

SYSTÈMES DE DÉFLEXION D'UN FAISCEAU LASER

U51. ANALYSE FONCTIONNELLE DES SYSTÈMES

1.1. Éléments à votre disposition

1.1.1. Matériel

Voir *cadre 1*.

1.1.2. Documentation

Voir *cadre 2*.

1.1.3. Logiciels

Voir *cadre 3*.

1.2. Objectif du T.P.

On souhaite faire une étude comparative de deux systèmes de déflexion de faisceau laser les plus utilisés :

- Le déflecteur galvanométrique (ou boîte à images) utilisant des miroirs vibrants ;
- Le déflecteur acousto-optique utilisant des cristaux optiques.

On étudiera successivement les différentes fonctions et principes utilisés, on mettra en œuvre les deux systèmes et on comparera leurs performances. On fera, sous *SolidWorks*, la conception d'un support de déflecteur.

1.3. Travail demandé

1.3.1. SADT

Par la méthode SADT, développer le niveau A0 de l'analyse fonctionnelle donnée *cadre 4*. Compléter le *cadre 9*.

1.3.2. Étude des principes mis en œuvre

1.3.2.1. Déflecteur acousto-optique : Réseau

La lumière issue du laser est déviée (diffractée) par un réseau de phase inscrit dans le cristal dont le pas (période spatiale) est variable. Un faisceau acoustique de fréquence N variable parcourt le cristal à vitesse v = 650 m/s. Il y crée un réseau de phase de pas $\Lambda = v/N$.

Le réseau diffracte alors la lumière incidente (angle d'incidence i constant). A l'ordre 1, la direction θ de diffraction est donnée par la loi des réseaux :

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{\Lambda} - \sin i$$

Ici θ est faible ; on a donc :

$$\theta \approx \frac{\lambda N}{v} - \sin i$$

Dans chacune des cellules, on fait varier la fréquence acoustique N entre 100 et 160 MHz. Identifier les paramètres constants et les variables. Différencier la relation. Quel est, sur un écran situé à D = 4,3 m, le déplacement du spot laser ($\lambda = 0,633 \mu\text{m}$) obtenu sur chacun des axes ?

Liste du matériel
Déflecteur acousto-optique et support 6 axes
Coffret élect. d'alimentation
Laser He - Ne Spectra Physics
Déflecteur à miroirs galvanométriques
Oscilloscope analogique (éventuellement)
Fréquencemètre
Puissancemètre
Diaphragme à iris
Séparatrice
Miroir de renvoi
Éléments électriques et mécaniques de liaison
Maquette électronique
Micro-ordinateur
Carte N/A Eurosmart installée dans micro-ordinateur
Imprimante

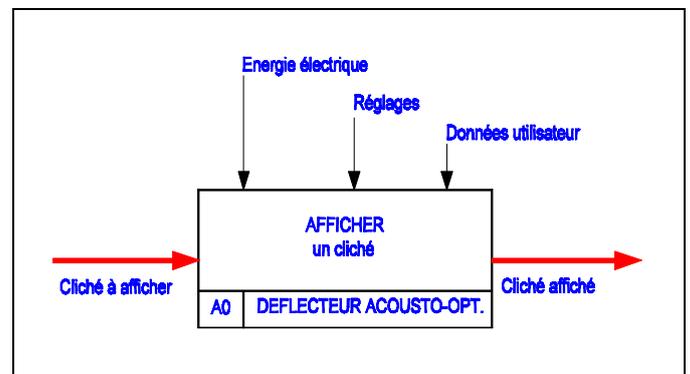
cadre 1.

Liste de la documentation
Dossier technique

cadre 2.

Liste des logiciels
Deflec
AcousMeteor
AutoCAD LT
SolidWorks
Excel

cadre 3.



cadre 4 : Analyse descendante niveau A-0.

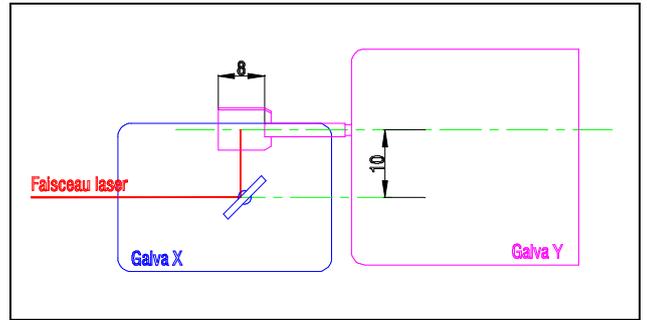
S.T.S. GÉNIE OPTIQUE – OPTION PHOTONIQUE Lycée Jean Mermoz – 68300 Saint-Louis – www.lyceemermoz.com		
	MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈME U51 – ANALYSE FONCTIONNELLE	Durée : 2 H Version : 28/09/2007 Page : 1/4

1.3.2.2. Déflecteur acousto-optique : Convertisseur tension-fréquence

- Le schéma fonctionnel de la fonction A1 : VCO est donné *cadre 11*. Préciser, en les encadrant *cadre 10*, l'emplacement des 3 fonctions A1-1, A1-2, A1-3.
- Quel est le rôle de la fonction « Commander » (A1-3) ? Comment y parvient-on ?

