

Cellules à effet Peltier

Bilan thermique

et

exemples d'application

François Penot

CNRS – LET – ENSMA

Poitiers - Futuroscope

Intérêts pratiques de la thermoélectricité, le point de vue du thermicien

Production de froid, sans pièces
mécaniques en mouvement.

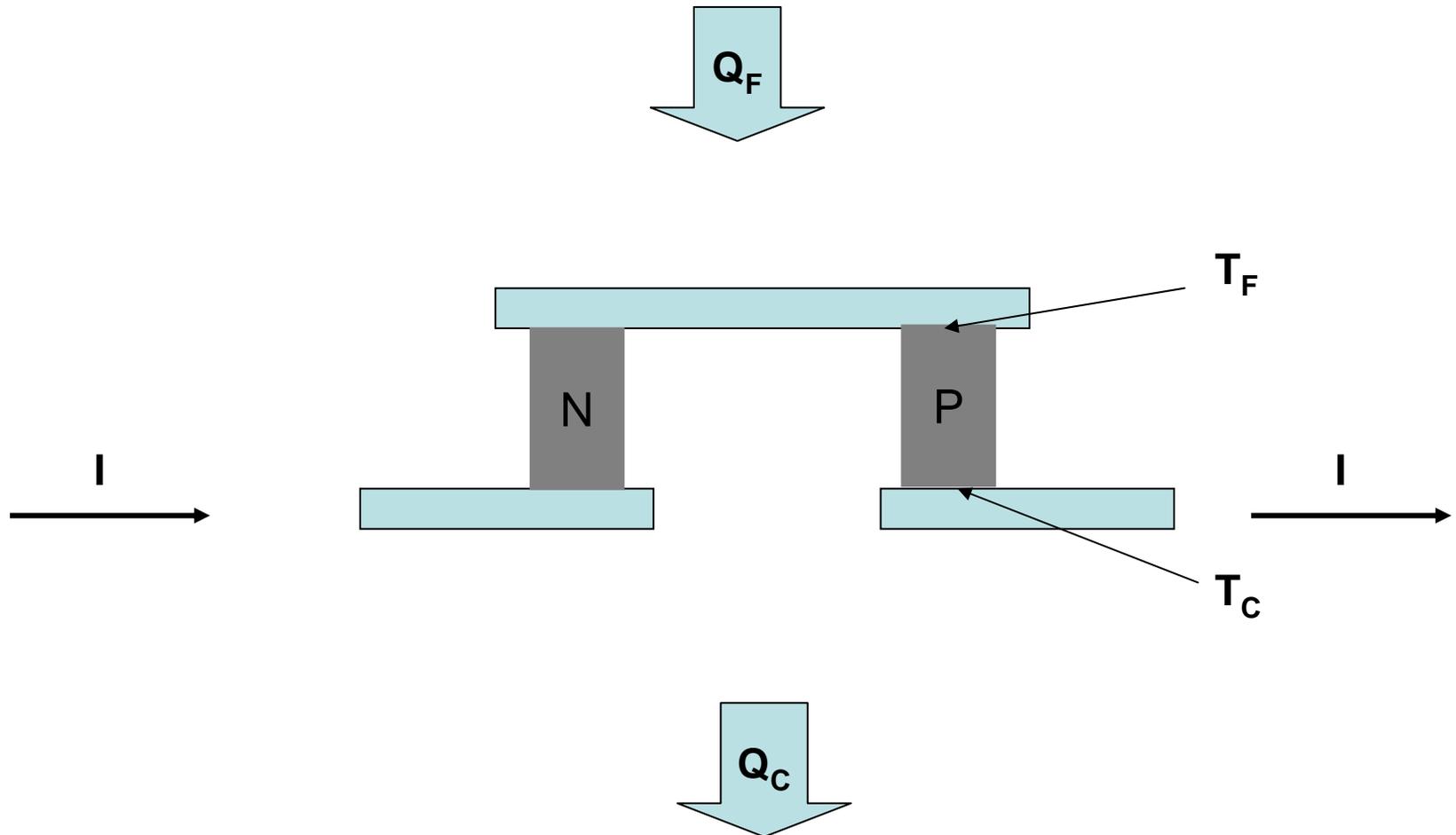
Production d'électricité directement à
partir d'écart de température

Machine thermique
dont on fait
le bilan énergétique global
par une
approche système thermique

Le Bilan thermique

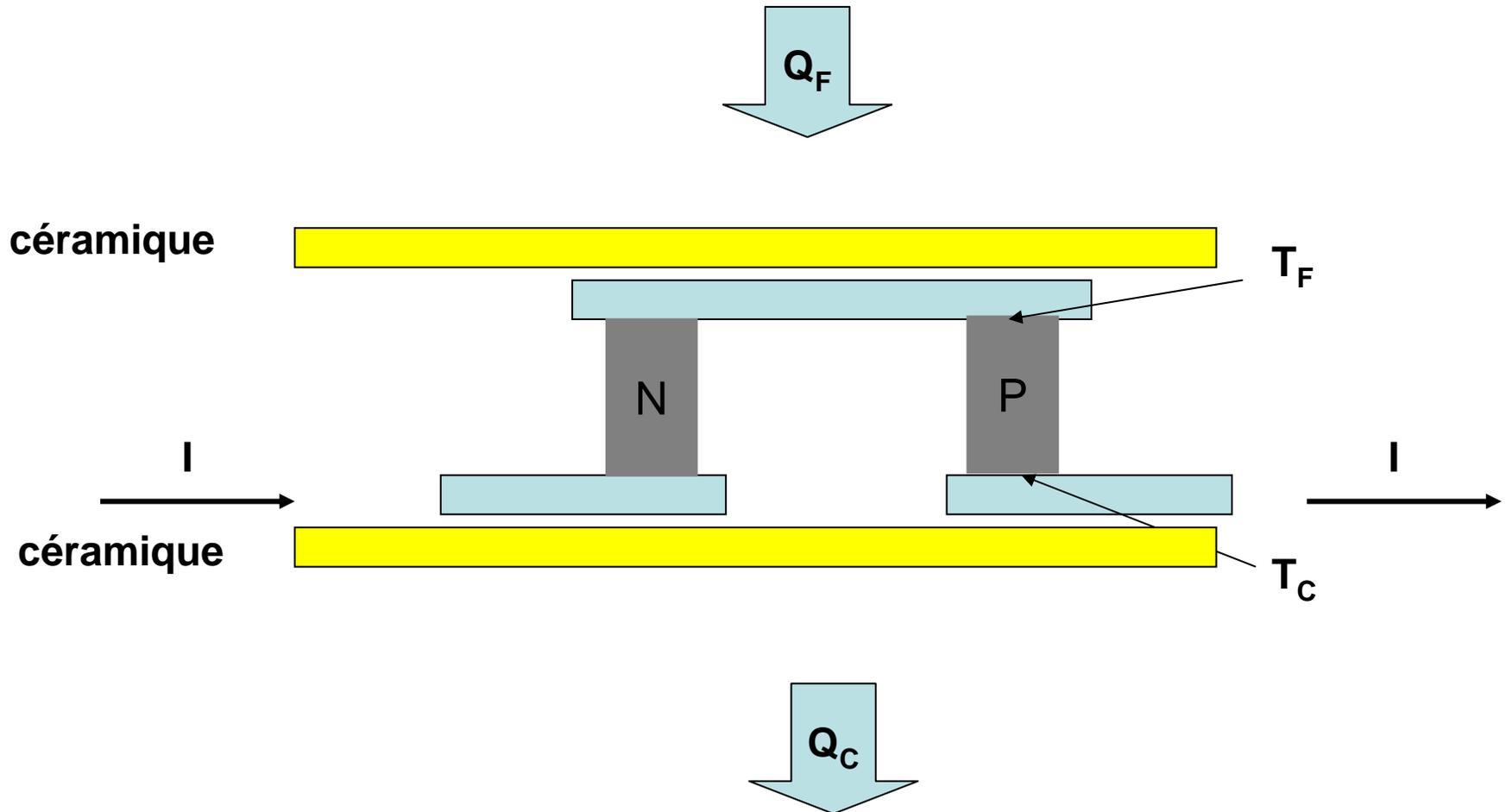
on part de la vision classique

Le Bilan thermique on part de la vision classique



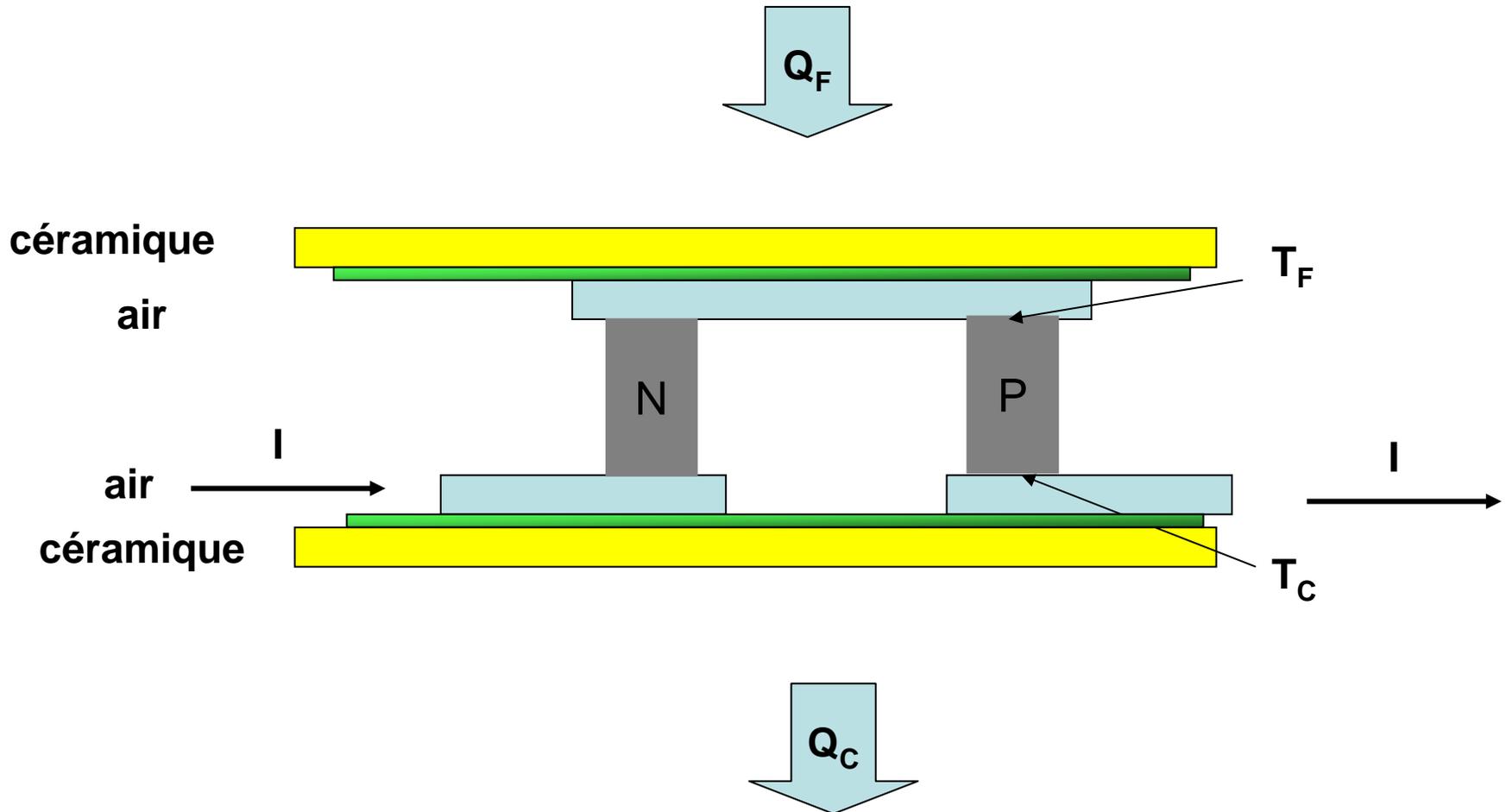
Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



