

Fonctionnement du laser

D'après ?

L'essentiel à retenir

À rédiger en dernier. Idée directrice : un laser est un amplificateur (milieu à gain) placé dans une boucle de rétroaction positive (cavité). Il oscille dès que le gain par aller-retour compense les pertes.

1 Description schématique du laser

1.1 Le laser comme oscillateur

L'idée initiale du laser se rapproche assez bien du principe d'un oscillateur à rétroaction, utilisé en électronique pour générer des signaux de fréquence variable et de faible distorsion depuis les années 1930. Le principe est d'avoir un amplificateur capable d'augmenter le gain d'un signal, puis de « purifier » ce signal afin de ne garder que la portion fréquentielle qui nous intéresse, puis réinjecter ce signal dans le milieu amplificateur. Le laser reprend ce schéma, avec les correspondances du tableau ci-dessous.

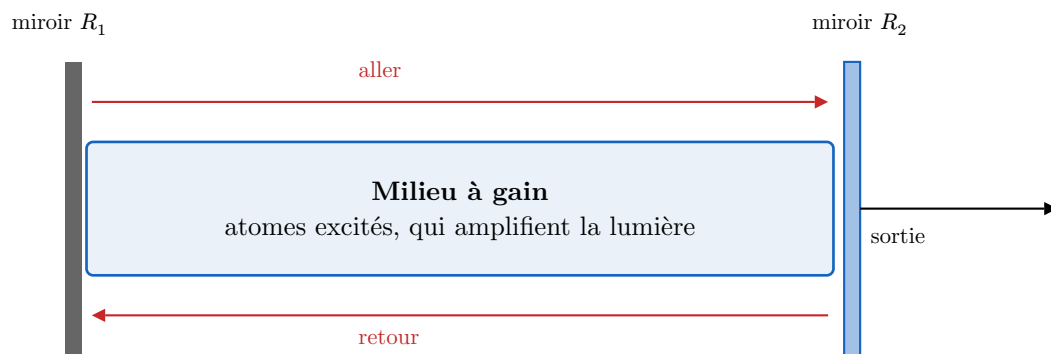
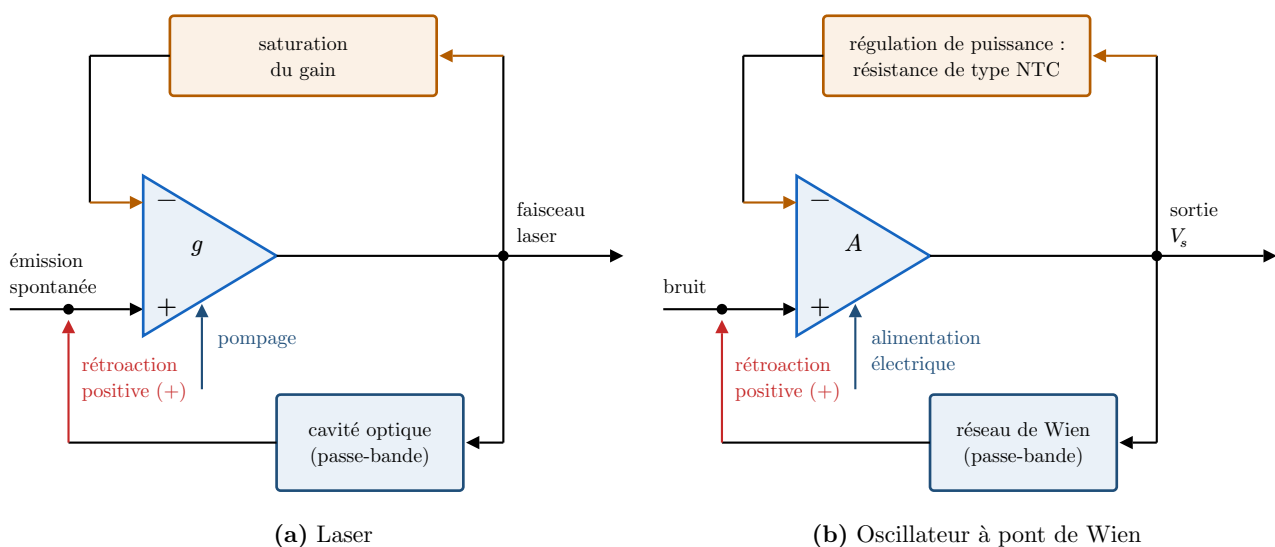


Fig. 1. – Schéma physique du laser. La lumière fait des allers-retours entre deux miroirs ; le milieu à gain l'amplifie à chaque passage, et le miroir R_2 laisse sortir une partie du faisceau.



