

Concours de Préparation Technologique  
Épreuve de Sciences et Techniques de l'Ingénieur

Durée : 5 Heures

Date : 11/06/2001

Heure : 8H00

Nbre pages : 29 + Doc 1, 2 et 3

Barème : Partie A : 12 points

Partie B : 5 points

Partie C : 3 points

Aucun document n'est autorisé

Les différentes parties de l'épreuve sont indépendantes. Les parties A (Technologie de Conception et Technologie de Production), B (Mécanique) et C (Automatique) doivent être traitées sur des copies indépendantes. Les documents réponses (de la page 3/29 à la page 22/29 et le Document 2) seront rendus avec la copie correspondante.

## SYSTEME DE CLIMATISATION D'UNE AUTOMOBILE



### Mise en situation

Le climatiseur d'une automobile fonctionne comme un réfrigérateur domestique à compression. L'air chaud venant de l'extérieur par l'intermédiaire d'un circuit de traitement d'air se refroidit en traversant un circuit de réfrigération. L'air traverse une série de bobines situées devant la place du passager que l'on appelle "évaporateur", à l'intérieur duquel circule un fluide réfrigérant qui doit bouillir à une température de  $-25^{\circ}\text{C}$ . L'arrivée de cet air refroidi dans l'habitacle est modulée en fonction de la température souhaitée.

Le fluide réfrigérant, qui change d'état (gazeux ou liquide), de pression et de température dans les différentes zones d'un circuit de réfrigération, génère un phénomène de transfert de chaleur. Les différents composants (Fig. 1) de ce circuit sont :

#### a) Le compresseur

Le compresseur, entraîné par le moteur du véhicule par l'intermédiaire d'une courroie et d'un embrayage électromagnétique, aspire le réfrigérant gazeux à basse pression et à basse température pour le comprimer. Cette compression élève la température du gaz ( $118^{\circ}\text{C}$ ) qui est ensuite refoulé vers le condenseur. Les cycles de rotation du compresseur sont régulés par un thermostat.

#### b) Le condenseur

Le condenseur est un échangeur thermique placé le plus souvent devant le radiateur, il permet de transformer le fluide gazeux haute pression en fluide liquide haute pression. Ce changement d'état (gazeux-liquide) est favorisé par une ventilation forcée (électro-ventilateurs axiaux) spécialement asservie. Le condenseur a pour but "d'évacuer" la chaleur prélevée dans l'habitacle par un échange calorifique entre l'air et le fluide réfrigérant.

#### c) Le réservoir déshydrateur

Situé à la sortie du condenseur, ce réservoir absorbe les à-coups dus aux variations du débit de fluide créées par le cycle du compresseur et permet d'alimenter en permanence la soupape de détente en liquide. Il permet aussi de filtrer le liquide réfrigérant pour absorber les éventuelles traces d'humidités et impuretés qui pourraient subsister dans le circuit. Il est généralement équipé d'un pressostat de sécurité qui neutralise le cycle de fonctionnement en cas d'anomalie de pression dans le circuit.

**d) Le détendeur**

Situé à l'entrée de l'évaporateur, ce détendeur permet de réduire la pression du fluide réfrigérant et de régler le débit. À la sortie du détendeur, le réfrigérant est un mélange de gaz et de liquide.

**e) L'évaporateur**

L'évaporateur a pour rôle d'abaisser la température et l'humidité de l'air ambiant qui arrive dans l'habitacle par l'intermédiaire d'un circuit de traitement d'air. Ceci est obtenu par un phénomène d'évaporation rapide du fluide réfrigérant. Le fluide se trouve alors à nouveau à l'état de gaz basse pression. Il est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.

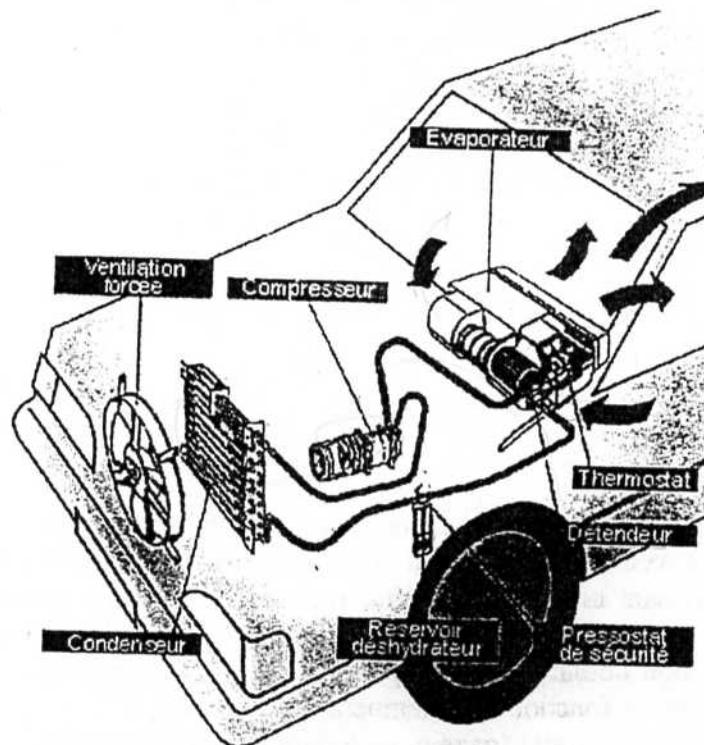


Figure 1 : Circuit de réfrigération d'une automobile.

Nom : ..... Prénom : .....

Identification :         Série :

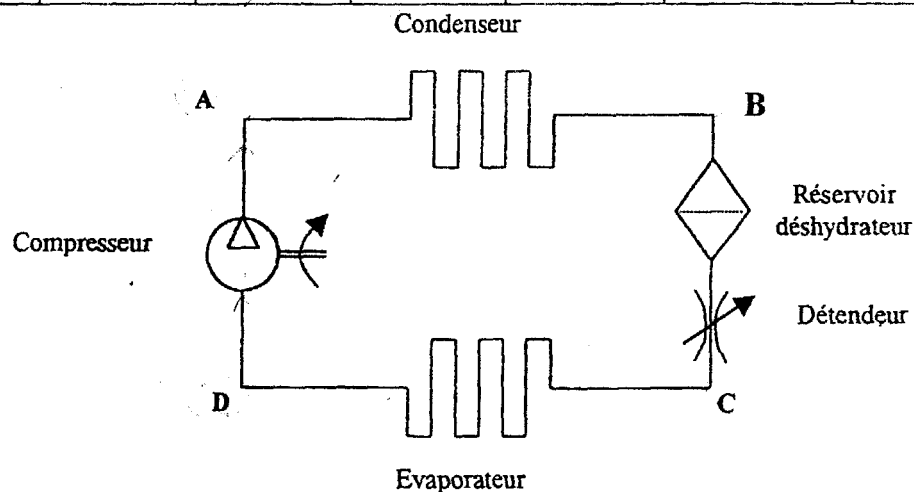
## PARTIE A : TECHNOLOGIE DE CONCEPTION TECHNOLOGIE DE PRODUCTION

### A.1) ANALYSE FONCTIONNELLE

On s'intéresse dans cette partie à l'étude du circuit de réfrigération.

**A.1.1)** Le schéma de la figure 2 donne une représentation simplifiée du circuit de réfrigération d'une automobile. En se basant sur la description de ce système, pour les différents points du circuit de réfrigération, compléter le tableau suivant en mettant une croix dans la case correspondante.

Points	Fluide réfrigérant					
	Liquide	Gazeux	Haute pression	Basse pression	Haute température	Basse température
<b>A</b>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>B</b>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
<b>C</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
<b>D</b>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>

