

# La détermination de la constante de Planck

## I. Introduction et objectifs

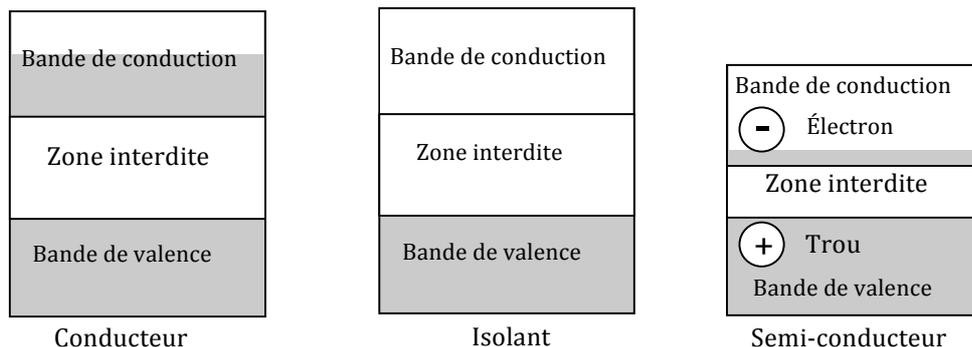
Déterminer la grandeur de la constante de Planck en se servant des propriétés des diodes électroluminescentes.

## II. La théorie

Dans un atome isolé, les électrons peuvent accéder à des niveaux d'énergie définis par les couches électroniques. Lorsque les atomes forment un cristal, les niveaux d'énergie se superposent pour former des bandes d'énergie formées d'une multitude de niveaux d'énergie. Il y a une bande qui contient les électrons de valences et une bande qui contient les électrons de conduction. Ces deux bandes sont séparées par une zone interdite (gap en anglais) où les électrons ne peuvent pas se retrouver.

Dans un conducteur, la bande de conduction est partiellement remplie ce qui permet aux électrons de cette bande, sous l'action d'un champ électrique, d'occuper un des nombreux niveaux d'énergie encore libres de cette bande et de conduire ainsi le courant.

Dans un isolant, les électrons se retrouvent dans la bande de valence et n'ont pas assez d'énergie pour traverser la zone interdite pour atteindre la bande de conduction. Celle-ci ne contient pas d'électrons : alors, l'isolant ne peut pas conduire le courant.



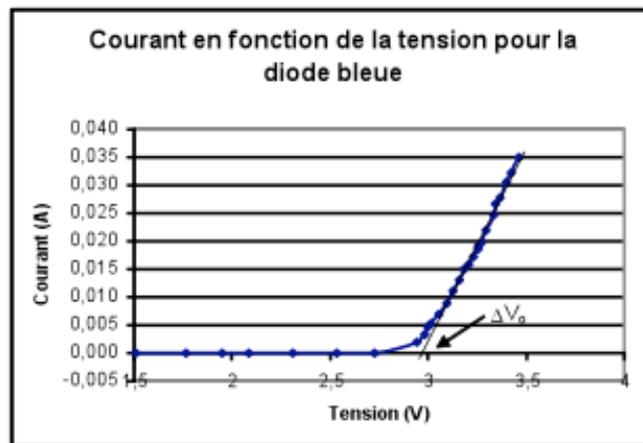
Dans un semi-conducteur, la zone interdite est plus faible ce qui permet à un électron de la bande de valence de monter dans la bande de conduction créant ainsi le déficit d'un électron (qu'on appelle un trou) dans la bande de valence. Ce trou pourra par la suite être rempli par un autre électron de la bande de valence laissant à son tour un trou à son point de départ. Le déplacement des électrons dans un sens dans la bande de conduction et le déplacement des trous (équivalent à une charge positive) dans l'autre sens permet un faible courant. On peut augmenter la conductivité en ajoutant des atomes étrangers dans le semi-conducteur. Cette opération s'appelle le dopage. Par exemple, si on remplace un atome ayant quatre électrons de valence par un autre qui en possède cinq, il y aura un électron qui sera faiblement lié et qui pourra se déplacer : c'est alors un semi-conducteur de type N. Par contre si on remplace un atome ayant quatre électrons de valence par un atome étranger n'ayant que trois électrons de valence, il y aura un déficit d'un électron autrement dit un trou : c'est un semi-conducteur de type P.

