**Chapitre I : Quantification de l’énergie du niveau de Landau**

**Introduction :**

 Dans ce chapitre nous allons étudier l’effet produit sur un cristal (semi-conducteur) plongé dans un champ magnétique fort

**I-1 Cas d’une Particule libre soumise à l’action d’un champ magnétique** :

On cherche à décrire une particule quantique subissant les effets d’un champ électromagnétique extérieur **[1].**

 On supposera donc que l’influence de la particule sur le champ est négligeable (ex : rayonnement, champ électrostatique ou magnétostatique). La dynamique d’une particule quantique isolée est décrite par l’équation de Schrödinger



H représente l’hamiltonien ,  la fonction d’onde et E l’énergie de la particule

- L’hamiltonien d’un particule libre dans un champ magnétique

H=T+U(x ,y,z)

\*on introduit l’impulsion généralises

****

* U(x, y, z) énergie potentielle ( Particule libre donc U(x, y, z) = 0 )
* T énergie cinétique 
* p s’écrit en mécanique quantique : 
* D’après les équations de Maxwell :

  , 

Calcul de l’ Hamiltonien



 

Avec : 



La champ magnétique est dirige suivant l’axe Oz , les composantes de A (-y B ,0,0)

L’ Hamiltonien prend la forme suivante :

  (I-1-1)

* **Pour B = 0 :**



La solution :





* **Pour B ≠ 0**

Dans l’hamiltonien H n’apparait que la composante y

La fonction d’onde Ψ(x, t) solution de l’´equation de Schrödinger s’écrit :





Le développement de l’hamiltonien donne l’équation de Schrödinger on trouve





en posant que : y = y’+y0 avec 

Par changement de variable, nous sommes donc amenés à résoudre une équationde typeéquation différentielle d’un oscillateur harmonique **[3]**



Avec : 

L’équation d’un oscillateur harmonique quantique

 (I-1-2)

L’énergie de cet oscillateur est :

 avec $ω\_{0}$== $\frac{ eB}{m}$ et n un entier



  (I-1 -3)

**I-2 Cas d’un cristal dans un champ magnétique :**

**I-2-1 Masse effective des électrons :**,

 Cas d’une particule élémentaire plongée dans un potentiel cristallin. Cette particule quasi-libre de charge (-e) et de masse  , est représentée dans ce potentiel par une particule libre de charge (-e)et de masse  qu'on appelle masse effective de l'électron.

Supposons notre cristal semi-conducteur soumis à un champ électrique extérieur. Un électron de conduction du cristal est soumis d'une part à une force interne  résultant du champ cristallin et d'autre part à une force d'origine externe résultant du champ extérieur. On peut alors écrire :



On écrit que l'électron dans le cristal répond à la sollicitation de la force externe  **[2]**



La masse effective contient l'effet global du potentiel cristallin sur l'électron. Tout se passe comme si l'électron, dans le cristal, se comporte comme une particule de masse m\* soumise uniquement à l'effet d'une force externe.

Dans l’état, un électron est représenté par un paquet d'ondes (qui sont des ondes de Bloch) dont la vitesse dite de vitesse de groupe est donnée par :

  (I-2-1)

Où ω est la pulsation du paquet d'ondes et E = ħ ω est l'énergie associée à l'électron.

L'accélération de l'électron est donnée par :

 (I-2-2)

En mécanique classique, l'énergie cinétique d'une particule de masse m animée d'une vitesse v est : Dérivons cette expression, il vient  ,on peut écrire 

Soit :

 Ou   (I-2-3)

En portant l'expression (I-2-3) dans l'expression (I-2-2) on obtient compte tenu de (I-2-1)

 (I-2-4)

 Ce qui s'écrit **:** avec : 

Dans l’hamiltonien , on remplace m par m\* :

 (I-2-5)

Avec : 

L’équation de l’oscillateur harmonique devient :

 (I-2-6)

 L’énergie de cet oscillateur est de la forme :

$E^{'}=E\_{n}$=$E\_{n}^{'}+\frac{ђ^{2}k^{2}\_{z}}{2m^{\*}}$ avec $ω\_{0}$== $\frac{ eB}{m}$

  $ $(I-2-7)

**I - 3 Niveau de Landau** :

L’énergie est de la forme :

$E^{'}=E\_{n}$=$E\_{n}^{'}+\frac{ђ^{2}k^{2}\_{z}}{2m^{\*}}$ avec $ω\_{0}$== $\frac{ eB}{m}$

$E\_{n}$=$\left(n+\frac{1}{2}\right)ђω\_{0}+\frac{ђ^{2}k^{2}\_{z}}{2m^{\*}}$

* Donc les niveaux d’énergie correspondants aux différentes valeurs de n sont appelés « Niveaux de Landau »



**Figure (I– 3-1 ) :** Niveau de landau **[4]**

**Conclusion :**

# Les niveaux d’énergie aux différentes valeurs de n sont appelés « Niveaux de Landau »$ $

# $E\_{n}$=$\left(n+\frac{1}{2}\right)ђω\_{0}+\frac{ђ^{2}k^{2}\_{z}}{2m}$