

Fiche pédagogique

TRANSMISSION VIDEO A L'AIDE D'UNE CELLULE DE POCKELS

Niveau :

2^{ème} année de BTS systèmes photoniques.

Objectifs :

En possession des documents et des informations techniques complémentaires nécessaires, l'élève doit être capable de mettre en œuvre un système de contrôle dimensionnel par caméra intelligente et de déterminer le cadencement maximal des mesures.

- *Compétence C1.5 : Simuler et valider les solutions techniques*
- *Compétence C3.2 : Valider un système*
- *Compétence C2.3 : Régler le système*
- *Compétences C3.1: Mettre en œuvre un système optique.*

Forme :

TP de 8 heures, par binôme ou trinôme.

Pré-requis :

- Lecture de dossiers ressources.
- Connaissance en mathématiques, optique, mécanique et électronique.

Méthode :

On donne :

- Un sujet de T.P.,
- Un dossier technique.
- Les logiciels associés au TP
- Tout le matériel nécessaire à la mise en œuvre du système.

On demande :

- De faire l'analyse fonctionnelle du système.
- De mettre en œuvre le système.
- D'analyser les performances du système.

On évalue :

- La compréhension du principe de la transmission vidéo.
- La mise en œuvre du système.
- L'analyse des résultats obtenus lors de la mise œuvre du système.
- L'attitude, l'autonomie.
- Le résultat obtenu.
- Le respect des règles de sécurité
- La présentation du compte rendu.

TRANSMISSION VIDEO A L'AIDE D'UNE CELLULE DE POCKELS

1. Éléments à votre disposition

1.1. Matériel

Liste du matériel
Laser He-Ne polarisé
Cellule de Pockels PC100/2
Alimentation linéaire VLA30
Multimètre
Maquette électronique
Polariseurs
Détec. Thorlabs + $R = 4.7 K\Omega$
Alimentation BT
Oscillo - GBF- Multimètre
Micro-ordinateur
Carte A/N USB 6009
Caméra CCD couleur
Moniteur vidéo
Imprimante

TOUS LES FICHIERS A UTILISER DANS CE TP DOIVENT ETRE EXTRAIT DU FICHER ZIP DU SITE SUR VOTRE BUREAU AVANT D'ETRE UTILISES !!
-1 POINT AU TP SI CELA N'EST PAS FAIT

1.2. Logiciels

Liste des logiciels
Pockels.xls
Vcom_auto.vi
Reglage_ExtBias.vi
Lecture_Pockels.vi
LabView
Excel

1.3. Documentation

Liste de la documentation
Dossier technique

2. Présentation du contexte

La communication laser dans l'espace libre (en dehors d'une fibre optique par exemple) est entre-autre utilisée par l'armée pour des communications sur des distances allant de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres. L'intérêt d'un tel système est sa sécurité : si quelqu'un essaye d'intercepter la communication, il coupe le faisceau laser et le destinataire reçoit le signal avec une puissance atténuée. Il se rend donc compte qu'il y a un « pirate » et peut faire cesser la communication. Dans ce TP, nous allons montrer la faisabilité d'une telle communication laser en transmettant un signal vidéo.

Le principe est le suivant : le signal vidéo est un signal électronique issu d'une caméra. On souhaite que l'intensité du faisceau laser varie en épousant la forme du signal vidéo dans le temps, afin que le faisceau laser porte ainsi l'information vidéo. Au point de réception, un photorécepteur mesure l'intensité du faisceau laser au cours du temps et restitue sous forme électronique le signal vidéo. Le faisceau laser a servi de moyen de transport à celui-ci.

L'objectif principal de ce TP est de réussir à transformer le signal issu de la caméra en une modulation de l'intensité du faisceau laser. Pour réaliser cette modulation, on utilise une cellule de Pockels.

La cellule de Pockels est constituée d'un cristal dont les propriétés optiques dépendent de la direction de polarisation de l'onde lumineuse (c'est-à-dire de la direction du champ électrique qui lui est associé). Elle possède deux directions particulières, appelées lignes neutres, qui sont perpendiculaires à la direction de propagation de la lumière et aussi perpendiculaires entre-elles.

On envoie sur la cellule de Pockels une onde polarisée verticalement à l'aide d'un polariseur P_1 , à 45° des lignes neutres. En entrant dans la cellule, cette onde se décompose en deux ondes de même amplitude, chacune étant polarisée suivant une des lignes neutres. Ces deux ondes se propagent avec des indices différents, donc avec des vitesses différentes, et elles possèdent une différence de marche et une différence de phase à la sortie de la cellule.

Enfin, on fait interférer ces deux ondes en les faisant traverser un polariseur orienté perpendiculairement à la polarisation incidente (polariseur P_2 orienté horizontalement). L'intensité en sortie dépend de la différence de phase entre les deux ondes à la sortie de la cellule de Pockels.

La grande particularité de la cellule de Pockels est qu'on peut faire varier cette différence de phase en lui appliquant une tension.

Ainsi, l'intensité en sortie du montage peut être modulée à l'aide d'une tension appliquée à la cellule de Pockels. Et le signal vidéo peut être mis sous la forme d'une tension : on peut donc s'en servir pour moduler l'intensité du laser. Il y a cependant des conditions pour que l'intensité du laser soit proportionnelle au signal vidéo. Ce sont celles-ci qui vont être étudiées dans les parties 3 et 4.