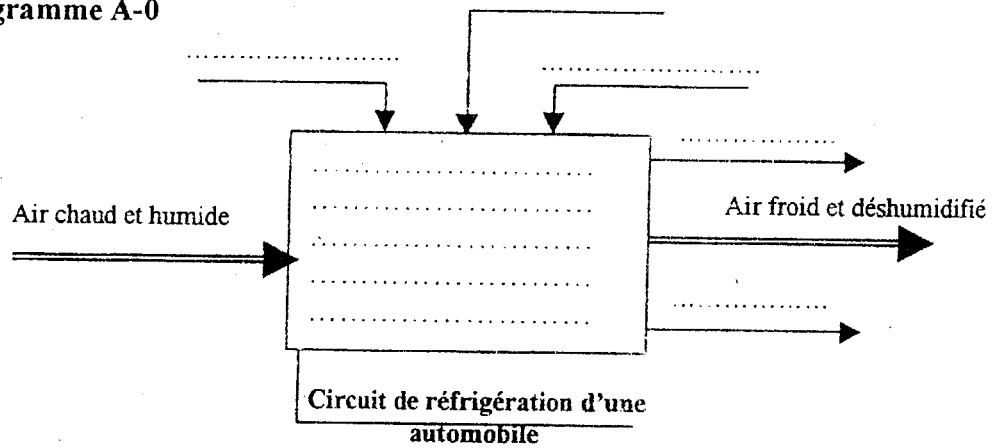


*Figure 2 : Schéma du circuit de réfrigération.*

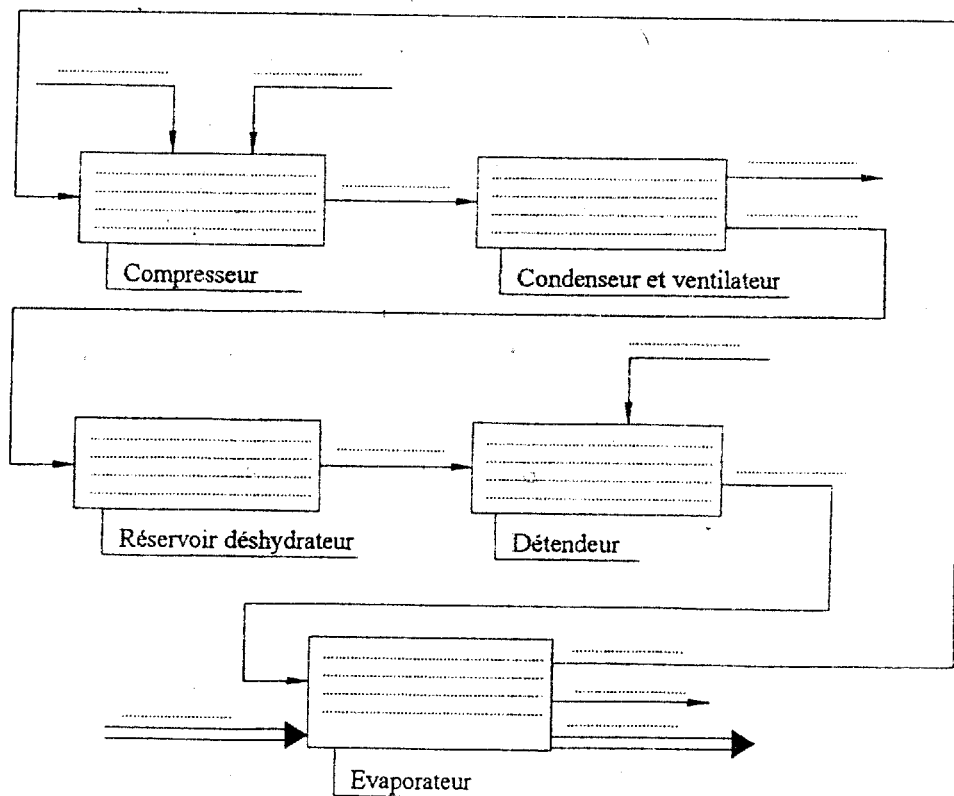
N e r i e n é c r i r e i c i

A.1.2) En se basant sur la description du circuit de réfrigération d'une automobile, compléter les actigrammes suivants :

a) L'actigramme A-0



b) L'actigramme A0



N e r i e n é c r i r e i c i

## A.2) ETUDE DE LA PARTIE OPERATIVE (COMPRESSEUR)

Dans cette partie, on s'intéresse seulement à l'étude du compresseur représenté en coupe longitudinale, à l'échelle 1:1, dans le plan  $(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1)$  fixe par rapport au corps (1) (voir document 1).

Ce compresseur est composé de cinq pistons (13) identiques, de diamètre 35 mm disposés axialement. Lorsque la bobine (18) de l'embrayage électromagnétique est alimentée, le champ magnétique exerce un effort d'attraction sur la rondelle flasque (20) de l'embrayage pour l'adhérer sur la poulie (19) qui est alors accouplée avec l'arbre d'entrée (23). Le plateau came (2) et le plateau oscillant (3) transforment le mouvement de rotation continue de l'arbre d'entrée (23) en un mouvement de translation alternatif des pistons (13). Le repère  $(O, \vec{X}_2, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$  est lié au plateau came (2) solidaire à l'arbre (23). Le plan incliné du plateau came (2) a pour normale  $\vec{X}_2'$  avec  $(\vec{X}_1, \vec{X}_2') = \alpha$ .

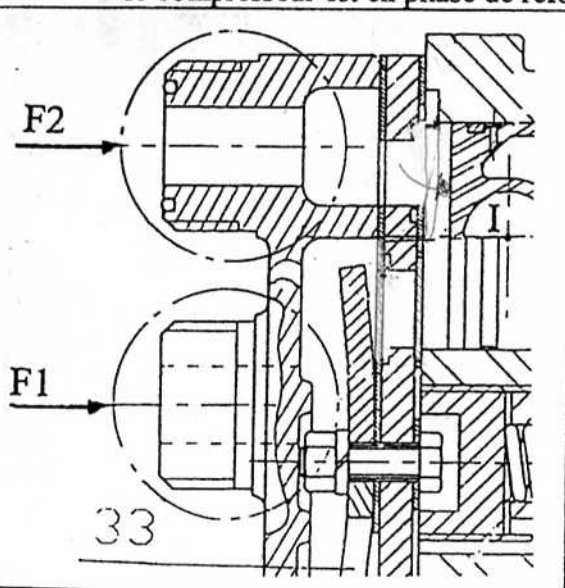
Le repère  $(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$  est lié à l'arbre d'entrée (23).

**NB : Mesurer les cotes utiles sur le dessin d'ensemble si-nécessaire**

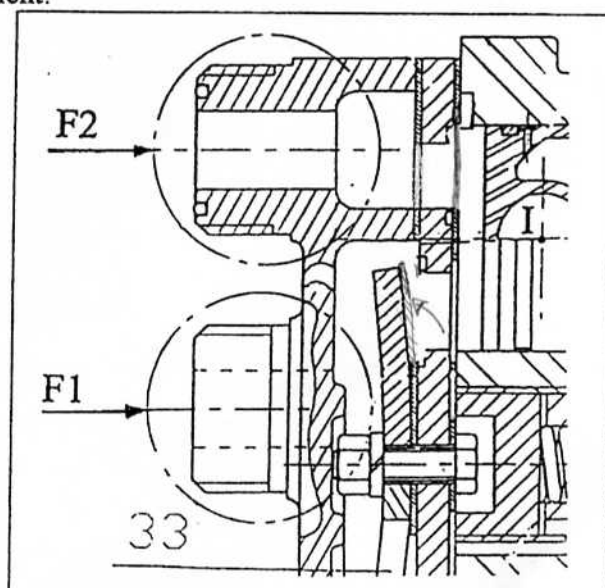
### A.2.1) Analyse technologique

**A.2.1.1) Compléter les figures suivantes par la représentation des clapets (10) et (12) ainsi que par l'indication, au moyen d'une flèche, du sens de circulation du fluide réfrigérant dans les deux cas suivants :**

- le compresseur est en phase d'admission,
- le compresseur est en phase de refoulement.



Phase d'admission

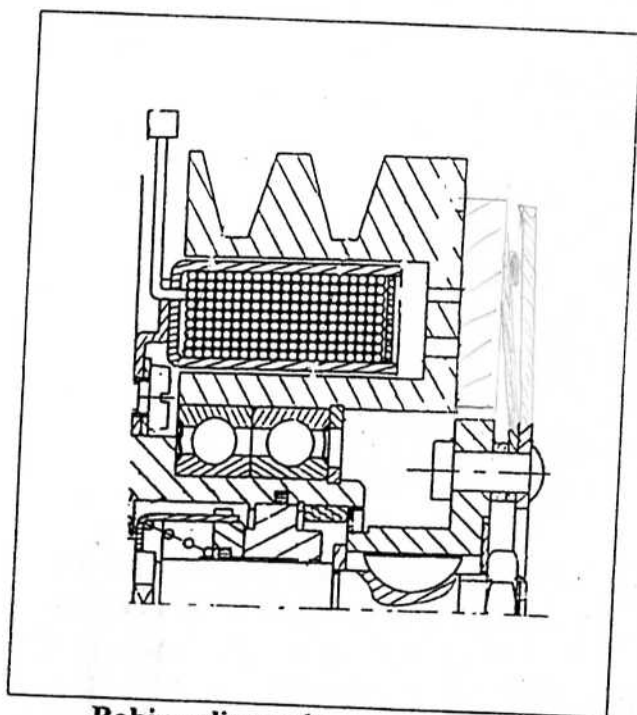


Phase de refoulement

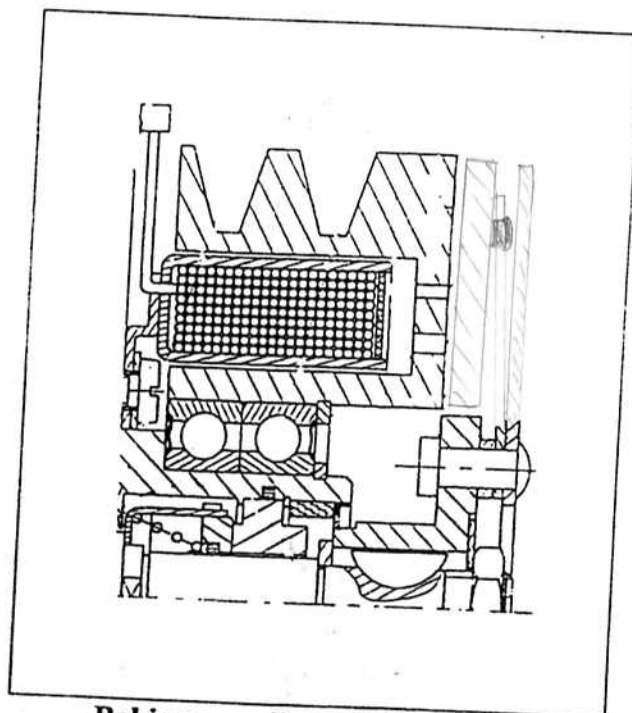
N e r i e n   é c r i r e   i c i

A.2.1.2) Compléter les figures suivantes par la représentation de la rondelle flasque d'embrayage (20), de la rondelle ressort (25) et de la rondelle butée (26) dans les deux cas suivants :

- la bobine (18) de l'embrayage est alimentée,
- la bobine (18) de l'embrayage n'est pas alimentée.



**Bobine alimentée**

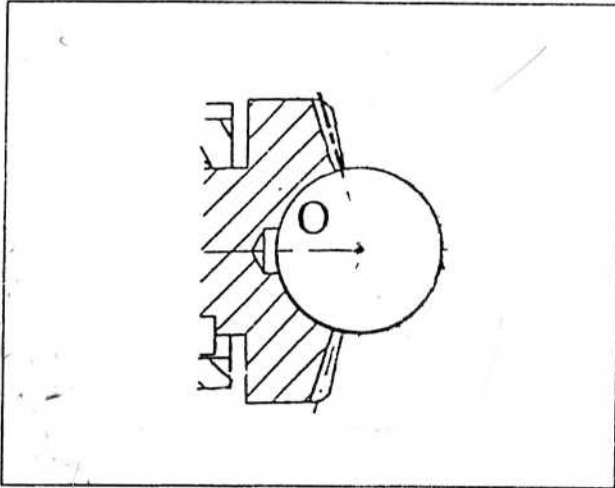


**Bobine non alimentée**

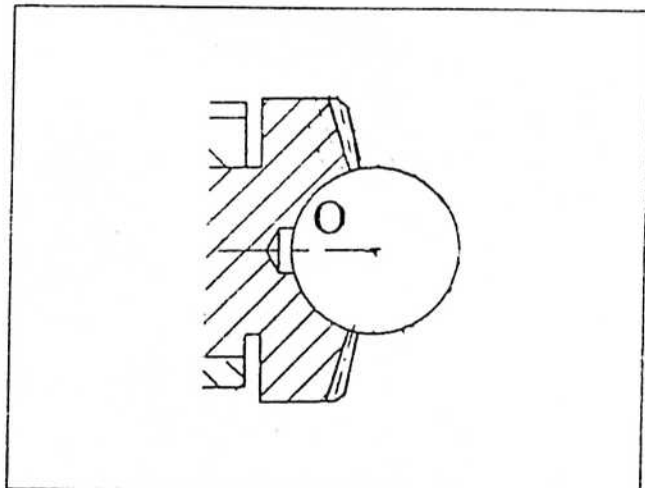
Nom : ..... Prénom : .....

