

## DÉTERMINATION DES CONDITIONS OPTIMALES POUR LA GÉNÉRATION D'IMPULSIONS MULTIPLES À PARTIR D'UN CIRCUIT DE MISE EN FORME DE L'IMPULSION DU COURANT D'EXCITATION D'UNE LAMPE FLASH

Djelloul LOUHIBI\*, Rachdi BOUADJEMINE\*\*, Ramdane BEGGAR\*,  
Fateh ALMABOUADA\* et Abdelkader NOUKAZ\*

\*Division Milieux Ionisés et Laser, Centre de Développement des Technologies Avancées CDTA,  
B.P. 17, Cité du 20 Août 1956, Baba Hassan, Alger,

\*\*U.S.T.H.B., B.P. 32, El-Alia, Bab-Ezzouar, Alger

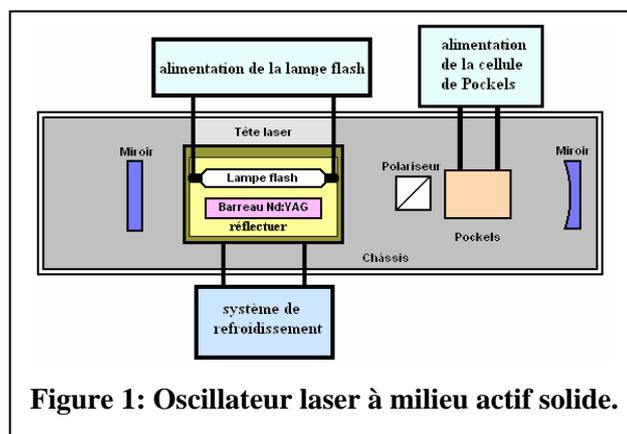
E-mail : [dlouhibi@cdta.dz](mailto:dlouhibi@cdta.dz)

**RÉSUMÉ :** À l'aide de modèles mathématiques appropriés et une simulation Simulink de Matlab [1], nous pouvons déterminer les conditions optimales de génération d'impulsions d'excitation multiples grâce au « découpage » d'une impulsion quasi rectangulaire. Ce principe permet comme applications, le contrôle du niveau de la puissance de sortie laser, la génération d'impulsions par paquets dans une période de temps donnée ou l'augmentation du taux de répétition des tirs laser pour une seule impulsion de base quasi rectangulaire. L'énergie initiale stockée sera répartie sur chacune des impulsions découpées. Pour assurer un niveau quasi constant des impulsions laser générées, il faut adopter un circuit de formation d'impulsion de pompage avec un maximum de cellules (5 et plus).

**MOTS-CLÉS :** pulsed lasers, flash lamp, solid state laser, pulse forming network, PFN, simulink

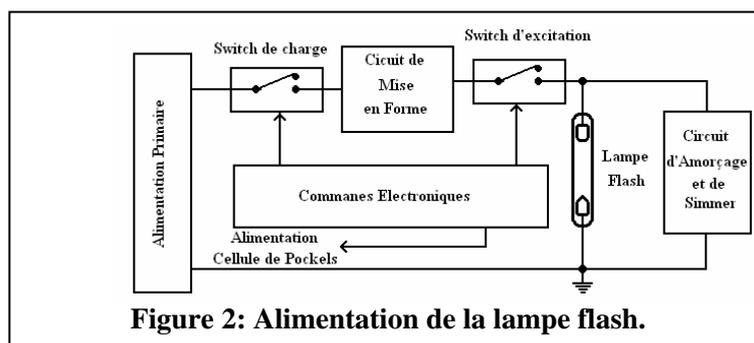
### 1. Constitution d'un laser à solide

La constitution technologique d'un laser à solide est résumée sur la figure 1 [2].



**Figure 1: Oscillateur laser à milieu actif solide.**

Le principe de l'alimentation de la lampe flash est résumé sur la figure 2.



**Figure 2: Alimentation de la lampe flash.**

Un exemple de circuit de formation de l'impulsion électrique est donné sur la figure 3.

