

---

# Chauffage Solaire par Aérothermie

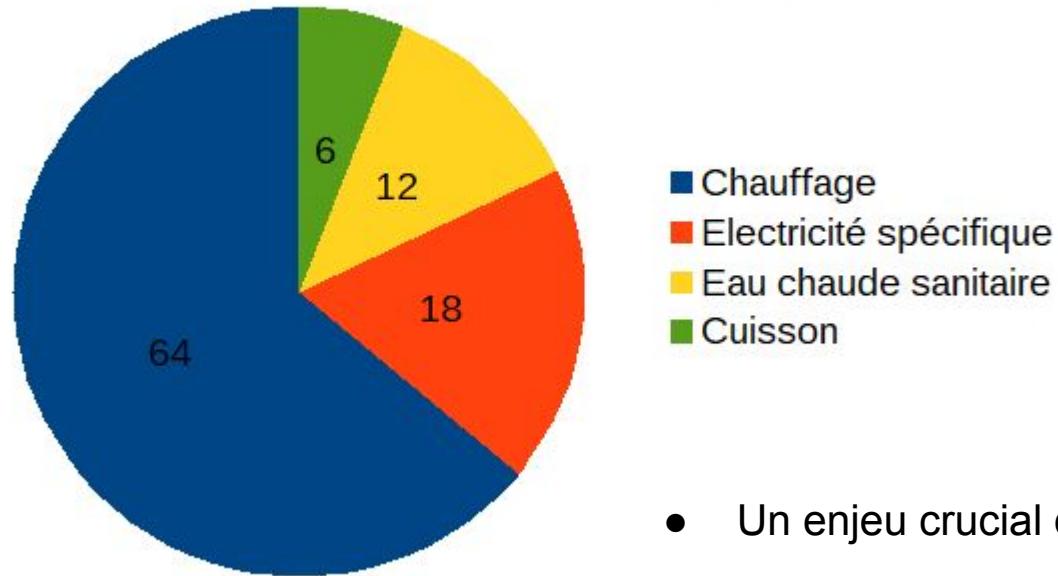


---

Nathan ROUILLE 50018

# Introduction

Répartition de la consommation énergétique des ménages



- Un enjeu crucial de la transition énergétique
- Une action accessible à tous

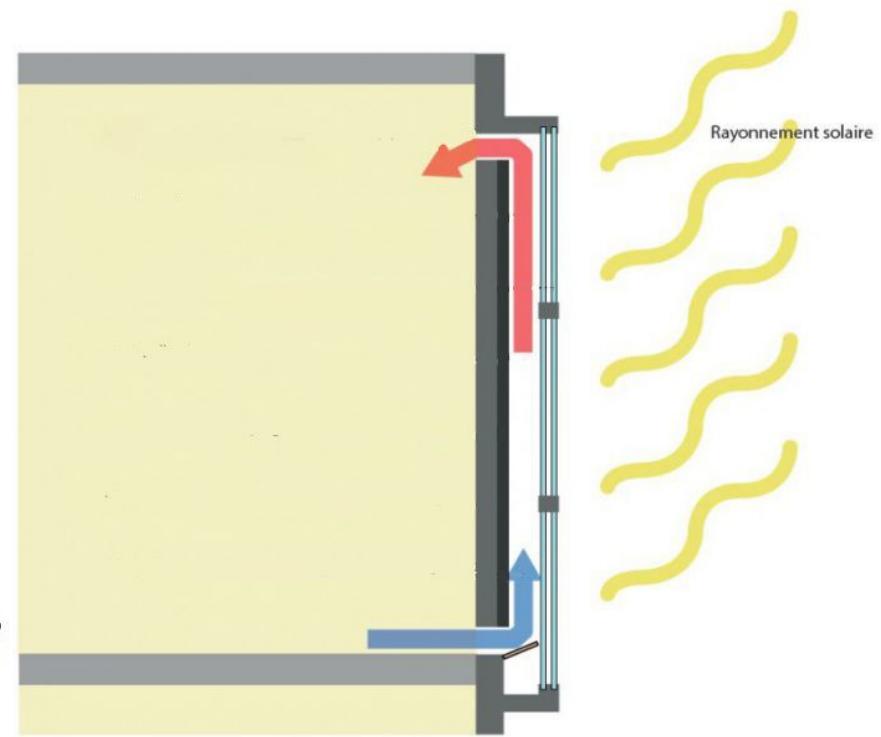
# Problématique

Dans quelle mesure un chauffage solaire low-tech représente une solution aux enjeux énergétiques urbains ?

