

COMPOSANTS SEMI-CONDUCTEURS

I) Solutions S1

P.A. Besse

EPFL



Exercice E1.1: donnée

Des questions de réflexion sont en fin de chaque script. Elles couvrent les notions fondamentales de chaque chapitre et vous aident à préparer l'examen oral final.

Répondez aux questions 1.1, 1.2 et 1.5

1.1	Qu'appelle-t-on la relation de dispersion d'une particule ? Exprimez-la pour une particule dans le vide. Comment peut-on déterminer graphiquement la vitesse de groupe et la masse effective de la particule à partir de cette relation ?
1.2	Considérez un atome « A » avec trois électrons sur deux niveaux d'énergie. Dessinez le schéma d'énergie de la cellule « AA » contenant deux atomes « A ». Expliquez la formation de bandes dans un monocristal basé sur cette cellule « AA ».
1.5	À l'aide du schéma d'énergie, expliquez l'absorption optique dans un gaz et dans un semi-conducteur monocristallin.

Relation de dispersion

Toute particule quantique: photon / électron / ...

Relation de Planck  Nobel 1918

Relation de
l'énergie
Spécifique à
chaque particule

$$\begin{pmatrix} E \\ \vec{P} \end{pmatrix} = \hbar \begin{pmatrix} \omega \\ \vec{K} \end{pmatrix}$$

Relation de
dispersion
Spécifique à
chaque particule

Relation de De Broglie  Nobel 1929

Toute particule quantique: photon / électron / ...

Relation de dispersion

Modèle «particule»

Relation de l'énergie d'un électron dans le vide:

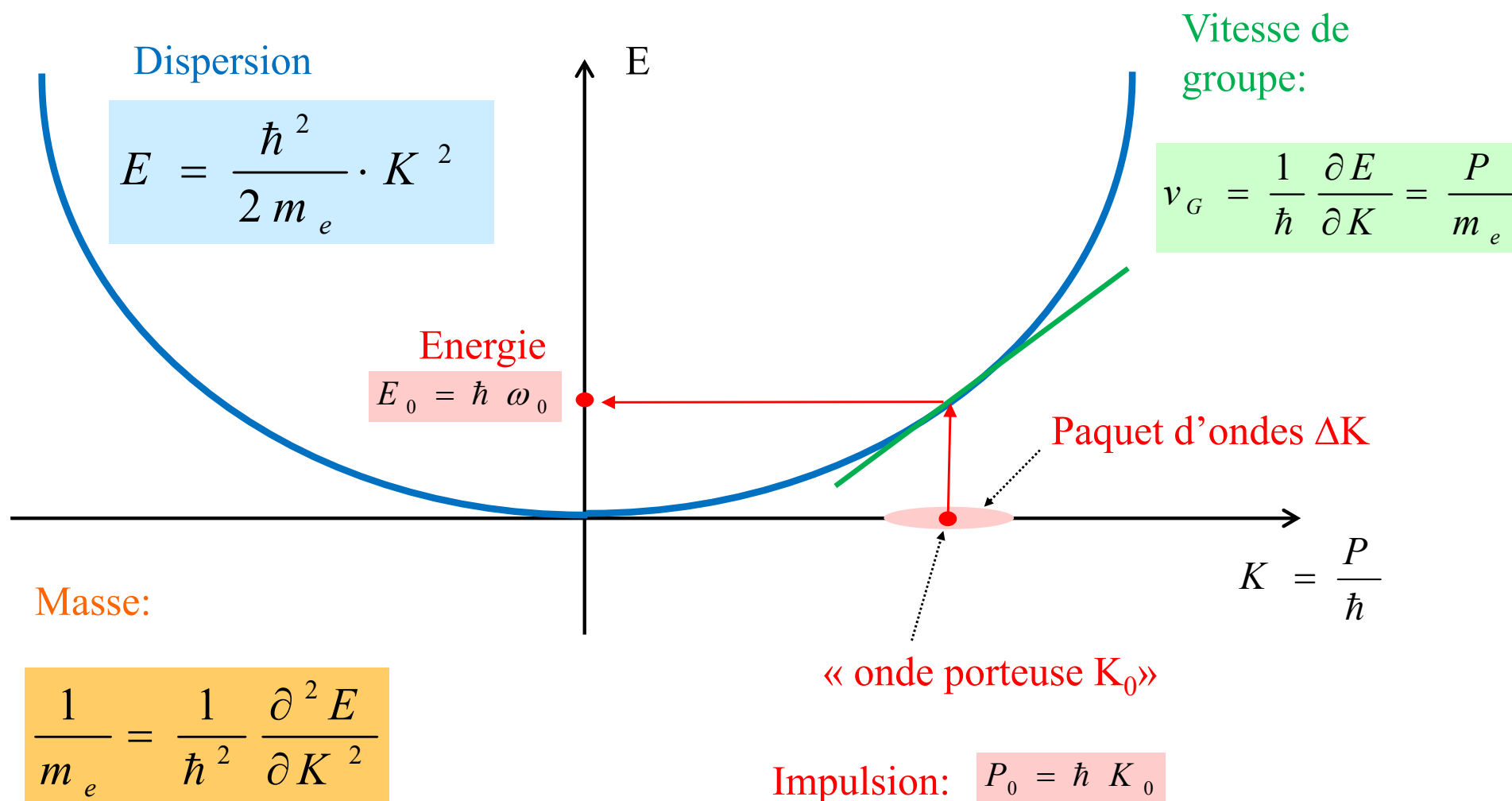
$$E = \frac{1}{2m_e} \cdot P^2$$

Modèle «onde»