La diode est constituée d'un semi-conducteur de type P et d'un semi-conducteur de type N séparés par une jonction. Lorsqu'on relie la diode à une source avec sa borne au semi-conducteur N, le courant circule à travers la diode. Il faut fournir de l'énergie pour permettre aux électrons de franchir la zone interdite ce qui nécessite une différence de potentiel minimale  $\Delta V_0$  qui dépend de la largeur de la zone interdite. À partir de cette différence de potentiel minimale, les électrons de la bande de conduction se déplacent dans un sens et les trous de la bande de valence se déplacent dans l'autre sens en grand nombre.

C'est à la jonction que l'émission de la lumière se fait : lorsqu'un électron tombe dans la bande de valence pour se combiner avec un trou, il se départit de son surplus d'énergie en émettant un photon dont l'énergie correspond au travail qui avait été fait pour monter dans la bande de conduction.

Le travail fait par le champ électrique pour monter un électron dans la bande de conduction est donné par  $W = e\Delta V_0$  où  $e$  est la charge de l'électron et  $\Delta V_0$  est la différence de potentiel minimale pour monter l'électron.

Pour déterminer cette valeur de  $\Delta V_0$  on fait un graphique du courant traversant la diode en fonction de la tension à ses bornes. Dans la portion du graphique où le courant croît linéairement avec la tension, on trace la tangente à la courbe. L'intersection de cette tangente avec l'abscisse donne le  $\Delta V_0$  comme l'illustre le graphique ci-dessous.



L'énergie libérée par l'électron en retournant dans la bande de valence est égale au travail fait par le champ :  $E = e\Delta V_0$ .

L'énergie du photon se calcule par  $E = hf$ . En assumant que tout le surplus d'énergie de l'électron se transforme en photon on peut poser :

$$e\Delta V_0 = hf.$$

$$\text{Alors } \Delta V_0 = hf/e.$$

La couleur de la lumière émise par la diode dépend de la largeur de la zone interdite. Ainsi, la valeur de  $\Delta V_0$  est différente pour chaque couleur.

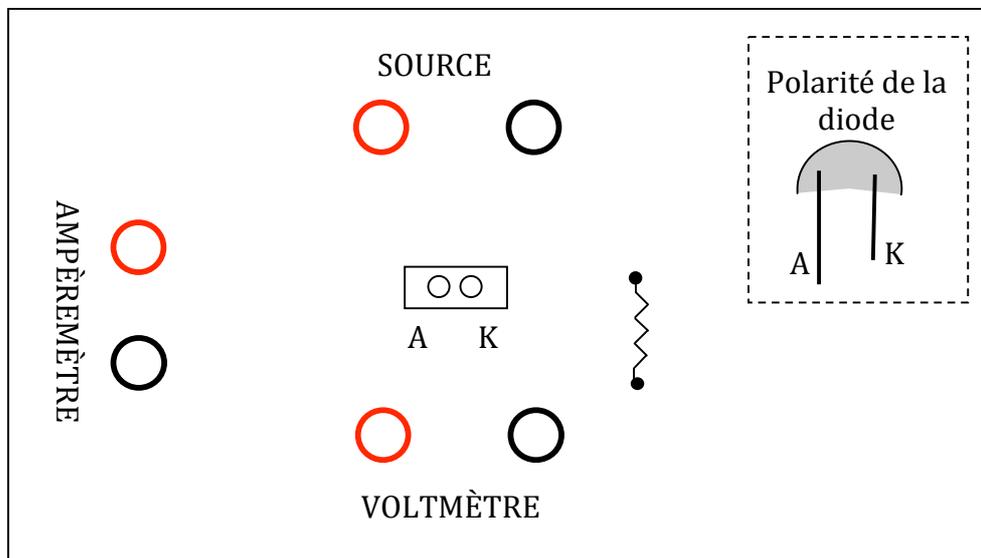
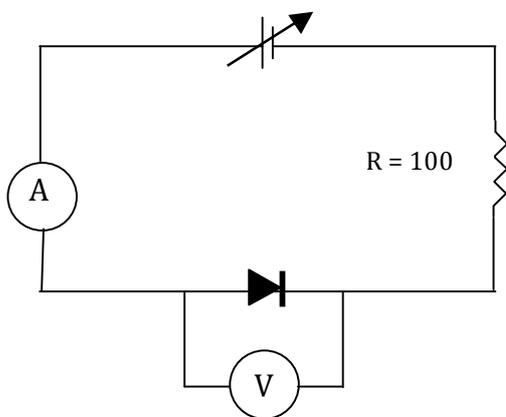
Le graphique de  $\Delta V_0$  en fonction de la fréquence permet de déterminer la constante de Planck.

