



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

Campagne 2009

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR

TECHNIQUES PHYSIQUES POUR L'INDUSTRIE ET LE LABORATOIRE

SCIENCES PHYSIQUES

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Le matériel autorisé comprend toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante.

- *Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.*
- *Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.*

PARTIE MÉCANIQUE, THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE (durée conseillée 1 h 15 min)**ÉTUDE D'UNE POMPE À CHALEUR**

On utilise une pompe à chaleur pour le chauffage d'une maison individuelle. La pompe échange de l'énergie avec l'air extérieur et chauffe l'eau qui circule en circuit fermé dans des serpentins encastrés sous le plancher chauffant.

Partie 1 :

Sur la documentation technique de la pompe à chaleur on lit :

- Puissance de chauffage : $P_{1th} = 13,1$ kW.
- Puissance électrique : $P_{2e} = 3,6$ kW.

- 1.1** - Expliquer, à l'aide d'un schéma, les échanges d'énergie intervenant dans le fonctionnement de cette pompe à chaleur ditherme. Préciser quelles sont la source chaude et la source froide.
- 1.2** - Exprimer l'efficacité (ou coefficient de performance) de la pompe à chaleur et la calculer numériquement.
- 1.3** - Faire un bilan d'énergie de cette pompe. En déduire la quantité de chaleur Q qu'elle échange par seconde avec l'air extérieur de la maison. Interpréter le signe du résultat.
- 1.4** - L'énergie thermique est transmise à l'eau du circuit de chauffage par l'intermédiaire d'un échangeur thermique.
Le débit dans le circuit d'eau est $D_v = 1,4$ m³.h⁻¹.
Sachant que l'eau pénètre dans l'échangeur à la température de $\theta_e = 22^\circ\text{C}$, donner l'expression de sa température θ_s à la sortie de l'échangeur et la calculer.
On prendra la capacité thermique massique de l'eau $c = 4,18$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹ et la masse volumique de l'eau $\rho = 1000$ kg.m⁻³.
- 1.5** - Le diamètre intérieur des tuyaux du circuit de chauffage dans le sol est $d = 18$ mm. Donner l'expression de la vitesse de l'eau dans les tuyaux et la calculer.

Partie 2 :

Le fluide frigorigène de la pompe à chaleur est du R410 A. Il décrit le cycle représenté sur la figure 1. Sur le diagramme enthalpique du R410A (diagramme enthalpie-pression) est représenté le cycle thermodynamique du fluide dans la pompe à chaleur (figure 2)

- 2.1** - Placer les points 1, 2, 3 et 4 sur le diagramme enthalpique sachant que la détente est isenthalpique et indiquer dans quel état (liquide ou gaz) se trouve le fluide aux différents points du cycle.
- 2.2** - Étude générale d'une transformation isobare.
 - 2.2.1** - Donner l'expression du travail W reçu par un système subissant une transformation isobare (à la pression p_0) du volume V_i au volume V_f .
 - 2.2.2** - En appliquant le premier principe de la thermodynamique, donner l'expression de la variation d'énergie interne du système au cours de cette transformation en fonction de W et de Q la quantité de chaleur échangée.
 - 2.2.3** -
 - 2.2.3.1** - Donner l'expression de sa variation d'enthalpie.
 - 2.2.3.2** - En déduire qu'elle s'exprime simplement en fonction de la quantité de chaleur Q échangée.
 - 2.2.4** - Montrer qu'elle s'exprime simplement en fonction de la quantité de chaleur Q échangée.
- 2.3** - À l'aide des valeurs notées sur le diagramme enthalpique du cycle en déduire la quantité de chaleur échangée par 1 kg de fluide dans le condenseur. Interpréter le signe du résultat.
- 2.4** - En supposant qu'il n'y a pas de pertes de chaleur dans l'échangeur fluide ↔ eau du circuit, en déduire l'expression du débit massique du fluide R410A dans la pompe à chaleur. Donner sa valeur numérique en utilisant les caractéristiques techniques de la pompe à chaleur.

