

CARACTÉRISATION DES IMPULSIONS GÉNÉRÉES PAR LA MÉTHODE DU Q-SWITCH PASSIF DANS UN LASER À CO₂

Rezki BECHEKER, Saïd TERNICHE et Abdelhamid KELLOU

Laboratoire d'Électronique Quantique, U.S.T.H.B.,

B.P. 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, 16111 Alger, Algérie

E-mail : beckireker@gmail.com

RÉSUMÉ : Les impulsions laser courtes ont des applications dans différents domaines comme la médecine, la micro industrie, les télécommunications et le domaine militaire. De nos jours, beaucoup d'investigations s'effectuent dans les laboratoires de recherche de par le monde dans le but de réaliser le laser à impulsion la plus courte d'une durée de l'ordre de la femtoseconde ou inférieure. Notre travail s'inscrit dans ce cadre là.

Le dispositif expérimental utilisé est centré autour d'un laser à CO₂ continu. Son émission se situe dans l'infrarouge autour de 10,6 µm. L'introduction d'une cellule contenant un absorbant saturable convenablement choisi rend son fonctionnement impulsif : c'est ce qu'on appelle « le Q-Switch passif ». En fait c'est une modulation des pertes dans la cavité laser. L'étude des impulsions générées par ce type de fonctionnement et la détermination des paramètres qui influent sur la forme des impulsions est l'objet même de notre travail.

Nous avons utilisé le SF₆ comme absorbant saturable. Le signal laser est détecté à la sortie d'un monochromateur M25, préalablement étalonné avec une diode laser de longueur d'onde autour de 650 nm et une série de réseaux à 122 traits par millimètre. Nous avons ainsi déterminé la raie responsable de l'émission laser dans les conditions optimales de fonctionnement de notre laser. Il s'agit de la raie P14 du spectre de vibration-rotation de la molécule de CO₂. Nous montrons que la durée et la forme des impulsions obtenues dépendent de la pression du SF₆, de l'intensité de pompage et de l'ouverture d'un diaphragme interposé soigneusement sur l'axe de la cavité entre le milieu amplificateur et le milieu absorbant. Nous montrons aussi que ces paramètres influent sur la compétition des modes transverses et l'oscillation sur le mode fondamental TEM₀₀, recherché dans la plupart des applications laser. Celui-ci peut être favorisé dans chaque cas.

MOTS-CLÉS : Q-switch passif, laser à CO₂, absorbant saturable

1. Introduction

Les impulsions laser trouvent beaucoup d'applications dans le domaine industriel et micro industriel : découpage, soudage, marquage, perçage et traitement de surface et ceci dans de multiples secteurs comme l'aéronautique, l'automobile, l'électronique et la mécanique. Elles trouvent aussi des applications dans des domaines aussi variés que la chirurgie, les télécommunications ou le domaine militaire. De nos jours, beaucoup d'investigations s'effectuent dans les laboratoires de recherche de part le monde dans le but de réaliser le laser à impulsion la plus courte d'une durée de l'ordre de la femto seconde ou inférieure.

Deux méthodes sont généralement utilisées pour faire fonctionner un laser en régime d'impulsions: le déclenchement (Q-Switch) et le verrouillage de modes (Mode-lock) [1].

Nous nous intéressons dans notre laboratoire à l'étude et la caractérisation des impulsions générées par un laser à CO₂ en utilisant la méthode du Q-Switch passif depuis environ une dizaine d'années [2, 3, 4]. Nous nous intéressons également au fonctionnement dynamique de ce type de laser [2].

La méthode du Q-Switch passif (PQS) est une modulation des pertes dans une cavité laser. En fait elle consiste à introduire dans la cavité laser un absorbant saturable, du rayonnement

laser. Un matériau qui absorbe le signal laser à faible intensité et qui devient transparent à forte intensité du signal laser. Ce dernier peut être solide (semi-conducteur), liquide ou gaz comme dans notre cas.

L'application de la PQS au laser à CO₂ date de la découverte même de ce laser en 1964 par Patel et al [5]. C'est l'une des applications qui a révolutionné le laser à CO₂ pour devenir un des lasers les plus utilisés. Grâce à l'application de la PQS, le laser à CO₂ a atteint des puissances énormes et des énergies par pulse de l'ordre de 10 kJ [6].

