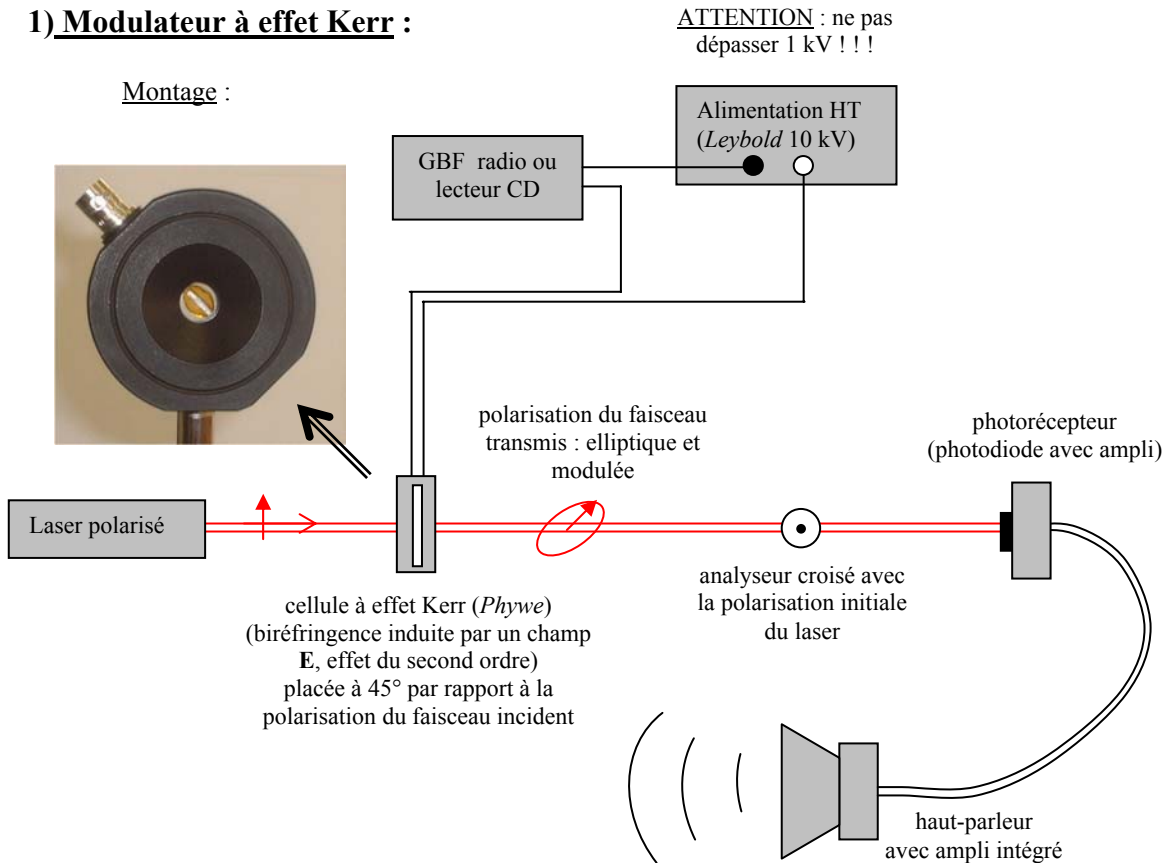


H - Modulation électro-optique de l'intensité d'un faisceau laser.