1.3.2.3. Déflecteur galvanométrique

Voir le schéma *cadre 5*. La rotation des miroirs est de 0,80° pour une variation de tension de 1 V appliquée à la carte de commande.



cadre 5.

On fait varier la tension dans l'intervalle [-5 V, 5 V]. Quel est, sur un écran situé à 4,3 m, le déplacement du spot laser obtenu ?

La résolution de la carte N/A Eurosmart installée dans l'ordinateur est de 12 bits. Quel est l'angle de rotation minimal du miroir pouvant être commandé ?

Remarque :

Avec une résolution de 12 bits et une plage de 10 V, la plus petite variation de tension que l'on peut produire est de :

$$\Delta U = \frac{10}{2^{12}} = 2.44 \text{ mV}$$

D'après les caractéristiques données *cadre 6*, calculer la vitesse angulaire α' en rad.s^{-1} du moteur lorsque celui-ci tourne à vitesse constante.

Remarque :

Nous savons que : $\alpha = \alpha' t$.

On suppose que, dans les phases d'accélération et de décélération, l'accélération α'' est constante. Calculer sa valeur en rad.s^{-2} .

Remarque :

Nous savons que : $\alpha = \frac{\alpha'' t^2}{2}$.

Le temps de conversion de la carte N/A est de 15 μs . L'adressage d'un point du cliché nécessite 2 conversions (Une pour la tension du moteur X, une pour le moteur Y).

Calculer le nombre de points maxi N d'un cliché pour celui-ci nous apparaisse sans clignotement.

Remarque :

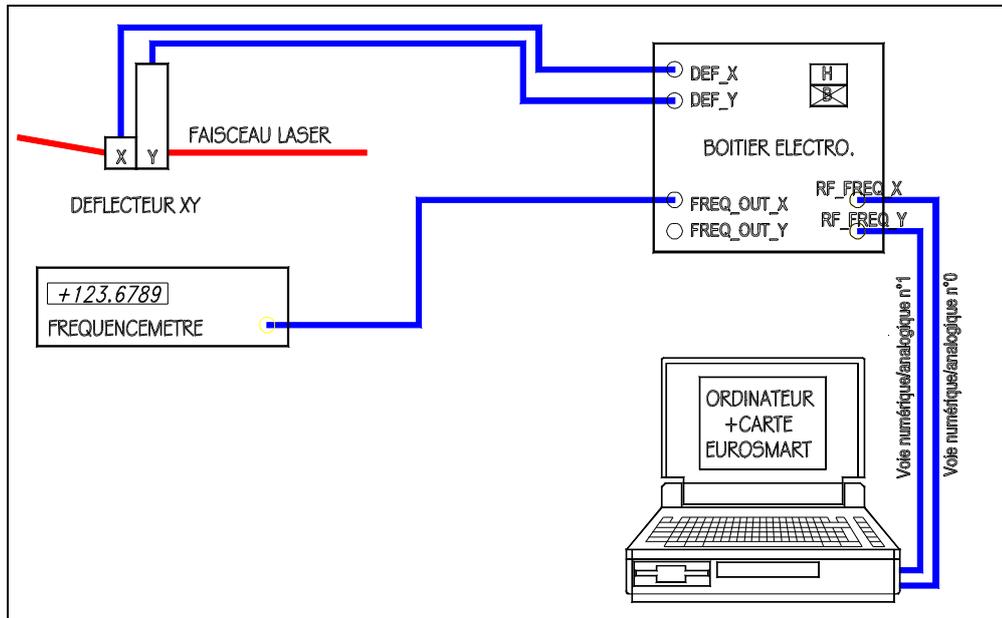
Nous savons que la persistance rétinienne est de 25 images par seconde.

DÉFLECTEUR ACOUSTO-OPTIQUE	
Modèle AA.DTS.XY100	
<u>Spécifications</u>	<u>Caractéristiques</u>
Matériau :	TeO2
Mode :	shear
Vitesse acoustique :	620-670 m/s
Transducteur :	LiNbO3
Résolution :	100 x 100 points
Ouverture :	Ø1,7 mm
Temps d'accès :	2 μs
Efficacité diffraction :	40%
Déflexion angulaire :	40 mrd
Transmission :	98%
Polarisation :	linéaire
Long. d'onde optimale :	633 nm
Puis. nom. commande :	2 x 1 W
Impédance d'entrée :	50 Ω
Dimensions :	70 x 62 x 45
Masse :	225 g

cadre 7 : Caractéristiques du déflecteur acousto-optique.