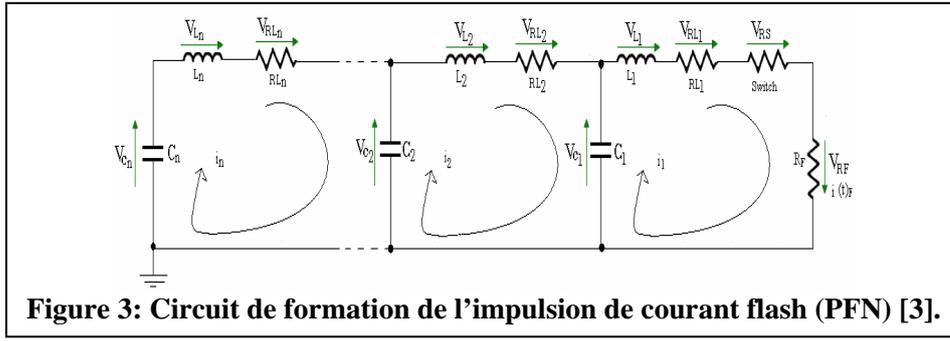


Figure 3: Circuit de formation de l'impulsion de courant flash (PFN) [3].

## 2. Modélisation du laser.

La modélisation du laser a été élaborée en respectant l'organigramme de la figure 4. Chaque bloc à été décrit par un modèle mathématique approprié.

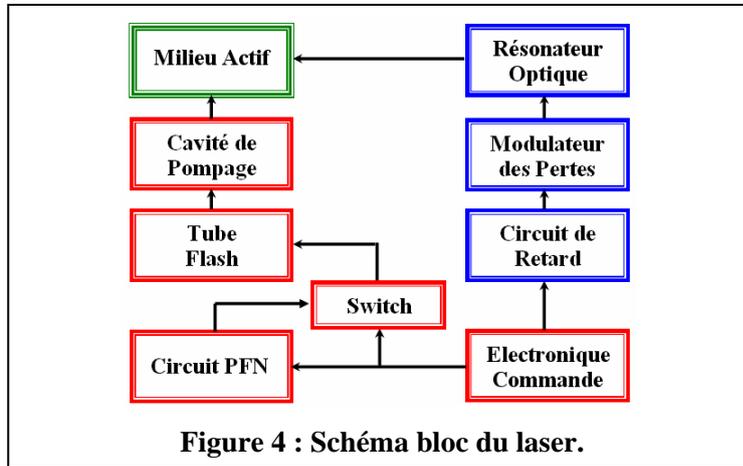


Figure 4 : Schéma bloc du laser.

### 2.1. Modélisation du milieu actif.

Dans ce travail nous nous sommes limités à un modèle à une seule dimension.

Pour le milieu actif du laser nous avons utilisé les équations d'évolutions (1) et (2) avec les mêmes hypothèses données par Koechner [4].

$$\frac{dn}{dt} = -\zeta n \Phi \sigma_{21} c - \frac{n + n_{tot} (\zeta - 1)}{\tau_f} + W_p (n_{tot} - n) \quad (1)$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = ac\Phi\sigma_{21}n - \frac{\Phi}{\tau_C} + S + S_{inj} \quad (2)$$

$$\tau_C = \frac{2LC}{c\gamma} \quad (3)$$

$n$  : densité d'inversion des populations.

$n_{tot}$  : densité des atomes dans le milieu actif.

$\Phi$  : densité de photons.

$S$  : taux de photon émis spontanément.

$S_{inj}$  : taux de photons injectés extérieurement.

$\sigma_{21}$  : section efficace de l'émission stimulée.

$W_p$  : taux de pompage.

$\tau_f$  : durée de vie du niveau supérieur laser.

$\tau_c$ : temps caractéristique des photons dans la cavité laser.

$\gamma$  : pertes dans la cavité optique.

$\zeta$  : Facteur de réduction de l'inversion de population ( $\zeta=1$  pour un système à 4 niveaux,  $\zeta=2$  pour un système à 3 niveaux).

$c$  : célérité de la lumière.

$a$  : Rapport entre les longueurs du barreau et de la cavité laser  $a=l_b/L_c$ .

$l_b$  : longueur du milieu actif.

$L_c$  : longueur de la cavité.

