



TREX 1A

Diode laser

Encadrant

DUFFAUT Joël

Élèves

LECRUBIER Vincent

OLIVIER Solenne

Sommaire

I Généralités.....	3
I.1 Structure de l'atome.....	3
I.2 Les changements d'état de l'atome.....	3
I.2.A L'absorption.....	3
I.2.B L'émission spontanée	4
I.2.C L'émission stimulée.....	4
I.3 Le LASER.....	5
I.3.A Le pompage.....	5
I.3.B L'amplification.....	6
I.4 Les modes de propagation.....	7
I.4.A Les modes longitudinaux	7
I.4.B Les modes transverses.....	8
I.5 Le laser à semi-conducteur.....	8
I.5.A Les semi-conducteurs.....	8
I.5.B Utilisation des semi-conducteurs dans un laser.....	9
II Variation de la puissance optique émise en fonction de la température et de l'intensité électrique reçue.....	10
II.1 Objectifs.....	10
II.2 Manipulation.....	10
II.3 Résultats.....	11
II.3.A Résultats bruts.....	11
II.3.B Modélisation.....	12
II.3.C Influence de la température.....	13
III Étude des modes de propagation transverses.....	15
III.1 Objectifs.....	15
III.2 Manipulation.....	15
III.3 Résultats.....	16
III.3.A Caractérisation spatiale.....	16
III.3.B Influence de l'orientation de la diode laser dans les mesures.....	17
III.3.C Influence de la distance entre la diode laser et la photodiode.....	18
III.3.D Différents modes de propagation transverse.....	19
IV Étude des modes de propagation longitudinaux.....	20
IV.1 Objectifs.....	20
IV.2 Manipulation.....	20
IV.3 Résultats.....	22
IV.3.A Modélisation.....	22
IV.3.B Influence de la température.....	23
IV.3.C Influence de la puissance optique.....	24
V Conclusion.....	25
VI Annexes.....	25
VI.1 Fiche technique de la diode.....	25

I Généralités

I.1 Structure de l'atome

Un atome est constitué d'électrons et d'un noyau. Les électrons se répartissent autour du noyau en fonction de leur énergie, qui ne peut prendre que des valeurs précises. Ces différentes dispositions en fonction du niveau d'énergie sont appelées états de l'atome.

L'état d'énergie minimale est appelé état fondamental ou état stable. Dans cet état, les électrons sont le plus proche du noyau. L'atome peut passer à des états d'énergie supérieure, dits états excités.

I.2 Les changements d'état de l'atome

I.2.A L'absorption

L'atome passe d'un état stable à un état excité grâce à un apport d'énergie. Cette énergie peut être apportée sous deux formes :

- sous forme d'énergie cinétique (Consécutif à un choc)
- sous forme électromagnétique (Rayonnement).

Lorsque cette énergie est électromagnétique, elle est transmise par des photons. Chaque photon a une énergie E définie par :

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Avec

$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$ constante de Planck

ν fréquence qui caractérise le photon

$c = 2,997 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ célérité de la lumière dans le vide

λ longueur d'onde du photon

Pour faire passer l'atome d'un état d'énergie E_1 à un état d'énergie supérieur E_2 , le photon doit avoir une énergie E vérifiant :

$$E = E_2 - E_1$$

La transition d'un état d'énergie E_1 à un état E_2 ne se fera donc que si l'atome reçoit un photon de fréquence ν telle que :

$$E_2 - E_1 = h \cdot \nu$$

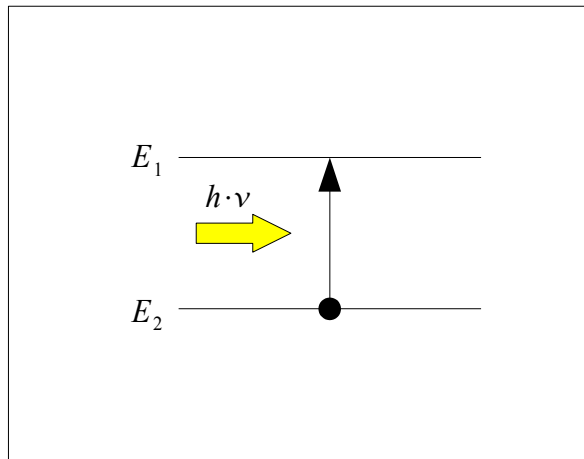


Illustration 1: Phénomène d'absorption

I.2.B L'émission spontanée

L'atome passe d'un état excité à un niveau d'énergie plus bas. Cette chute s'accompagne d'une émission d'énergie qui peut avoir deux formes :

- Thermique (dissipation de chaleur)
- Rayonnement électromagnétique : si on passe d'un niveau E_2 au niveau plus bas E_1 , alors un photon d'énergie $E = E_2 - E_1 = h \cdot \nu$ sera émis.

Le rayonnement électromagnétique obtenu est incohérent car les atomes émettent indépendamment les uns des autres et dans toutes les directions. Cependant la fréquence est identique pour tous les photons libérés, si l'on néglige l'étalement en fréquence dû à l'effet Doppler causé par l'agitation thermique.

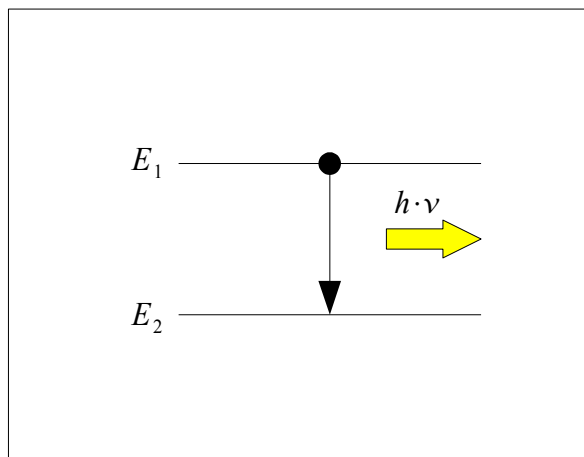


Illustration 2: Phénomène d'émission spontanée

I.2.C L'émission stimulée

On a de nouveau libération d'énergie sous la forme d'un photon d'énergie $E = E_2 - E_1 = h \cdot \nu$ à cause de la désexcitation de l'atome. Mais contrairement à l'émission spontanée, c'est un autre photon qui provoque ce rayonnement. La désexcitation de l'atome est provoquée par l'arrivée d'un photon de même énergie que celle qui serait libéré par émission spontanée.

On obtient alors un rayonnement cohérent : le photon émis par l'atome a la même longueur d'onde et se propage dans la même direction que le photon incident. Le rayonnement est amplifié par l'émission stimulée.

Il est intéressant de récupérer ce rayonnement, on cherche donc à connaître les conditions

permettant d'avoir une émission stimulée au sein de la matière.

Soit

N_1 le nombre d'atomes dans l'état E_1

N_2 le nombre d'atomes dans l'état E_2

Pour avoir une émission stimulée efficace, on doit avoir $N_2 > N_1$. On obtient alors une inversion de population.

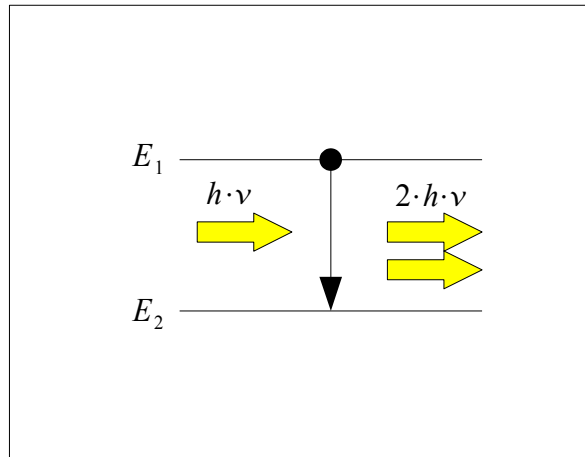


Illustration 3: Phénomène d'émission stimulée

I.3 Le LASER

Le but du *LASER* est d'entretenir cette inversion de population et d'amplifier l'émission stimulée afin de pouvoir utiliser le rayonnement cohérent émis.

I.3.A Le pompage

Une excitation extérieure maintient l'inversion de population. On utilise le fait que certaines transitions entre les niveaux d'énergie soient non radiatives. Le cycle (schématisé sur l'illustration 4) décrit par les atomes se décompose en plusieurs étapes :

1. On excite l'atome au niveau E_0 par pompage : on arrive au niveau E_3 .
2. L'atome se désexcite sans émettre de radiations pour arriver au niveau E_2 .
3. Lors du passage du niveau E_2 au niveau E_1 , on a une émission laser.
4. A partir du niveau E_1 , on a de nouveau une désexcitation non radiative jusqu'au niveau E_0 .

Si les transitions non radiatives sont plus rapides que l'émission radiative, qui doit être métastable, les niveaux E_3 et E_1 se dépeuplent rapidement par ces transitions. On maintient l'inversion de population grâce au pompage, qui apporte l'énergie au système.

Ce pompage peut s'effectuer au moyen de plusieurs dispositifs :

- Le pompage optique (lampe flash, autre laser)
- Le pompage électrique
- Le pompage chimique (par combustion)
- Le pompage avec rayonnement ionisant (explosion nucléaire)

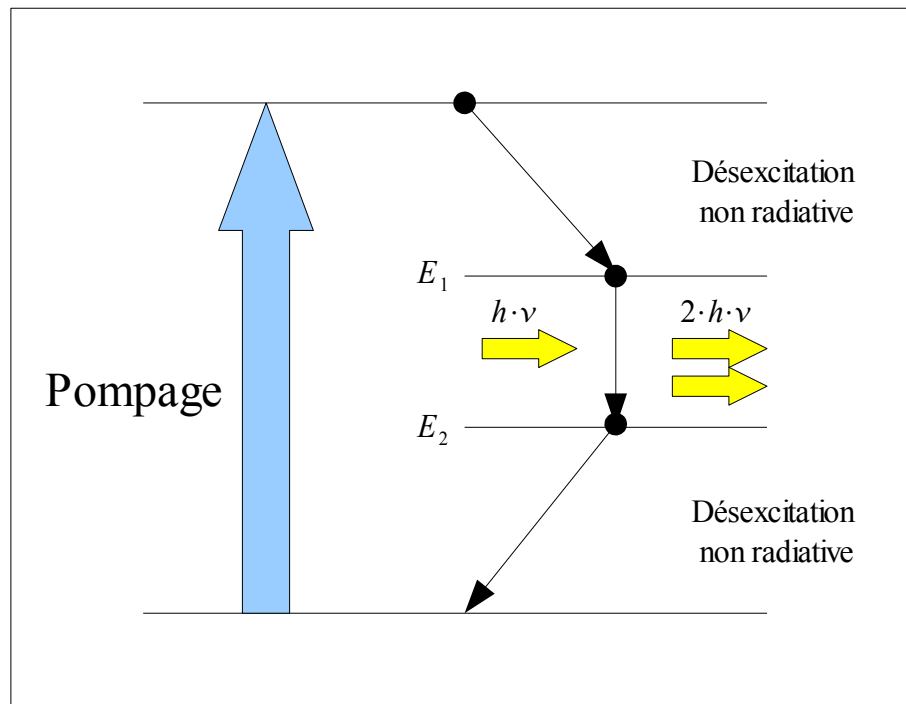


Illustration 4: Principe du pompage dans un laser

I.3.B L'amplification

On cherche maintenant à amplifier l'émission stimulée afin d'obtenir une onde électromagnétique de forte amplitude en sortie.

Dans ce but, on va faire résonner dans une cavité le rayonnement obtenu après le pompage. Le matériau actif est placé entre deux miroirs formant la cavité. L'onde créée par pompage est amplifiée par des allers-retours en phase entre ces deux miroirs.

Pour favoriser l'émission stimulée selon une direction précise, on choisit une cavité de forme très allongée dans la direction désirée. Les rayonnements émis selon des directions différentes ne seront alors pas amplifiés, mais le rayonnement émis dans l'axe de la cavité sera très fortement amplifié.

Pour que les ondes électromagnétiques réfléchies par les miroirs s'additionnent, elles doivent être en phase. La distance L entre les miroirs ne peut donc avoir que des valeurs précises données par :

$$L = q \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Avec

$$q \in \mathbb{N}$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ longueur d'onde}$$

Il faut de plus que les miroirs soient parallèles afin de minimiser les pertes lors du trajet de l'onde et de créer une addition des amplitudes.

