

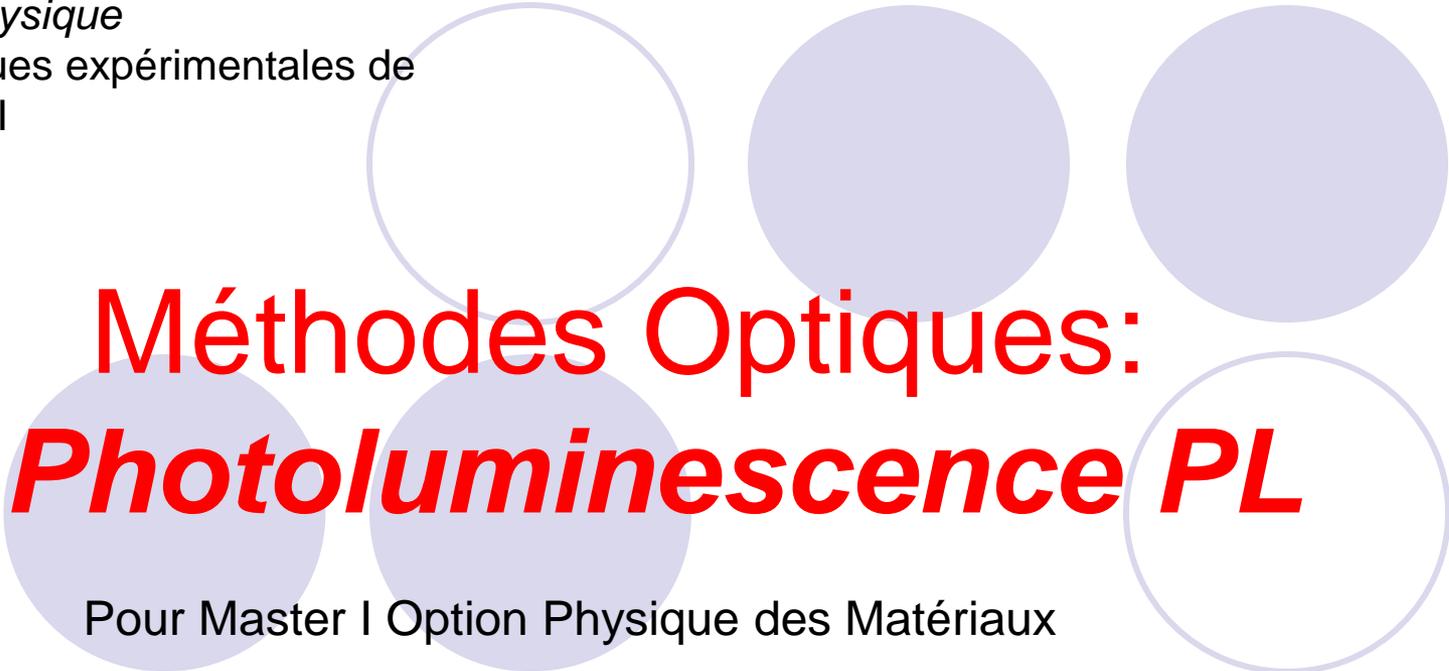
Techniques expérimentales de caractérisation

Université de Djelfa

Faculté des Sciences Exactes et Informatique

Département: Physique

*Module Techniques expérimentales de
caractérisations II*



Méthodes Optiques: *La Photoluminescence PL*

Pour Master I Option Physique des Matériaux

Dr A. NAAS

Année universitaire 2019/2020

Méthodes de Caractérisation des Matériaux

- Méthodes Optiques
- Méthodes Électriques
- Méthodes Nucléaires
- Méthode Mécaniques
- La microscopie
- Autres...

Méthodes optiques

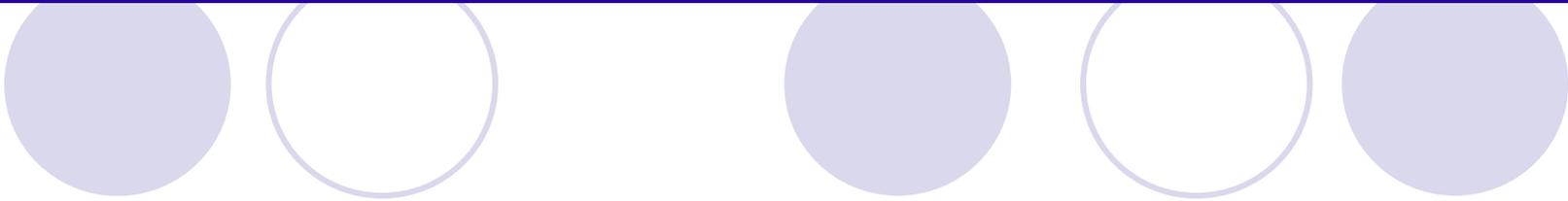
La Spectroscopie optique

- Spectroscopie UV-Visible x
- Spectroscopie Infrarouge (IR) (FTIR) x
- **Photoluminescence PL**

La photoluminescence PL

- C'est quoi la PL?
- A quoi elles sert?
- Son principe de fonctionnement
- Le dispositif expérimental
- Quelques exemples

C'est quoi la PL



La photoluminescence est une puissante technique optique permettant de caractériser les matériaux semiconducteurs et les isolants. Son principe de fonctionnement est simple: on excite les électrons de la substance étudiée à l'aide d'un rayonnement (généralement monochromatique) et l'on détecte la lumière émise par cette dernière.

A quoi elle sert?

la photoluminescence peut servir à étudier la configuration des bandes d'énergie des solides de même que leurs niveaux d'impuretés (les défauts engendrés par un processus d'élaboration). Elle peut même servir comme moyen d'excitation du matériau afin qu'il émet une radiation et mesurer la durée de vie des charges

➤ Matériaux :

Matériaux pour la microélectronique

Si, Ge, SiC, GaAs

Dielectriques

SiO₂,

Les matériaux solides ou sous forme de poudre

Son principe de fonctionnement

Son principe de fonctionnement est simple:

On excite les électrons de la substance étudiée à l'aide d'un rayonnement (généralement monochromatique) et l'on détecte la lumière émise par cette dernière.

