

CRN / CAR -- 84-5

CHARACTERISATION OF THE LIGHT PULSES OF A CAVITY DUMPED DYE LASER
PUMPED BY A cw MODE-LOCKED AND Q-SWITCHED Nd:YAG LASER

P. Geist, F. Heisel, A. Martz, J.A. Miehé and R.J.D. Miller*

Centre de Recherches Nucléaires, 23 rue du Loess
67200 STRASBOURG (France)

*Department of Chemistry, University of ROCHESTER (USA)

The temporal characteristics of the frequency doubled pulses of a continuous-wave mode-locked or mode-locked and Q-switched Nd:YAG laser have been investigated by means of a streak camera operating in synchroniscan (Fig. 1) or triggered mode (Fig. 3). The second harmonic of the cw mode-locked Nd:YAG laser using a KTP crystal, has resulted in 532 nm optical pulses of 60 ps duration with a conversion efficiency of 12 % (Fig. 2A). The frequency doubled output of the continuously pumped acoustooptically Q-switched and mode-locked Nd:YAG laser showed pulses of 80 ps width (Fig. 2B). Stable, reproducible and single pulses at ≈ 560 nm of 10 μ J energy and 30 ps duration have been obtained in a synchronously pumped and cavity dumped dye laser (Fig. 4). The cavity dumper consisted of a Pockels cell with avalanche transistor driver. Single shot (Figs. 5A,B and 6A,B) and 500-800 Hz repetition rate (Figs. 5C and 6C) measurements have been carried out by means of a triggered streak camera. Moreover, interesting information of the pulse formation in the cavity has been obtained by triggering the dumper at the beginning (Fig. 5) and at the end (Fig. 6) of the pulse train : for the last condition it appeared short and symmetrical pulses (FWHM ≈ 25 ps).

16th International Congress on High Speed Photography and Photonics,
Strasbourg 27-31/8/1984

SPIE , vol. 491 (1984) (in press)

CARACTERISTIQUES TEMPORELLES DES IMPULSIONS D'UN LASER A COLORANT
ASSOCIE A UN LASER Nd:YAG CONTINU A MODES COUPLES ET DECLENCHE

Résumé

Les impulsions 532 nm obtenues par doublage, à l'aide d'un cristal de KTP, de celles délivrées par un laser Nd:YAG continu à modes couplés (100 MHz), ou à modes couplés et déclenché (0 - 1 kHz) sont analysées au moyen d'une caméra à balayage de fente fonctionnant en régime sinusoïdal ou déclenché. Des mesures effectuées au coup par coup démontrent une excellente stabilité en forme et en amplitude de ces impulsions. L'adjonction d'un laser à colorant (Rhodamine 6 G) muni d'un dispositif de décharge de cavité commandé par une cellule de Pockel, permet d'obtenir avec une excellente reproductibilité des impulsions de durées d'émission 30 ps, d'énergie 10 μ J et de fréquence de répétition 500 Hz.

Au cours des dernières années, l'emploi de lasers Nd:YAG continus et à modes couplés comme sources de pompage de lasers à colorant fonctionnant dans les régions du visible et du proche infrarouge s'est avéré particulièrement intéressant pour la production d'impulsions subpicosecondes et picosecondes¹⁻⁵. Le pompage synchrone des lasers à colorant, après doublage de la fréquence optique des impulsions du Nd:YAG, n'a pu être effectué d'une manière satisfaisante que grâce à l'utilisation de cristaux de KTP (KTi OPO₄) qui supportent des puissances moyennes élevées (> 10 W) et présentent des coefficients non-linéaires importants conduisant à des rendements de conversion d'harmonique 2 supérieurs à 10 % pour des densités de puissance faibles.

Ces lasers Nd:YAG continus ont été également utilisés en modes couplés et en régime déclenché pour produire des trains d'impulsions infra-rouges d'énergie élevée et avec un fort taux de répétition. Après doublage par un cristal non-linéaire, le faisceau est utilisé pour le pompage synchrone d'un laser à colorant qui peut être muni d'un extracteur d'impulsion⁷.