Applications aux télécommunications optiques

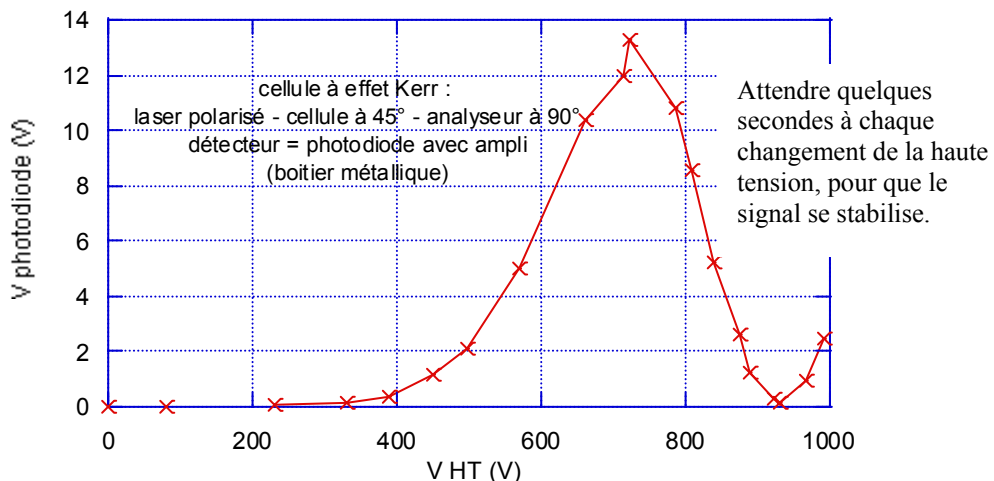
On présente ici quelques montages permettant de moduler l'intensité d'un faisceau laser, afin d'y inscrire une information qui pourra être transportée par fibre optique. On s'intéressera en particulier à obtenir une modulation linéaire avec un fort taux de modulation. On verra aussi comment faire apparaître au contraire des non-linéarités (distorsions du signal). Ces effets peuvent également être observés avec un modulateur acousto-optique, dont l'étude fait l'objet d'un autre chapitre (G - Optique et acoustique).

1) Modulateur à effet Kerr :



Choix de la haute tension :

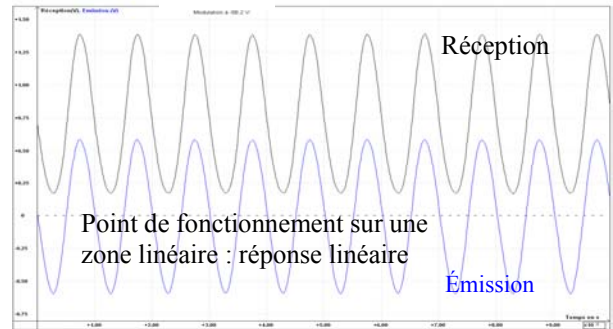
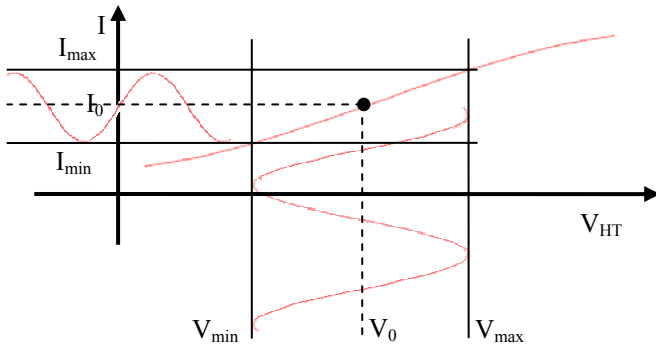
La biréfringence de la cellule de Kerr étant quadratique par rapport au champ électrique ($\Delta n \propto E^2$), la loi de variation de l'intensité lumineuse perçue par la photodiode avec la tension V appliquée à la cellule est théoriquement du type : $I = I_0 \sin^2(\alpha V^2)$. On peut commencer par le vérifier expérimentalement en appliquant à la cellule une tension continue (sans modulation) et en traçant $I(V)$ (la comparaison avec la loi en $\sin^2(\alpha V^2)$ ne fonctionne pas très bien ...). On trouve que I est maximale pour $V \approx 720$ V (la cellule est alors équivalente à une lame demi-onde) et redevient nulle pour $V \approx 930$ V (la cellule est équivalente à une lame onde). On ne peut pas aller plus loin (la cellule ne supporte **pas plus de 1000 V**).