3. Analyse du système :

Dans la cellule de Pockels, la biréfringence est fonction de la tension U imposée au cristal :

$$\delta = \alpha \cdot U + \delta_0$$

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \delta = \frac{2\pi}{\lambda} \alpha U + \varphi_0$$

α : caractéristique de la cellule ;

δ_0 : dif. de marche (résiduelle) en l'absence de tension.

Ainsi la différence de marche δ est fonction affine de la tension U appliquée aux électrodes.

À la sortie de la cellule, on peut faire interférer les deux vibrations à conditions de les projeter dans la même direction. C'est le rôle du polariseur P_2 . P_2 sera monté horizontalement (croisé avec P_1).

L'intensité I de la lumière émergeant de P_2 , après interférence, est alors donnée par :

$$I = \frac{I_{MAX}}{2} (1 - \cos(\varphi)) \quad \text{ou} \quad I = I_{MAX} \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$$

C'est cette intensité qui sera convertie en une tension v par la photodiode et son électronique.

3.1. Etude des caractéristiques de la cellule de Pockels

On appelle U_1 la tension pour laquelle la différence de marche δ est nulle : $0 = \alpha U_1 + \delta_0$

On appelle U_2 la tension pour laquelle la différence de marche δ est égale à $\lambda/2$: $\lambda/2 = \alpha U_2 + \delta_0$.

- Compléter le *tableau 1*, constater que U_1 correspond à un minimum d'intensité et U_2 à un maximum d'intensité lumineuse.
- Quelle est la variation de différence de marche lorsque la tension U varie de U_1 à U_2 ? Justifier alors qu'on appelle "tension demi-onde", notée $U_{\lambda/2}$, la tension : $U_2 - U_1 = U_{\lambda/2}$

On admet que $\alpha = \frac{\lambda}{2U_{\lambda/2}}$ et que $\delta_0 = -\frac{\lambda U_1}{2U_{\lambda/2}}$

On admet que l'intensité $I = I_{MAX} \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$ peut

U	δ	φ	I
U_1			
U_2			

tableau 1 : L'intensité lumineuse dépend de la tension appliquée à la cellule.

s'écrire : $I = I_{MAX} \sin^2\left(\frac{\pi(U - U_1)}{2U_{\lambda/2}}\right)$

- Donner l'allure du graphe (utiliser Excel) de cette fonction de U ; on prendra $U_1 = -50$ V et $U_2 = 200$ V.
- Que vaut l'intensité lumineuse quand $U = U_3 = \frac{1}{2}(U_2 + U_1)$?

- Placer U_1, U_2, U_3 sur votre graphe.
- Quelle est la particularité de la courbe au voisinage de la tension U_3 ?

3.2. Etude de la documentation

Voir "PC100 Series Low Voltage Pockels Cells" et "PC100/2 Series Specifications" (cadres 1 à 4 du dossier technique).

On appelle $U_{\lambda/2}$ l'intervalle de tension $U_2 - U_1$. On appelle r le rapport I_{Max}/I_{Min} .

Spécifier les caractéristiques suivantes fournies par le constructeur :

- tension demi-onde $U_{\lambda/2}$ (en V) ;
- rapport d'extinction r ;
- bande passante en modulation ;
- positions des lignes neutres par rapport au repère gravé ;
- bande passante spectrale (en longueur d'onde).

3.3. Modulation (simulation)

La cellule peut être soumise à une tension U de bias et une tension u de modulation.

Le cadre 1 montre le graphe de I/I_{max} en fonction de U_{bias} lorsqu'on a $U_1 = -50$ V et $U_{\lambda/2} = 250$ V. On choisit une tension $U_{bias} = U_3 = \frac{1}{2}(U_2 + U_1)$. On lui superpose la tension de modulation $u = \hat{u}\sin(2\pi Nt)$, c'est le signal d'entrée.

u est amplifiée (amplification A) par l'alimentation VLA30 avant d'être superposée à U_{bias} .

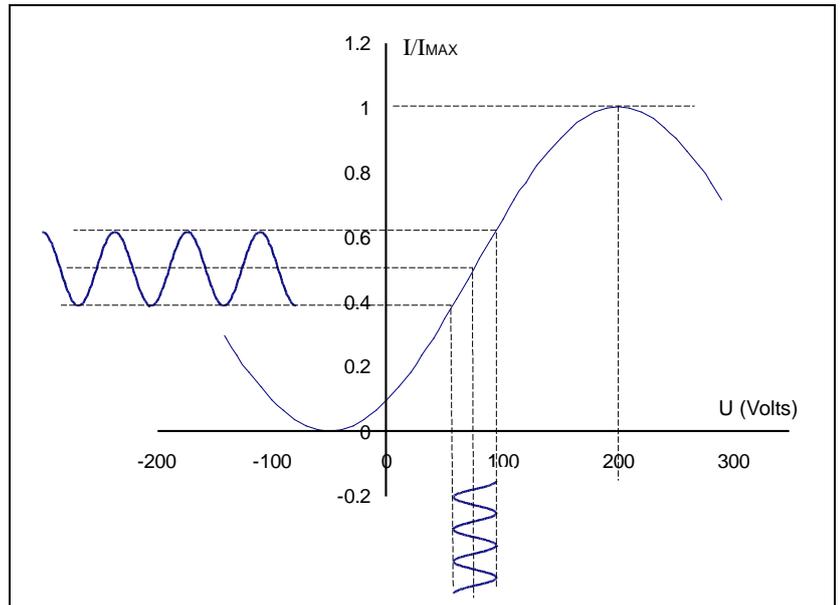
La cellule est alors soumise à la tension :

$$U = U_{bias} + A\hat{u}\sin(2\pi Nt)$$

On observe alors l'intensité lumineuse I fluctuer de façon sinusoïdale autour de $0,5 \cdot I_{max}$.