DÉFLECTEUR GALVANOMÉTRIQUE	
Scanner G120D	
<u>Spécifications</u>	<u>Caractéristiques</u>
Plage angulaire :	40°
Durée pour rot. de 1° :	0,50 ms
<u>Décomposition</u> :	
- Durée phase accélération :	0,25 ms (ang = 0,5°)
- Durée phase décélération :	0,25 ms (0,5°)
Durée pour rot. de 20° :	5,25 ms
<u>Décomposition</u> :	
- Durée phase accélération :	0,25 ms (0,5°)
- Durée phase à vitesse constante :	4,75 ms (19°)
- Durée phase de décélération :	0,25 ms (0,5°)

cadre 6 : Caractéristiques des moteurs G120D.



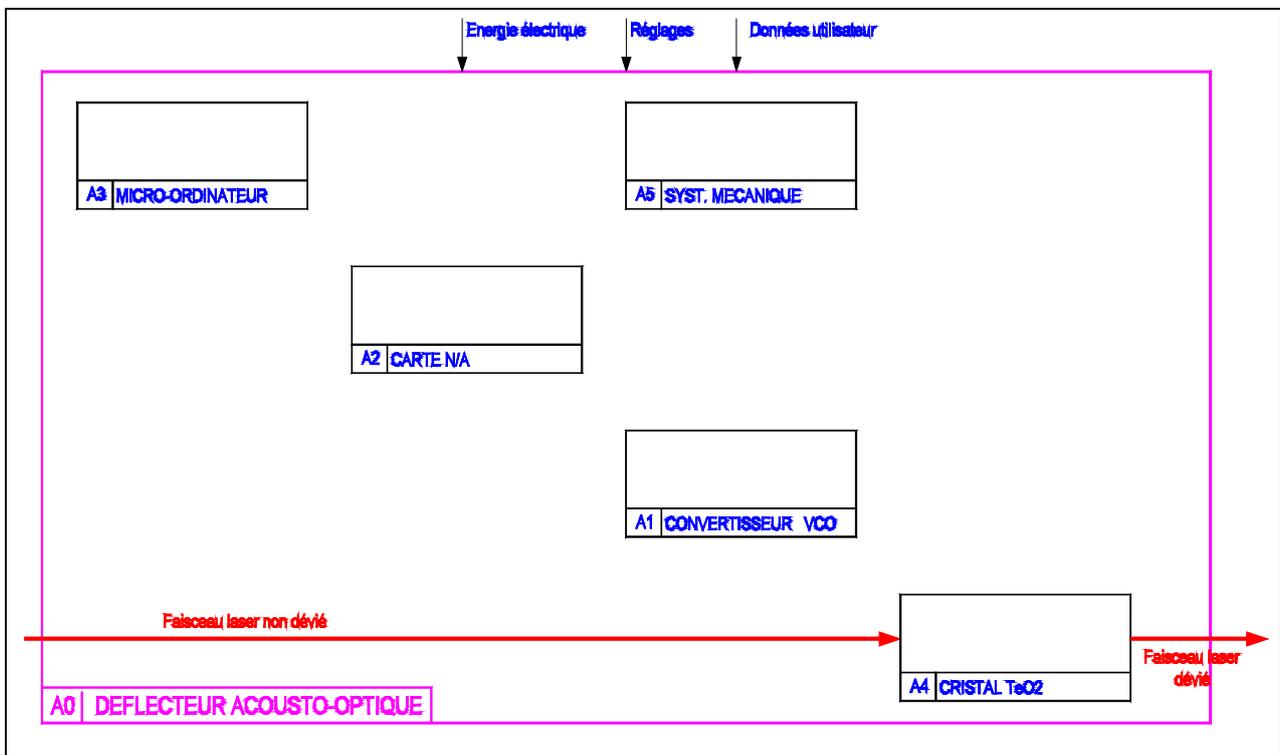
cadre 8 : Schéma de câblage en pilotage fréquence XY.

On suppose le cliché à afficher constitué de $N = 1333$ points.