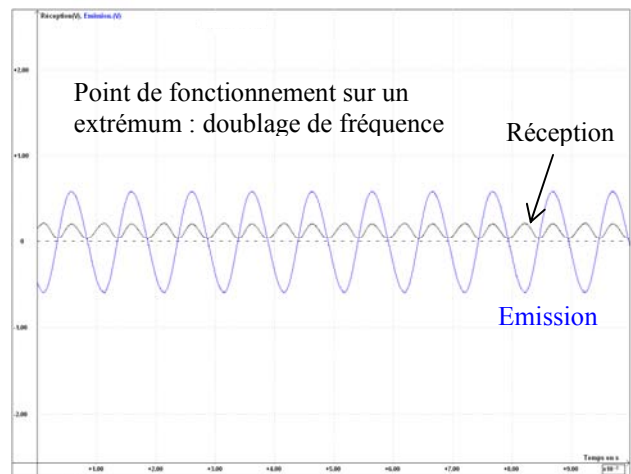
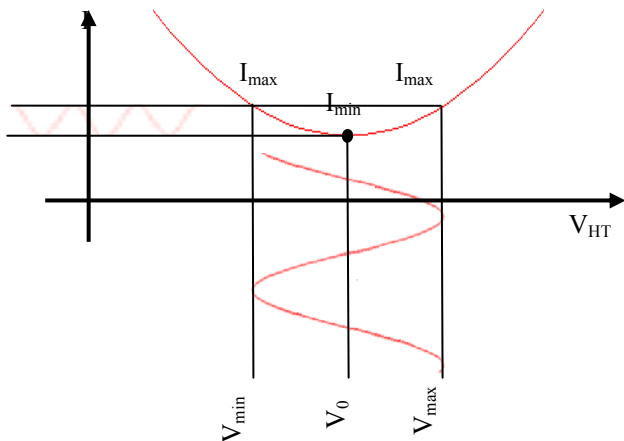
Si on veut moduler l'intensité du faisceau, on applique donc à la cellule une tension $V = V_{HT} + V_{mod}$: haute tension (continue) + signal de modulation (alternatif), en mettant en série l'alimentation HT (qui est flottante) avec un GBF. La composante alternative du signal reçu par la photodiode étant assez faible, on aura intérêt à se mettre en AC sur l'oscillo et à synchroniser sur la sortie TTL du GBF.

La caractéristique est donc $I(V) = I_0 \sin^2(\alpha V^2)$, où $V = V_{HT} + V_{mod}$. La valeur de V_{HT} permet de fixer un point de fonctionnement sur cette caractéristique :

- si la tension continue choisie est telle que le point de fonctionnement correspond à dI/dV maximum (ce qui correspond aussi à $d^2I/dV^2 = 0$, c'ad $I(V)$ peut être approximé par une droite), alors le taux de modulation est maximum et la réponse est linéaire (modulation de même fréquence que le signal électrique appliqué, pas de distorsion du signal). On peut vérifier que c'est bien le cas pour $V_{HT} \approx 600$ V.



- si la tension continue choisie est telle que le point de fonctionnement correspond à $dI/dV = 0$, alors on aura un faible taux de modulation et une réponse non linéaire (doublement de fréquence : si f est la fréquence de la modulante, le signal lumineux est modulé à la fréquence $2f$). C'est le cas pour $V_{HT} \approx 720$ et 930 V. Pour observer cet effet, compte tenu de la faible composante alternative, il faut se placer le plus près possible d'un extrémum de signal (on le voit beaucoup mieux sur le second extrémum, à 930 V). Cela est difficile avec le bouton de réglage de l'alimentation HT, qui n'est pas très fin. On peut affiner en ajoutant une composante continue au niveau du GBF.



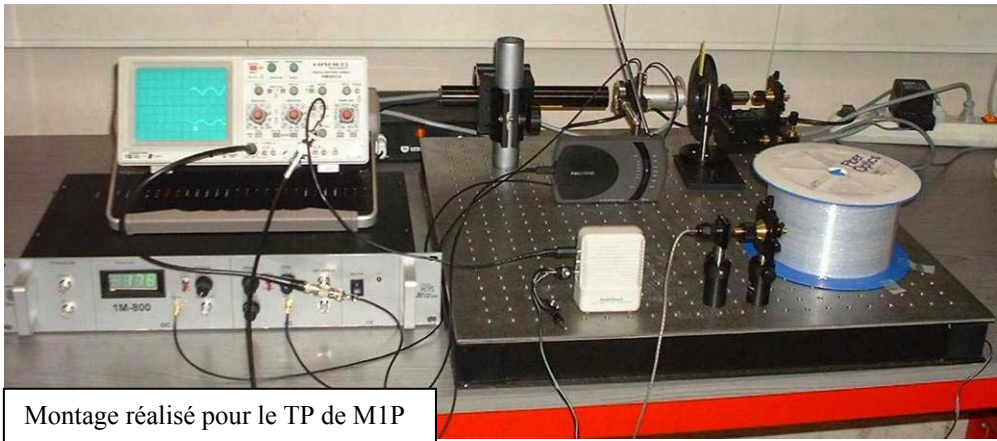
On peut observer ces effets sur un oscillo et en écoutant le son produit sur le haut-parleur. Tous ces effets sont plus facilement visibles sur le modulateur suivant :

2) Modulateur à effet Pockels : (matériel utilisé en TP M1, disponible à l'oral de l'agreg)

L'effet Pockels est un effet du premier ordre en E : la biréfringence du cristal est linéaire, $\Delta n = a + b E$.