Identification :       Série :

A.2.1.3) Compléter les figures suivantes par la représentation de la roue conique (4), dans le plan  $(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1)$  et dans le plan  $(O, \vec{X}_1, \vec{Z}_1)$ , quand l'arbre moteur (23) a tourné d'un quart de tour dans le sens direct (trigonométrique) par rapport à la position représentée sur le document 1.



Représentation dans le plan  $(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1)$



Représentation dans le plan  $(O, \vec{X}_1, \vec{Z}_1)$

A.2.1.4) Donner la fonction de chacune des pièces indiquées dans le tableau suivant :

Pièce	Fonction
Pièce (33)	..... ..... .....
Ressort (8)	..... ..... .....
Clavette (7)	..... ..... .....
Rondelle ressort (25)	..... ..... .....
Goupille élastique (30)	..... ..... .....

**N e r i e n é c r i r e i c i**

**A.2.1.5) Préciser l'utilité de chacune des formes indiquées dans le tableau suivant :**

<i>Forme</i>	<i>Utilité</i>
F <sub>1</sub>	..... ..... .....
F <sub>2</sub>	..... ..... .....
F <sub>3</sub>	..... ..... .....
F <sub>4</sub>	..... ..... .....

**A.2.1.6) Quelle est la fonction de la vis (34) ? .....**

**A.2.1.7) Comment est assurée la lubrification des butées à aiguilles (22, 37) ? .....**

**A.2.1.8) Quelle est la fonction de l'ensemble des pièces situées dans la zone F<sub>5</sub> ? .....**

**A.2.1.9) Donner le nom et la fonction de la pièce (35) .....**

**A.2.1.10) Comment est assurée la lubrification des roulements (17)?.....**

## **A.2.2) Etude des liaisons**

Cette étude est limitée à la configuration des pièces définies dans le dessin d'ensemble.

**A.2.2.1) Identifier les différentes pièces de la classe d'équivalence à laquelle appartient le corps (1). Cette classe d'équivalence sera repérée par la suite par le numéro de nomenclature (1).....**

N e r i e n à c r i r e à c i

A.2.2.2) Donner le nom de la liaison de la poulie (19) avec (1). Préciser la solution technologique utilisée pour sa réalisation.

Liaison  $L_{(19/1)}$ .....

Solution technologique.....

A.2.2.3) Identifier les différentes pièces de la classe d'équivalence à laquelle appartient l'arbre (23) dans les deux phases de fonctionnement suivantes :

-Phase d'embrayage.....

-Phase de débrayage.....

Cette classe d'équivalence sera repérée par la suite par le numéro de nomenclature (23).

A.2.2.4) Donner le type de la liaison de (23) avec (1). Préciser la solution technologique utilisée pour sa réalisation.

Liaison  $L_{(23/1)}$ .....

Solution technologique.....

A.2.2.5) Donner le type de la liaison de (32) avec (3).

Liaison  $L_{(32/3)}$ .....

A.2.2.6) Préciser le rôle de l'ensemble des pièces (4), (5) et (6).....

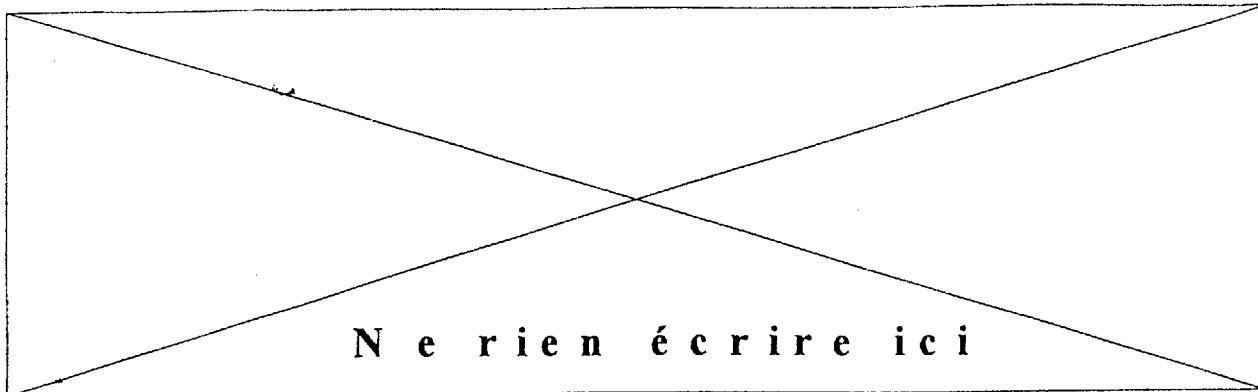
A.2.2.7) Quelle doit être alors la nature de l'ajustement au niveau de l'assemblage cylindrique de (4) avec (32) ?.....

A.2.2.8) Quel est le type de la liaison de (3) avec (2), préciser la solution technologique utilisée pour sa réalisation et écrire le torseur cinématique associé dans la base  $(\vec{X}_2, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$  avec ses éléments de réduction au point (J).

Liaison  $L_{(3/2)}$ .....

Solution technologique.....

Torseur cinématique.....



N e r i e n à c r i r e à c i

A.2.2.9) Donner le type de la liaison de (14) avec (3), préciser la solution technologique utilisée pour sa réalisation et écrire le torseur cinématique associé dans la base  $(\vec{X}_2', \vec{Y}_2', \vec{Z}_2')$  avec ses éléments de réduction au point (J).

Liaison  $L_{(14/3)}$ .....

Solution technologique .....

Torseur cinématique.....

A.2.2.10) Par une étude cinématique, déterminer la liaison équivalente  $L_{(14/2)}$  aux deux liaisons  $L_{(3/2)}$  et  $L_{(14/3)}$ .....

A.2.2.11) Quel est le type de la liaison de (13) avec (14) ? préciser la solution technologique utilisée pour sa réalisation et écrire le torseur cinématique associé dans la base  $(\vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$  avec ses éléments de réduction au point (I).

Liaison  $L_{(13/14)}$ .....

Solution technologique .....

Torseur Cinématique.....

A.2.2.12) Quel est le type de la liaison de (13) avec (1) ?  crire le torseur cinématique associé à cette liaison dans la base  $(\vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$  avec ses éléments de réduction au point (I).

Liaison  $L_{(1/13)}$ .....

Torseur Cinématique.....

Nom : ..... Prénom : .....

Identification :       Série :

**A.2.2.13)** Par une étude cinématique, déterminer la liaison équivalente  $L_{(14/1)}$  aux deux liaisons  $L_{(13/14)}$  et  $L_{(1/13)}$ .....

.....

.....

.....

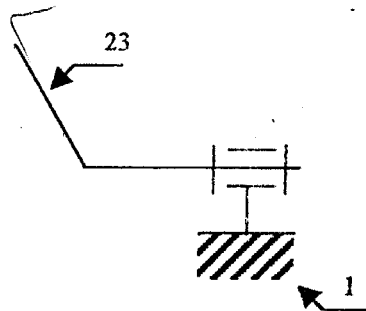
.....

.....

.....

.....

**A.2.2.14)** En tenant compte de l'analyse précédente, compléter le schéma cinématique minimal relatif à la chaîne fermée. (1) — (23) — (3) — (14) — (13) — (1)



**A.2.2.15)** A ce niveau de l'analyse et en fonction du schéma cinématique représenté ci-dessus:

**A.2.2.15.1)** Montrer par une représentation schématique simplifiée que la bielle (14) n'est pas en équilibre. On suppose que toutes les liaisons sont parfaites.

.....

.....

.....

.....

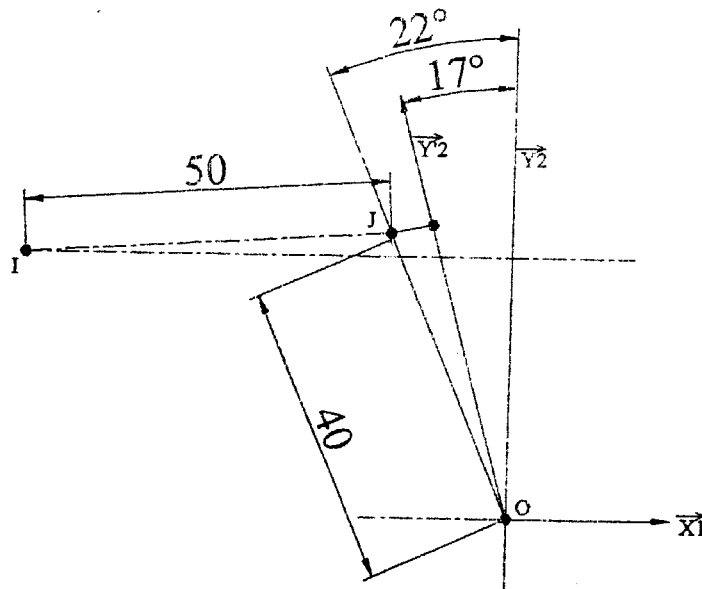
.....

N e r i e n é c r i r e i c i

A.2.2.15.2) En déduire le rôle de la pièce intermédiaire (3).

### A.2.3) Calcul du débit du compresseur

A.2.3.1) Par une construction graphique dans le plan  $(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1)$  à l'échelle 1:1, déterminer la course C du piston (13).



C=.....