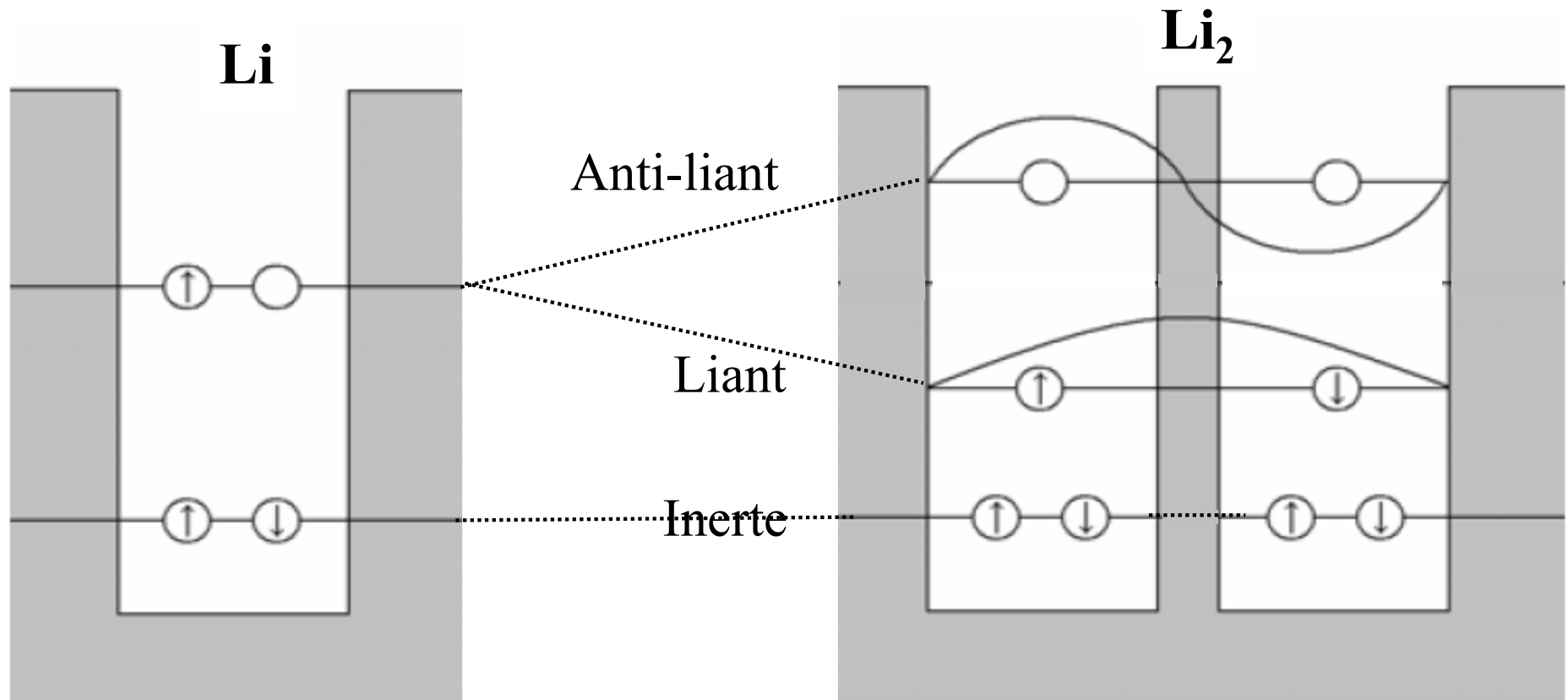
Relation de dispersion d'un électron dans le vide:

$$\hbar\omega = \frac{\hbar^2}{2m_e} \cdot K^2$$

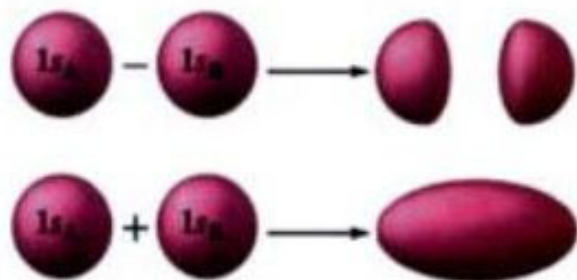
Ex. 1.1: Relation de dispersion dans le vide



Ex. 1.2: Atome « Li » et molécule « Li₂ »



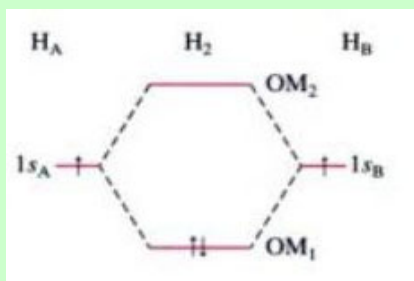
Formation de molécules



Anti-liant

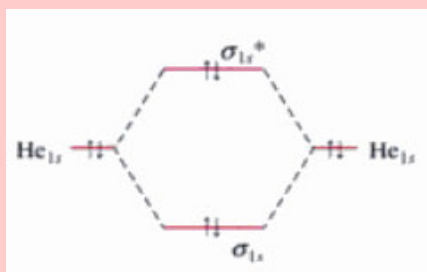
Liant

Molécule H_2



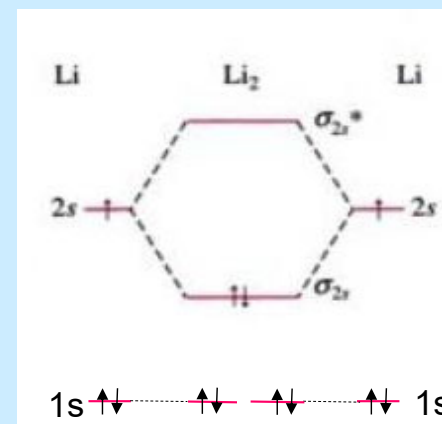
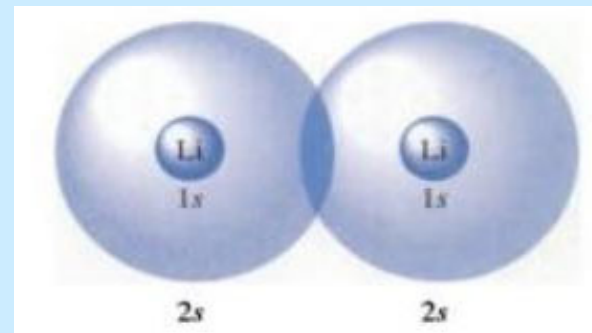
H_2 stable car
énergie plus petite