## 2. 2. Modélisation des pertes.

Dans notre modèle nous introduisons la fonction  $u(t)$  qui traduit la manière dont sont modulées les pertes dans la cavité laser.

$$\gamma = \gamma_0(1 + u(t)) \quad (4)$$

$\gamma_0$  : pertes dans la cavité optique  $u(t) = 0$  (fonctionnement naturel).

Pour un Q-switch rapide :

$$u(t) = \begin{cases} 1 & t < t_1 \\ 0 & t \geq t_1 \end{cases} \quad (5)$$

## 2. 3. Modèle du tube flash

Le tube flash est considéré comme une résistance non linéaire dont la relation  $V(i)$  est donnée par :

$$V_{RF} = \pm K_0 \sqrt{|i_F|} \quad (6)$$

Le signe  $\pm$  correspond au sens du courant  $i_F$  circulant à travers le tube flash.

$K_0$  : impédance caractéristique du flash. Elle est fonction des paramètres géométriques de ce dernier, de la nature du gaz de remplissage et de sa pression [5], [6].

## 2. 4. Modèle du $W_p$

Nous admettons que  $W_p$  est proportionnel à la puissance électrique absorbée par le flash.

## 2. 5. Modèle du circuit de retard

Le circuit de retard est obtenu pratiquement grâce à des circuits à base de bascules monostables. Pour la simulation, nous utilisons la fonction « Transport Delay » de Simulink [1].

## 2.6. Modèle des Switchs

La bibliothèque de Simulink dispose de fonction Switch.

## 2.7. Modèle de Simulation avec Simulink

Toutes les équations utilisées dans notre modèle ont été normalisées avant d'être implémentées grâce à Simulink de Matlab. Cette normalisation nous permet de nous affranchir des unités.

Nous représentons sur la figure 5 le modèle globale de simulation

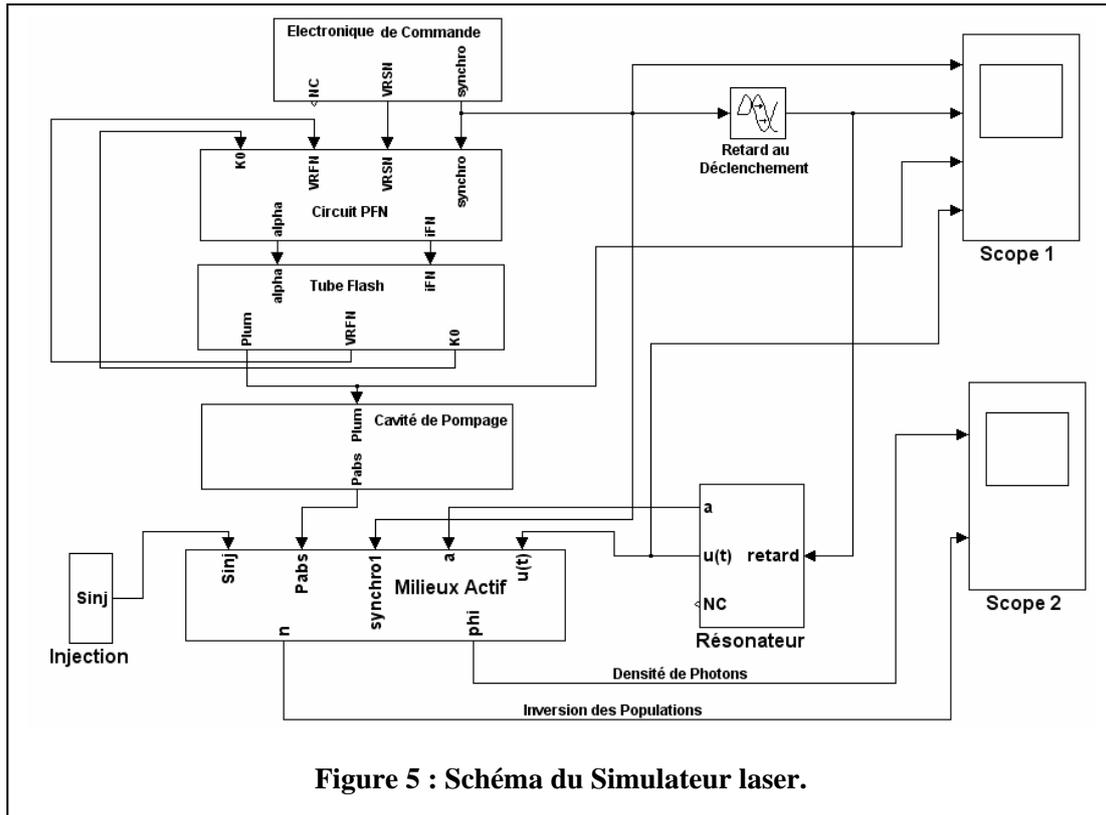


Figure 5 : Schéma du Simulateur laser.