ANNEXE

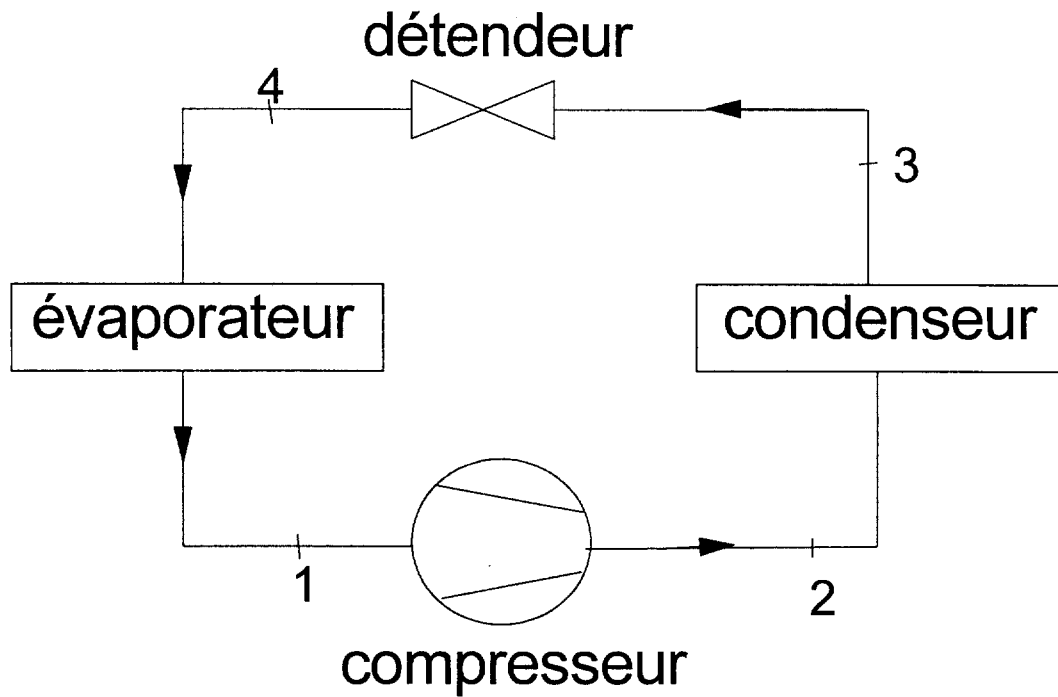


Figure 1

DANS CE CADRE

Académie : _____ Session : _____
Examen ou Concours _____ Série* : _____
Spécialité/option* : _____ Repère de l'épreuve : _____
Épreuve/sous-épreuve : _____
NOM : _____
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)
Prénoms : _____ N° du candidat
Né(e) le : _____
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

* Uniquement s'il s'agit d'un examen.

NE RIEN ÉCRIRE

Repère : TPSP

Session : 2009

Durée : 4 H

Page : 3/8

Coefficient : 4

DOCUMENT RÉPONSE (à rendre obligatoirement avec la copie)