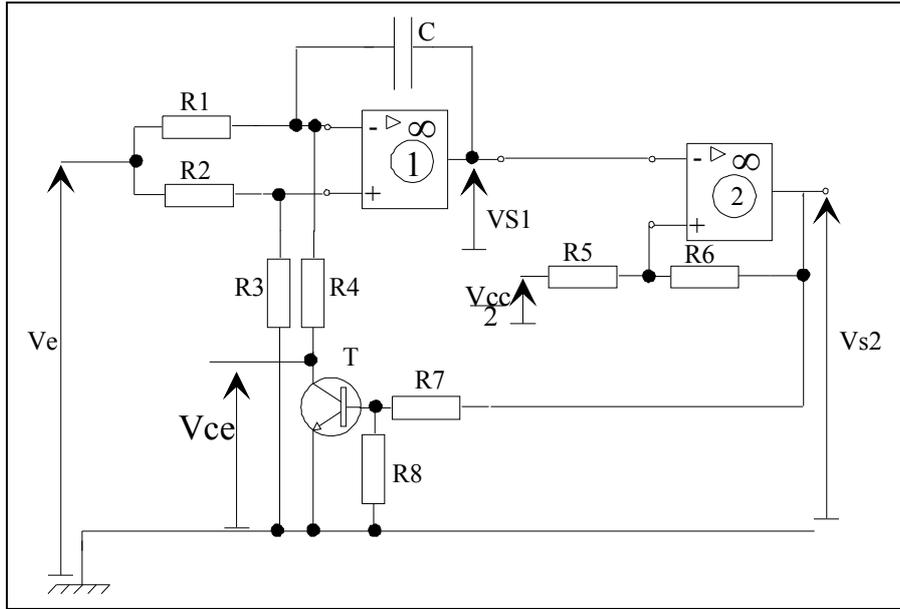
Dans une phase de décélération, combien de points faut-il pour ne pas dépasser α'' ?

Remarque :

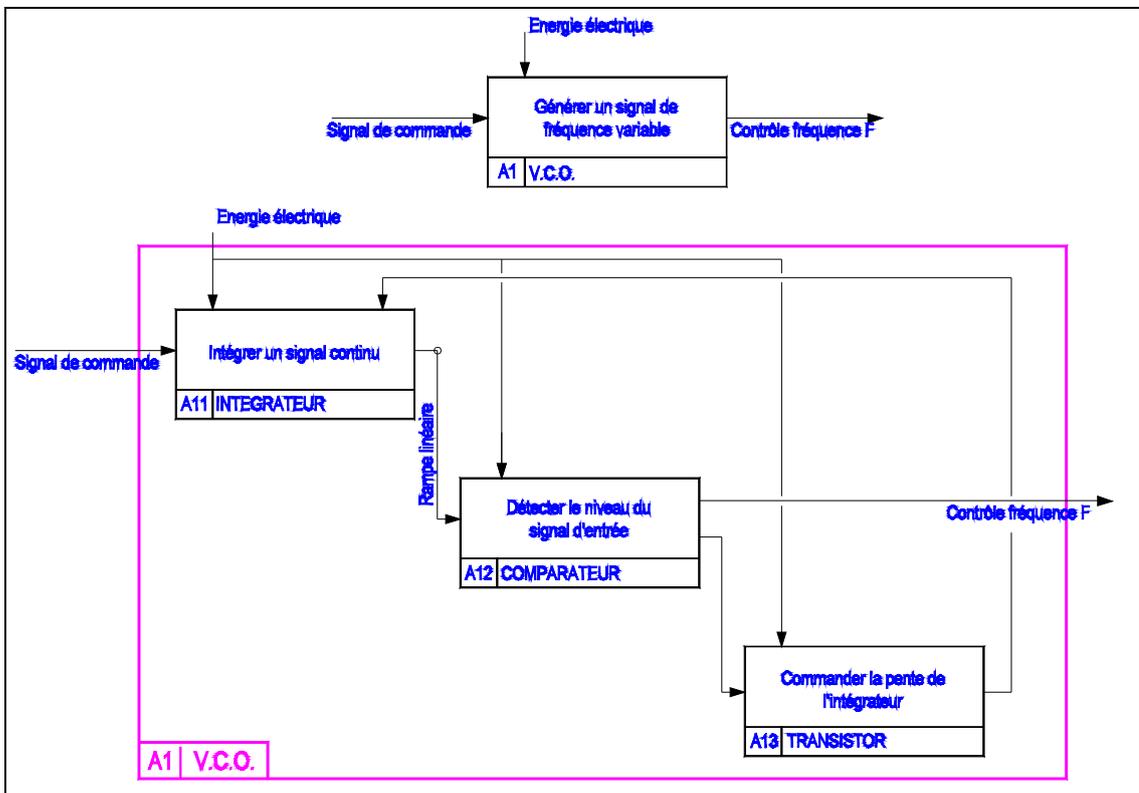
D'après cadre 6, une phase d'accélération ou de décélération doit durer au moins 0,25 ms pour ne pas dépasser α'' .



cadre 9 : SADT niveau A0 à compléter.



cadre 10 : Schéma structurel V.C.O.



cadre 11 : Schéma fonctionnel V.C.O.

SYSTÈMES DE DÉFLEXION D'UN FAISCEAU LASER

U52. MISE EN ŒUVRE DES SYSTÈMES

2.1. Éléments à votre disposition

2.1.1. Matériel

Voir *cadre 1*.