# Plan

- Principe général de fonctionnement du système
- Mise en place de l'expérience
- Modélisation
  - Réseau de neurones
  - Numérique
  - Analytique
- Étude des écarts entre modélisation et système réel
- Détermination du rendement
- Extrapolation à différentes dimensions
- Conclusion

# Principe général de fonctionnement



# Mise en place d'une expérience

Objectifs de la maquette :

- Étudier le fonctionnement du système en condition réelle
- Vérifier quantitativement les hypothèses simplificatrices
- Valider les différentes modélisations

# Mise en place d'une expérience

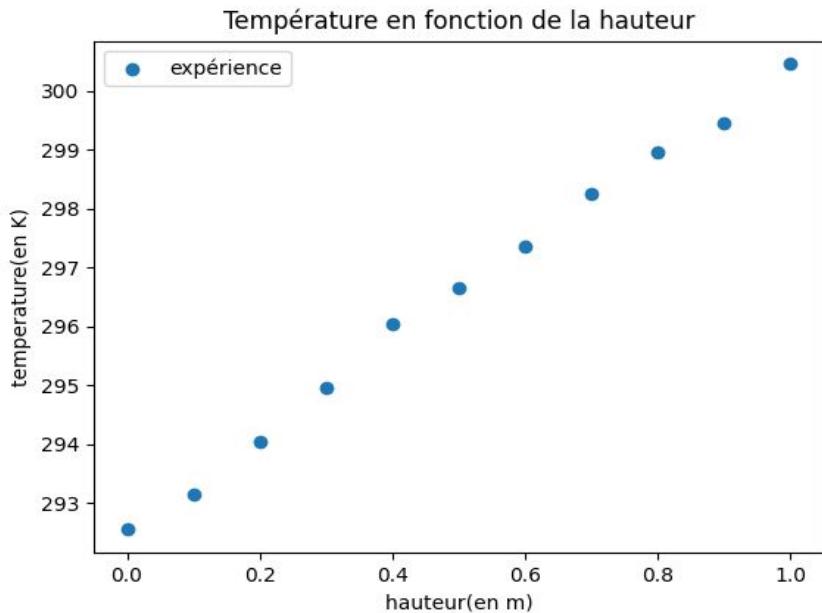
Mesures :

- Puissance solaire
- Température extérieure
- Température et vitesse du fluide en 11 points d'une ligne de champ