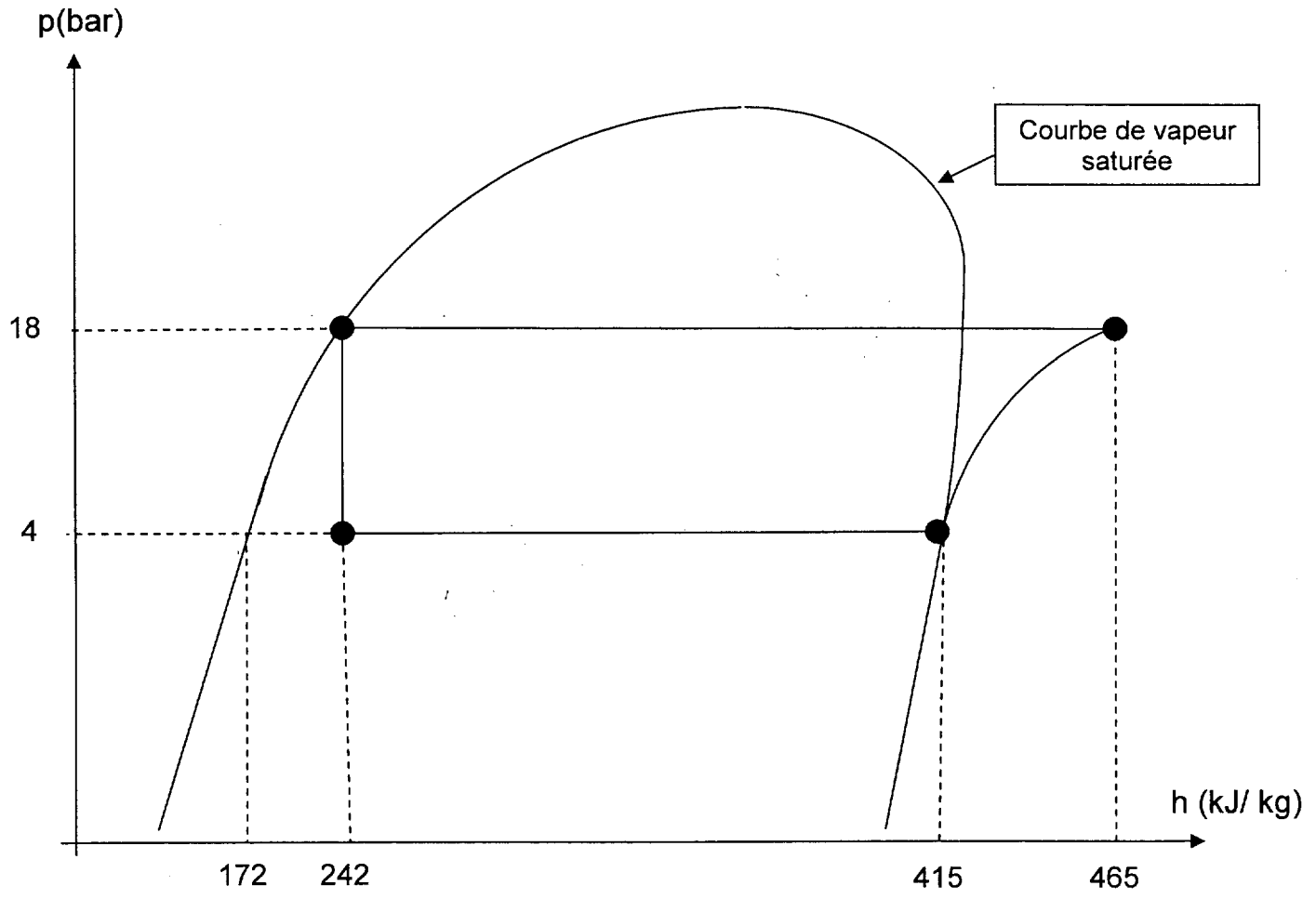


Figure 2

C.R.D.P.
75, cours Alsace et Lorraine
33075 BORDEAUX CEDEX
Tél. : 05 56 01 56 70

PARTIE ÉLECTRICITÉ (durée conseillée 1 h 30)

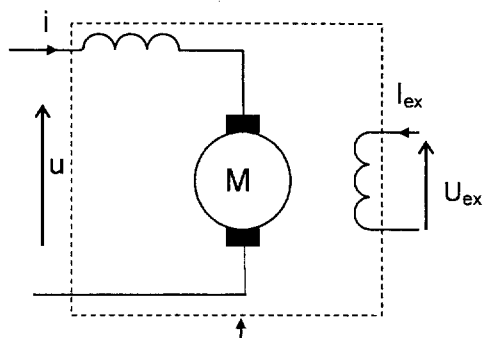
ASSOCIATION D'UN MOTEUR À COURANT CONTINU AVEC UN HACHEUR

Cet exercice est composé de 3 parties indépendantes.

Il est cependant conseillé au candidat de les traiter dans l'ordre.

Le document réponse (même vierge) doit être joint impérativement à la copie.

On considère le fonctionnement d'un moteur à courant continu à excitation séparée dont le schéma est donné ci-contre :



u : tension d'alimentation de l'induit.

i : intensité du courant dans l'induit.

n : vitesse de rotation du moteur en tours par minute.

