courbes permet de déterminer T.

2.1.2 Exploitation des résultats expérimentaux

Question 10 :

- A l'aide de la courbe expérimentale fournie figure 12 donner une évaluation aussi précise que possible de τ_{dep} et T_{dep} .

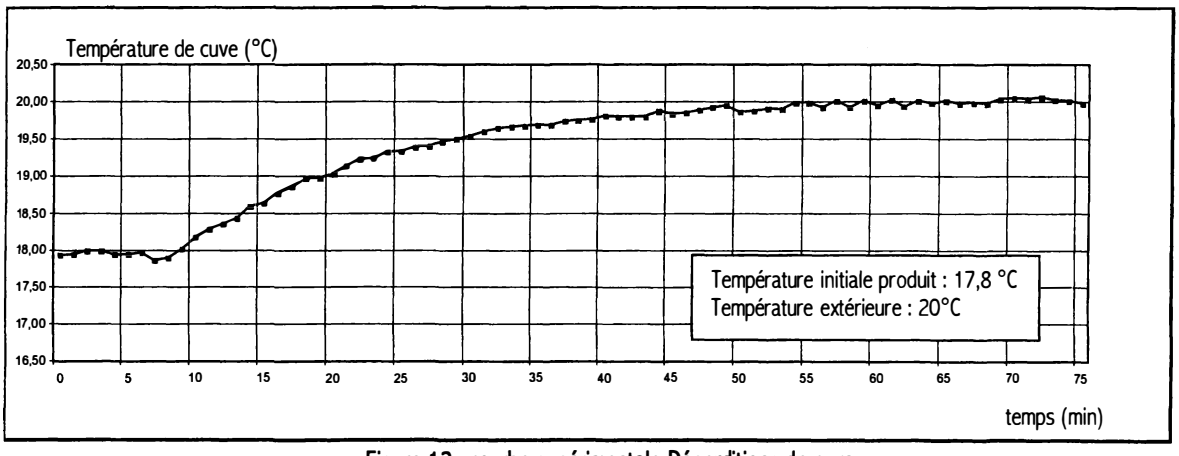


Figure 12 : courbe expérimentale-Déperditions de cuve

2.2 Etude de la boucle de régulation de température de cuve

Lorsque se présentent plusieurs boucles imbriquées les unes dans les autres, la procédure de réglage consiste à optimiser les performances des boucles internes avant de le faire pour la boucle globale. L'étude s'intéresse uniquement à la boucle de contrôle en vitesse du moteur et ne portera pas sur la boucle de contrôle de la température du fluide caloporteur.

2.2.1 Réglage de la boucle de vitesse du moteur

Cette boucle a pour entrée la tension image de la consigne de vitesse $u_{\Omega c}(t)$, soit $U_{\Omega c}(p)$ et pour sortie la vitesse de rotation du moteur $\omega(t)$, soit $\Omega(p)$ et est dotée d'un correcteur P.I.D de fonction de transfert $Cor\Omega(p)$, défini par :

$$Cor\Omega(p)=Kc.\left(1+\frac{1}{Ti.p}+Td.p\right)$$ (expression mathématique d'un correcteur P.I.D.)

* u(t) = 0 si t < 0 et u(t)=1 si t>0

Le concepteur peut paramétrer de plusieurs façons ce correcteur en jouant sur ses différents coefficients. Le tableau de la figure 13 donne les valeurs adoptées dans quatre cas.

	Kc	Td (s)	Ti (s)
Cas 1	70	0.04285	0.35
Cas 2	7	0.04285	0.35
Cas 3	70	0	5.10^{-4}
Cas 4	0.1	5.10^{-4}	5.10^{-4}

Figure 13 : réglages du correcteur PID

L'ensemble [variateur-moteur compresseur-génératrice] étant modélisé par un système du second ordre apériodique, une simulation a permis de tracer les diagrammes fréquentiels de Bode des fonctions de transfert $\frac{\Omega(j.\omega)}{U\Omega c(j.\omega)}$ pour les cas 1 et 2, et $\frac{Um(j.\omega)}{\varepsilon\Omega(j.\omega)}$ pour les cas 3 et 4.
(voir figures 7.1 et 7.2 document « ANNEXE 7 »

Question 11 :

- Pour **chacun de ces cas** énoncer les arguments qui permettent de valider ou d'invalider le réglage proposé en utilisant les critères usuels (stabilité, précision, rapidité, amortissement).
- Donner le réglage que vous préconisez en justifiant votre choix.

2.2.2 Réglage de la boucle de température de cuve

Le système constitué par la cuve, le produit, l'échangeur de cuve, le bloc de distribution, le fluide caloporteur (eau froide) et l'ensemble des constituants du circuit de fluide frigorigène possède une forte « inertie » thermique qui introduit un retard important dans le comportement dynamique. Un plan d'expérimentation a permis d'identifier son modèle et un réglage du correcteur $Cor\theta_2(p)$ a permis d'optimiser les performances de la boucle de régulation de $\theta_{ef}(p)$. Ainsi le modèle retenu est également celui d'un premier ordre avec retard, de fonction de transfert :

$$G(p)=\frac{\theta_1(p)}{Sc(p)} \qquad G(p)=\frac{K.e^{-\tau.p}}{1+T.p} \text{ avec } \tau = 65 \text{ min, } T = 1{,}5 \text{ h et } K = 1{,}22 .$$

Question 12 :

- Montrer simplement que ce retard en absence de correction ($Cor\theta1(p)=1$) est source potentielle d'instabilité pour la boucle ayant en entrée θ_{cv} et en sortie θ.

Lorsque le retard est important (retard dépassant la moitié de la constante de temps), les performances des correcteurs PID « classiques » se dégradent. Dans ce cas un autre type de correcteur est utilisé, le correcteur PIR ou « prédicteur de Smith » qui répond au principe donné par la figure 14.

2.2.2-a Etude du correcteur PIR

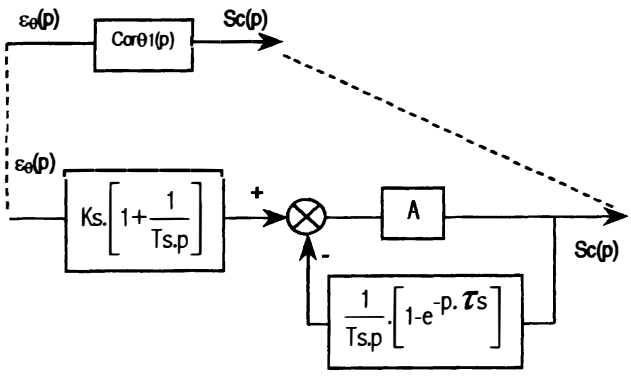


Figure 14 : Correcteur PIR

Question 13 :
Pour le système bouclé corrigé et non perturbé (entrée θ_{cv}, sortie θ, $\theta_{ext}=0$) :

- Montrer qu'en choisissant judicieusement K_s, T_s, τ_s en fonction de K_θ, K,T et τ, la fonction de transfert $\frac{\theta(p)}{\theta_{cv}(p)}$ peut se mettre sous la forme : $\frac{\theta(p)}{\theta_{cv}(p)}=\frac{e^{-p.\tau}}{1+\frac{T}{A}.p}$.
- Mettre en exergue les avantages de ce correcteur du point de vue de la précision, la rapidité et la stabilité et énoncer les contraintes liées à son emploi.

2.2.2-b détermination de la valeur numérique de A.

Pour cette détermination, on retient un modèle de découplage des échanges thermiques permettant d'affecter l'intégralité du retard du système ainsi corrigé à l'échangeur de cuve. Le schéma-blocs d'étude prend alors la forme de la figure15, où : $H2(p) = e^{-p.\tau}$.

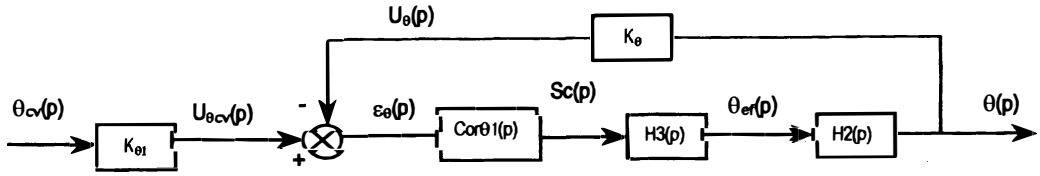


Figure 15 : Modèle découplé

Question 14 :

- En conservant les paramètres de réglage du correcteur P.I.R. déterminés à la question précédente, donner l'expression de la variable « température d'eau froide » $\theta_{ef}(p)$ en fonction de l'entrée $\theta_{cv}(p)$, T et A .

Grâce aux additifs qu'elle contient l'eau froide peut voir sa température descendre jusqu'à –20°C sans se solidifier. Lors des cycles d'exploitation, les consignes de température suivent des lois combinaisons de rampes et d'échelons analogues à celle de la présentation en figure 1. Le système est conçu pour satisfaire à la condition d'exploitation la plus sévère : abaissement de 19°C en 15 h.

Le cahier des charges stipule un écart instantané ε maximum entre consigne $\theta_{cv}(t)$ et $\theta_{ef}(t)$ de 1°C.

Question 15 :

- Tracer l'allure de $\theta_{ef}(t)$ en réponse à l'entrée $\theta_{cv}(t)$ définie sur la figure 16.
- Faire apparaître sur ce graphe les écarts sur la partie « rampe » et sur la partie « échelon » de la loi de consigne et commenter les valeurs singulières.
- Déterminer la valeur minimale de A de paramétrage du correcteur PIR afin de satisfaire les conditions énoncées ci-dessus.