Molécule He_2



He_2 instable car
énergie égale

Molécule Li_2



Anti-liant

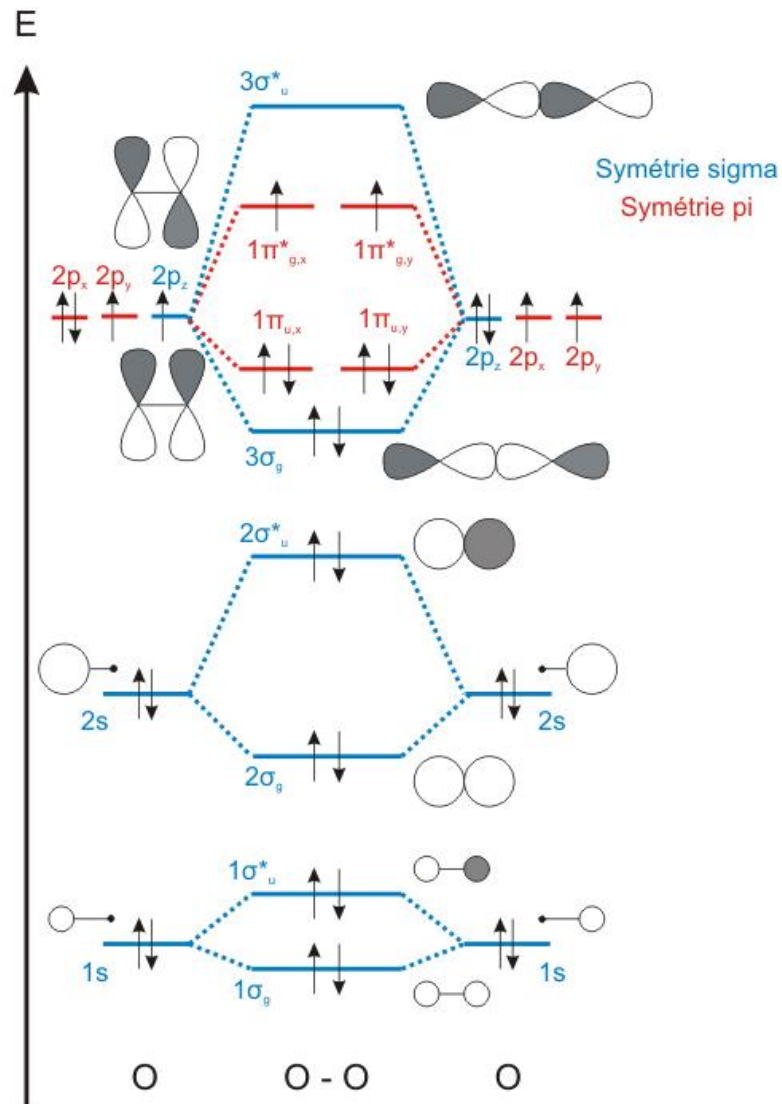
Liant

Inerte

Li_2 stable car
énergie plus petite
(le Li métallique est encore plus stable !)

Exemple molécule O₂

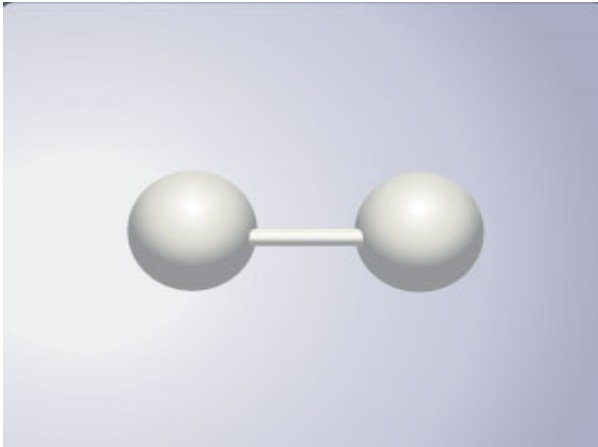
8 électrons par atome



http://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_d'orbitales_moléculaires