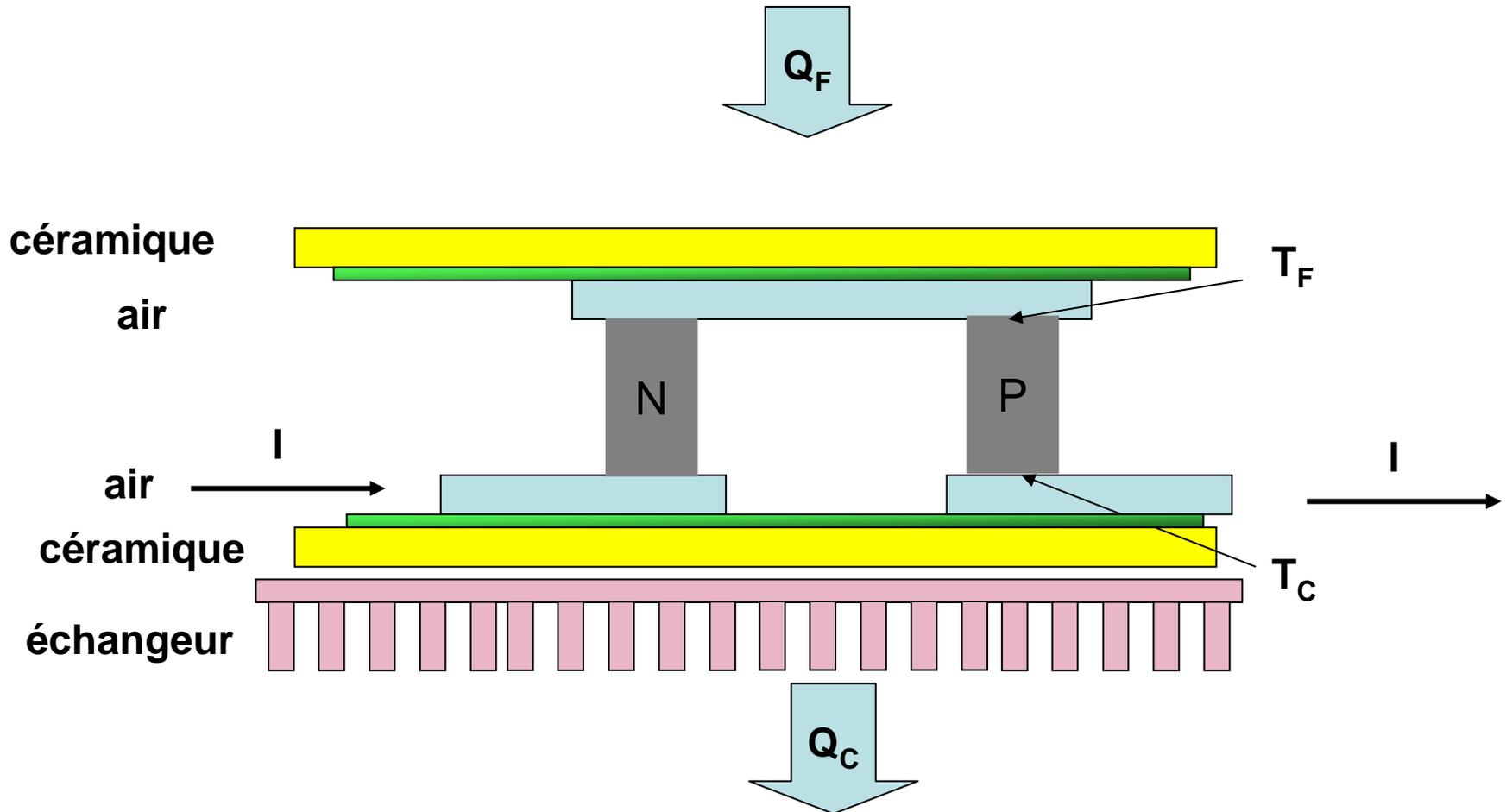
Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



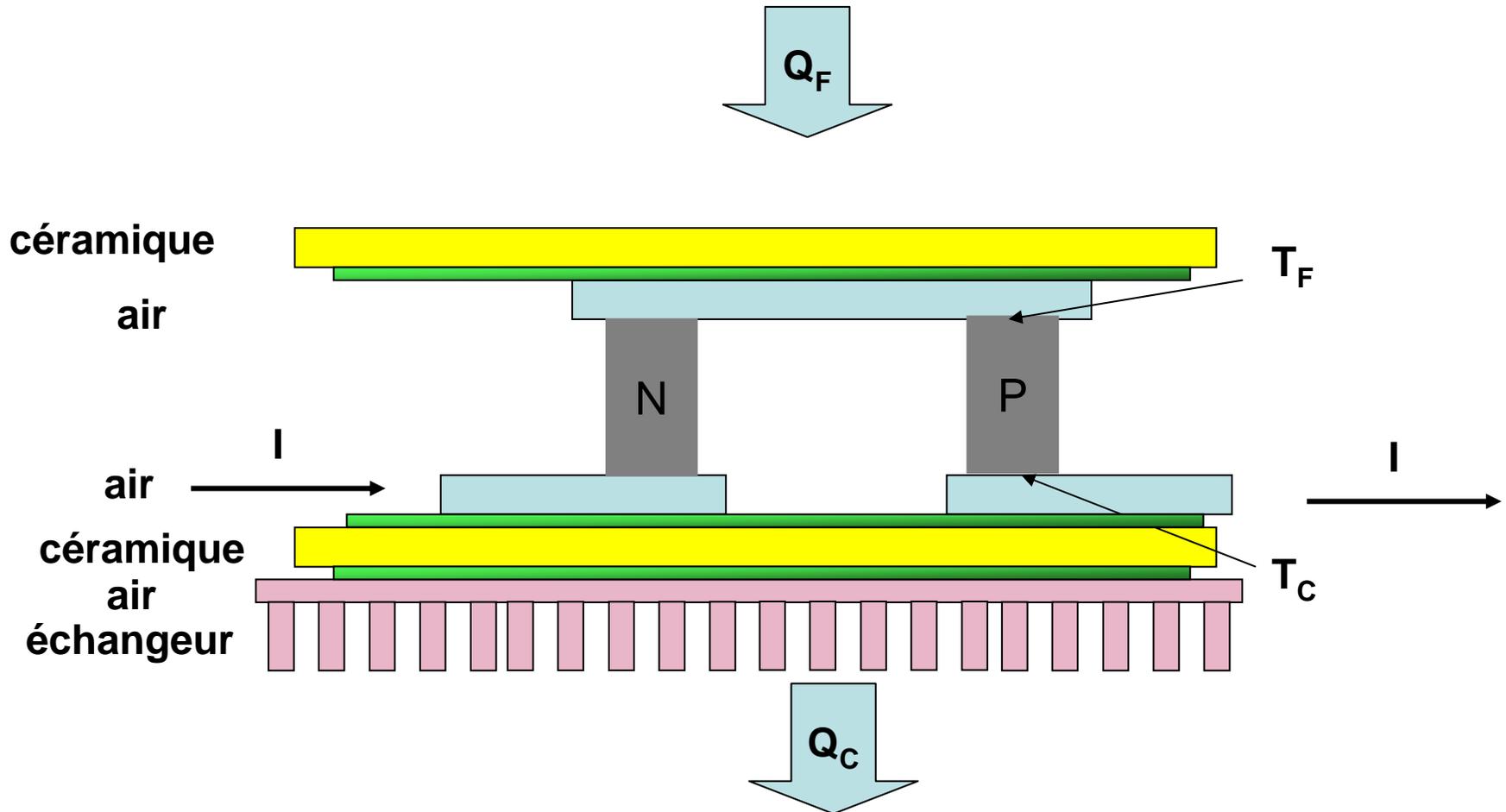
Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



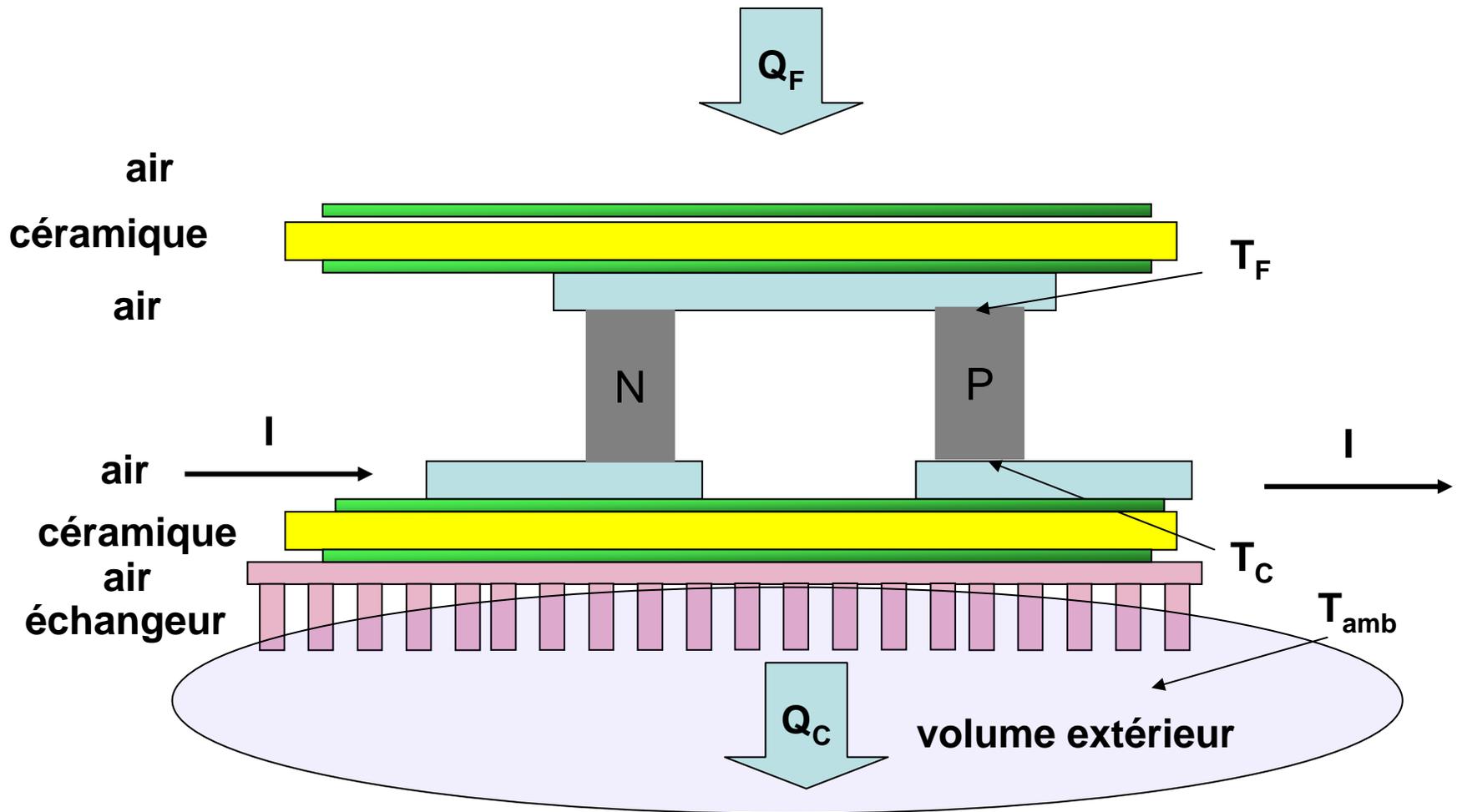
Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



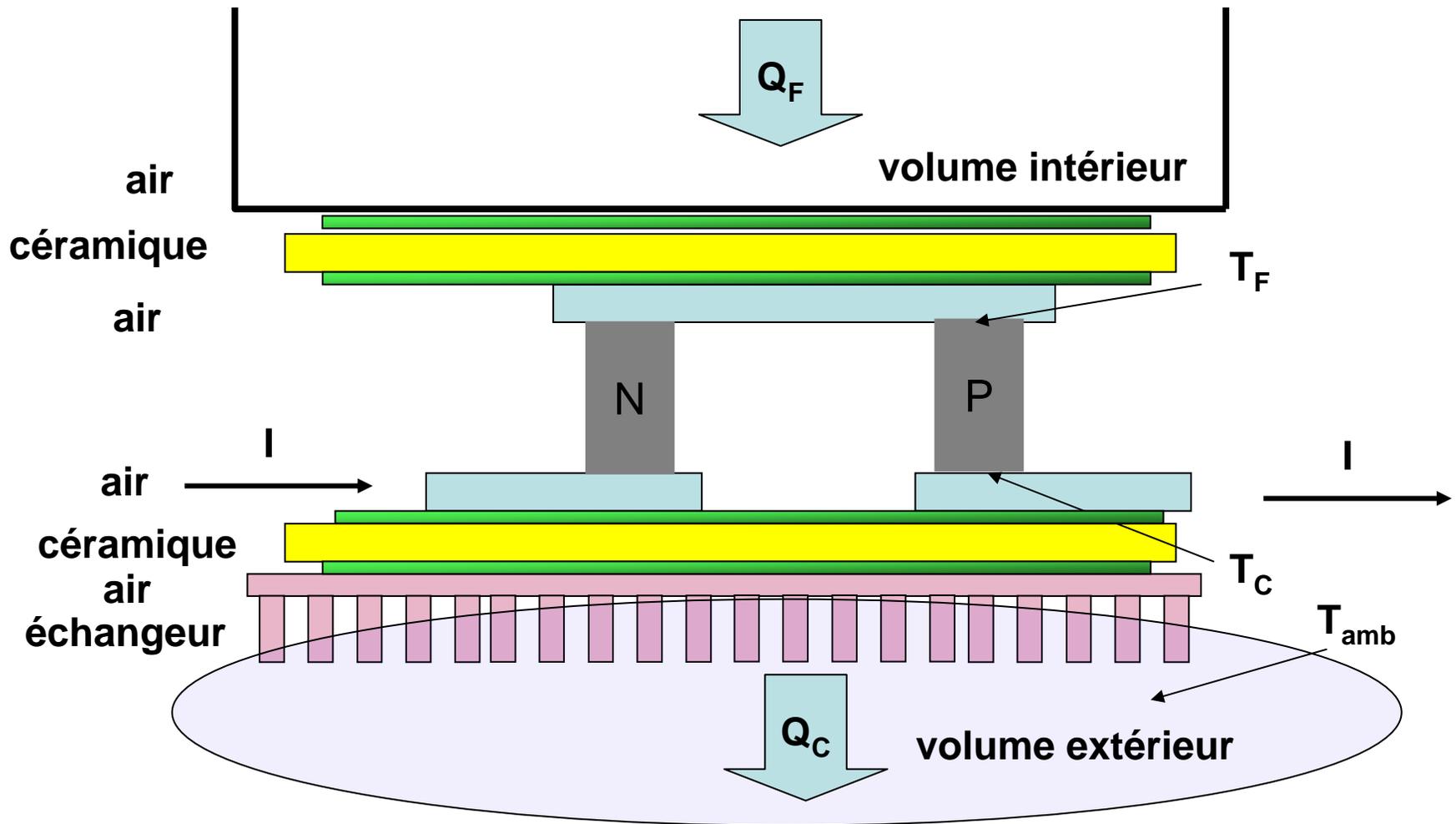
Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