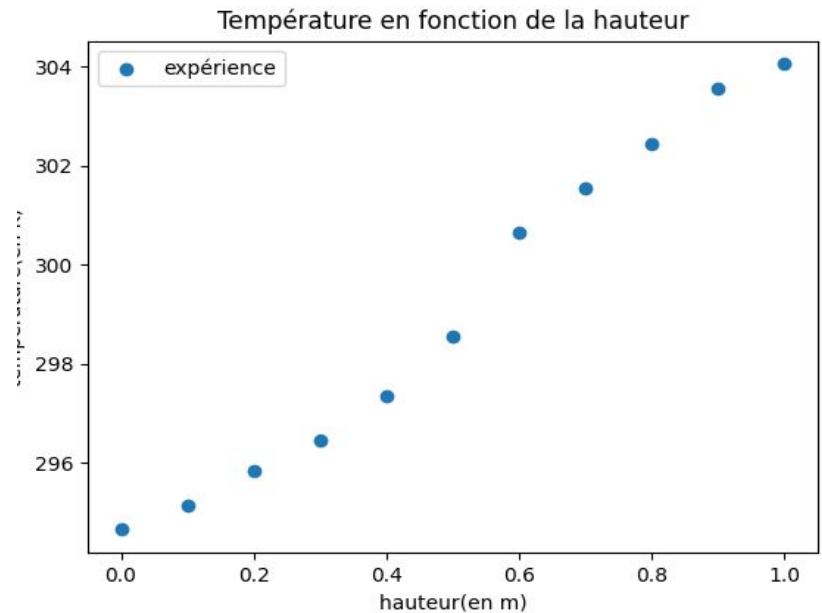


● Mesure de T,V

# Résultats expérimentaux



$$P_{\text{solaire}} = 597 \text{ W/m}^2$$



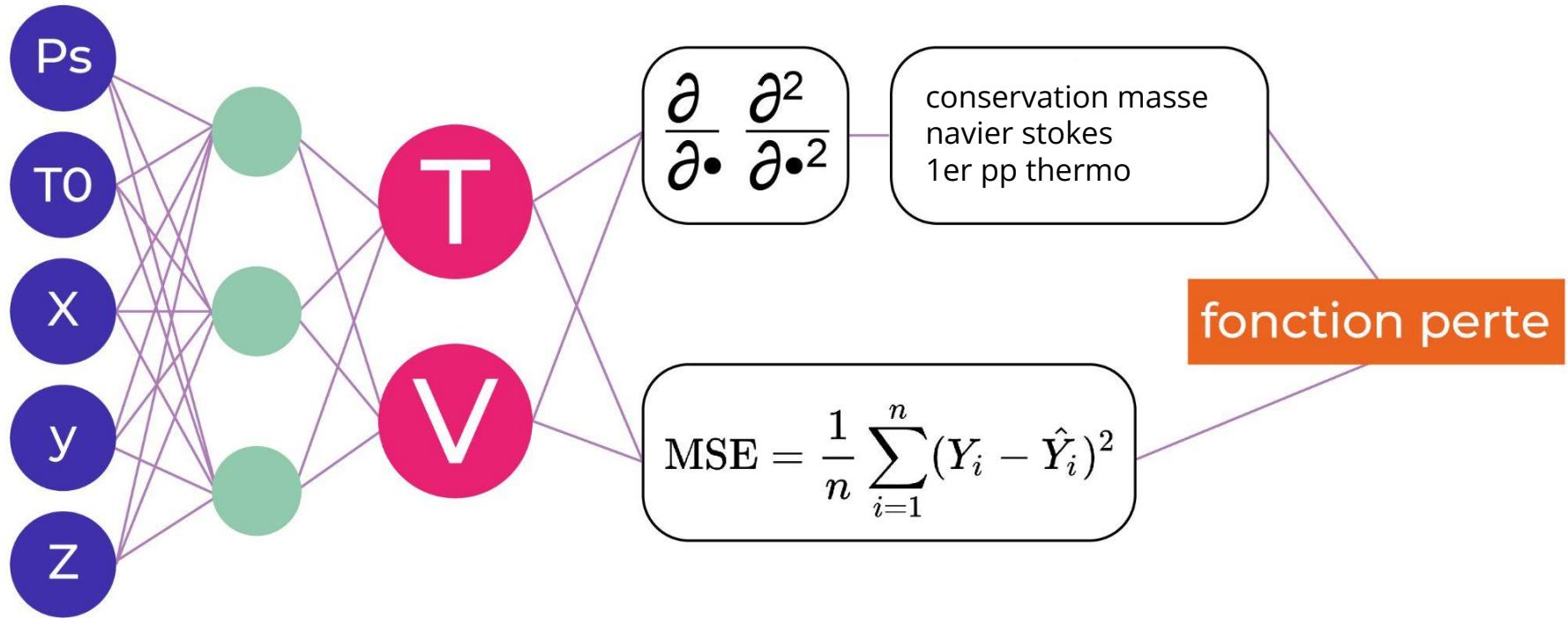
$$P_{\text{solaire}} = 656 \text{ W/m}^2$$

# Réseau de neurones PINN

Objectifs:

- Établir une modélisation empirique
- Assurer la précision de la modélisation
- Généraliser le modèle sur une large gamme de fonctionnement