L'intensité lumineuse n'est plus constante, elle est modulée par la tension u .

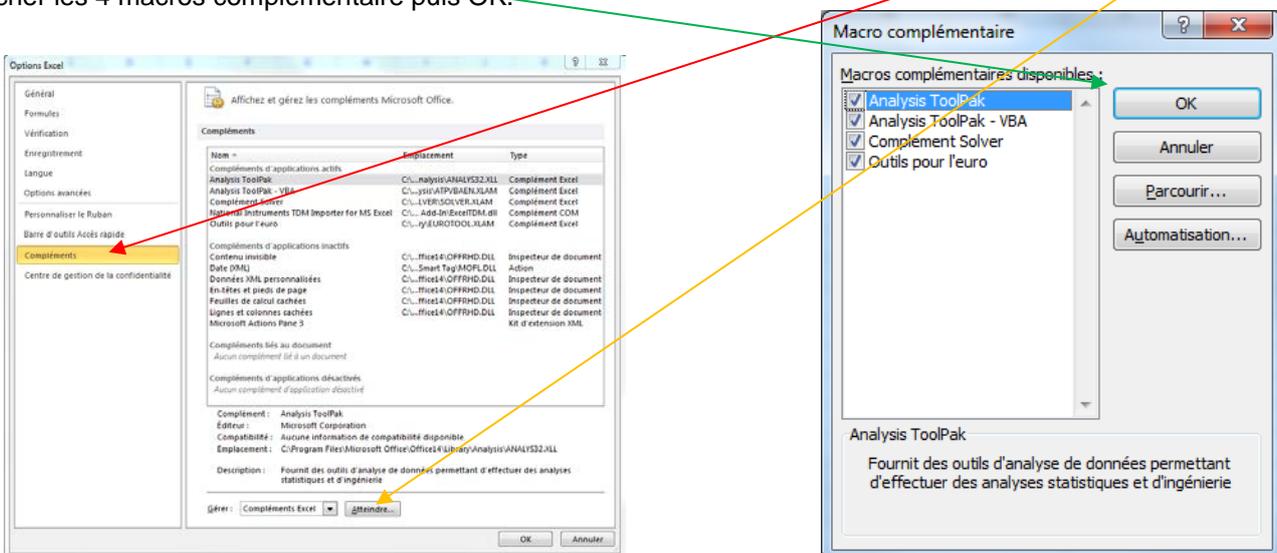
La photodiode à réponse linéaire reproduira un signal V (image de I/I_{max}) de même forme que le signal d'entrée.



cadre 1 : Modulation de l'intensité lumineuse.

Ouvrir le fichier Excel **Pockels.xls**.

Vérifier l'activation des macros, pour cela cliquez sur Fichiers/Options puis Compléments puis Atteindre puis cocher les 4 macros complémentaire puis OK.



- Sur la feuille "**Modulation**", on observe le graphe $I/I_{max} = f(U_{bias})$ (en vert). Appuyez sur le bouton "ANIMATION". Le signal u vient moduler la tension U_{bias} . L'intensité lumineuse I/I_{max} devient fonction V du temps.
 - Le signal d'entrée est u (en bleu), le signal de sortie est l'intensité I (en rouge) ou son image V .
 - Les données du graphe peuvent être modifiées à volonté. Choisissez d'autres valeurs pour U_{bias} (-50 V ; 160 V ; 75 V) et d'autres tensions de crête.
 - Sur la feuille "**Pockels**", le bouton **Fréq (FFT)** permet de connaître les fréquences des signaux u et v . Le signal d'entrée u (en bleu) est "pur" : il ne comporte qu'une seule harmonique (fondamentale). La présence d'harmoniques (fréquences double, triple ...) dans le signal de sortie (V image de I) indique l'existence de distorsions et en mesure l'importance.
- La tension de bias étant initialement à 0 V, lui donner les valeurs – 10, 20, 145, 200 V.
 • Quand U_{bias} est à 75 V, donner à la tension de crête \hat{u} la valeur 5 ou 6 V.
 • Noter vos observations.
 • À quelles conditions le signal de modulation sera-t-il transmis sans déformation ?
 • Simuler le cas d'une cellule de Pockels ne présentant pas de différence de marche résiduelle ($U_1 = 0$), de tension demi-onde égale à 200 V.
 • Proposer une tension de bias permettant d'obtenir un signal transmis en opposition de phase avec le signal de modulation. Proposer une tension de crête évitant toute distorsion.

Montrer votre simulation à un professeur.