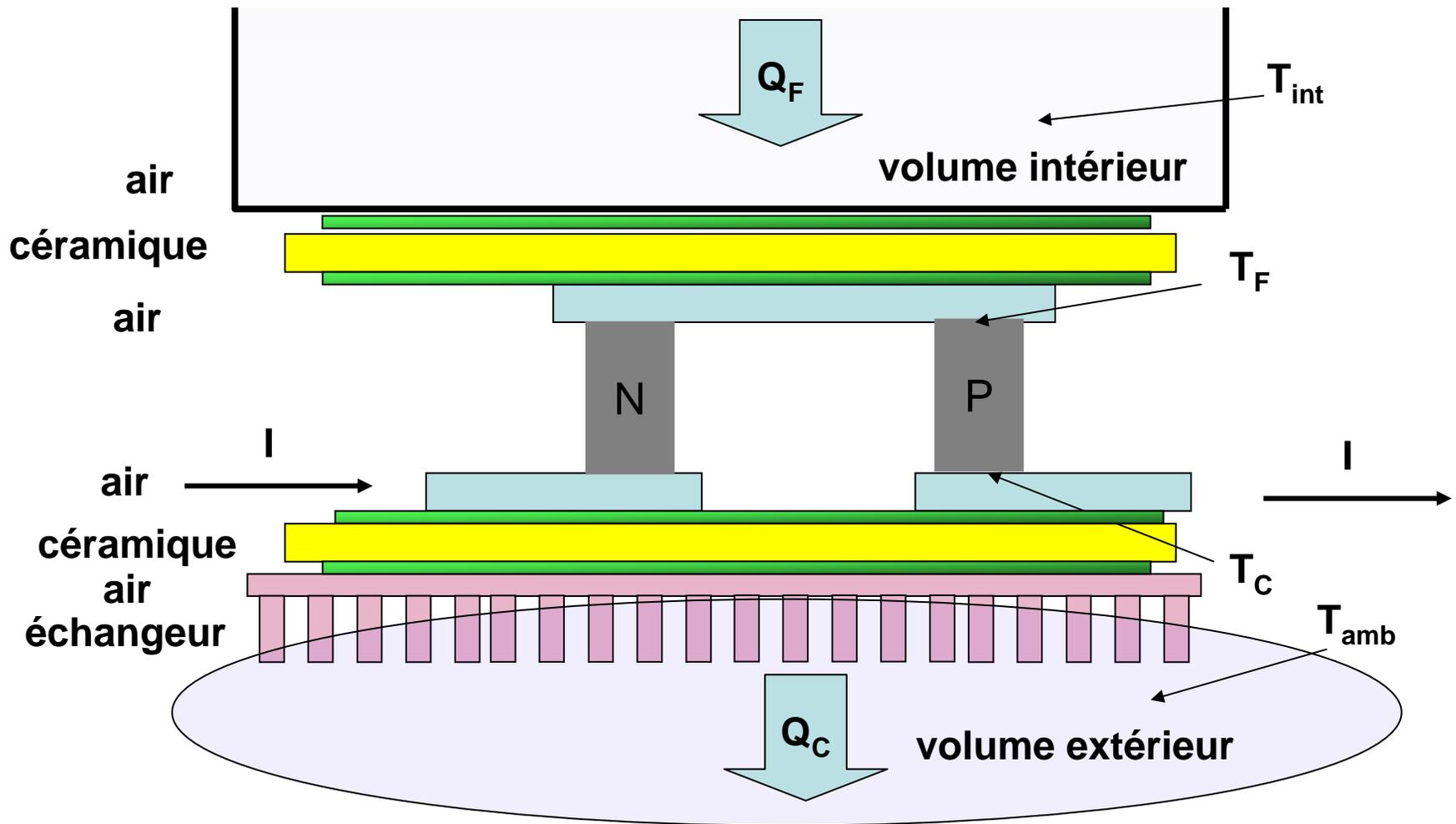
Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



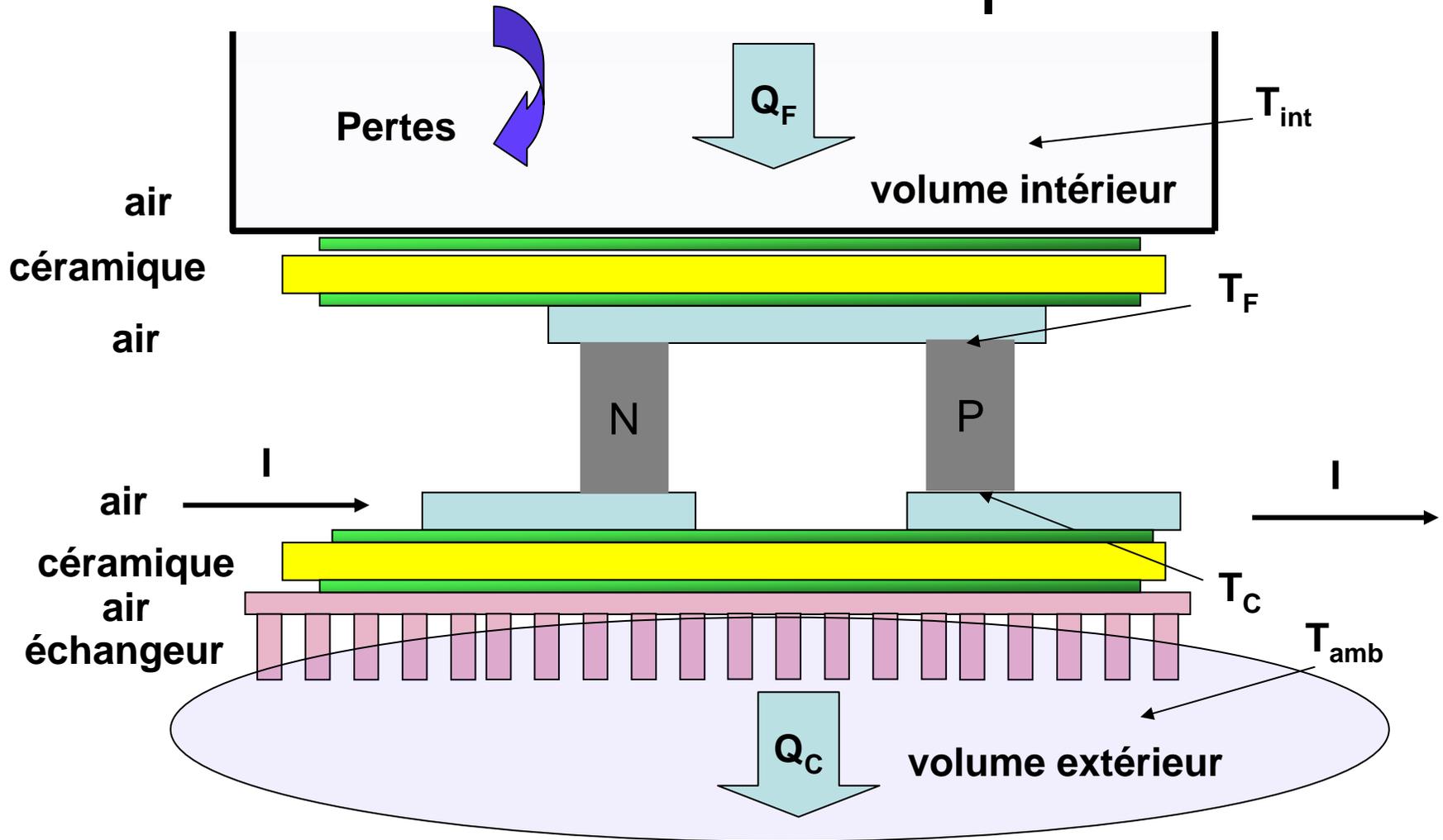
Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



Le Bilan thermique

Des résistances thermiques existent



Les équations de bilan des éléments Peltier

Bilan du côté froid

$$Q_F = n \left[\alpha I T_F - \frac{1}{2} R I^2 - K(T_C - T_F) \right]$$

Bilan du côté chaud

$$Q_C = n \left[\alpha I T_C + \frac{1}{2} R I^2 - K(T_C - T_F) \right]$$

Les équations de bilan

des 2 échangeurs extrêmes

Bilan du volume intérieur

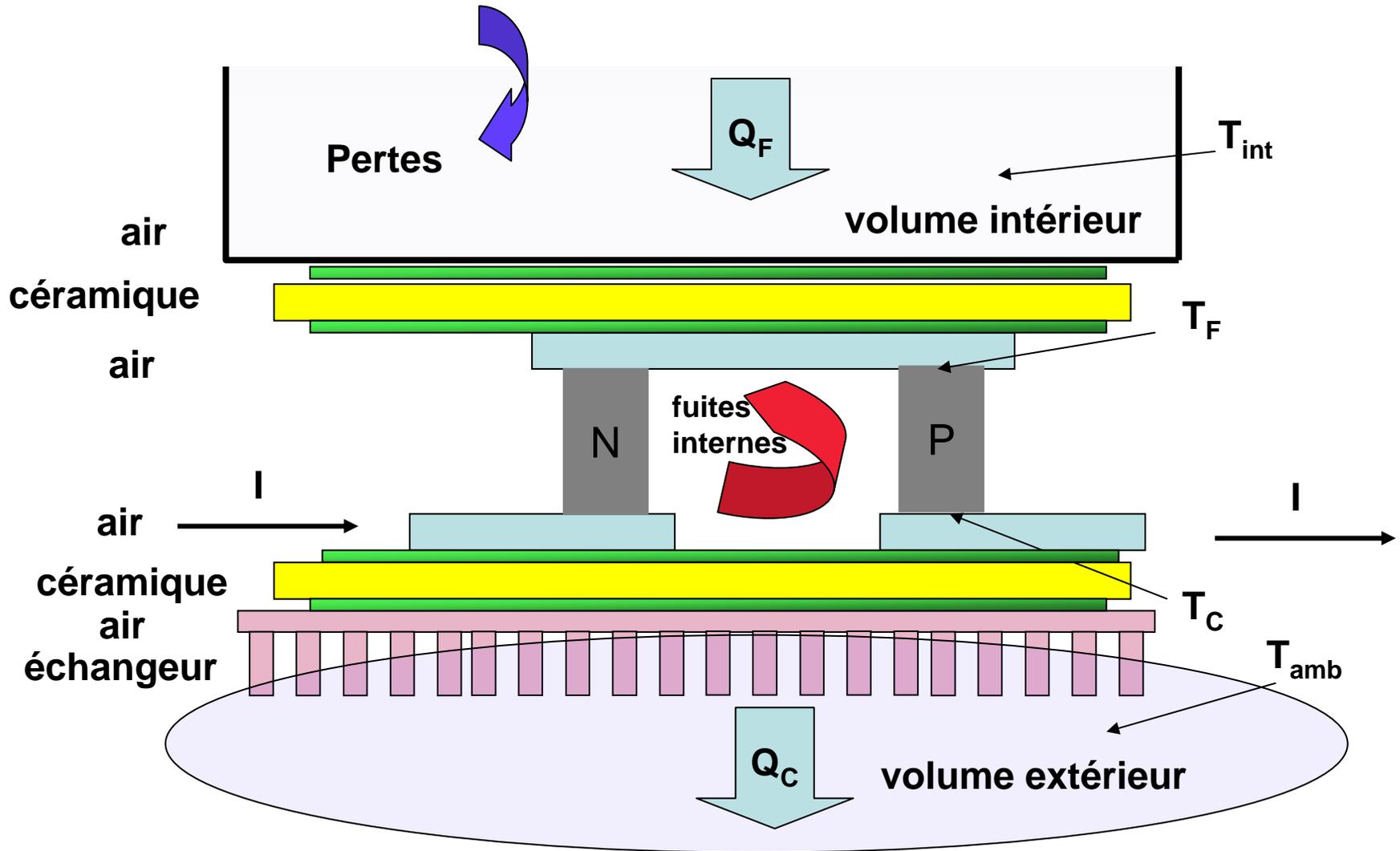
$$m_{int} \frac{\partial T_{int}}{\partial t} = h_{int} S (T_{amb} - T_{int}) - Q_F$$

perdes vers les ambiances côté froid et côté chaud

Bilan du volume extérieur

$$m_{ext} \frac{\partial T_{ext}}{\partial t} = h_{ext} S (T_{ext} - T_{amb}) - Q_C$$

Des anomalies possibles



Corrections

La conductance thermique K , doit être modifiée pour tenir compte de ces pertes dues aux échanges radiatifs, convectifs et conductifs à l'intérieur même de la CEP.