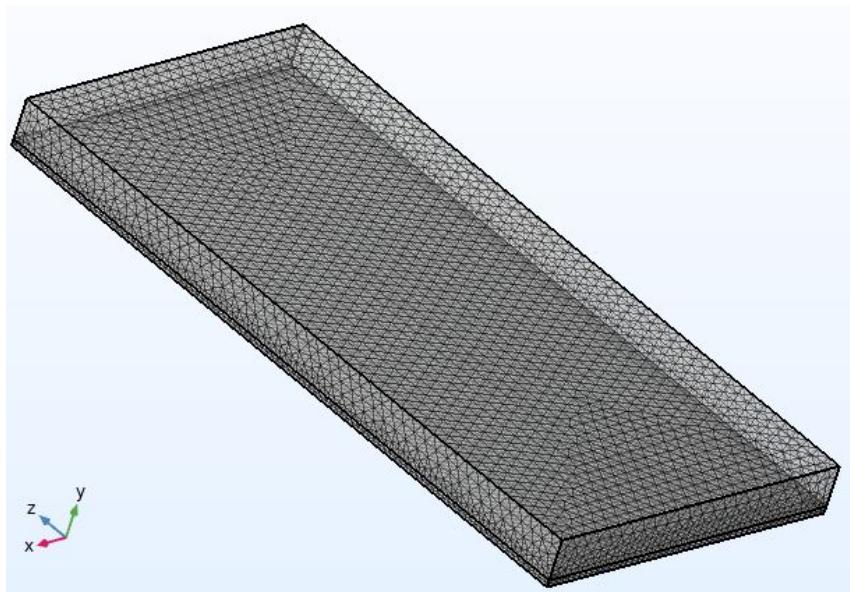
# Réseau de neurones PINN



# Modélisation numérique

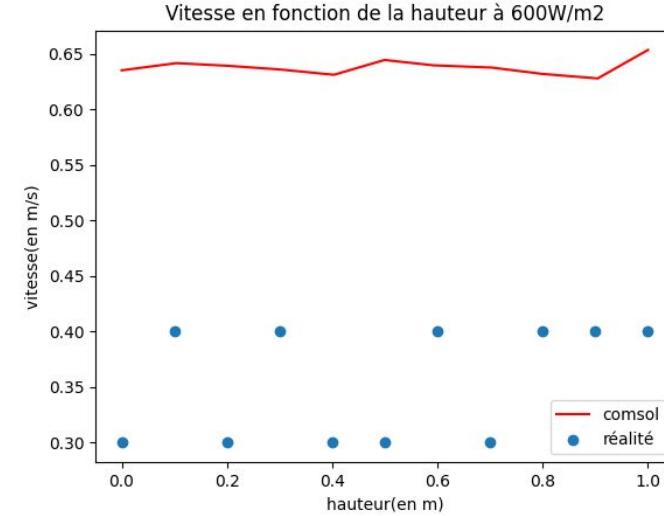
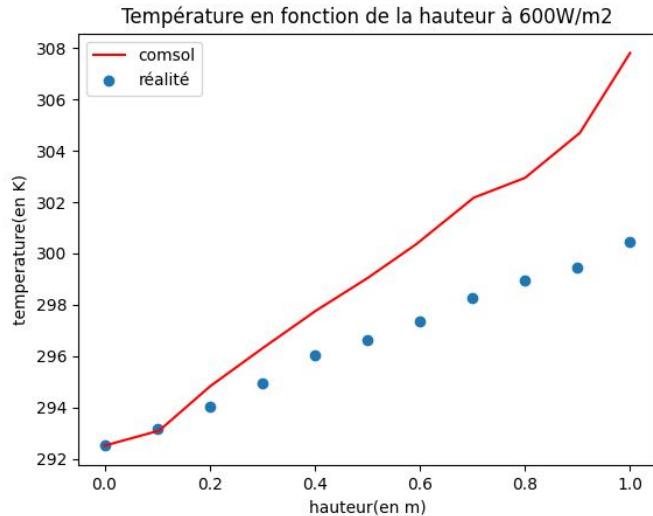
Méthode des éléments finis, maillage de l'espace pour résoudre les équations à dérivées partielles :

- Navier Stokes
- Conservation de la masse
- Conservation de l'énergie



# Modélisation numérique

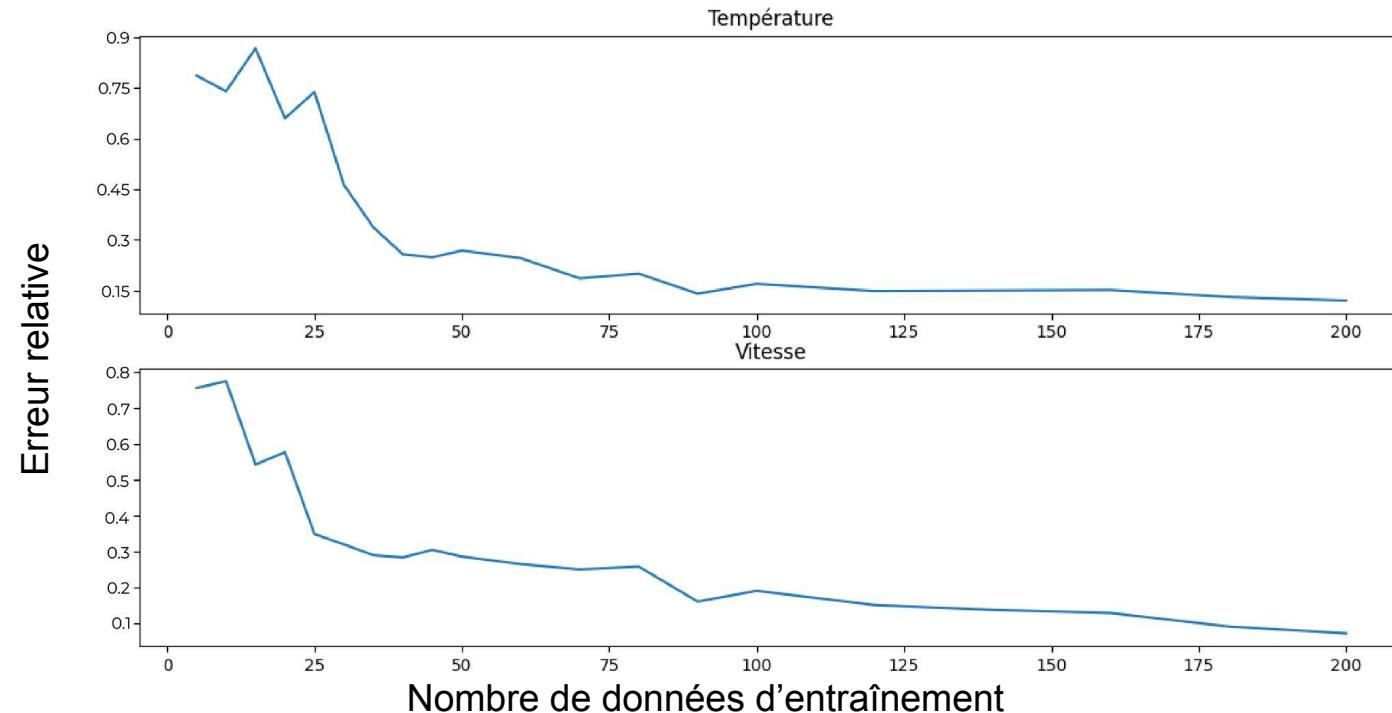
Comparaison avec le comportement réel :



