

Thème : Structure et propriétés  
Mots clés : Conducteurs, semi-conducteurs



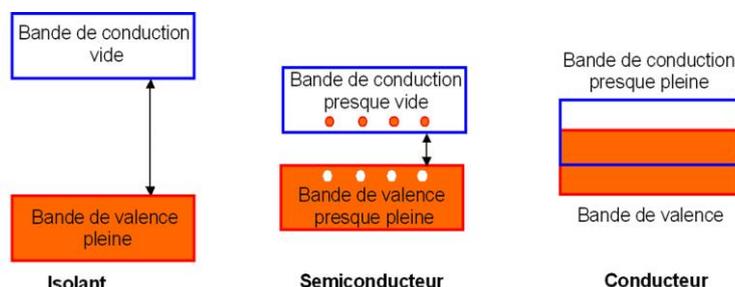
↳ **Réfléchissons un peu avant de commencer...**

Dans une voiture, plusieurs mesures de température sont réalisées presque continuellement pour renseigner l'ordinateur de bord. Les capteurs utilisés sont des thermistances, de la famille des semi-conducteurs.

**Document 1 Conducteurs, isolants et semi-conducteurs**

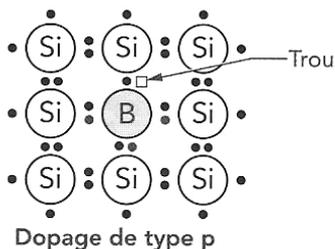
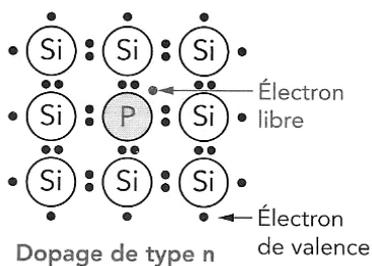
Rappelons d'abord que les niveaux énergétiques des électrons d'un atome isolé sont discrets. Dans une structure cristalline composée d'une infinité d'atomes parfaitement rangés les uns à côté des autres, les états énergétiques électroniques de chaque atome forment deux bandes continues appelées **bande de conduction et bande de valence** (voir ci-contre).

Ces bandes sont séparées par une **bande interdite** d'énergie inaccessible aux électrons. Cette région interdite est appelée « gap » et sa largeur est caractéristique du matériau. Seuls les électrons des plus hautes énergies, présents dans la bande de conduction, peuvent se détacher de la structure cristalline et participer à la conduction du courant.



Pour les isolants, l'agitation thermique n'est pas suffisante pour permettre à des électrons d'atteindre la bande de conduction : le « gap » de plus de 6 eV est trop important. Pour les matériaux conducteurs en revanche, certains électrons sont libres d'évoluer dans la structure cristalline (métaux). Pour les semi-conducteurs, parfaitement isolants à 0 K, l'agitation thermique (à 298 K par exemple) permet à quelques électrons de « traverser » le faible « gap » d'environ 1 eV et d'atteindre la bande de conduction pour assurer une conduction électrique (extrêmement faible cependant).

**Document 2 Dopage d'un semi-conducteur**



Un réseau monocristallin d'atomes de silicium, Si, est un semi-conducteur. L'atome de silicium ayant quatre électrons de valence, il établit quatre liaisons covalentes avec quatre atomes voisins. Un semi-conducteur au silicium a une conductivité quasi nulle. Afin d'augmenter sa conductivité, on insère dans la structure cristalline des atomes d'autres éléments, appelés dopants.

Pour un semi-conducteur au silicium dopé au phosphore, un atome de phosphore, P, remplace un atome de silicium dans le réseau. L'atome P ayant cinq électrons de valence, il forme quatre liaisons covalentes avec des atomes de silicium voisins; il reste un électron libre qui peut participer à la conduction électrique. L'atome de phosphore étant donneur d'électron, on parle de dopage de type n (n pour négatif).

Par un raisonnement analogue, un atome dopant possédant trois électrons de valence, comme le bore, B, conduit à un déficit d'électron de valence dans le réseau, appelé trou. Ce trou peut être comblé par un électron de valence d'un atome de silicium voisin, déplaçant ainsi le trou. L'atome de bore étant accepteur d'électron, on parle de dopage de type p (p pour positif).