### 3. Résultats de simulation du laser.

Tous les résultats obtenus ont été effectués avec un circuit de mise en forme de type Rayleigh à 5 cellules.

#### 3.1. Ajustement de la puissance laser par découpage d'une impulsion unique de pompage.

Le principe de ce découpage consiste en l'annulation du courant de décharge dans le tube flash par l'ouverture du switch d'excitation. Sur la figure 6 nous donnons les résultats de commutation à trois instants différents pour un régime en Q-Switch. Pour chaque cas, l'instant de commutation des pertes à été optimisé pour correspondre au maximum de l'inversion des populations.

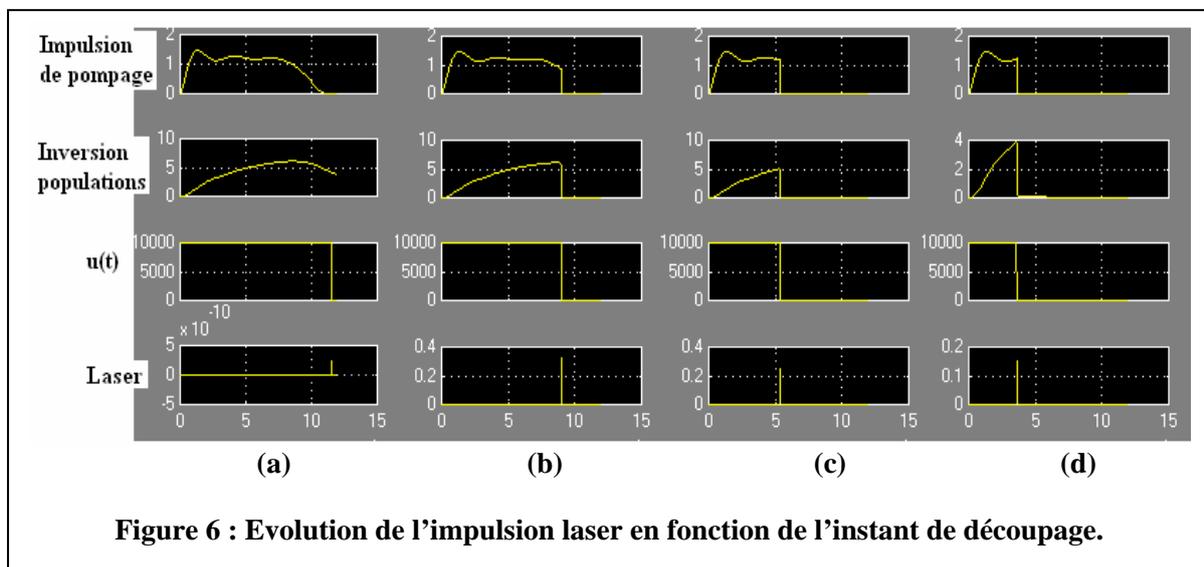


Figure 6 : Evolution de l'impulsion laser en fonction de l'instant de découpage.

La figure 6a représente le cas où la commutation des pertes est effectuée après le passage de la totalité de l'impulsion électrique de pompage.

La figure 6b correspond à la commutation optimale (maximum d'inversion des populations la valeur de la puissance normalisée est de 0.3).

Les figures 6c et 6d correspondent à l'interruption du courant de décharge à des instants de plus en plus courts (la puissance laser passe de 0.25 à 0.15).

### 3.2. Génération d'impulsions multiples.

En augmentant la fréquence des impulsions de commande du Switch d'excitation, nous pouvons générer des impulsions multiples. Quelques exemples sont représentés sur la figure 7.