A.2.3.2) Calculer le volume de la cylindrée pour un seul piston (13).....

A.2.3.3) Sachant que la fréquence de rotation de la poulie (19) est de 3500 tr/mn, calculer le débit du compresseur en litres par minute (on suppose que le fluide réfrigérant est incompressible).....

N e r i e n   é c r i r e   i c i

**A.2.4) Etude de l'embrayage**

**A.2.4.1)** Déterminer le couple  $C_m$  à transmettre par l'embrayage sachant que la puissance motrice est  $P_m = 7,8 \text{ KW}$ .....

**A.2.4.2)** Déterminer l'effort presseur  $P$  exercé sur la poulie (19) en phase d'embrayage. On donne le coefficient de frottement des surfaces frottantes de l'embrayage :  $f=0,3$ .....

**A.2.4.3)** Faire un schéma simplifié qui traduit l'équilibre en translation de la rondelle flasque (20) en phase d'embrayage.....

**A.2.4.4)** Sachant que l'effort exercé par la rondelle ressort (25) sur la rondelle flasque d'embrayage (20) est  $R=200 \text{ N}$ , déduire la force d'attraction magnétique  $F$  de la bobine (18) sur la rondelle flasque (20).....

**N e r i e n   é c r i r e   i c i**

**A.2.4.5)** La liaison complète du plateau came (2) avec l'arbre (23) est assurée par une goupille élastique (30). Vérifier la résistance au cisaillement de la goupille supposée de section droite annulaire. On donne :

Résistance pratique au cisaillement du matériau de la goupille :  $R_{pg} = 150 \text{ N/mm}^2$ .

Diamètre extérieur de la goupille :  $D_g = 5 \text{ mm}$ .

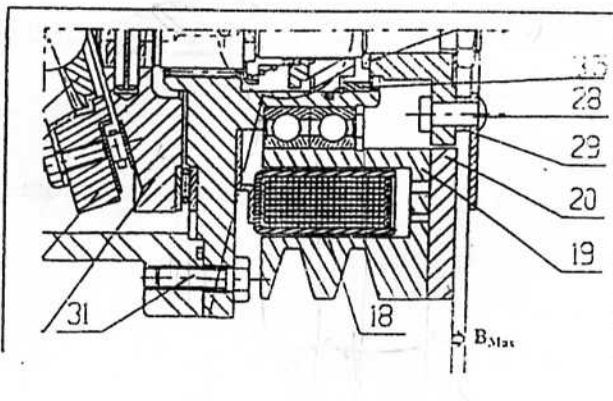
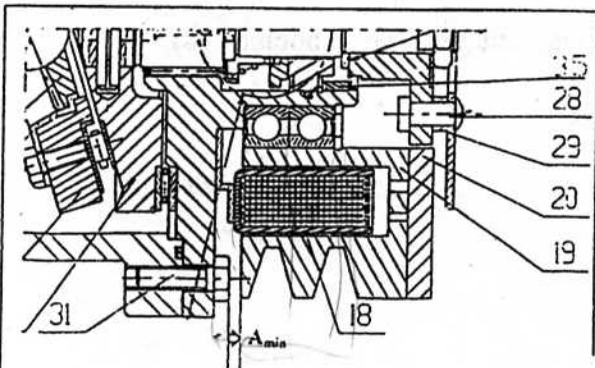
Diamètre intérieur de la goupille :  $d_g = 3 \text{ mm}$ .

### A.2.5) Cotation fonctionnelle

**A.2.5.1)** Donner les ajustements qualitatifs des assemblages indiqués dans le tableau suivant :

Assemblage	Ajustement
(17)/(19)	.....
(17)/(16)	.....
(21)/(23)	.....
(2)/(23)	.....
(6)/(1)	.....

**A.2.5.2)** Tracer sur les dessins ci-dessous les chaînes de côtes minimales relatives aux conditions  $A_{min}$  et  $B_{Max}$ .



Nom : ..... Prénom : .....

Identification :       Série :

A.2.5.3) Quelle est l'utilité de chacune de ces conditions.

$A_{min}$  : .....

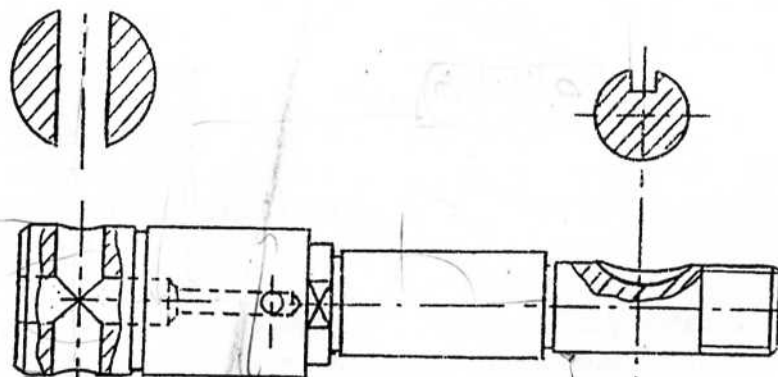
$B_{Max}$  : .....

A.2.5.4) Compléter le dessin de définition, ci-dessous, de l'arbre (23) par l'inscription des :

A.2.5.4.1) tolérances dimensionnelles (qualitatives) relatives aux assemblages fonctionnels et aux chaînes de cotes des conditions  $A_{min}$  et  $B_{Max}$ ,

A.2.5.4.2) tolérances géométriques,

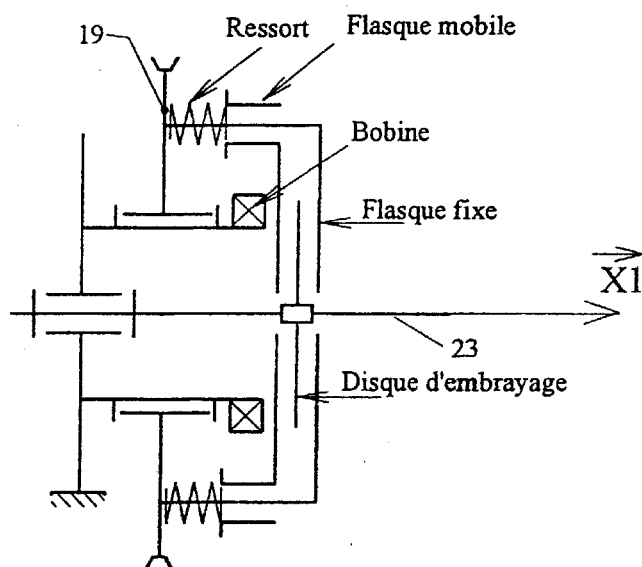
A.2.5.4.3) états de surfaces.



N e r i e n é c r i r e i c i

#### A.2.6) Etude de conception

On se propose de modifier la conception du mécanisme d'embrayage assurant l'entraînement en rotation de l'arbre (23) par la poulie (19). La nouvelle conception est schématisée comme suit :



Le disque d'embrayage est en liaison glissière avec l'arbre (23). Le flasque mobile est en liaison glissière avec la poulie (19). Lorsque la bobine n'est pas alimentée, l'effort presseur développé par les ressorts permet d'avoir l'adhérence entre le flasque mobile, le flasque fixe et le disque d'embrayage (phase embrayée). L'alimentation de la bobine permet d'attirer le flasque mobile pour désaccoupler la poulie (19) de l'arbre (23) (phase débrayée).

Compléter, en phase embrayée le dessin du document 2 par :

- la conception de la liaison glissière du flasque mobile avec la poulie (19),
- la conception de la liaison glissière du disque d'embrayage avec l'arbre (23),
- le montage des ressorts,
- la cotation des assemblages fonctionnels.

N e r i e n   é c r i r e   i c i

### A.3) TECHNOLOGIE DE PRODUCTION

On se propose d'usiner en série renouvelable à raison de 400 pièces, le couvercle (16) dont le dessin de définition est donné dans le document 3.

Les matériaux des outils sont :

- l'acier rapide pour les outils de forme
- les carbures métalliques pour les outils travaillant par génération.

Le couvercle est en EN-GJL-150 (FGL150).

Les surfaces à usiner sont repérées par des lettres majuscules. Toutes les autres surfaces resteront brutes.

#### A.3.1) Analyse du dessin de définition

A.3.1.1) Quelle est la définition de la désignation AFNOR du matériau EN-GJL-150 ?

.....

.....

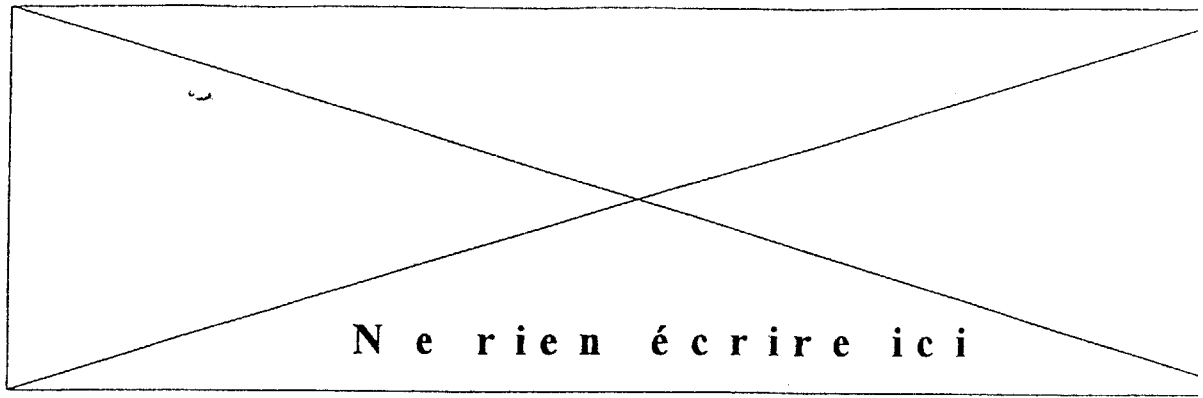
A.3.1.2) Quelles sont les spécifications caractérisant la surface A

.....

.....