$R = 0,10 \Omega$: résistance d'induit du moteur

Moteur et son inductance de lissage

La plaque signalétique fournit les caractéristiques nominales du moteur.

$U_N = 120 \text{ V}$	tension d'induit nominale
$I_N = 100 \text{ A}$	intensité nominale du courant dans l'induit
$U_{exN} = 108 \text{ V}$	tension d'excitation nominale
$I_{exN} = 1,5 \text{ A}$	intensité nominale du courant dans l'inducteur
$N_N = 6500 \text{ tr/min}$	vitesse de rotation nominale
$P_{uN} = 11 \text{ kW}$	puissance utile nominale

Dans cet exercice on conservera toujours $U_{ex} = U_{exN} = 108 \text{ V}$ et $I_{ex} = I_{exN} = 1,5 \text{ A}$.

Partie 1 : Exploitation de la plaque signalétique

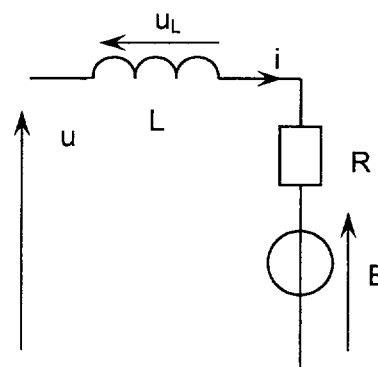
- 1.1 - Calculer P_{absN} la puissance électrique totale absorbée par le moteur au point de fonctionnement nominal.
- 1.2 - Calculer le rendement du moteur η_N au point de fonctionnement nominal.
- 1.3 - Calculer le moment du couple utile C_{uN} du moteur au point de fonctionnement nominal.

Partie 2 : Détermination de la constante k_e

On rappelle le schéma équivalent de l'induit du moteur en série avec son inductance de lissage :

On rappelle que la fem $E = k_e \cdot n$.

k_e est la constante de fem du moteur.



2.1 - Exprimer u en fonction de i , L , E et R .

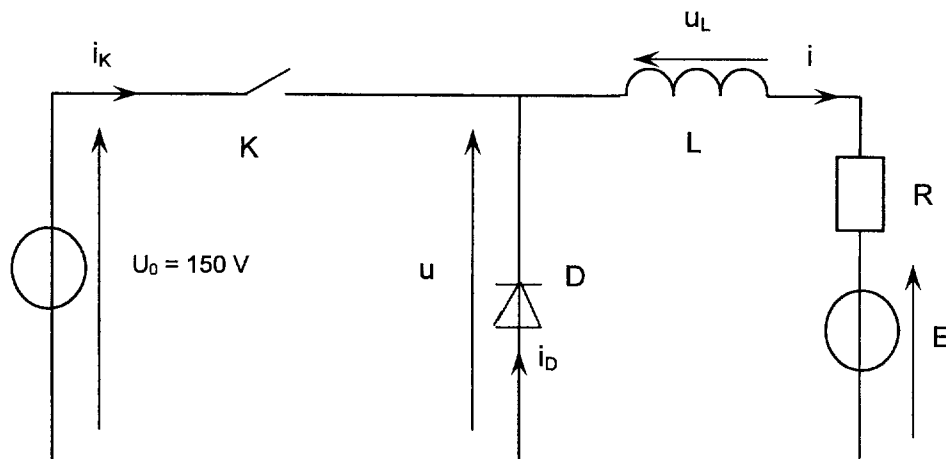
2.2 - En régime permanent l'intensité i est constante.

Que devient l'expression du 2.1 en régime permanent ?

2.3 - À partir des caractéristiques nominales, exprimer k_e en fonction de U_N , I_N , N_N et R .

2.4 - Calculer k_e . On précisera son unité.

Partie 3 : Moteur alimenté par un hacheur



K est un interrupteur commandé supposé parfait.

- Si K est fermé (K ON) alors il est équivalent à un court-circuit.
- Si K est ouvert (K OFF) alors il est équivalent à un circuit ouvert.