Cet article a pour objet de présenter les performances temporelles d'un système de mesure -utilisé en photophysique moléculaire- comprenant un laser à colorant activé par un laser Nd:YAG continu, à modes couplés et déclenché, et une caméra à balayage de fente associée à une électronique de synchronisation et de déclenchement de caractéristique picoseconde. La réalisation de cette électronique de commande originale permet en outre d'enregistrer la réponse temporelle du système consécutive à l'incidence d'un événement lumineux unique ou d'un ensemble d'événements récurrents. Ces deux manières de procéder se révèlent indispensables pour l'analyse de l'origine des fluctuations temporelles du dispositif de mesure ; elles permettent d'évaluer les contributions respectives du laser (fluctuations de forme des impulsions) et de l'électronique de déclenchement.

16ème Congrès International de Photographie Rapide et de Photonique,
Strasbourg 27-31/8/1984

SPIE , vol. 491 (1984) (sous presse)

L'oscillateur Nd:YAG continu à modes couplés (Quantronx) dont le dispositif arête-optique est piloté par un modulateur standard de 50 MHz fournit un train d'impulsions de fréquence 100 MHz à 1,064 μm et de puissance moyenne de 10 W. Le faisceau est focalisé dans un cristal de KTP qui donne naissance à des impulsions de 0,532 μm et de puissance moyenne égale à 1,2 W. Dans le montage expérimental de la figure 1, le faisceau lumineux issu du doubleur de fréquence (FD) est partagé en deux au moyen d'un miroir (M) ; une faible fraction de l'intensité est focalisée sur la photodiode (D) reliée à un circuit de mise en forme impulsionnelle (PS) qui délivre un signal rectangulaire de période 10 ns ; après amplification (A), il est appliqué à un amplificateur accordé de puissance qui constitue le circuit de balayage, de type synchroscan, du tube de déflexion Photochron II de la caméra (SC)⁸. Les images de l'écran luminophore de la caméra sont numérisées et mémorisées à l'aide d'un analyseur multicanaux optique (OA) commandé par un circuit de contrôle (CC) ; (OA) comprend un réseau linéaire de photodiodes (Réticon RL 512C/17 ou RL 10245F) en liaison avec un convertisseur de 12 bits⁹. L'étalonnage en amplitude et en temps est réalisé au moyen d'un dispositif de Fabry-Pérot placé devant la photocathode de la caméra. L'histogramme expérimental relatif aux impulsions de 532 nm est représenté sur la figure 2A. La largeur à mi-hauteur totale $\tau_{1/2}$ est d'environ 60 ps. Ce résultat est en accord avec ceux des mesures effectuées récemment¹⁰ avec des impulsions de 532 nm ($\tau_{1/2} = 40$ ps) délivrées par un oscillateur Nd:YAG de même type que celui décrit ci-dessus mais utilisant un blocage des modes de type seconde harmonique (fréquence de modulation 100 MHz au lieu de 50 MHz) et un montage expérimental plus complexe : les estimations théoriques prévoient, pour ces conditions de fonctionnement une diminution de la durée des impulsions d'un facteur $\sqrt{2}$ ($60/\sqrt{2} = 42$ ps).