A.3.1.3) Définir les spécifications géométriques suivantes :

<i>Tolérance géométrique</i>	<i>Définition</i>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">           TR1 <math>\Phi</math> <math>\varnothing 0,2</math> B C         </div>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">           C <math>\odot</math> <math>\varnothing 0,02</math> A         </div>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">           B <math>\nearrow</math> 0,02 C         </div>	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>



A.3.1.4) Donner une définition détaillée de la spécification de rugosité :

Ra6,3/✓

**A.3.2) Ordonnancement de l'usinage**

A.3.2.1) Pour obtenir le diamètre  $\Phi 22 H7$  :

A.3.2.1.1) définir le nombre nécessaire d'opérations.

A.3.2.1.2) la désignation de chacune de ces opérations.

A.3.2.2) Définir et justifier l'ordre d'usinage des surfaces (B), (C), (D), (M) et (L)

A.3.2.3) A quelle étape de la fabrication, s'effectue l'usinage de A ? Justifier.

**A.3.3) Isostatisme et cotation de fabrication**

A.3.3.1) Comment peut – on obtenir la contrainte de coaxialité définie entre les surfaces E et A ?

A.3.3.2) Comment peut – on obtenir la contrainte de coaxialité définie entre les surfaces C et A ?

Nom : ..... Prénom : .....

Identification :  Série :

**A.3.3.3)** L'usinage des surfaces L, D, B, M, H, I, J, C, P et Q s'effectuera dans la deuxième sous phase (sous phase B) de la phase de tournage. On dispose d'outils à aléser, d'outils à dresser et à charioter coudé ( $\kappa_r = 45^\circ$ ), d'outils à charioter couteau et d'outils à saigner de largeur 5 mm. La pièce brute contient un avant – trou de fonderie.

La finition de la surface C se fait avec l'alésoir  $\Phi 22 H7$ .

Compléter le document 4 en précisant :

**A.3.3.3.1)** l'ordre des opérations,

**A.3.3.3.2)** la schématisation géométrique des éléments de mise en position,

**A.3.3.3.3)** les cotes de fabrication.

On repère les sous phases par des lettres majuscules et les opérations par des lettres minuscules.

N e r i e n   é c r i r e   i c i

Ensemble : Compresseur

Pièce : Couvercle moyeu

Matière : EN-GJL-150

Nombre : 400 pièces

Brut : Moulé en sable

**AVANT PROJET D'ETUDE DE FABRICATION**

**Document 4**

N° Phase	DESIGNATION
-------------	-------------

**CROQUIS**

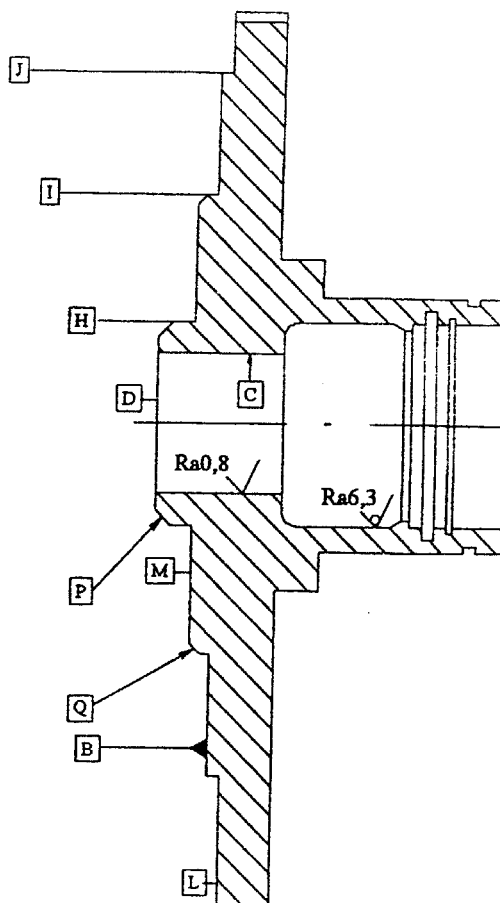
10      Tournage

B/

- a).....
- b).....
- c).....
- d).....
- e).....
- f).....
- g).....
- h).....
- i).....
- j).....
- k).....
- l).....
- m).....
- n).....

**Chaînes de cotes**

**Calcul des cotes de fabrication**



N e r i e n   é c r i r e   i c i

#### A.3.4) Paramètres et temps de coupe

Pour usiner la surface C en tournage, on effectue les opérations suivantes :

- a) Alésage ébauche : outil T<sub>1</sub>
- b) Alésage ½ finition : outil T<sub>2</sub>
- c) Alésage finition : outil T<sub>3</sub>

L'ébauche et la ½ finition se font avec des outils à aléser en carbure métallique. La pièce contient initialement un avant trou de fonderie de diamètre 14.

On s'intéressera à l'usinage de C en ébauche.

A.3.4.1) Sachant que la profondeur de passe d'ébauche est égale à 3 mm. Pour l'opération d'alésage, la vitesse de coupe est égale à celle du chariotage corrigée d'un facteur égal à 0,7.

Utiliser le tableau 1 pour déduire :

A.3.4.1.1) l'avance  $f$  en ébauche de C.

A.3.4.1.2) la vitesse de coupe  $V_c$  en ébauche de C.

Désignation				Chariotage			
Matière				Outil en ARS		Outil en carbure	
				$V_c$ de coupe en m/min		$V_c$ de coupe en m/min	
				$f = \frac{p}{10}$		$f = \frac{p}{8}$	
				Résistance daN/mm <sup>2</sup> Ou HB			
Fonte grise	EN-GJL-150	Ferritique	120-150	P=3 à 5	P=0,5 à 1	P=3 à 5	P=0,5 à 1
				45	60	160	220

**Tableau 1 : Paramètres de coupe.**

A.3.4.2) Calculer la vitesse de rotation (N) en tr/min. Le diamètre à usiner est D=20 mm.

A.3.4.3) Calculer la vitesse d'avance ( $V_f$ ) en mm/min. On notera par (L) la longueur à usiner.

**N e r i e n   é c r i r e   i c i**

**A.3.4.4)** Exprimer le temps de coupe ( $t_c$ ) utile à l'ébauche de (C) :

**A.3.4.4.1)** en fonction de la longueur usinée (L) et de la vitesse d'avance ( $V_f$ )

.....

.....

**A.3.4.4.2)** en fonction de L , f,  $V_c$  et D

.....

.....

**A.3.4.5)** La durée de vie de l'outil (temps d'utilisation de l'outil) s'exprime par:

$$T = 19.10^6 \cdot V_c^{-3,5}$$

Quel est le nombre ( $N_o$ ) d'outils ( $T_1$ ) à utiliser pour effectuer l'ébauche de la surface (C) de 400 pièces ?

.....

.....

.....

**A.3.4.6)** Quelle est la vitesse de coupe à utiliser pour usiner toutes les pièces sans changer l'outil ( $T_1$ ) ? L'avance restera constante.

.....

.....

.....

.....

**A.3.4.7)** On veut déterminer la vitesse maximale qu'on pourra utiliser tout en consommant la puissance maximale que peut fournir la machine.

Sachant que l'avance restera constante, calculer la vitesse maximale de coupe ( $V_{cmax}$ ) à utiliser pour effectuer l'ébauche de la surface (C).

On donne :

- la puissance du tour utilisé :  $P_M = 7 \text{ KW}$
- le rendement du tour :  $\eta = 0,7$
- la pression spécifique de coupe :  $K_s = 1500 \text{ N/mm}^2$

.....

.....

.....

## PARTIE B : MECANIQUE

On s'intéresse dans cette partie à l'étude mécanique du compresseur. Pour cela, on utilisera le schéma cinématique simplifié de la figure 3.

Les principaux solides du mécanisme sont :

- le bâti (S1) constitué du corps (1) et des pièces qui lui sont solidaires,
- le solide (S2) constitué du plateau came (2) et de toutes les pièces qui lui sont solidaires. Ce solide est en liaison pivot d'axe  $(O, \vec{X}_1)$  avec le bâti (S1),
- le solide (S3) constitué du plateau oscillant (3) et de toutes les pièces qui lui sont solidaires. Ce solide est en liaison appui plan de normale  $\vec{X}_2'$  avec le solide (S2),
- le solide (S4) constitué de la bielle (14). Ce solide est en liaison rotule de centre J avec le solide (S3) d'une part et en liaison linéaire annulaire d'axe  $(I, \vec{X}_1)$  avec le bâti (S1) d'autre part.

### Repères et paramétrage

Les repères et les paramètres adoptés sont définis comme suit :

$R_1(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_1, \vec{Z}_1)$  : repère galiléen lié au bâti (S1),

$R_2(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$  : premier repère lié au solide (S2),

$R_2'(O, \vec{X}_2', \vec{Y}_2', \vec{Z}_2')$  : deuxième repère lié au solide (S2),

$R_3(O, \vec{X}_2', \vec{Y}_3, \vec{Z}_3)$  : repère lié au solide (S3),

$R_4(I, \vec{X}_4, \vec{Y}_4, \vec{Z}_4)$  : repère lié au solide (S4).

Tous les repères sont orthonormés directs.

Le mouvement de (S3) par rapport au bâti (S1) est décrit de deux façons différentes:

- (i) une rotation  $\theta = (\vec{Y}_1, \vec{Y}_2)$  d'axe  $(O, \vec{X}_1)$  suivie de l'inclinaison  $\alpha = (\vec{X}_1, \vec{X}_2')$  autour de  $\vec{Z}_2$  et de la rotation  $\psi = (\vec{Y}_2', \vec{Y}_3)$  d'axe  $(O, \vec{X}_2')$
- (ii) une rotation  $\gamma = (\vec{Y}_1, \vec{Y}_3)$  d'axe  $(O, \vec{Z}_1)$  suivie d'une rotation  $\varphi = (\vec{Z}_1, \vec{Z}_3)$  d'axe  $(O, \vec{Y}_3)$

Les points O, A et B sont des points fixes par rapport au bâti (S1)

$\theta, \beta, \gamma, \psi$  et  $\varphi$  : paramètres angulaires de position (figure 4), avec  $\beta = (\vec{X}_1, \vec{X}_4)$

$\lambda$  : paramètre de position linéaire

$$\vec{OA} = a \vec{X}_1$$

$$\vec{OB} = -c \vec{X}_1 + b \vec{Y}_1$$

$$\vec{BI} = \lambda \vec{X}_1$$

$$\vec{OK} = R \vec{Y}_3$$

$$\vec{JK} = e \vec{u}$$

$$\vec{IJ} = d \vec{X}_4$$

$a, b, c, d, e, R$  et  $\alpha$  sont des constantes positives.