3.4. Analyse fonctionnelle

Cas d'utilisation :

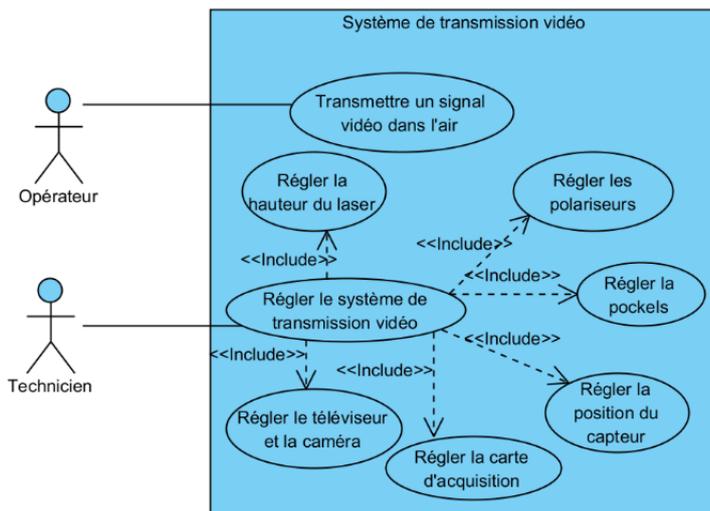
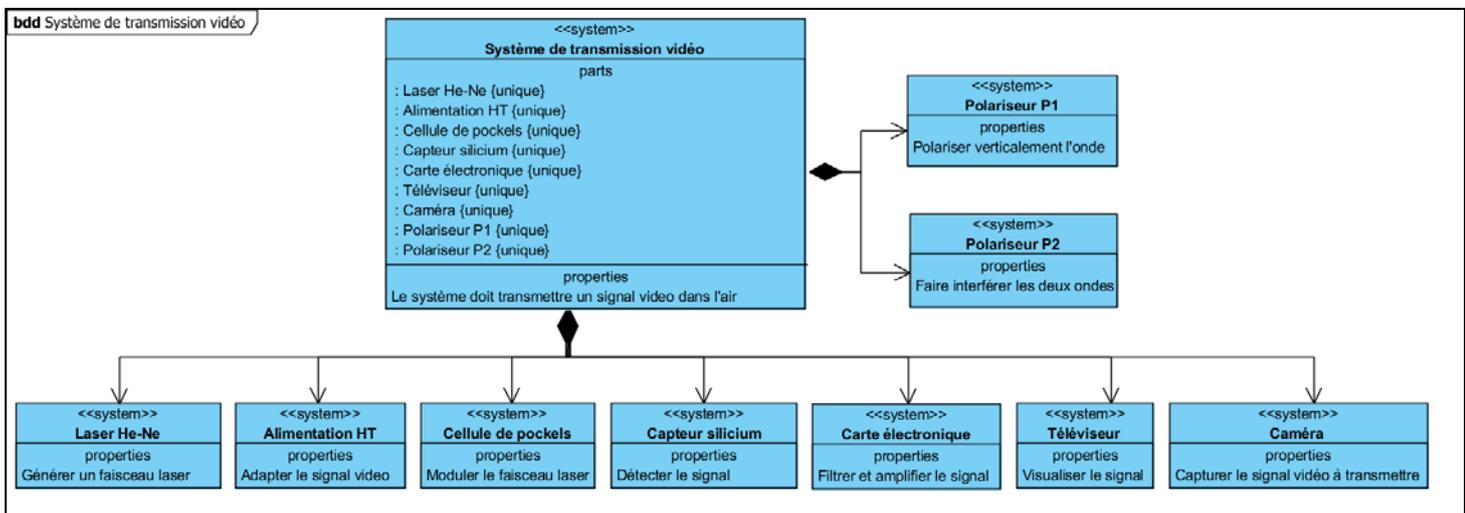
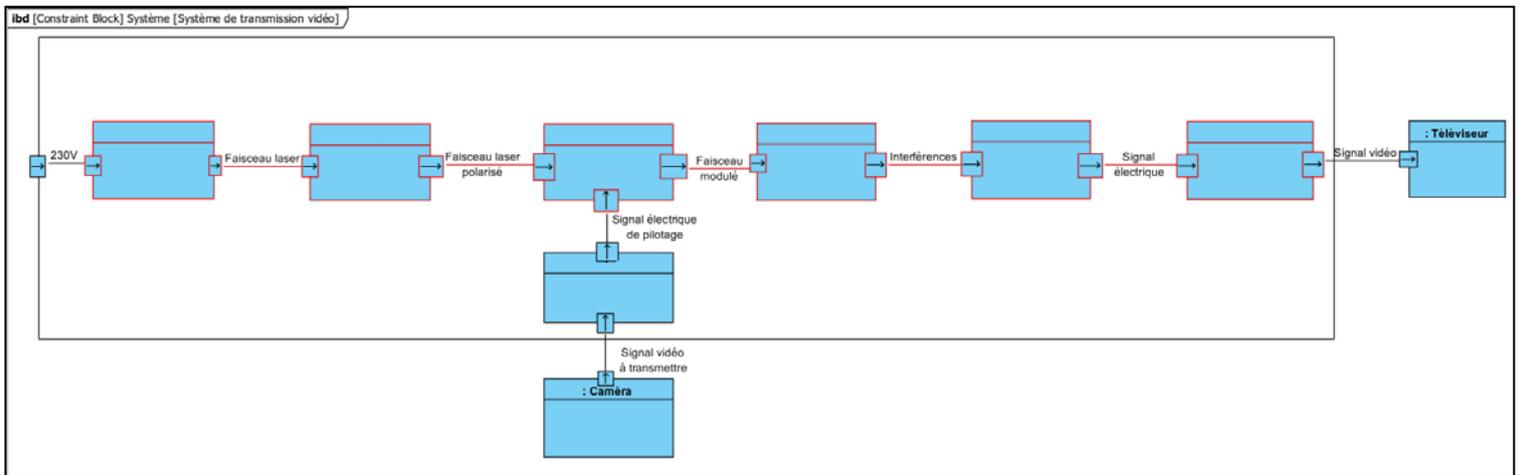


Diagramme de blocs



A l'aide du diagramme de blocs, compléter l'IBD.