### III.Équipements

- Source de tension variable
- 6 diodes électroluminescentes : bleue, vert, jaune, orange, rouge et infrarouge
- Plaquette de montage
- Capteur de données LabQuest
- Sondes de tension et de courant

### IV.Procédure expérimentale

#### Montage



## Manipulations

1. Assurez-vous que la tension de la source est à son minimum.
2. Complétez le circuit en utilisant la diode bleue (B).
3. Mettez le capteur de données en marche (bouton supérieur gauche).
4. Branchez les sondes (ampèremètre et voltmètre) aux entrées CH 1 et CH2.
5. Avec le stylet, pointez sur le rectangle d'affichage de chacune des sondes et dans le menu qui apparaît choisissez de mettre à zéro.
6. Pointez sur les caractéristiques de la sonde (à droite de l'écran), dans le menu qui apparaît surlignez le temps d'enregistrement et remplacez-le par 10 s.
7. Activez le déclenchement et démarrez la collection si le capteur de courant est augmenté au-delà de 0,001 A.
8. Mettez en marche l'enregistrement en pointant le symbole.   
Une fenêtre apparaît en attente de la valeur de déclenchement. Faites varier le potentiel en tournant dans le sens horaire le **gros** bouton d'ajustement *Voltage*. Dès que la valeur de déclenchement est atteinte, faites varier régulièrement le courant jusqu'à 10 mA, à l'intérieur de cette période de 10 secondes, en tournant maintenant le **petit** bouton (fine).
9. Pointez sur l'identification de l'axe du temps, et dans le menu qui apparaît choisissez *Tension*.
10. Pointez sur le graphique du courant et dans le menu choisissez d'afficher seulement ce graphique.
11. Puisque seulement la partie linéaire nous intéresse, pointez le stylet sur le début de la partie linéaire et glissez jusqu'à la fin de cette partie. La zone sélectionnée devient ombragée.
12. Dans le menu supérieur de l'écran, pointez sur *analyse*. Dans ce menu, choisissez *courbe ajustée* puis le type *linéaire* dans *courbe fit*.
13. Le graphique contient maintenant l'équation de cette portion du graphique. Pointez sur les informations du graphique pour agrandir cette portion de l'écran. Notez les informations dans le tableau 2. Vous pouvez également les transférer sur votre clé USB.
14. Pour recommencer les manipulations avec les autres diodes, pointez sur *fichier* puis *nouveau*. Vous pouvez décider de conserver ou non (*ignorer*) vos données.
15. Calculez  $\Delta V_0$  pour chaque diode à partir des données du tableau 2. Reportez ces valeurs dans le tableau 3.
16. Tracez dans Excel un graphique de  $\Delta V_0$  en fonction de la fréquence et déterminez la constante de Planck.
17. Calculez le % d'écart. Indiquez vos résultats dans le tableau 4.

## V. Tableaux

Tableau 1 Longueur d'onde de la lumière émise par les diodes

Couleur (symbole sur la diode)	Longueur d'onde nm	Fréquence $10^{14}$ Hz
Bleue (B)	470	6,38
Vert (V)	571	5,25
Jaune (J)	589	4,35
Orange (O)	615	4,88
Rouge (R)	630	4,76
Infrarouge (I)	880	3,41

Tableau 2 Paramètres de l'équation linéaire pour chaque diode

Couleur de la diode	Pente $m$ A/V	Ordonnée à l'origine $b$ (volts)	Coefficient de corrélation $R$
Bleue			
Vert			
Jaune			
Orange			
Rouge			
Infrarouge			

Tableau 3 Potentiel d'arrêt en fonction de la fréquence de la lumière émise par les diodes

Fréquence $10^{14}$ Hz	Potentiel d'arrêt $\Delta V_0$ (Volts)
6,38	
5,25	
4,35	
4,88	
4,76	
3,41	

Tableau 4 Valeur expérimentale de la constante de Planck

Constante de Planck	J.s	% d'écart :
---------------------	-----	-------------