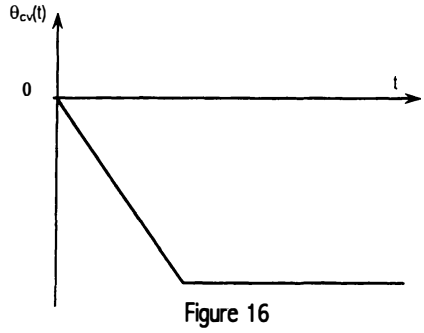


Figure 16

2.3 Etude du rejet des perturbations

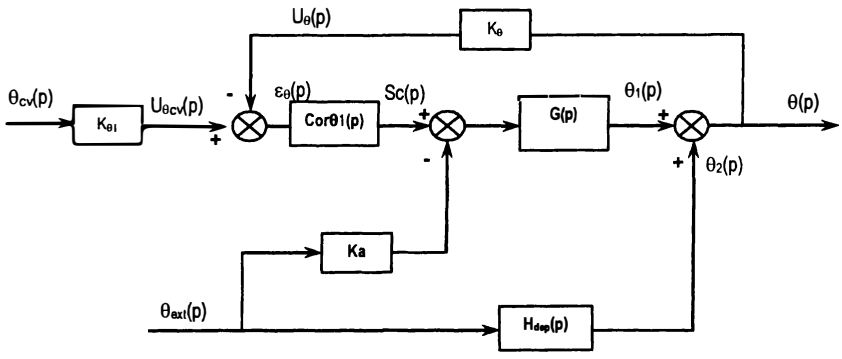


Figure 17

L'aptitude d'une commande à rejeter les perturbations fait partie des performances à valider. Comme la température de l'air extérieur à la cuve est facilement mesurable, le concepteur veut comparer les performances de la boucle avec ou sans prise en compte de cette information dans l'élaboration du signal de commande. La boucle de commande se présente alors selon la configuration de la figure 17, avec :

$$G(p)=\frac{K.e^{-\tau.p}}{1+T.p} \qquad H_{dep}(p)=\frac{e^{-\tau dep.p}}{1+T_{dep}.p}.$$

Une simulation informatique a permis, en absence de consigne (θ_{cv}=0), de tracer les courbes représentant l'évolution temporelle de la sortie θ lors de l'apparition d'un échelon de perturbation θ_{ext} d'amplitude 1°C à l'instant t=1000s (figure 7.3 du document « ANNEXE 7 ») ou d'une rampe (figure 7.4 du document « ANNEXE 7 ») de la forme θ_{ext}= 2,76.10^{-4}.(t-1000).u(t-1000) (t en s).

Dans chaque cas deux configurations sont étudiées, l'une pour Ka= 0 et l'autre pour Ka = 0,82.

Question 16 :

- Commenter ces courbes en décrivant le comportement du système en réponse aux deux perturbations pour les deux valeurs de Ka.
- Définir la fonction du bloc de transmittance Ka pour Ka non nul.
- Critiquer cette simulation du point de vue du réalisme des perturbations simulées et de son intérêt.

C - PRODUCTION DE SOLUTION

L'étude porte sur la conception de l'agitateur de cuve qui est constitué comme le montre le schéma de la figure 18 d'un moto-réducteur de vitesse qui entraîne en rotation un rotor composé de pales multiples réparties sur la hauteur de la cuve.

Le moteur ayant été choisi par une étude préalable, cette « production de solution » s'intéresse :

1- à la mise en place d'un modèle de commande ;

2- au câblage de l'alimentation du moteur (aspect « Partie Commande ») ;

3- au choix d'un réducteur de vitesse à engrenages.

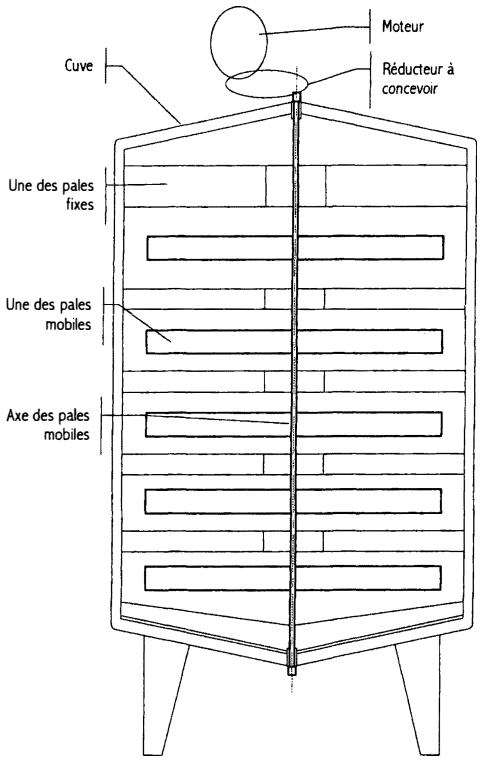


Figure 18

1 MODELE DE COMMANDE

Les dix sondes de température (S1 à S10) placées dans la cuve communiquent leurs mesures à un module de calcul de l'automate, qui grâce à un algorithme de traitement élabore une mesure de la température interne à la cuve θm et génère une variable binaire « diff_temp »(voir figure 19). Celle-ci est à l'état logique 1 si l'écart entre la mesure la plus élevée et la plus faible délivrées par les sondes dépasse de plus de 10% la valeur moyenne de ces dix mesures. Le grafcet **G3** du modèle de commande (document « ANNEXE 3 ») définit la commande de l'agitateur de cuve. La sortie KMAT a pour signification : « FAIRE TOURNER L'AGITATEUR »

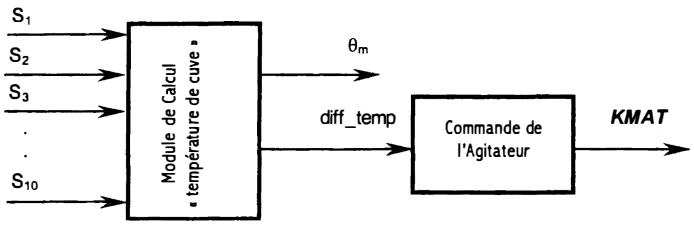


Figure 19

Question 17 :

- La commande définie par **G3** est-elle de nature combinatoire ou séquentielle ?
- Donner l'équation logique de la variable KMAT.

2 CÂBLAGE DE L'ALIMENTATION DU MOTEUR

Le moteur est un moteur électrique asynchrone triphasé. Il a une puissance nominale de 0,75 KW et sa vitesse angulaire nominale est de 1400 tr/mn. Son circuit d'alimentation « circuit de puissance » est représenté de façon incomplète sur le document réponse **DR2**. Sur la représentation (elle même incomplète) du circuit de commande figure l'automate programmable industriel (A.P.I.) qui pilote le moteur en marche normale.

Question 18 :

- Compléter les deux circuits directement sur le document réponse **DR2** en faisant apparaître un circuit auto-maintenu de sécurité câblée qui met en situation :
  - un arrêt d'urgence (variable de codage AU) qui, lorsqu'il est sollicité, coupe l'alimentation commune de toutes les sorties de l'automate, dont celle du moteur;
  - un contact de réarmement (variable de codage : réarm).

3 CHOIX D'UN RÉDUCTEUR DE VITESSE À ENGRENAGES.

En fonctionnement normal, l'environnement du réducteur est donné par le diagramme « pieuvre » de la figure 20. Les fonctions de service et les contraintes à respecter sont :

FS1 : Modifier le couple moteur et la vitesse angulaire et les transmettre au rotor
FC1 : Fixer le moteur au réducteur
FC2 : Fixer le réducteur à la cuve
FC3 : Pouvoir remplacer facilement le réducteur
FC4 : Eviter toute corrosion.

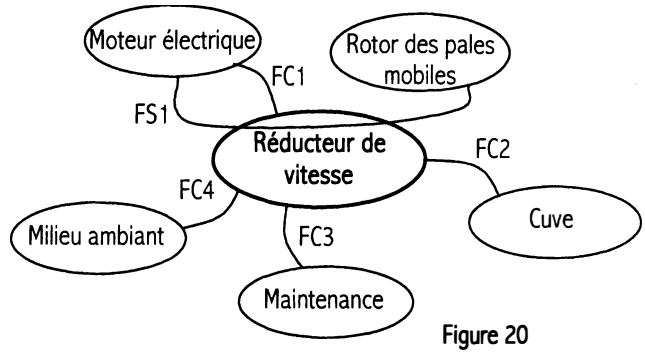


Figure 20

Caractérisation des fonctions de service et des contraintes

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
FS1	Valeur maximale du couple de sortie du moto-réducteur Valeur maximale de la vitesse angulaire du rotor	200 Nm 30 tr/mn	+/- 10% +/- 10%
FC1	Liaison encastrement démontable avec mise en position précise		aucune
FC2	Liaison encastrement démontable avec mise en position précise	Utilisation d'un support adapté	aucune
FC3	Accessibilité facilitée et utilisation d'outillage classique		aucune
FC4	Etanchéité complète		aucune

Question 19 :

- Choisir en utilisant le document « ANNEXE 8 » un type de moto-réducteur et une configuration (parmi les trois possibles) d'implantation qui permette de respecter les fonctions FC2 et FC3.
- Représenter en utilisant les modèles de silhouettes de ce document, l'assemblage constitué par le moto-réducteur, son support sur la cuve, l'axe du rotor et la cuve.