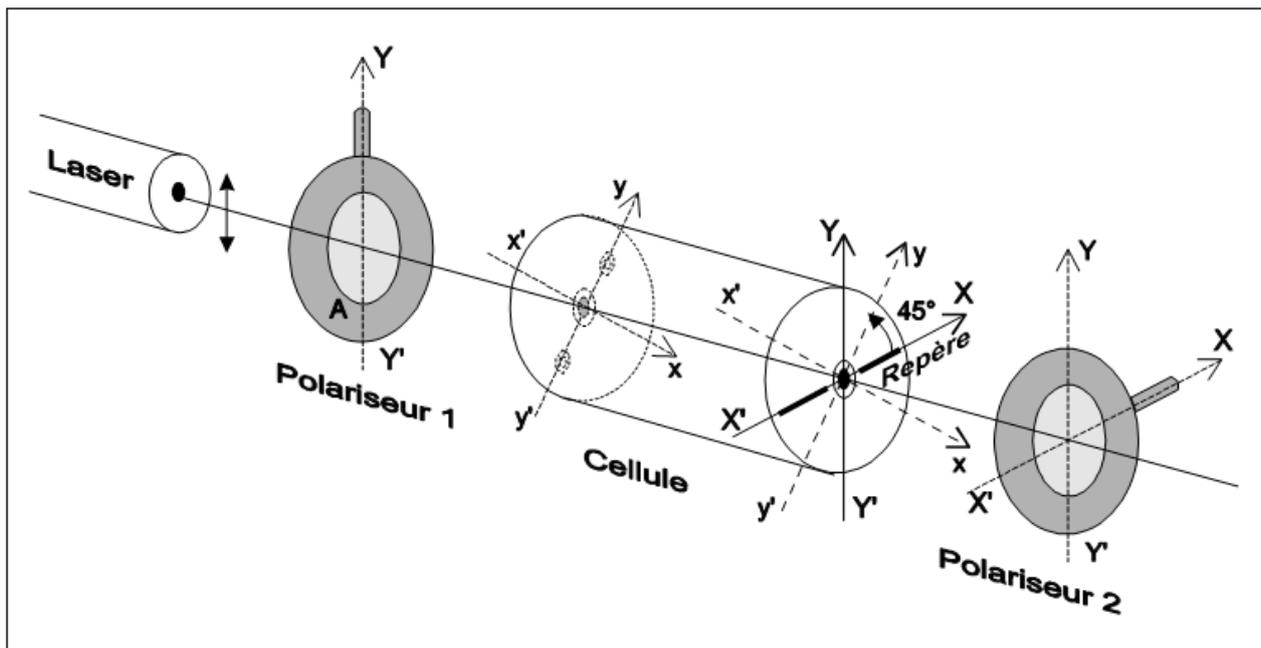


4. Mise en œuvre du système :

4.1. Montage des composants optiques

On s'aidera de la documentation Otilas (dossier technique "Optical Set-Up for Intensity Modulation", points 1 à 7) et la description "PC100 Series Low Voltage Pockels Cells".

Réaliser le montage décrit ci-dessous :



P_1 et P_2 : Polariseurs croisés, D : Détecteur.

- Vérifier la direction de polarisation du laser. Pour cela orienter le polariseur P_1 horizontalement. Il doit y avoir extinction du faisceau qui sort de P_1 .
Si ce n'est pas le cas, appeler un professeur.
- Replacer P_1 verticalement. La lumière parvenant à la cellule est alors **verticalement polarisée**.
- Vérifier l'orientation des lignes neutres $x'x'$ et $y'y'$ de la cellule. Elles doivent être à 45° de la direction de polarisation incidente.
- Le repère gravé est alors **parallèle** à l'un des polariseurs et à 90° de l'autre (schéma ci-dessus).

On veillera à ne pas faire tourner la cellule autour de son axe afin de ne pas détériorer les connexions électriques. Seuls les polariseurs peuvent être tournés.

Faire contrôler le montage par un professeur.