Le but est d'un côté de déterminer l'influence de quelques paramètres importants sur le fonctionnement Q-Switch du laser à CO₂; comme la pression du milieu absorbant, l'intensité de courant de pompage. Nous étudierons également l'influence de l'ouverture d'un diaphragme sur l'évolution de l'impulsion laser générée par le laser et sur la compétition des modes dans l'oscillation laser. D'un autre côté, nous aurons à déterminer la raie d'émission de la molécule CO₂ responsable du fonctionnement optimale de notre laser.

2. Montage expérimental

La figure 1 présente le schéma de l'expérience. La cavité à 2.05 m de longueur. A une extrémité, un réseau en acier inoxydable de 150 traits par mm et blasé à 10.6 μm sert de réflecteur et de sélecteur de fréquence. A l'autre extrémité, un miroir en ZnSe d'un facteur de transmission de 10%.

L'énergie laser sort par ce miroir et est envoyée sur un monochromateur M25 qui sert à identifier les raies laser. La détection se fait sur un HgCdTe dont le temps de réponse est voisin de 0.1 μs. Le signal fourni par le détecteur est envoyé sur un oscilloscope numérique à deux canaux avec une bande passante de 500 MHz. Son temps de réponse est de l'ordre de 1 ns. Il est ensuite enregistré sur un microordinateur mis en place.

Le tube amplificateur à 1 m de longueur et son diamètre interne est de 11 mm. Le mélange (MA) utilisé est constitué de CO₂-N₂-He avec les proportions 1-1-4 respectivement, pour une pression totale de fonctionnement optimal du laser de 11 torrs. Le courant de décharge est de 9 mA.

L'absorbant saturable (AS) est contenu dans une cellule en pyrex de 10 cm de longueur et un diamètre de 11 mm. Elle est fermée parallèlement par des lames en ZnSe. La pression de l'AS est contrôlée à l'aide d'une jauge de Macleod.

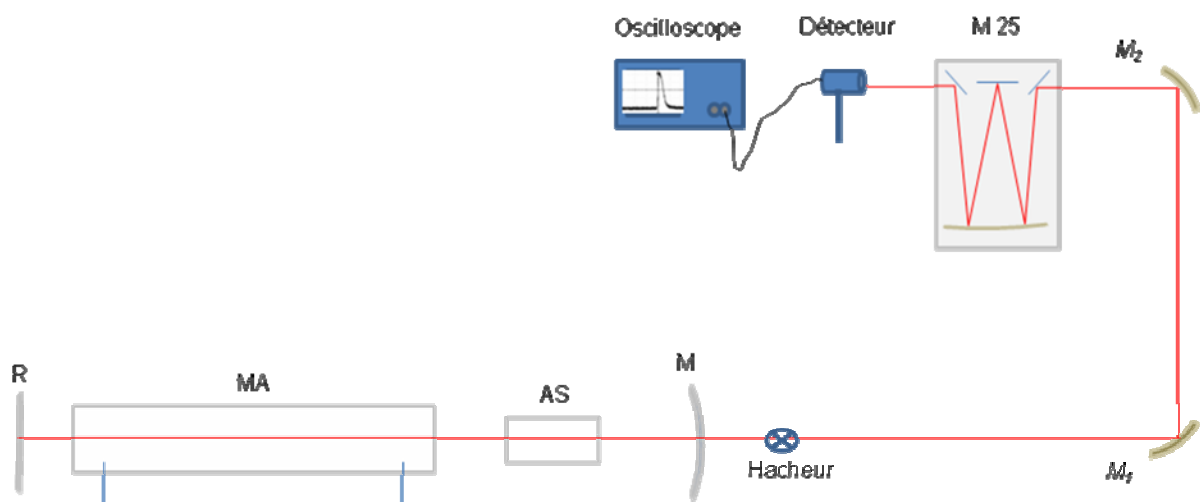


Figure 1: Montage expérimental

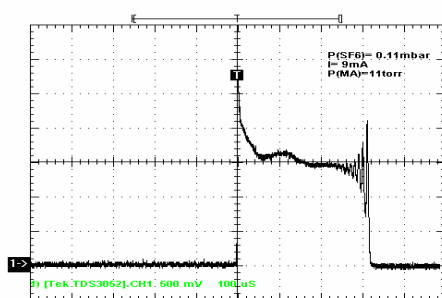
3. Caractérisation et étude des impulsions générées par le laser à CO₂