Réseaux à différentes dimensions

Molécule d'hydrogène
1 liaison par atome



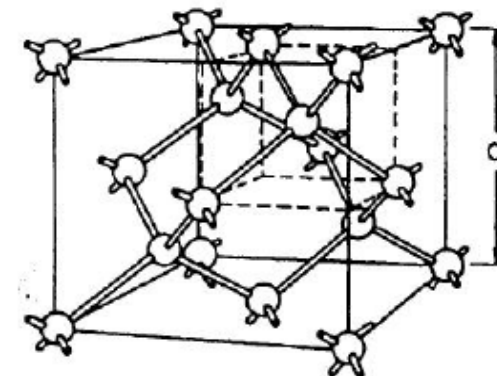
Chaine 1D
2 liaisons par atome



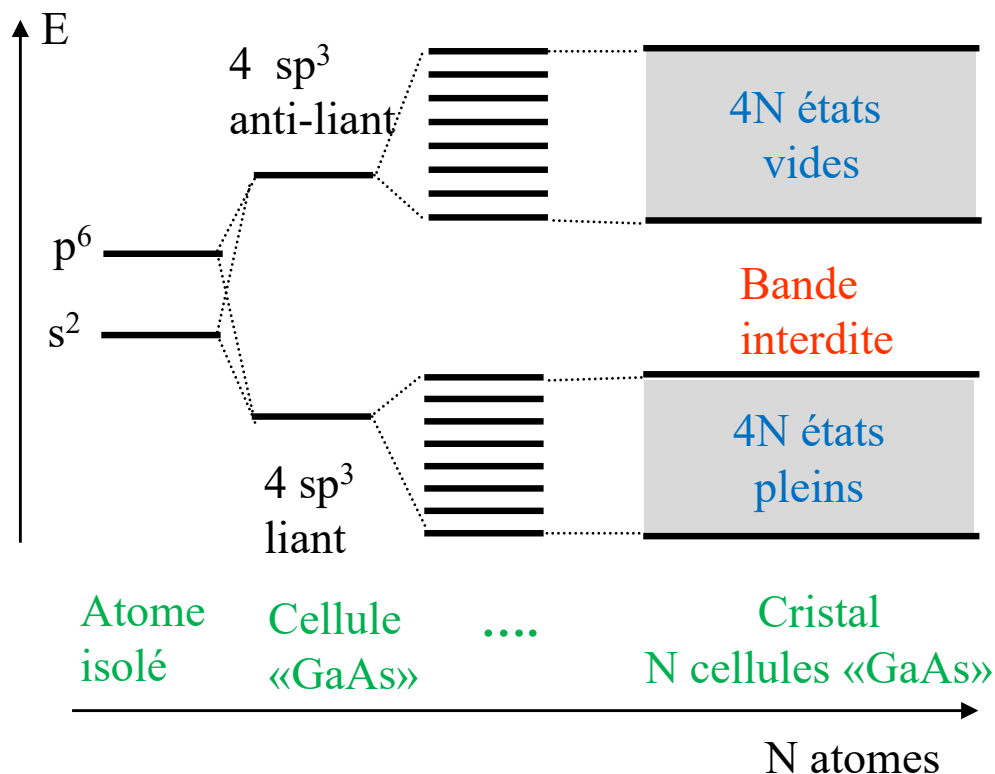
Réseau 2D
3 liaisons par atome



Réseau 3D
4 liaisons par atome



Formation de bandes dans Silicium



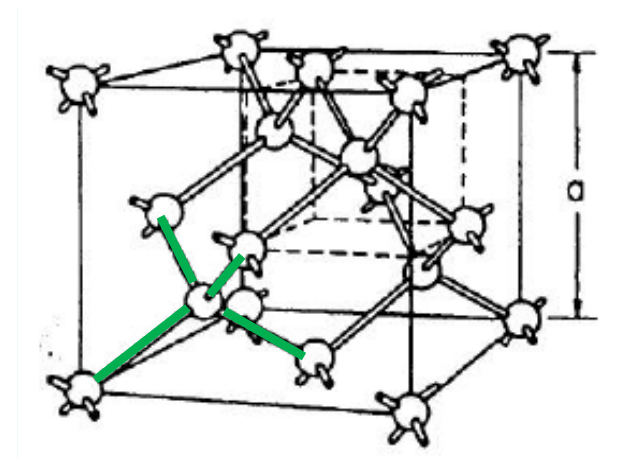
Bande de conduction

ψ et $E(K)$ basés sur états anti-liants

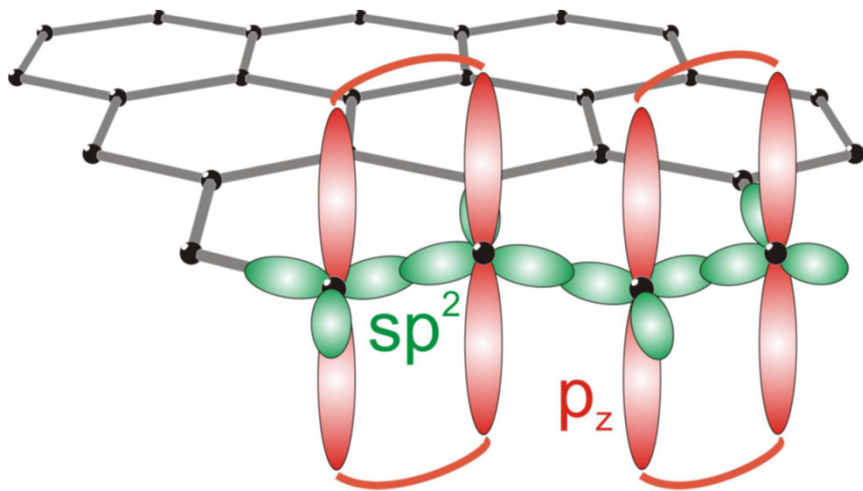
Bande de valence

ψ et $E(K)$ basés sur états liants

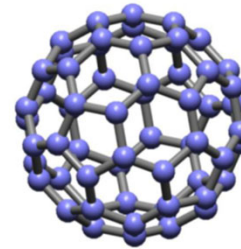
sp^3



Graphène: atomes de carbone en nid d'abeilles

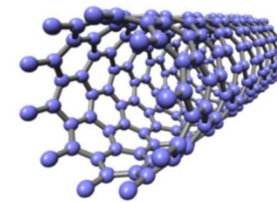


0D



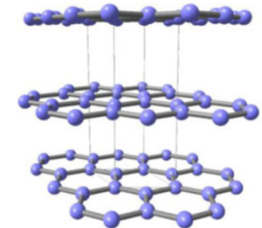
fullerenes (1985)

1D



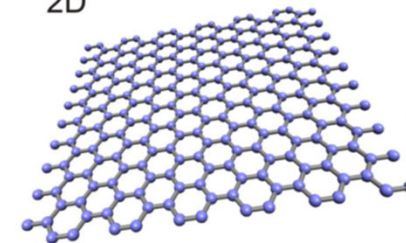
carbon nanotubes
((1952), 1991, 1993)