Source d'erreurs : absence de pertes dans la modélisation

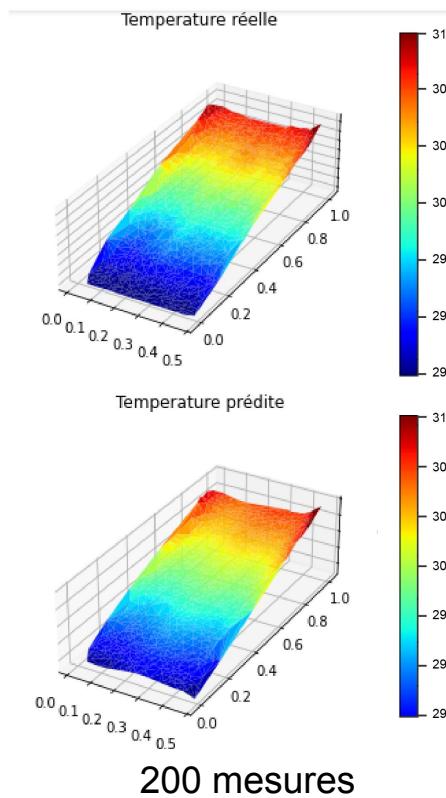
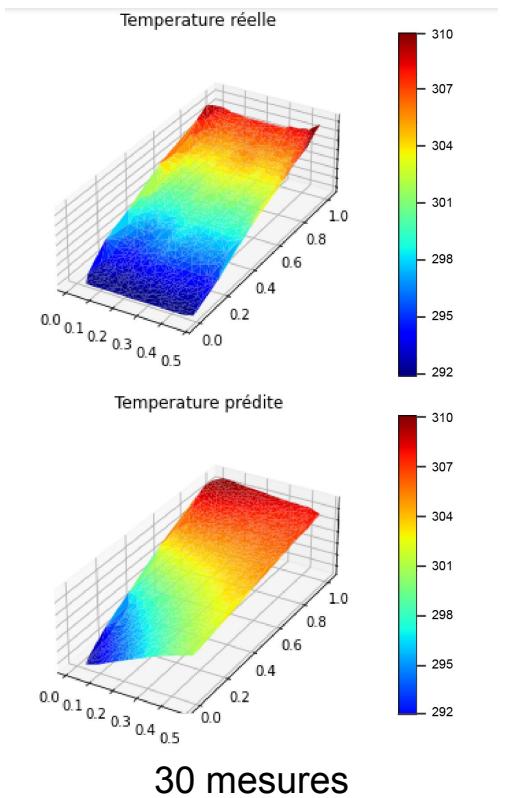
# Modélisation à l'aide d'un réseau de neurones

Estimation du nombre de mesures nécessaires à l'aide de comsol



# Modélisation à l'aide d'un réseau de neurones

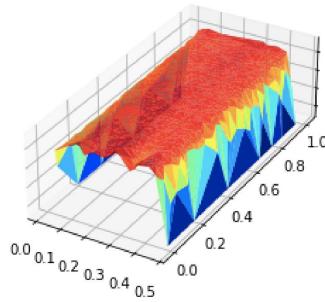
Résultats de la prédiction de température



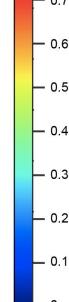
# Modélisation à l'aide d'un réseau de neurones

Résultats de la prédiction de vitesse

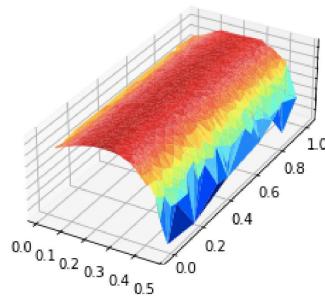
Vitesse réelle



Vitesse réelle

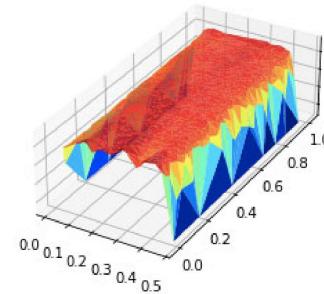


Vitesse prédictée



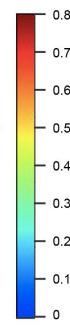
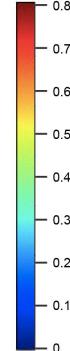
30 mesures

Vitesse réelle



Vitesse prédictée

Vitesse réelle



200 mesures

# Modélisation analytique

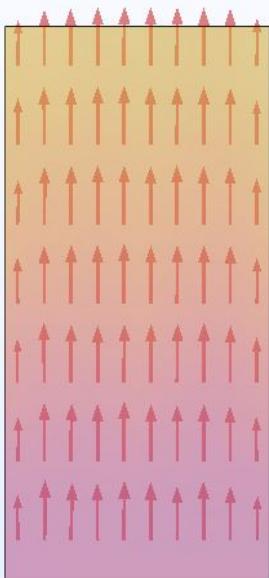
Objectifs :

