

**TP N°1**  
**La conduction thermique**

**1. Introduction :**

La conduction de chaleur est l'un des modes de transfert de chaleur, elle se produit au sein d'un matériau suite à l'existence au gradient de température. Un solide est choisi pour la démonstration de la conduction pure parce que dans les liquides et les gaz la conduction est négligeable devant la convection thermique.

On réalise la conduction se produit dans les trois dimensions, ce qui rend l'étude très compliquée, pour cette raison l'utilisation de l'approche unidirectionnelle dans les laboratoires est suffisante pour la démonstration de la loi fondamentale qui relie le flux de chaleur au gradient de température et à la surface.

**2. Description du dispositif :**

**2.1 Le module de conduction linéaire :**

Le module de conduction linéaire se compose des éléments suivants illustrés sur la figure (1.1):

- 1) Un élément chauffant (1) en bronze par une résistance électrique (2).
- 2) Trois sondes de température (3) installées à 10 mm d'intervalle le long de l'élément chauffant dont le diamètre est 25 mm.
- 3) Un élément refroidissant (4) en bronze muni aussi de sondes de température disposées à 10 mm d'intervalle. Son refroidissement est assuré par la circulation de l'eau (5). Les deux éléments (chauffant et refroidissant) peuvent s'assembler directement pour former une barre en bronze continue. Entre ces deux éléments on peut placer suivant le choix l'un des trois éléments suivants :
  - ♦ Le premier élément (7) en bronze également avec une longueur de 30 mm et un même diamètre que les deux éléments, muni de trois sondes de température (8) à des intervalles de 10 mm entre elles.
  - ♦ Le deuxième élément (9) aussi en bronze avec une longueur de 30 mm et un diamètre de 13 mm, il n'est pas équipé de sondes de température. Il permet d'étudier l'effet de la section en transfert thermique.
  - ♦ Le troisième élément (10) est en acier, il ne possède pas de sondes de température avec le même diamètre que l'élément chauffant. Il est utilisé pour l'étude de l'effet du changement du matériau quand la section reste constante.

Les sondes de température peuvent être connectées à l'aide des fils électriques à un lecteur digitale de température.

Module :

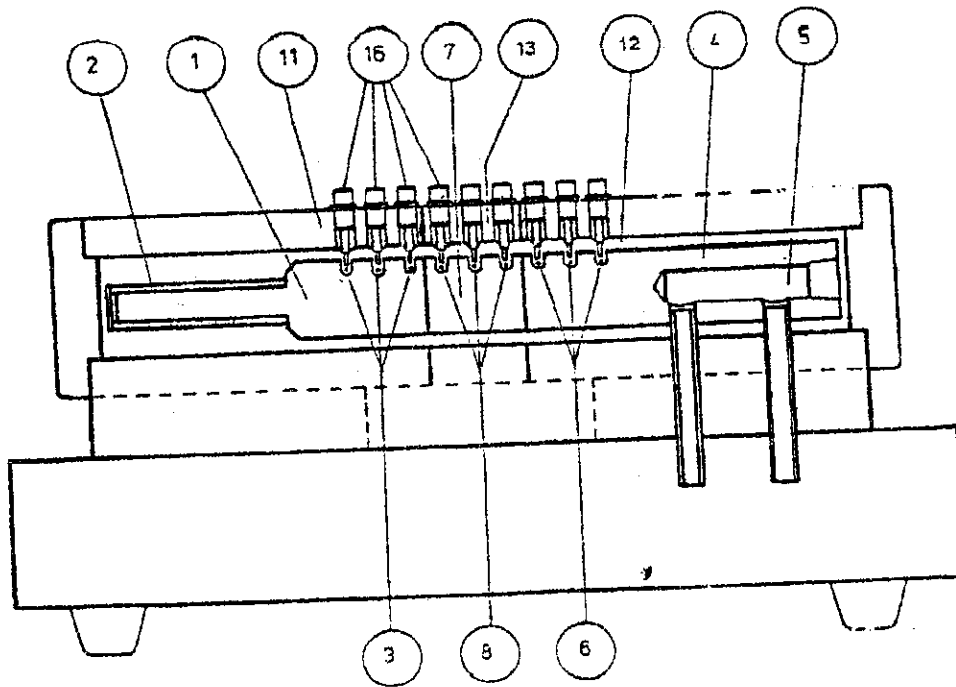
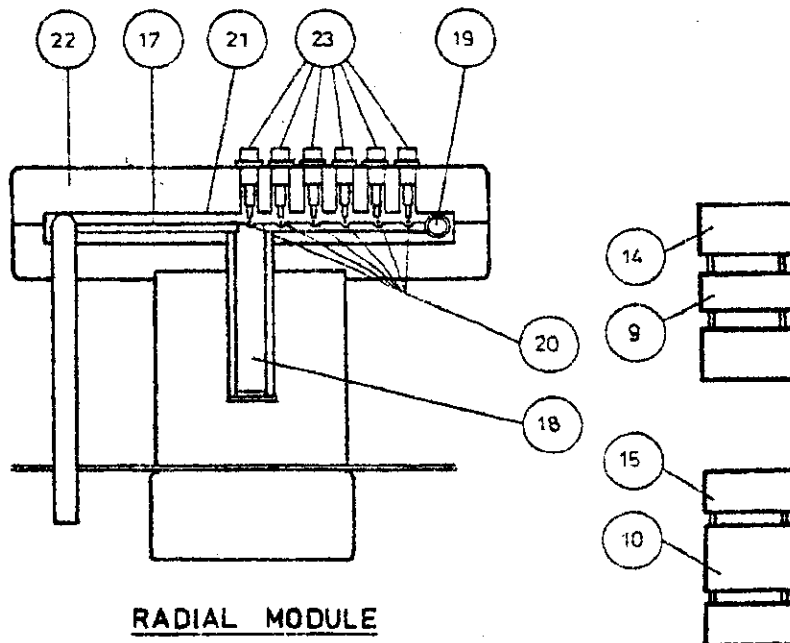