3D



graphite

2D

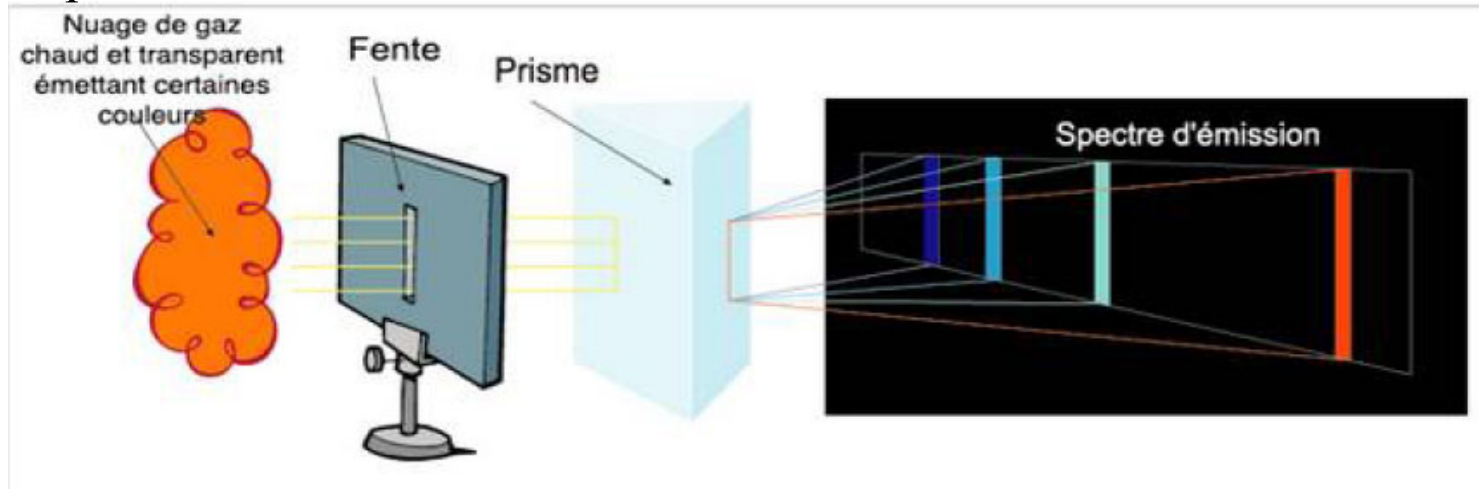


graphene (2004)

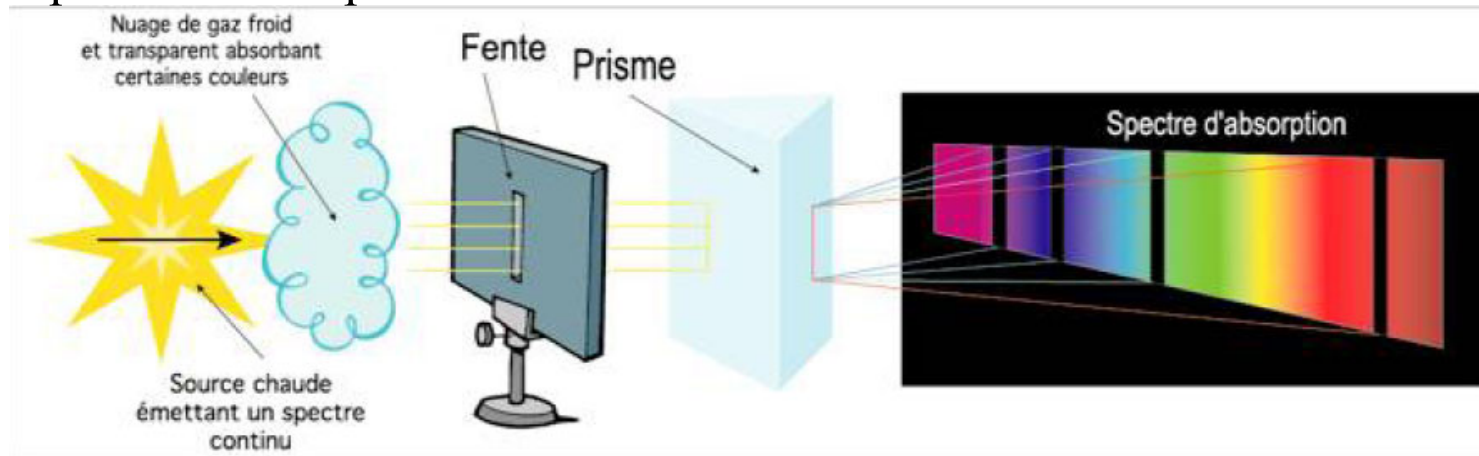
Christian Riedl, «Epitaxial Graphene on Silicon Carbide Surfaces: Growth, Characterization, Doping and Hydrogen Intercalation», PhD thesis 2010, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Ex. 1.3: Spectres d'émission et d'absorption