Cette cavité est équivalente à un interféromètre Fabry-Pérot. L'importance de l'écartement des parois de la cavité est mis en évidence sur l'illustration 5 et l'illustration 6

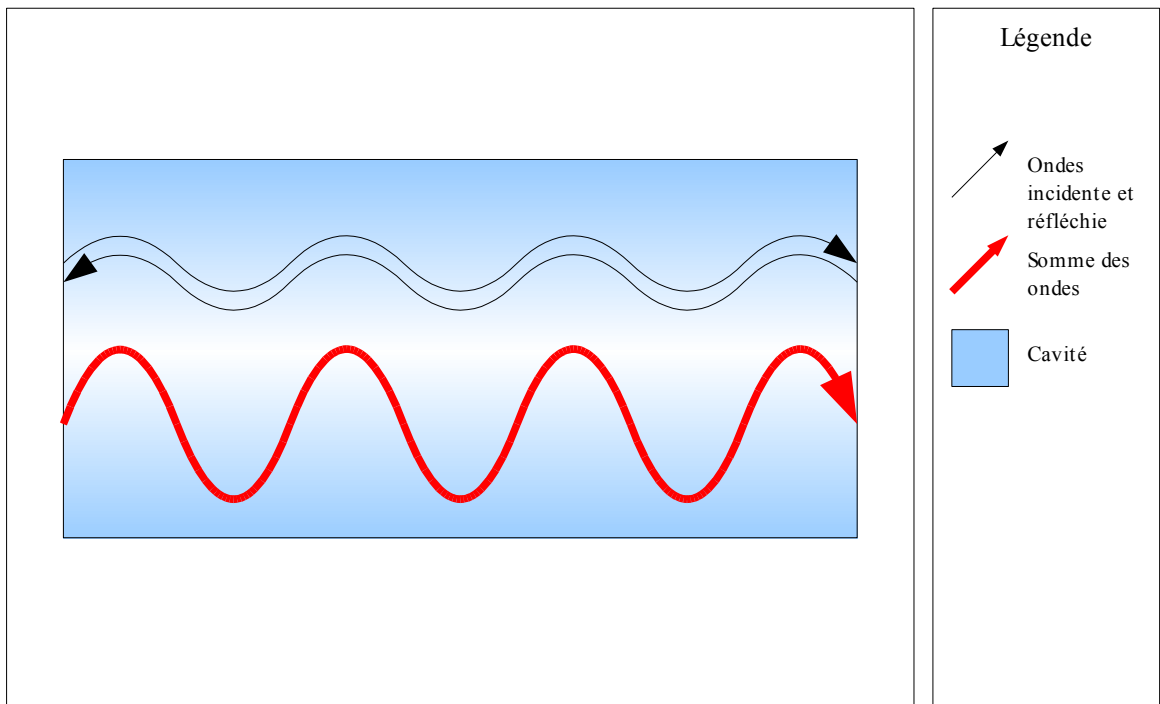


Illustration 5: Addition des ondes dans le cas d'une longueur de cavité adaptée

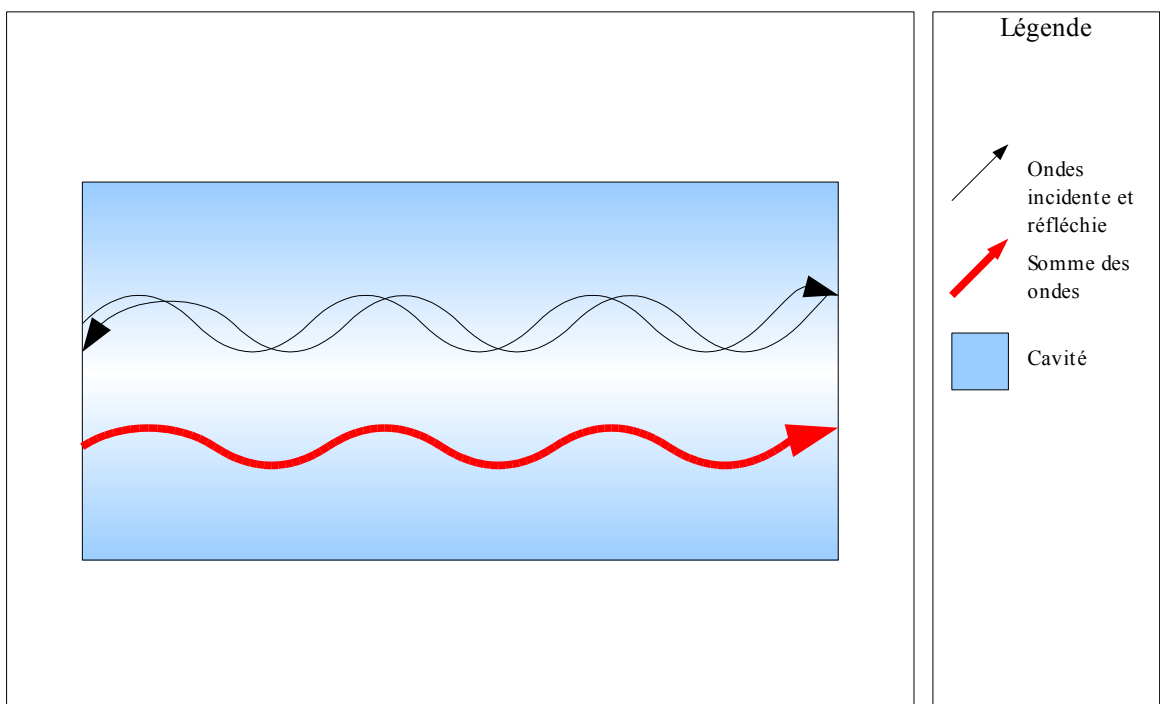


Illustration 6: Destruction et déphasage des ondes dans le cas d'une longueur de cavité inadaptée

Le laser est donc constitué de :

- Un matériau actif : c'est de lui dont dépend la radiation émise
- Un dispositif de pompage : il doit pouvoir exciter les atomes
- Une cavité résonante : elle permet l'amplification de l'émission stimulée

1.4 Les modes de propagation

1.4.A Les modes longitudinaux

On sait que la longueur de la cavité doit être multiple de $\lambda/2$. On aura donc

généralement plusieurs longueurs d'onde λ possibles parmi le spectre d'émission du matériau actif. On dit que le laser a plusieurs modes longitudinaux.

L'intervalle entre deux λ correspondants à deux modes longitudinaux adjacents est appelé intervalle spectral libre $\Delta \nu$. Il est caractérisé par :

$$\Delta \nu = \frac{c'}{2 \cdot L} = \frac{c}{2 \cdot n \cdot L}$$

Avec

c' vitesse de la lumière dans le matériau

n indice optique du milieu

Si on cherche un laser monomode, c'est-à-dire caractérisé par une seule longueur d'onde, on utilisera un matériau dont la bande d'émission est la plus étroite possible. Les longueurs d'onde λ vérifiant $L = q \cdot \frac{\lambda}{2}$ seront alors plus rares.

I.4.B Les modes transverses

Si les miroirs sont placés à la bonne distance mais qu'ils ne sont pas rigoureusement plans, il existera plusieurs zones de l'espace pouvant devenir des cavités résonantes. Des modes de propagation transverses apparaîtront. Au lieu d'un seul, plusieurs faisceaux se dirigeant dans des directions différentes seront émis par le laser.

Il est difficile d'obtenir un laser monomode transverse car il faudrait des miroirs parfaitement plans.

I.5 Le laser à semi-conducteur

I.5.A Les semi-conducteurs

Les semi-conducteurs ont des propriétés de conduction du courant intermédiaire entre celles des isolants et des conducteurs.

Dans un semi-conducteur, le courant circule grâce :

- Aux électrons, qui sont libres de se déplacer si on applique un courant
- Aux trous, qui sont des emplacements libres pour les électrons.

On contrôle la densité et le type des porteurs grâce au dopage du matériau (introduction d'impuretés).

- Un dopage de type P conduit à la production de trous.
- Un dopage de type N contient un excès d'électrons.

La jonction P-N est la juxtaposition d'une couche de matériau de type N et d'une couche de matériau de type P. la zone active sera à la jonction de ces deux couches.

On applique un potentiel négatif sur le matériau N et un potentiel positif sur le matériau P. On aura alors un excès de porteurs de part et d'autre de la jonction. Dans la jonction, il y a une recombinaison entre électrons et trous : les électrons «tombent» dans les trous. Ils passent de leur bande de conduction à la bande de valence : ils étaient dans un état libre et sont à présent liés à un atome. Ils passent donc à un niveau d'énergie plus bas. Ce changement de niveau d'énergie libère un photon dont l'énergie est environ égale à la

différence entre le niveau lié et le niveau libre de l'électron. Ce processus est décrit sur l'illustration 7.

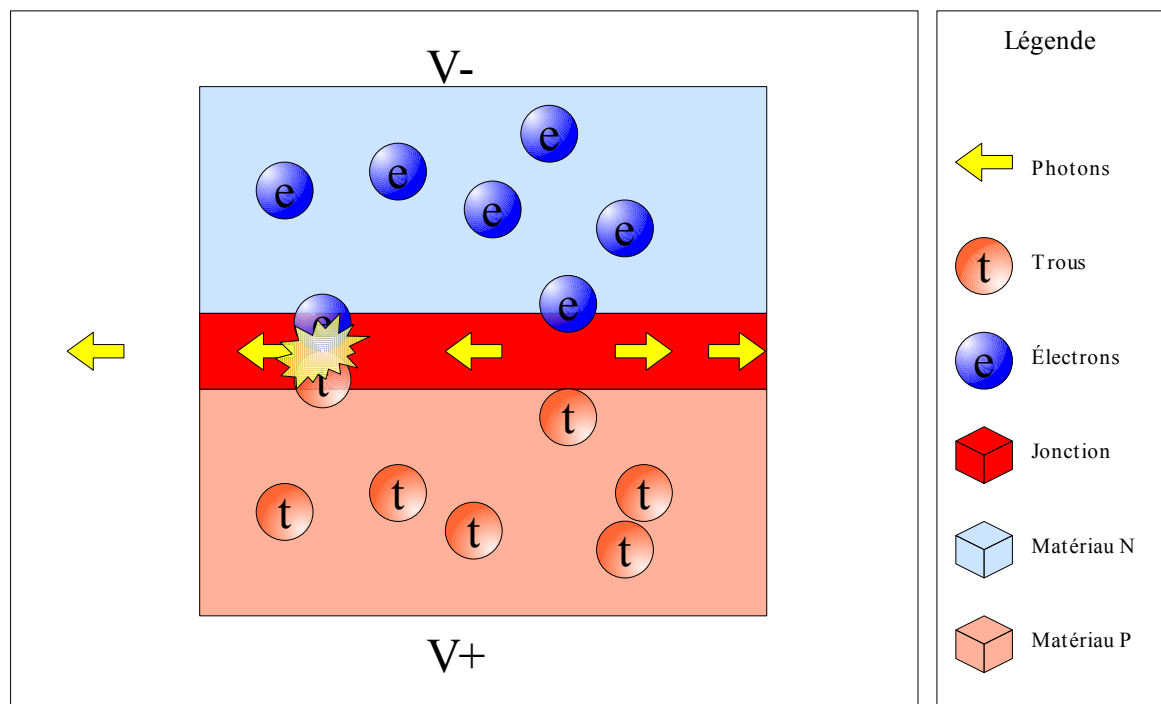


Illustration 7: Processus d'émission de photons dans une jonction P-N

I.5.B Utilisation des semi-conducteurs dans un laser

On peut donc réaliser un laser à l'aide de semi-conducteurs en utilisant les photons qu'ils peuvent émettre. Le pompage s'effectue par le passage d'un courant important dans la jonction. La cavité résonante est constituée du matériau lui-même : les faces de la jonction sont polies et donc semi-réfléchissantes. Le guidage dans la cavité se fait par l'indice ou par le gain (Cette deuxième méthode n'est pas utilisée dans les diodes du laboratoire).

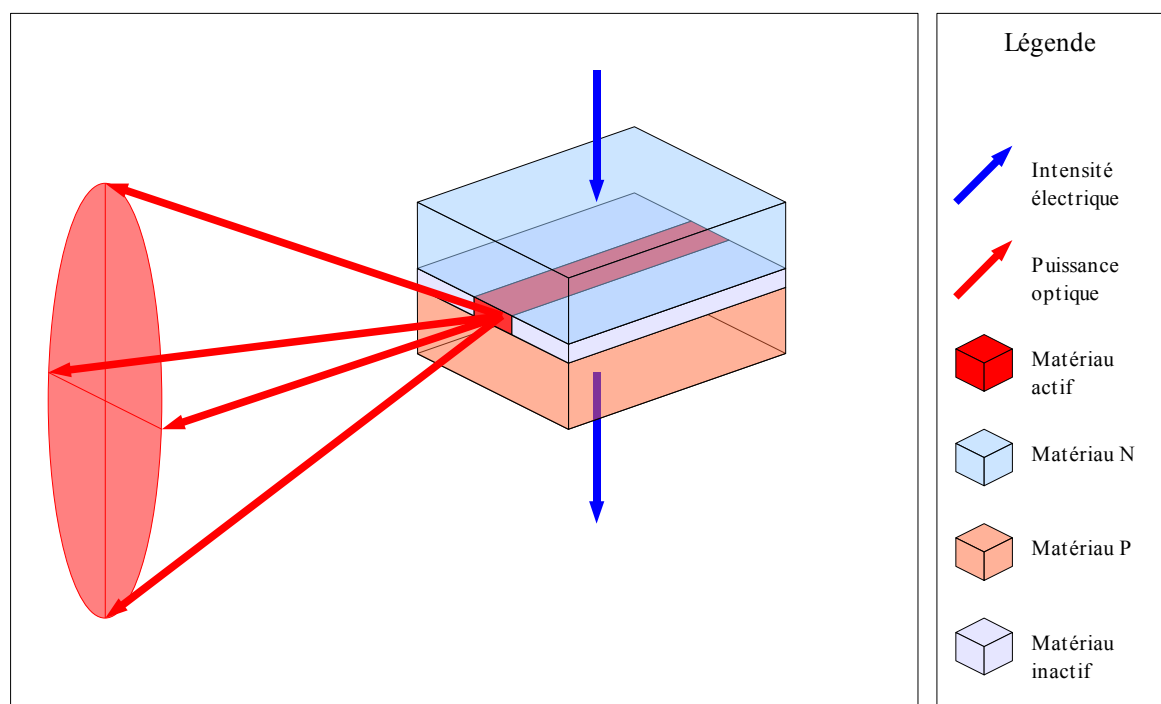


Illustration 8: Schéma d'un laser à semi conducteur

II Variation de la puissance optique émise en fonction de la température et de l'intensité électrique reçue

II.1 Objectifs

Le but de cette expérience est de mesurer la variation de la puissance optique émise par la diode en fonction de l'intensité électrique qu'elle reçoit. Nous verrons comment cette caractéristique varie en fonction de la température de la diode.

Si le modèle présenté du fonctionnement du laser est correct, nous devrions pouvoir distinguer deux régimes : Le régime d'émission spontanée si l'intensité électrique est insuffisante pour créer l'inversion de population, et le régime d'émission stimulée, si l'inversion de population est effectuée.

Nous essaierons ensuite de visualiser certaines caractéristiques de la diode, dont son intensité de seuil, et son rendement différentiel externe.