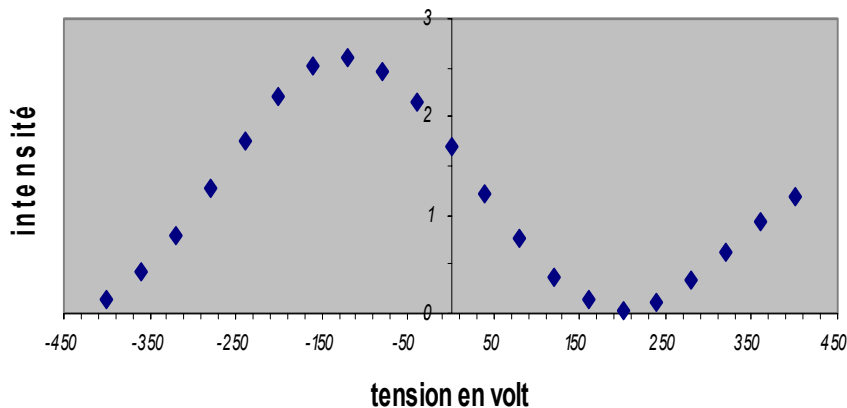
Le montage est identique au précédent. On utilisera comme alimentation l'ensemble *Didaconcept* comportant une sortie haute tension DC (- 400 à + 400 V) et une sortie alternative (modulation interne ou externe). Ces deux sorties doivent être reliées aux deux entrées de la cellule Pockels par les câbles SMC-SMC fournis. Pour moduler par le signal de la

radio, relier la sortie casque à l'entrée modulation de l'alimentation. Pour étudier la linéarité et l'amplitude de modulation, utiliser plutôt la modulation sinusoïdale interne de l'alimentation. **Attention : haute tension !!! N'utilisez que les câbles SMC-SMC fournis sur les sorties AC et DC de l'alimentation.**

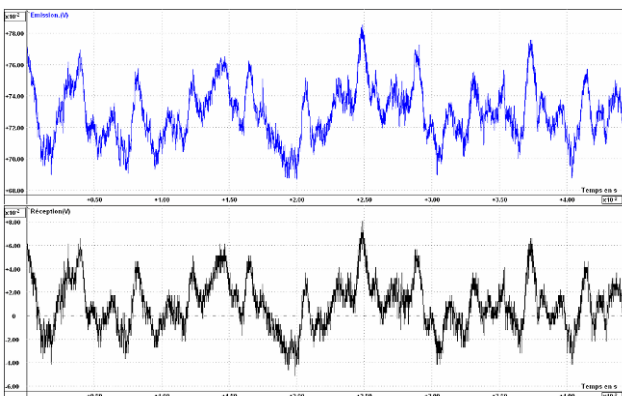


Montage réalisé pour le TP de M1P

Mesures sans modulation : On peut déterminer la tension pour laquelle la cellule est demi-onde : l'analyseur étant perpendiculaire (resp. parallèle) à la polarisation laser incidente, on cherche la tension continue V telle que l'intensité lumineuse I perçue par la photodiode est maximale (resp. minimale). D'autre part, en mesurant la variation $I(V)$, on montre que la biréfringence est linéaire par rapport à V (contrairement à l'effet Kerr), car on trouve une loi du type $I = I_0 \sin^2(\alpha V + V_0)$:



Mesures avec modulation : La tension continue ajoutée à la tension alternative sert à fixer le point de fonctionnement sur la caractéristique $I(V) = I_0 \sin^2(\alpha V + V_0)$. Comme précédemment avec la cellule à effet Kerr, on aura un comportement linéaire avec un fort taux de modulation si la tension continue choisie est telle que le point de fonctionnement correspond à dI/dV maximum, alors qu'on aura un faible taux de modulation et une réponse non linéaire (doublement de fréquence) si au contraire on choisit un point de fonctionnement tel que $dI/dV = 0$. La valeur de V correspondant à ces deux cas limites dépend de l'angle θ de l'analyseur : on peut vérifier que l'on peut changer le point de fonctionnement aussi bien en variant V que θ . Commencer par moduler par un signal sinusoïdal (modulation interne de l'alimentation *Didaconcept*) et observer sur oscillo ces effets (linéarité, distorsions, amplitude de modulation), avant de moduler par le signal audio :