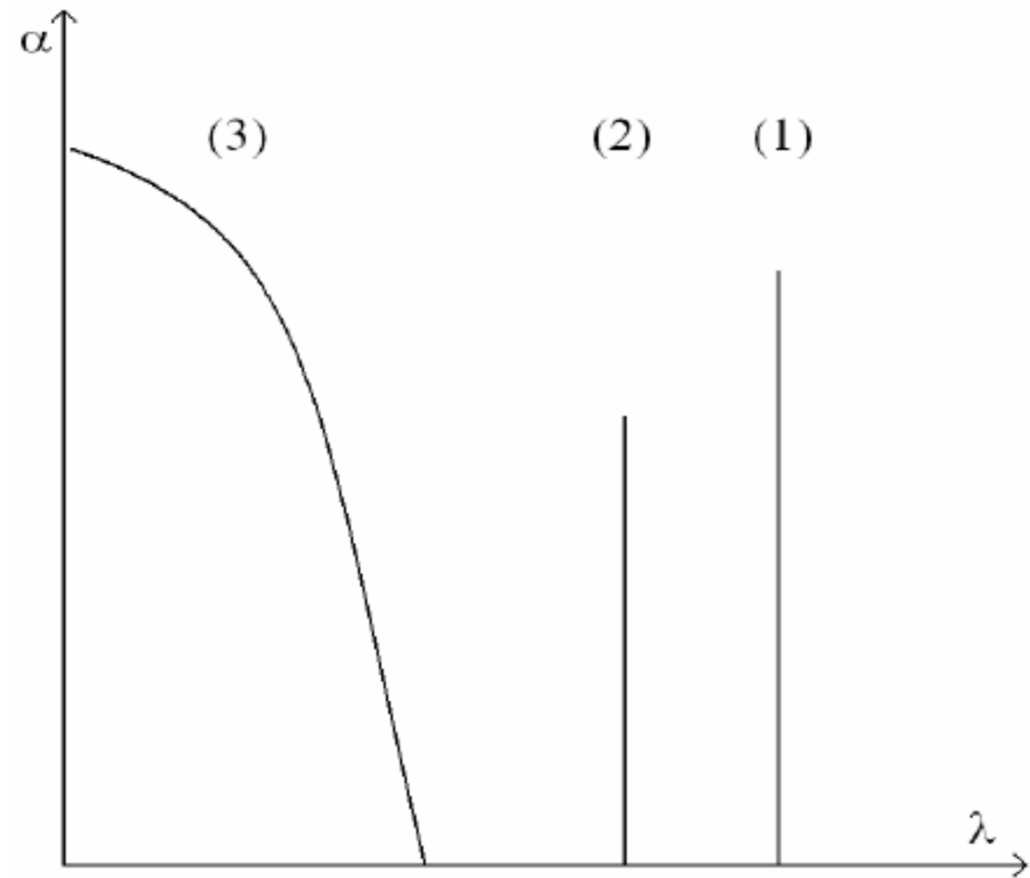
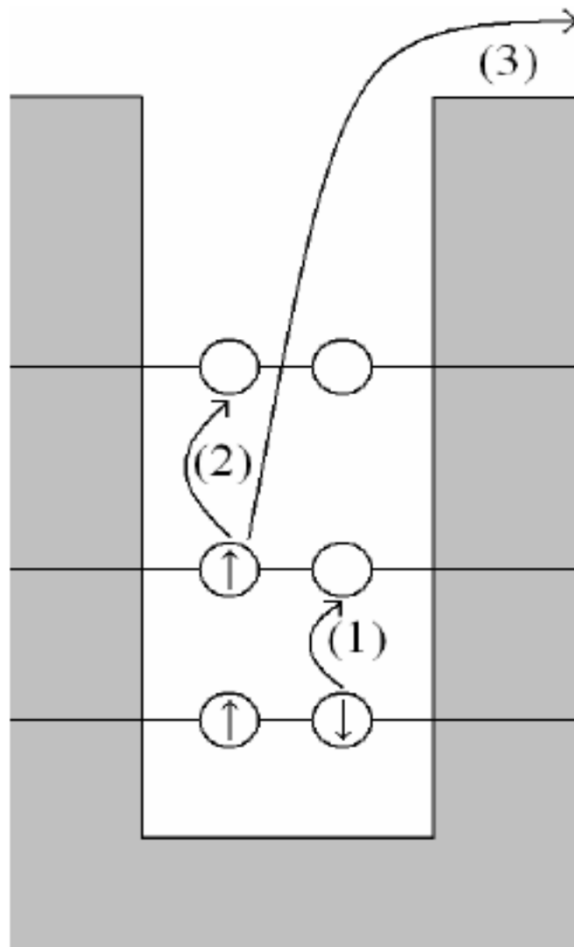
Spectre d'émission