**Données et hypothèses :**

Un couple moteur  $C_m$  est appliqué sur le solide (S2). L'action du fluide sur le solide (S4) est transmise par l'intermédiaire d'un piston de section  $S$  soumis à une pression  $p$ . L'action de la pesanteur est négligeable. Toutes les liaisons sont supposées parfaites. Le solide (S2) est caractérisé par son opérateur d'inertie :

$$\begin{bmatrix} A_2 & -F_2 & 0 \\ -F_2 & B_2 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{bmatrix}_{(O, \vec{x}_1, \vec{y}_2, \vec{z}_2)}$$

Son centre d'inertie est situé sur l'axe  $(O, \vec{x}_1)$ .

Le solide (S3) est caractérisé par son opérateur d'inertie :

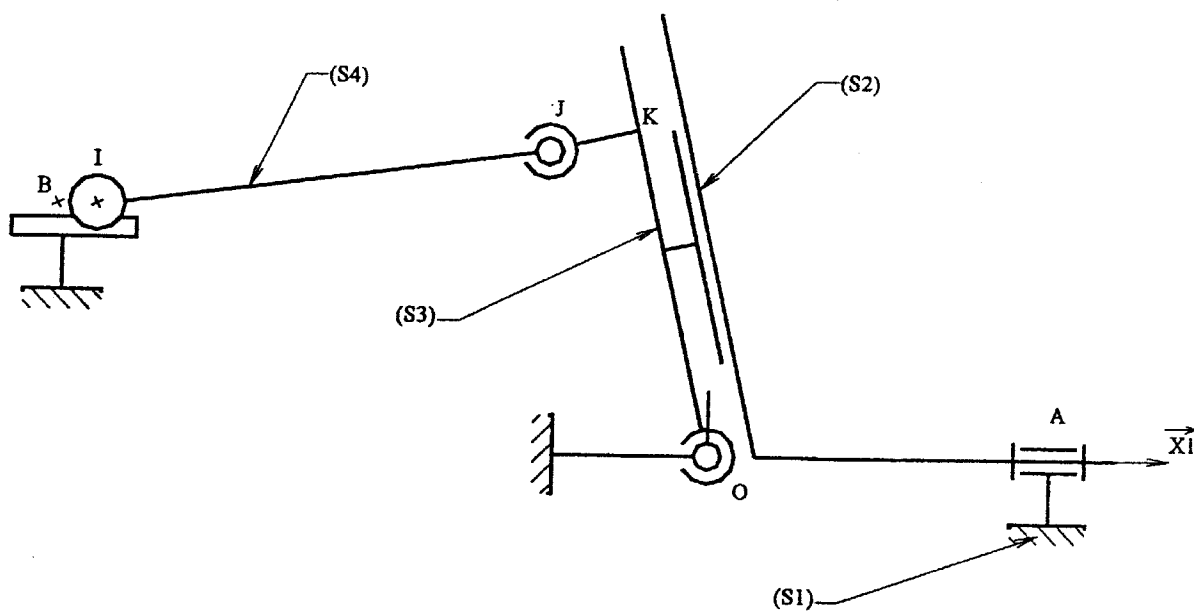
$$\begin{bmatrix} 2A_3 & 0 & 0 \\ 0 & A_3 & 0 \\ 0 & 0 & A_3 \end{bmatrix}_{(O, \vec{x}_2, \vec{y}_3, \vec{z}_3)}$$

Son centre d'inertie est confondu avec le point O.

Le solide (S4), de centre d'inertie  $G_4$  et de masse  $M_4$ , est caractérisé par son opérateur d'inertie :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & B_4 & 0 \\ 0 & 0 & B_4 \end{bmatrix}_{(G_4, \vec{x}_4, \vec{y}_4, \vec{z}_1)}$$

avec  $I\vec{G}_4 = \frac{d}{2} \vec{x}_4$



**Figure 3 : Schéma cinématique simplifié du compresseur.**

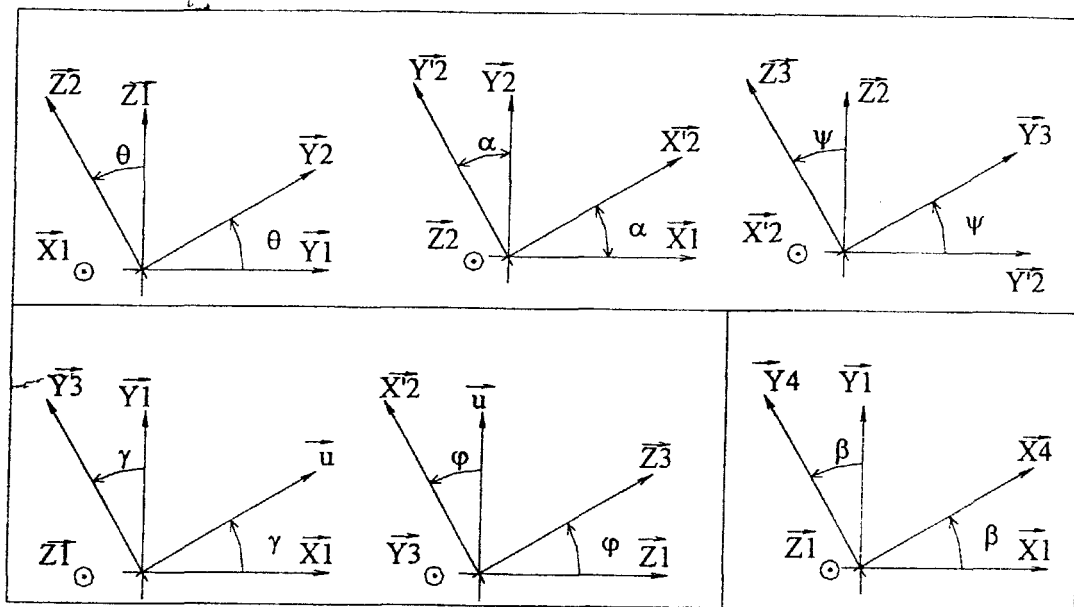


Figure 4 : Rotations planes.

### B.1) ETUDE GEOMETRIQUE ET CINEMATIQUE

B.1.1) Ecrire les équations qui découlent de la fermeture de la chaîne cinématique relative aux vecteurs positions en utilisant les points (O, K, J, I, B, O) dans la base de  $R_1$ .

B.1.2) En dérivant ces équations par rapport au temps, trouver deux relations entre les vitesses

$\dot{\lambda}$ ,  $\dot{\beta}$  et  $\dot{\gamma}$

B.1.3) En éliminant  $\dot{\beta}$ , entre ces relations donner l'expression de  $\dot{\lambda}$  en fonction de  $\dot{\gamma}$

B.1.4) Exprimer le vecteur vitesse angulaire de rotation  $\vec{\Omega}(S3/S1)$  de deux façons différentes :

B.1.4.1) en fonction de  $\dot{\varphi}$  et  $\dot{\gamma}$

B.1.4.2) en fonction de  $\dot{\psi}$  et  $\dot{\theta}$

B.1.5) En identifiant ces deux dernières relations en projection dans  $R_1$ , trouver trois relations entre les vitesses de rotation  $\dot{\varphi}$ ,  $\dot{\psi}$ ,  $\dot{\gamma}$  et  $\dot{\theta}$ .

B.1.6) En éliminant  $\dot{\varphi}$  et  $\dot{\psi}$  entre ces relations donner l'expression de  $\dot{\theta}$  en fonction de  $\dot{\gamma}$

B.1.7) En se basant sur les questions B.1.3 et B.1.6) donner la loi d'entrée sortie de ce mécanisme exprimant  $\dot{\lambda}$  en fonction de  $\dot{\theta}$

B.1.8) Donner les éléments de réduction des torseurs cinématiques suivants :

B.1.8.1)  $\{V(S2/S1)\}_O$  dans le repère  $R_2(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$

B.1.8.2)  $\{V(S3/S1)\}_O$  dans le repère  $R_3(O, \vec{X}_2, \vec{Y}_3, \vec{Z}_3)$

B.1.8.3)  $\{V(S4/S1)\}_{G_4}$  dans le repère  $R_4(I, \vec{X}_4, \vec{Y}_4, \vec{Z}_1)$

## **B.2) ETUDE ÉNERGETIQUE**

**B.2.1)** Donner les éléments de réduction des torseurs cinétiques suivants :

**B.2.1.1)**  $\{C(S2/R1)\}_O$  dans le repère  $R_2(O, \vec{X}_1, \vec{Y}_2, \vec{Z}_2)$

**B.2.1.2)**  $\{C(S3/R1)\}_O$  dans le repère  $R_3(O, \vec{X}'_2, \vec{Y}_3, \vec{Z}_3)$

**B.2.1.3)**  $\{C(S4/R1)\}_{G_4}$  dans le repère  $R_4(I, \vec{X}_4, \vec{Y}_4, \vec{Z}_1)$

**B.2.2)** Calculer l'énergie cinétique de l'ensemble  $\Sigma$  constitué des solides S2, S3 et S4 dans son mouvement par rapport au repère  $R_1$ .

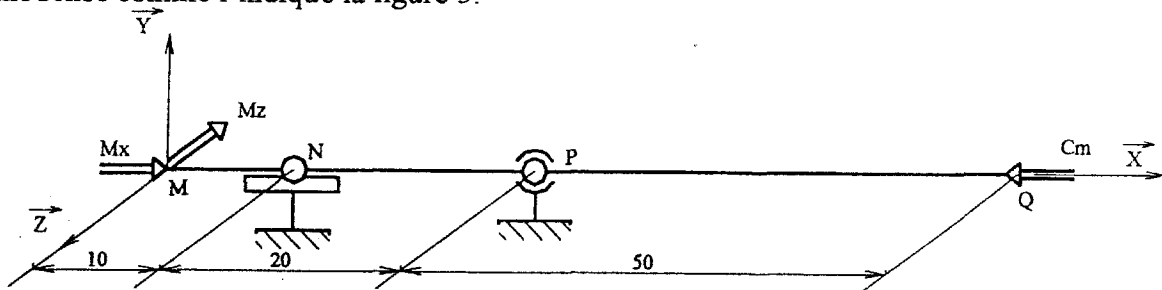
**B.2.3)** Faire le bilan des actions extérieures.