Notre laser émet en continu, l'introduction d'une cellule contenant un absorbant saturable va rendre ce fonctionnement impulsionnel, c'est ce qu'on appelle « le Q-Switch passif ». L'étude des impulsions générées par ce type de fonctionnement et la détermination des paramètres qui influent sur la forme des impulsions est l'objet même de notre travail. Plusieurs gaz peuvent être utilisés comme absorbants saturables. Nous citons comme exemples: CH₃I [7, 8], OsO₄ [9], le Fréon, SF₆ [10, 5, 11, 12]. Pour l'ensemble de nos expériences c'est le SF₆ qui est utilisé comme absorbant saturable, vu sa disponibilité dans notre laboratoire.

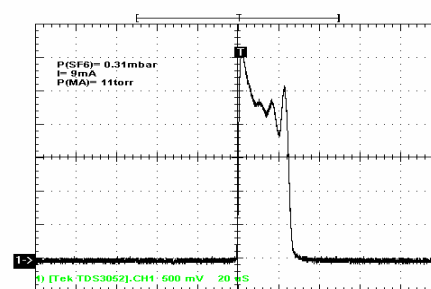
3. 1. Influence de la pression du SF₆ sur la forme et la durée des impulsions laser

Dans cette partie de nos expériences, nous allons voir comment l'impulsion laser détectée au niveau du HgCdTe évolue, en durée et en forme, en variant la pression du SF₆.

La figure 2 montre l'influence de la pression de l'absorbant saturable (AS) sur la forme et la durée de l'impulsion laser. Ce type de fonctionnement (le répétitif Q-Switch) apparaît à partir d'une pression de l'AS de l'ordre de 0,11 mbar (fig.2.a). On remarque que la durée de l'impulsion est inversement proportionnelle à la pression du SF₆, voir figure 3. Nous observons également une impulsion d'une large durée avec un pic principal intense et une multitude de pics secondaires relativement de faible intensité. Le nombre de pics secondaires, diminue avec l'augmentation de la pression du SF₆, jusqu'à ce qu'il ne reste que le pic principal. Celui-ci est synonyme d'un fonctionnement monomode (TEM₀₀), voir figures 2.d. En effet l'augmentation de la pression de l'absorbant augmente le niveau de pertes dans la cavité pour les modes transverses. Le gain du milieu est juste suffisant pour l'oscillation du mode fondamental dont les pertes sont les plus faibles. Pour une pression de 0,8 mbar du SF₆, nous obtenons une durée d'impulsion de l'ordre de 1,6 μ s (fig.2.d).



(a)



(b)