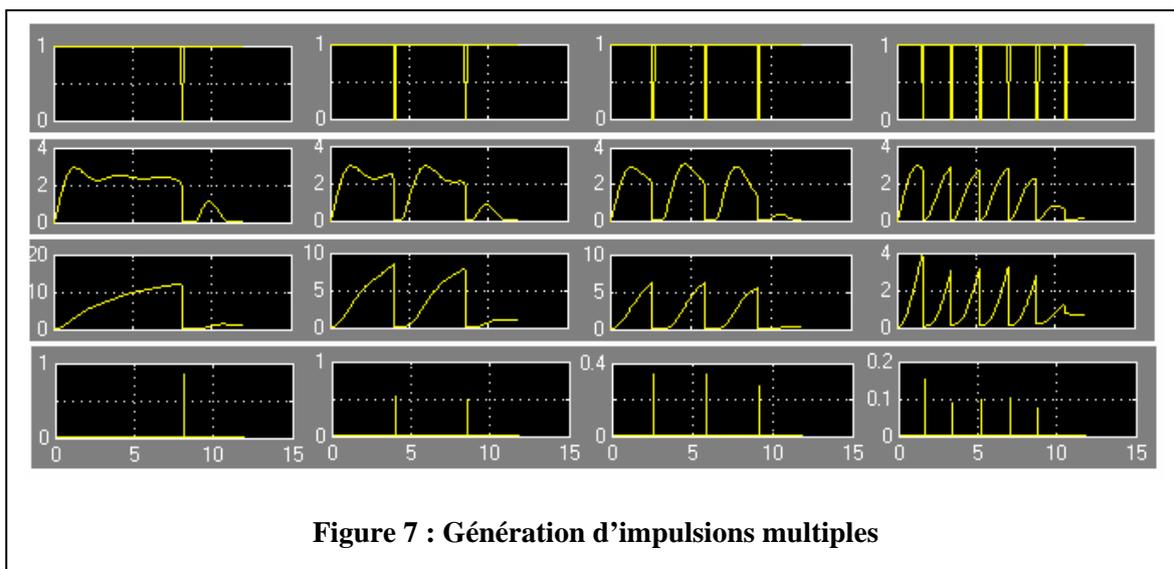


Figure 7 : Génération d'impulsions multiples

Avec un circuit de mise en forme à 5 cellules nous pouvons ajuster la fréquence et le rapport cyclique du signal de commande pour obtenir jusqu'à 4 impulsions quasi constantes (moins de 10% d'erreur).

Pour un grand nombre d'impulsions, considérons les oscillogrammes de la figure 8.

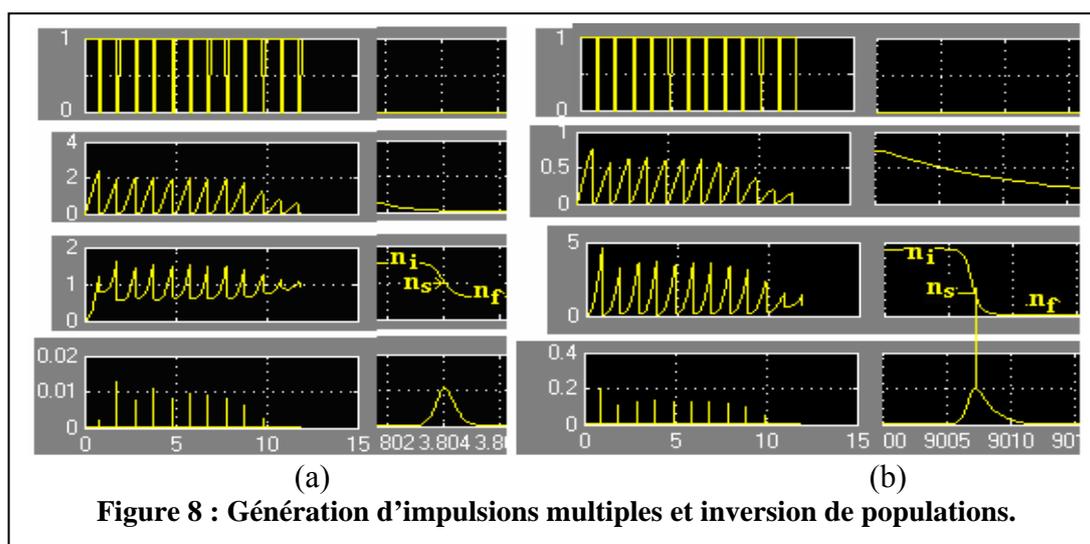


Figure 8 : Génération d'impulsions multiples et inversion de populations.