La caractérisation des impulsions de 530 nm en provenance d'un doubleur de fréquence (KTP ou CD*A) associé à un laser Nd:YAG à modes couplés et déclenché a été effectuée à l'aide d'une caméra à balayage de fente comprenant un tube de déflexion EEV-PB55 pourvu d'un circuit de balayage déclenché pouvant être utilisé au coup par coup et en régime périodique (1 Hz - 800 kHz) ou aléatoire⁸⁻⁹. Le schéma de principe du dispositif de mesure est illustré sur la figure 3 ; après conversion par un cristal non linéaire KTP ou CD*A (FD), le train (S1) d'impulsions infra-rouges (séparées de 10 ns) d'enveloppe gaussienne de durée 200 ns et d'énergie 2 mJ donne naissance à un train (S2) de durée 60 ns environ et d'énergie voisine de 900 μJ . Le sélecteur d'impulsions (TS)¹¹ relié à l'unité de contrôle (CU) assurant le couplage des modes et le fonctionnement en régime déclenché du laser fournit un signal (S3) de fréquence identique à celle du signal (E) délivré par la diode rapide (D) et en avance de $\theta = n \times 10$ ns par rapport à l'impulsion d'intensité maximale du train S1 (θ peut être diminué en atténuant le signal E). Convenablement retardé (DE), le signal électrique (S3) est appliqué à un générateur d'impulsions à transistors à avalanche (AG) qui commande l'ouverture de l'obturateur de Pockels (PC) qui laisse passer une seule impulsion lumineuse (S4) du train (le choix de l'impulsion (S4) dans le train est déterminé par θ). Son analyse temporelle est réalisée par (SC) dont le balayage est initialisé par (S3). Le fonctionnement en mode monovibrateur du sélecteur d'impulsion TS peut être commandé par un signal TTL. Dans ce cas, il délivre un seul signal (S3) en synchronisme avec celui de (S1,E) qui suit immédiatement l'initialisation de la commande.

Ces deux modes d'utilisation du sélecteur TS permettent donc d'enregistrer les histogrammes de l'impulsion lumineuse extraite du train soit en coup unique, soit avec la fréquence de répétition nominale de fonctionnement du laser. De l'histogramme (fig. 2B) enregistré avec un taux de répétition de 500 Hz, on déduit une durée des impulsions de 80 ps ; des relevés en coup par coup font apparaître une excellente stabilité en amplitude et en forme des impulsions.

L'analyse des impulsions d'un laser à colorant activé de façon synchrone par le train d'impulsions d'harmonique 2 du laser Nd:YAG à modes couplés et déclenché, a été entreprise avec l'appareillage schématisé sur la figure 4. Au laser à colorant (cavité M₁ M₂ ; cellule de circulation C, colorant Rhodamine 6 G, lentilles de focalisation l) est adjoint un dispositif de décharge de cavité constitué par une cellule de Pockels (PC) et un polariseur (P) d'excellent pouvoir de transmission. La synchronisation de l'obturateur de Pockels (PC,P) et de la déflexion de la caméra à balayage est effectuée par le signal (S2) issu du sélecteur d'impulsions (TS) dont les caractéristiques ont été décrites précédemment. On obtient ainsi un signal unique (S3) à la sortie du laser à colorant, de longueur d'onde voisine de 560 nm à la fréquence de répétition de 500 Hz du laser (L) et dont la position par rapport à l'impulsion d'intensité maximale du train (S1) peut être choisie en modifiant l'amplitude du signal (E) appliqué à (TS). De plus, en agissant sur la commande monovibrateur de (TS) une seule et unique impulsion peut être extraite de la cavité du laser à colorant. Ces possibilités de réglages ont été mises en oeuvre pour examiner la forme de l'impulsion (S3) en fonction du nombre de passages de celle-ci dans la cavité (M₁ M₂) et pour évaluer la contribution des fluctuations de l'électronique de déclenchement (TS, SC) à la dégradation de la résolution instrumentale. Sur les figures 5 et 6 sont reportés les histogrammes obtenus pour des impulsions situées dans le train à 4 x 10 ns de part et d'autre

de l'impulsion d'amplitude maximale ; les courbes (A,B) et (C) correspondent respectivement à des enregistrements obtenus en régimes de fonctionnement au coup par coup et récurrent (500 Hz). Dans le tableau ci-dessous sont résumées les principales données expérimentales :

Position (ns)	- 4 x 10	- 10	+ 2 x 10	+ 4 x 10
Energie/impulsion (μ J)	23	20	15	10
$t_{1/2}$ (ps) 500 Hz	48	37	34	32
$t_{1/2}$ (ps) coup par	45	29	26	26
coup	48	32	29	27
	32	32	30	21
	32	29	30	21