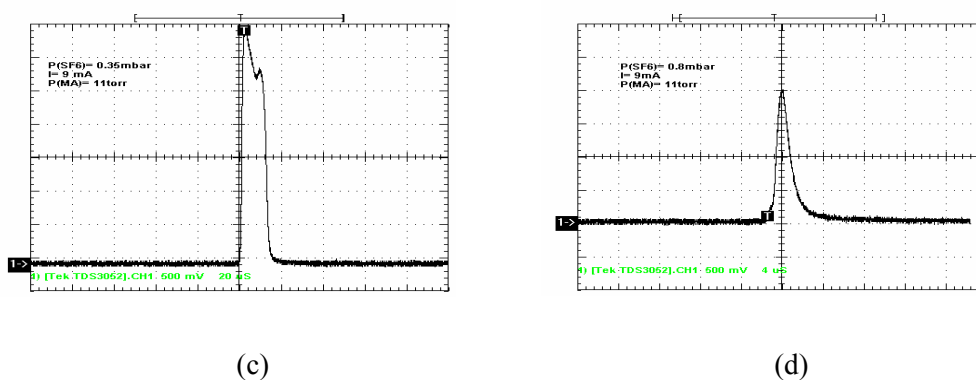


Figure 2: Formes et durées des impulsions en fonction de la pression du SF₆

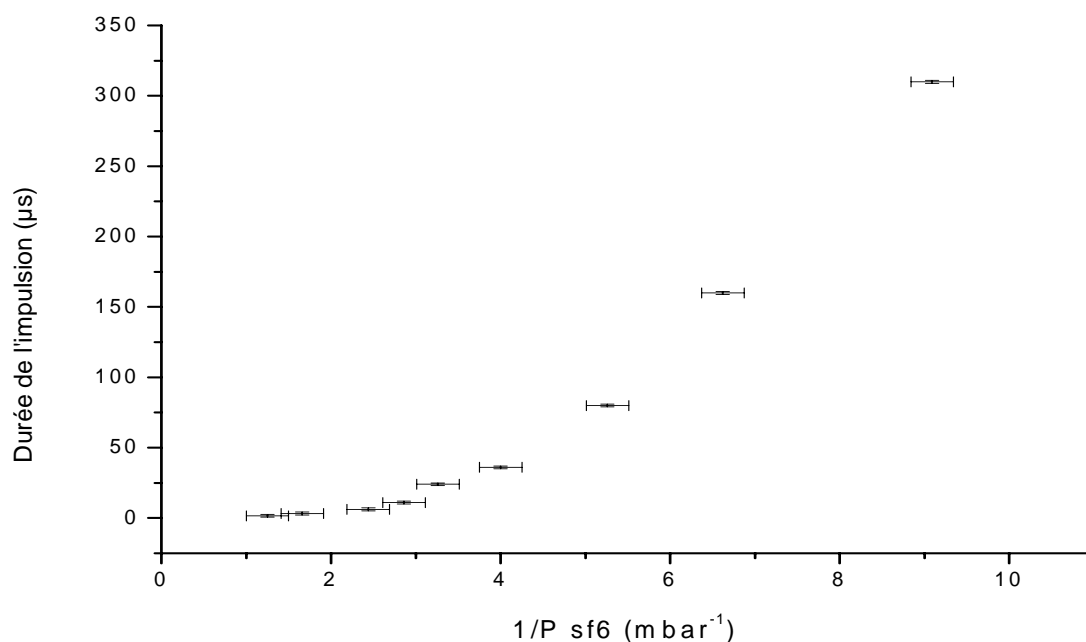


Figure 3: Courbe illustrant la durée du pulse laser en fonction de l'inverse de la pression du milieu absorbant

3. 2. Influence de l'ouverture d'un diaphragme sur la forme et la durée des impulsions

Dans cette partie de nos expériences, nous introduisons un diaphragme à l'intérieur de la cavité. Il est placé entre le tube de décharge et la cellule à AS à 158 cm du réseau. Nous relevons l'évolution temporelle des impulsions et la variation de leurs formes en fonction de l'ouverture du diaphragme, voir figure 4.

L'introduction d'un diaphragme à l'intérieur de la cavité influe sur la compétition des modes transverses dans l'oscillation laser. La figure 4.a montre le signal obtenu pour un diaphragme ouvert. Pour un diamètre du diaphragme de 5 mm, nous n'observons que le pic principal du Q-Switch, voir (fig. 4.c), synonyme d'un fonctionnement monomode (TEM₀₀). En effet les pertes introduites par le diaphragme sont trop importantes pour les modes transverses qui n'ont pas un gain suffisant pour osciller. Cela se traduit également par une réduction de la durée de l'impulsion laser.

