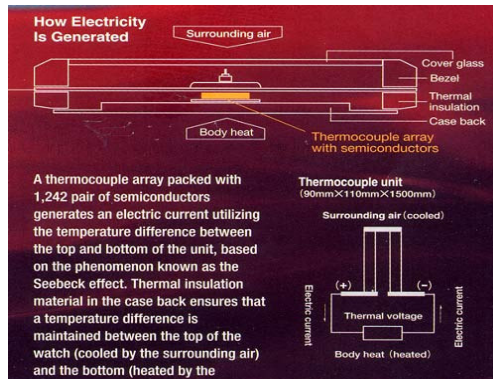


## Les effets thermoélectriques... ou comment convertir directement l'énergie thermique en énergie électrique

Les deux photos suivantes sont issues du catalogue d'un grand fabricant de montres. Elles présentent une innovation : une montre fonctionnant grâce à la différence de température existant entre le corps humain et l'air ambiant. L'objectif de ce TD est de comprendre le fonctionnement de cette montre.



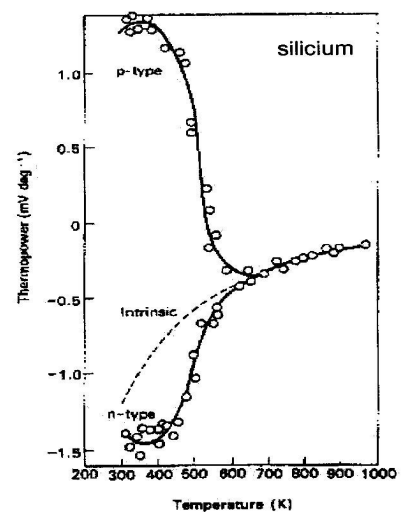
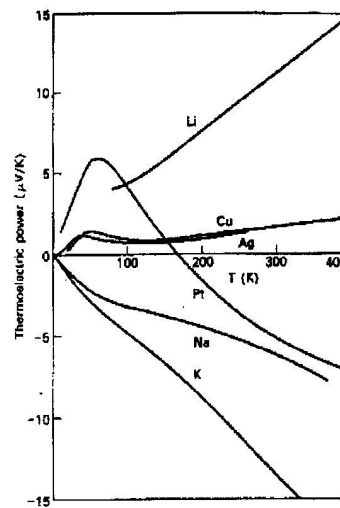
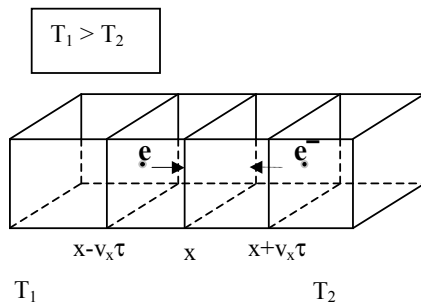
**Eco-Drive Thermo**  
A watch powered by the temperature difference between the wearer's body and the surrounding air.



1- Quels sont les systèmes couramment utilisés pour convertir l'énergie thermique en énergie électrique ? Quels sont les limites/inconvénients de ces méthodes ?

2- Dans le modèle de Drude, expliquer pourquoi on peut considérer que conduction thermique et électrique sont des phénomènes couplés.

3- On considère un matériau conducteur dans lequel la température n'est pas uniforme dans une direction.



Expliquer pourquoi un flux d'électrons s'établit de l'extrémité chaude vers l'extrémité froide. Ce flux atteint-il un régime stationnaire ?

4 - On appelle  $E$  le champ ainsi créé ; à l'équilibre, les vitesses électroniques moyennes dues au gradient de température  $\langle v_Q \rangle$  et au champ électrique  $\langle v_E \rangle$  s'annulent.

- Exprimer  $\langle v_Q \rangle$  en fonction de  $v_x$  ( $x - v_x \tau$ ) et  $v_x$  ( $x + v_x \tau$ ), puis en fonction de  $dv_x^2/dT$  et  $dT/dx$  ; en déduire  $v_Q$  dans l'hypothèse d'une répartition identique de la vitesse dans les trois directions.