- C'est une méthode:
 - Non destructive
 - Rapide
 - Ne nécessitant pas une préparation de l'échantillon.

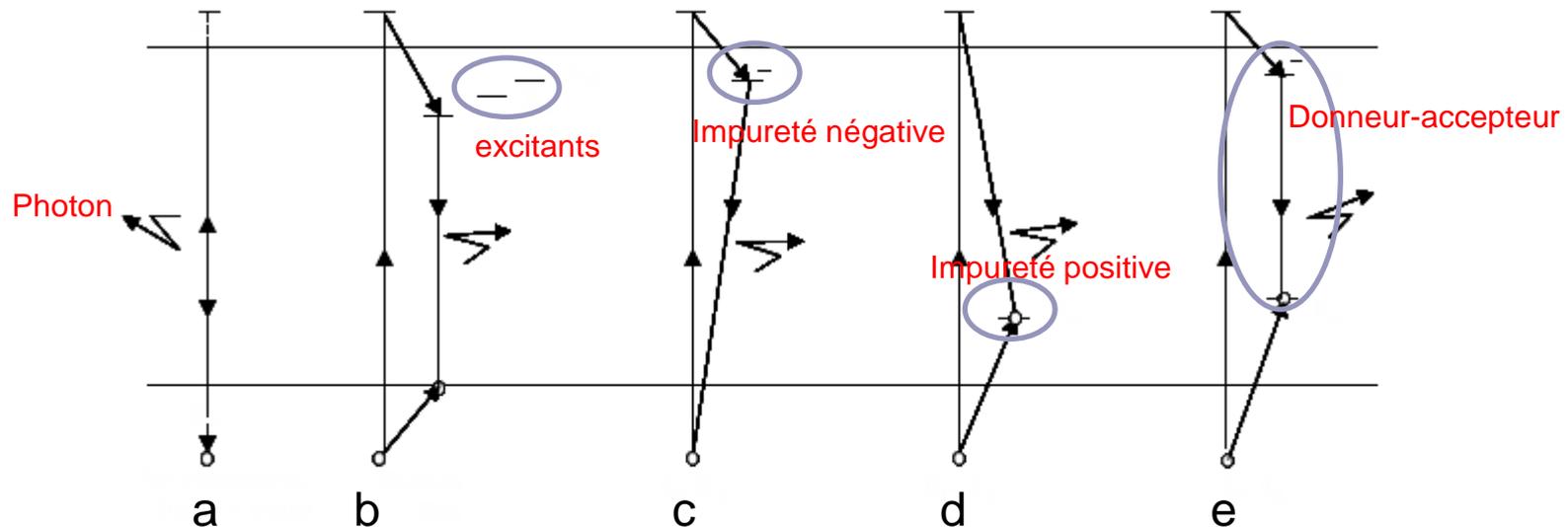
- Dans le processus de photoluminescence, des électrons sont excités par la radiation incidente (laser monochromatique ou une lampe spectrale avec des filtres interférentiels). On se sert du coefficient d'absorption pour décrire le changement de l'intensité lumineuse lorsque la lumière excitatrice traverse l'échantillon, ce coefficient d'absorption est donné par:

$$\alpha = \frac{1}{L(h\nu)} \frac{d[L(h\nu)]}{dx}$$

Son principe de fonctionnement

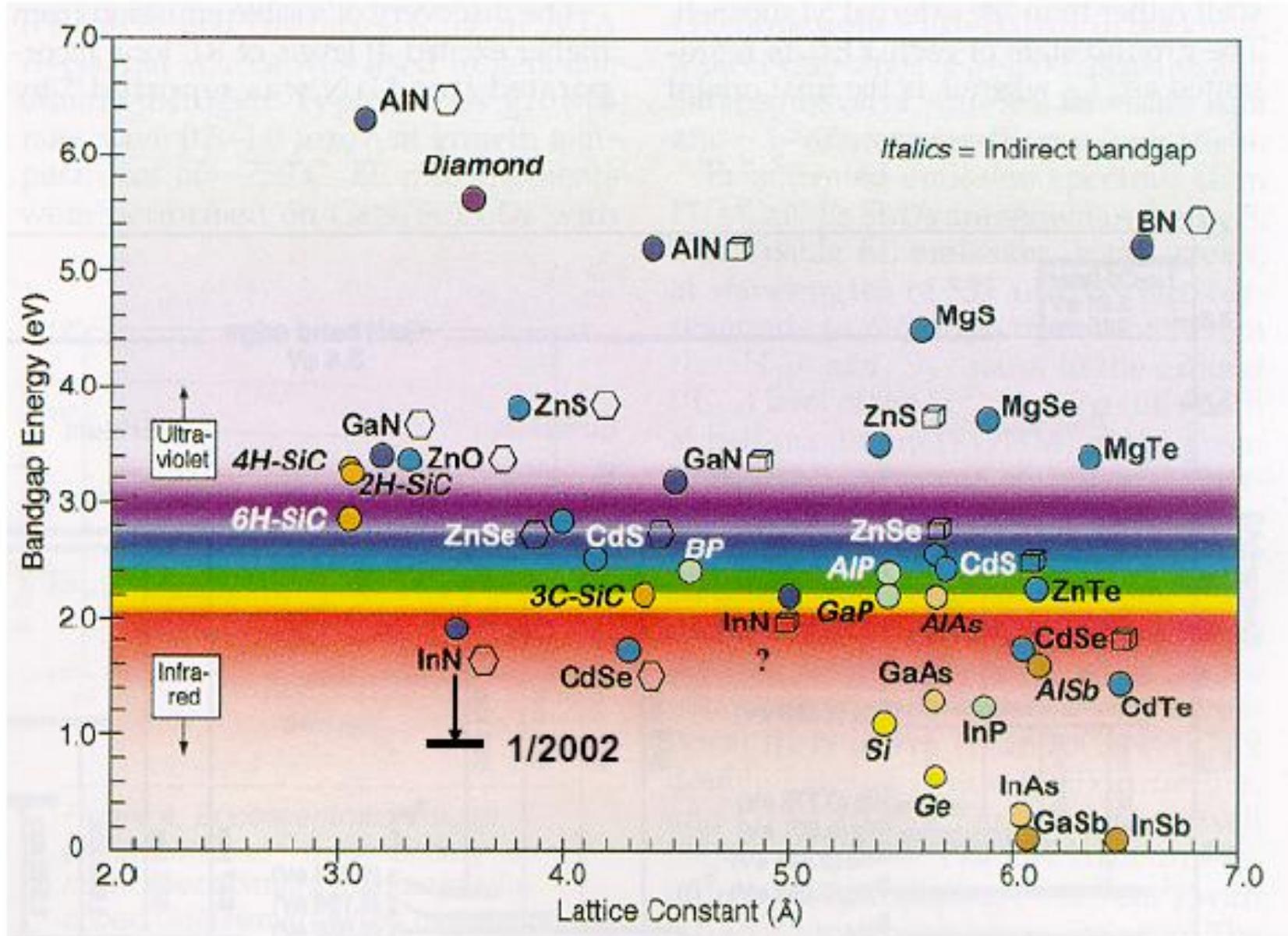
En photoluminescence, plusieurs processus de recombinaison induisent la création d'un photon