Notre exemple est donné pour une dizaine d'impulsions. Nous pouvons considérer deux cas de figure:

- Cas où l'inversion de population maximale atteinte ( $n_i$ ) par impulsion est relativement faible, figure 8a. Dans ce cas l'inversion résiduelle ( $n_f$ ) après chaque impulsion laser est importante. Nous assistons à un phénomène cumulatif de l'inversion de population d'une impulsion à une autre. On voit que la première impulsion laser est très faible. Ce n'est pas le cas de la seconde impulsion puisque l'inversion de population a été incrémentée à partir de la valeur finale ( $n_f$ ) non négligeable de la première impulsion. Dans ce cas de figure, même si l'impulsion de base de pompage (sans découpage, figure 6a) est tout à fait rectangulaire nous ne pouvons assurer la constance des impulsions laser.
- Cas où l'inversion de populations atteinte par impulsion permet d'obtenir des inversions de populations finales négligeables, figure 8b. Dans ce cas les amplitudes des impulsions laser obtenues suivent le profil de l'impulsion de pompage de base. Dans ces conditions le train d'impulsion laser obtenu est d'autant homogène que l'impulsion de pompage de base se rapproche d'une impulsion rectangulaire. Pratiquement ceci est obtenu en augmentant le nombre de cellules du circuit de mise en forme des impulsions laser.

### 3.3. Conclusion.

Dans cette communication nous faisons une première approche dans la modélisation et simulation dynamique globale d'un oscillateur laser. Nous avons mis en évidence l'évolution qualitative des impulsions laser en fonction des types de signaux de pompage. Nous avons montré qu'il est possible de contrôler la puissance d'une impulsion laser par le contrôle de la fraction de l'impulsion de pompage de base utilisée et qu'il est possible de générer un fonctionnement multi pulses par le découpage de celle-ci. L'énergie de cette dernière se retrouve dans la somme des énergies des impulsions générées. Pour assurer une répétitivité de ces impulsions, l'impulsion de pompage de base doit tendre le plus possible vers un signal rectangulaire. De plus le niveau de pompage doit être tel que chaque impulsion partielle doit permettre d'atteindre un niveau d'inversion des populations suffisant pour rendre l'inversion résiduelle négligeable. L'utilisation d'un circuit PFN à 5 cellules permet l'obtention au plus 4 impulsions quasi identiques en ajustant la fréquence et le rapport cyclique du signal électrique de commande. L'utilisation d'un circuit PFN avec un nombre de cellules plus élevé permet d'augmenter le nombre d'impulsions laser identiques.

La prochaine étape de ce travail consiste à tenir compte des effets thermiques générés dans le barreau laser par les impulsions de pompage. Ce qui nous permettra de prévoir la fréquence de répétition maximale des tirs avec une puissance maximale et un minimum de distorsion optique.

Après validation expérimentale, ce travail pourrait servir comme base au développement technologique.

### Références

- [1] Steven T. Karris, Introduction to Simulink with Engineering Applications, Second Edition, Orchard Publications, USA 2008.
- [2] Milev, I Y; Dimov, Optimization of the pumping conditions for Nd:YAG lasers, Applied Optics, Vol. 29, Issue 6, pp. 772-776, 1990.
- [3] G.N. Glasoe, J.V. Lebacqz, Pulse Generators, Series:M.I.T. Radiation Laboratory Series, Vol. 5, G.N. Glasoe, 1948.
- [4] W.Koechner, solid state laser Engineering, Sixth revised and updated edition, Springer Verlag, 2006.
- [5] J.P. MARKIEWICZ, Design of Flashlamp Driving Circuit, IEEE journal of quantum electronics (1966).
- [6] Rasiah, Voltage-current relationship for flashlamps: an empirical approach, Applied Optics, Vol. 30, Issue 4, pp. 485-488, 1991.