D est une diode supposée parfaite :

- Si D est passante, alors elle est équivalente à un court-circuit.
- Si D est bloquée, alors elle est équivalente à un circuit ouvert.

K est commandé périodiquement avec la période de hachage T_1 et le rapport cyclique α .

- pour $t \in [0 ; \alpha.T_1]$ K ON et D bloquée.
- pour $t \in [\alpha.T_1 ; T_1]$ K OFF et D passante.

On notera f_1 la fréquence de hachage.

3.1 - Quel est le rôle de la diode D ?

3.2 - Représenter sur votre copie l'allure de $u(t)$.

On prendra $f_1 = 400$ Hz et $\alpha = 0,3$.

On représentera 2 périodes.

abscisses : 0,5 ms pour 1 cm ; ordonnées : 50 V pour 1 cm.

3.3 - Exprimer la valeur moyenne $\langle u \rangle$ de u en fonction de α et U_0 .

3.4 - Calculer $\langle u \rangle$ pour $\alpha = 0,3$ et $U_0 = 150$ V.

3.5 - On rappelle que $\langle u_L \rangle = 0$. Déterminer $\langle n \rangle$ en fonction de α , U_0 , R , $\langle i \rangle$ et k_e .

Partie 4 : Intérêt du hacheur – transmittance du moteur

La vitesse de rotation $n(t)$ est liée à $u(t)$ par l'équation différentielle suivante :

$$n + \tau \frac{dn}{dt} = \lambda \cdot u \quad \text{avec } \tau = 6 \text{ s et } \lambda = 57 \text{ tr.min}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}.$$

4.1 - Transmittance isomorphe

On note $U(p)$ la transformée de Laplace de $u(t)$, $N(p)$ la transformée de Laplace de $n(t)$. On pourra considérer que si $F(p)$ est la transformée de Laplace de $f(t)$, alors $p \cdot F(p)$ est la transformée de

Laplace de $\frac{df(t)}{dt}$.

À partir de l'équation différentielle précédente déterminer $T(p) = \frac{N(p)}{U(p)}$ la transmittance du système dont l'entrée est $u(t)$ et la sortie $n(t)$.

4.2 - On souhaite caractériser la réponse fréquentielle du système.

4.2.1 - Déduire de $T(p)$ que la transmittance en régime sinusoïdal s'écrit :

$$\underline{T} = \frac{\underline{N}}{\underline{U}} = \frac{\lambda}{1 + j \frac{f}{f_0}} \text{ avec } f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \tau}.$$

4.2.2 - Calculer f_0 .

4.2.3 - Exprimer T , le module de \underline{T} .

4.2.4 - Calculer T pour $f = 0$, $f = f_1 = 400$ Hz, $f = 3 \cdot f_1$ et $f \rightarrow \infty$.

4.2.5 - À quel type de filtre peut-on assimiler le système ?

4.3 - La tension $u(t)$ est fournie par le hacheur avec $\alpha = 0,5$.

Sa décomposition en série de Fourier, limitée aux premiers termes, est la suivante :

$$u(t) = \alpha \cdot U_0 + U_1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) + \frac{U_1}{3} \cdot \sin(6 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) \text{ avec } f_1 = 400 \text{ Hz et } U_1 = 95 \text{ V.}$$

4.3.1 - En déduire l'expression de $n(t)$. Calculer $n(t)$ pour $\alpha = 0,5$ et $U_0 = 150$ V.

4.3.2 - Conclure sur l'intérêt de l'utilisation d'un hacheur.

PARTIE OPTIQUE (durée conseillée 1 h 15 min)

ÉTUDE D'UN LASER

Les 4 parties peuvent être abordées indépendamment.