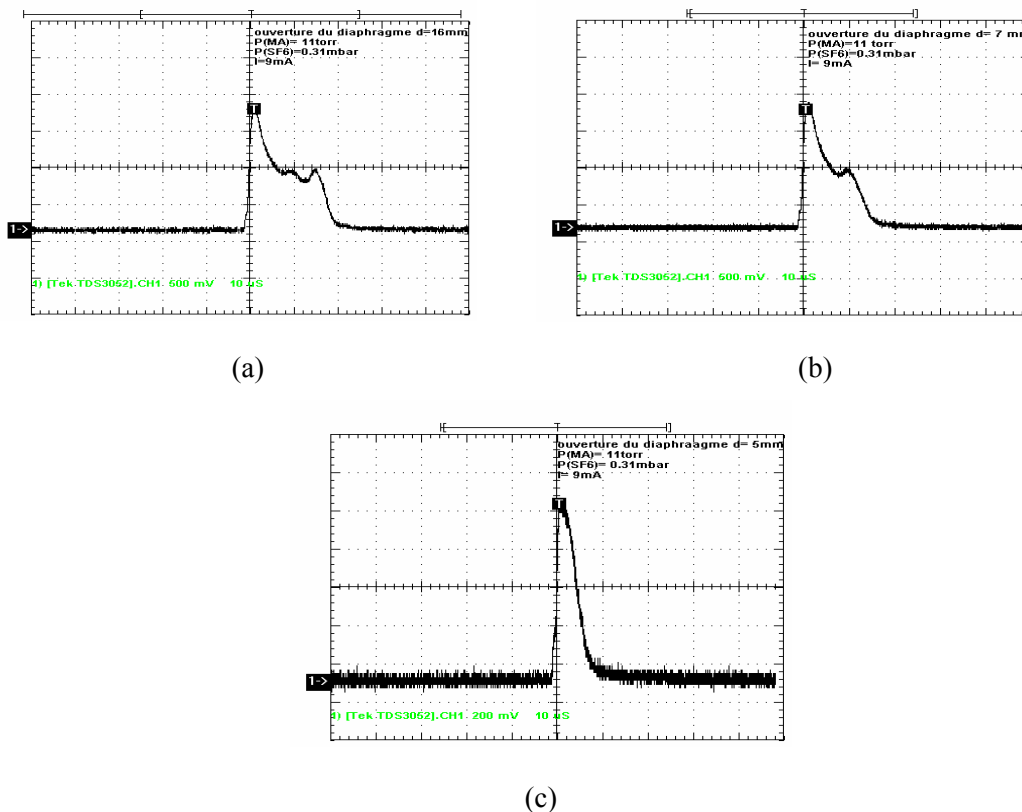


Figure 4: formes et durées des impulsions en fonction de l'ouverture d'un diaphragme

3. 3. Influence du pompage sur la forme et la durée des impulsions

Dans cette partie de la caractérisation des impulsions laser, nous faisons varier le pompage en variant le courant de la décharge électrique de 4 mA à 9 mA, et nous observons son influence sur l'évolution temporelle et la forme que prennent les impulsions détectées sur le HgCdTe. La détection se fait à la sortie du monochromateur M25. Nous travaillons avec la pression optimale du milieu amplificateur et nous nous fixons à une pression du SF₆ dans la cellule de l'ordre de 0.25 mbar. Pour cette valeur de la pression du SF₆, le laser fonctionne en pulsé.

La durée de l'impulsion laser augmente avec l'augmentation du courant de décharge, voir figure 6. Le nombre de pics secondaires croît aussi, voir figure 5. Ceci est dû au fait que la puissance laser (le gain) a augmenté avec l'augmentation de l'intensité de courant, en permettant l'oscillation d'autres modes de la cavité, entraînant une augmentation de la durée de l'impulsion et une distorsion de sa forme avec l'apparition de pics secondaires.