II.2 Manipulation

La manipulation consiste dans un premier temps à fixer la température de la diode. Un courant d'intensité spécifiée est ensuite injecté dans la diode, dont on évalue alors la puissance optique de sortie à l'aide de la photodiode intégrée dans le boîtier.

L'interface de contrôle de l'ordinateur envoie une consigne d'intensité à un boîtier *Spectra Diode Labs*. Le boîtier transmet l'intensité électrique vers la diode laser. Le boîtier *Spectra Diode Labs* permet de régler manuellement la température appliquée sur la diode à l'aide d'un module à effet Peltier.

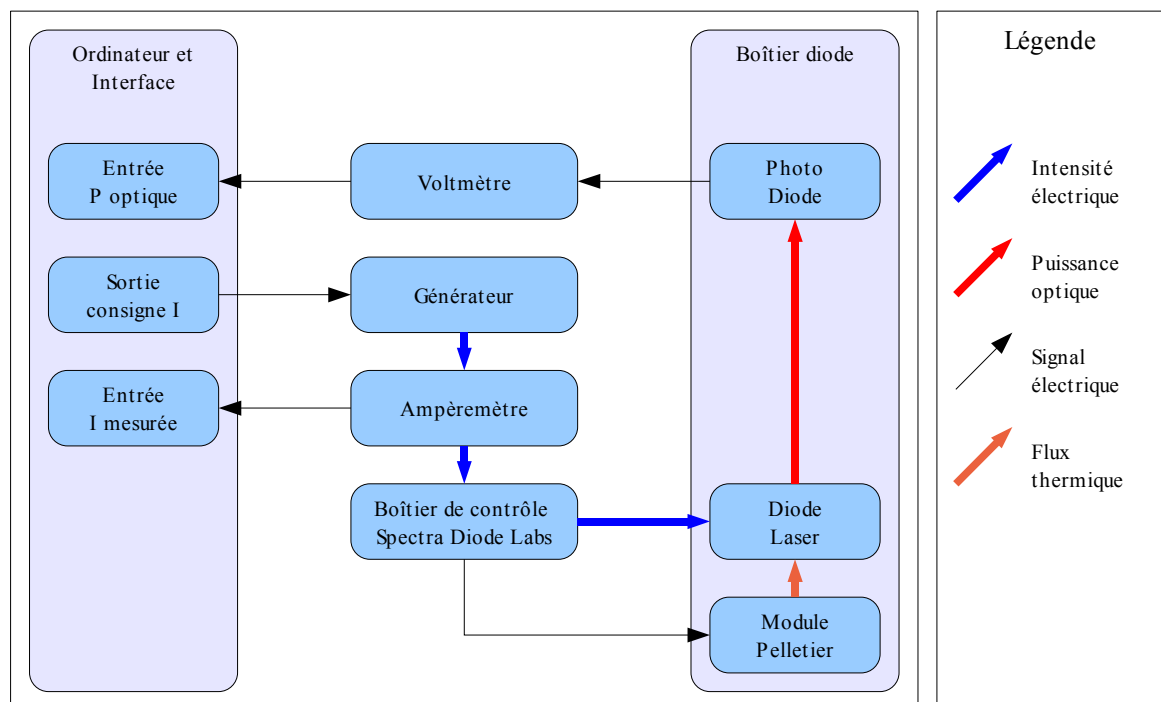


Illustration 9: Schéma de principe de la première expérience

Une photodiode placée sur la face arrière de la diode laser permet renvoie une tension image de la puissance optique, qui est envoyée à l'interface de l'ordinateur via un voltmètre.

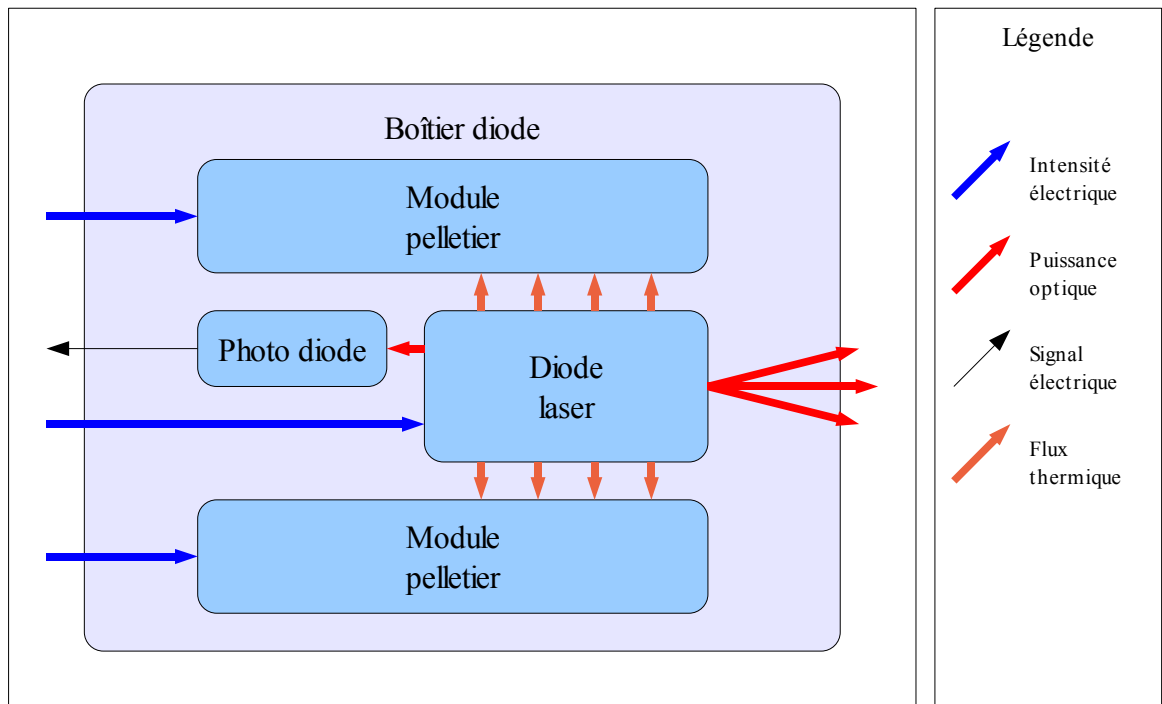


Illustration 10: Contenu des boîtiers diode laser du laboratoire

II.3 Résultats

II.3.A Résultats bruts

Pour une température de 25°C, les résultats obtenus sont présentés sur l'illustration 11.

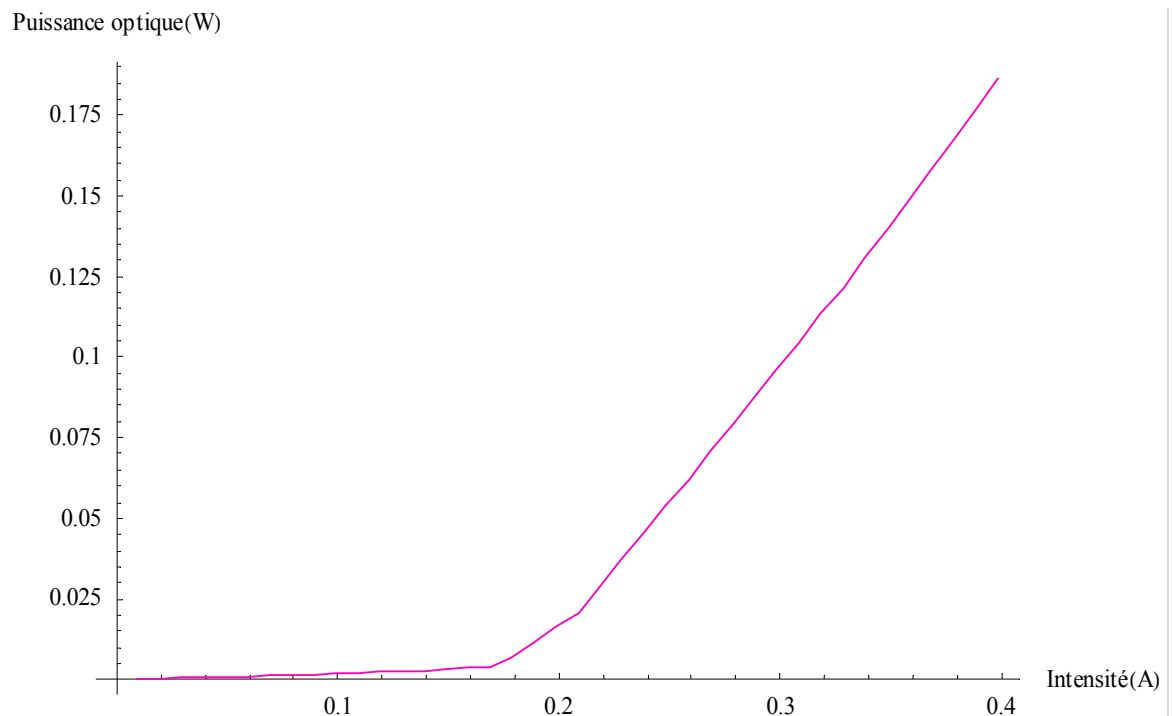


Illustration 11: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité pour une température de 25°C

Nous remarquons que la puissance optique reste faible si l'intensité est inférieure à un certain seuil, justement appelé courant de seuil. C'est le régime d'émission spontanée, la densité d'atomes à l'état excité n'est pas suffisante pour amorcer l'effet laser. Ensuite, l'inversion de population se produit, et on passe en régime d'émission stimulée.

Les résultats bruts obtenus sont présentés graphiquement sur l'illustration 12 pour des températures comprises entre -10°C et 30°C .

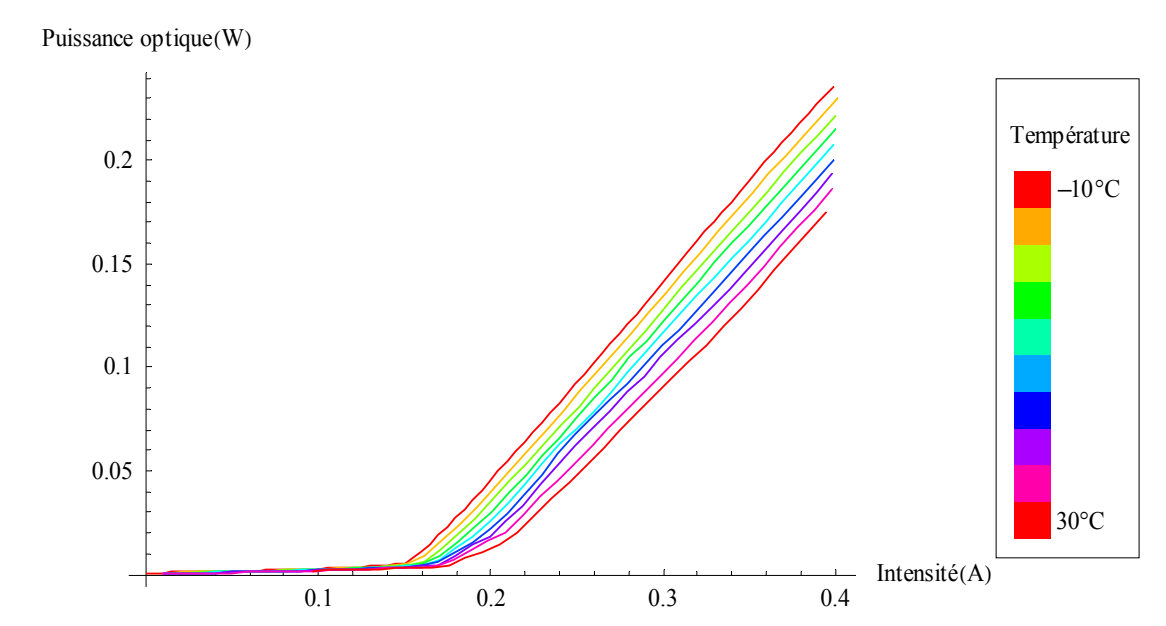


Illustration 12: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité pour des températures variant entre -10°C et 30°C

On remarque quelques imperfections sur les courbes. Ces imperfections peuvent être dues à des difficultés dans l'asservissement de la température de la diode, mais aussi à des changements de modes de fonctionnement du laser (voir)

II.3.B Modélisation

Il est possible de modéliser chaque courbe en distinguant 2 segments correspondant aux 2 régimes d'émission. On pourra ainsi évaluer l'intensité de seuil, qui sera l'abscisse du point de rupture de la pente, et le rendement différentiel externe, qui sera le coefficient directeur du second segment.

Sur l'illustration 13, on remarque que la modélisation est très fidèle à la réalité.

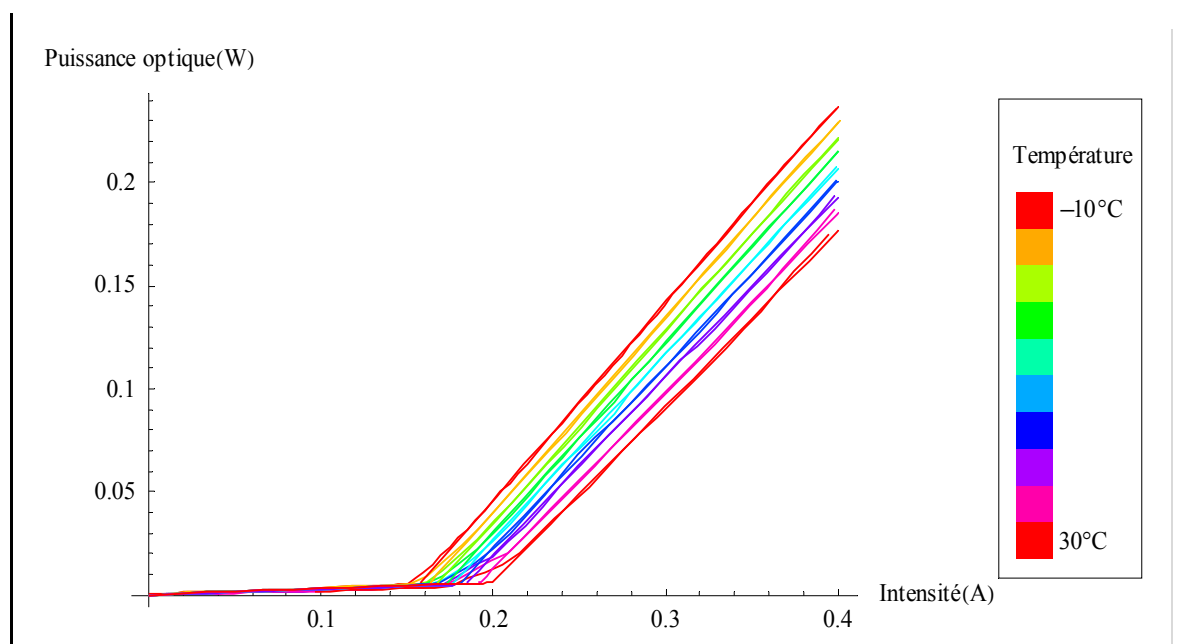


Illustration 13: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité : comparaison entre la modélisation et la mesure

Cependant, l'illustration 14 montre qu'il existe une zone de 5 mA autour de l'intensité de seuil sur laquelle l'approximation en 2 segments ne semble plus valable.