la figure résume l'ensemble de ces processus:



- la recombinaison bande à bande (a),
- les transitions dues aux excitons (b),
- les recombinaisons bande-impureté (c,d),
- les recombinaisons donneur-accepteur (e)

Gap d'un ensemble de matériaux généralement utilisés dans la physique des matériaux



Le dispositif Expérimental

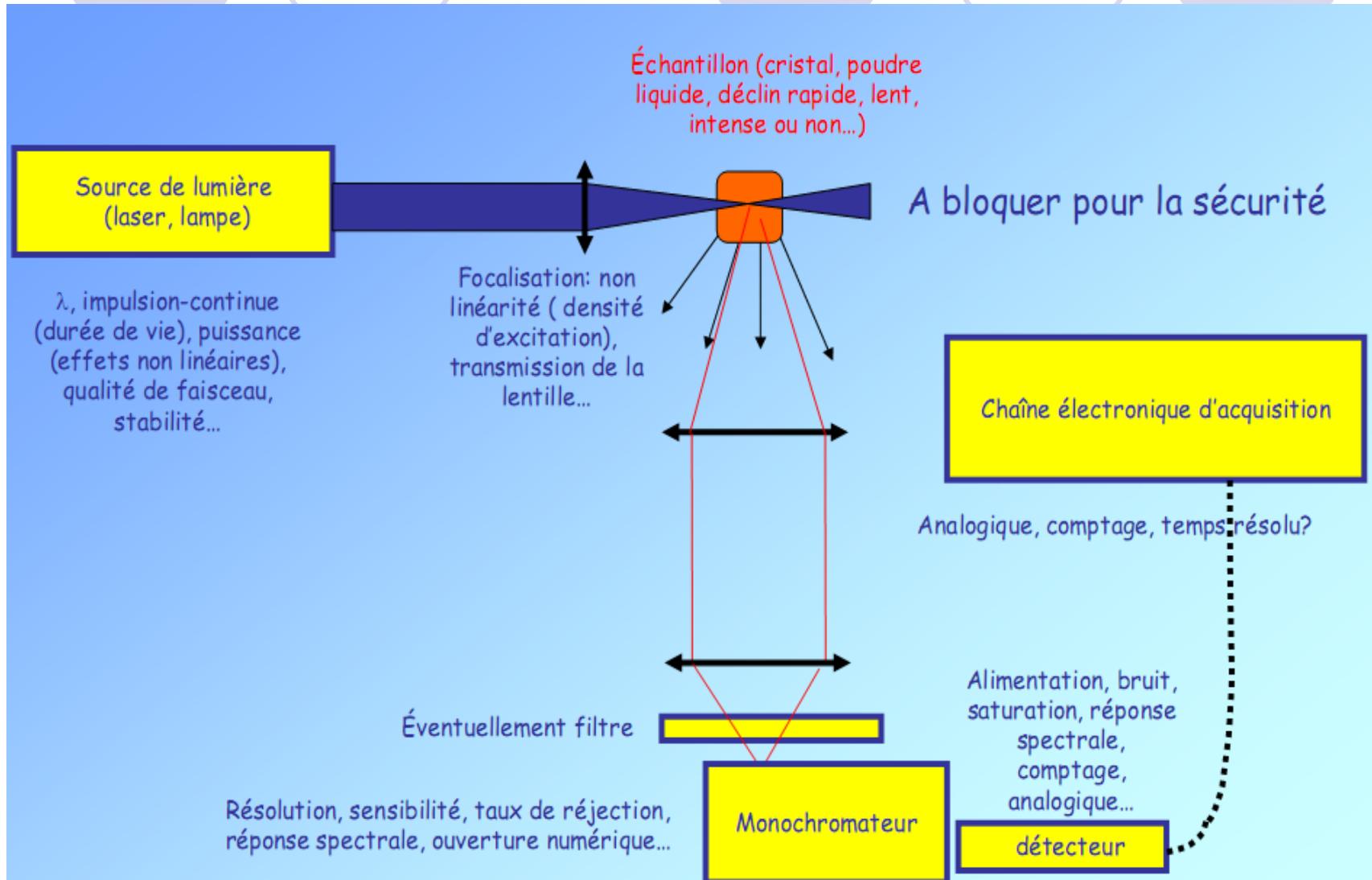
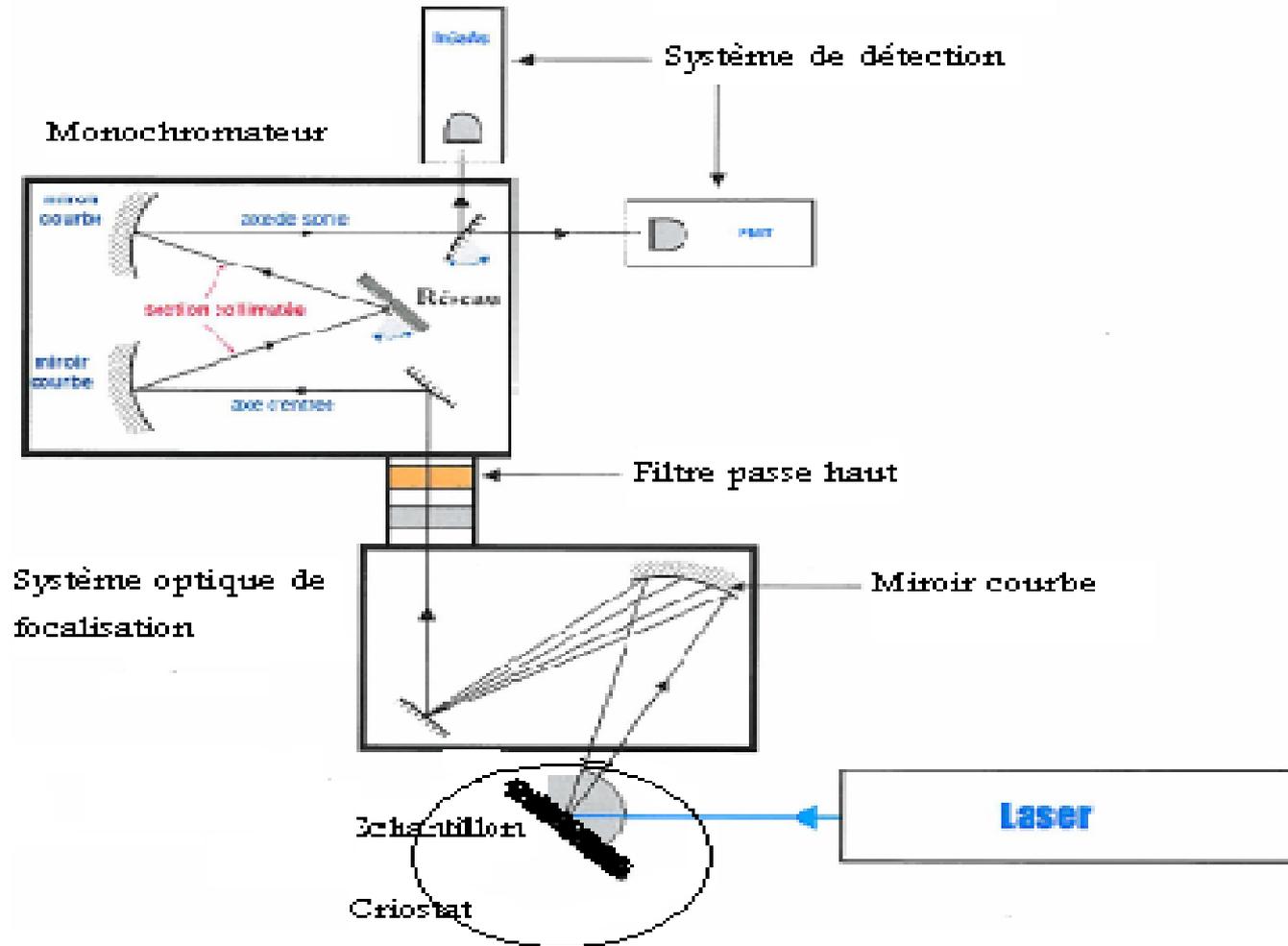
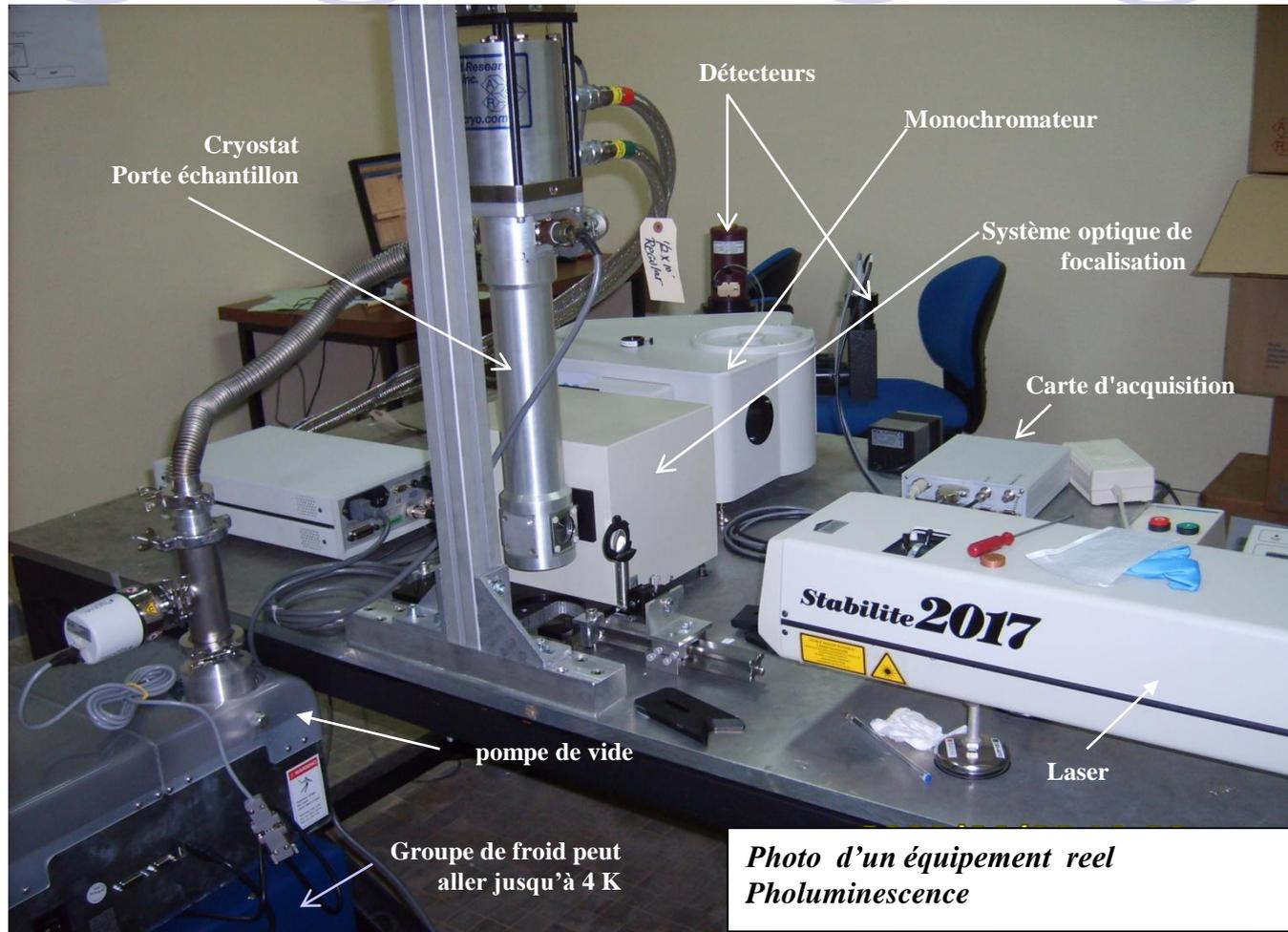
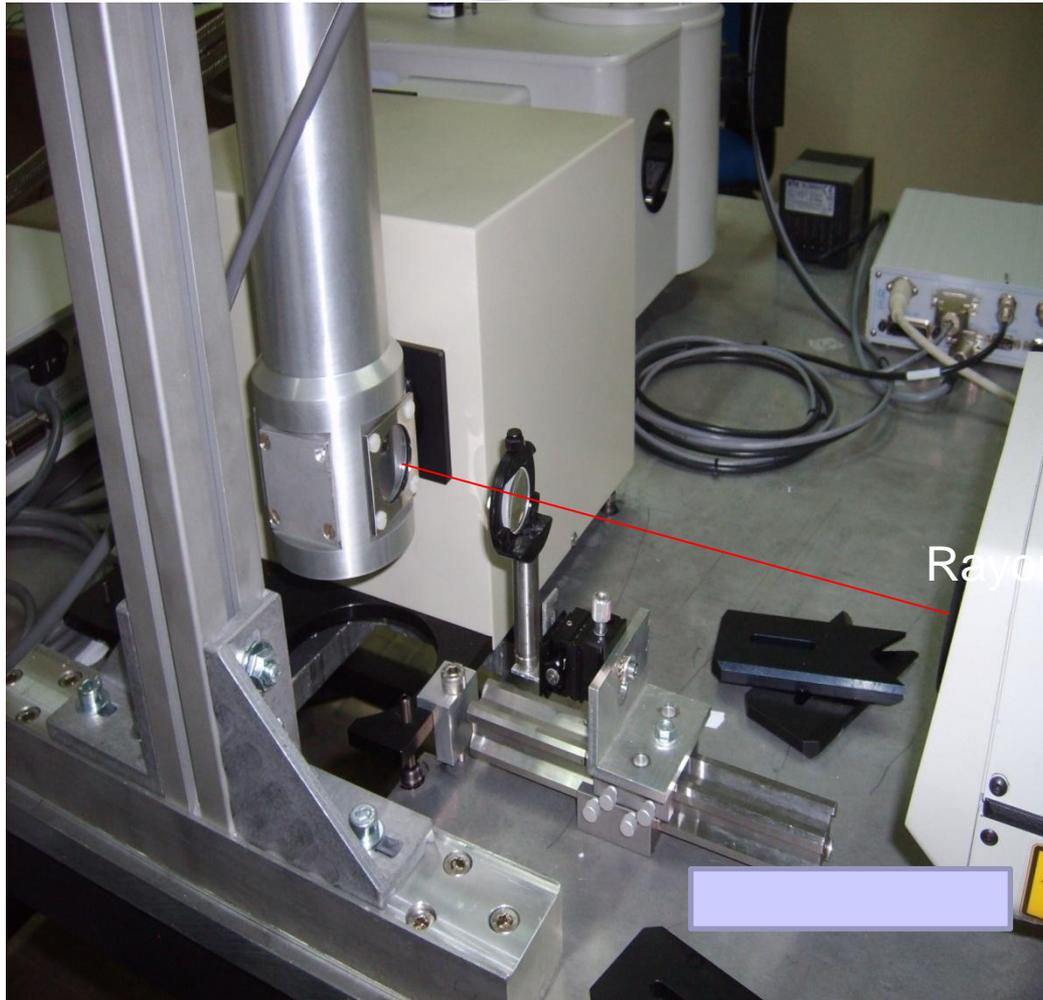