Les équations de bilan

Bilan d'une résistance de contact équivalente à une lame d'air

$$Q_F - m_{ext} C_{p_{air}} \frac{\partial T_{air}}{\partial t} = \frac{\lambda_{air}}{e_{air}} S (T_{air-int} - T_{air-ext}) = Q'_F$$

Bilan d'une céramique

$$Q'_F - m_{cér} C_{p_{cér}} \frac{\partial T_{cér}}{\partial t} = \frac{\lambda_{cér}}{e_{cér}} S (T_{cér-int} - T_{cér-ext}) = Q''_F$$

Bilan d'une seconde résistance de contact de l'autre côté de la céramique

$$Q''_F - m_{ext} C_{p_{air}} \frac{\partial T_{air}}{\partial t} = \frac{\lambda_{air}}{e_{air}} S (T_{air-int} - T_{air-ext}) = Q'''_F$$

Corrections

- La conductance thermique K , doit être modifiée pour tenir compte de ces pertes dues aux échanges radiatifs, convectifs et conductifs à l'intérieur même de la CEP.
- Les flux de chaleur extraits ne sont pas les flux de chaleur Q_F et Q_C .
- Les pertes Joules ne sont pas équitablement réparties entre la face chaude et la face froide.

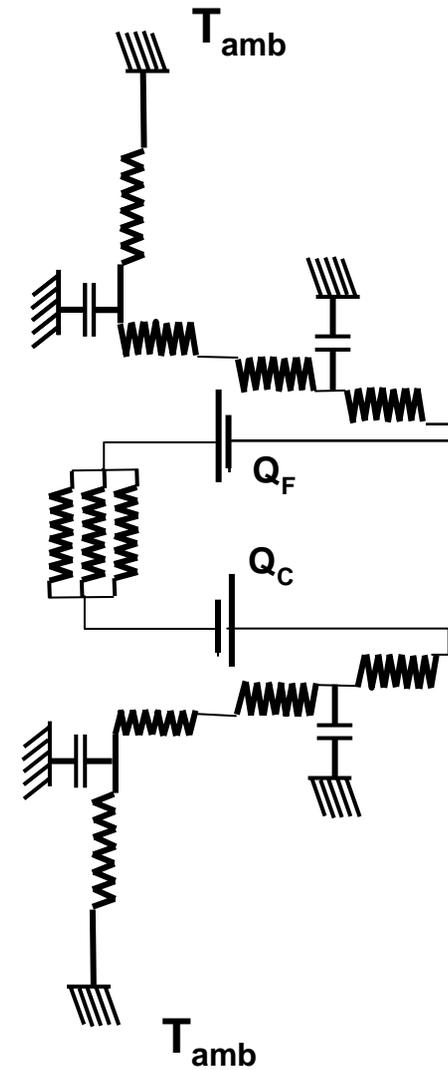
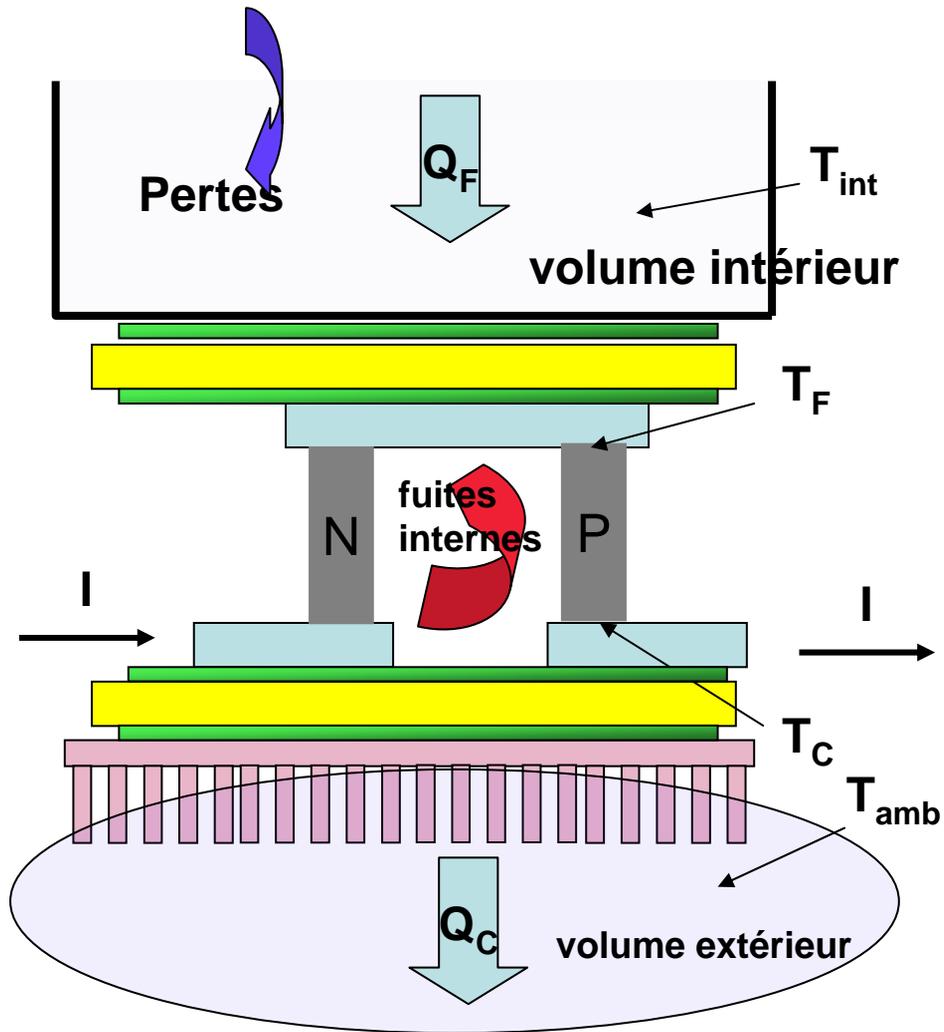
Modélisation par une approche nodale analogie thermique – électrique

| | | |
|-----------------------------|----------|------------------------------|
| température | ⇒ | tension électrique |
| flux de chaleur | ⇒ | intensité |
| masse thermique | ⇒ | capacité |
| résistance thermique | ⇒ | résistance électrique |

L'approche nodale analogie thermique – électrique

| | | |
|-----------------------------|----------|------------------------------|
| température | ⇒ | tension électrique |
| flux de chaleur | ⇒ | intensité |
| masse thermique | ⇒ | capacité |
| résistance thermique | ⇒ | résistance électrique |

**On obtient un réseau électrique équivalent
au réseau thermique**

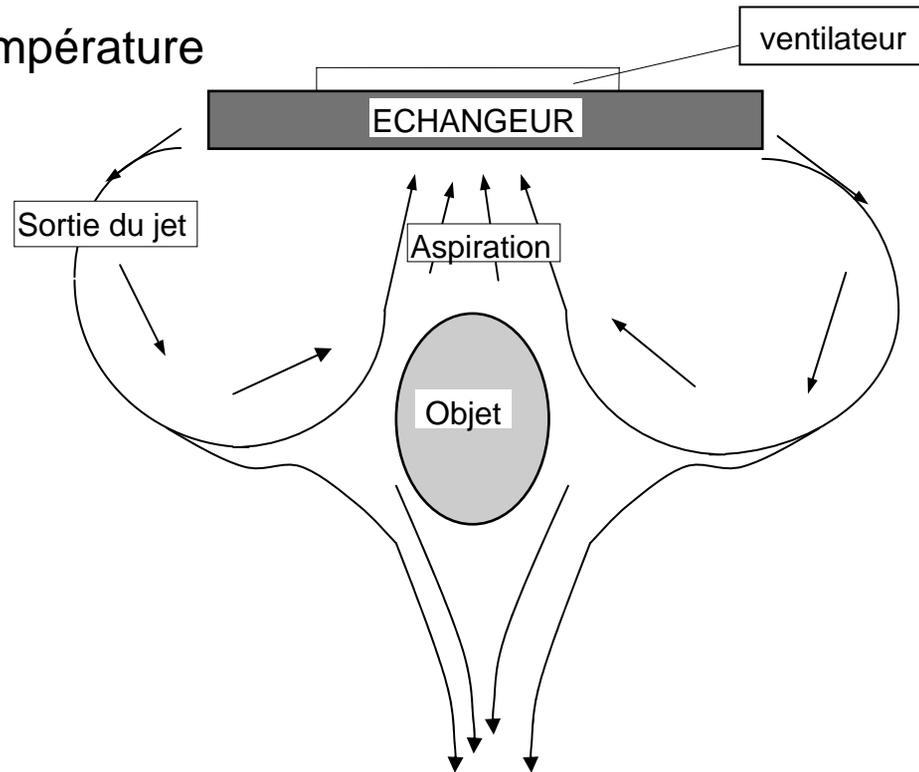


Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.

jet annulaire régulé en température



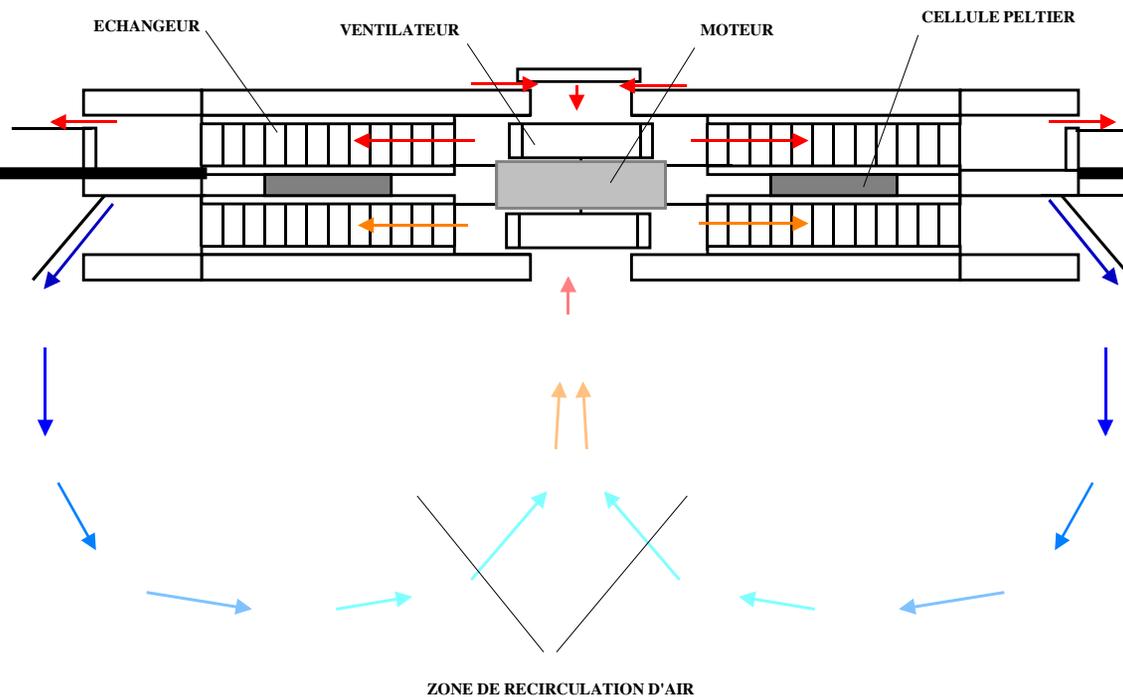
Breveté

Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.