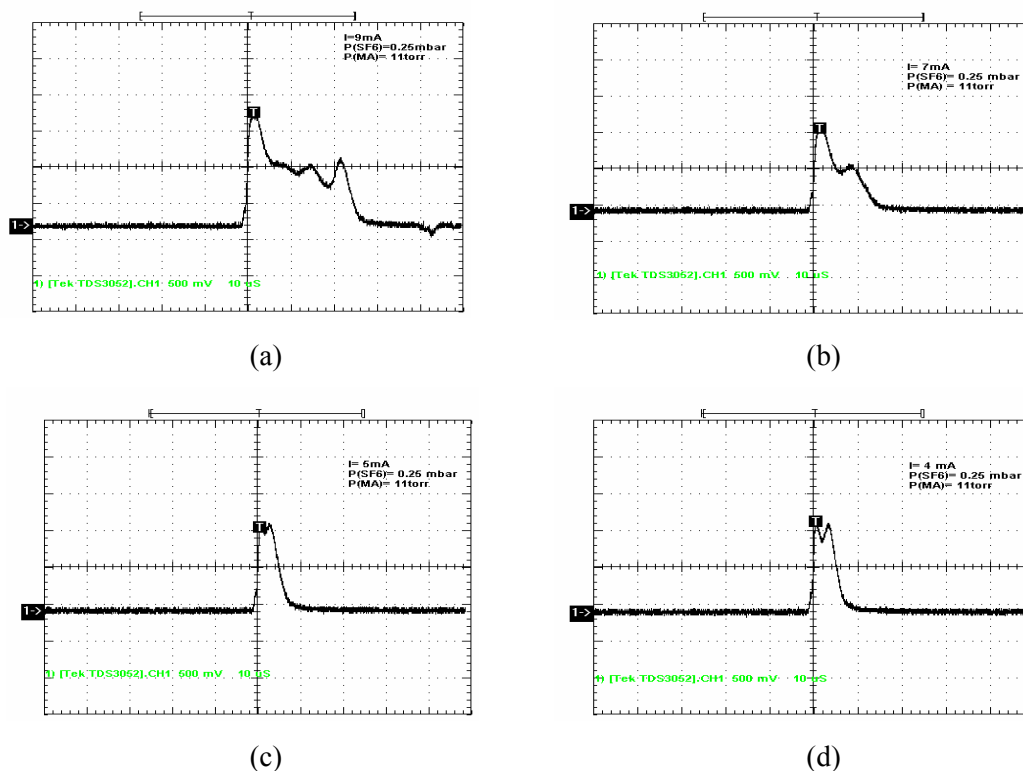


Figure 5: Formes et durées des impulsions en fonction du courant de décharge

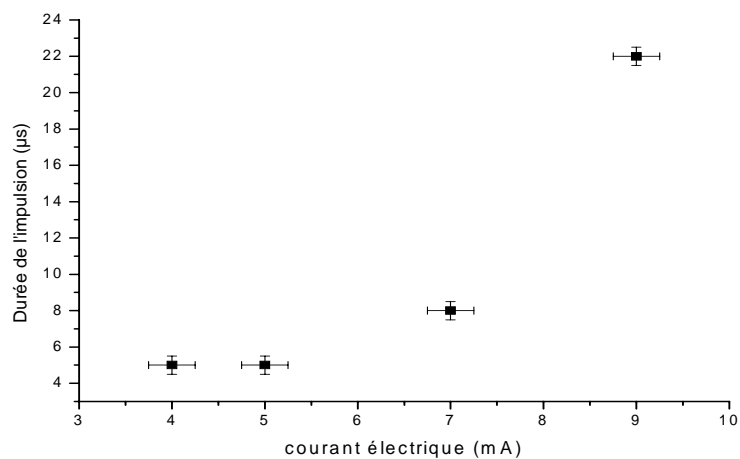


Figure 6: Courbe illustrant la durée du pulse laser en fonction du courant de décharge

4. Détermination de la raie responsable de l'effet laser

Dans l'ensemble des expériences sur la génération des impulsions laser avec la méthode du Q-Switch passif, que nous avons réalisées jusqu'à maintenant, nous n'avons pas de détails à propos de la raie laser oscillante dans la cavité miroir-réseau.

Pour lever cette ambiguïté nous allons utiliser un monochromateur M25 et son réseau 29 M 27 qui fonctionne dans l'infrarouge pour déterminer la raie oscillante et sa longueur d'onde. Ce monochromateur est étalonné en utilisant une diode laser d'une longueur d'onde de l'ordre

de 6539 Å, mesurée avec un spectromètre au laboratoire, un photomultiplicateur R 106 UH qui a une détection centrée sur une longueur d'onde autour de 6500Å, et une série de réseaux appropriés.

Le réseau de la cavité laser à CO₂ est ajusté d'une manière à réfléchir à l'intérieure de la cavité, la raie qui fournit le maximum d'énergie de sortie. Cette raie se voit détectée par notre système mis en place. Elle apparait quand le compteur affiche une valeur aux alentours de 3380 et disparaît au voisinage d'une valeur de 3510. Nous observons un seul maximum. Il est affiché pour la valeur du compteur de 3472. A partir de la courbe d'étalonnage, nous déduisons la valeur de la longueur d'onde correspondante $\lambda = 10.5240 \mu\text{m}$. cette longueur d'onde correspond à la raie d'émission P14 du spectre d'émission de la molécule CO₂.