Schéma synoptique du dispositif PL



Exemple d'un équipement de la PL





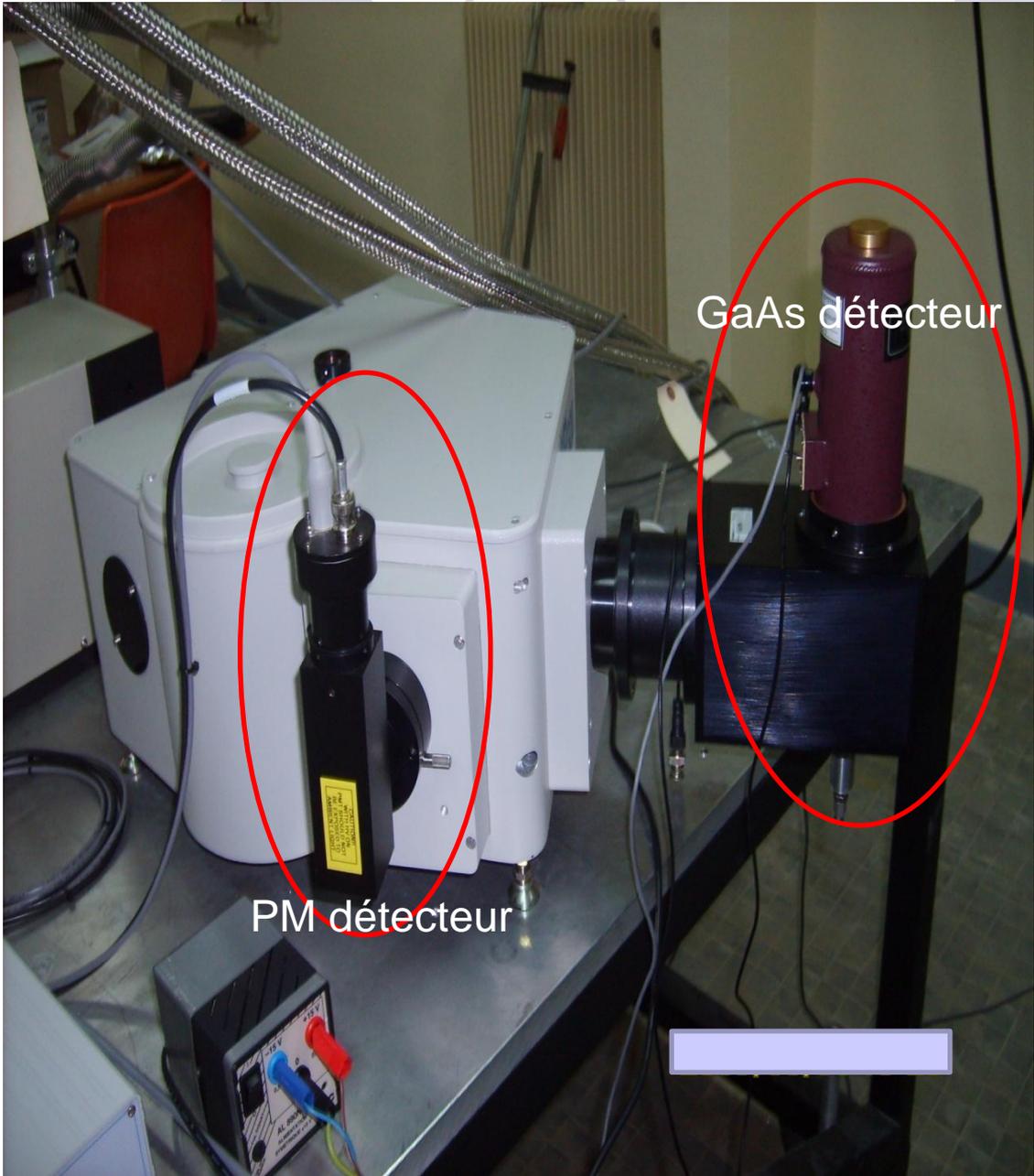
Rayon

- Le laser émet une onde électromagnétique monochromatique
- Le créosotât est une chambre où on met l'échantillon, il est isolé. La température peut descendre jusqu'à 4 K grâce à un groupe de froid, le vide est assuré par une pompe secondaire jusqu'à $10E-6$ mbar



Filtre passe haut

- Le filtre passe haut est un filtre optique qui fait passer des longueurs d'ondes inférieures à la longueur d'onde de laser
- Ce filtre est placé entre le système optique qui fait la focalisation du fuseau émit par l'échantillon et le monochromateur (voir diapo n°12)



GaAs détecteur

PM détecteur

- Le monochromateur sert à faire passer la longueur d'onde émit par l'échantillon à travers un réseau de diffraction (quand l'échantillon est excité, s'il y a une transition bande à bande par exemple le réseau fait passer cette longueur d'onde avec une forte intensité et elle sera détecté par l'un des détecteurs
- il y'a deux détecteurs l'un photomultiplicateur (PM) et l'autre un InGaAS (le PM pour une plage de longueurs d'ondes de 200-800 nm et l'autre pour une plage de 800-2000 nm
- On peut ajouter d'autres détecteurs comme un camera CCD

Comment on fait la caractérisation PL?

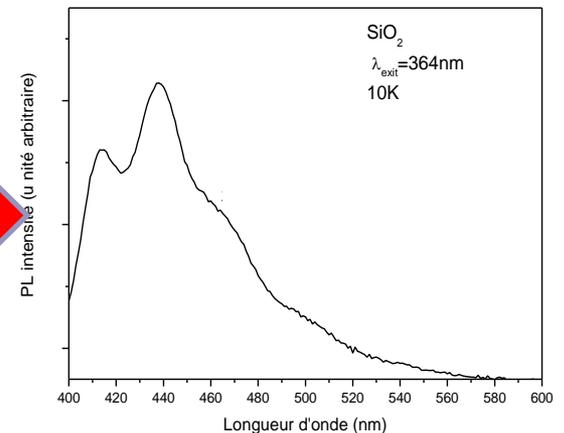
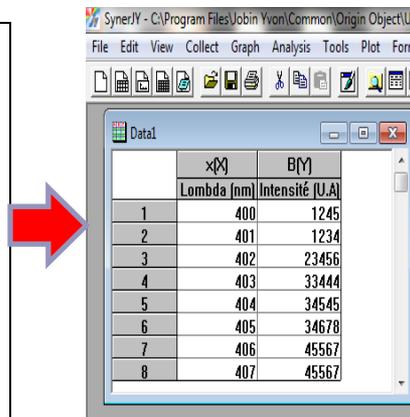
Exemple 1 lecture d'un spectre PL : Défauts dans l'oxyde de silicium SiO₂

Conditions de l'expérience

Un échantillon d'oxyde de Silicium de 300nm déposé sur un substrat de silicium sur lequel on fait des défauts, l'échantillon est excité par une longueur d'onde de laser de 364nm, un filtre passe haut de 400nm est mis, l'échantillon est sous vide à une température de 10K.

- La caractérisation consiste à injecter un rayon lumineux monochromatique, dans cet exemple c'est rayon laser de 364nm, l'échantillon peut émettre un photon s'il y a une ou plusieurs recombinaisons comme vues au diapo 9.
- Ce ou ces photons passent par le monochromateur. Le monochromateur fait un balayage entre un minimum et un maximum de longueurs d'ondes à travers un réseau de diffraction. Si ce photon émet par l'échantillon coïncide avec un trait du réseau il sera traduit par une intensité (photon converti en courant par le détecteur).