- Etablir une loi entrée/sortie du système
- Estimer la puissance apportée par le chauffage
- Etudier l'influence des paramètres sur son efficacité

# Modélisation analytique

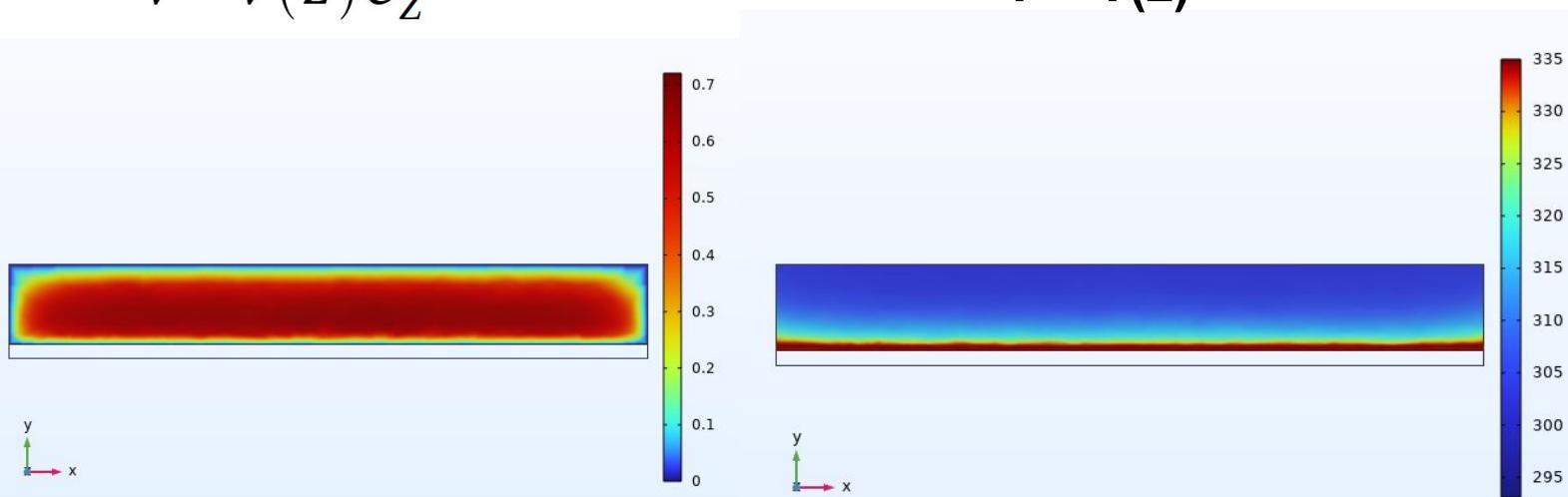
Hypothèses :

- Régime stationnaire, température extérieure  $T_0$  constante.
- Ecoulement unidimensionnel, turbulent ( $Re = 4000$ ) et invariant par section :