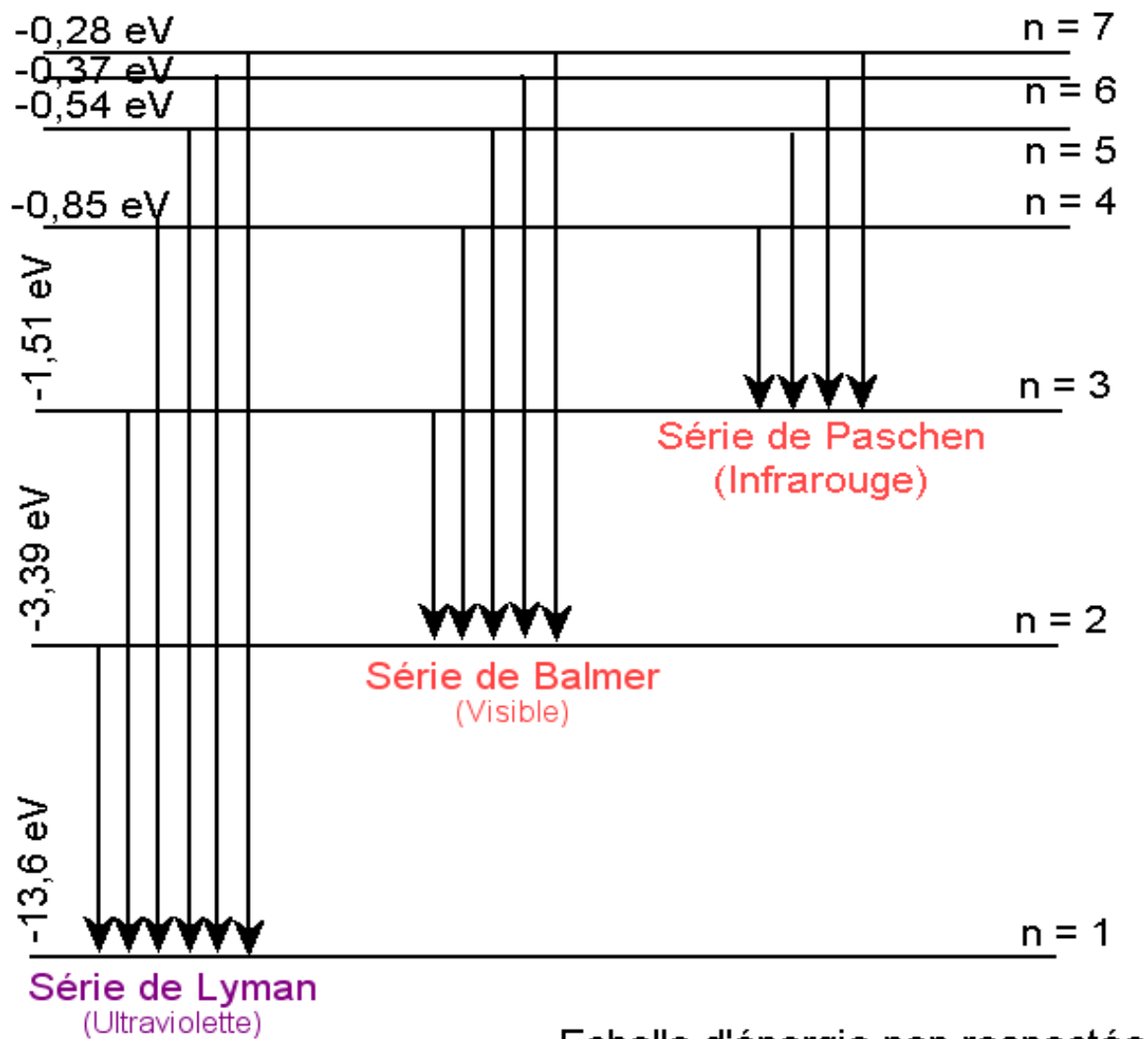
Spectre d'absorption



Ex. 1.3: Absorption dans un gas

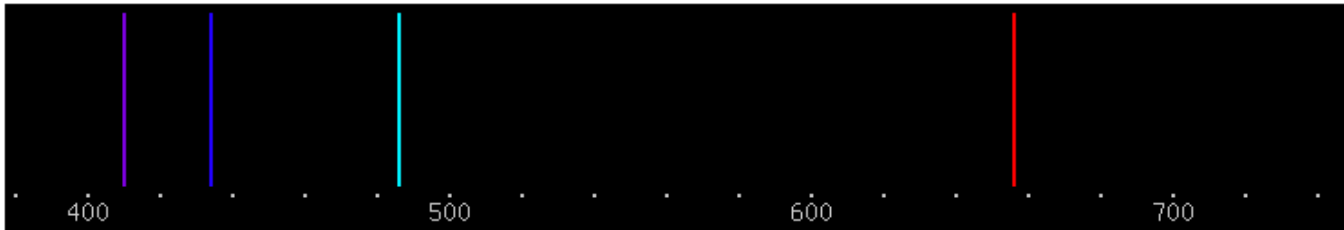


Spectre de l'hydrogène



Echelle d'énergie non respectée

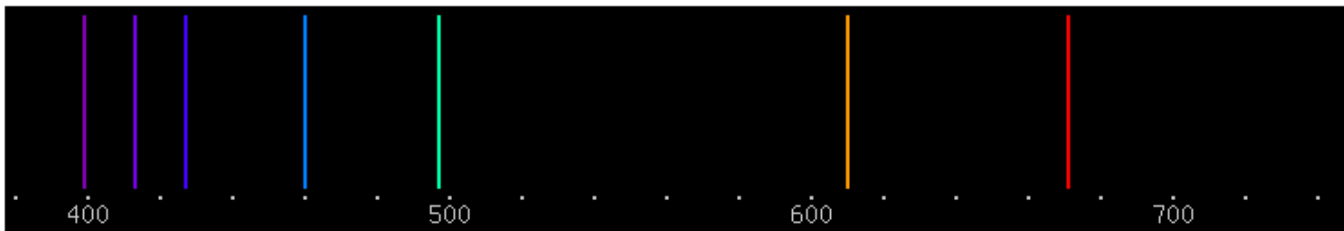
Spectre d'émission de différents gaz



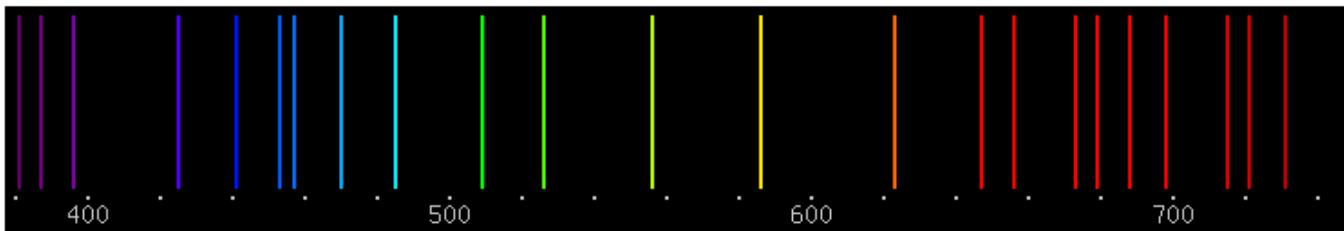
Hydrogen



Helium



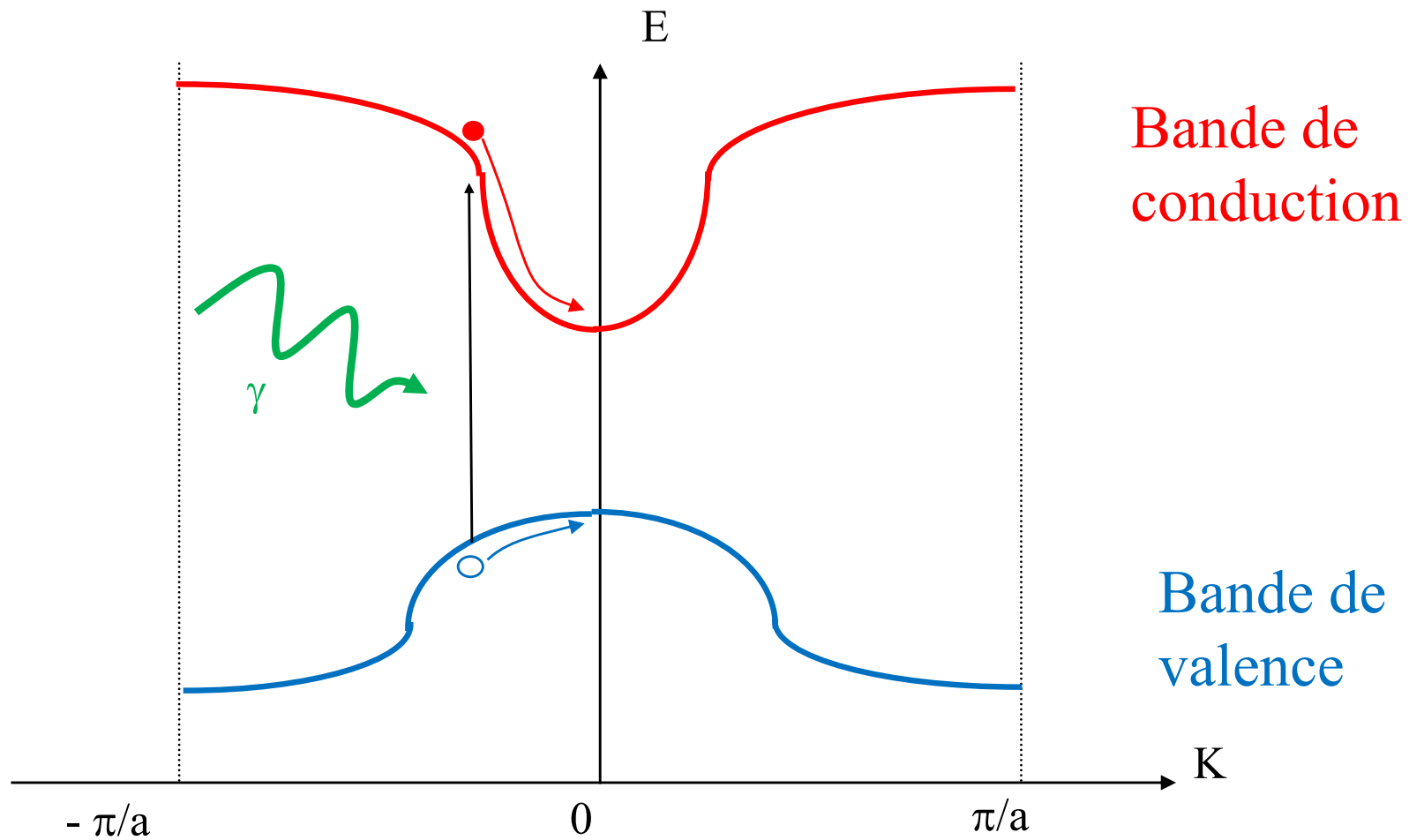