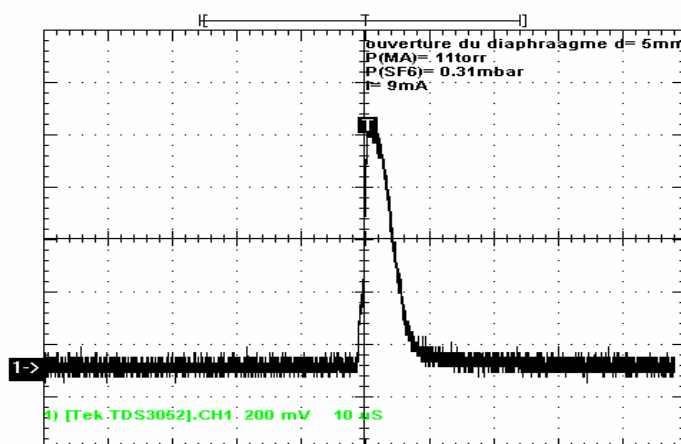


Figure 7: Impulsion à la sortie du monochromateur M25

5. Conclusion

Nous avons consacré notre étude à l'évolution de la forme et la durée des pulses, obtenus dans le laser à CO₂ avec une cavité miroir réseau, en fonction des paramètres importants tels que la pression de l'absorbant SF₆, l'intensité du courant de pompage et l'ouverture d'un diaphragme interposé à l'intérieure de la cavité entre le milieu amplificateur et le milieu absorbant. Nous avons expliqué l'influence de chaque paramètre sur la compétition des modes transverses dans la formation des impulsions.

L'utilisation du monochromateur M25 nous a permis de déterminer la raie responsable de l'effet laser dans le CO₂. L'étalonnage de celui-ci était une phase indispensable pour la suite de notre travail. L'obtention de la courbe d'étalonnage nous a servi pour l'identification de la raie laser : il s'agit de la raie P14 du spectre de vibration-rotation de la molécule de CO₂.

Références

- [1] Lecourt J.B. ; " Etude et réalisation de lasers à fibre auto-impulsionnels à base d'absorbant saturable", Thèse de Doctorat Université de Rouen (2006)

- [2] Hendaoui N. ; "Etude des instabilités dans le laser à CO₂ avec absorbant saturable". Thèse de magister USTHB (2003)
- [3] Chouli S. ; "Mise en forme des impulsions générées par un laser à CO₂ avec un absorbant saturable". Thèse de magister USTHB (2005)
- [4] Terniche S. ; "Influence des modes transverses sur la forme des impulsions générées dans un laser à CO₂ avec absorbant saturable". Thèse de magister USTHB 2008
- [5] Levine A., Demaria A.J.; "Lasers", Vol 3. Marcel. Dekker, Inc. New York (1971)
- [6] Silfvast W.T.; "Laser Fundamentals", School of Optics/CREOL, University of Central Florida, second edition 2004.
- [7] Hennequin D., Dangoisse D. and Glorieux P. ; "instabilities in a bimode CO₂ laser with a saturable absorber". *Opt. commun.* 79. 200-206 (1990)
- [8] Arimondo E., Casagrande F., and Lugiato L.A., Glorieux P.; "Repetitive passive Q-Switching and bistability in Lasers with saturable absorbers". *Appl. Phys. B* 30, 57-77 (1983)
- [9] Barsella A., Alcantara Jr P., Guidoui L., Arimondo E.; "Dynamics of LSA transverse patterns an infrared CO₂ laser with OsO₄ intracavity saturable absorber". *Optics communication* 117 (1995)
- [10] Arimondo E., Menchi E.; "Analysis of Q-Switch in a CO₂ Laser with saturable absorber". *Appl. Phys. B* 37, 55-61 (1985)
- [11] Soukieh M., Abdul Ghani B., Hammadi M.; "Mathematical modeling of TE CO₂ laser with SF₆ as a saturable absorber", *Optics and Laser Technology* 31 (1999) 601-611
- [12] Wilkowski D., Hennequin D., Dangoisse D., and Glorieux P.; "Multistability and periodic alternance in a multimode CO₂ laser with saturable absorber", *Chaos, Solitons and Fractal* Vol. 4. 1683-1698 (1994)