Figure (1.1) : Module de conduction linéaire.



**RADIAL MODULE**

Figure (1.2) : Module de conduction radial.

## 2.2 Le module de conduction radial :

Le module de conduction radial se présente sur la figure (1.2), il se compose d'un disque en bronze (17) de 110 mm de diamètre et 3 mm d'épaisseur. Le centre est chauffé par un réchauffeur électrique (18) et la circonférence est refroidie par de l'eau qui circule dans un tube en cuivre (19). Six sondes de température (23) sont disposées à une distance de 10 mm entre elles le long du rayon du disque. De même, ces sondes peuvent être connectés à la console pour la lecture directe des températures.

## 3. Manipulations :

### 3.1 Expérience 1 :

**But :** Etude de la loi de Fourier pour la conduction linéaire de chaleur le long d'une barre simple.

#### Théorie :

Soit un mur simple d'épaisseur ( $\Delta x$ ) et de surface ( $A$ ). Les parois du mur présentent une différence de température ( $\Delta T$ ), alors le flux de chaleur par conduction qui traverse le mur est proportionnel à la surface et au gradient de température.

$$Q \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1-1)$$

Si le matériau du mur est homogène et présente une conductivité thermique ( $k$ ), donc :

$$\overline{Q} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1-2)$$

Noter que le flux de chaleur est positif dans le sens de la chute de température.

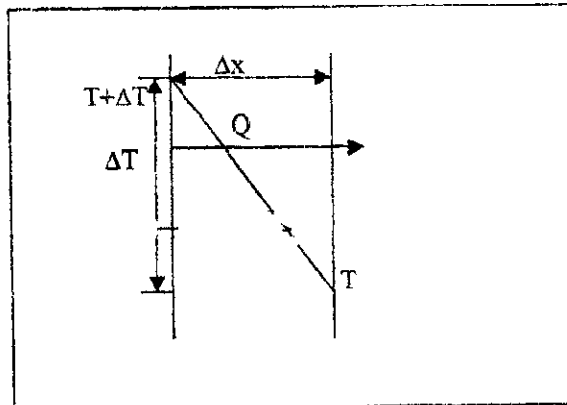


Figure (1.3) : Le flux de chaleur à travers un mur simple.