Question 20 :

- Réaliser un schéma cinématique en coupe du réducteur choisi en faisant apparaître les différentes roues dentées qui le composent. La structure du train d'engrenages utilisera un ou plusieurs des modèles d'engrenages représentés figure 21 . Le nombre de dents des roues sera choisi pour respecter la fonction FS1.
- Montrer que la fonction FS1 est bien respectée par les choix effectués.

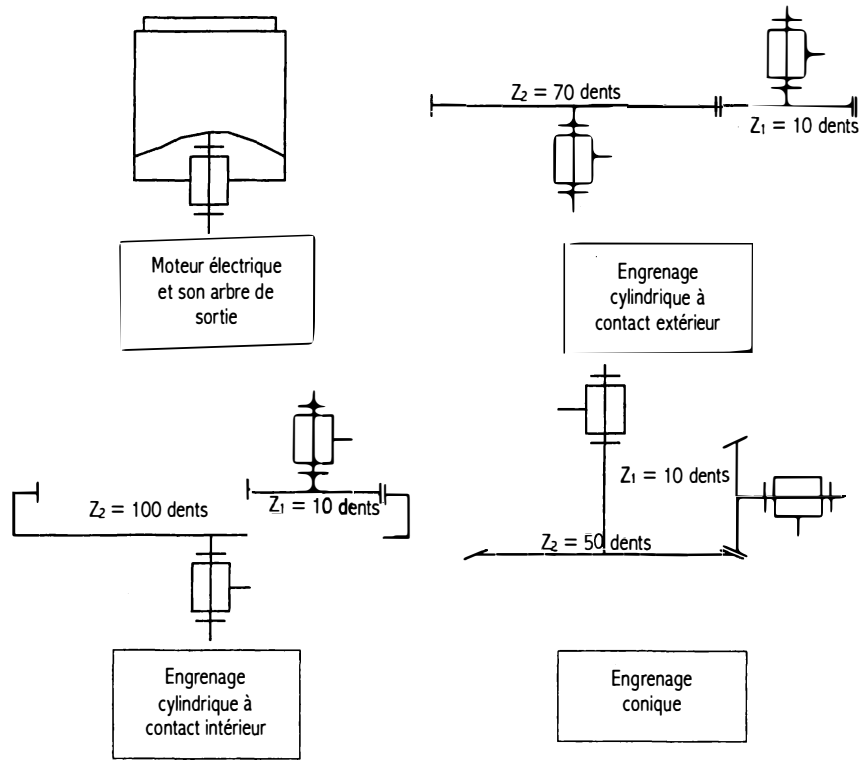


Figure 21

Fin de l'énoncé

Glossaire

ANNEXE 1

Moût : jus de raisin qui n'a pas encore fermenté

Evaporateur : Le fluide frigorigène, en circulant dans l'évaporateur, passe de l'état liquide à l'état gazeux en absorbant la chaleur prise au milieu extérieur, qu'il refroidit ainsi. L'évaporateur est donc un échangeur de chaleur où circule d'un côté le fluide frigorigène et de l'autre le fluide à refroidir. A la sortie de l'évaporateur, le fluide frigorigène rendu gazeux est alors aspiré par le compresseur.

Compresseur : animé par un moteur électrique, il aspire le fluide frigorigène vaporisé dans l'évaporateur et le comprime : augmentant sa pression, il augmente sa température. Le fluide frigorigène est refoulé à l'état gazeux à haute température et haute pression, ce qui lui permet d'être condensable.

Condenseur : dans cet échangeur, le fluide frigorigène chaud cède sa chaleur au milieu extérieur qui se trouve à un niveau de température plus faible. Ce transfert de chaleur aboutit à la condensation du gaz. Le condenseur est donc un échangeur de chaleur dans lequel circule d'un côté le fluide frigorigène et de l'autre le fluide à réchauffer. A la sortie du condenseur, le fluide frigorigène se retrouve à l'état liquide et à haute pression.

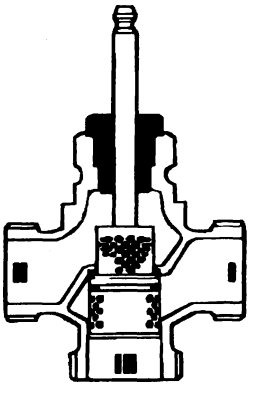
Détendeur : lors de son passage dans le détenteur, la pression du fluide frigorigène diminue jusqu'à être ramenée à la pression de l'évaporateur, afin de faciliter sa vaporisation. Le cycle est ainsi bouclé.

Fluide frigorigène : fluide dont la chaleur latente d'évaporation ou de liquéfaction permet le transfert facile des quantités de chaleur.

Ballon d'eau chaude électrique : enceinte isolée thermiquement de l'extérieur chauffant de l'eau grâce à des résistances électriques. La température de l'eau est régulée par un thermostat.

Vanne motorisée à commande proportionnelle : la position du clapet de cette vanne est commandée par un actionneur à commande électrique, ainsi le débit volumique du fluide la traversant est proportionnel à la tension de consigne qu'elle reçoit en entrée. Dans sa construction elle peut intégrer un dispositif de recopie de la position qui délivre une tension proportionnelle à la position du clapet et donc au débit.

Vanne trois voies : utilisée dans cette installation comme vanne « mélangeuse », elle permet de récupérer sur la canalisation repérée **I** et représentée par un triangle blanc sur le symbole un mélange provenant des canalisations repérées **II** et **III**. Le mélange est obtenu à l'aide d'une soupape qui se déplace dans le corps en masquant plus ou moins les orifices de passage. Un actionneur électrique reçoit une tension de consigne qu'il transforme en déplacement linéaire de la soupape. Le mélange obtenu en sortie a ainsi une composition « en débit » dépendant de la courbe caractéristique de la vanne.