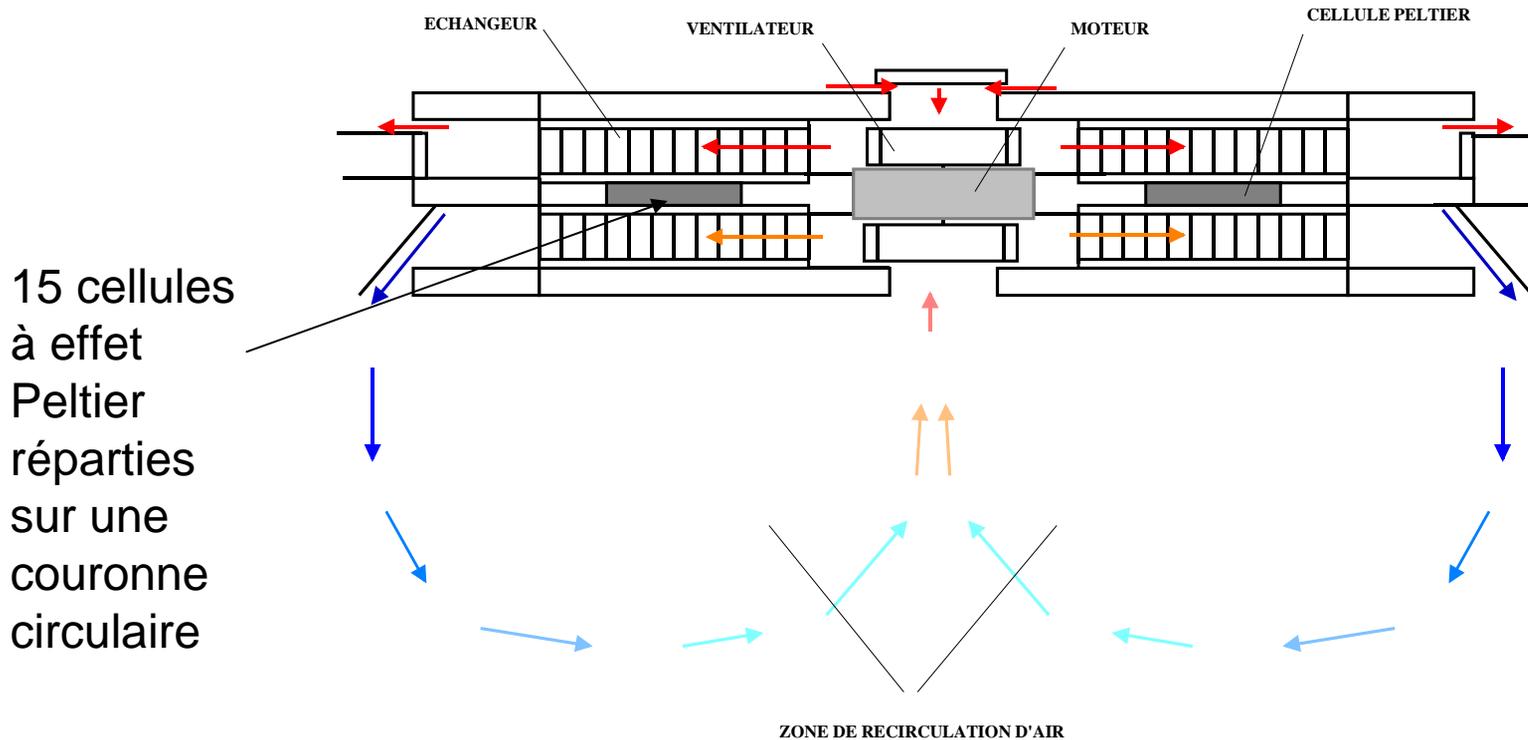
double circuit de ventilation
extérieur



Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

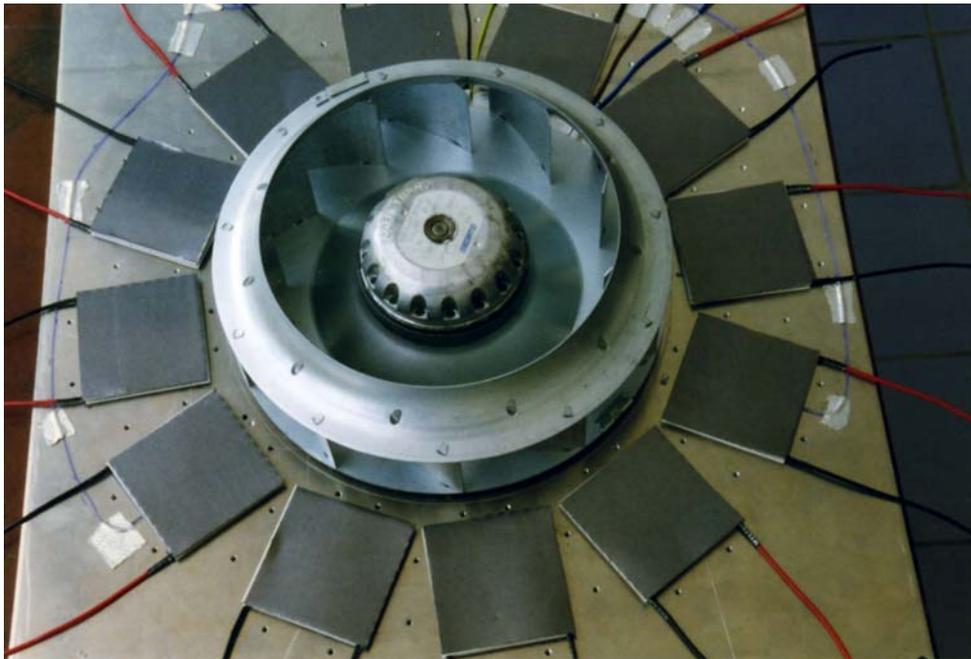
Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.



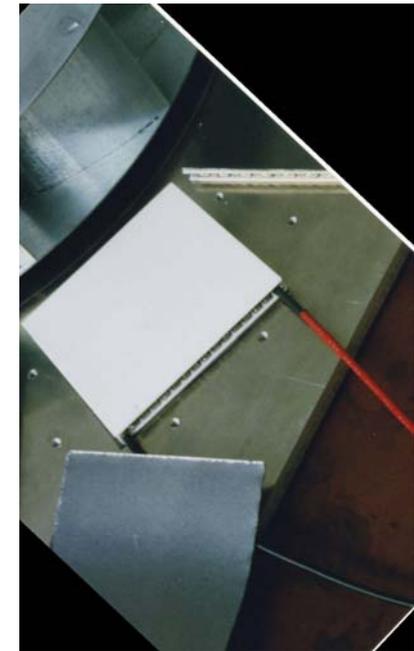
Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.



CEP disposées autour du ventilateur

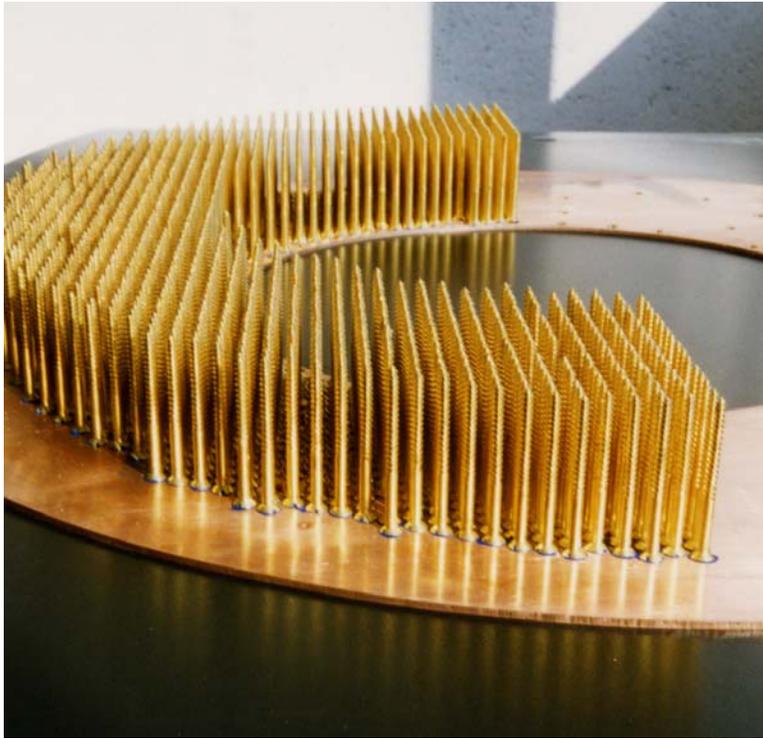


et détail

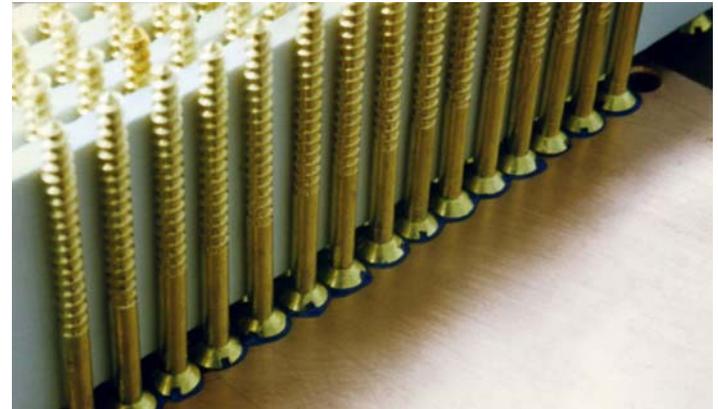
Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.



échangeur à aiguilles (très performant)

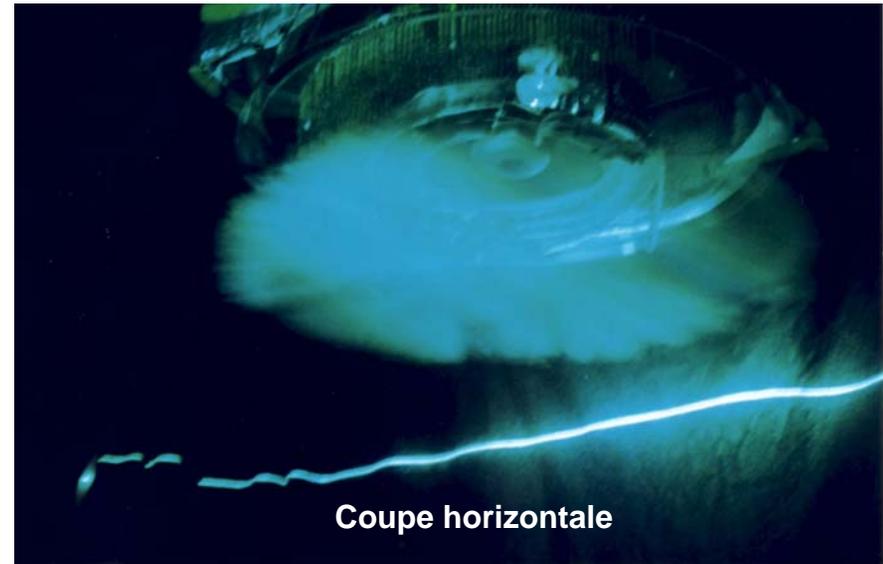
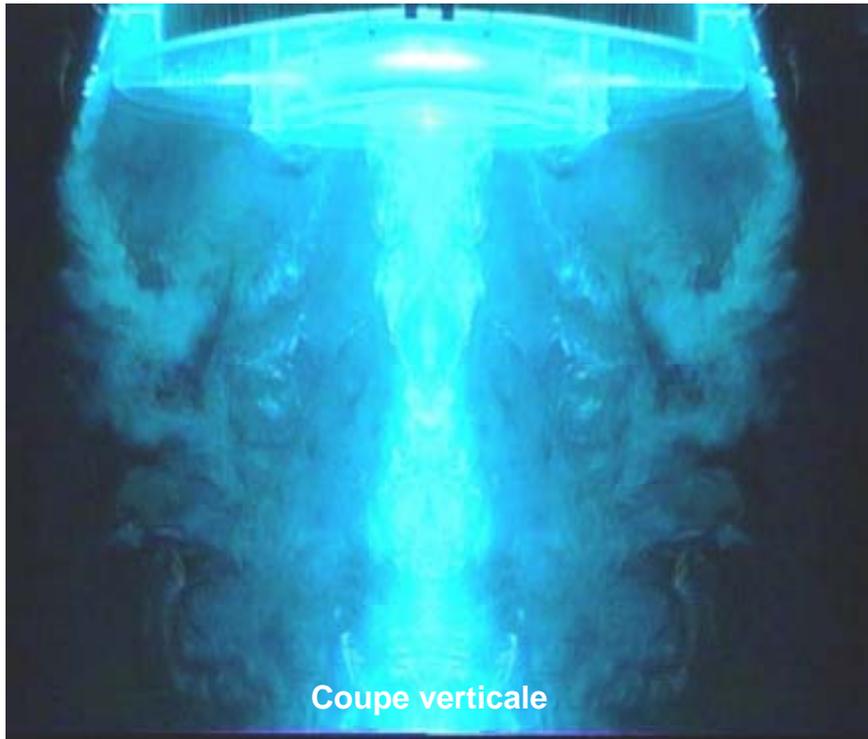


et détail

Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.



Visualisations par
tomographie laser

Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.



Visualisations par tomographie laser, avec un mannequin

Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.

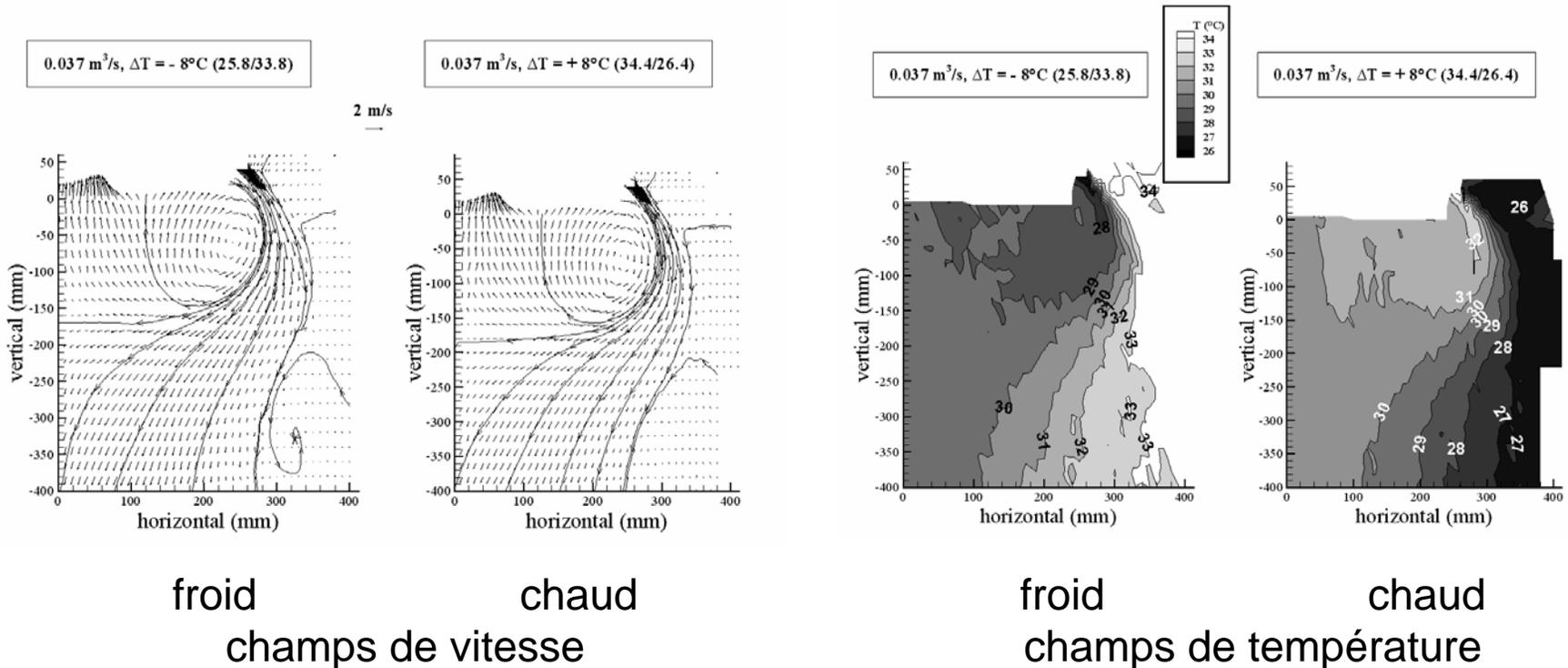


Visualisations par tomographie laser, avec un mannequin, vues en coupe verticale montrant le volume climatisé.

Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.



Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.

- Production de froid **et** de chaud :

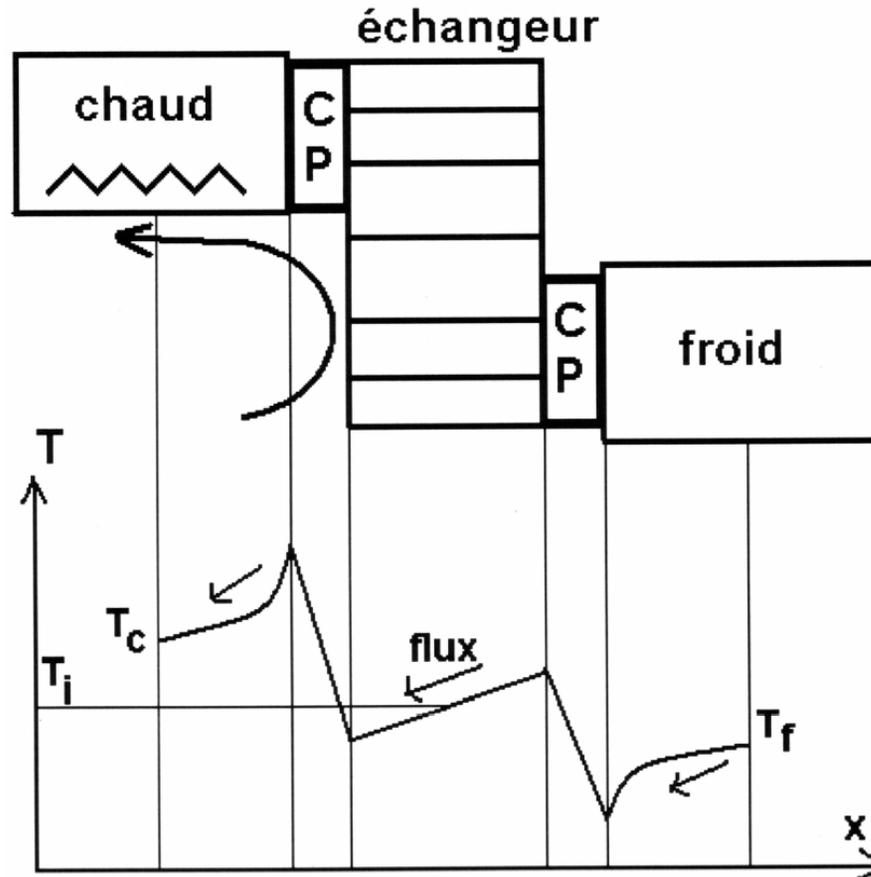
la fontaine réfrigérée et chauffée

Quelques réalisations

- Production de froid **et** de chaud :

la fontaine réfrigérée et chauffée

0,5 L d'eau
à la
température
de 80 °C



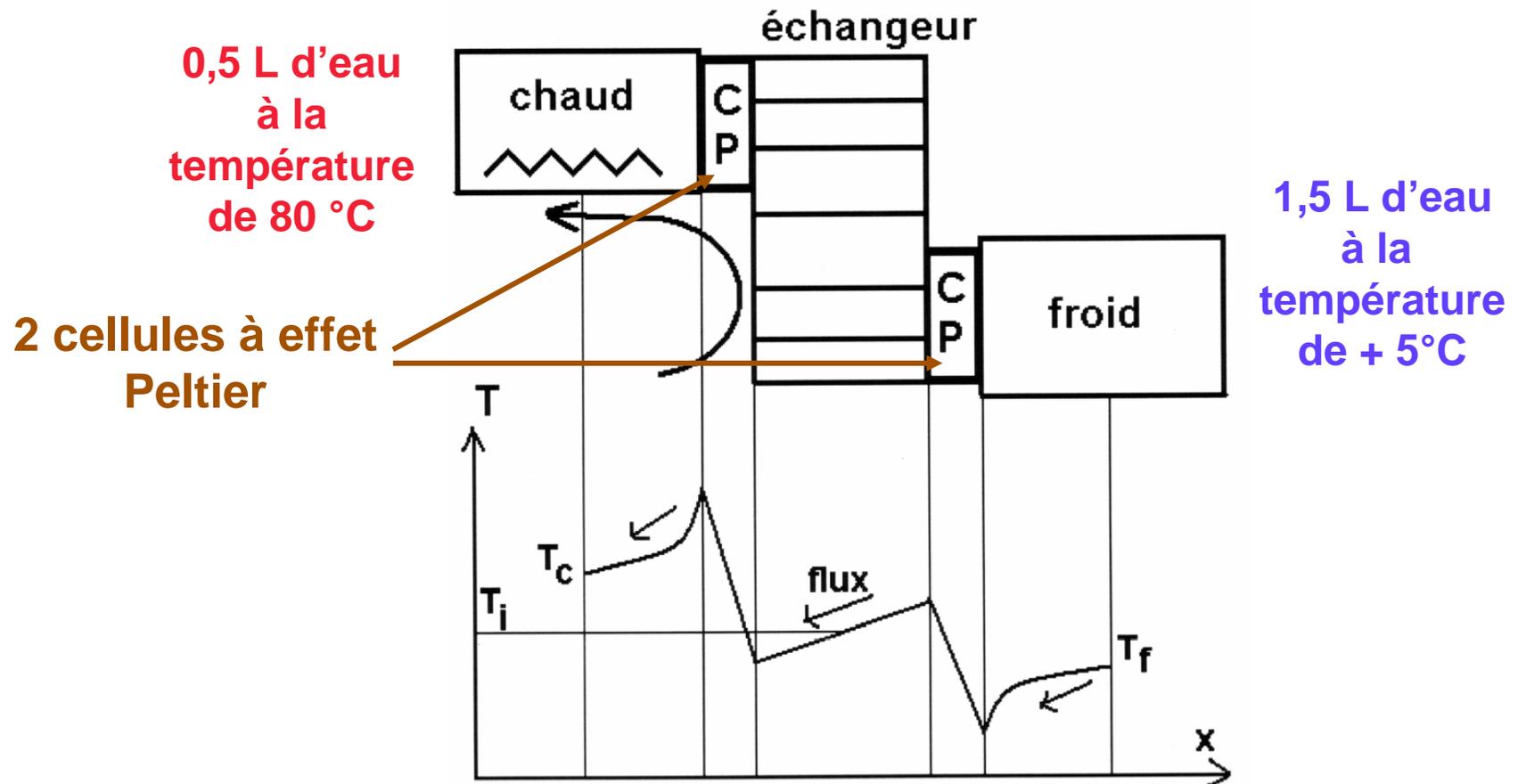
1,5 L d'eau
à la
température
de + 5°C

Quelques réalisations

- Production de froid **et** de chaud :

la fontaine réfrigérée et chauffée

breveté

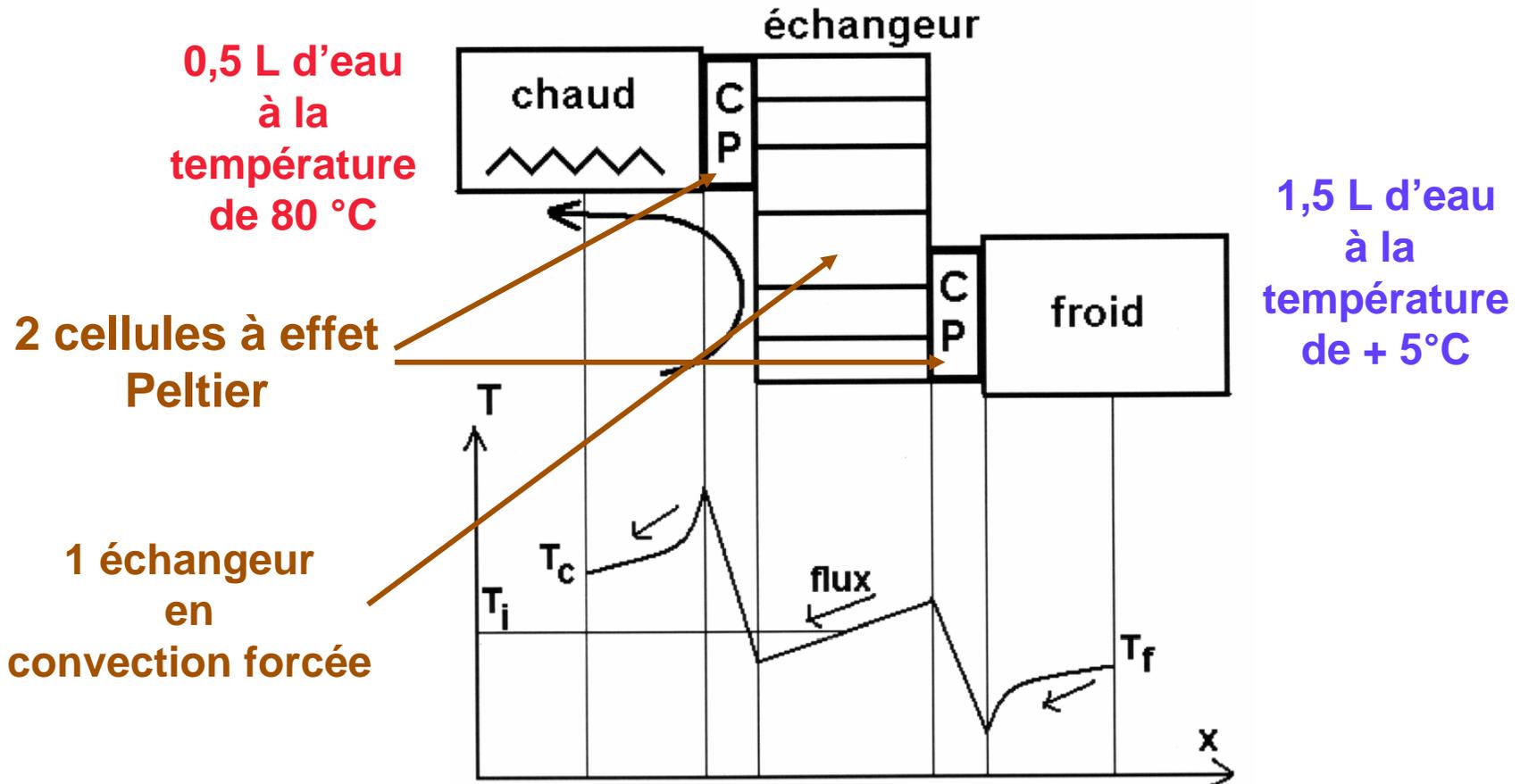


Quelques réalisations

- Production de froid **et** de chaud :