#### Mode opératoire :

1. Faire le montage indiqué sur la figure (1.4).
2. Placer l'échantillon entre le réchauffant et le refroidissant.
3. Choisir une position intermédiaire du réglage de la puissance de chauffage puis attendre un temps nécessaire pour atteindre le régime stationnaire avant de noter les 9 valeurs de température aux points considérés et la puissance délivrée par le wattmètre.
4. Répéter cette procédure pour les autres valeurs de puissance pour attendre le maximum de l'appareil.

Module :

Test N°	La puissance (Watt)	(°C)								
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
A										
B										
C										

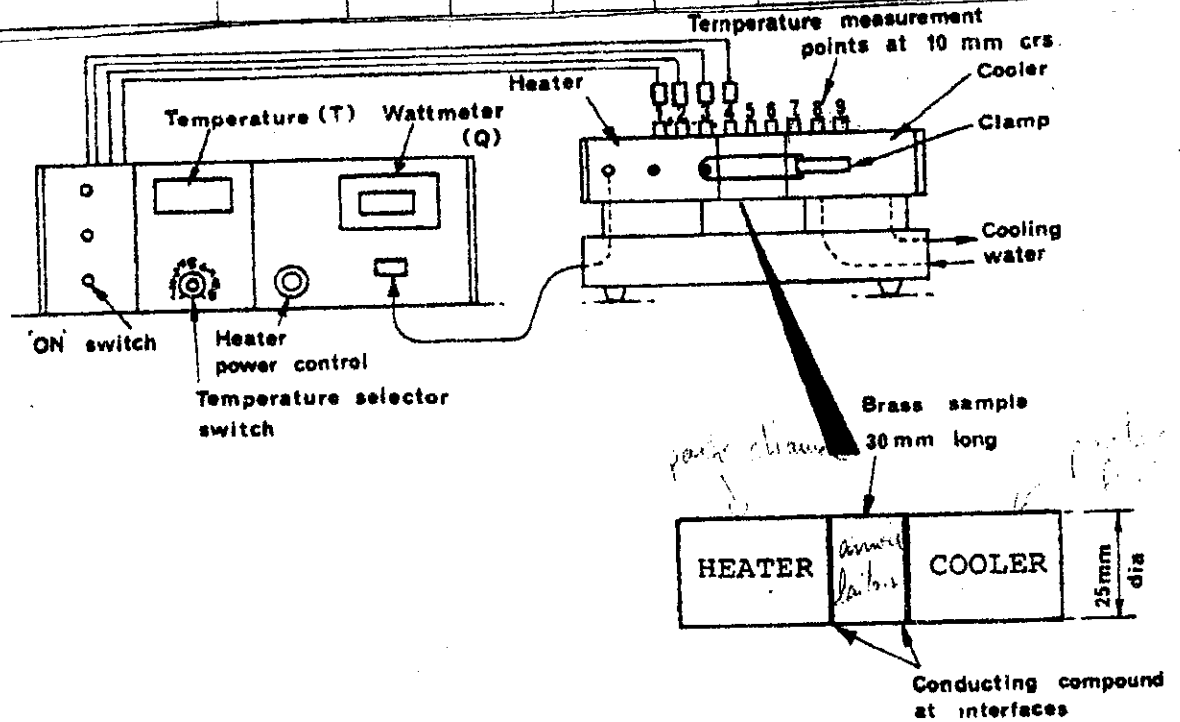


Figure (1.4) : Représentation schématique de la manipulation N°1.

- ◆ Représenter sur le même graphe le profil de température en fonction de la position des points de mesure pour chaque puissance. En déduire la valeur du coefficient thermique du bronze k.
- ◆ Comparer la valeur obtenue avec la valeur typique donnée dans la littérature ? Pourquoi ?
- ◆ Le coefficient k est il constant ou variable avec la température ?

### 3.2 Expérience 2 :

**But :** Etude de conduction de chaleur le long d'une barre composée et évaluation du coefficient du transfert de chaleur.