- Exprimer  $\langle v_E \rangle$ .
- En déduire que :

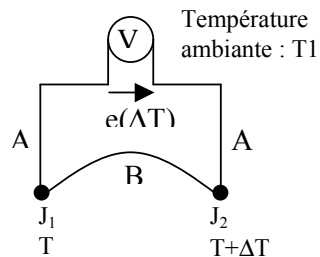
$$E = \alpha \text{ grad } T$$

$\alpha$  est le pouvoir thermoélectrique absolu du matériau

Donner l'expression de  $\alpha$ . Faire l'application numérique. Comparer aux valeurs expérimentales de  $\alpha$ . Qu'en pensez-vous ?

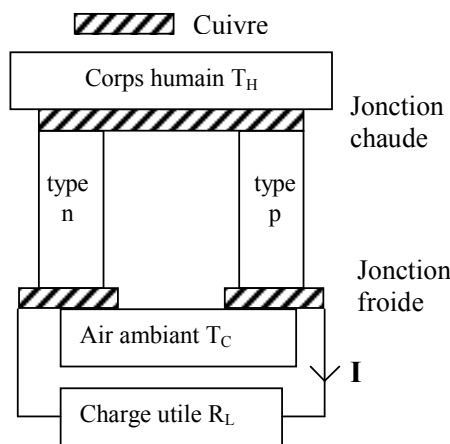
5 – En pratique, on ne mesure pas le champ électrique créé aux bornes d'un conducteur soumis à un gradient de température, mais la fem d'un circuit ouvert de 2 conducteurs, dont les jonctions sont à des températures différentes.

Exprimer la fem aux bornes du couple thermoélectrique A/B représenté ci-dessous, dont les jonctions se trouvent respectivement aux températures  $T$  et  $T+\Delta T$ .



*L'apparition d'une fem dans un circuit ouvert, composé de deux conducteurs différents, lorsque les jonctions sont à des températures différentes, est appelée l'effet Seebeck. Les deux conducteurs constituent un thermocouple.*

7- Le générateur de la montre est un module thermoélectrique. Ce module est constitué de thermocouples reliés en série électriquement et en parallèle thermiquement. Chaque thermocouple est constitué de deux semi-conducteurs de nature différente (type n et p), reliés entre eux par une plaque de cuivre. Le schéma d'un thermocouple est donné ci-dessous.



$T_H$	Température du corps
$T_C$	Température de l'air ambiant
$R_L$	Résistance électrique de la charge utile
$R_n, R_p$	Résistances électriques des éléments thermoélectriques
$\alpha_p, \alpha_n$	Coefficients de Seebeck des éléments thermoélectriques
$A_n, A_p$	Section des éléments thermoélectriques
$L_n, L_p$	Longueur des éléments thermoélectriques
<u>Données Numériques</u>	

Thermoélément	$\alpha$ ( $\mu V/K$ )	$\rho$ ( $\mu\Omega m$ )
Type p	162	5.55
Type n	-240	10.1

$A_n = A_p = 80 \mu m \times 80 \mu m$        $L_n = L_p = 600 \mu m$   
 Puissance nécessaire au fonctionnement de la montre : 15  $\mu W$

Comment ce dispositif peut-il alimenter la montre ?

Retrouver l'expression de la fem thermoélectrique du thermoélément.

8- Donner l'expression de la puissance électrique  $P_{el}$  délivrée dans la charge utile  $R_L$ . Quelle valeur de  $R_L$  maximise  $P_{el}$  ?

Comment choisir  $\alpha_p, \alpha_n$  pour optimiser  $P_{el,max}$  ? Quelle géométrie paraît la plus indiquée pour obtenir la meilleure  $P_{el,max}$  ? Pourquoi ne peut-on pas aller trop loin en ce sens ?

Calculer  $P_{el,max}$  pour un thermocouple du module de la montre. Combien de thermocouples faut-il associer pour assurer le fonctionnement de la montre avec une différence de température de 1K ?