2.1.2. Documentation

Voir *cadre 2*.

2.1.3. Logiciels

Voir *cadre 3*.

2.2. Travail demandé

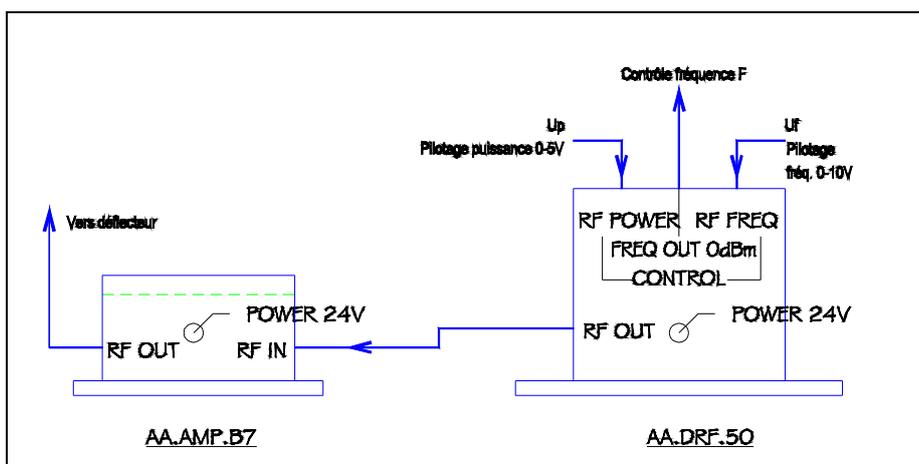
2.2.1. Partie optique sur défecteur acousto-optique

2.2.1.1. Définition des bornes

- **RF_FREQ (E)** : Signal de pilotage en fréquence U_f (0 – 10 V) permettant la déflexion du faisceau.
- **RF_POWER (E)** : Signal de pilotage en puissance U_p (0 – 5 V) permettant la répartition de l'énergie lumineuse dans le faisceau d'ordre 1 et d'ordre 0 ; en alimentant à 5 V, et avec un réglage optimum, 70% de la puissance sera dans le faisceau d'ordre 1 et 30% dans le faisceau d'ordre 0.
- **FREQ OUT (S)** : Sortie de contrôle de la fréquence N (Connexion d'un fréquencemètre).

2.2.1.2. Réalisation du montage

- Voir synoptique du système *cadre 13*. Positionner le défecteur dans le faisceau laser.
- Réaliser le câblage du système permettant le pilotage en fréquence XY, sélecteur en face avant en position basse.
- Les convertisseurs tension-fréquence AA.DRF.50 et les amplificateurs AA.AMP.B7 sont à l'intérieur du coffret (voir le schéma de câblage *cadre 12*).



cadre 12 : Conversion tension/fréquence.

S.T.S. GÉNIE OPTIQUE – OPTION PHOTONIQUE Lycée Jean Mermoz – 68300 Saint-Louis – www.lyceemermoz.com		
	MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈME U52 – MISE EN ŒUVRE	Durée : 4 H Version : 28/09/2007 Page : 1/3

- Ouvrir le logiciel *AcousMeteor*.
- Projeter un carré avec ses diagonales à l'aide de la commande [Déflecteur/Test-Réglages](#).
- Faire le réglage du déflecteur de manière à obtenir sur le tableau du laboratoire le tracé le plus net possible pour l'ensemble de la projection.
- Placer un diaphragme à iris de manière à arrêter tous les faisceaux qui ne se trouvent pas dans l'ordre 1-1.

2.2.1.3. Mesure de la puissance P_{1i}

Mesurer la puissance P_{1i} en mW dans l'ordre 1 relevée au puissancemètre. Au lieu de mesurer directement cette puissance, on place, à la sortie du déflecteur, une simple lame de verre qui prélève une faible partie P'_{1i}= R*P_{1i} de la puissance, suivie d'une lentille de focale 100 mm qui réalise l'image de la cellule du déflecteur sur la surface sensible du puissancemètre. Pour que l'impact ne se déplace pas sur la cellule, on réalise la condition dite de Silbermann (la lentille sera placée à 200 mm du déflecteur et le détecteur à 200 mm). Monter le détecteur dans un étai.

Vérifier, à l'aide de la commande [Déflecteur/Test-Réglages](#), que le carré est imagé sur la cellule du détecteur, en deux points très voisins (à cause des réflexions sur chaque face de la lame de verre).

Déterminer le coefficient de réflexion en puissance R (R<1). Le spécifier sur le compte-rendu et dans le logiciel.

Montrer le réglage à un professeur.

