

Richard DENIS

M1 Physique et Applications

2005-2006

rapport de stage :

**Réalisation et documentation d'expériences
simples sur la physique du climat**

Responsable :

Jean-Louis Dufresne

Laboratoire de Météorologie Dynamique

Université Pierre et Marie Curie

Présentation du sujet :

L'objectif de ce stage était de réaliser des fiches pédagogiques détaillées, présentant des expériences simples dont le but est de mettre en évidence des phénomènes physiques relatifs au climat.

Ces fiches sont destinées à des enseignants et au grand public, de tout niveau scientifique, ce qui implique différentes difficultés d'explications.

Dans un premier temps, mon travail a consisté à réaliser l'expérience pour en saisir tous les aspects pratiques, puis à me documenter sur les notions physiques mises en jeu (sur les transferts de chaleur et la thermodynamique des changements d'états) avant de proposer une interprétation de l'expérience, de façon guidée par mon maître de stage.

- **présentation de l'expérience :**

-But de l'expérience :

L'expérience que je devais présenter a pour but de **mettre en lumière la grande quantité d'énergie libérée par la condensation de l'eau** (l'énergie associée à ce changement d'état de l'eau, de vapeur à liquide) est appelée **chaleur latente de condensation**

Cette chaleur latente a une importance considérable dans la constitution du climat.

En effet, l'évaporation de l'eau liquide (océan, mer...) absorbe de l'énergie qui est ensuite restituée lors de la condensation (via les nuages et la pluie).

Le bilan des échanges de chaleur entre la surface et l'atmosphère indique que **85 W/m²** sont échangés par **évapo-condensation** (contre **60 W/m² par rayonnement** et **15 W/m² par rayonnement**).

L'évapo-condensation constitue donc le principal mode d'échange de chaleur entre la surface de la Terre et l'atmosphère.

-Montage et résultats de l'expérience :

Le montage de l'expérience et ses résultats sont schématisés sur la figure 1.