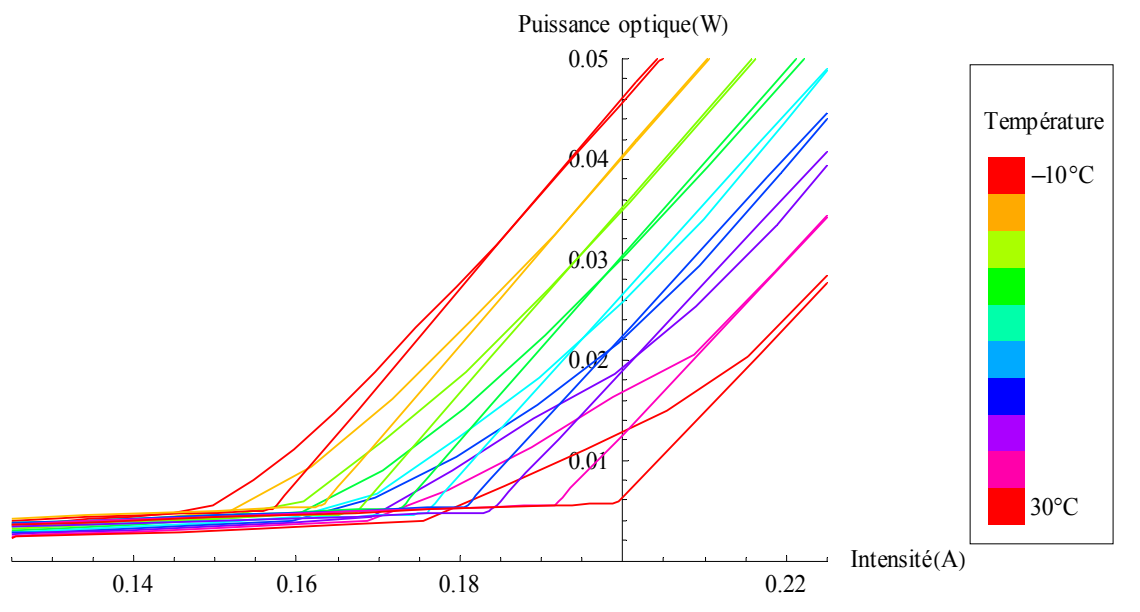


Illustration 14: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité : comparaison entre la modélisation et la mesure autour du courant de seuil

La différence entre la modélisation et la réalité peut être due à plusieurs effets physiques, mais aussi à des erreurs de mesure. En effet, la régulation de température peut connaître des difficultés si l'intensité injectée varie trop rapidement (Cas d'un pas de mesure trop élevé).

II.3.C Influence de la température

Grâce aux données issues de l'expérience, nous remarquons que la température influe sur plusieurs grandeurs caractéristiques de la diode laser. Ainsi, l'illustration 15 montre que l'intensité de seuil augmente avec la température de manière non négligeable.

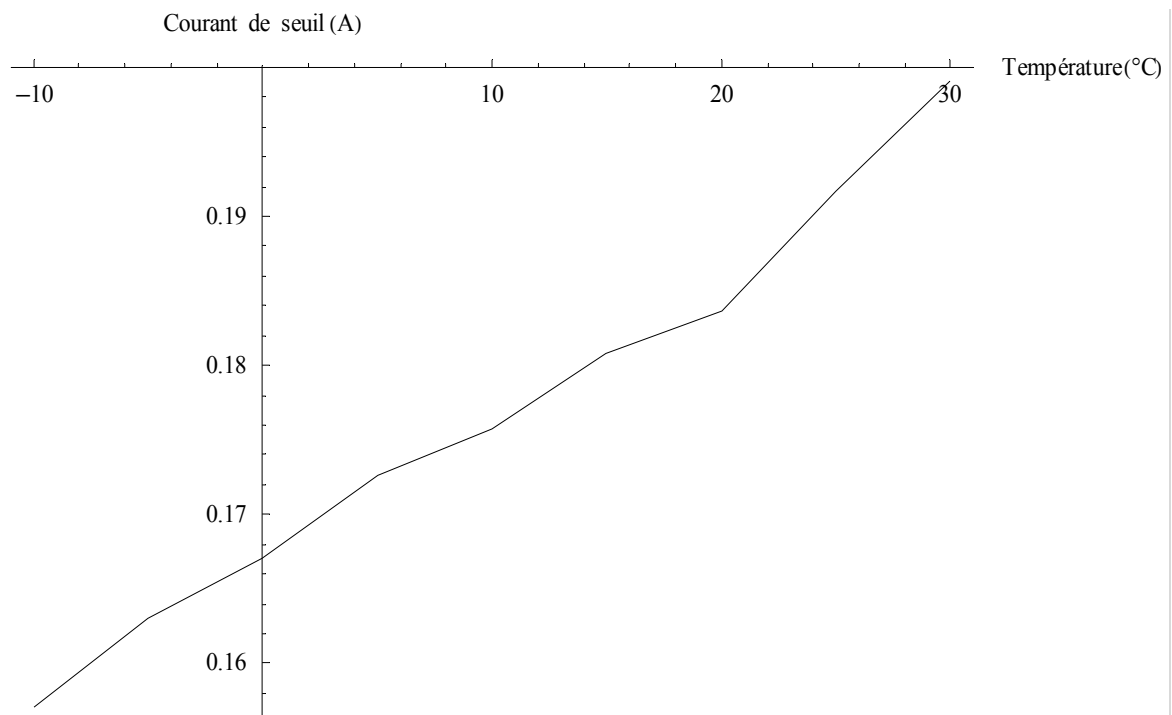


Illustration 15: Variation du courant de seuil en fonction de la température

L'Illustration 16 montre de plus que le rendement différentiel externe décroît considérablement lorsque la température augmente.

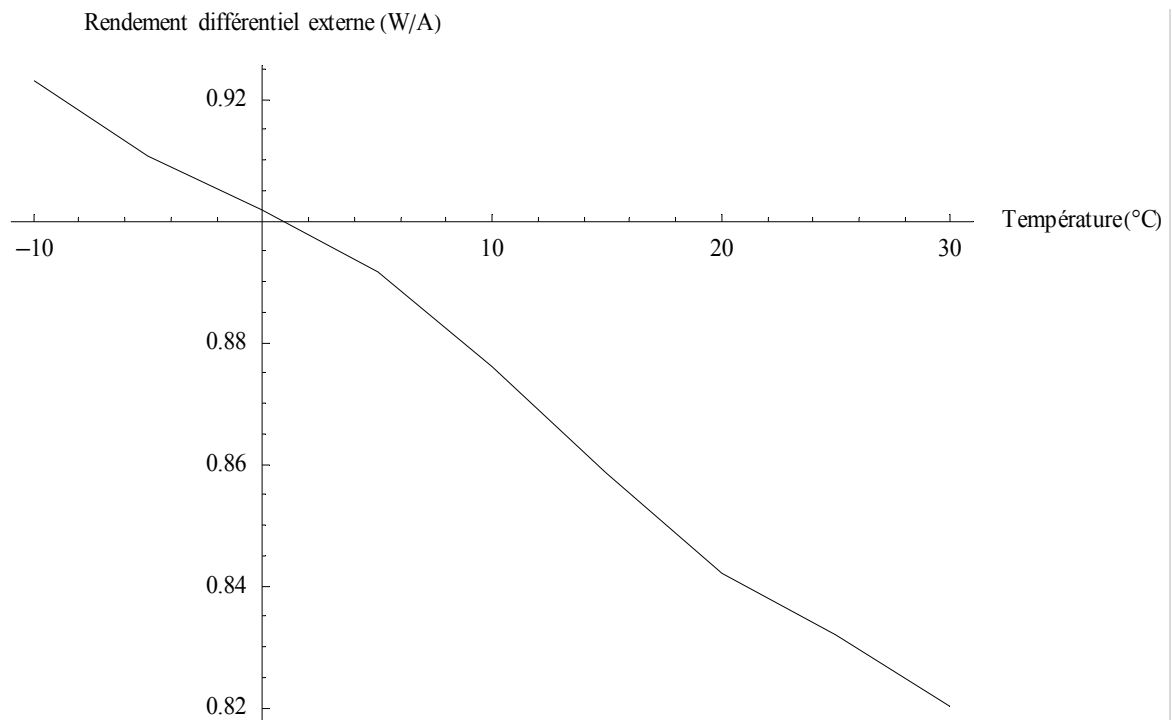


Illustration 16: Variation du rendement différentiel externe en fonction de la température

Ces variations des performances de la diode avec la température peuvent avoir des effets néfastes dans certaines applications. Ainsi un système utilisant une diode laser pour moduler un signal pourrait devenir inopérant si la température monte trop (Selon les saisons, l'heure du jour etc...). Il faut donc tenir compte des effets de la température dans l'élaboration d'un système basé sur une diode laser. L'Illustration 17 nous montre par exemple l'évolution de la puissance optique émise par la diode en fonction de la température pour une intensité électrique d'entrée fixée à 300mA.

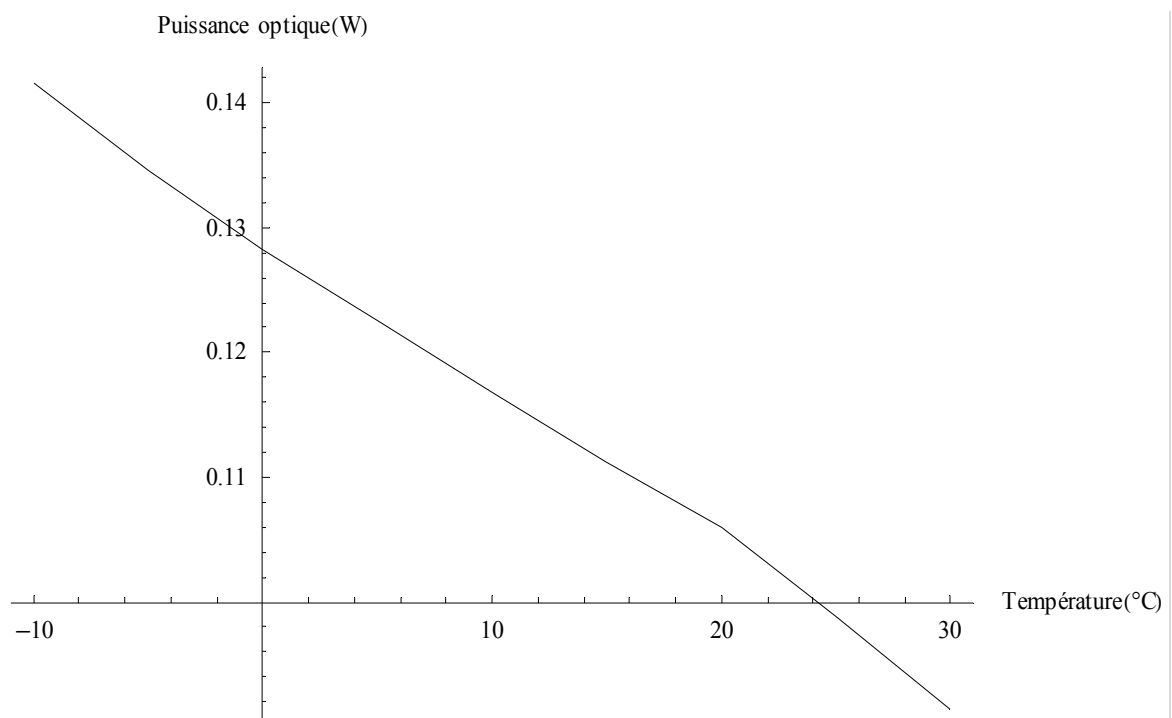


Illustration 17: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de la température pour une intensité électrique de 300mA

III Étude des modes de propagation transverses

III.1 Objectifs

Le but de cette expérience est de caractériser les modes transverses de la diode n°. Nous voulons connaître le diamètre et la hauteur du faisceau obtenu à la sortie de la diode. Si la diode n'est pas monomode longitudinal, nous devrions trouver plusieurs faisceaux émergent. Nous chercherons alors à déterminer leur distribution spatiale.

III.2 Manipulation

La manipulation consiste à faire pivoter la diode autour d'un axe. La photodiode est placée à une distance donnée de la diode laser, et on mesure l'intensité lumineuse reçue par la photodiode en fonction de l'angle de rotation de la diode autour de son axe.

La rotation de la diode est motorisée. L'interface de contrôle de l'ordinateur envoie une consigne de déplacement angulaire. On obtient alors, en sortie de la photodiode, une image de la répartition spatiale de la puissance optique émise.

Le balayage s'effectue en 2 fois : une première fois parallèlement à la jonction, une seconde fois perpendiculairement. Le courant injecté dans le laser et la température ne varient pas lors de cette manipulation.