#### Théorie :

Dans un état stationnaire le long d'une barre, le flux de chaleur à travers une succession de mur est le même pour les raisons de continuité et donc à partie de la loi de Fourier :

$$Q/A = k_H \frac{T_{HS} - T_{HI}}{X_H} = k_S \frac{T_{HI} - T_{CI}}{X_S} = k_C \frac{T_{CI} - T_{CS}}{X_C} \quad (1-3)$$

A partir de ces relations, on aura :

$$\frac{Q}{A} = U(T_{HS} - T_{CS})$$

$$\frac{1}{U} = \frac{X_H}{k_H} + \frac{X_S}{k_S} + \frac{X_C}{k_C}$$

*Résistance thermique équivalente (1-4)*

U : c'est le coefficient du transfert de la chaleur pour un mur composé.

1/U : c'est la résistance totale.

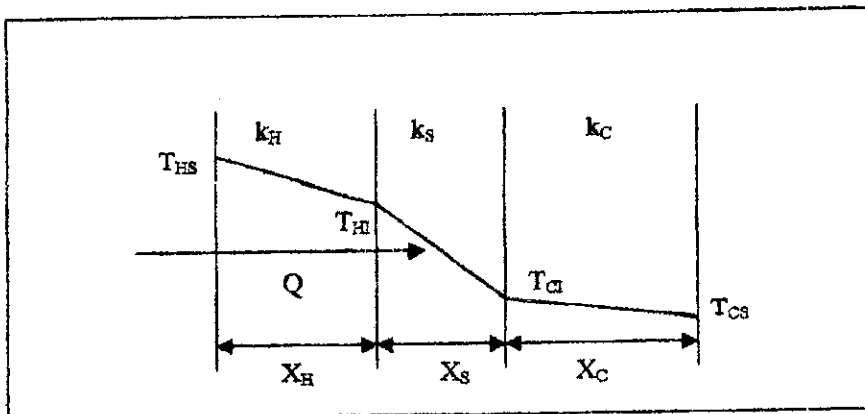


Figure (1.5) : Le flux de chaleur à travers un mur composé.

**Mode opératoire :**

1. Faire le montage indiqué sur la figure (1.6).
2. Placer l'élément en acier inoxydable entre le partie chaude et la partie froide.
3. Choisir une position intermédiaire du réglage de la puissance de chauffage. On note la puissance et les températures six points après avoir obtenu l'état stationnaire.
4. Répéter cette procédure pour les autres valeurs de puissance pour attendre le maximum de l'appareil.

Test N°	La puissance (Watt)	(°C)					
		T1	T2	T3	T7	T8	T9
A							
B							
C							

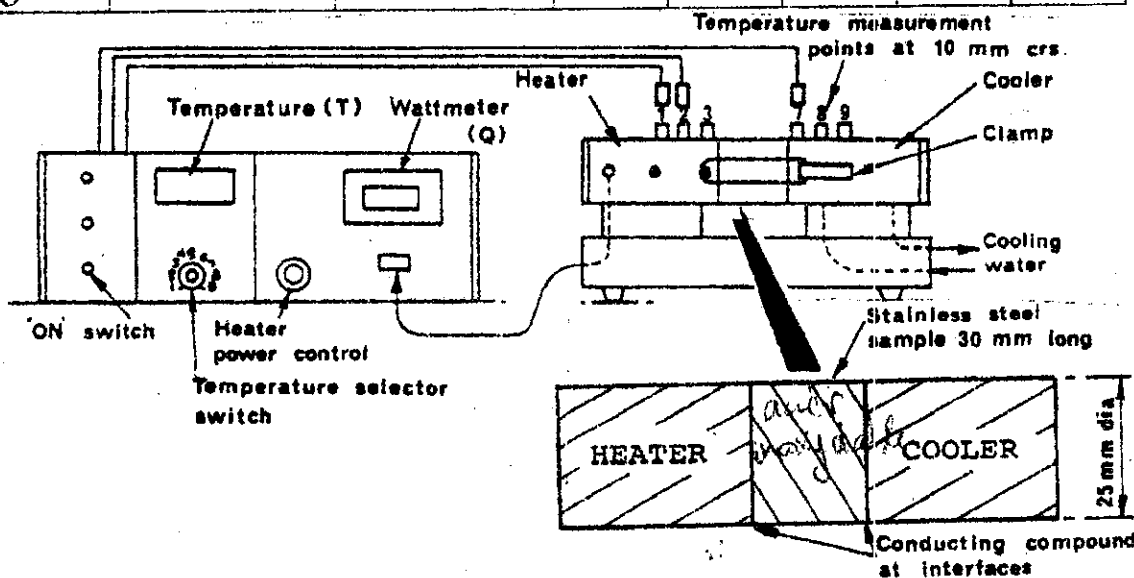


Figure (1.6) : Représentation schématique de la manipulation N°2.