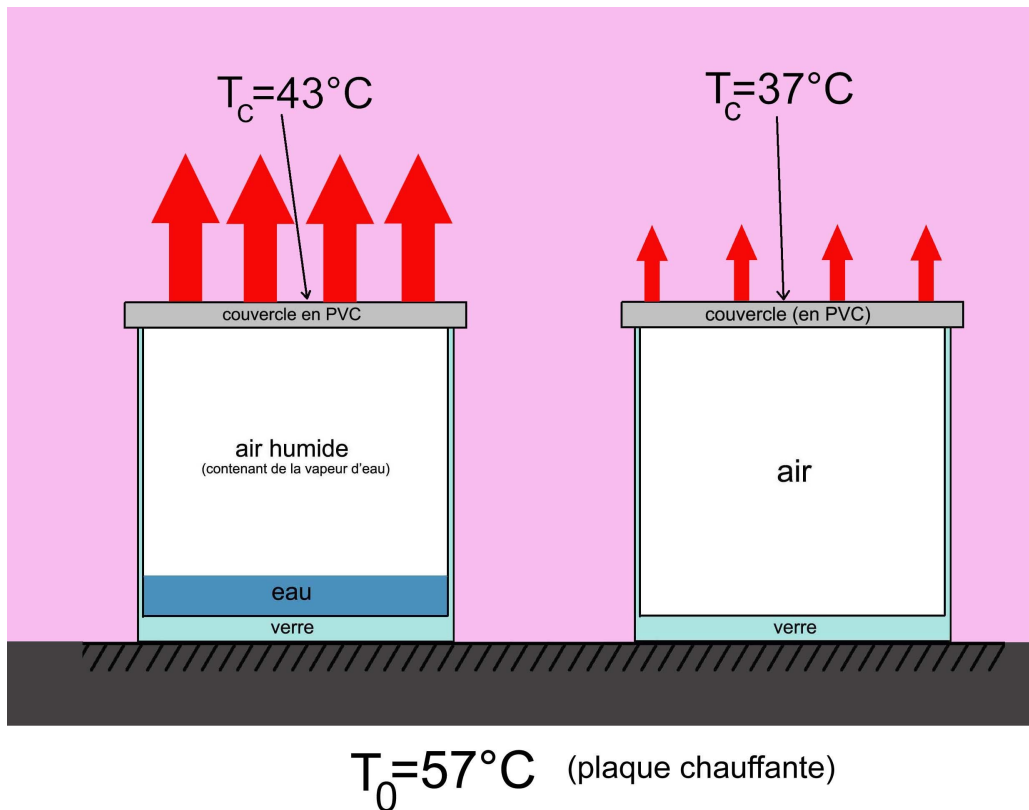


Fig 1 : schéma du montage de l'expérience

On chauffe, à l'aide d'un chauffe-plat, 2 récipients en verre munis d'un couvercle en plastique. L'un des récipients est vide, l'autre contient une petite quantité d'eau. Au bout d'une durée assez courte (≈ 15 minutes) après laquelle des gouttes d'eau se sont formées sous le couvercle du récipient contenant de l'eau, on constate que **les températures des couvercles sont différentes : le couvercle du récipient contenant de l'eau est plus chaud que celui du récipient vide** (les valeurs de températures sont indiquées sur la figure 1)

- **Analogie transfert de chaleur – électricité :**

Les 3 principaux modes de transfert de chaleur à travers un corps, entre un point de température T_1 et un point de température T_2 , sont la **conduction**, le **rayonnement** et la **convection**, cette dernière ne concernant que les fluides.

On peut faire **une analogie entre ces différents types de transfert de chaleur** à travers un corps et **le passage d'un courant électrique** à travers une résistance :

le flux de chaleur Φ entre un point de température T_1 et un point de température T_2 peut s'écrire, sous certaines conditions, sous la forme $R\Phi = T_1 - T_2$, où R , la résistance thermique de ce corps, est introduite par analogie avec la loi d'Ohm ($RI = V_1 - V_2$).

- **Modélisation des récipients par analogie électrique :**

On peut donc associer aux récipients des résistances thermiques liées aux différents types de transfert de chaleur.

On modélise ainsi les 2 récipients par les circuits électriques suivants (figure 2 et 3), et ce dans le but d'expliquer les différences constatées expérimentalement entre les 2 récipients.

1) modélisation du récipient vide :