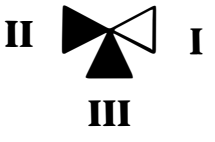
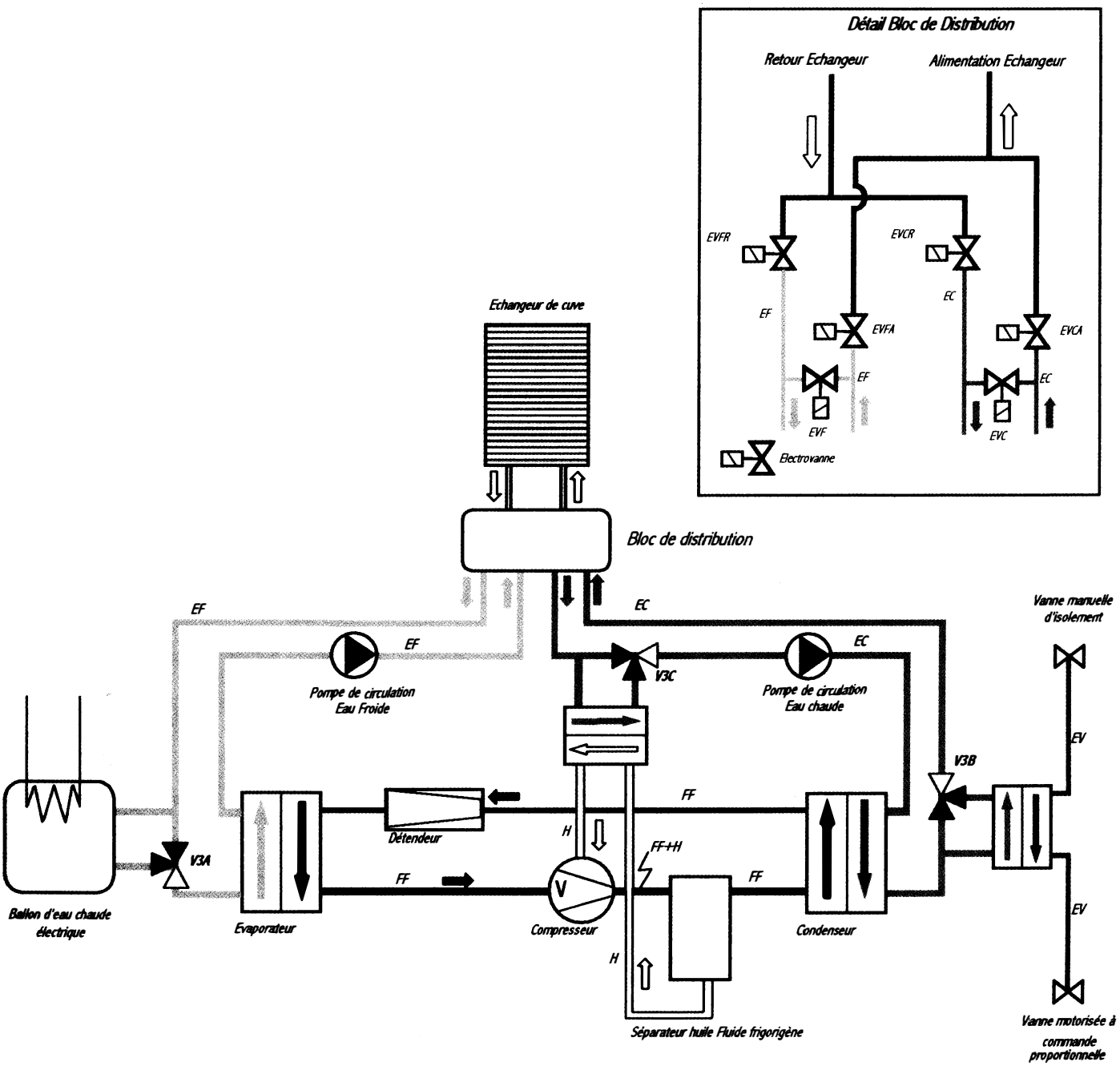
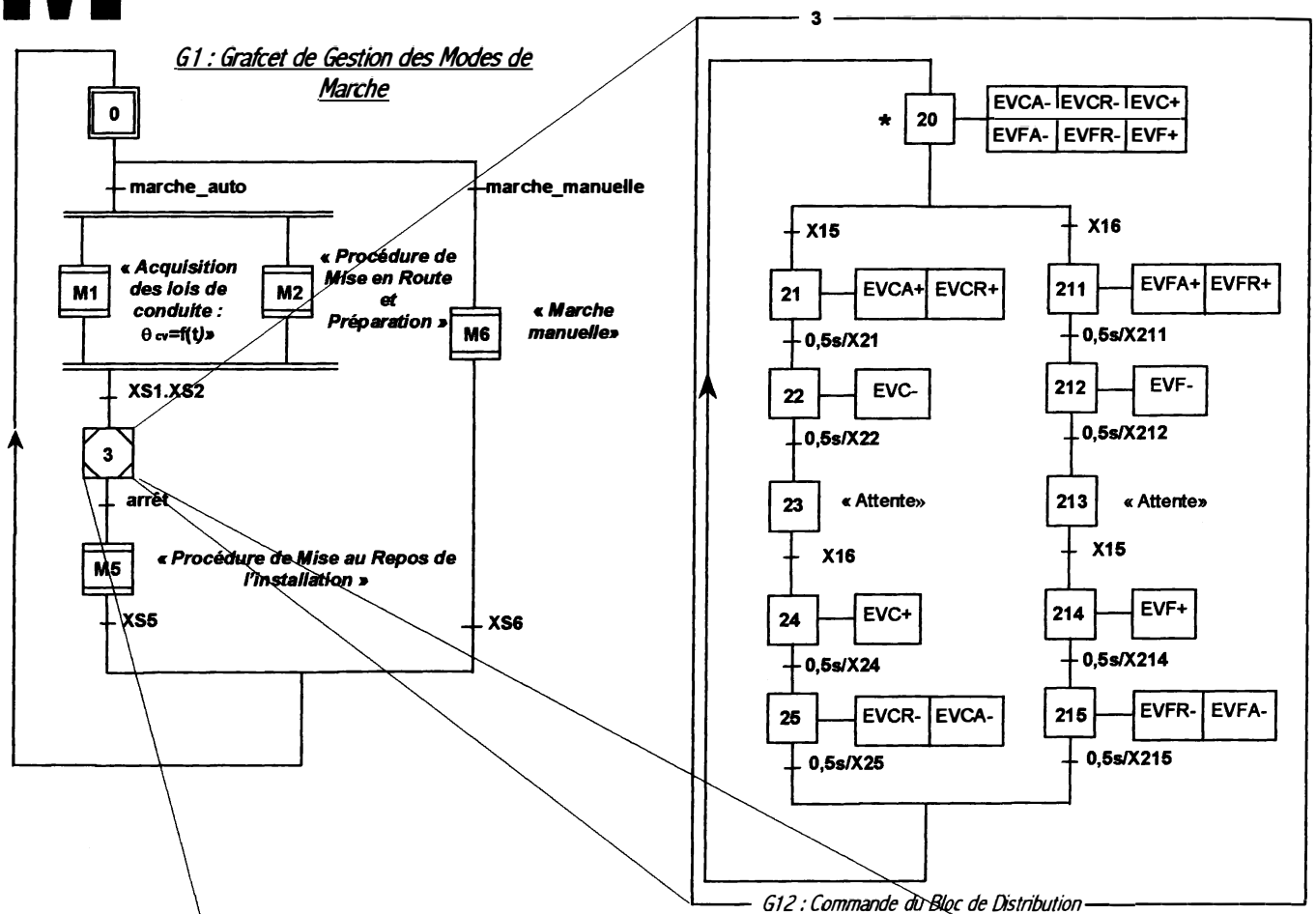
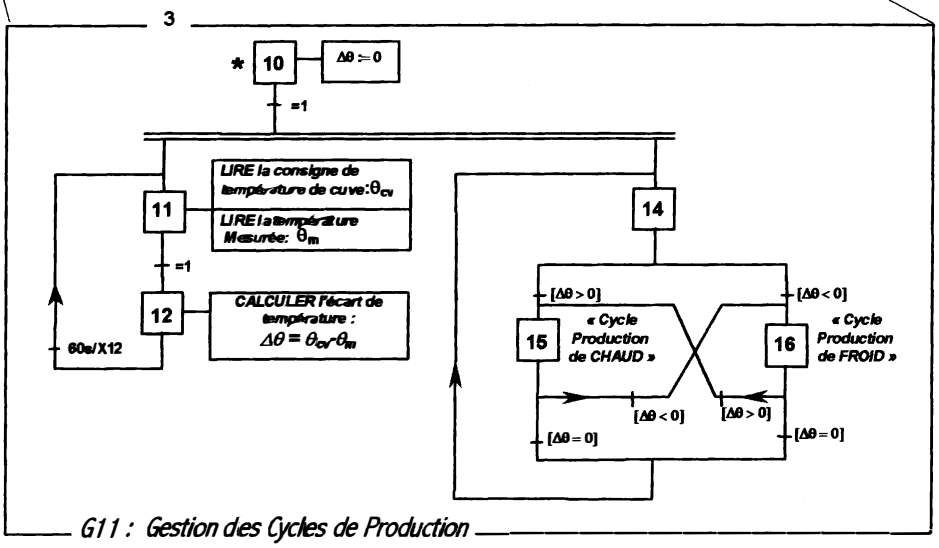


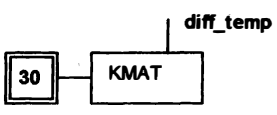
Schéma de principe

ANNEXE 2




G1 : Grafcet de Gestion des Modes de Marche
0
marche_auto
marche_manuelle
M1
« Acquisition des lois de conduite : θcv=f(t)»
M2
« Procédure de Mise en Route et Préparation »
M6
« Marche manuelle»
XS1.XS2
3
arrêt
M5
« Procédure de Mise au Repos de l'installation »
XS5
XS6
3
* 20
EVCA- EVCR- EVC+
EVFA- EVFR- EVF+
X15
X16
21
EVCA+ EVCR+
211
EVFA+ EVFR+
0,5s/X21
0,5s/X211
22
EVC-
212
EVF-
0,5s/X22
0,5s/X212
23
« Attente»
213
« Attente»
X16
X15
24
EVC+
214
EVF+
0,5s/X24
0,5s/X214
25
EVCR- EVCA-
215
EVFR- EVFA-
0,5s/X25
0,5s/X215
G12 : Commande du Bloc de Distribution


3
* 10
Δθ := 0
=1
LIRE la consigne de température de cuve:θcv
11
LIRE la température Mesurée: θm
=1
12
CALCULER l'écart de température : Δθ = θcv-θm
60s/X12
14
[Δθ > 0]
[Δθ < 0]
15
« Cycle Production de CHAUD »
16
« Cycle Production de FROID »
[Δθ < 0]
[Δθ > 0]
[Δθ = 0]
[Δθ = 0]
G11 : Gestion des Cycles de Production