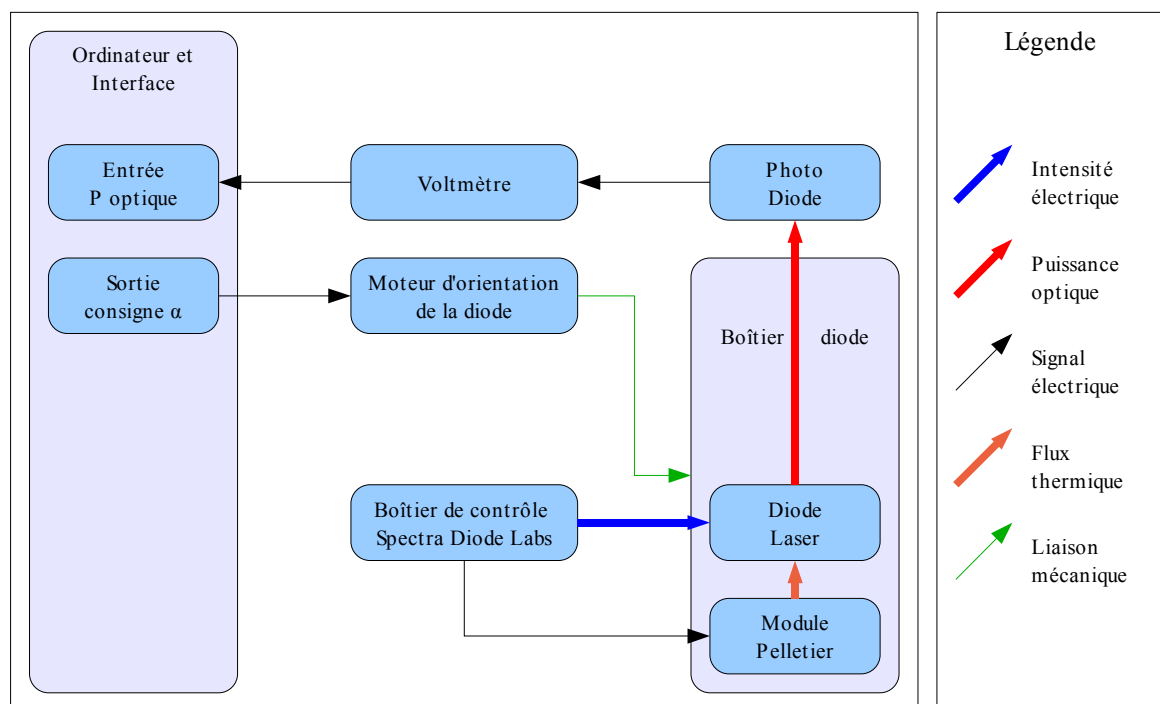


Illustration 18: Schéma de principe de la seconde expérience

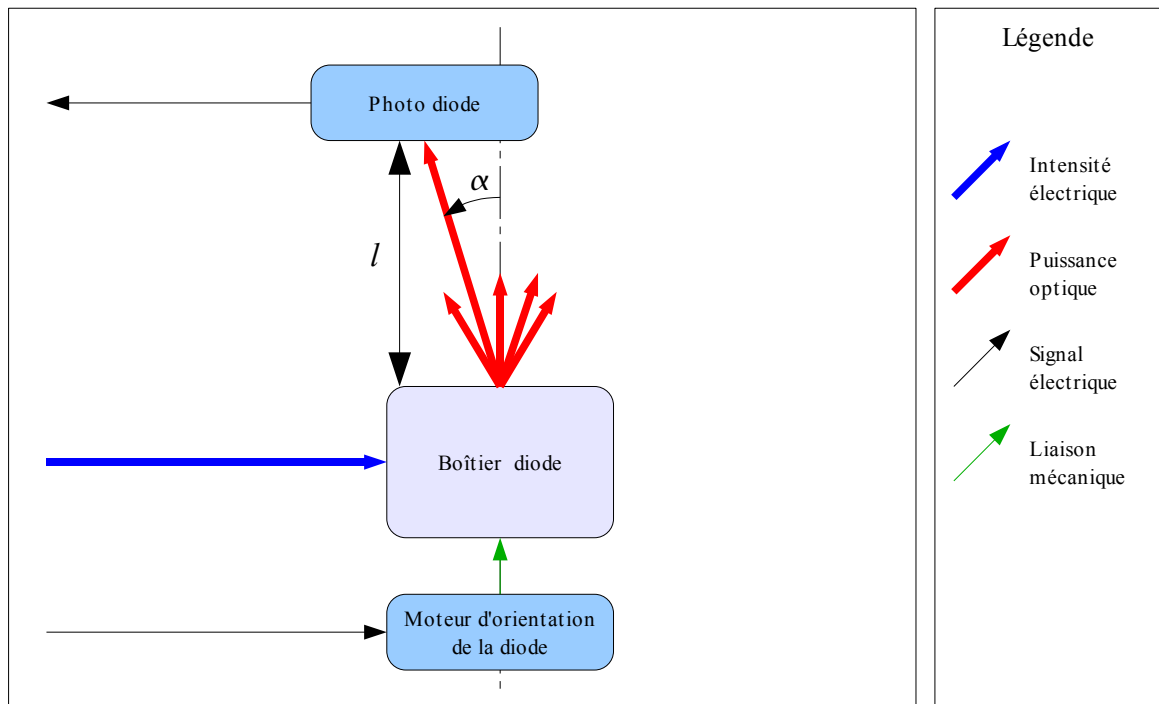


Illustration 19: Caractérisation de la puissance optique relative en fonction de l'angle par rapport à l'axe de la diode

III.3 Résultats

III.3.A Caractérisation spatiale

L'Illustration 20 et l'Illustration 21 nous montrent les allures des profils d'intensité lumineuse dans les plans perpendiculaire à la jonction parallèle à la jonction. Nous remarquons que la tache est beaucoup plus étalée dans la direction perpendiculaire à la jonction. Ce résultat était prévisible, car la jonction ayant une épaisseur très faible et une largeur plus importante, la diffraction des ondes est plus forte dans le sens perpendiculaire à la jonction, d'où l'allure des tâches.

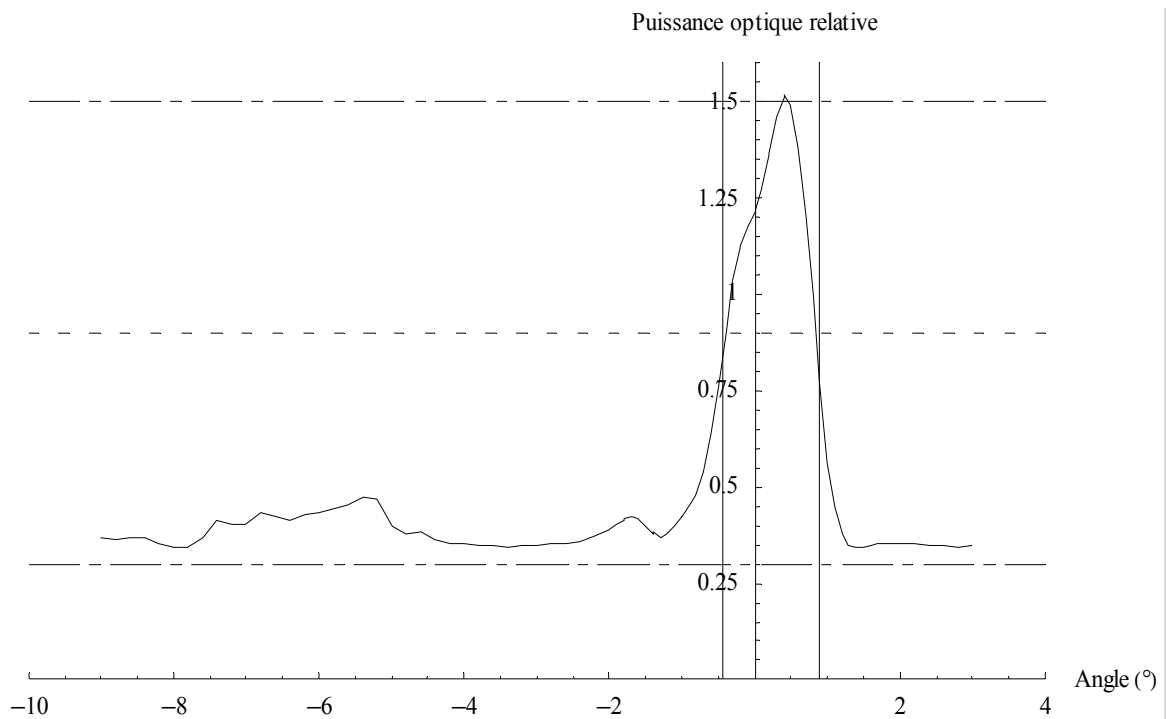


Illustration 20: Variation de la puissance optique relative en fonction de l'angle dans le plan parallèle à la jonction

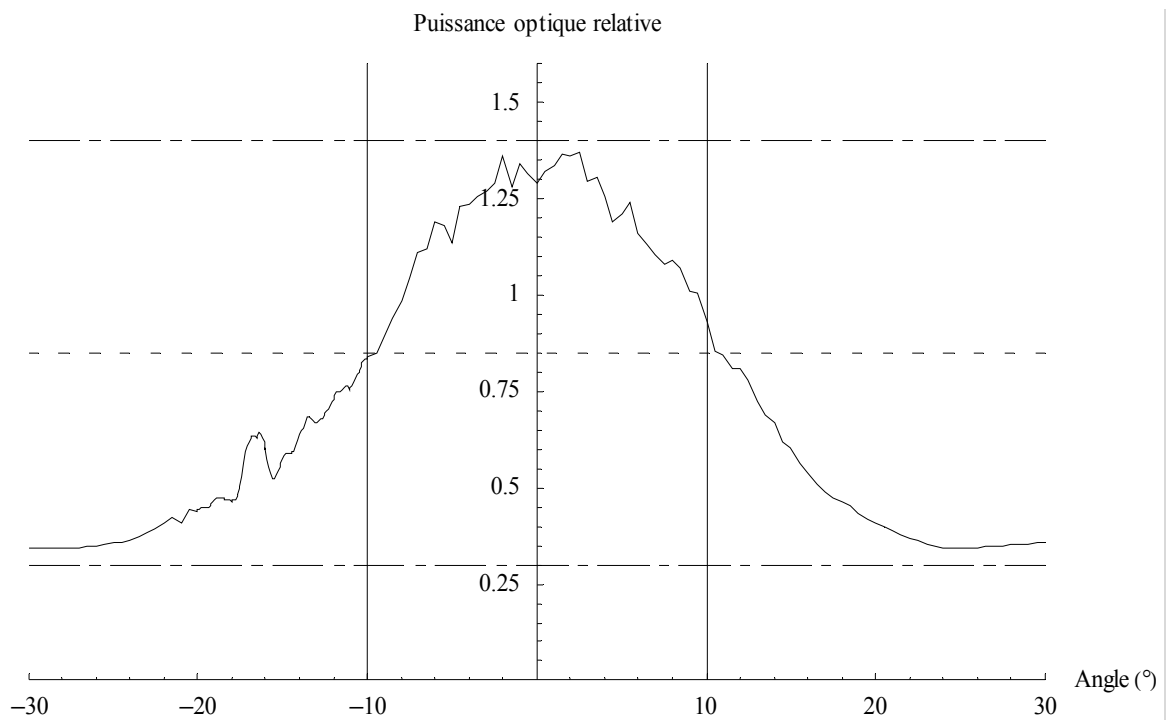


Illustration 21: Variation de la puissance optique relative en fonction de l'angle dans le plan perpendiculaire à la jonction

III.3.B Influence de l'orientation de la diode laser dans les mesures

L'Illustration 22 montre le profil de la puissance lumineuse en fonction de l'angle dans le plan perpendiculaire à la jonction, en orientant d'abord la diode dans un sens par rapport au référentiel du laboratoire, puis en la retournant de 180°. On remarque que les accidents de la courbe, notamment le petit pic situé vers -20°, sont présents au même endroit sur les deux courbes. La largeur à mi-hauteur est elle aussi inchangée dans les deux mesures. Les allures des courbes sont donc intrinsèques à la diode, et ne proviennent pas d'une

quelconque perturbation due aux conditions d'expérimentation.

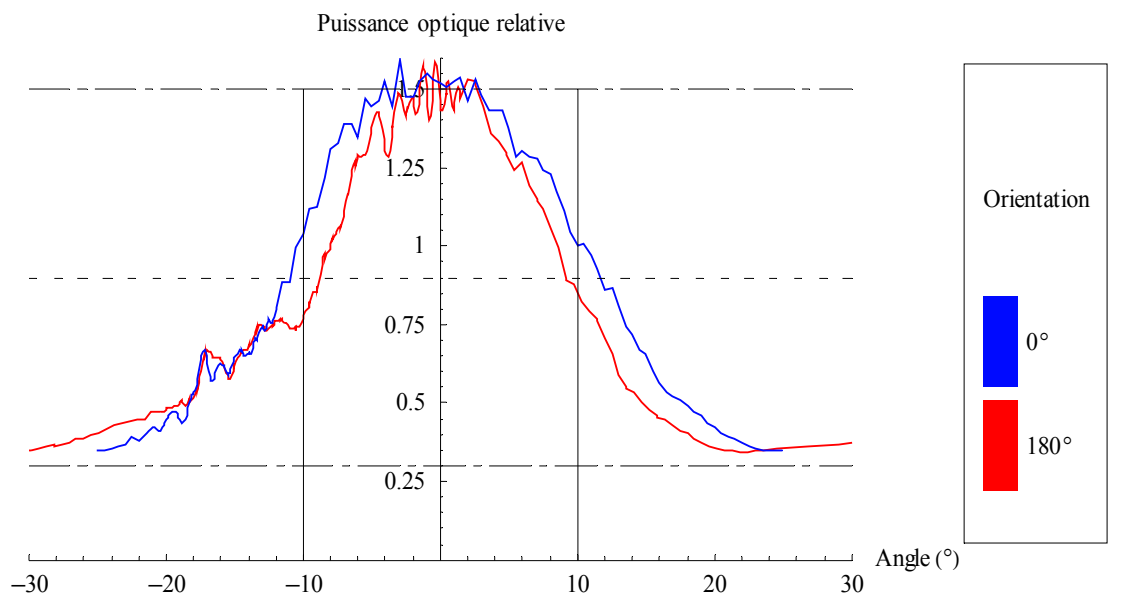


Illustration 22: Influence de l'orientation de la diode pour les mesures dans le plan perpendiculaire à la jonction

III.3.C Influence de la distance entre la diode laser et la photodiode

L'Illustration 23 représente deux mesures du profil de la puissance lumineuse en fonction de l'angle dans le plan perpendiculaire à la jonction, pour deux distances différentes entre la diode laser et la photodiode. On remarque que les deux profils sont semblables, cependant des phénomènes de propagation longitudinale pourraient les rendre dissemblables.