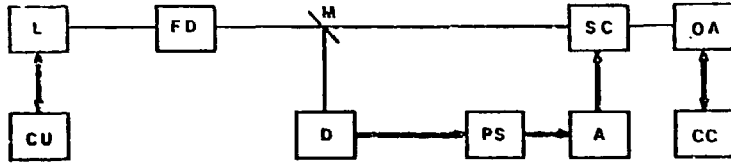
Il ressort que :

- (i) les fluctuations de forme et de largeur sont d'autant moins importantes que le nombre de passages dans la cavité est élevé ; les impulsions correspondant au début du train présentent des flancs de descente de type exponentiel tandis que celles de fin de train sont symétriques avec de faibles variations de leurs durées.
- (ii) l'évaluation de la dispersion temporelle introduite par l'électronique et due aux déclenchements des circuits (TS) et (SC) est difficile du fait des fluctuations en forme des impulsions lumineuses ; une estimation basée sur une étude des caractéristiques de ces dispositifs en régime électronique impulsionnel a conduit à un écart-type des fluctuations inférieur à 20 ps.

En conclusion, le laser à colorant constitue une source d'excitation très intéressante pour les expériences de Photophysique Moléculaire du fait de la stabilité en amplitude (< 10 %), de la durée faible (\leq 30 ps), de l'énergie élevée (\geq 10 μ J) et du taux de répétition pouvant aller jusqu'à 800 Hz des impulsions. Utilisé avec une caméra à balayage de fente fonctionnant en mode répétitif, une spectroscopie de fluorescence peut être entreprise avec une grande efficacité et avec une résolution instrumentale d'environ 30 ps.

Références

1. L.F. Mollenauer et D.M. Bloom, Opt. Lett. 4, 247 (1979)
2. L.F. Mollenauer, N.D. Vieira et L. Szeto, Opt. Lett. 7, 414 (1982)
3. A. Seilmeier, W. Kaiser, B. Sens et K.H. Drexhage, Opt. Lett. 8, 205 (1983)
4. T. Sizer II, G. Mourou et R.R. Rice, Opt. Commun. 37, 207 (1982)
5. T. Sizer II, J.D. Kafka, A. Krisiloff et G. Mourou, Opt. Commun. 39, 259 (1981)
6. D.J. Kuizenga, D.W. Phillion, T. Lund et A.E. Seigmann, Opt. Commun. 9, 221 (1973)
7. R.J.D. Miller, R. Casalegno, K.A. Nelson et M.D. Fayer, Chem. Phys. 72, 371 (1982)
8. P. Geist, F. Heisel, A. Martz et J.A. Miché, Revue Phys. Appl. 19, 619 (1984)
9. C. Cavailler, N. Fleurot, A. Meus, G. Knispel, J.A. Miché, Proc. 8th Symposium on Photoelectronic Image Devices, London, 1983, SPIE
10. A.M. Johnson et W.M. Simpson, Optics Lett. 6, 554 (1983)
11. B. Cunin, J.A. Miché, B. Sipp, J. Thébault, Rev. Sci. Instr. 47, 6 (1976).



Montage expérimental utilisé pour la déflexion de la caméra par une tension sinusoïdale (100 MHz). Synchronisation par l'intermédiaire du faisceau lumineux.

-4-

Figure 1

L : laser Nd:YAG continu à modes couplés ; FD : doubleur de fréquence (KTP) ; CU : unité de contrôle ; M : miroir ; D : photodiode à semiconducteur ; PS : circuit de mise en forme ; A : amplificateur accordé ; SC : caméra à balayage de fente ; OA : analyseur multicanaux optique ; CC : circuit de contrôle.

Experimental set-up for synchroscan streak camera operation with a frequency doubled Nd:YAG cw mode-locked laser.