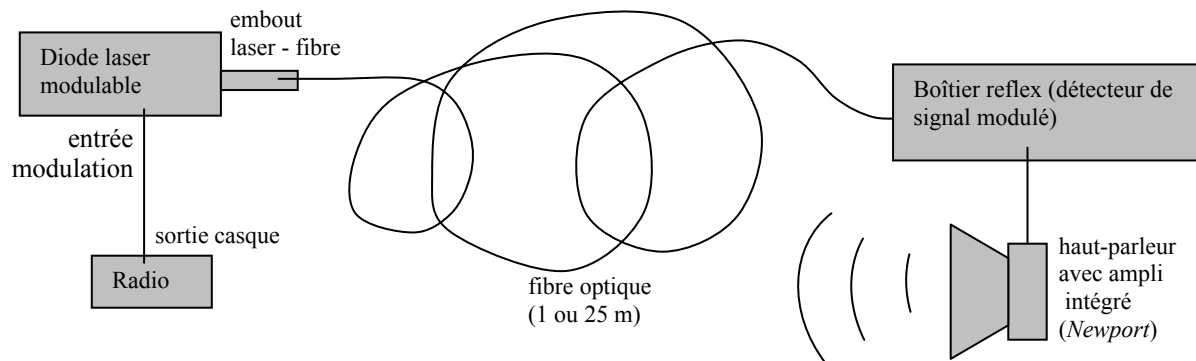


Modulation par un signal audio (issu de la prise « casque » d'une radio) : signal de sortie de la radio en haut, signal reçu par la photodiode en bas.

Remarque : Dans le montage réalisé pour le TP de M1P (cf. photo ci-dessus), le faisceau laser modulé est injecté dans une fibre optique de longueur 500 m (une bobine). On peut voir les pertes à travers la fibre en se plaçant dans le noir et en courbant un peu la fibre.

C- Modulation interne : modulation du courant d'alimentation de l'émetteur (diode laser)

Si on utilise comme source une diode laser, on peut, beaucoup plus simplement, moduler son courant d'alimentation. On dispose pour cela de l'ensemble *DMS – Matelco*.



D- Applications des différents types de modulateurs (source : *Didaconcept*)

L'effet Kerr étant un effet quadratique par rapport au champ électrique, il nécessite comme on l'a vu des tensions élevées, qui sont d'ailleurs difficiles à piloter à haute fréquence. De plus, les variations d'intensité lumineuse associées sont non linéaires. Pour ces raisons, les modulateurs électro-optiques à effet Kerr ne sont pas utilisés en télécommunications. Les modulateurs électro-optiques à *effet Pockels* sont utilisés en télécommunications sous forme intégrée.

Le principal *avantage de la modulation externe* par rapport à une modulation directe de la source concerne la fréquence de modulation maximale atteignable. En effet, les diodes laser présentent un élargissement spectral important lorsqu'elles fonctionnent en modulation interne (phénomène connu sous le nom de "chirp" en anglais). Un recouvrement des canaux pour des fréquences supérieures à 2,5 Gbits/s apparaît généralement. Les modulateurs Pockels intégrés externes permettent d'atteindre des fréquences supérieures à 10 Gbits/s.

Le modulateur Pockels utilisé ici (*Didaconcept*) est sous forme massive (et non intégrée) car il est destiné à l'enseignement et à la compréhension d'un phénomène physique. La principale application des cellules de Pockels sous forme massive concerne les Q-Switch. Cet élément, placé dans une cavité laser, permet de réaliser des lasers impulsions de forte puissance crête.

Les *modulateurs acousto-optiques* (cf. chapitre « G - Optique et acoustique ») ne sont pas ou peu utilisés dans le domaine des télécommunications. Ils sont par contre extrêmement utilisés dans les analyseurs de spectre optique (outils télécoms), dans les photocopieurs laser, ou dans des dispositifs de shows laser ...