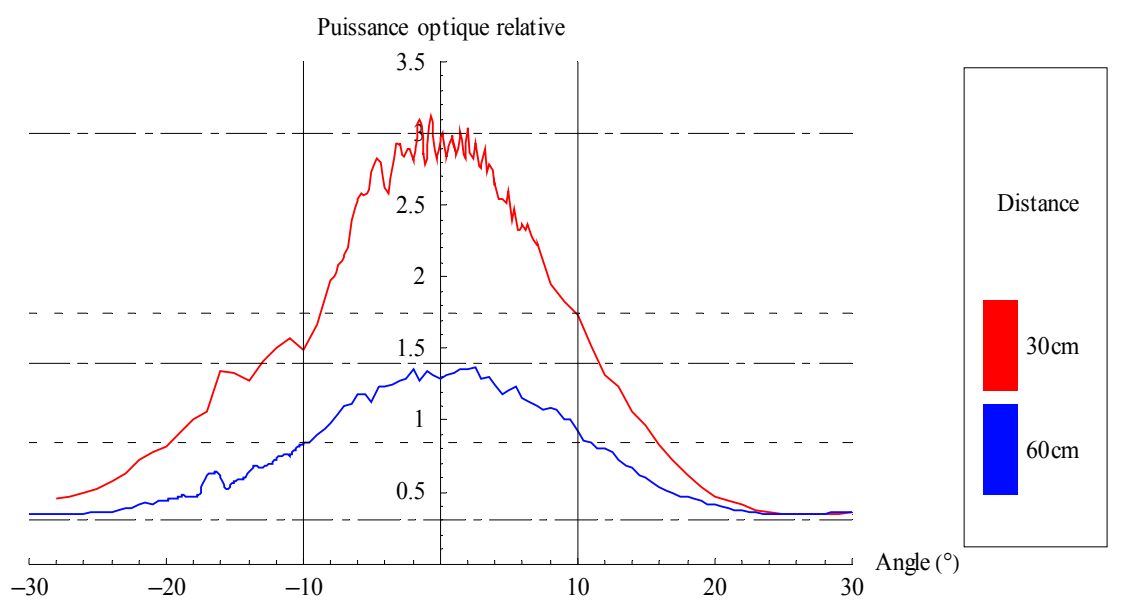


Illustration 23: Influence de la distance entre la diode laser et la photodiode pour les mesures dans le plan perpendiculaire à la jonction

On remarque sur l'Illustration 24, que lorsque la photodiode est proche de la diode laser, un phénomène d'interférence semble apparaître lorsque la photodiode est dans l'axe de la diode laser. Ces raies peuvent être causées par des interférences dues aux réflexions du faisceau laser sur la photodiode et sur la diode laser (voir)

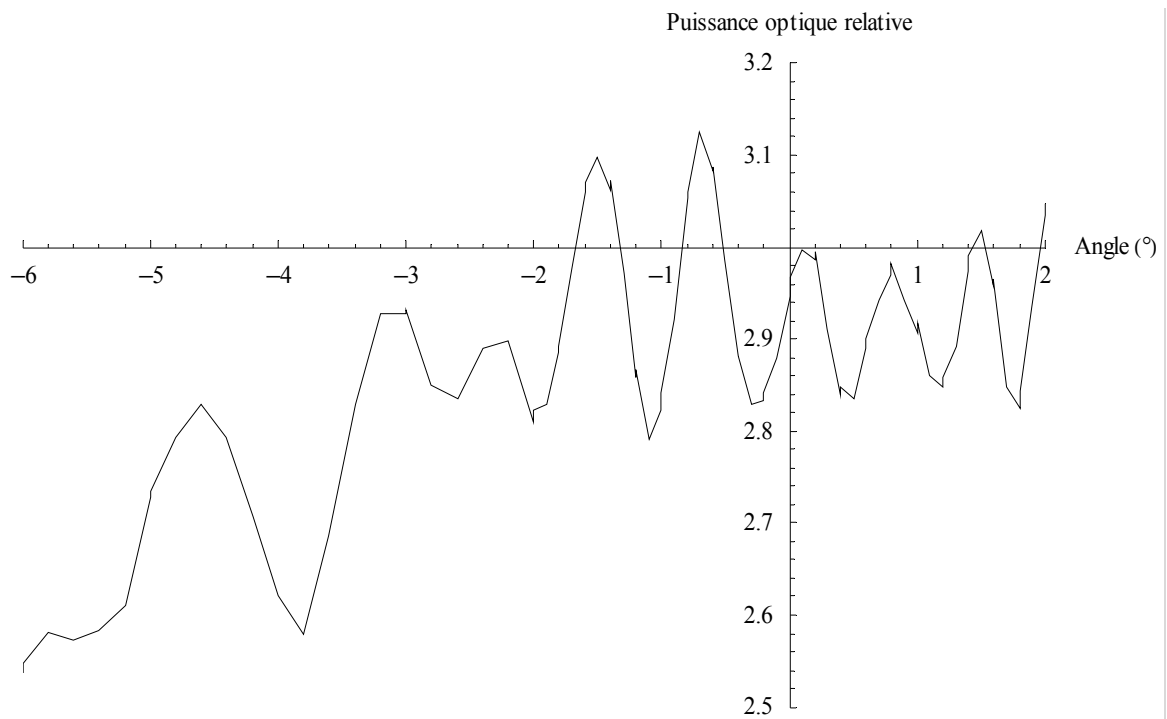


Illustration 24: Apparition d'un phénomène d'interférence pour des angles petits et une faible distance entre la diode laser et la photodiode

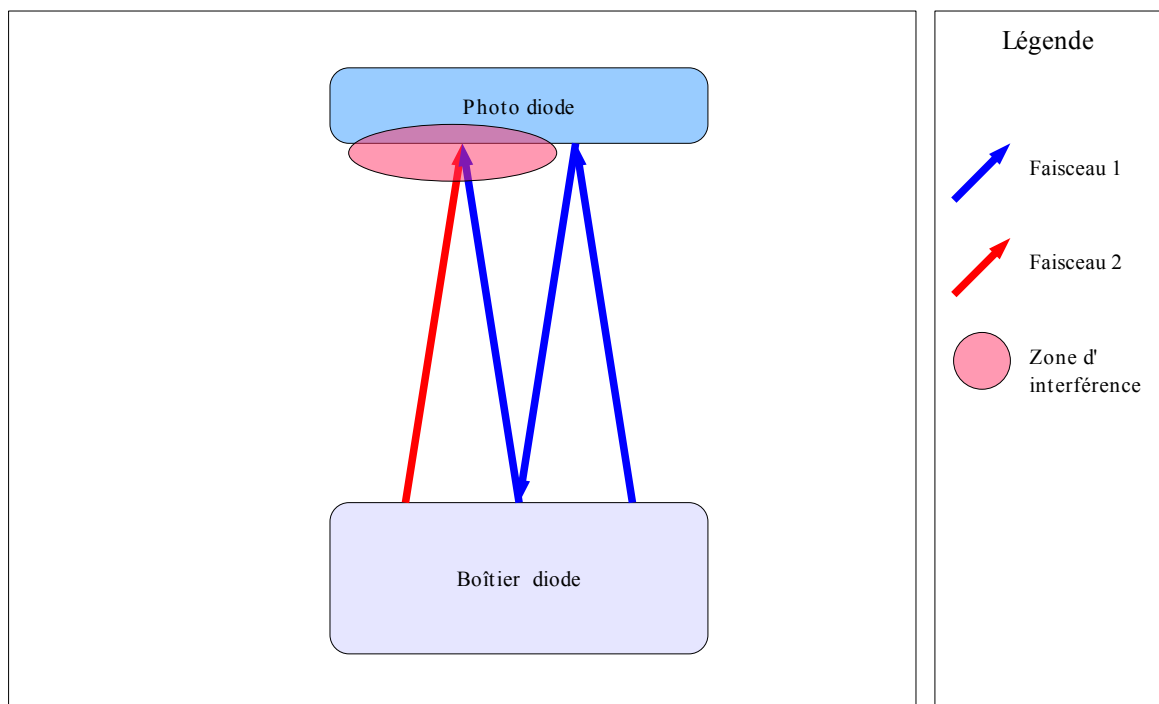


Illustration 25: Schéma de principe illustrant une cause possible du phénomène observé

III.3.D Différents modes de propagation transverse

Lors d'une première mesure du profil de la puissance lumineuse en fonction de l'angle dans le plan parallèle à la jonction, représenté sur l'illustration 20, nous remarquons un pic principal très visible autour de 0° , et un second pic plus faible autour de -6° . Nous pouvons donc supposer l'existence de plusieurs modes de propagation transverse, correspondant chacun à un pic.

L'illustration 26 apporte une confirmation à notre hypothèse. En effet, sur les profils représentés pour différentes valeurs de l'intensité électrique reçue par la diode montrent

clairement qu'il existe 2 modes principaux :

- En dessous de 300mA, le pic principal est situé autour de -6° , accompagné par un autre pic autour de -8° .
- Au delà d'une valeur critique de l'intensité, on remarque que les deux pics précédents disparaissent complètement, et il apparaît un pic très marqué autour de 0° .

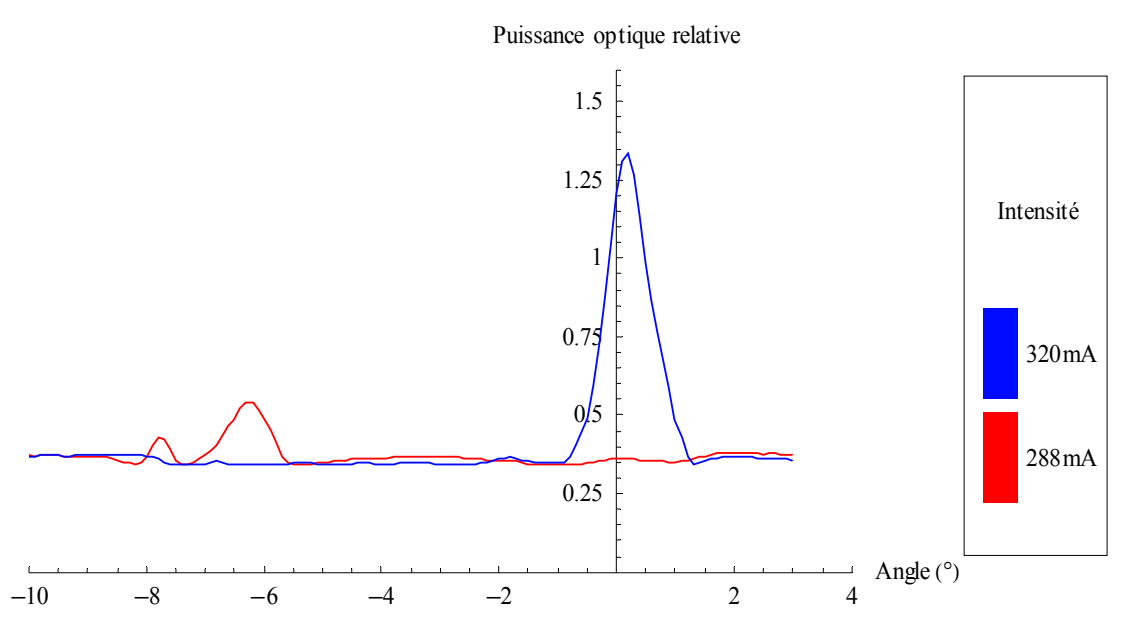


Illustration 26: Variation de la puissance optique relative en fonction de l'angle dans le plan parallèle à la jonction pour deux modes de propagation transverse différents

Notre première mesure a donc été effectuée pour une valeur de l'intensité proche de la valeur critique, puisque les deux mode sont visibles.

Il est à remarquer que le passage d'un mode à l'autre est sujet à un hysteresis, puisqu'il n'intervient pas pour la même valeur de l'intensité si l'on va dans le sens de la diminution de l'intensité ou si l'on va dans le sens de l'augmentation de l'intensité.

De plus, dans la zone située autour de l'intensité critique, le signal n'est pas stable dans le temps. En effet, le laser peut alors basculer d'un mode à l'autre sans manipulation extérieure.

IV Étude des modes de propagation longitudinaux

IV.1 Objectifs

Le but de cette expérience est de caractériser les modes de propagation longitudinaux de la diode. Nous voulons connaître les différentes longueurs d'ondes qui ont été amplifiées dans la cavité résonante et qui composent le rayonnement émis. Nous cherchons également à déterminer les puissances associées à chaque longueur d'onde.

IV.2 Manipulation

Un monochromateur est utilisé dans cette manipulation. Il permet de séparer les différentes longueurs d'onde du faisceau.

Le faisceau de la diode est amené en entrée du monochromateur. Grâce au réseau, on réalise la diffraction de ce faisceau : l'angle de réfraction dépend de la longueur d'onde.