**B.2.4)** Calculer la puissance des efforts extérieurs exercés sur  $\Sigma$  au cours de son mouvement par rapport au repère  $R_1$ . On supposera qu'à un instant  $t$  trois pistons fonctionnent simultanément.

**B.2.5)** Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à l'ensemble  $\Sigma$  dans son mouvement par rapport au repère  $R_1$ , en déduire une relation entre les paramètres cinématiques, le couple moteur  $C_m$  et la pression  $p$  agissant sur chaque piston.

## **B.3) RESISTANCE DES MATERIAUX**

Une étude préliminaire a montré que le chargement en flexion et en torsion de l'arbre (23) peut être modélisé comme l'indique la figure 5.



**Figure 5 : Modélisation de l'arbre (23).**

On notera par :

- $E$ : le module d'élasticité longitudinal (module d'Young) de l'arbre.
- $I_z$ : le moment quadratique de la section droite de l'arbre par rapport à l'axe  $(G, \vec{Z})$
- $I_G$ : le moment quadratique polaire de la section droite de l'arbre.

$G$  est le centre de la section droite supposée circulaire tel que :  $\vec{MG} = x\vec{X}$

On donne :  $Mz = 6 \text{ mN}$   $Cm = 15 \text{ mN}$

**B.3.1)** Déterminer le torseur des actions mécaniques de liaison aux points N et P ainsi que  $M_x$ .

**B.3.2)** Déterminer le torseur des efforts de cohésion tout au long de la ligne moyenne de la poutre droite. En déduire les types de sollicitations pour les différentes parties de la poutre.

**B.3.3)** Tracer le diagramme des moments de flexion et de torsion tout au long de la ligne moyenne de la poutre.

**B.3.4)** Déterminer le diamètre de l'arbre :

**B.3.4.1)** à partir de la condition de résistance à la flexion :  $R_p = \sigma_{\max}(\text{adm}) = 150 \text{ MPa}$

**B.3.4.2)** à partir de la condition de résistance à la torsion :  $R_{pg} = \tau_{\max}(\text{adm}) = 80 \text{ MPa}$

**B.3.5)** On suppose que l'arbre a un diamètre  $d$  constant, établir l'équation de la déformée en flexion de la ligne moyenne en fonction de  $x$ ,  $E$  et  $I_z$ .

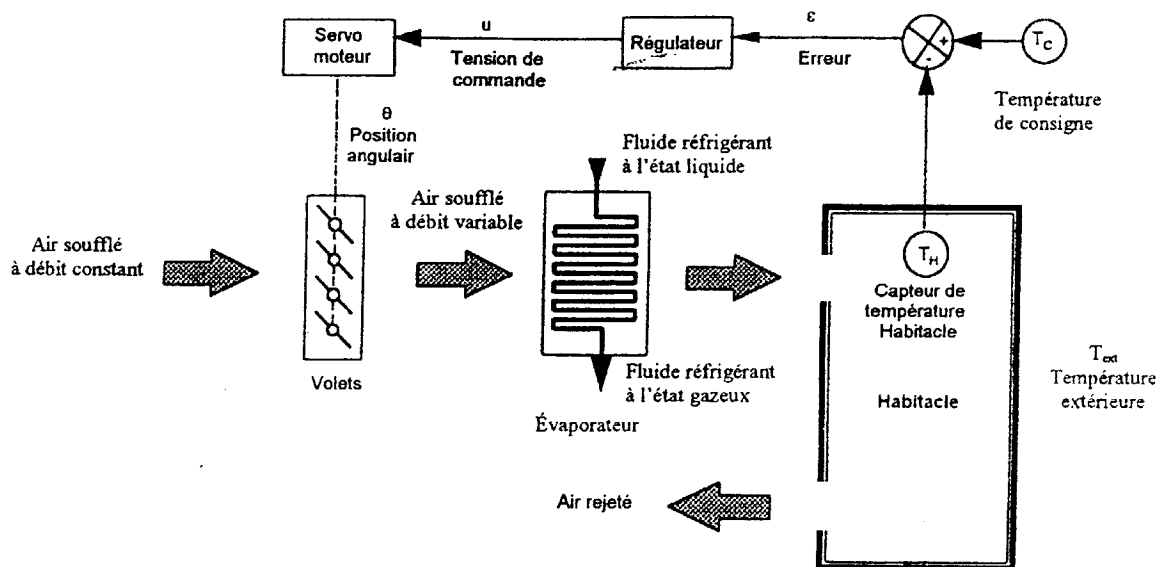
**B.3.6)** En déduire l'expression donnant la flèche au point Q.

# PARTIE C : AUTOMATIQUE

Le processus considéré dans cette partie (figure 6) est une régulation de la température de l'habitacle par variation du débit d'air. Il s'agit de maintenir une température désirée, malgré d'éventuelles perturbations, notamment la température extérieure peut varier.

Le débit d'air est contrôlé par des volets dont l'ouverture est commandée par un servomoteur à courant continu.

Le refroidissement de l'air est produit dans l'évaporateur par changement de phase du fluide réfrigérant en passant de l'état liquide à l'état gazeux.



**Figure 6 : Schéma de principe du processus de régulation de température.**

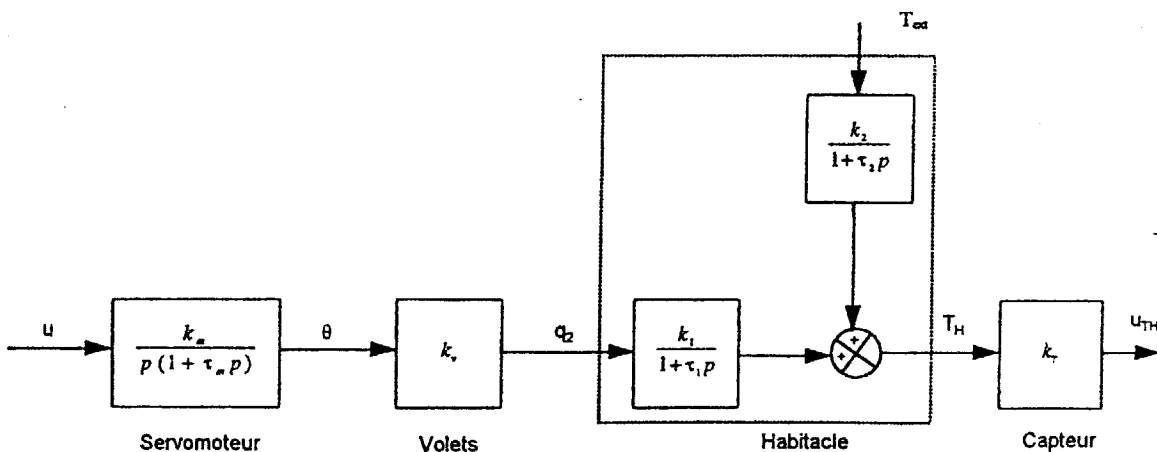
On suppose que :

la température dans l'évaporateur est constante ( $-25^{\circ}\text{C}$ ),

le débit d'air soufflé est constant,

la température de l'habitacle est mesurée par un capteur linéaire de coefficient  $k_T = 0.1 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$ .

Le modèle simplifié de ce processus est donné par le schéma fonctionnel de la figure 7.



**Figure 7 : Schéma fonctionnel simplifié du système à réguler.**

Les grandeurs caractéristiques de ce système (figure 7) sont des grandeurs relatives par rapport à un point de fonctionnement de référence. La température de référence est considérée comme la température de confort du conducteur.

- $u$  : tension appliquée au servomoteur
- $\theta$  : position angulaire des volets
- $q_2$  : débit d'air à la sortie des volets
- $T_H$  : température de l'habitacle
- $u_{TH}$  : tension de sortie du capteur de température
- $T_{ext}$  : température extérieure

### C.1) DETERMINATION DES PARAMETRES DU SYSTEME A REGULER

C.1.1) La réponse  $\theta(t)$  du servomoteur à une grandeur d'entrée  $u(t) = \delta(t)$  (impulsion de Dirac) est représentée à la figure 8 ci-dessous. Déterminer  $k_m$  et  $\tau_m$ .

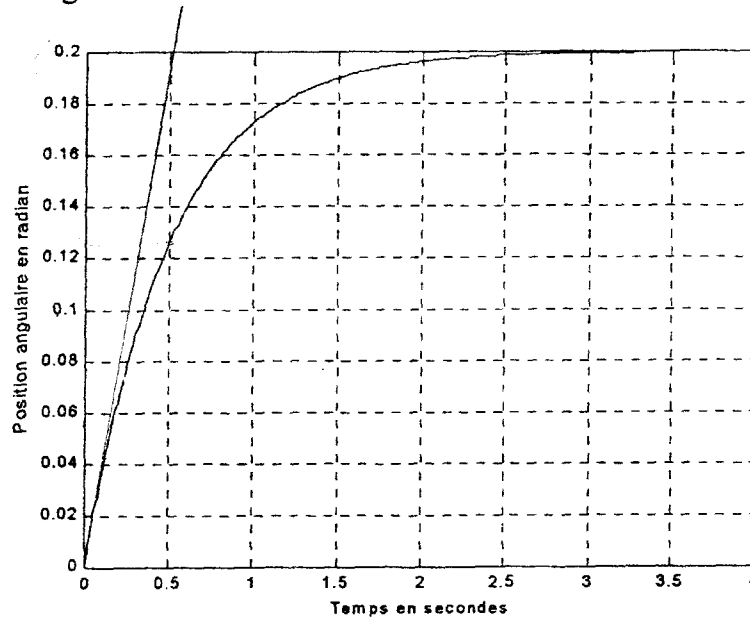


Figure 8 : Réponse impulsionnelle de la fonction de transfert  $\frac{k_m}{p(1+\tau_m p)}$

C.1.2) Le lieu de Nyquist de la fonction de transfert  $\frac{k_1}{1+\tau_1 p}$  est illustré par la figure 9 suivante.