Les éléments dopants génèrent des niveaux d'énergies dans la bande interdite. Ces niveaux sont proches des bandes de valence ou de conduction.



### Document 3 Thermistances

Utilisées pour mesurer des températures entre - 46 °C et 150 °C, les thermistances sont composées de petits grains semi-conducteur et d'oxydes métalliques (fer, titane, etc...) que l'on appelle oxydes céramiques. Lorsqu'on chauffe ce matériau semi-conducteur, les atomes qui le constituent vibrent et ce d'autant plus que la température augmente. Comme pour tous les conducteurs, cela a pour effet d'entraver le mouvement des électrons libres, donc d'augmenter la résistance.

Cependant, à la différence des métaux conducteurs, l'échauffement d'un semi-conducteur (et donc l'apport d'énergie) libère un nombre toujours plus grand d'électrons (dans la bande de conduction). Cette augmentation du nombre de porteur de charges (électrons et/ou lacunes positives) facilite la conduction. La diminution de résistance qui en résulte compense largement l'effet de l'agitation des atomes.

On peut rencontrer deux types de thermistances :

- la CTN, coefficient de température négatif (NTC thermistor),
- la CTP, coefficient de température positif (PTC thermistor).

Les paramètres essentiels d'une thermistance sont :

- la valeur de sa résistance à 25°C :  $R_{25}$
- sa sensibilité thermique ou coefficient de température  $\alpha$

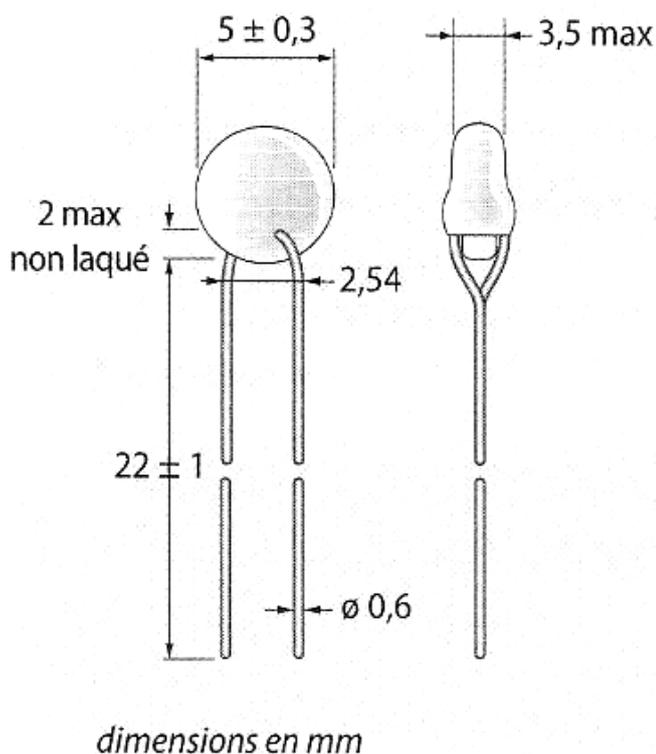
$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T} \text{ où } T \text{ désigne la température en kelvin.}$$

- son indice de sensibilité à 25°C :  $B_{25} = - T^2 \cdot \alpha$



On dispose d'une thermistance de type CTN dont la fiche technique est donnée dans le document 4 ci-dessous.

### Document 4 Fiche technique CTN



Appellation commerciale	$R_{25}$ ( $\Omega$ )	$B_{25} \pm 5\%$ (K)	$\alpha$ (%/K) à 25 °C
CTN 642 6.478	4,7	2 750	- 3,1
CTN 642 6.688	6,8	2 800	- 3,2
CTN 642 6.109	10	2 875	- 3,2
CTN 642 6.229	22	3 025	- 3,4
CTN 642 6.479	47	3 150	- 3,5
CTN 642 6.101	100	3 300	- 3,7
CTN 642 6.151	150	3 375	- 3,8
CTN 642 6.221	220	3 475	- 3,9
CTN 642 6.331	330	3 575	- 4,0
CTN 642 6.471	470	3 650	- 4,1
CTN 642 6.681	680	3 725	- 4,2
CTN 642 6.102	1 000	3 825	- 4,3
CTN 642 6.152	1 500	3 975	- 4,5
CTN 642 6.222	2 200	4 125	- 4,6
CTN 642 6.472	4 700	4 350	- 4,9
CTN 642 6.103	10 000	4 275	- 4,8
CTN 642 6.153	15 000	4 200	- 4,7
CTN 642 6.223	22 000	4 275	- 4,8
CTN 642 6.333	33 000	4 350	- 4,9
CTN 642 6.473	47 000	4 400	- 5,0
CTN 642 6.683	68 000	4 450	- 5,1