- ◆ Représenter les profils de température en fonction de la position des points de mesure et des dimensions des éléments considérés.
- ◆ Les températures des surfaces limitées extérieures du réchauffant ( $T_{HS}$ ) et du refroidisseur ( $T_{CS}$ ) peuvent être obtenues sont par extrapolation à partir des courbes tracées.

- ◆ Déterminer le coefficient de transfert de chaleur total U ?
- ◆ Comparer la valeur obtenue avec la valeur typique donnée par la littérature.
- ◆ Quelle est la signification en pratique du coefficient U ?
- ◆ Quel est l'effet de la variation de la puissance ?

### 3.3 Expérience 3 :

**But :** Etude de l'effet de la variation de la section sur le profil de température le long d'un conducteur thermique.

#### Théorie :

Le flux de chaleur Q est donné par la relation de Fourier :

$$Q = k A \frac{dT}{dx} \quad (1-5)$$

Le flux de chaleur est le même dans les différentes sections du conducteur et la conductivité thermique k est constante (on suppose qu'il n'y a pas de changement avec la température moyenne du matériau). Donc :

$$A_H \left( \frac{dT}{dx} \right)_H = A_S \left( \frac{dT}{dx} \right)_S = A_C \left( \frac{dT}{dx} \right)_C \quad (1-6)$$

Cela signifie que le gradient de température est inversement proportionnelle à la section.

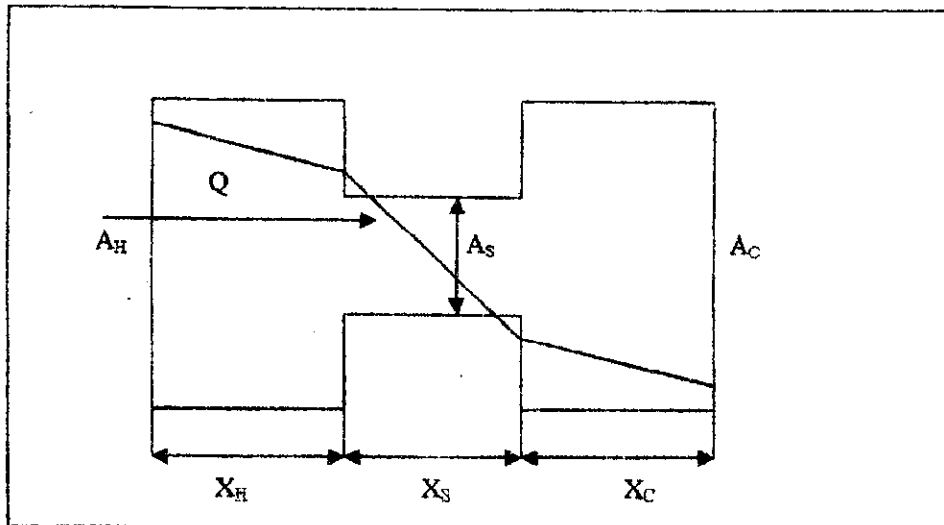


Figure (1.7) : Représentation schématique du profil de température avec variation de la section

#### Mode opératoire :

1. Placer l'élément en <sup>breeze</sup> de 13 mm de diamètre entre la partie chaude et la partie froide.
2. Choisir une position intermédiaire du réglage de la puissance de chauffage. On note la puissance et les températures six points après avoir obtenu l'état stationnaire.
3. Répéter cette procédure pour les autres valeurs de puissance pour attendre le maximum de l'appareil.

Test N°	La puissance (Watt)	La température (°C)					
		T1	T2	T3	T7	T8	T9
A							
B							
C							

1. Représenter le profil de température en fonction de la position des points de mesure et des dimensions des éléments considérés pour chaque puissance.
2. Déterminer graphiquement  $(\Delta T/\Delta x)$  dans le cas du réchauffant, du refroidissant et l'élément de section réduite.
3. Calculer le rapport  $(\Delta T/\Delta x)_{\text{réchauffant}} / (\Delta T/\Delta x)_{\text{élément}}$  et  $(\Delta T/\Delta x)_{\text{refroidissant}} / (\Delta T/\Delta x)_{\text{élément}}$ .
4. Vérifier l'exactitude de l'équation (1-6).