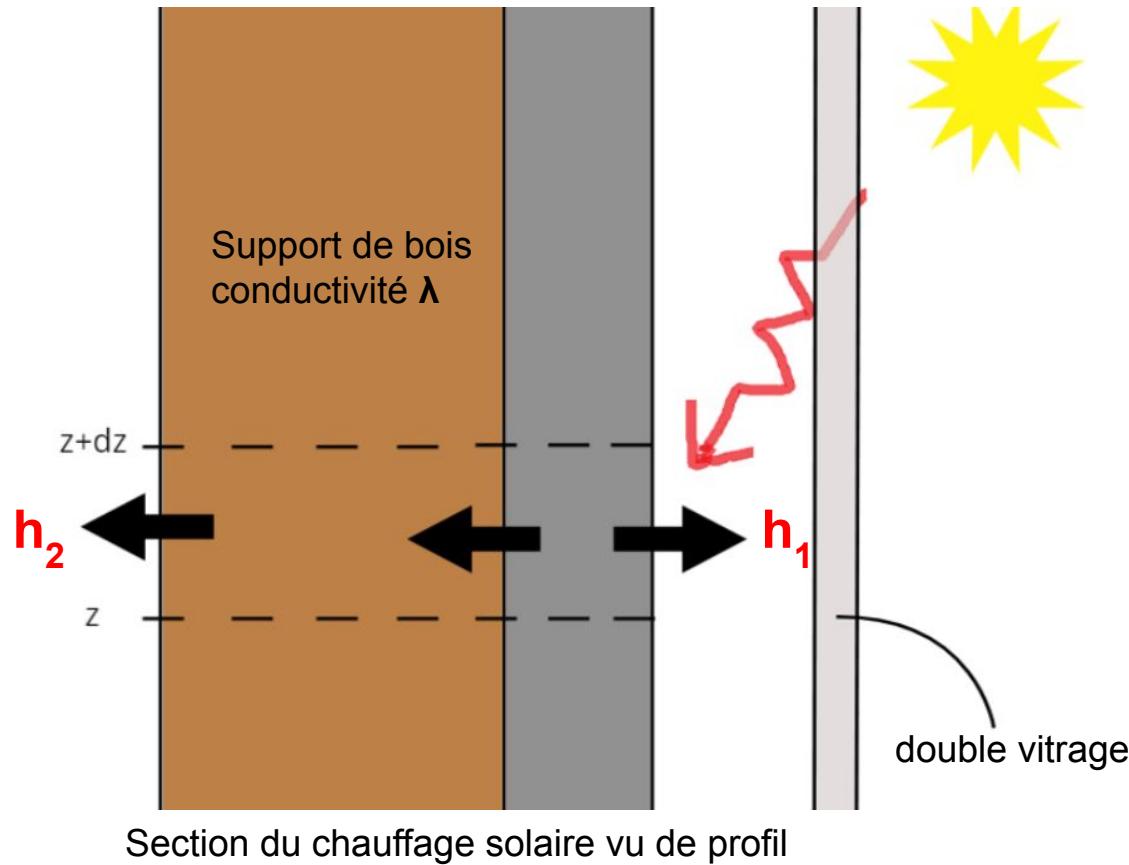


$$\vec{v} = v(z) \vec{e}_z$$

$$T = T(z)$$



# Modélisation analytique



# Modélisation analytique

Par 3 isolements successifs, puis application du premier principe, on obtient :

$$T_{air}(z) = \frac{P_s}{h'_2} \left(1 - \exp\left(\frac{-z}{\delta}\right)\right) + T_0$$

Où  $h'_2$  et  $\delta$  dépendent des paramètres introduits, et  $P_s$  est la puissance surfacique solaire.

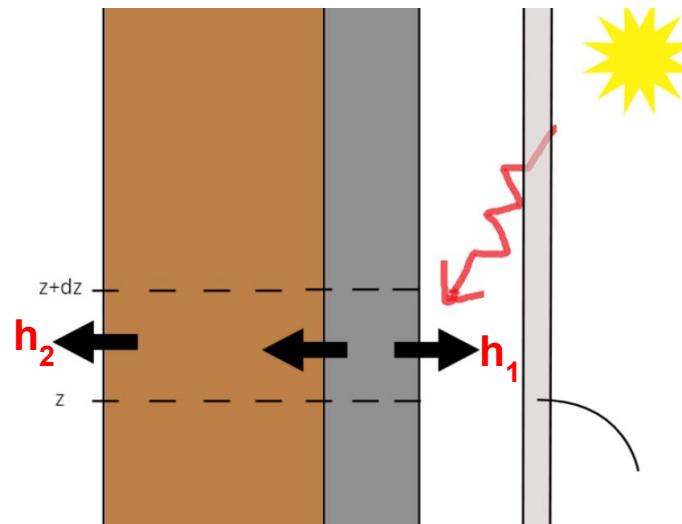
# Modélisation analytique

Au vu des résultats expérimentaux sur la longueur caractéristique  $\delta$ , et du comportement linéaire de la température on obtient à l'ordre 1 :

$$P_{apportée} = P_s S \eta$$

où le rendement  $\eta$  vaut :