Les différents rayons correspondant aux différentes longueurs d'ondes ont une direction différente après réflexion sur le réseau. En mesurant cet angle de déviation, on aura la longueur d'onde.

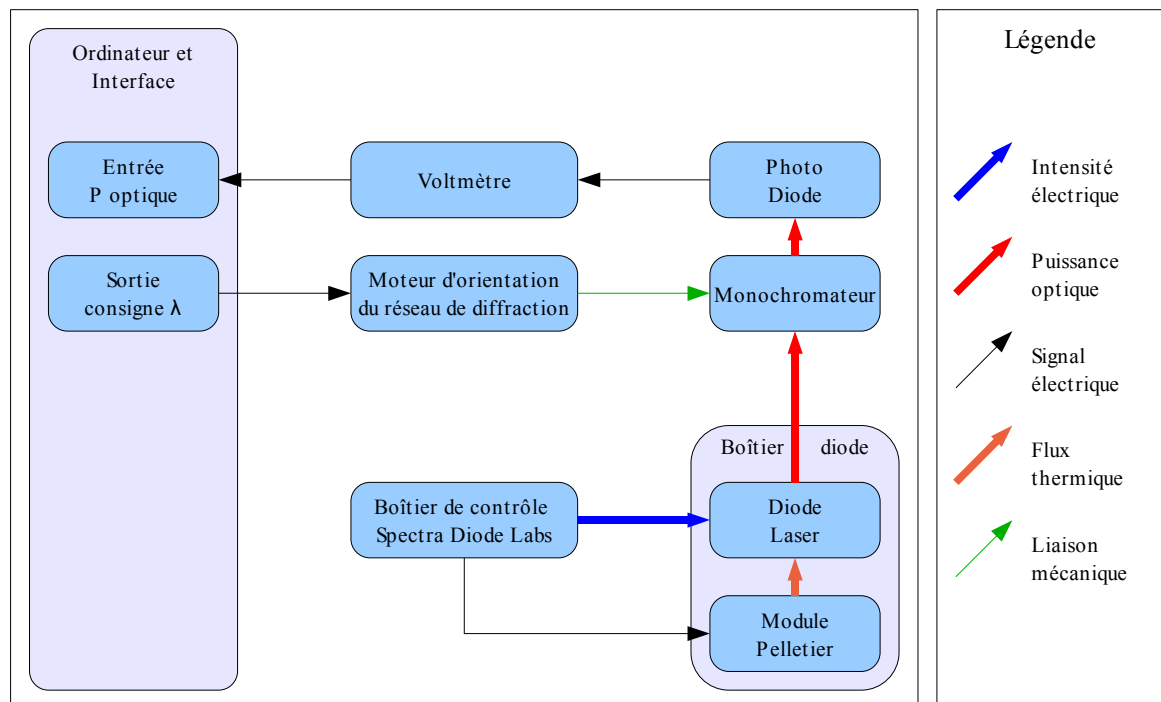


Illustration 27: Schéma de principe de la troisième expérience

On fait pivoter le réseau pour déterminer l'angle de déviation. Dans notre manipulation, la commande de déplacement angulaire est donnée par l'ordinateur et ce déplacement est motorisé.

Une photodiode placée en sortie du monochromateur donne une image de la puissance optique associée à chaque angle du réseau de diffraction, et donc à chaque longueur d'onde.

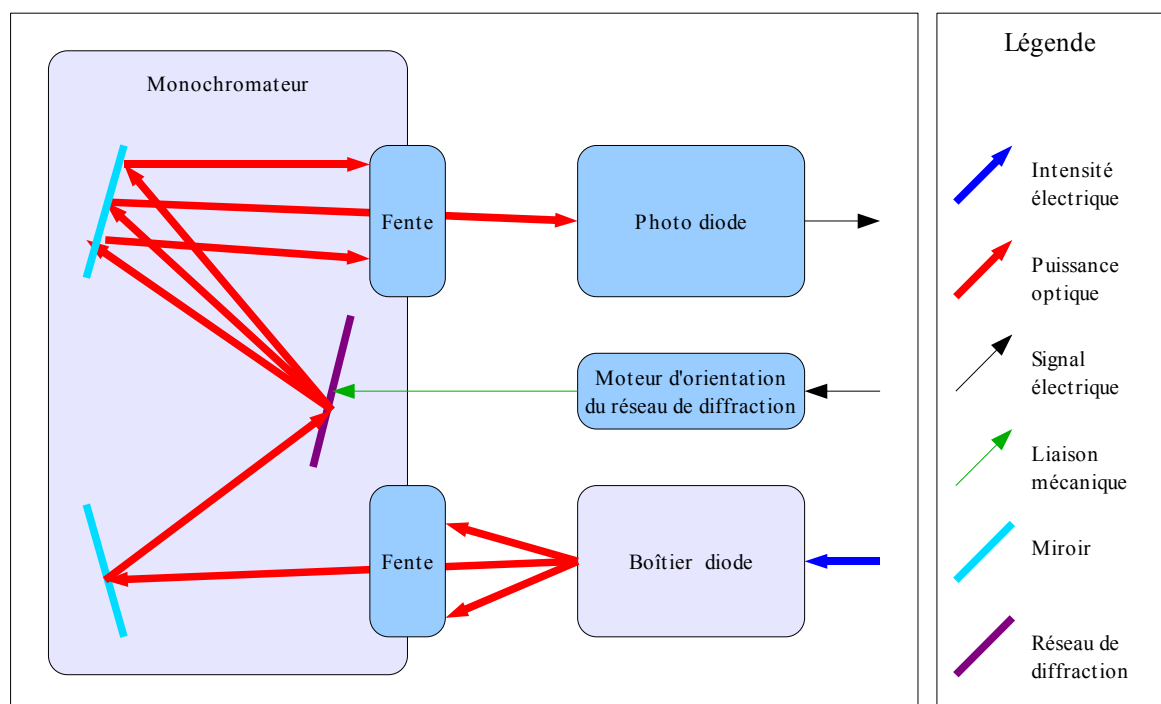


Illustration 28: Principe de fonctionnement de la spectroscopie utilisant un monochromateur

IV.3 Résultats

IV.3.A Modélisation

L'illustration 29' présente l'allure théorique des raies. Les raies sont espacées de l'intervalle spectral libre (voir), et elles sont modulées par le spectre d'émission du matériau actif, qui a une forme caractéristique due à la répartition gaussienne des vitesses des atomes dans le milieu actif. Le produit de ces deux fonctions donne une allure théorique constituée de plusieurs raies dont les plus intenses sont au centre.

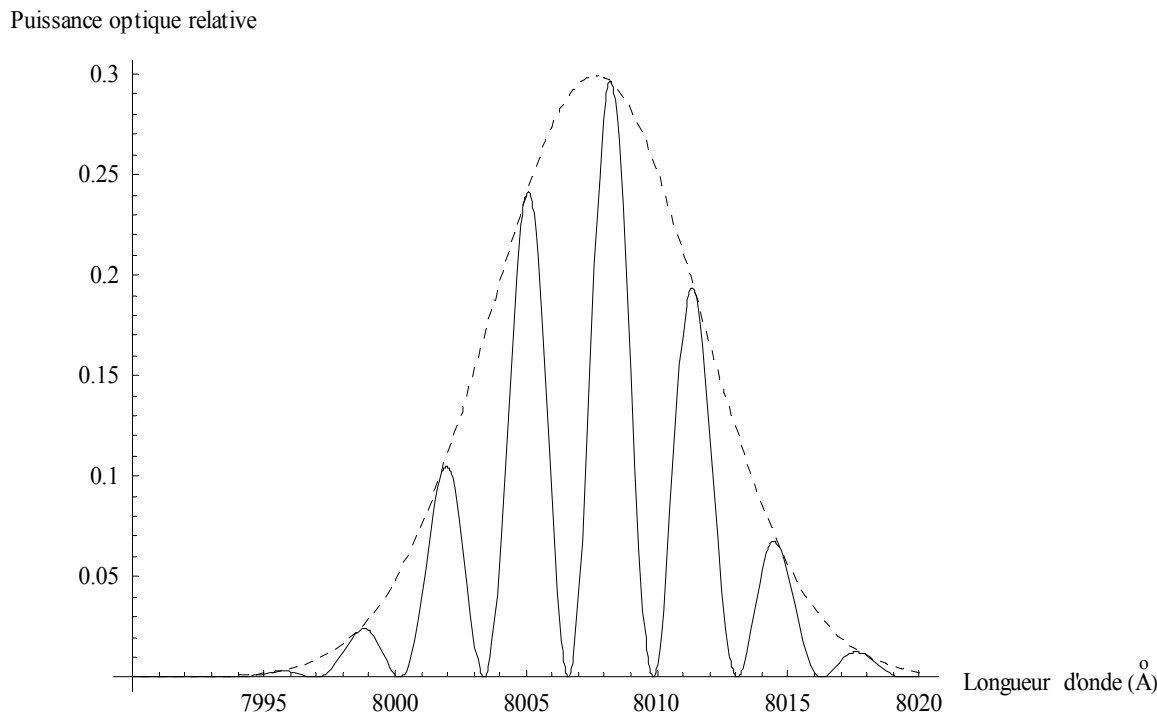


Illustration 29: Allure théorique du spectre de la lumière émise par un laser multimodes

Sur l'illustration 30, nous remarquons que la modélisation est assez fidèle à la réalité, mais que l'enveloppe des courbes réelles ne correspond pas exactement à la courbe gaussienne théorique.

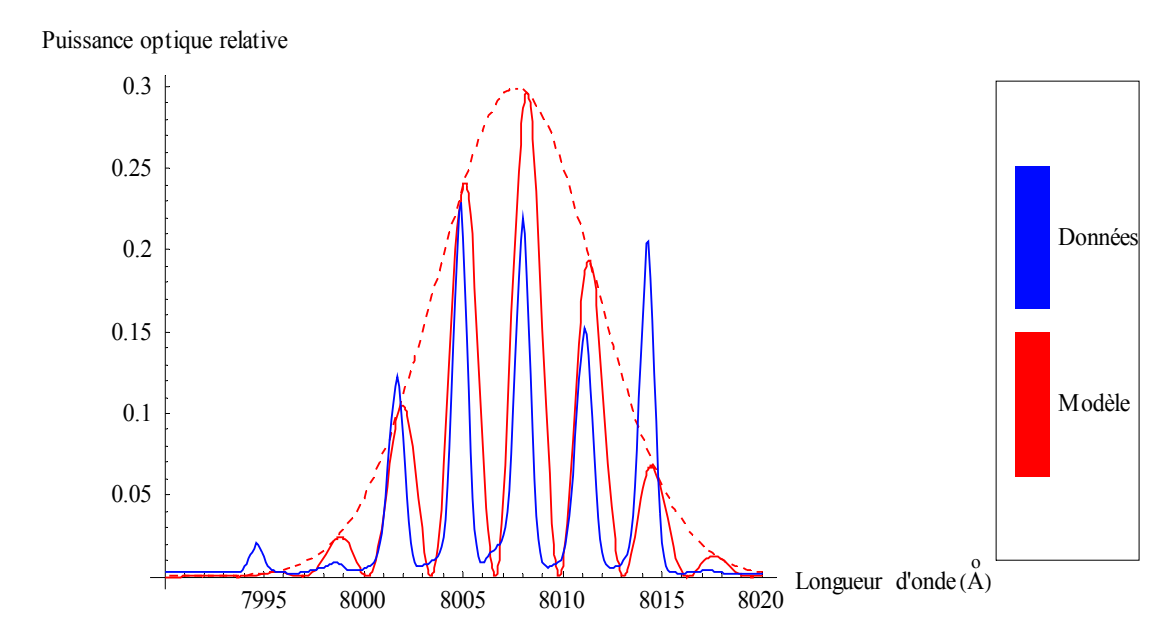


Illustration 30: Comparaison des allures théorique et réelles du spectre de la lumière émise par un laser multimodes

IV.3.B Influence de la température

L'Illustration 31 nous montre la superposition des différents spectres pour des températures variant entre -10°C et 30°C .

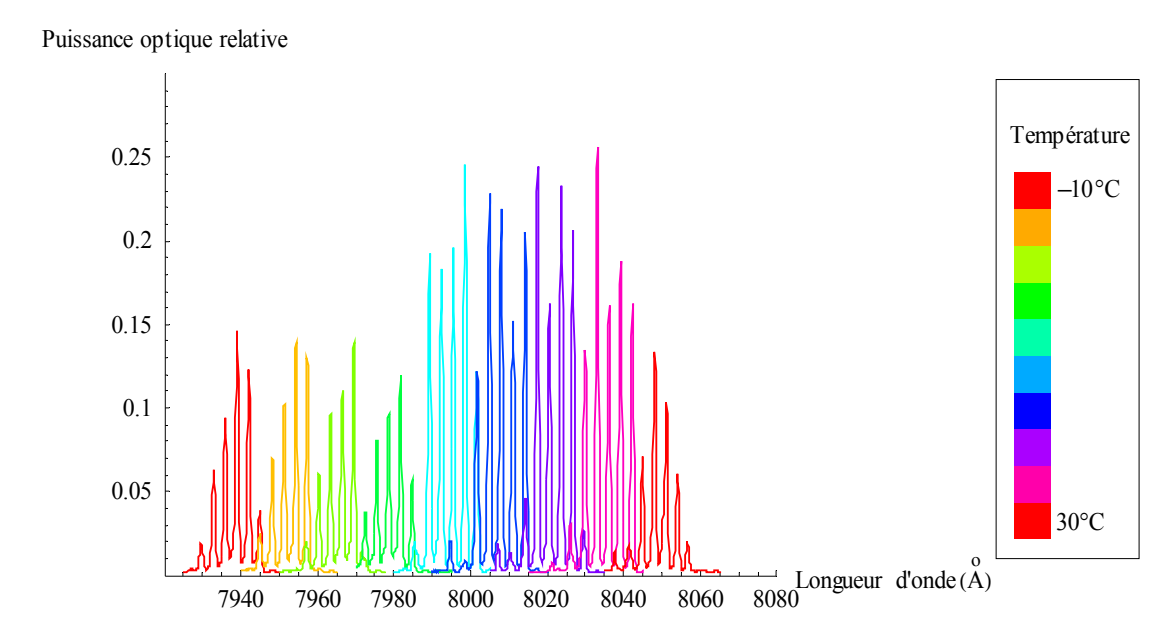


Illustration 31: Superposition des différents spectres correspondant pour différentes valeurs de la température

L'Illustration 32 nous montre la variation de la longueur d'onde centrale des spectres en fonction de la température. Nous remarquons que l'augmentation de la température conduit à une augmentation de la longueur d'onde de la lumière émise par le laser.