### 3.4 Expérience N° 4 :

#### But :

Examen du profil de température et la détermination du flux de chaleur résultant de la conduction radial en régime stationnaire à travers la paroi d'un cylindre.

#### Théorie :

Le flux de chaleur qui traverse le cylindre est donné par la relation suivante :

$$Q = 2\pi Lk \left( \frac{T_1 - T_2}{\text{Log} \left( \frac{R_2}{R_1} \right)} \right) \quad (1-7)$$

#### Mode opératoire :

On utilise le module radial, on procède de la manière suivante :

1. Faire le montage illustré sur la figure (1.8).
2. Choisir une position intermédiaire du réglage de la puissance de chauffage, puis noter la puissance et les températures aux points de mesure, après avoir obtenu l'état stationnaire.
3. Répéter cette procédure pour les autres valeurs de puissance pour attendre le maximum de l'appareil.

Test N°	La puissance (Watt)	La température (°C)					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
A							
B							
C							

#### Travail demander :

1. Dans le même graphe, représenter le profil de température en fonction de la position des points de mesure pour chaque valeur de puissance.
2. Déterminer par extrapolation les températures aux limites des parois du disque puis calculer le flux radial de la chaleur par conduction.
3. Comparer la valeur de la puissance calculée à celle fournie par le Wattmètre. Commenter le résultat.

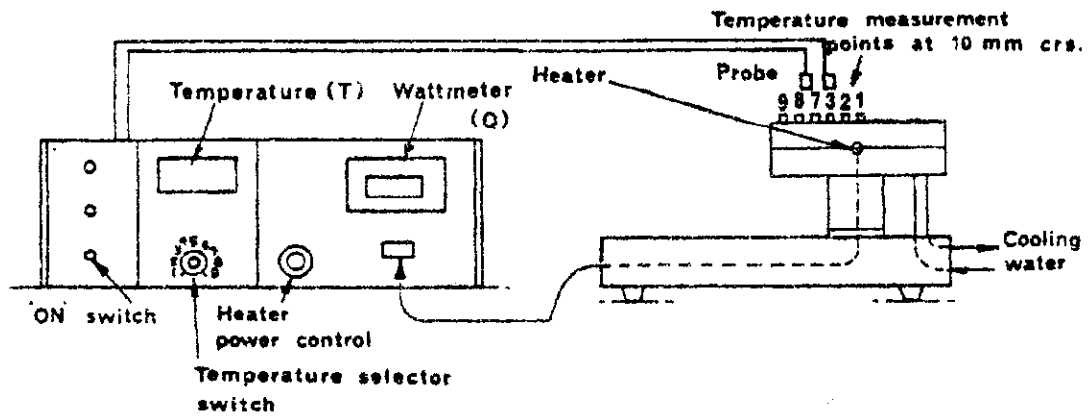
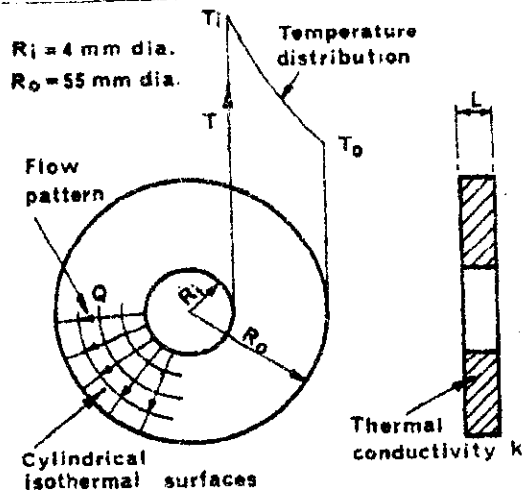


Figure (1.8) : Représentation schématique de la manipulation N°4.