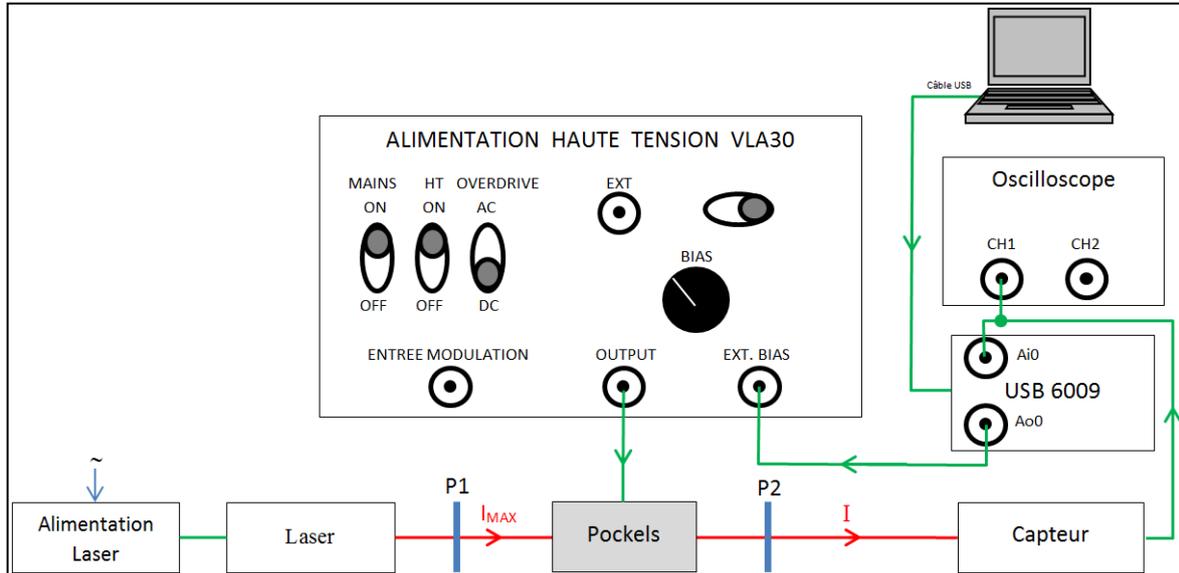
Montrer l'orientation de la polarisation du laser ; l'orientation des polariseurs, l'orientation des lignes neutres.

- e) En l'absence de toute tension, constater que l'intensité lumineuse transmise n'est pas nulle en raison de la biréfringence naturelle qui crée la différence de marche δ_0 .
Important :

Deux tensions peuvent être apportées par l'amplificateur VLA30 à la cellule :

- La tension de modulation fournie par un générateur BT extérieure appliquée à l'entrée **modulation**.

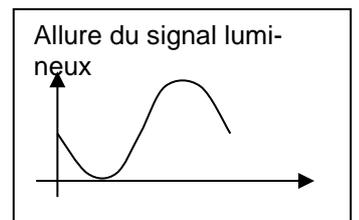
Une tension de biais fournie par un générateur interne si le commutateur est sur la position **BIAS** ou par une alimentation externe si le commutateur est sur la position **EXT**.



- f) Voir la documentation technique "VLA30 Video Linear Amplifier" du dossier technique. Mettre l'alimentation VLA30 sous tension.

4.2. Caractéristiques de la cellule

- Les intensités lumineuses seront mesurées le détecteur silicium *Thorlabs* (associé à une résistance $R=47k\Omega$).
- L'acquisition de la caractéristique se fait en commandant la tension V_{BIAS} par une basse tension (notée V_{COM}) appliquée sur l'entrée "External bias" de l'alimentation VLA30.
- V_{com} sera fournie par l'interface USB 6009 (qui peut délivrer entre 0 et 5V).
- Connecter la sortie de l'interface d'acquisition ("analog output": AO0) à l'entrée "Ext. Bias" du VLA30 et la sortie du détecteur à l'entrée de l'interface d'acquisition ("analog input": AI0).
- Vérification du bon alignement de l'ensemble laser et cellule de Pockels (il faut que l'allure lumineuse soit en $\sin^2(x)$) :
 - Débrancher le câble de l'USB 6009 vers l'entrée external BIAS.
 - Mettre le potentiomètre BIAS au minimum (sens antihoraire)
 - Vérifier que le signal lumineux est maximum.
 - Tourner le potentiomètre dans le sens horaire, vérifier que l'allure est celle attendu ci-contre.