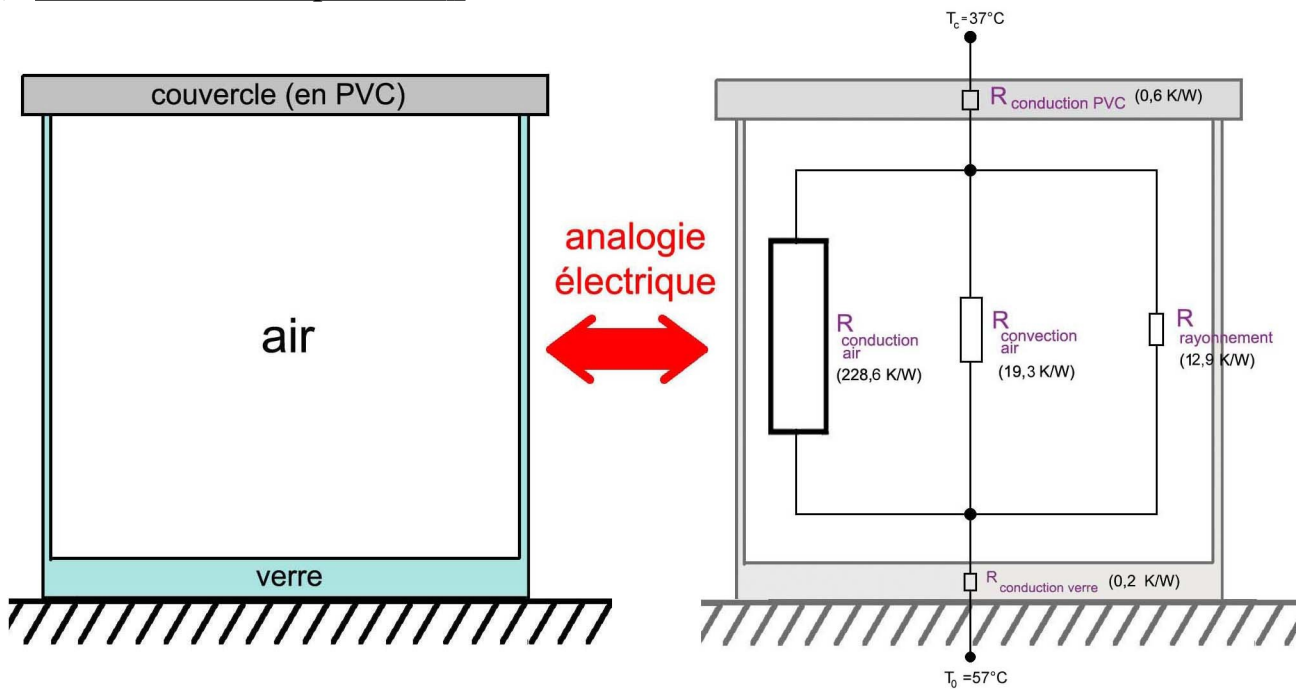


Figure 2 : Modélisation du récipient vide par analogie électrique

En supposant que le transfert de chaleur ne s'effectue que dans une seule direction et dans un seul sens, on associe des résistances propres à chaque milieu (verre, air, couvercle en plastique) et à chaque mode de transfert (*calculs explicités dans l'annexe*)

Les valeurs de résistance calculées de l'air contenu dans le récipient sont les suivantes :

-résistance de conduction : $R_{\text{cond air}} = 228,6 \text{ K/W}$

-résistance de convection : $R_{\text{conv air}} = 19,3 \text{ K/W}$

-résistance de rayonnement : $R_{\text{ray}} = 12,9 \text{ K/W}$

Ainsi, dans l'air (*cf figure 2*), la résistance à la conduction de la chaleur est très grande devant les résistances à la convection et au rayonnement (celles-ci étant du même ordre de grandeur), ce qui justifie que **la chaleur est transportée à travers l'air jusqu'au couvercle essentiellement par convection et rayonnement**.

Tout comme en électricité et selon les mêmes lois, on calcule une résistance totale équivalente au récipient vide :