G3 : Grafcet de Commande de l'Agitateur
diff_temp
30
KMAT

Composants principaux du compresseur et modèle cinématique

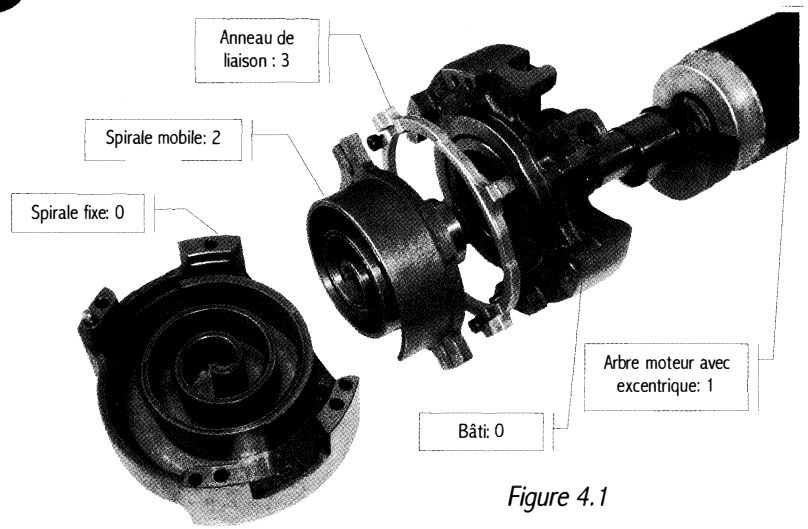


Figure 4.1

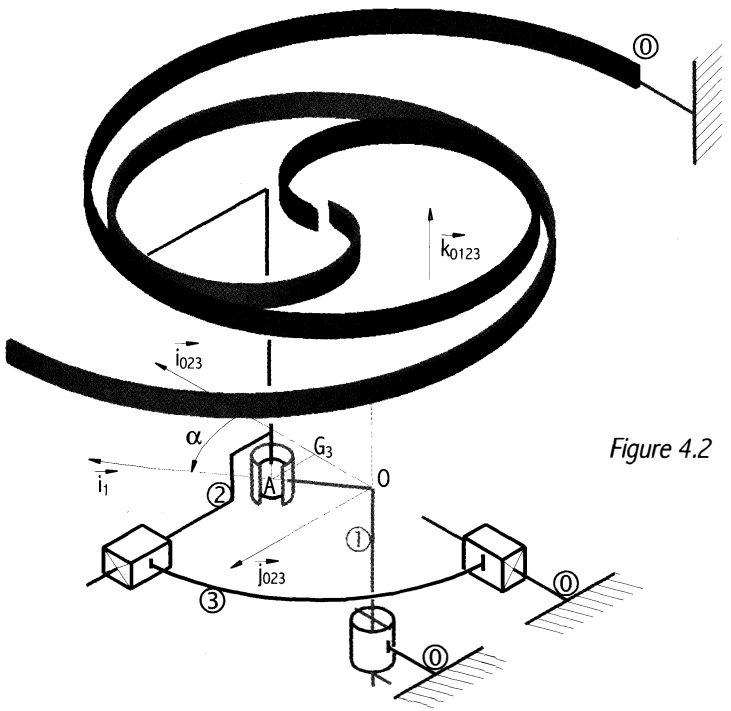


Figure 4.2

Caractéristiques géométriques et inertielles des solides mobiles

ANNEXE 4

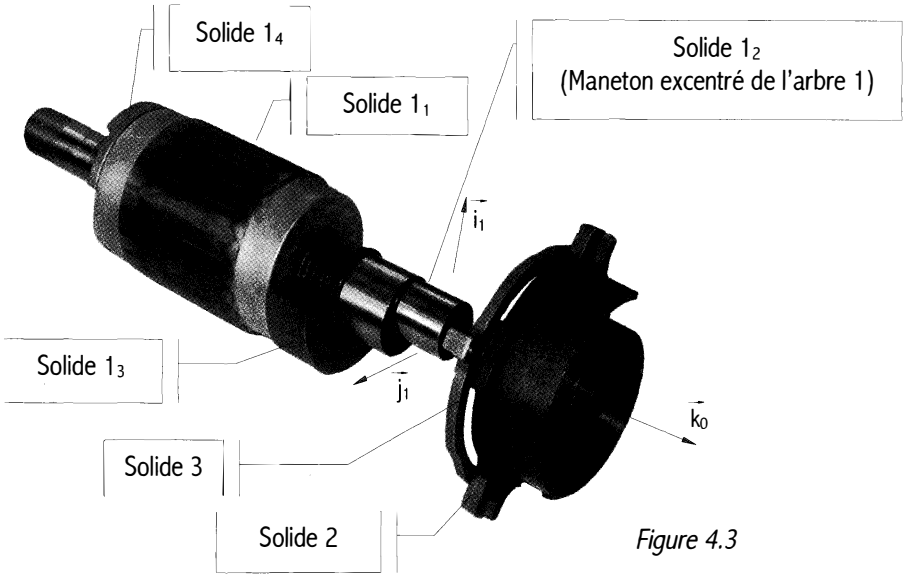


Figure 4.3

Solide	Masse	Centre d'inertie
$1=\bigcup_{i=1}^{i=4} 1_i$	$m1=\sum_{i=1}^{i=4} m_{1i}$	De 1i : G_{1i} tel que $\vec{OG}_{1i} = a_i \vec{i}_1 + b_i \vec{k}_{01}$ où ai et bi sont algébriques
2	m_2	A tel que $\vec{OA} = e \vec{i}_1$
3	Négligée	G_3