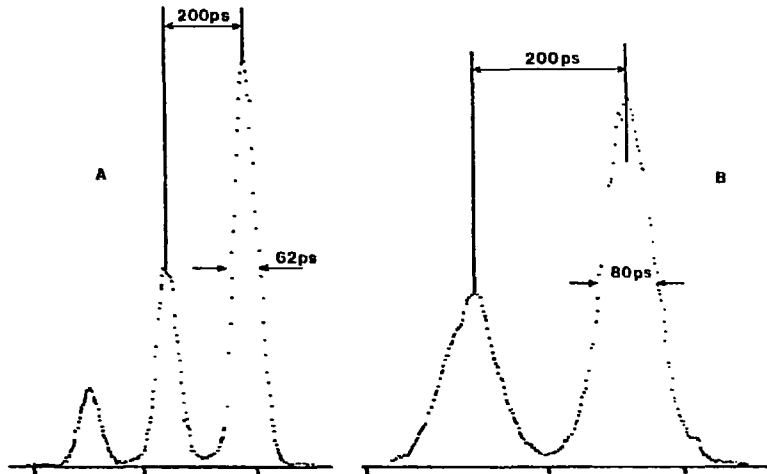


Figure 2

Courbes relatives aux impulsions lumineuses (532 nm) délivrées par

- A : Nd:YAG continu à modes couplés (100 MHz) ; montage de la figure 1
- B : Nd:YAG continu à modes couplés et déclenché (500 Hz) ; dispositif de la figure 3

Experimental curves of 532 nm light pulses of

- A : cw Nd:YAG mode-locked laser
- B : cw Nd:YAG mode-locked and Q-switched laser

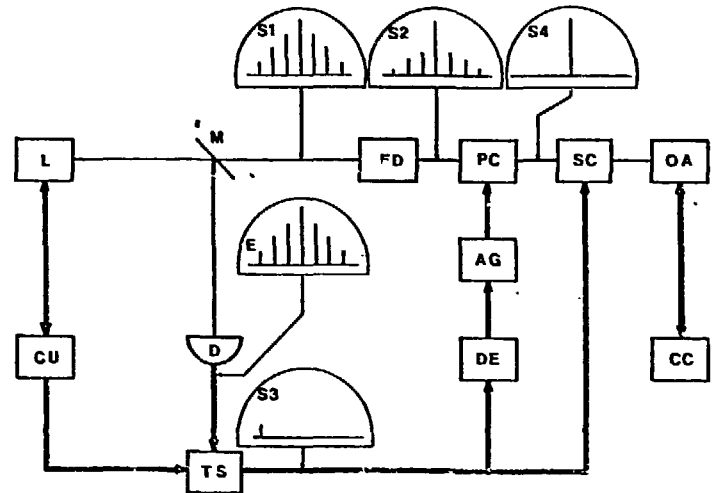


Figure 3

Montage d'utilisation d'un laser Nd:YAG à modes couplés et déclenché avec une caméra à balayage de fente fonctionnant en régime déclenché
 L : laser Nd:YAG ; CU : unité de contrôle ; FD : doubleur de fréquence ; DE : ligne à retard variable ; TS : dispositif électronique pour la sélection d'une impulsion ; PC : obturateur de Pockels ; AG : générateur à transistors à avalanche

Experimental apparatus using a cw Nd:YAG mode-locked and Q-switched laser associated with a streak camera operating in single shot and repetitive modes.