la fontaine réfrigérée et chauffée

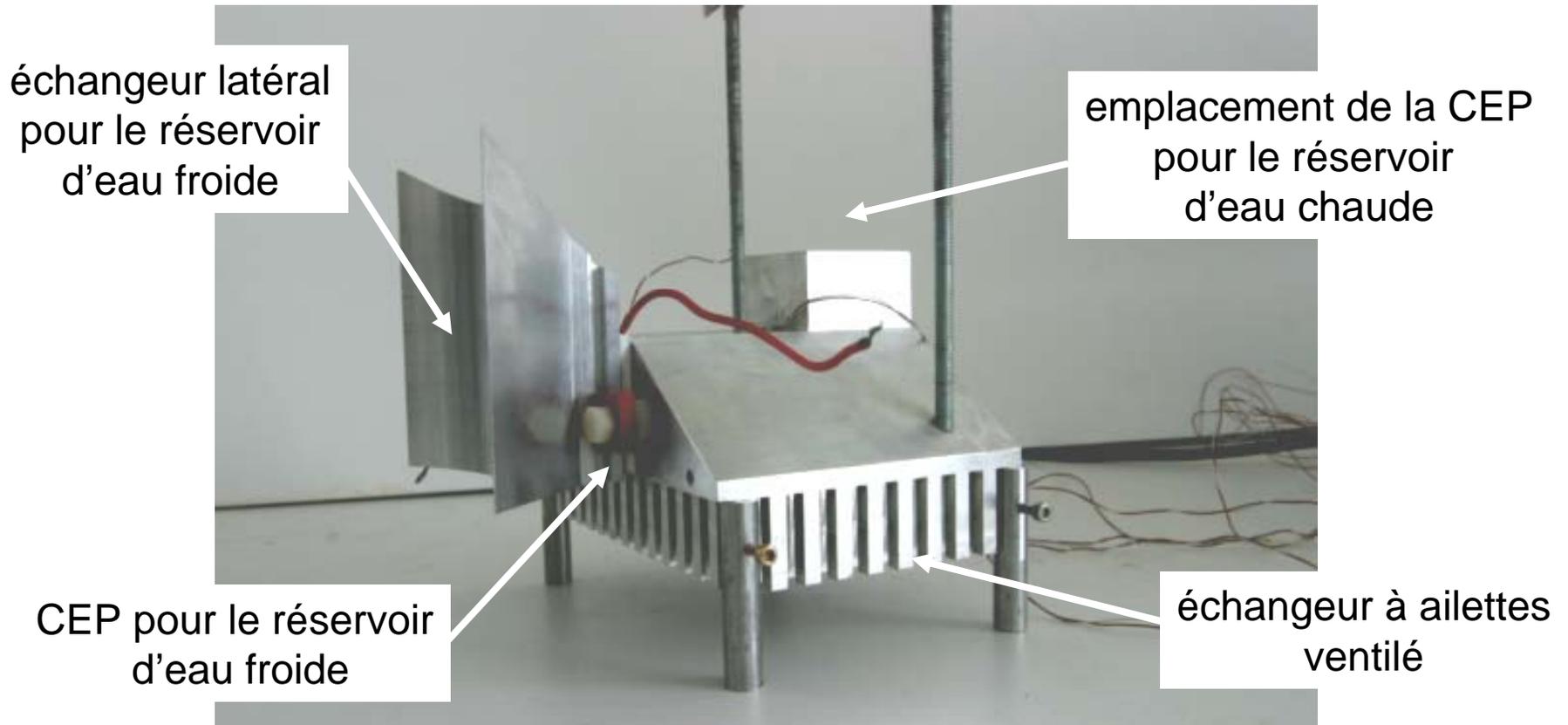
breveté



Quelques réalisations

- Production de froid **et** de chaud :

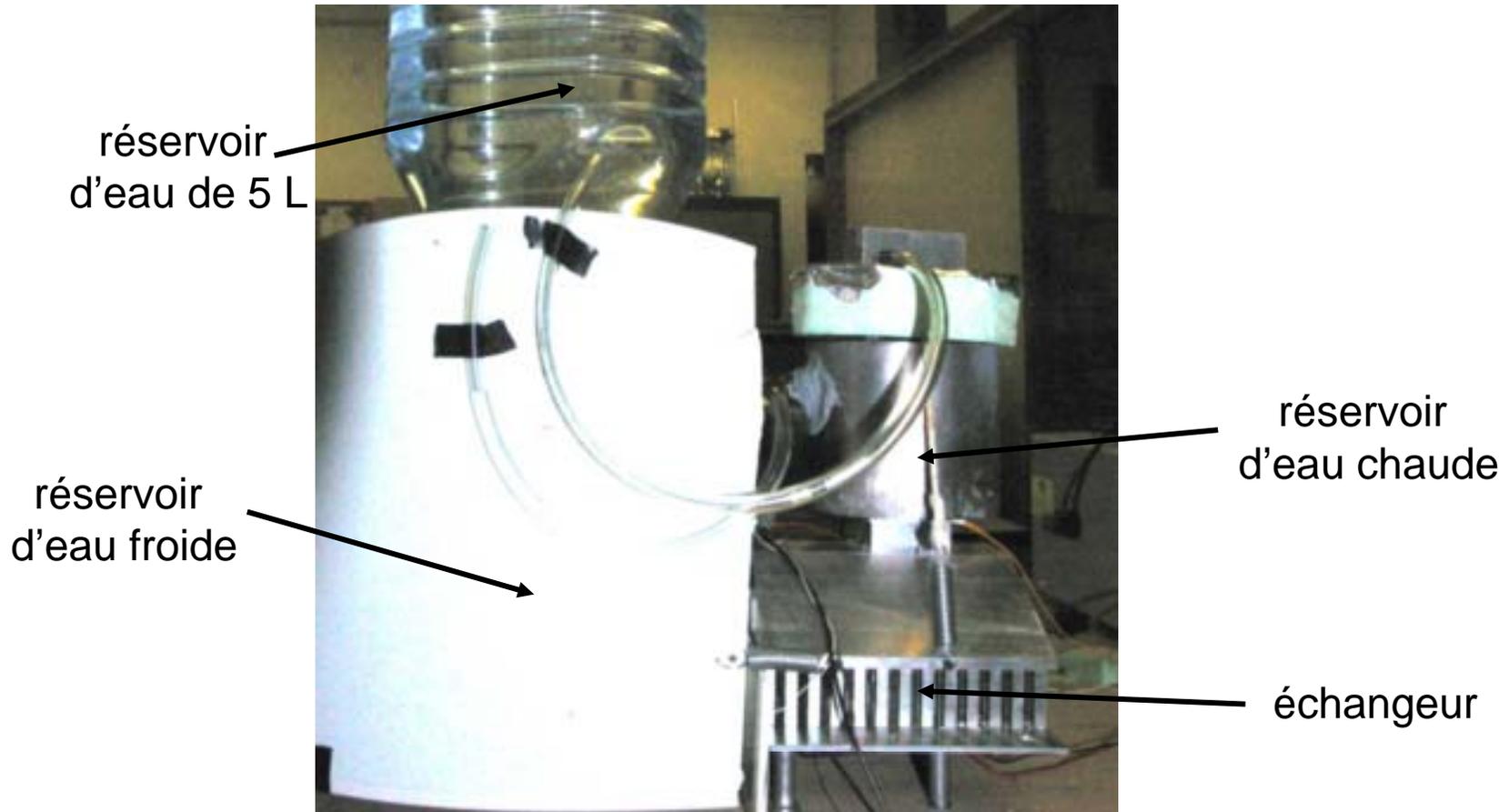
la fontaine réfrigérée et chauffée, vue de l'échangeur



Quelques réalisations

- Production de froid **et** de chaud :

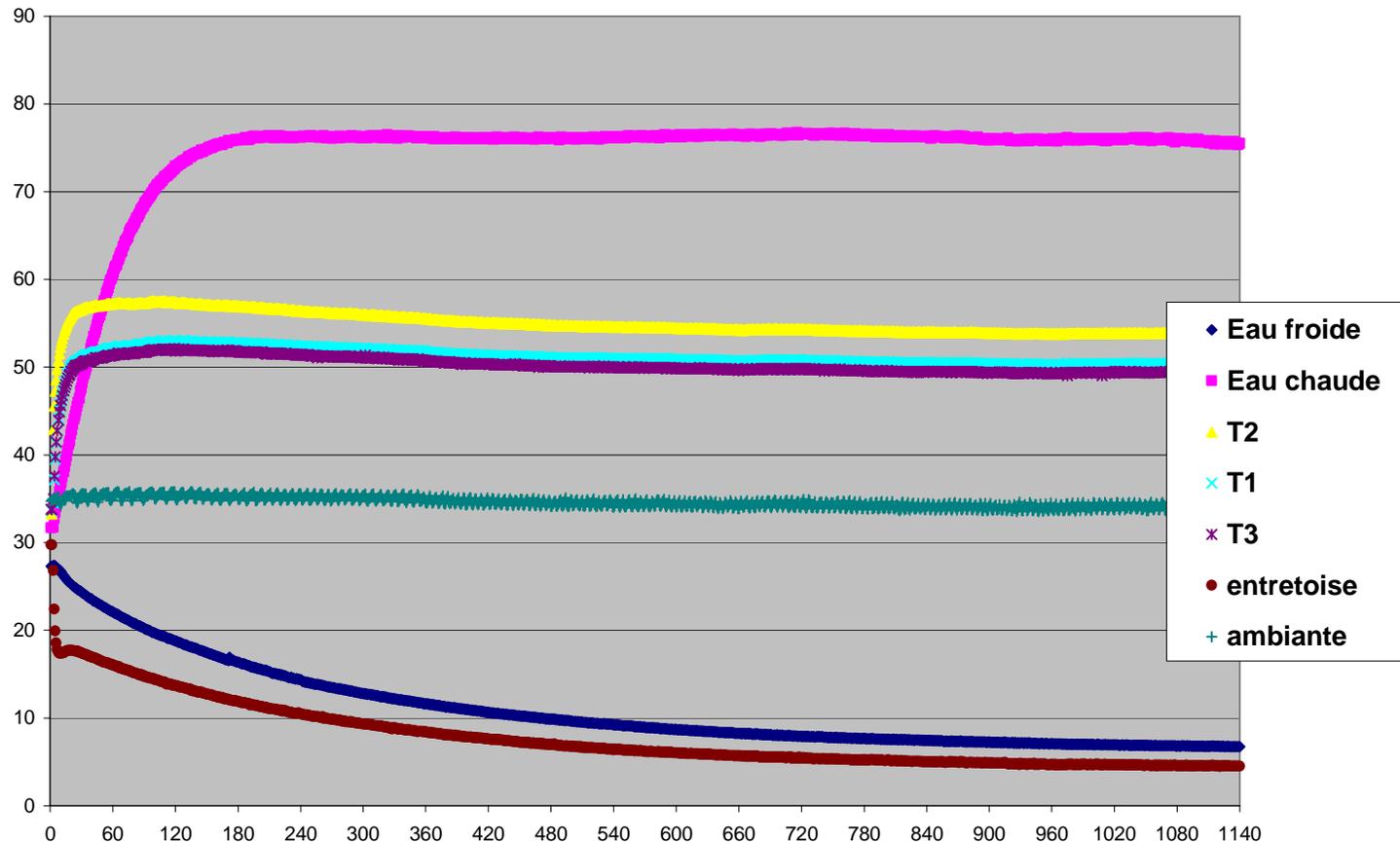
la fontaine réfrigérée et chauffée, vue du prototype



Quelques réalisations

- Production de froid **et** de chaud :

la fontaine réfrigérée et chauffée, résultats de mesures



Quelques réalisations

- Production de froid **ou** de chaud :

Modulclim, dispositif de climatisation de voiture électrique.

- Production de froid **et** de chaud :

la fontaine réfrigérée et chauffée

- Production d'électricité :

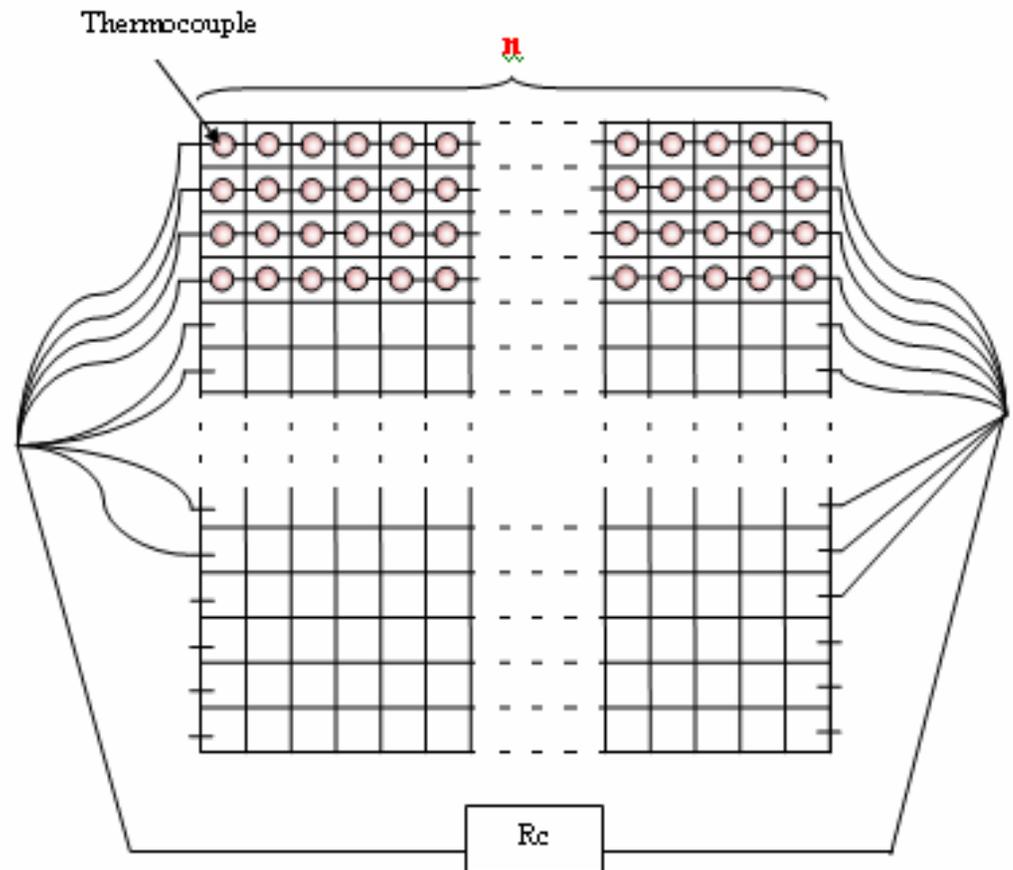
le pull thermoélectrique

Quelques réalisations

- Production d'électricité :

le pull thermoélectrique (imaginé pour des étudiants de l'ENSMA)

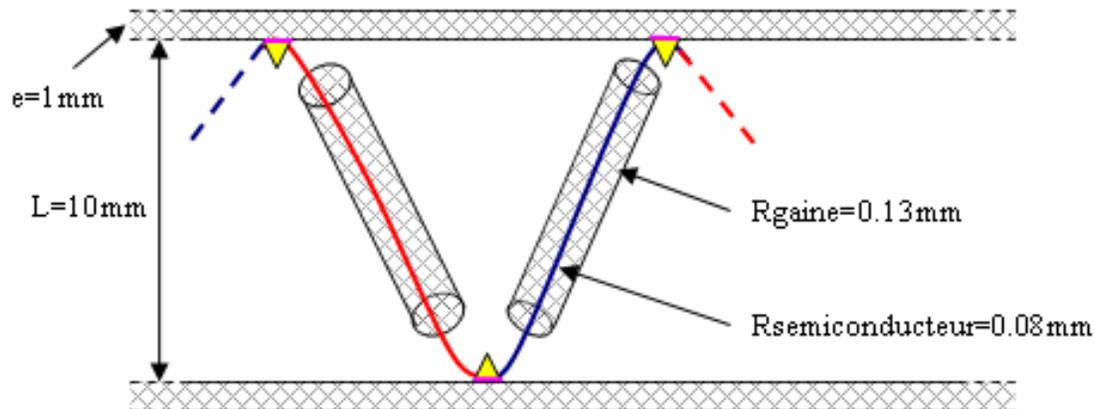
1 tricot de thermocouples
en série – parallèle
100 000 jonctions
avec
un écart de température
de l'ordre de 10°C.