Lithium



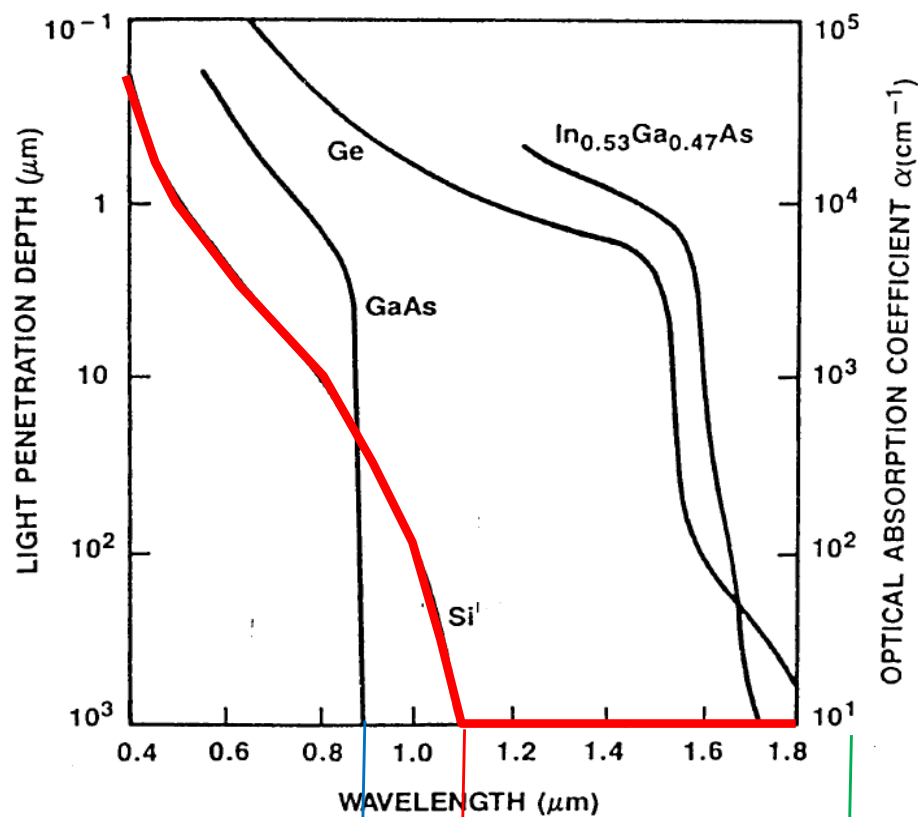
Beryllium

<http://scisyn.com/umuc/astro/ASTR100Notes/spectra-examples.html>

Absorption dans un semi-conducteur



Mesure du bandgap: absorption optique

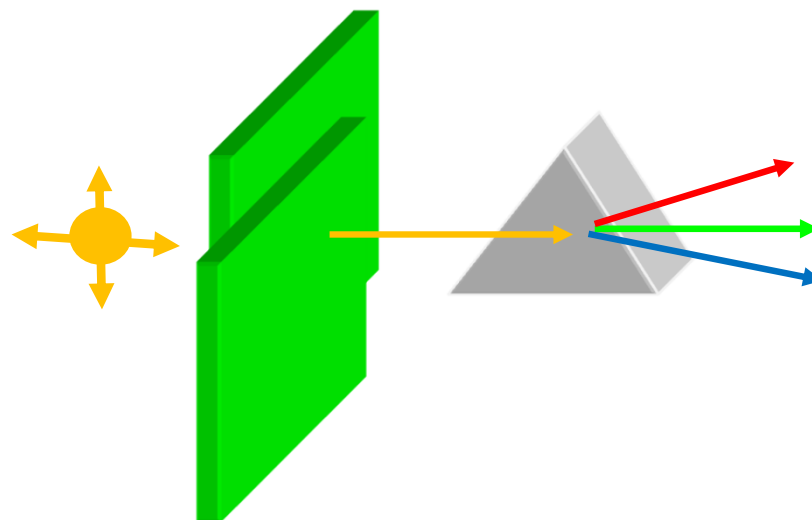


$$E_{[eV]} \cong \frac{1.24}{\lambda_{[\mu m]}}$$

1.42eV

1.12eV

0.66eV



$$1.24 = \frac{hc}{10^{-6} q}$$