2.2.1.4. Étude de la déviation du faisceau

- Sous [Mesure/Déflexion et efficacité](#), introduire une tension U_{fX} de 0 V en N°0. Cliquer dans le champ N(MHz) pour appliquer cette tension. La valeur lue sur le fréquencemètre est de l'ordre de 150 MHz. La saisir.
- Repérer sur le tableau la position du faisceau.
- Introduire les caractéristiques du montage : P₀ (puissance du faisceau laser à l'entrée du déflecteur) et D (distance du déflecteur au mur) et R (coef. de réflexion en puissance).
- Introduire dans les cellules les tensions U_{fX} précédentes dans l'intervalle [0, 10 V]. A chaque tension U_{fX} correspondent :
 - une fréquence N_i en MHz appliquée au transducteur, relevée sur le fréquencemètre ;
 - une déviation d_i en mm relevée au tableau.
- Pour chaque valeur U_{fX_i} de U_f :

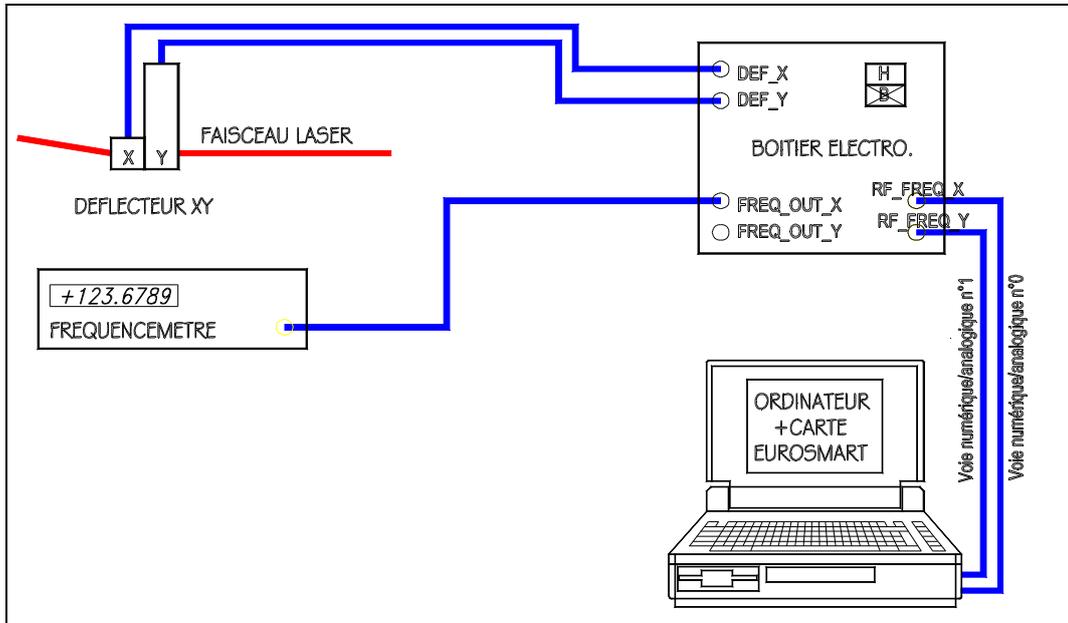
- a) Lire la fréquence N_i sur la sortie `FREQ_OUT_X`.
- b) Introduire les écarts linéaires d_i de chaque tache par rapport à la tache obtenue pour U_{fX} = 0 V.
- c) Mesurer au puissancemètre P'_{1i}. et saisir sa valeur.
- d) Prendre une vingtaine de points de mesures.
- e) Sauvegarder vos mesures sous *deflec.aco*.
- f) Sous [Graphe/Type graphe](#), tracer et imprimer les graphes d = f(N) et θ = f(N) avec une droite de régression linéaire, P₁ = f(N) et E = f(N) avec une régression polynomiale d'ordre 7.

Rappel de définition :

On appelle efficacité diffractive E le rapport entre la puissance du faisceau d'ordre 1 et le faisceau à

l'entrée du déflecteur : $E_i = \frac{P_{1i}}{P_0}$

Montrer vos courbes à un professeur. Votre montage doit rester opérationnel pour U53.



cadre 13 : Schéma de câblage en pilotage fréquence XY. L'interrupteur doit être en posi-

2.2.2. Partie mécanique

L'étude mécanique consiste à réaliser un montage virtuel sous *SolidWorks* du dispositif de réglage du support des déflecteurs.

- a) Afin de préparer ce montage, réaliser un schéma cinématique spatial des réglages du support des déflecteurs pour un bon alignement avec le laser.
- b) Réaliser le montage virtuel du support mécanique des déflecteurs à l'aide de *SolidWorks*.
 Vous avez à votre disposition (répertoire dessin *SolidWorks*) les maquettes des sous-systèmes suivants :
 - Une unité rotule (réglage en rotation suivant trois axes).
 - Une platine M-UMR5.16 de chez MICRO-CONTROLE (réglage en translation suivant une direction).
 - Le support des déflecteurs.
 - Deux équerres (EQ50-I & EQ50-E de chez MICRO-CONTROLE) pour former à l'aide des tables un ensemble de positionnement multi-axes.
 - Un montage XYZ.