Quelques réalisations

- Production d'électricité :

le pull thermoélectrique : agencement des fibres



**Schéma de la trame de
cellule Peltier au
sein du textile**

| | |
|---|-------------------------|
|  | Trame en nylon |
|  | Semi-conducteur P |
|  | Semi-conducteur N |
|  | Point de soudure |
|  | Colle (épaisseur 0.5mm) |

Quelques réalisations

- Production d'électricité :

le pull thermoélectrique : modèle couplé thermique, électrique

1

$$AIT_F = Q_F + K_p (T_C - T_F) + \frac{1}{2} RI^2$$

2

$$AIT_C = -Q_C - K_p (T_C - T_F) + \frac{1}{2} RI^2$$

3

$$U = AI (T_C - T_F) - RI$$

4

$$U_{tot} = nU$$

5

$$I_{tot} = nI$$

6

$$U_{tot} = R_C I_{tot}$$

**Bilan
énergétique**

**Bilan
électrique**

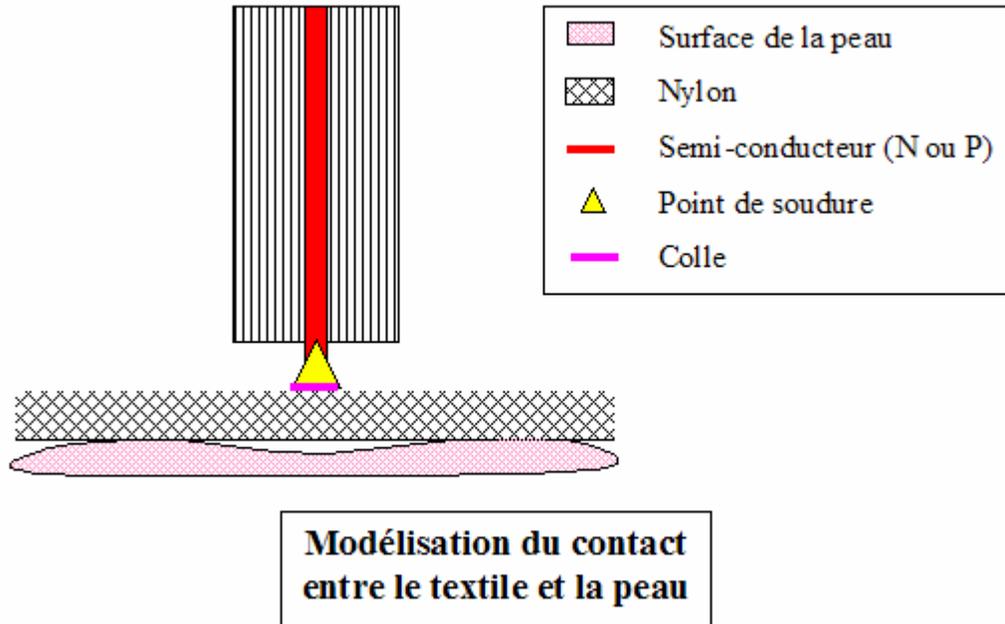
Nombre de
jonctions

Résistance de
charge

Quelques réalisations

- Production d'électricité :

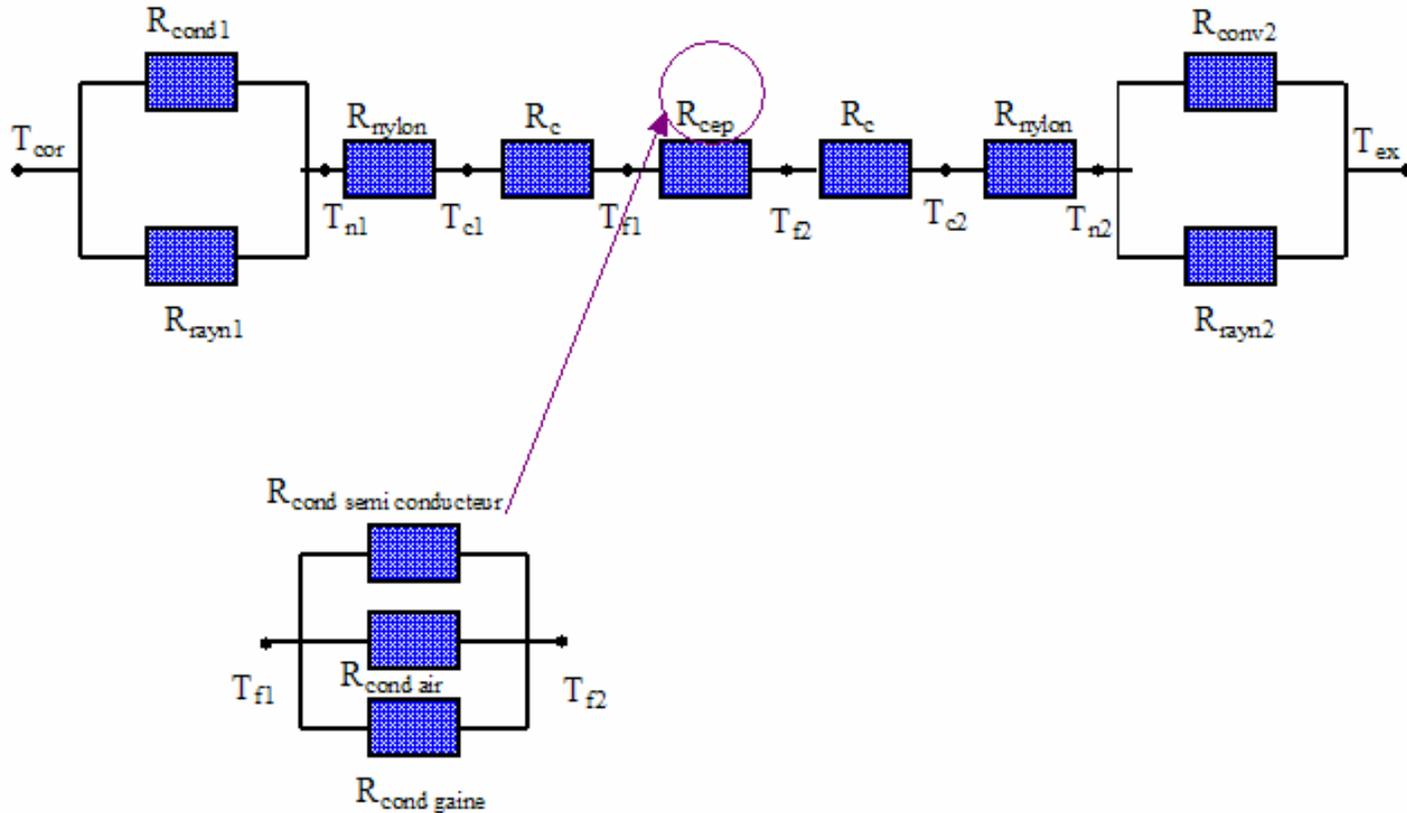
le pull thermoélectrique : des résistances thermiques de contact



Quelques réalisations

- Production d'électricité :

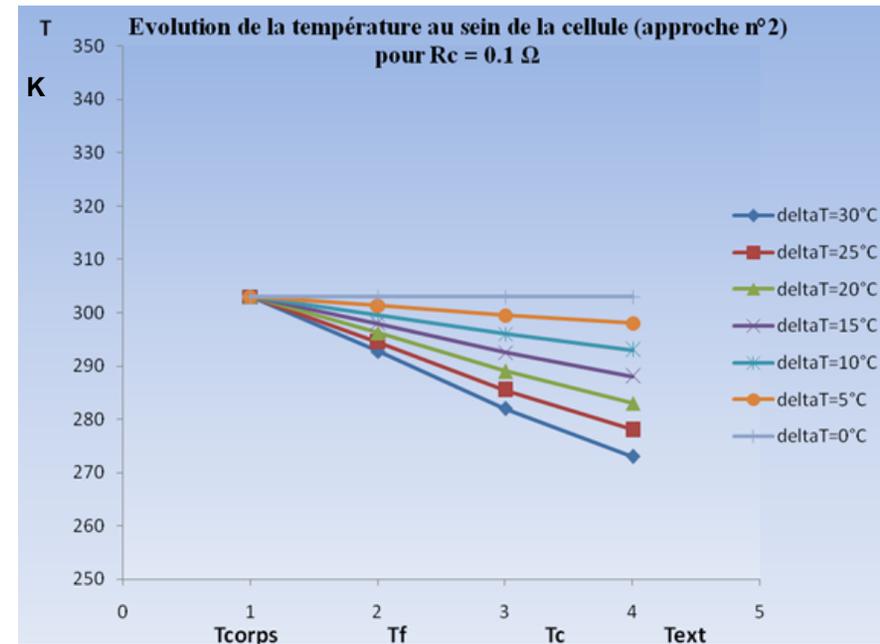
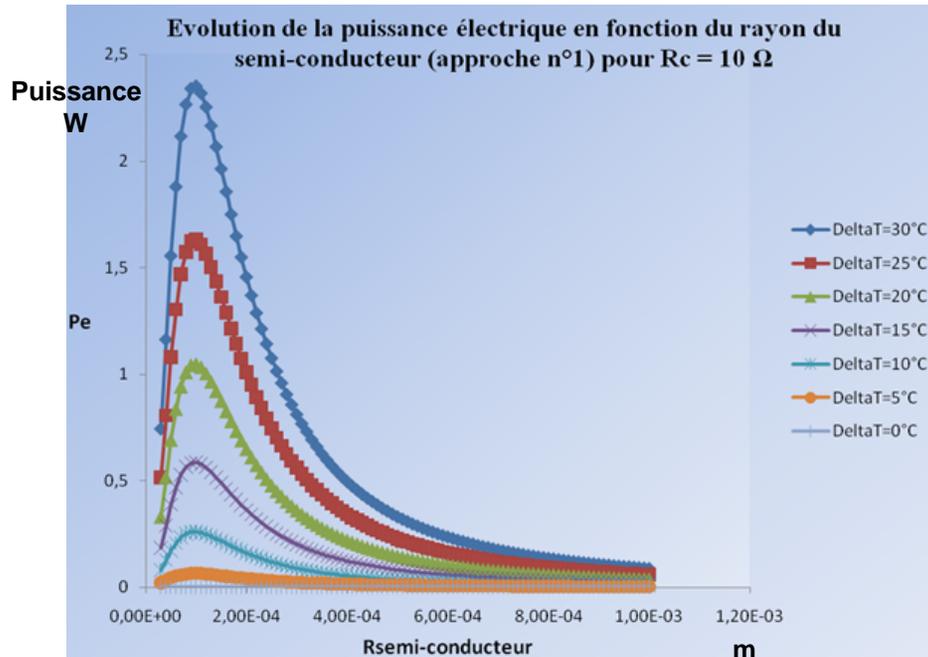
le pull thermoélectrique : un modèle électrique équivalent



Quelques réalisations

- Production d'électricité :

le pull thermoélectrique : une simulation : 2,5 W sous 10 Ω



Conclusion

L'approche thermique des CEP apporte des renseignements complémentaires.

On peut faire des réalisations concrètes mais avec de mauvais rendements.

Les CEP ne sont pas optimisées thermiquement

Il faut considérer le système thermique complet,

Faciliter les flux thermiques

Minimiser les pertes

Des progrès restent à faire dans l'intégration des CEP dans les systèmes thermiques

Concevoir des cellules spécifiques aux applications souhaitées.