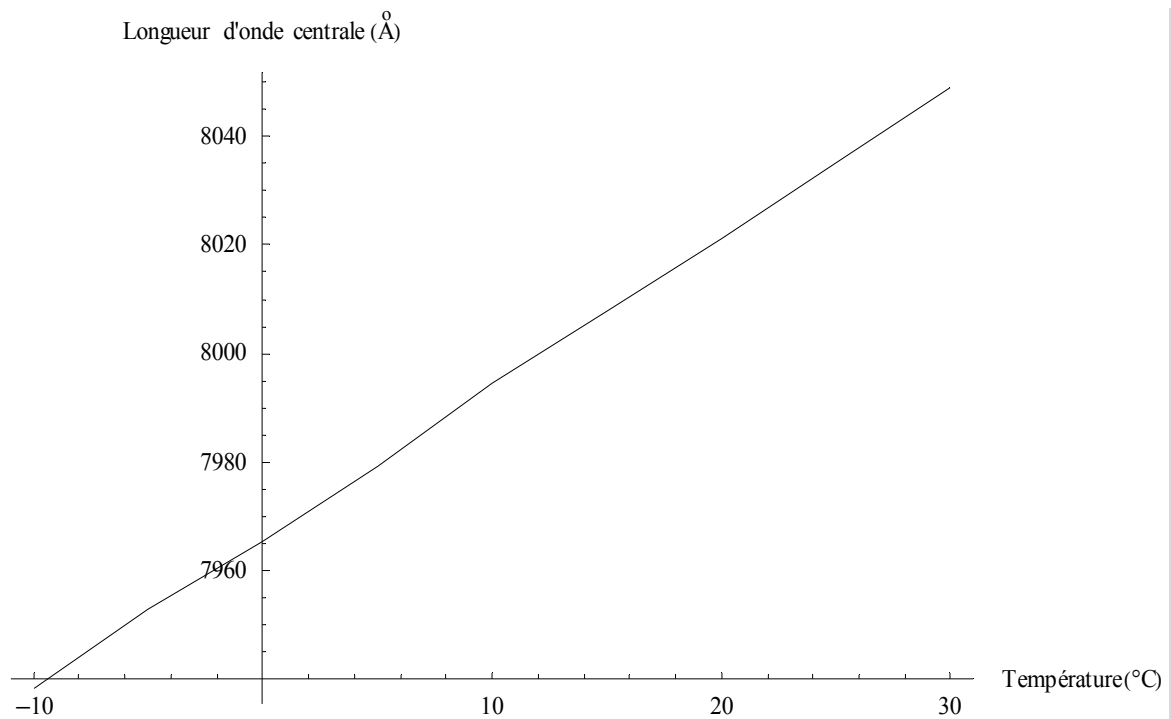


Illustration 32: Variation de la longueur d'onde centrale en fonction de la température

IV.3.C Influence de la puissance optique

L'illustration 33 nous montre la superposition des différents spectres pour des puissances optiques variant entre 0mW et 200mW.

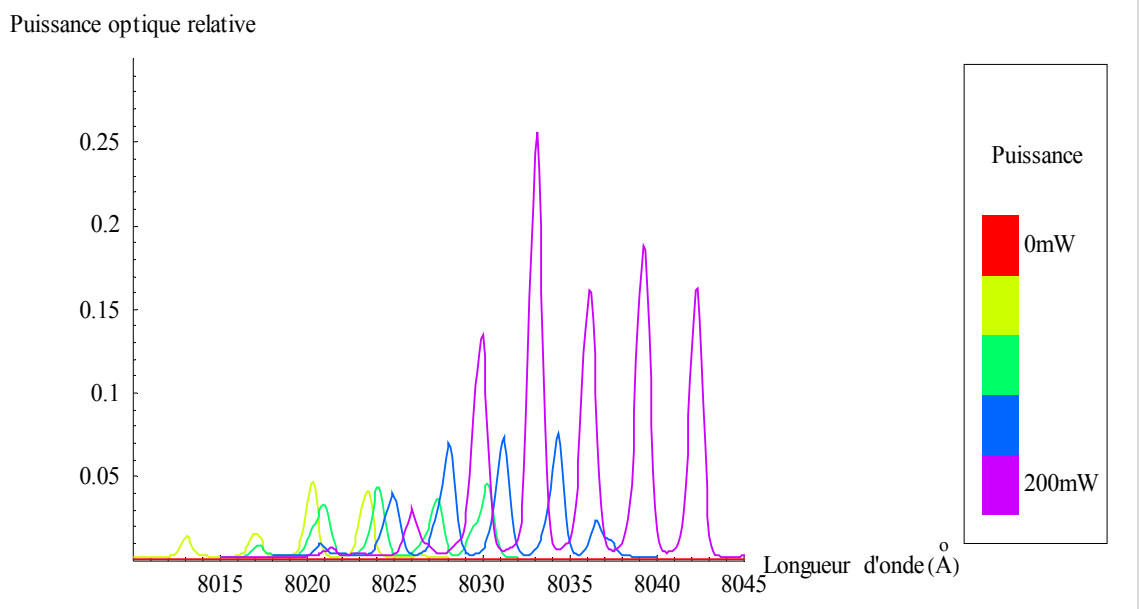


Illustration 33: Superposition des différents spectres correspondant pour différentes valeurs de la puissance

L'illustration 34 nous montre la variation de la longueur d'onde centrale des spectres en fonction de la puissance optique. Nous remarquons que l'augmentation de la puissance conduit à une augmentation de la longueur d'onde de la lumière émise par le laser.

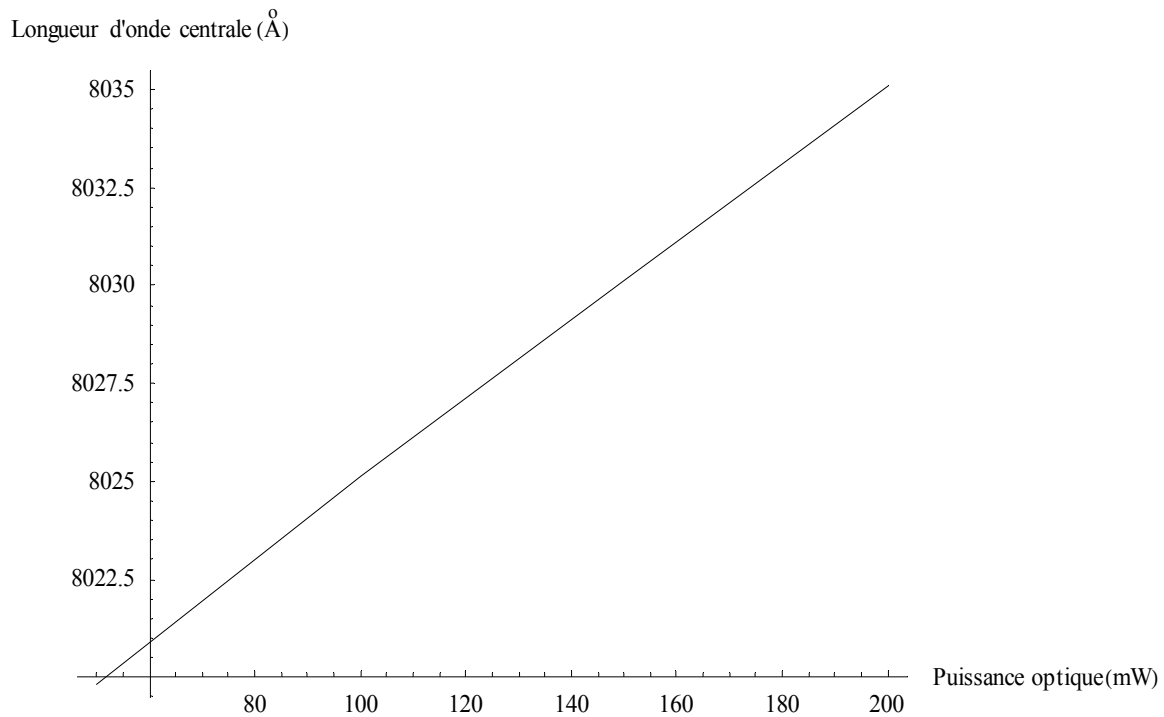


Illustration 34: Variation de la longueur d'onde centrale en fonction de la puissance optique

V Conclusion

Ce TREX nous a permis de comprendre le fonctionnement et certaines caractéristiques importantes du laser, et plus particulièrement des lasers à semi conducteurs, qui figurent aujourd'hui parmi les plus répandus. Nous avons aussi appris et mis en pratique certaines techniques d'expérimentation et de manipulation en optique, et plus généralement en physique. L'expérience d'un encadrant professionnel nous évité de tomber dans certains pièges, et nous a permis de comprendre beaucoup de subtilités liées aux expérimentations et au fonctionnement du laser.

VI Annexes

VI.1 Fiche technique de la diode

N° de série	xxx		
Structure	Diode laser à semi conducteur		
Date de fabrication	01/01/1980		
Date de caractérisation	05/12/2006		
Température de référence	T_0	°C	25,0
Résistance	R	Ω	2
Courant de seuil	I_{th}	mA	191,7
Rendement différentiel externe	η_d	mW/A	832
Puissance optique maximale	P_{max}	mW	200,0
Intensité électrique maximale	I_{max}	mA	417,0
Divergence du faisceau dans le plan // jonction	$\partial\Omega_x$	°	1,5
Divergence du faisceau dans le plan ⊥ jonction	$\partial\Omega_y$	°	20
Longueur d'onde centrale	λ_p	nm	803,51
Intervalle spectral libre	$\Delta\lambda_L$	nm	0,322
Largeur spectrale	$\Delta\lambda$	nm	2,5
Dérive thermique de la longueur d'onde	$\partial\lambda_T$	nm/°C	0,25
Dérive de la longueur d'onde avec la puissance	$\partial\lambda_p$	nm/mW	0,01

Bibliographie

- Optoélectronique, composants photoniques et fibres optiques, Zeno Toffano,
- Laser guide book (2nd edition), Jeff Hecht,
- Introduction à la physique du laser, Bela A. Lengyel,

Index des illustrations

Illustration 1: Phénomène d'absorption.....	4
Illustration 2: Phénomène d'émission spontanée.....	4
Illustration 3: Phénomène d'émission stimulée.....	5
Illustration 4: Principe du pompage dans un laser.....	6
Illustration 5: Addition des ondes dans le cas d'une longueur de cavité adaptée.....	7
Illustration 6: Destruction et déphasage des ondes dans le cas d'une longueur de cavité inadaptée....	7
Illustration 7: Processus d'émission de photons dans une jonction P-N.....	9
Illustration 8: Schéma d'un laser à semi conducteur.....	9
Illustration 9: Schéma de principe de la première expérience.....	10
Illustration 10: Contenu des boîtiers diode laser du laboratoire.....	11
Illustration 11: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité pour une température de 25°C.....	11
Illustration 12: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité pour des températures variant entre -10°C et 30°C.....	12
Illustration 13: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité : comparaison entre la modélisation et la mesure.....	12
Illustration 14: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de l'intensité : comparaison entre la modélisation et la mesure autour du courant de seuil.....	13
Illustration 15: Variation du courant de seuil en fonction de la température.....	13
Illustration 16: Variation du rendement différentiel externe en fonction de la température.....	14
Illustration 17: Variation de la puissance optique de sortie en fonction de la température pour une intensité électrique de 300mA.....	14
Illustration 18: Schéma de principe de la seconde expérience.....	15
Illustration 19: Caractérisation de la puissance optique relative en fonction de l'angle par rapport à l'axe de la diode.....	16
Illustration 20: Variation de la puissance optique relative en fonction de l'angle dans le plan parallèle à la jonction.....	17
Illustration 21: Variation de la puissance optique relative en fonction de l'angle dans le plan perpendiculaire à la jonction.....	17
Illustration 22: Influence de l'orientation de la diode pour les mesures dans le plan perpendiculaire à la jonction.....	18
Illustration 23: Influence de la distance entre la diode laser et la photodiode pour les mesures dans le plan perpendiculaire à la jonction.....	18
Illustration 24: Apparition d'un phénomène d'interférence pour des angles petits et une faible distance entre la diode laser et la photodiode.....	19
Illustration 25: Schéma de principe illustrant une cause possible du phénomène observé.....	19
Illustration 26: Variation de la puissance optique relative en fonction de l'angle dans le plan parallèle à la jonction pour deux modes de propagation transverse différents.....	20
Illustration 27: Schéma de principe de la troisième expérience.....	21
Illustration 28: Principe de fonctionnement de la spectroscopie utilisant un monochromateur.....	21
Illustration 29: Allure théorique du spectre de la lumière émise par un laser multimodes.....	22
Illustration 30: Comparaison des allures théorique et réelles du spectre de la lumière émise par un laser multimodes.....	23

Illustration 31: Superposition des différents spectres correspondant pour différentes valeurs de la température.....	23
Illustration 32: Variation de la longueur d'onde centrale en fonction de la température.....	24
Illustration 33: Superposition des différents spectres correspondant pour différentes valeurs de la puissance.....	24
Illustration 34: Variation de la longueur d'onde centrale en fonction de la puissance optique.....	25