Mode opératoire :

- Lancer *SolidWorks*.
- Ouvrir successivement les assemblages correspondant aux maquettes citées ci-dessus (les fichiers d'assemblage ont des extensions SLDASM).
- A l'aide de la barre horizontale de l'arbre de création, en rentrant dans les esquisses, ou dans la définition des fonctions, repérer les pièces de liaison des sous-systèmes choisis.
- Par un dessin coté à main levée, préciser la forme de ces pièces avec les usinages qui ont été prévus pour assembler les modules entre eux.
- A l'aide de *SolidWorks*, en temps que nouvelle pièce, créer les éléments d'interface nécessaires pour l'assemblage des différents modules. (Imprimer le ou les dessin(s) terminé(s)).
- Puis construire l'assemblage du support mécanique. Imprimer le résultat (pour le dessin de l'assemblage, utiliser la fiche guide des assemblages du dossier technique).

Montrer la construction à un professeur.

SYSTÈMES DE DÉFLEXION D'UN FAISCEAU LASER

U53. ANALYSE DES PERFORMANCES DES SYSTÈMES

3.1. Éléments à votre disposition

3.1.1. Matériel

Voir *cadre 1*.

3.1.2. Documentation

Voir *cadre 2*.

3.1.3. Logiciels

Voir *cadre 3*.

3.2. Travail demandé

3.2.1. Déflecteur acousto-optique : Étude de la déviation du faisceau

Fichier : *deflec.aco* ou *secours.aco*.

Conclusions sur les graphes $d = f(N)$ et $\theta = f(N)$ avec une droite de régression linéaire, $P1 = f(N)$ et $E = f(N)$ avec une régression polynomiale d'ordre 7. Qu'appelle-t-on linéarité du système ? Sur quel graphe peut-on vérifier si le réglage du système est optimisé ?

Sachant que $\theta \approx \frac{\lambda N}{v} - \sin i$, la pente de la courbe θ_i en fonction de N_i est égale à $\frac{\lambda}{v}$ (λ : longueur d'onde de la lumière).

Déduire (en précisant les unités utilisées) du résultat précédent la célérité des ondes ultrasonores dans le cristal déflecteur. Comparer à la valeur donnée par le constructeur (*cadre 7*).

3.2.2. Comparaison des systèmes

3.2.2.1. Projection d'un cliché à l'aide du déflecteur acousto-optique

- Ouvrir le logiciel *Deflec*. Sous **Fichiers/Ouvrir**, ouvrir le cliché *1.sld*.
- Projeter ce cliché avec la commande **Déflecteur/Cliché**. Choisir le bon déflecteur et cliquez sur **Piloter**.

3.2.2.2. Projection d'une courbe de lissajou à l'aide du déflecteur galvanométrique

- Connecter le déflecteur galvanométrique à la carte *Eurosmart*.
- Projeter une courbe de lissajou avec la commande **Déflecteur/Lissajou**.
- Attention, ne pas oublier de changer de déflecteur dans la boîte de dialogue !

Montrer la projection à un professeur. Faire éventuellement appel à lui pour la création d'un cliché personnel sous AutoCAD et la projection de celui-ci.

3.2.2.3. Conclusions

Faire une étude comparative rapide des deux systèmes (acousto-optique et galvanométrique) en comparant leur performance : facilité de mise en œuvre, coût, nombre de points affichables, angle maxi de déflexion, ...

<p>S.T.S. GÉNIE OPTIQUE – OPTION PHOTONIQUE Lycée Jean Mermoz – 68300 Saint-Louis – www.lyceemermoz.com</p>		
	<p>MISE EN ŒUVRE D'UN SYSTÈME U53 – ANALYSE DES PERFORMANCES</p>	<p>Durée : 2 H Version : 28/09/2007 Page : 1/2</p>

3.2.3. Étude des performances d'un V.C.O.

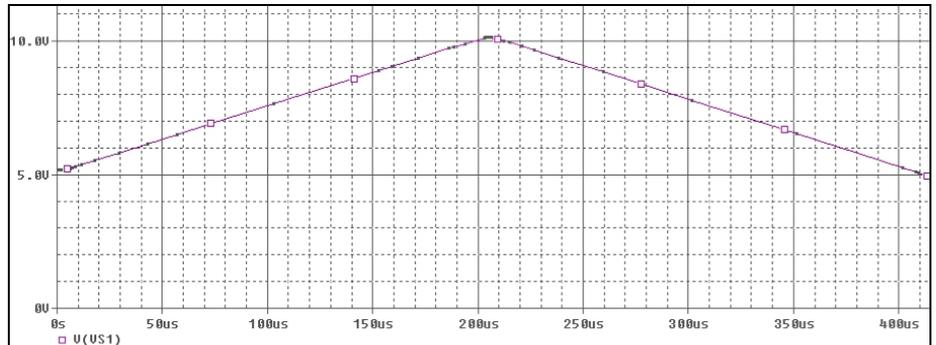
VCO : « Voltage Controlled Oscillator » ou Convertisseur Tension/Fréquence.