Figure 4.4

Géométrie et cinématique planes du rotor

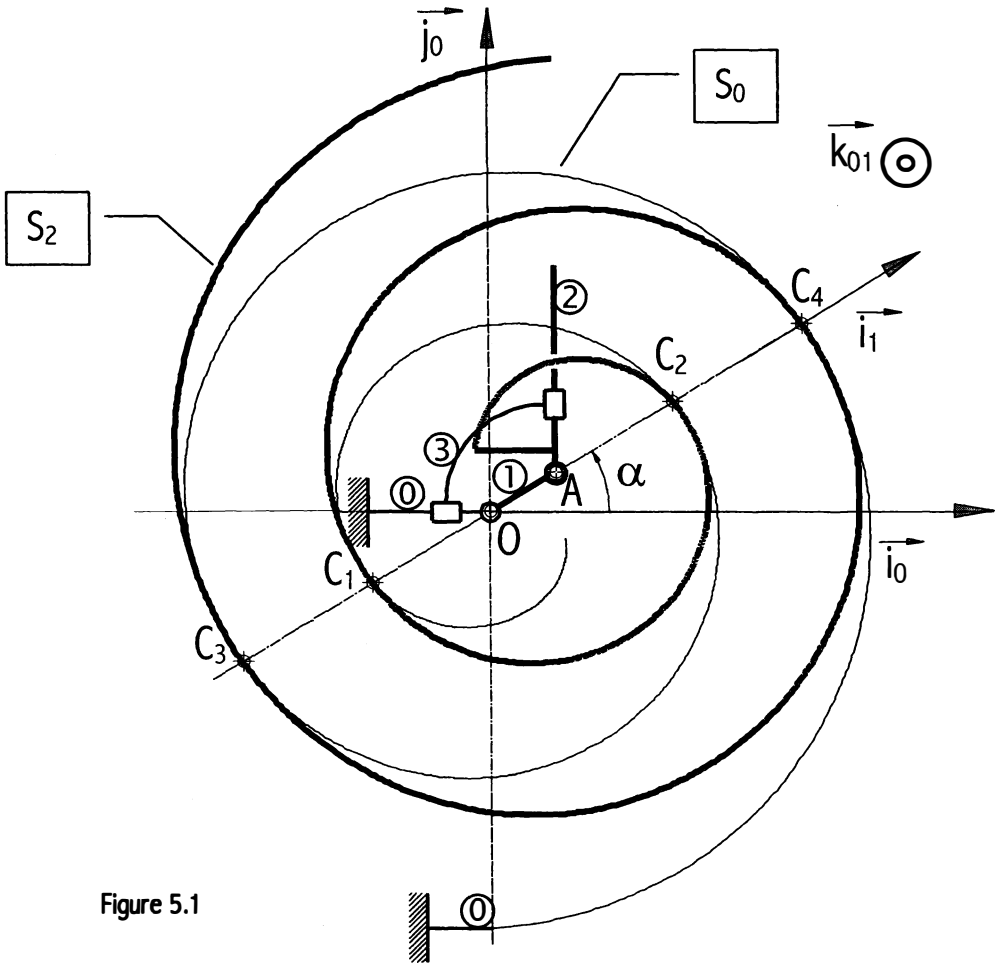


Figure 5.1

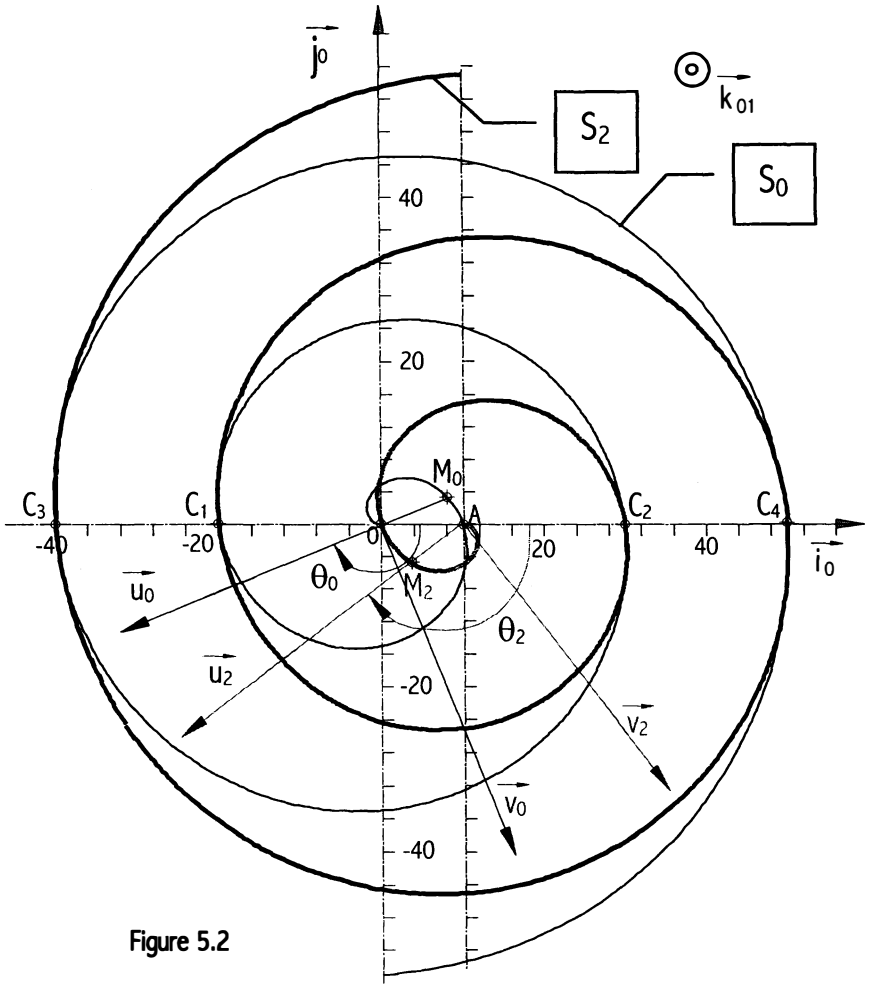


Figure 5.2

Chaîne de régulation en température

ANNEXE 6

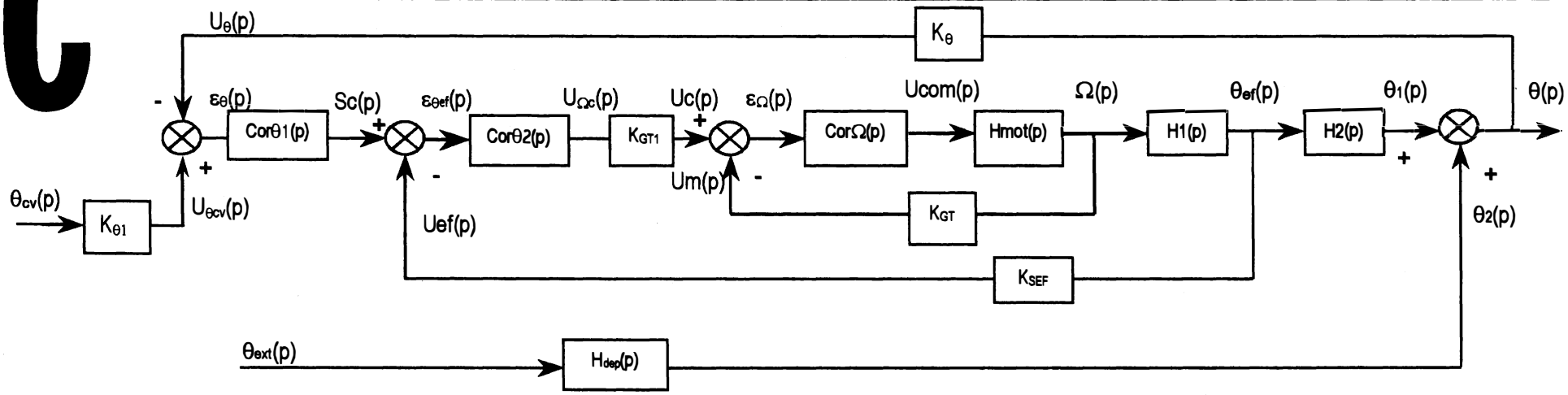


Figure 6.1

Fonctions de transfert

Hmot(p) : fonction de transfert de l'ensemble variateur, moteur compresseur.
CorΩ(p) : fonction de transfert du correcteur de vitesse.
K_{GT} : gain de la génératrice tachymétrique.
K_{GT1} : gain réglé égal à K_{GT}.

H1(p) : fonction de transfert du circuit eau froide.
K_{SEF} : gain de la sonde de température eau froide.
Corθ2(p) : fonction de transfert du correcteur de température eau froide.

H2(p): fonction de transfert associée à l'ensemble bloc de distribution, échangeur de cuve.
Corθ1(p) : fonction de transfert du correcteur de température.
K_θ : gain de la chaîne de mesure de la température de cuve (1V/°C).
$K_{\theta 1}$: gain réglé égal à K_θ.

H_{dep}(p) : fonction de transfert associée aux déperditions thermiques de la cuve avec l'extérieur

Grandeurs physiques en jeu

θ_{cv}(p) : consigne de température de cuve (°C)
Uθcv(p) : tension image de la consigne de température (V).
Uθ(p) : tension image de la de température de cuve(V).
ε_θ(p): écart de température (V)
Sc(p) : sortie du correcteur de température de cuve (V)
$\varepsilon_{\theta ef}$(p): écart de « température sur eau froide » (V)
Uef(p) : tension image de la température sur eau froide (V).
$U_{\Omega c}$(p) : tension image de la consigne de vitesse angulaire. (V)
Uc(p) : tension de consigne (V)
ε_Ω(p) : écart de « vitesse » (V)
Um(p) : tension image de la vitesse (V).
Ucom(p) : tension de commande du moteur (V)
Ω(p) : vitesse angulaire de rotation du moteur.(rd/s)
θ_{ef}(p): température de l'eau froide (°C)
θ_{ext}(p): température extérieure à la cuve (°C)
θ(p) : température de la cuve (°C)
θ_1(p), θ_2(p): températures intermédiaires dans la cuve (°C).

Diagrammes de Bode-Boucle de vitesse

ANNEXE 7

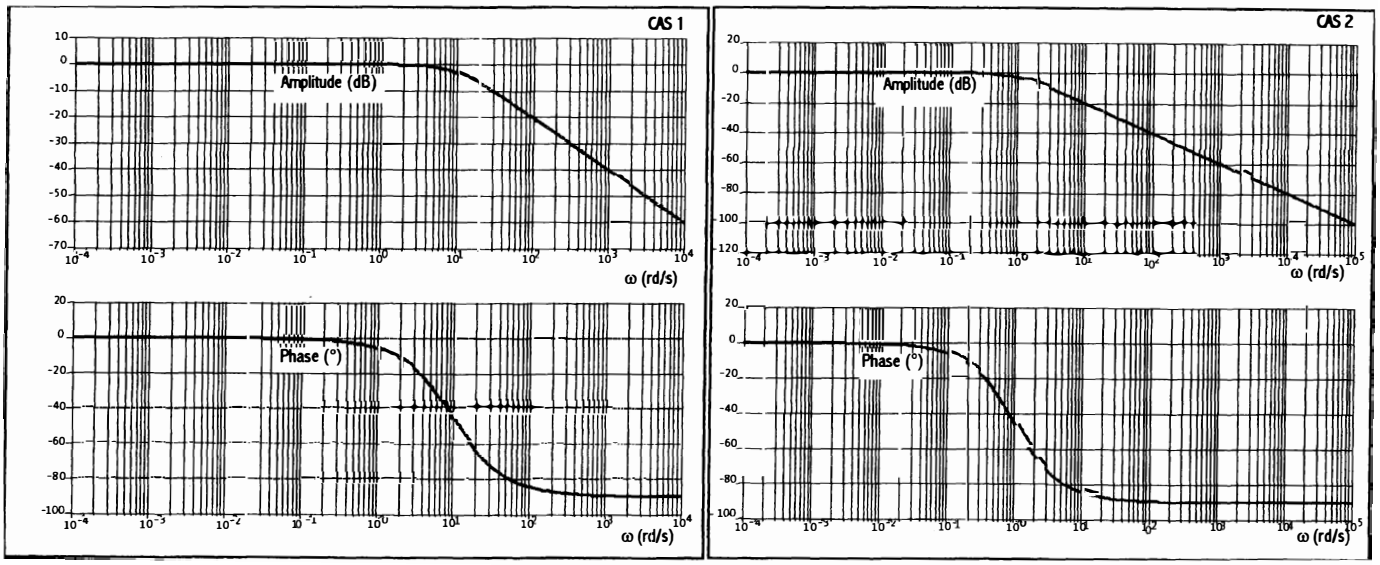


Figure 7.1: réponses fréquentielles de $\Omega(j.\omega)/U_{\alpha}(j.\omega)$

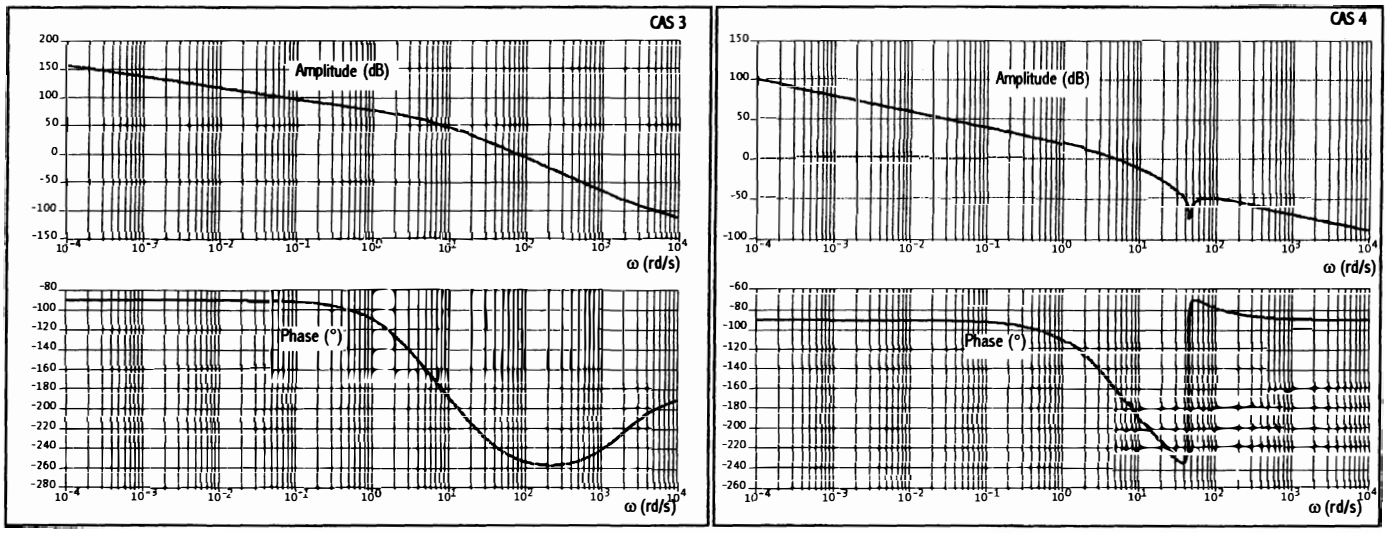


Figure 7.2: réponses fréquentielles de $Um(j.\omega)/\varepsilon_{\Omega}(j.\omega)$