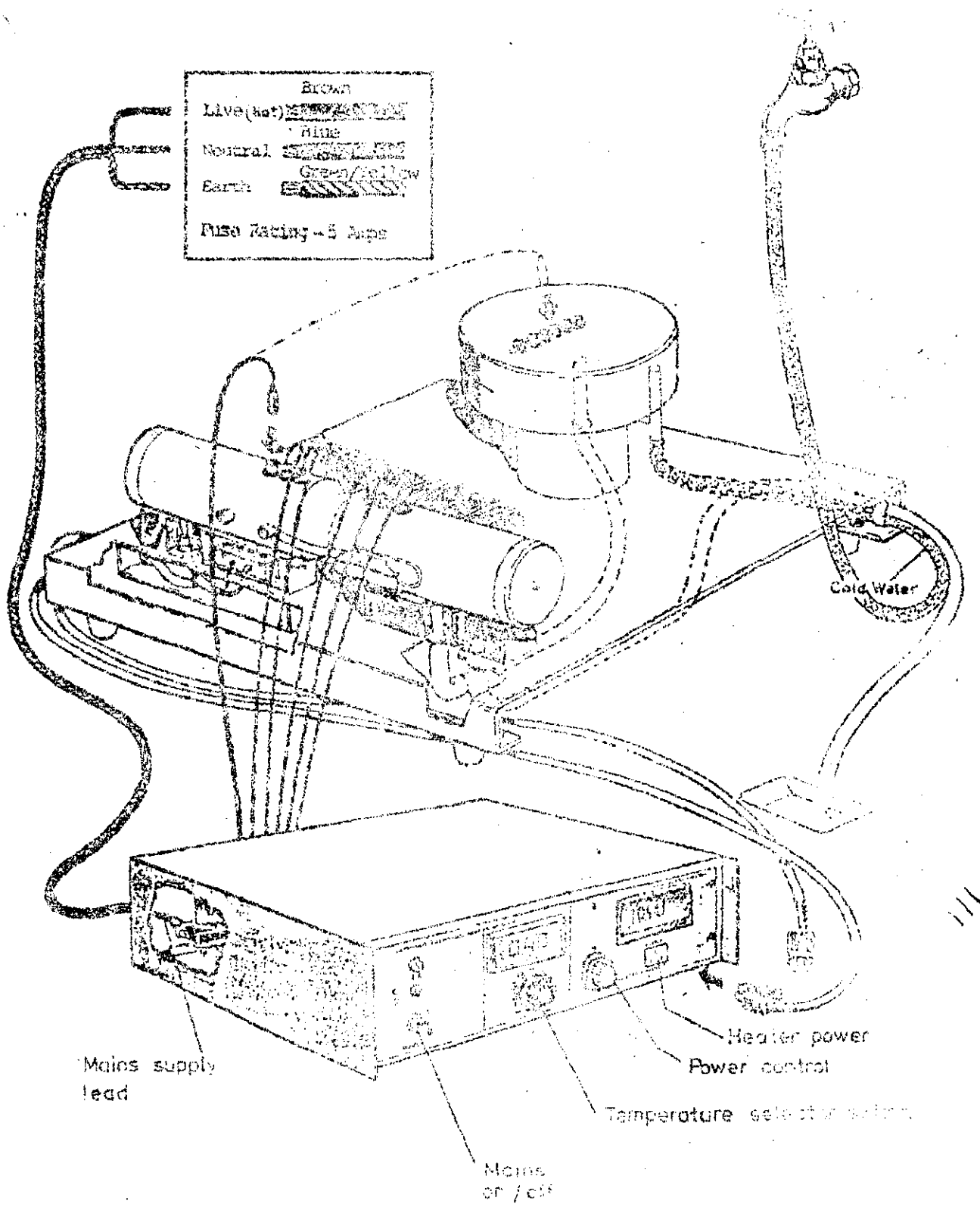


Fig 3      HEAT CONDUCTION APPARATUS  
INTERCONNECTIONS

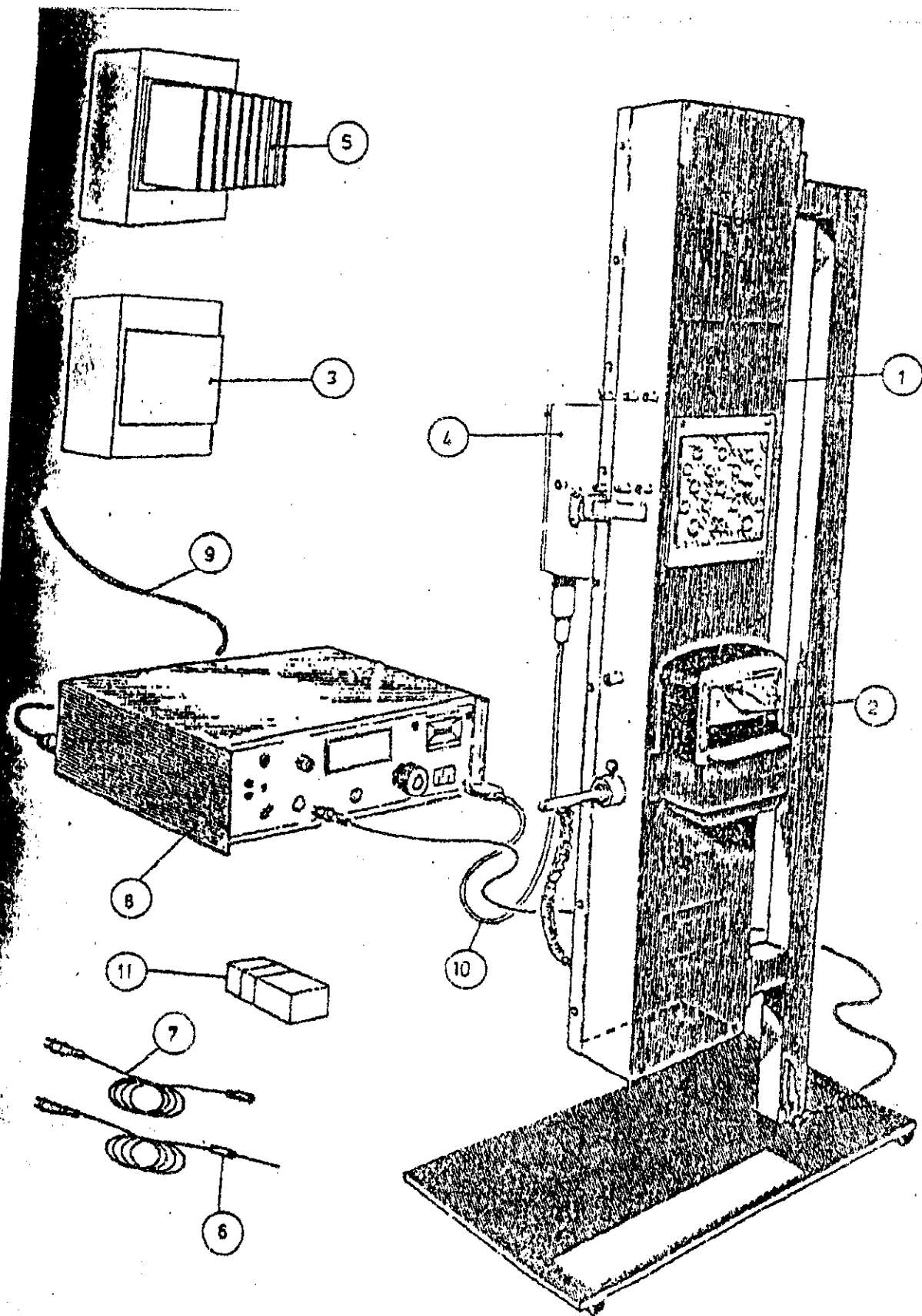


Figure 1 : Schéma de l'appareil

## Transfert de chaleur par conduction

Loi fondamentale de la conduction (loi de J. Fourier)

$$\phi = -\lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Avec :  $\phi$  : Flux de chaleur transmis par conduction (W)  
 $\lambda$  : Conductivité thermique du milieu ( $\text{W m}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )  
 $x$  : Variable d'espace dans la direction du flux (m)  
 $S$  : Aire de la section de passage du flux de chaleur ( $\text{m}^2$ )

**Le module de conduction radiale** : constitué d'un disque isolé en laiton d'épaisseur 3mm chauffé en son centre par une résistance électronique et refroidi sur sa périphérie ce disque est équipé de six prises de température positionnées radialement