On étudiera dans cette partie le fonctionnement et les performances des convertisseurs tension/fréquence utilisés pour la commande des défecteurs acousto-optiques. L'étude se fera sur une maquette fonctionnant sur le même principe que les modules AA.DRF.50.

Les amplificateurs opérationnels (voir *cadre 15*) sont alimentés entre 0 V et +15 V.

- $R_1 = R_6 = 100 \text{ k}\Omega$
- $R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 47 \text{ k}\Omega$
- $R_7 = 10 \text{ k}\Omega$
- $R_8 = 2.2 \text{ k}\Omega$
- $R_9 = R_{10} = 1 \text{ k}\Omega$
- $C = 1 \text{ nF}$.

- a) Soit F la fréquence du signal de sortie V_{S2} , tracer sous *Excel* la caractéristique $F = f(V_e)$ pour $0 \text{ V} < V_e < 15 \text{ V}$.
- b) Sauvegarder le graphe sous *vco.xls*. En faire une sortie imprimante.



cadre 14 : Graphe de V_{S1} .

Fichier *vco.xls* ou *secours2.xls*.

c) Interprétation :

Sachant que :

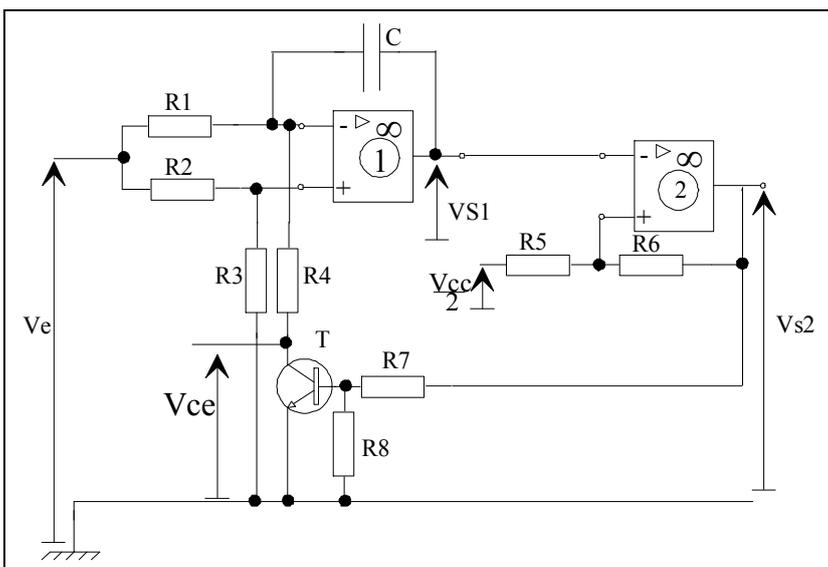
$$V_{S1}(t) = \frac{V_e}{2} + \frac{1}{2R_1 C} \int V_e(t) dt \text{ lorsque } V_{S2} > 0$$

$$\text{et que : } V_{S1}(t) = \frac{V_e}{2} - \frac{1}{2R_1 C} \int V_e(t) dt \text{ lorsque } V_{S2} < 0.$$

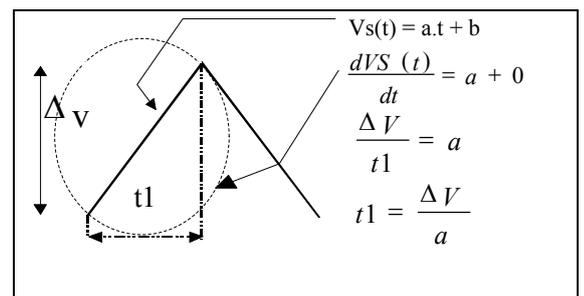
Trouver la relation existant entre la fréquence du signal de sortie et la tension d'entrée du signal V_e .

Pour ce faire, il faut dans l'ordre :

- Établir la relation entre la période T de V_{S1} et $t1$ (Voir annexe *cadre 16*).
- Déterminer $t1$ c'est à dire, calculer Δv (Voir graphe de V_{S1} *cadre 14* et annexe *cadre 16*), déterminer la valeur de a (sachant que la tension d'entrée V_e est une constante et que c'est l'intégration de V_e qui provoque l'évolution du signal V_{S1}).
- Calculer ensuite la fréquence F de V_{S1} .



cadre 15 : Schéma structurel V.C.O.



cadre 16 : Annexe.