Réponses temporelles – Rejet des perturbations

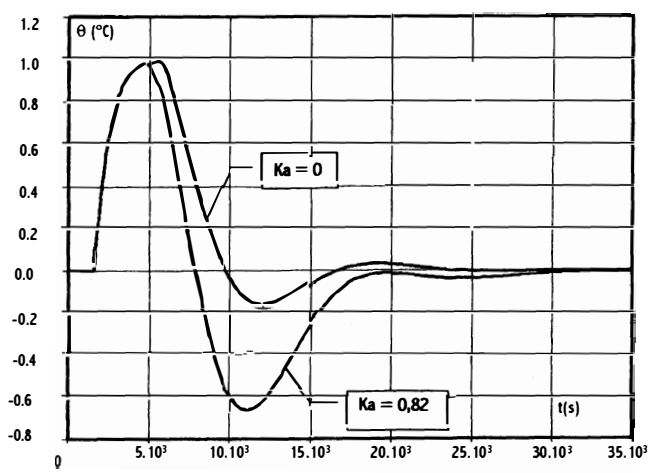


Figure 7.3 : réponses à un échelon de perturbation

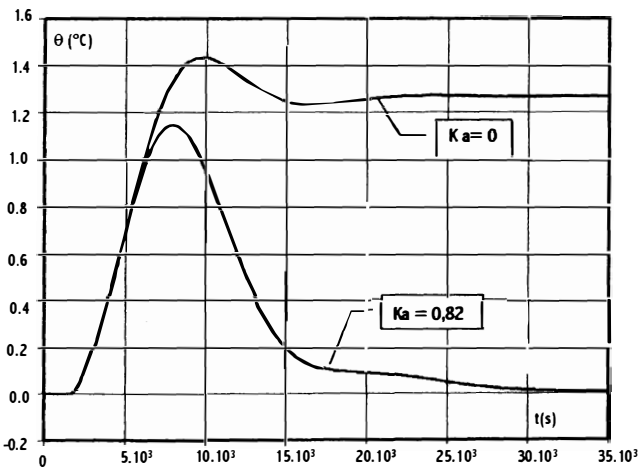
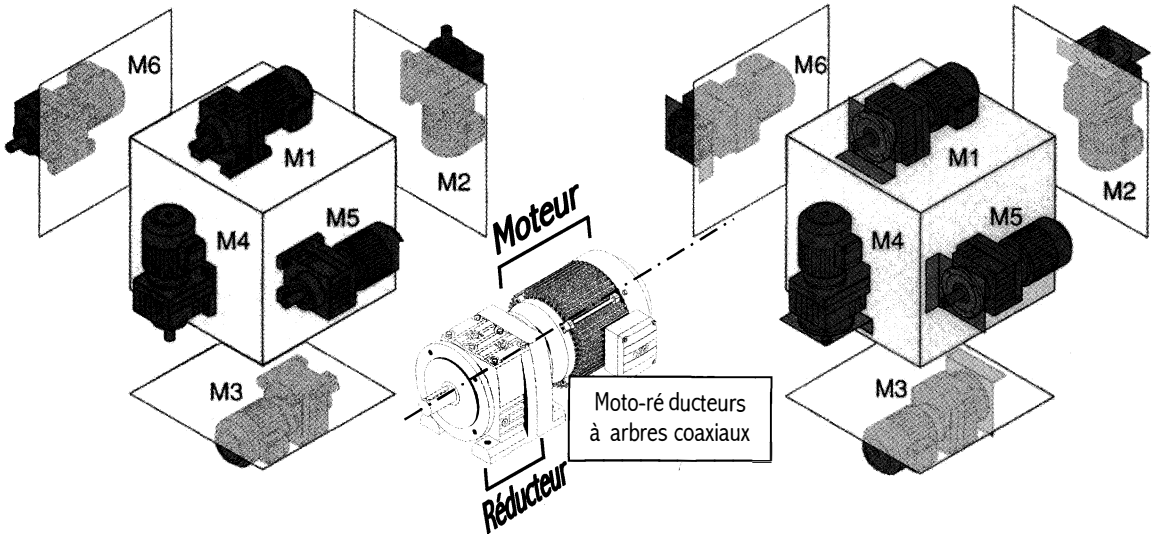
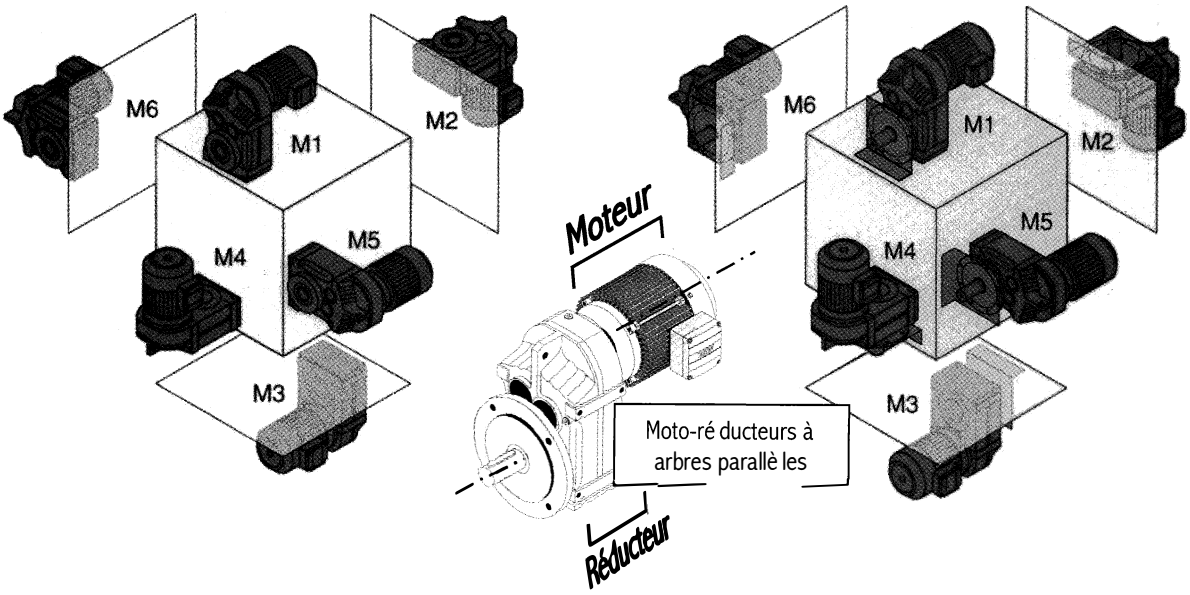
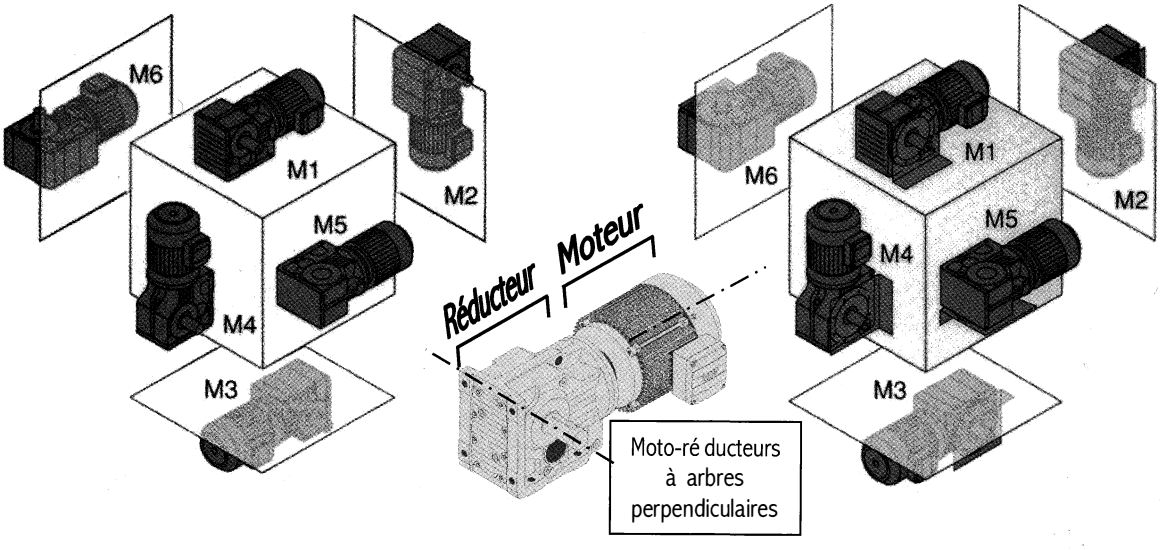


Figure 7.4 : réponses à une perturbation en rampe

Moto-réducteurs







Concours e3a PSI

Session : .....

Intitulé épreuve : .....

Nom : ..... **Prénom :** ..... **Né(e) le :** .....