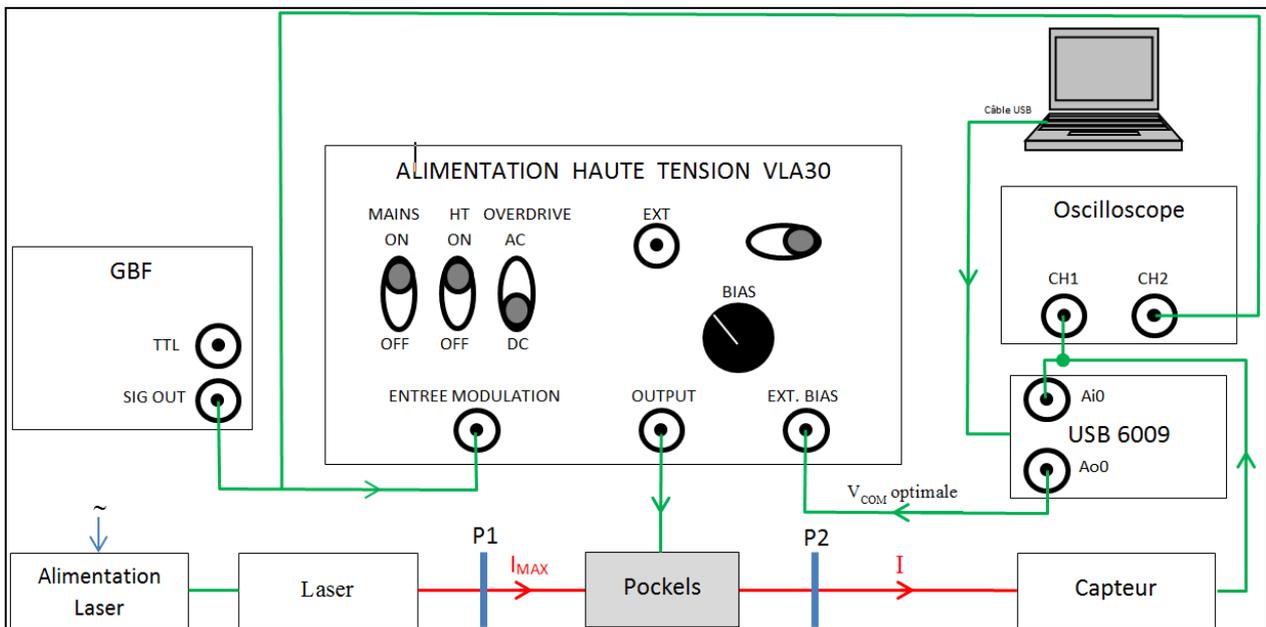


4.3. Amélioration de programme : Acquisition de la caractéristique statique du modulateur

- Ouvrir le logiciel labview
- Ouvrir le VI : **Vcom_auto.VI** .
- Choisir la voie de génération de la tension de commande (AO0).
- Ce VI permet de relever automatiquement la caractéristique statique de la cellule. Il comporte deux parties: émission de la rampe (V_{com}) et acquisition de la tension délivrée par le détecteur (V_d). Avant de l'utiliser, il faut le configurer l'émission de la rampe. Cette rampe est en fait une des rampes croissantes d'une dent de scie: reportez les valeurs extrêmes (V_{com1} et V_{com2}) de V_{com} aux bons endroits de la face avant.
- Lancer le programme, qui trace la courbe $V_d = f(V_{COM})$. La partie linéaire doit être croissante. Si ce n'est pas le cas, agissez sur l'analyseur. Lorsque le résultat est convenable, arrêter l'acquisition, enregistrer votre fichier de mesures (sous le nom « Caractéristique_statique.lvm »).

- On va à présent isoler la partie de la caractéristique qui nous intéresse: ajustez $V_{com\ min}$ et $V_{com\ max}$ de façon à:
 - démarrer la caractéristique un peu avant le minimum
 - avoir la partie linéaire croissante
 - arrêter la caractéristique un peu après le maximum
 - Positionner le curseur au point de repos optimal pour la transmission linéaire d'un signal. Noter les coordonnées de celui-ci.
 - Détermination automatique du $V_{COM\ optimal}$:**
 - Compléter le VI de manière à déterminer et afficher sur la face avant, à l'aide de trois indicateurs numériques réels: la valeur V_{dmin} de V_d (tension du détecteur), la valeur maximale V_{dmax} de V_d , et la valeur moyenne V_{dmoy} telle que $V_{dmoy} = (V_{min} + V_{max}) / 2$.
 - Compléter le VI de manière à déterminer et afficher sur la face avant, à l'aide de trois indicateurs numériques entiers: l'indice de la valeur minimale («x_min»), l'indice de la valeur maximale («x_max») et l'indice du point situé entre ces deux valeurs («x_moy»).
 - La détermination de «x_moy» se fera selon la relation suivante: $x_{moy} = x_{min} + (x_{max} - x_{min}) / 2$. Remarque: «x_moy» est un entier, donc il peut être nécessaire d'arrondir le résultat obtenu par la formule précédente.
 - Compléter le VI de manière à déterminer et afficher sur la face avant, à l'aide d'un indicateur numérique réel: «Vcom optimal» dans lequel vous afficherez automatiquement la valeur de tension «Tension Ext. Bias» correspondant à l'abscisse «x_moy».
 - Sauvegarder les affichages, en allant dans le menu «Exécution > Désigner les valeurs actuelles comme défaut» avant d'enregistrer le VI.
 - Donner la valeur de Vcom optimal.
 - Enregistrer le vi dans votre répertoire et imprimer le diagramme.
- Faire contrôler le programme par un professeur.

4.4. Modulation du faisceau laser (distorsion)



Rajouter le GBF dans le montage suivant le schéma ci-dessus.

Ouvrir le VI « Reglage_ExtBias » du bureau. Fixer la tension de bias U_{bias} à la valeur optimale définie précédemment (en agissant sur V_{com}).

Appliquer la tension de modulation u sinusoïdale ($V_{pp} \approx 1\text{ V}$, fréquence $\approx 100\text{ Hz}$) issue d'un GBF à l'entrée de modulation.

Mettre l'interrupteur sur DC.

Le récepteur *Thorlabs* reçoit la lumière modulée en intensité et en fait l'image v .

Visualiser à l'oscilloscope le signal à transmettre $u = \hat{u}\sin(\omega t)$ et la réponse V_d du capteur :

On affichera V_d en fonction de u en mode XY, pour différentes amplitudes V_{pp} inférieur à 1V.

- Relever pour U_{bias} optimale : ($V_{com} = V_{com\ optimal}$)
- Diminuer V_{pp} pour obtenir une transmission la plus linéaire possible.
- Pour $U_{bias} = U_{optimale} + 30\%$: ($V_{com} = V_{com\ optimal} + 30\%$) refaire la même manipulation

Montrer le montage à un professeur et expliquer les différentes situations observées
Dans la partie 5, vous aurez encore besoin de votre montage, celui-ci doit rester fonctionnel.