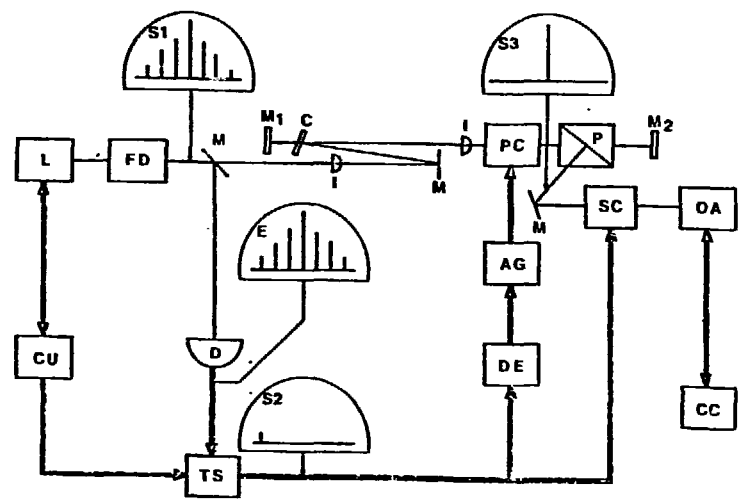


Figure 4

Laser à colorant activé par un laser Nd:YAG continu à modes couplés et déclenché
 M₁ M₂ cavité du laser à colorant ; PC, P : dispositif à décharge de cavité, PC : cellule de Pockels ; P : polariseur ; l : lentilles de focalisation

Cavity dumped dye laser pumped by a Q-switched and mode-locked cw Nd:YAG laser

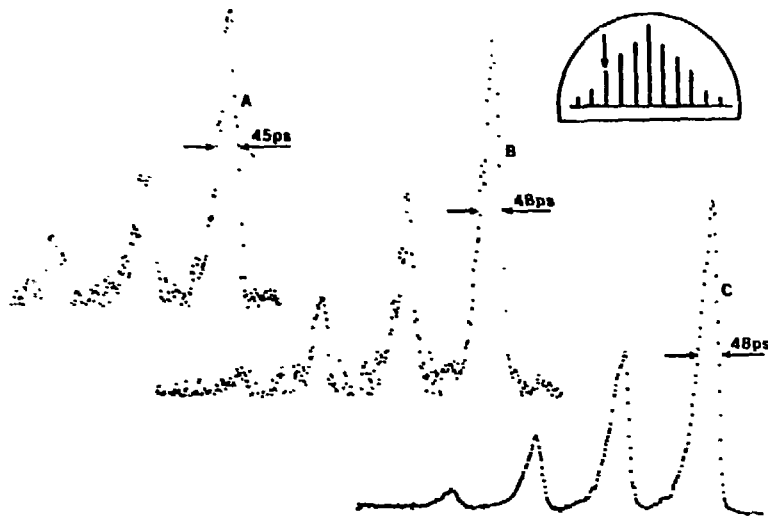


Figure 5

Courbes relatives à l'impulsion du laser à colorant (déclenchement début du train)

A,B : impulsions uniques

C : impulsions récurrentes (500 Hz)

Temporal characteristics of the cavity dumped dye laser (beginning of the train)

A,B : single shot measurements

C : 500 Hz repetitive pulses

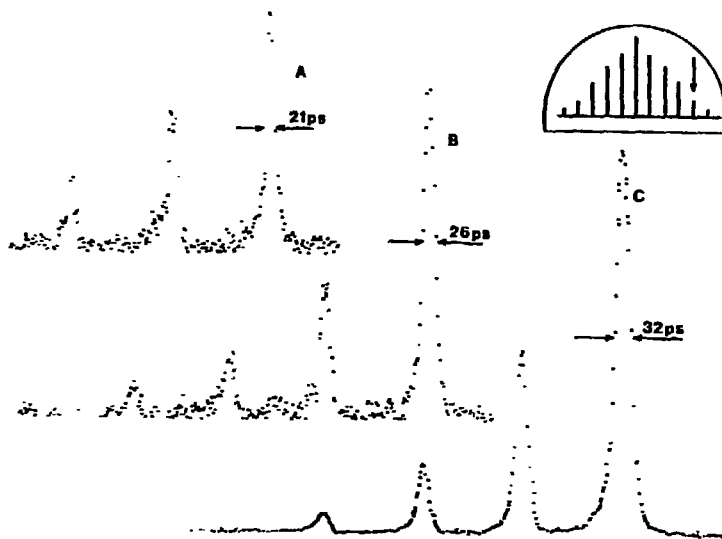


Figure 6

Courbes relatives à l'impulsion du laser à colorant (déclenchement fin du train)

A,B : impulsions uniques

C : impulsions récurrentes (500 Hz)

Temporal characteristics of the cavity dumped dye laser (end of the train)

A,B : single shot measurements

C : 500 Hz repetitive pulses