$$R_{\text{total 1}} = 8,3 \text{ K/W}$$

2) modélisation du récipient contenant de l'eau

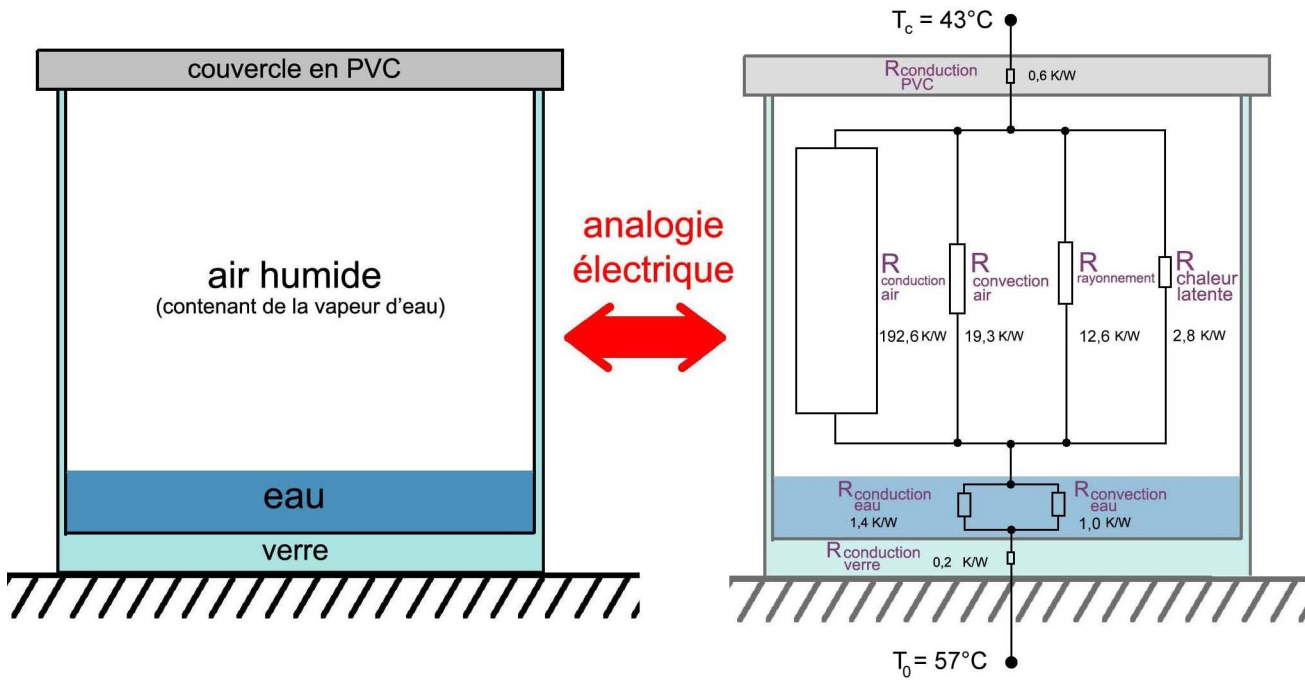


Figure 2 : Modélisation du récipient contenant de l'eau par analogie électrique

La différence majeure qui apparaît dans ce récipient est que la présence d'eau permet **un échange de chaleur par évaporation et par condensation d'eau entre le filet d'eau et le couvercle.**

On peut également associer **une résistance thermique à cet échange de chaleur par évapo-condensation d'eau** (cf annexe).

Dans l'air, dans les conditions de l'expérience, on trouve alors numériquement les valeurs suivantes :

- résistance à la conduction : $R_{\text{cond air}} = 192,6 \text{ K/W}$
- résistance à la convection : $R_{\text{conv air}} = 19,3 \text{ K/W}$
- résistance au rayonnement : $R_{\text{ray}} = 12,6 \text{ K/W}$
- résistance à l'évapo-condensation : $R_{\text{lat}} = 2,8 \text{ K/W}$

Le principal échange de chaleur entre l'eau et le couvercle se fait donc ainsi par évapo-condensation d'eau. Les échanges de chaleur par convection et rayonnement sont également majoritaires par rapport à la conduction.

La résistance totale équivalente à ce circuit vaut $R_{\text{total 2}} = 3,4 \text{ K/W} \approx 40\% R_{\text{total 1}}$.

L'échange de chaleur par évapo-condensation diminue ainsi sensiblement la résistance thermique totale du récipient.

- **Modélisation globale du montage :**

On modélise maintenant le montage entier par le circuit électrique suivant (figure 4) :