(a) Laser

(b) Oscillateur à pont de Wien

Fig. 2. – Le laser et l'oscillateur à pont de Wien dans un même schéma de traitement du signal. Un amplificateur (triangle, entrées + et -) est alimenté en énergie. Le point noir sépare sa sortie en trois branches : la sortie utile, la rétroaction positive à travers un filtre passe-bande, et la rétroaction négative qui limite le gain. Seuls les noms des blocs changent.

	Oscillateur à pont de Wien	Laser
Amplificateur	non inverseur, gain A	milieu à gain, gain g
Sélection en fréquence	filtre passe-bande $H(j\omega)$	cavité résonante, modes longitudinaux
Condition d'oscillation	$AH(j\omega_0) = 1$ (Barkhausen)	gain par aller-retour = pertes par aller-retour
Fréquence	$\omega_0 = 1/(RC)$	$\nu_q = qc/(2L)$
Démarrage	à partir du bruit, $AH > 1$	à partir de l'émission spontanée, gain > pertes
Stabilisation	rétroaction négative : A diminue quand l'amplitude croît	saturation : g diminue quand l'intensité croît
Phase	nulle à ω_0	multiple de 2π après un aller-retour

Tableau 1. – Correspondances entre l'oscillateur à pont de Wien et le laser.

Rétroaction positive

Une partie de la sortie est renvoyée à l'entrée **en phase** avec le signal qui y entre : elle s'ajoute à lui, et le signal se renforce à chaque tour de boucle. Une rétroaction négative, au contraire, se retranche et stabilise. C'est le rôle de la saturation, sur l'entrée —.

Pompage

Le pompage est l'apport d'énergie qui maintient les atomes dans l'état excité. Il entre dans le milieu à gain, comme l'alimentation d'un ALI : sans lui, l'amplificateur n'a pas d'énergie à donner à la lumière.

Remarque. La transposition a une limite. Le réseau de Wien est un filtre électrique, alors que la rétroaction laser est spatiale : l'onde fait des allers-retours entre deux miroirs. L'analogie est utile pour la boucle et la condition d'oscillation, mais pas pour le détail des modes.

1.2 Plan de la fiche

2 L'émission stimulée (Einstein, 1917)

2.1 Absorption, émission spontanée, émission stimulée

2.2 Les coefficients d'Einstein

2.3 Population des niveaux et gain

En résumé : À rédiger.

3 Le maser à ammoniac (1954)

3.1 Pourquoi les micro-ondes d'abord

3.2 Inversion par tri des molécules

3.3 Cavité et condition d'oscillation

Condition d'oscillation (à vérifier)

$$R_1 R_2 e^{2(g-\alpha)L} = 1 \quad (1)$$

où R_1 , R_2 sont les réflectivités des miroirs, g le gain et α les pertes internes.

3.4 Régime au-delà du seuil

3.5 Ce qui change dans le schéma

En résumé : À rédiger.

4 Le pompage : le maser à trois niveaux (1956)

4.1 Pourquoi deux niveaux ne suffisent pas

4.2 Trois niveaux et pompage

4.3 Ce qui change dans le schéma

En résumé : À rédiger.

5 Du maser au laser (1958-1961)

5.1 Le problème de la cavité optique

5.2 Modes longitudinaux d'une cavité de Fabry-Pérot

5.3 Le laser à rubis (Maiman, 1960)

5.4 Le laser hélium-néon : quatre niveaux

5.5 Ce qui change dans le schéma

En résumé : À rédiger.

6 Les lasers à semi-conducteur

6.1 Pompage par injection de courant

6.2 Gain entre bandes

6.3 Cavité et hétérostructures

6.4 Ce qui change dans le schéma

En résumé : À rédiger.

7 Les dispositifs associés au laser

7.1 Optique non linéaire et doublage de fréquence

7.2 Cristaux laser et pompage par diode

7.3 Impulsions : déclenchement et blocage de modes

7.4 Modulateurs, isolateurs et autres composants

7.5 Ce qui change dans le schéma

En résumé : À rédiger.

8 Synthèse

À retenir :

À rédiger : les trois conditions (inversion, cavité, seuil) et leurs grandeurs caractéristiques.

	Maser NH_3	Rubis	He-Ne	Diode laser
Milieu amplificateur				
Apport d'énergie				
Démarrage				
Filtre (cavité)				
Saturation				
Sortie				