Déterminer  $k_1$  et  $\tau_1$ .

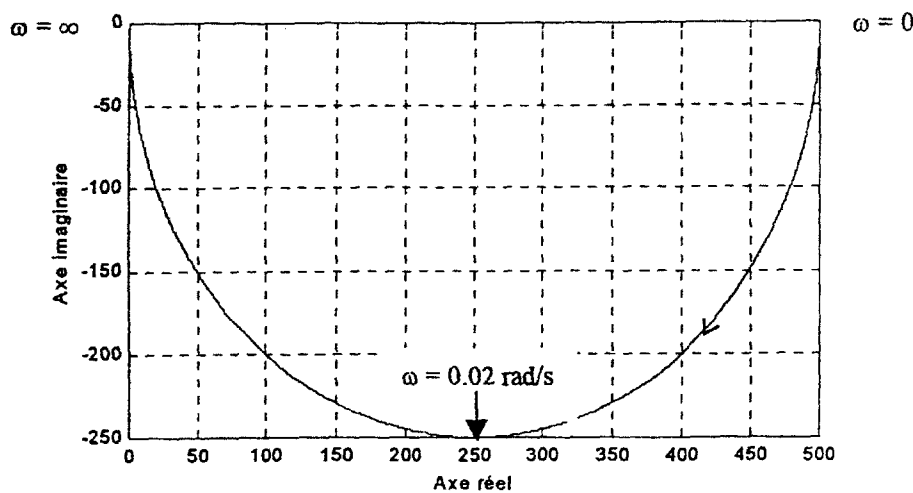


Figure 9 : Lieu de Nyquist de la fonction de transfert  $\frac{k_1}{1+\tau_1 p}$

## C.2) ETUDE DU SYSTEME BOUCLE

Le schéma fonctionnel du système en boucle fermée est donné par la figure 10.

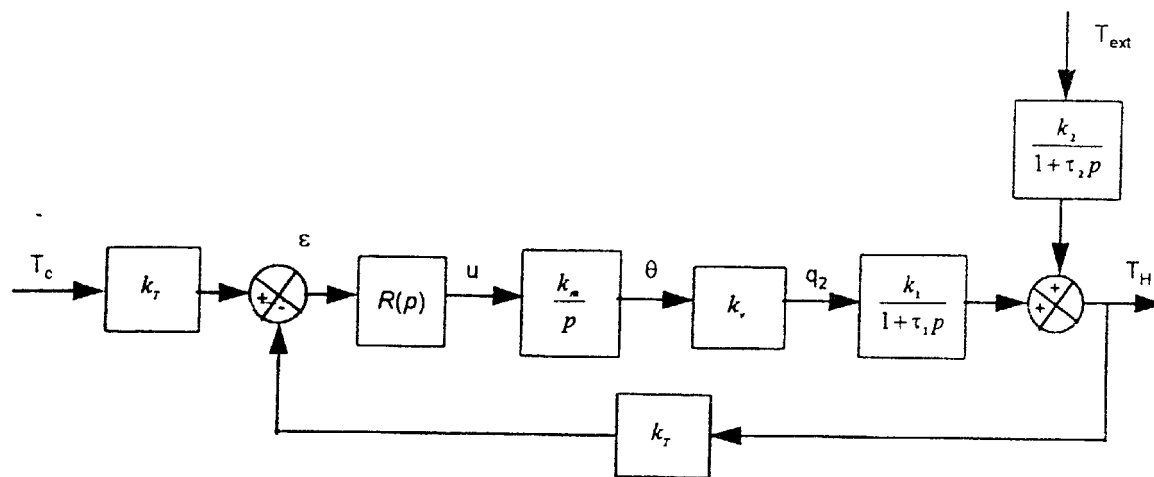


Figure 10 : Schéma fonctionnel de régulation de température

On donne :  $k_v = 0.01 \text{ (m}^3/\text{s)/rad}$ ,  $k_1 = 500 \text{ }^\circ\text{C}/(\text{m}^3/\text{s})$ ,  $k_2 = 0.5$ ,  $\tau_1 = 50 \text{ s}$  et  $\tau_2 = 600 \text{ s}$ .

Dans cette partie, on néglige la constante de temps  $\tau_m$  devant  $\tau_1$  et  $\tau_2$ .

C.2.1) Calculer l'expression de  $T_H(p)$  en fonction de  $T_c(p)$  et  $T_{\text{ext}}(p)$ .

C.2.2) On considère un régulateur proportionnel  $R(p) = k$

C.2.2.1) Pour  $T_{\text{ext}}=0$ , donner la fonction de transfert en boucle fermée  $T_H(p)/T_c(p)$ .

C.2.2.2) Donner les expressions de la pulsation propre  $\omega_0$  et du coefficient d'amortissement  $m$  en fonction des paramètres  $k$ ,  $k_T$ ,  $k_m$ ,  $k_v$ ,  $k_1$  et  $\tau_1$ . Déterminer  $k$  et  $\omega_0$  pour un coefficient d'amortissement  $m=0.5$ .

C.2.2.3) Dans ce qui suit (pour les questions C.2.2.3, C.2.2.4 et C.2.2.5) on considère que  $T_c=0$ , calculer l'erreur statique  $\varepsilon(\infty)$  pour une grandeur  $T_{\text{ext}}$  en rampe unitaire. En déduire l'expression de  $T_H$  en régime permanent.

C.2.2.4) Pour la valeur de  $k$  trouvée dans la question C.2.2.2, donner la valeur de l'erreur statique et la température dans l'habitable  $T_H$  en régime permanent.

C.2.2.5) Déterminer les nouvelles valeurs de  $k$  pour que  $|\varepsilon(\infty)| \leq 20\%$ . Déduire les nouvelles valeurs du coefficient d'amortissement et de la pulsation propre. Conclure.

C.2.3) On considère un régulateur proportionnel intégral  $R(p) = k_a + \frac{k_i}{p}$

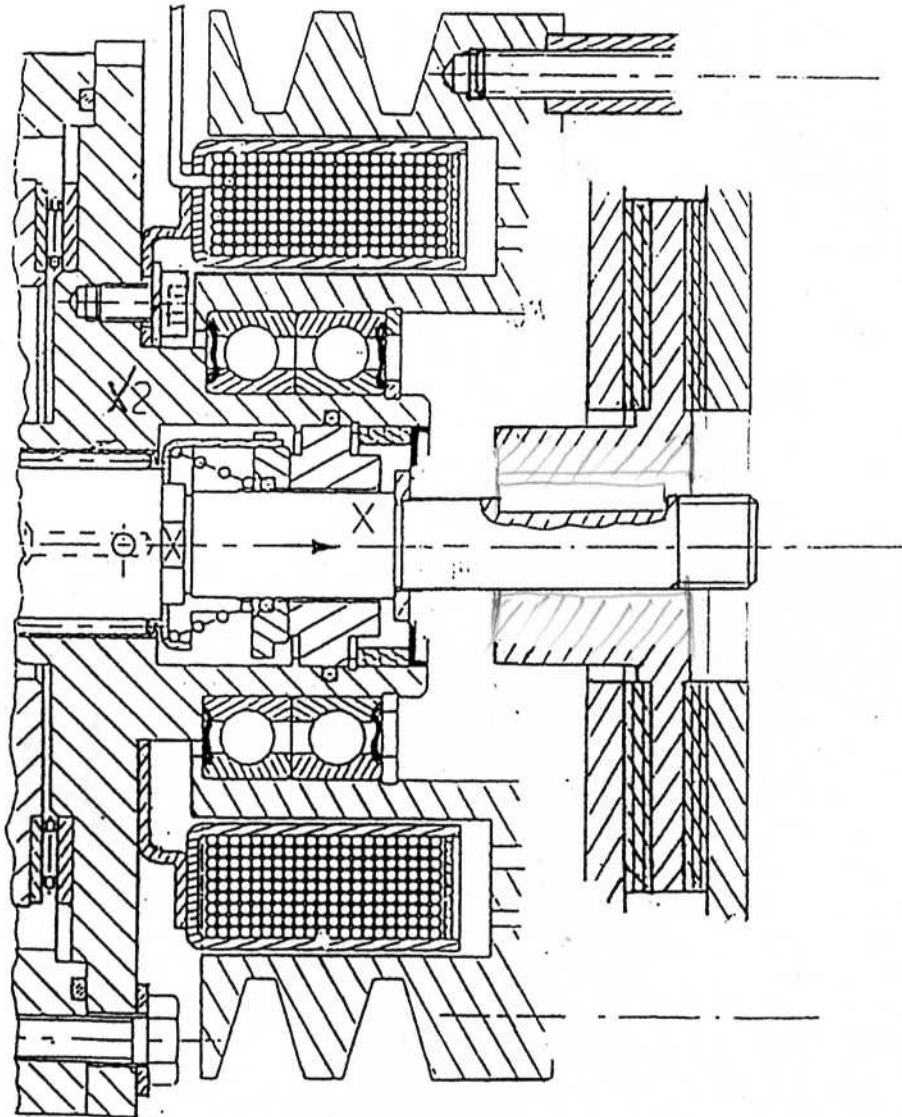
C.2.3.1) Étudier la stabilité du système en boucle fermée en fonction de  $k_a$  et  $k_i$ . En déduire le domaine de stabilité dans le plan  $k_a = f(k_i)$ .


C.2.3.2) Pour  $T_c=0$ , calculer l'erreur statique pour une grandeur  $T_{\text{ext}}$  en rampe unitaire. En déduire la valeur de  $T_H$  en régime permanent.

C.2.3.3) Choisir le régulateur le plus approprié entre  $R(p)=k$  et  $R(p)=k_a + \frac{k_i}{p}$ , justifier votre choix.

Nom : ..... Prénom : .....

Identification :       Série :



Ministère de l'Enseignement Supérieur		Document 2
Concours Technologie : Epreuve STI		
	<b>EMBRAYAGE</b>	Date: 11 juin 2001
Ech 1:1		