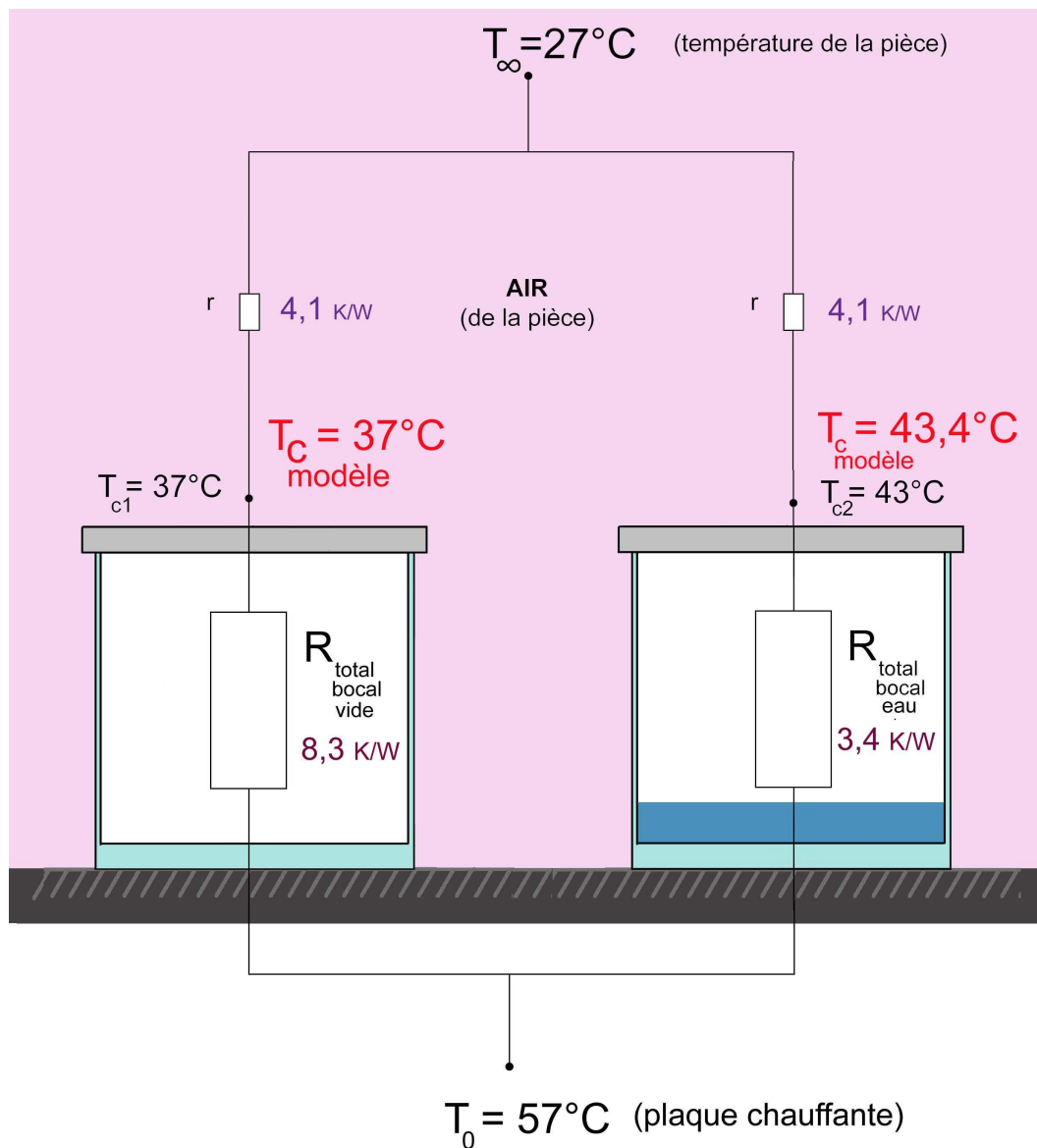


Figure 4 : Modélisation globale du montage par analogie électrique

Les 2 récipients sont modélisés directement par leur résistance thermique totale.

On associe à l'air de la pièce une résistance thermique r .

Pour chaque récipient, la relation donnant la température du couvercle T_c en fonction de la température de la plaque chauffante T_0 et celle de l'air ambiant T_∞ (ces 2 dernières étant fixées) est :

$$T_c = T_0 - \frac{1}{1 + \frac{r}{R}} (T_0 - T_\infty) \quad \text{où } R \text{ est la résistance total du récipient.} \quad (1)$$

Connaissant la température du couvercle du récipient vide T_{c1} , on calcule la résistance de l'air r de façon à ce que la valeur de T_{c1} donnée par ce modèle électrique concorde avec la valeur expérimentale de T_{c1} .

On trouve alors $r = 4,1 \text{ K/W}$.

En conservant cette valeur de r pour calculer, à partir de la formule (1) du modèle, la température du couvercle T_{c2} du récipient contenant de l'eau on trouve $T_{c2} = 43,4 \text{ K/W}$, ce qui est très proche de la valeur expérimentale (43°C).

Conclusion : le modèle proposé permet de justifier la différence de température observée entre les couvercles avec une approximation satisfaisante.

D'autre part, le flux de chaleur traversant un récipient est $\frac{T_0 - T_c}{R}$ où R est la résistance totale

du récipient.

Ainsi, le flux de chaleur (par unité de surface) traversant le récipient vide est : **$\Phi=230 \text{ W/m}^2$**

et celui traversant le récipient contenant de l'eau est **$\Phi=400 \text{ W/m}^2$** .