Un système informatique ensuite fait le traitement qui est simple enrégistrement en une colonne de longueur d'onde et une colonne d'intensité puis en peut tracer la courbe intensité en fonction de la longueur d'onde



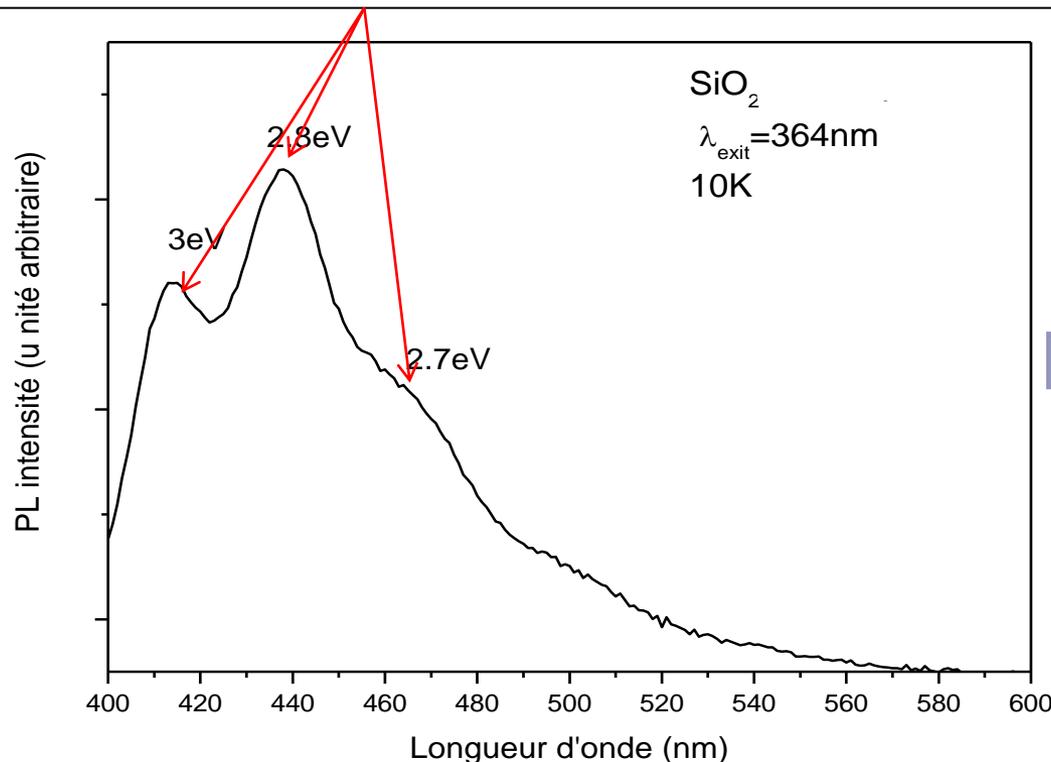
Comment lire le spectre déduit la caractérisation PL?

Pour répondre à cette question; on doit voir la théorie sur le SiO₂:

- Le gap E_g , de l'oxyde de silicium
- Les différents défauts qui peuvent intervenir?

Faire une recherche bibliographique sur l'oxyde de silicium et les défauts qui peuvent être engendrés

Chercher sur le spectre les différents pics significatifs



Spectre PL pour le cas SiO₂, $\lambda_{\text{exit}} = 364\text{nm}$ et basse température (10K)

La question qu'on pose: ces pics représentent quoi?
 E_g ?,
Défauts?
De quel nature?

- **Suite lecture du spectre PL SiO₂ (voilà comment on peut lire un spectre)**

la bibliographie indique que le gap du SiO₂ Eg est autour de 4eV ce qui est équivalent en longueur d'onde de 310nm.

- **1^{ère} lecture:** l'excitation est de 364nm équivalent 3.4 eV cette valeur est < Eg
Donc pas de transitions bande à bande.
- Conclusion: Les pic détectés sont des défauts
- **2^{ème} lecture:** le filtre est à 400nm, et la plage est entre 400nm-600nm (spectre)
donc les pic observés sont significatif de la présence de défauts dans la matrice SiO₂
- **3^{ème} lecture:** sur le spectre on observe 3 pics: 3 eV, 2.8 eV et 2.7 eV (voir spectre). Conclusion on a 3 types de défauts.
- **On cherche dans la théorie sur ces types de défauts (voir bibliographie)**

- [1] L. Skuja et al J. No-Cryst. Solids 239(1998) 16
- [2] B. P Gritsenko et al Phys. Solid State 27 (1985) 1330
- [3] S. Nagatam et al J. Nucl Mat 367-370 (2007) 586

- **Résultats:**

À 3eV correspond à des lacunes d'oxygène (ODC) ou des défauts de type O_2^- [1, 2]

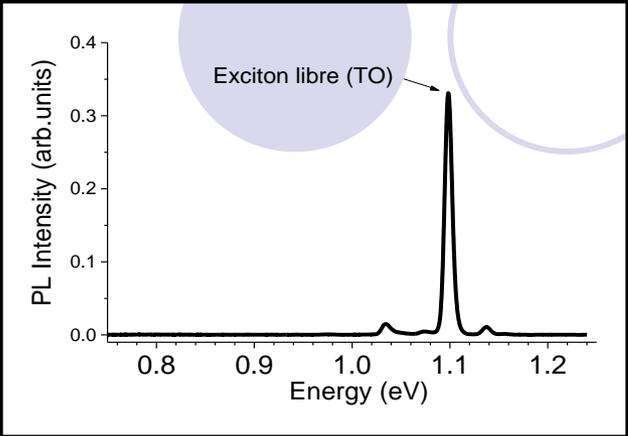
À 2.8 eV lacunes d'oxygène et un désordre dans la silice [1]

À 2.7 eV lacunes d'oxygène liés au groupe $B_{2\alpha} (\equiv Si \equiv O^+)$ [3]