- ☒ Compléter le schéma du **doc. 1** en légendant les valeurs des « gap » de l'isolant et du semi-conducteur.
- ☒ Expliquer la conductivité élevée des conducteurs.
- ☒ Un semi-conducteur au silicium non dopé conduit-il le courant ? Pourquoi ?
- ☒ Rechercher dans la classification périodique un autre élément pouvant être utilisé à la place du phosphore pour assurer un dopage de type n.
- ☒ L'énergie d'agitation thermique peut se calculer grâce à la constante de Boltzmann ( $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ). Evaluer l'énergie d'agitation à température ambiante ( $E = k_B \cdot T$ ) et expliquer pourquoi un semi-conducteur dopé peut conduire le courant s'il est à une température suffisante.
- ☒ En dehors du chauffage, par quel autre moyen peut-on apporter de l'énergie à un semi-conducteur pour qu'il conduise le courant ?
- ☒ Quelle est la grandeur qui varie en fonction de la température dans une thermistance ?

**Problème à résoudre :** trouver la relation qui existe entre la valeur de la température de l'habitacle d'une voiture (comprise entre 5°C et 45°C) et la valeur de la grandeur mesurée dans le cas d'une CTN.

### **Manipulations**

- ☞ Réaliser une première mesure de température ambiante. A l'aide de la thermistance disponible, réaliser une mesure de la grandeur associée avec l'appareil adéquat.
- ✂ A l'aide de la fiche technique du **doc. 4**, trouver une référence possible de la CTN utilisée.
- ☞ Réaliser une seconde mesure de la grandeur associée en chauffant la thermistance entre vos doigts.
- ✂ Comment varie la grandeur mesurée quand la température augmente ?
- ✂ Donner une définition de ce qu'est une thermistance.

### **Matériel disponible :**

- une thermistance CTN aux caractéristiques données précédemment
- matériel d'électricité de base (générateur de tension continu, multimètre, fils de connexion...)
- un thermomètre digital
- un grand bécher
- une plaque chauffante avec un agitateur magnétique
- des potences et noix d'accroche
- de l'eau et des glaçons

☞ Proposer un montage (le schématiser) afin de pouvoir répondre au problème. Après accord du professeur, le réaliser et remplir le tableau ci-dessous :

$\Theta$ (°C)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44

### **Exploitations des résultats**

- ✂ A l'aide d'un tableur-grapheur, tracer  $R_{CTN}$  en fonction de  $\Theta$ .

**Pour toutes les questions ci-dessous, il est demandé de donner si possible les résultats numériques en tenant compte des incertitudes de mesures.**

- ✂ Quelle est la valeur de  $R_{CTN}$  pour une température  $\Theta = 25$  °C ? En déduire la valeur de  $R_{25}$  de la CTN.
- ✂ A l'aide du tableur-grapheur, tracer la tangente à la courbe pour une température  $\Theta = 25$  °C. Calculer la valeur de la pente  $\Delta R/\Delta T$  de la tangente. En déduire la valeur de  $\alpha$  puis de  $\beta_{25}$  de la CTN.
- ✂ Comparer aux valeurs de la fiche technique du **doc. 4**. Commenter.
- ✂ Peut-on dire que la résistance  $R_{CTN}$  varie de manière affine avec la température  $\Theta$  ? Si oui, quelle est l'équation de la courbe ? (s'aider d'une modélisation) Si non, quel modèle pourrait convenir ?

### **Conclusions**

- ☞ Rédiger avec le professeur une conclusion.