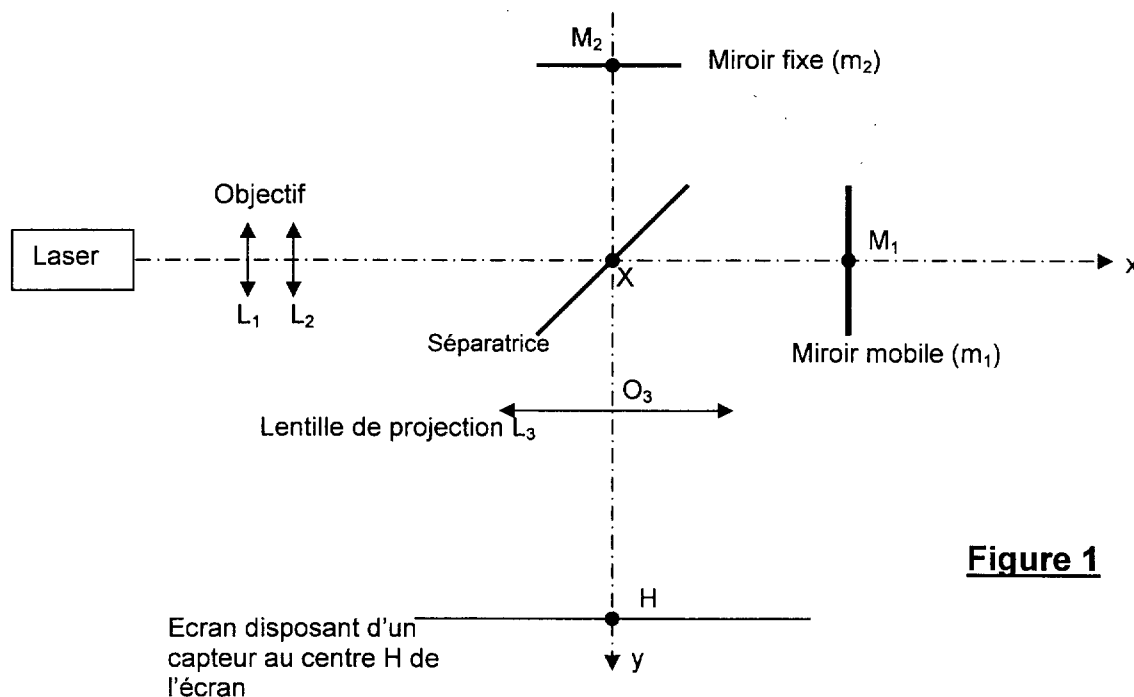
Ce problème se propose d'étudier deux montages, le premier permet de mesurer la longueur d'onde d'un laser de deux manières différentes à l'aide d'un interféromètre de Michelson, le second montage permet d'atténuer la puissance optique du laser.

Partie 1 : Étude des systèmes optiques environnant le Michelson

- 1.1 - Objectif : l'objectif permettant « d'ouvrir » le faisceau laser dans l'expérience de la partie 2 est un doublet de lentilles minces (L_1 , L_2), distantes de $e = 5,0$ cm et de distances focales images respectives $f'_1 = f'_2 = 10,0$ cm. Calculer la distance focale image f' du doublet.
- 1.2 - Lentille de projection : la lentille de projection (L_3) est une lentille mince équiconvexe, de distance focale image $f'_3 = 50,0$ cm. L'indice du verre vaut $n = 1,523$; que vaut le rayon de courbure R des deux dioptries sphériques de la lentille ?

Partie 2 : Mesure de la longueur d'onde du laser par interférences d'égale inclinaison

L'interféromètre de Michelson est réglé de façon à ce que le miroir (m_1) soit rigoureusement orthogonal à l'axe Ox , et le miroir (m_2) rigoureusement orthogonal à l'axe Oy , c'est-à-dire en « lame à faces parallèles » (Figure 1). La distance entre le centre X de la séparatrice et le centre O_3 de la lentille de projection L_3 vaut $XO_3 = 40$ cm. Le point M_1 est le centre du miroir (m_1), le point M_2 celui du miroir (m_2), la distance XM_2 vaut $20,0000$ cm, la distance XM_1 vaut $20,0700$ cm.

**Figure 1**

2.1 - Quelle est l'aspect des interférences observées avec ce réglage de l'interféromètre de Michelson ?