5. Analyse des performances du système :

5.1. Caractéristiques de la cellule

- D'après le dossier technique, qui de la cellule PC100 ou de l'amplificateur VLA30 limite la bande passante de la modulation ?
- D'autres éléments du montage peuvent-ils limiter la bande passante ?
- À l'aide de vos mesures et des résultats précédents, donner :
 1. La tension demi-onde : $U_{\lambda/2} = \dots\dots\dots V$;
 2. La caractéristique α : $\alpha = \dots\dots\dots nm/V$;
 3. Le rapport d'extinction : $r = \dots\dots\dots$
- Pourquoi doit-on placer les lignes neutres de la cellule à 45° de la polarisation incidente ?
- Expliquer les raisons pour lesquelles vous obtenez des résultats différents des valeurs constructeur.

5.2. Étude automatisée de l'intensité lumineuse en fonction de la tension

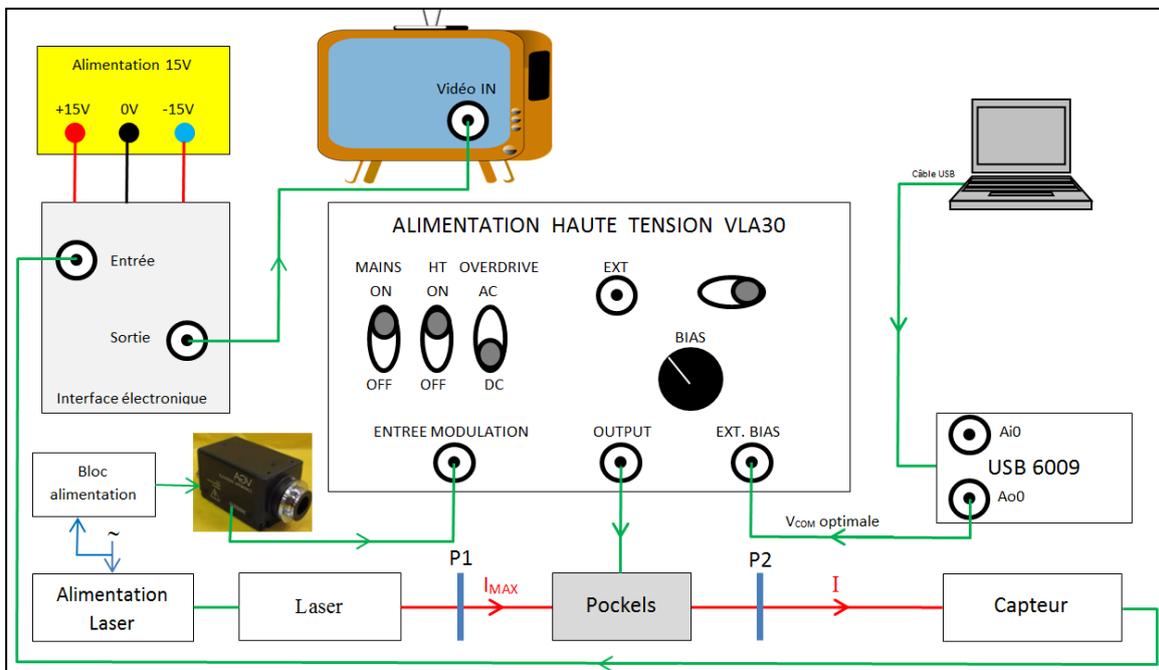
Fichier : *Caracteristique_statique.lvm*

- Ouvrir le vi « Lecture_Pockels.vi » dans le bureau
- Observer le graphe de V_d en fonction de V_{com} .
- La courbe correspond-elle à la fonction attendue ? Calculer à partir du graphe vos valeurs de $U_{\lambda/2}$ et r .
- Comparer aux mesures et aux données du constructeur.

5.3. Modulation du faisceau laser et performances de la transmission

- Visualiser les FFT de u et V à l'oscilloscope. Constaté que spectre de u contient une seule fréquence : le fondamental. Constaté que celui de V contient le fondamental et les harmoniques. Comparer la hauteur des harmoniques pour de $V=U3$ ainsi que pour $V=U3 +30\%$? Que peut-on en conclure ?
- Proposer deux solutions pour atténuer le problème lié à la distorsion (amplitude du signal modulant, filtrage)

5.4. Transmission vidéo



D'après le schéma ci-dessus, débrancher le GBF. C'est le signal vidéo issu d'une caméra couleur qui modulera l'intensité lumineuse. Relier la sortie vidéo à l'entrée de modulation du VLA. Relier le capteur à la maquette et brancher la sortie vidéo de la maquette sur le moniteur couleur (vérifier qu'aucune fiche n'est connectée sur la prise péritel).

Faire observer la transmission de l'image à un professeur.

5.5. Problématique et conclusion

- Est-il possible de transmettre le signal vidéo dans de bonnes conditions par ce système de communication laser dans l'espace libre ?
- En pratique, ce n'est pas un laser He-Ne qui est utilisé, mais un laser infrarouge. Voyez-vous une explication ?
- Y-a-t'il une restriction sur la distance de transmission de la communication ?
- Si un signal vidéo peut être transmis par ce moyen, peut-on aussi transmettre un signal audio ?