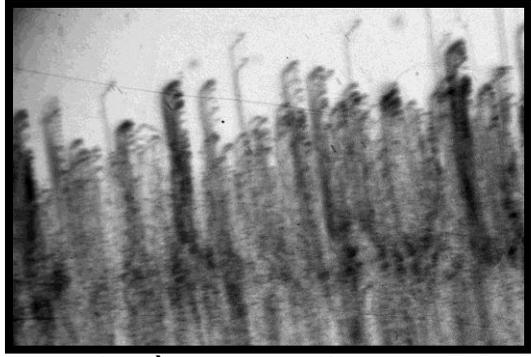


En fin il suffit de faire un petit rapport explicatif de ces résultats

Exemple 2 Réseau de dislocations dans le Silicium

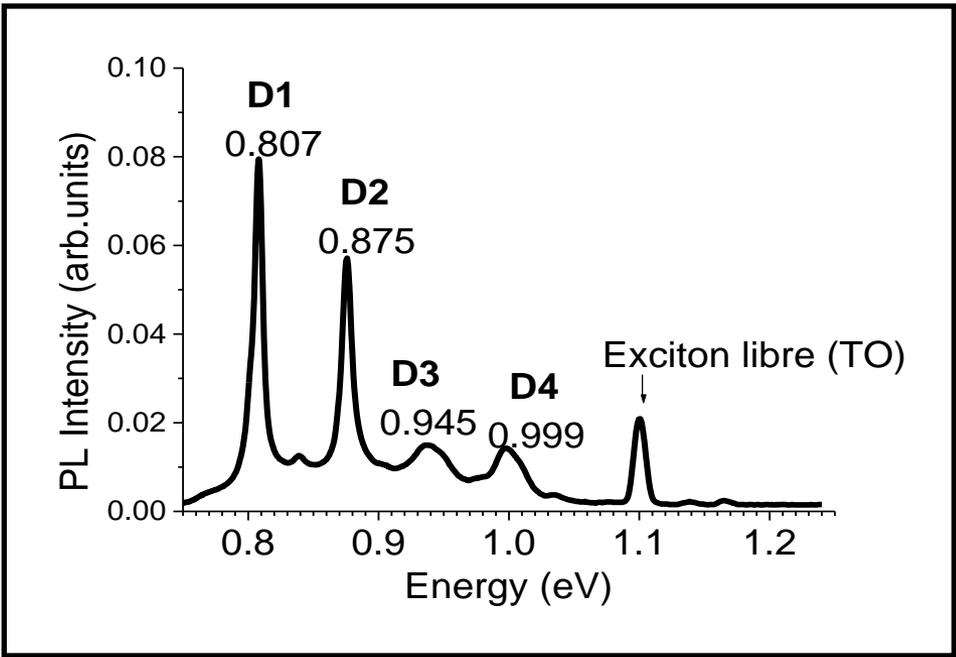


**DEFORMATION
par FLEXION**



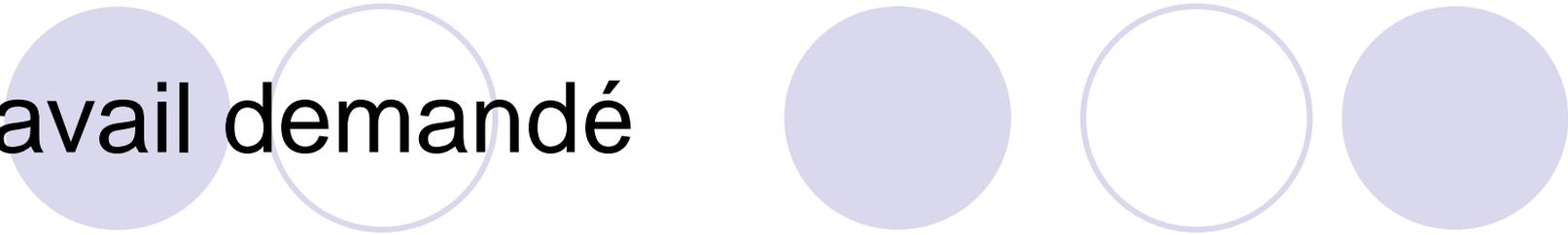
Topographie à rayons X ($\lambda_{AgK\alpha}=0.056\text{nm}$)

Silicium Fz(001) [O] = $< 10^{16}$ at/cm³



- D1-D4 sont les déformation par flexion dans le silicium;
- La déformation dans le silicium se fait par implantation d'oxygène avec une dose par cm² dans la matrice se qui conduit à faire des défauts D1-D4
- Excitant libre indique la transition bande à bande c'est le gap.

Travail demandé

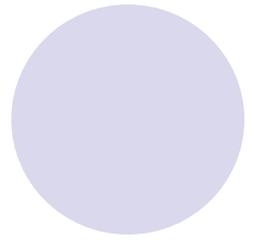
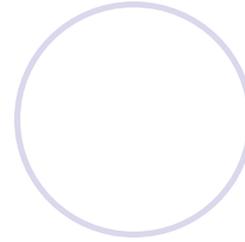
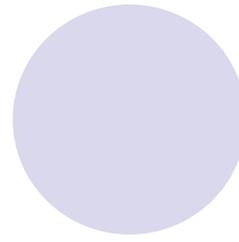
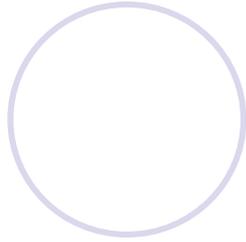
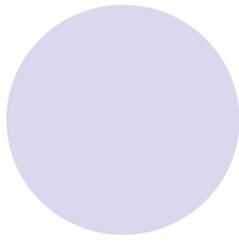


Chaque étudiant reçoit ultérieurement un travail sur de caractérisation par PL d'un matériau pour la détermination de quelques propriétés.

La réponse à ce travail sera sous sous forme d'un rapport en suivant les étapes des exemples.

Pour plus d'information me contacter

Abdelkrim_naas@yahoo.fr



Fin de Présentation