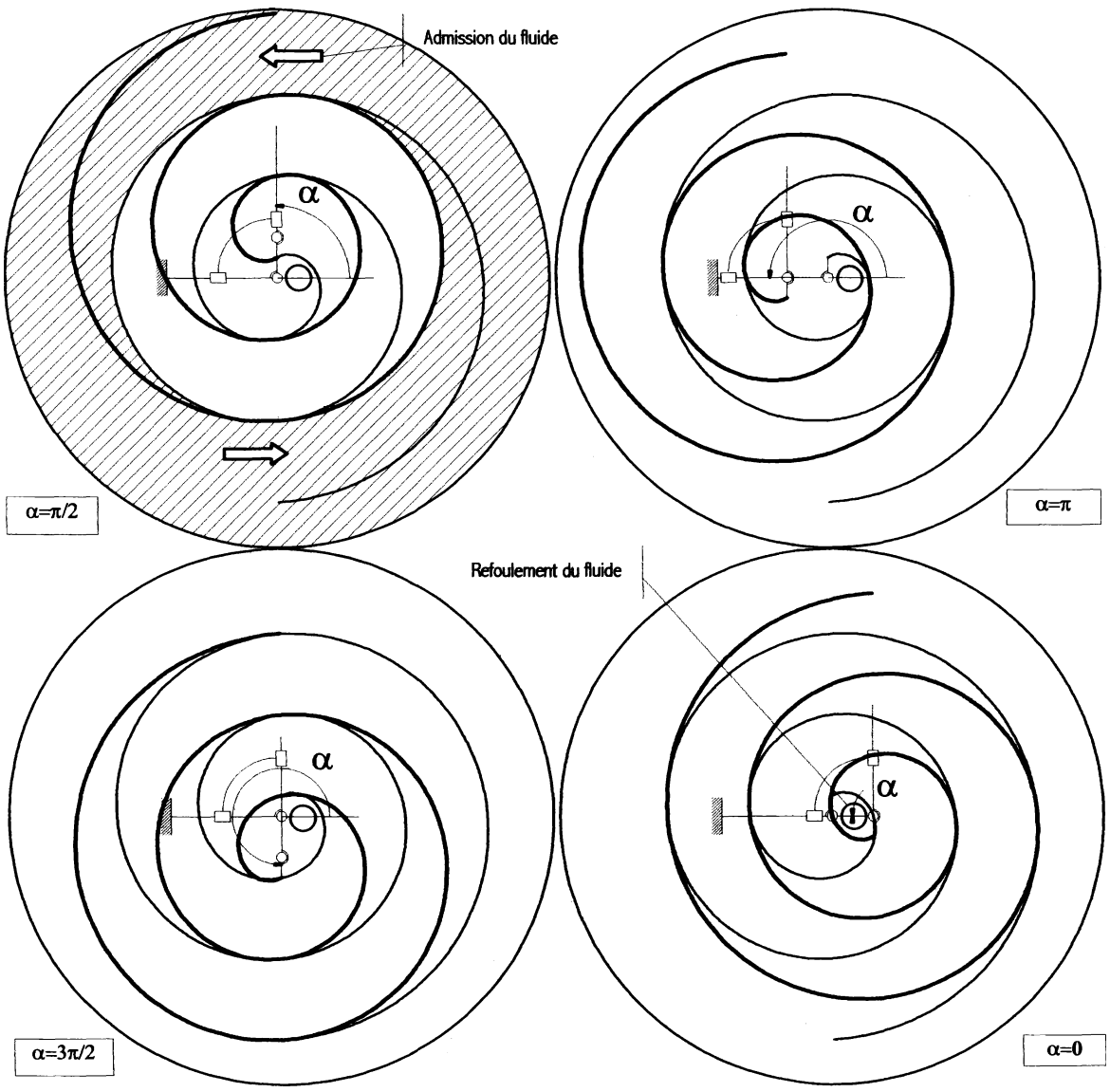
N° de centre d'écrit : ____ **N° de table :** ____

document DR1

Tableau R1	EVCA	EVCR	EVC	EVFA	EVFR	EVF	Situation **G12**
Production de **CHAUD**							
Production de **FROID**							

Temps de passage : Prod. de **CHAUD**→ Prod. de **FROID :** _____
Prod. de **FROID**→ Prod. de **CHAUD :** _____

Compression du fluide



Nombre de tours de 1/0 pour transférer un volume de fluide :

Cqn cours e3a PSI

Intitulé épreuve: .....

Nom: .....

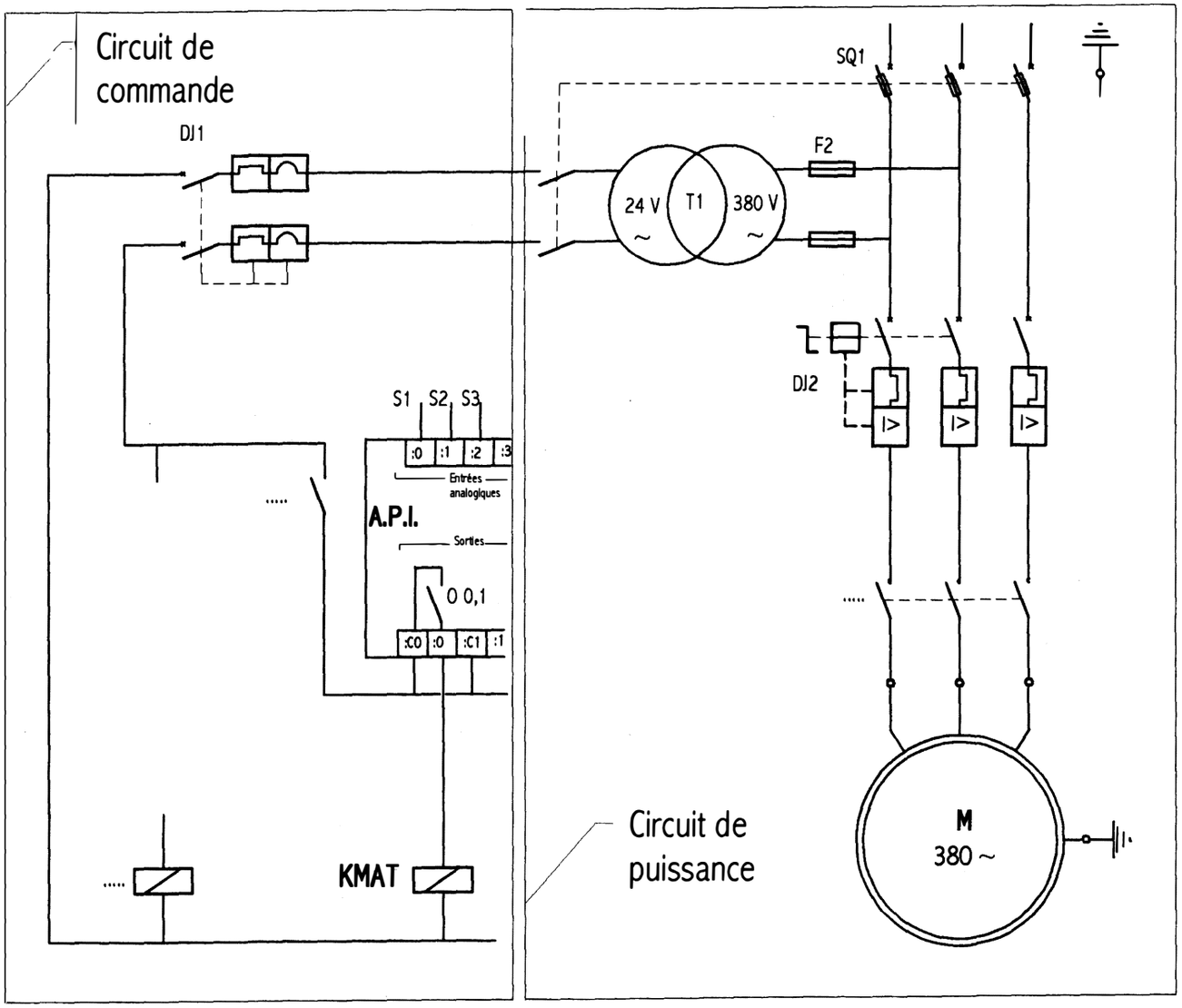
P rénom: .....

Né e) le: .....

N° de centre d'écrit:

N° de tab le:

S ession: .....



M	Moteur à induction triphasé	
SQ1	Sectionneur porte-fusibles	Coupe l'ensemble des alimentations. Les fusibles fondent si I>Imax
DJ2	Disjoncteur magnéto-thermique et son (ses) contact(s)	Coupe les deux circuits en cas de surcharge mécanique (thermique) ou de court-circuit (magnétique)
F2	Fusibles	Protègent le départ de ligne
T1	Transformateur	Isolation du circuit de commande et production de la basse tension
DJ1	Disjoncteur magnéto-thermique	Coupe circuit en cas de surcharge ou de court-circuit
KM	Relais maître et son (ses) contact(s)	Autorise l'alimentation électrique des sorties de l'API. Représentation :
AU	Arrêt d'urgence	Coupe l'alimentation du relais maître
Réarm	Réarmement	Permet le réarmement après arrêt
KMAT	Relais de commande du moteur et son (ses) contact(s)	Permet l'alimentation du moteur. Représentation :

dodument DR2

Travailler les chapitres de ce sujet

Prepa Help suit le programme de PSI chapitre par chapitre : cours détaillé, méthodes, pièges, exercices et problèmes corrigés pas à pas, tirés des concours. L'essai gratuit donne accès aux chapitres offerts de ta filière, sans carte bancaire.

Chapitres liés à ce sujet

- Architecture fonctionnelle et structurelle : chaînes d'information et de puissance
- Ingénierie système : besoin, exigences et diagrammes SysML
- Cinématique des mécanismes : composition des mouvements, contact ponctuel, lois entrée-sortie et fermetures
- Dynamique des systèmes de solides : principe fondamental, stratégie d'isolement, équilibrage
- Géométrie des masses : centre d'inertie, matrice d'inertie, théorème de Huygens
- Modèles de comportement et réponse temporelle : premier ordre, second ordre, identification
- Performances des systèmes asservis : stabilité, précision, rapidité
- Correction des systèmes asservis : correcteurs P, PI et à avance de phase

Ouvrir l'essai gratuit

Scanne le code ou clique sur le bouton.

prepahelp.com/#essai

Une question sur le concours ou sur ta filière : **écrire sur WhatsApp**

Les autres années et épreuves : prepahelp.com/annales/e3a/psi