2.2 -

2.2.1 - Exprimer puis calculer la différence de marche δ entre les trajets optiques des deux rayons passant par les centres M_1 et M_2 des deux miroirs et interférant au centre H du capteur, en fonction de l'écart $e = (XM_1 - XM_2)$. On négligera l'éventuel déphasage à la réflexion sur la séparatrice.

2.2.2 - En déduire le déphasage entre les deux ondes.

2.3 - Les interférences étant constructives, on déplace le miroir mobile (m_1) de $\Delta e = 5,33 \cdot 10^{-5}$ m, le capteur situé au centre H de l'écran voit défiler $N = 200$ périodes de l'éclairement, les interférences sont alors de nouveau constructives.

2.3.1 - Quelle est la longueur d'onde λ du laser ?

2.3.2 - Quelle est sa couleur ?

Partie 3 : Mesure de la longueur d'onde du laser par interférences d'égale épaisseur

Le Michelson (figure 1) est maintenant réglé en « coin d'air », c'est-à-dire que le miroir (m_1) fait un petit angle α avec le plan orthogonal à l'axe Ox, le miroir (m_2) restant orthogonal à l'axe Oy ; le miroir mobile (m_1) est placé de façon à ce que la distance XM_2 soit égale à la distance XM_1 : $XM_1 = XM_2 = 20,0000$ cm. L'objectif (L_1, L_2) est remplacé par un élargisseur afocal de façon à éclairer l'interféromètre en lumière parallèle. La distance entre le centre de la séparatrice X et le centre O_3 de la lentille de projection L_3 vaut 40 cm.

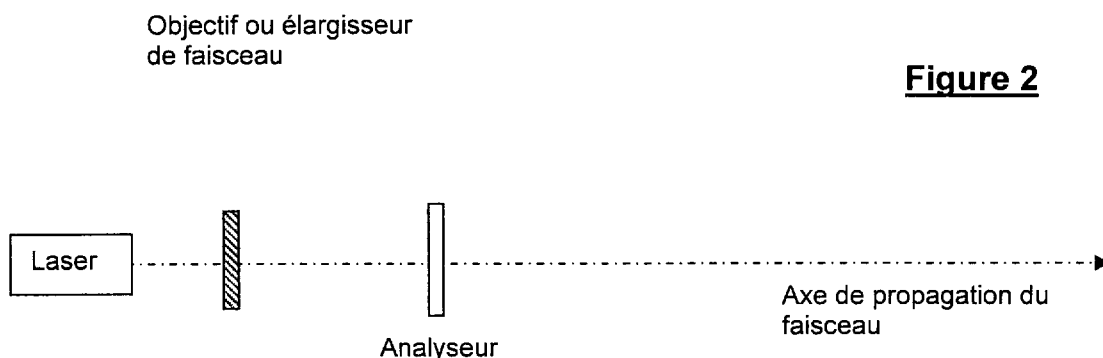
3.1 - Quelle est l'aspect des interférences observées avec ce réglage de l'interféromètre de Michelson ?

3.2 - On mesure sur l'écran un interfrange i de 1,01 cm pour ce laser. On refait l'expérience en le remplaçant par un laser étalon He-Ne de longueur d'onde $\lambda_0 = 632,8$ nm ; toutes choses égales par ailleurs, on mesure alors un interfrange i_0 de 1,20 cm. En déduire la valeur de la longueur d'onde λ du laser étudié, sachant que l'interfrange est proportionnel à la longueur d'onde. Comparer à la valeur trouvée à la question 2.3.

Partie 4 : Atténuation de la puissance du faisceau laser

Le faisceau laser sera considéré comme polarisé rectilignement. L'atténuation se fait à l'aide d'un analyseur orthogonal à l'axe de propagation du faisceau laser (Figure 2).

Le réglage initial sera fait de façon à ce que l'éclairement transmis E_t soit maximal. On mesure $E_{t_{\max}} = 45$ W.cm⁻².



4.1 - Énoncer la loi de Malus.

4.2 - L'analyseur pivote autour de l'axe de propagation du faisceau laser de 30° que vaut E_t ?

4.3 - L'analyseur pivote autour de l'axe de propagation du faisceau laser de 90° que vaut E_t ?