$$\eta = \frac{h_1}{h'_2 + h_1}$$

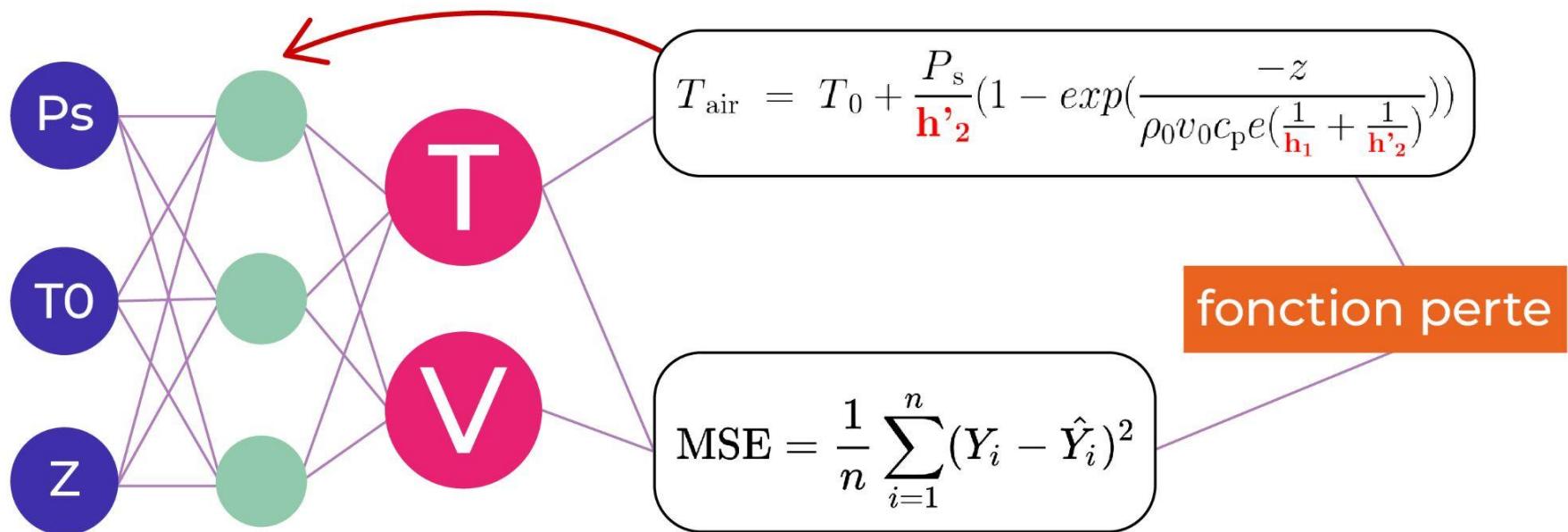


# Résolution de problème inverse avec PINN

Objectifs :

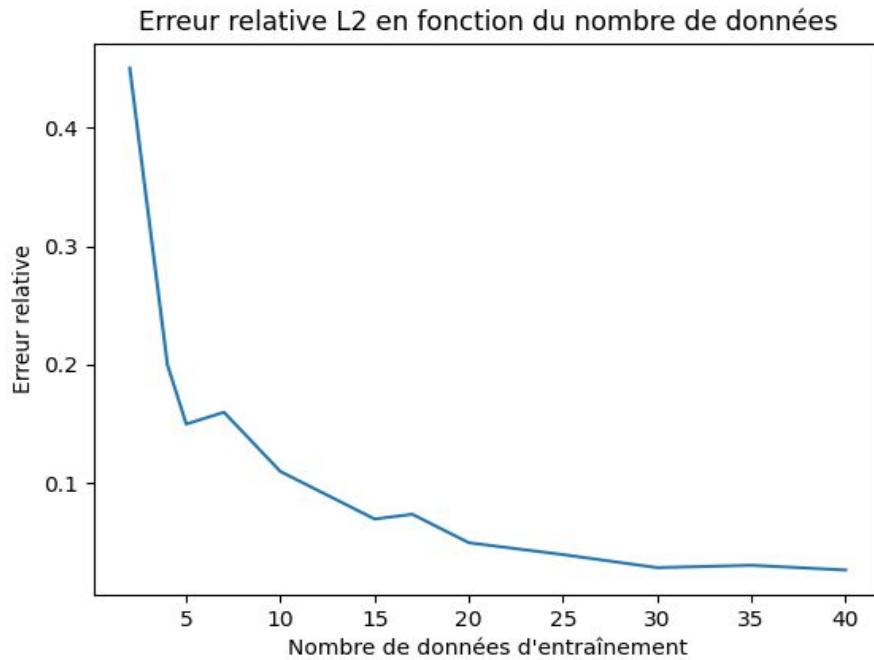
- Diminuer le nombre de données nécessaires à l'entraînement
- Déterminer les coefficients inconnus du modèle analytique simplifié
- Prédire le comportement du système dans toute la gamme d'utilisation

# Modélisation à l'aide d'un réseau de neurones



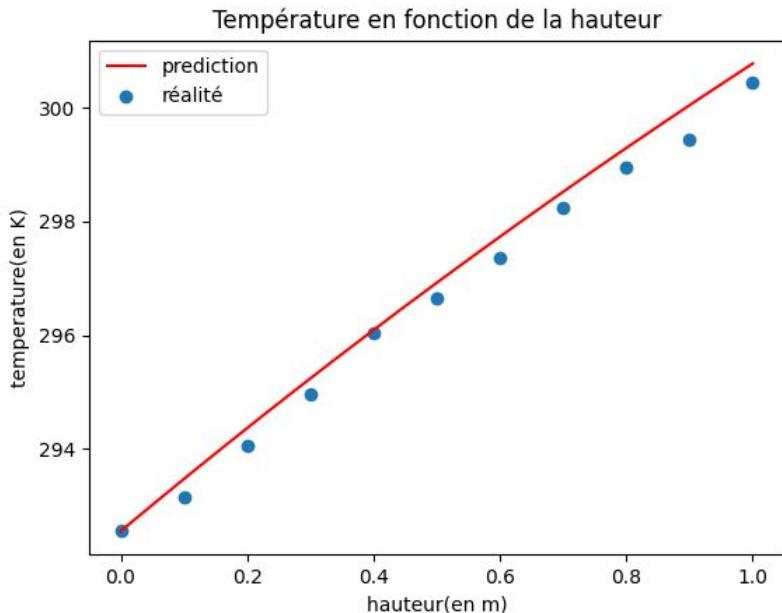
# Modélisation à l'aide d'un réseau de neurones

Estimation du nombre de mesures nécessaires pour le problème inverse

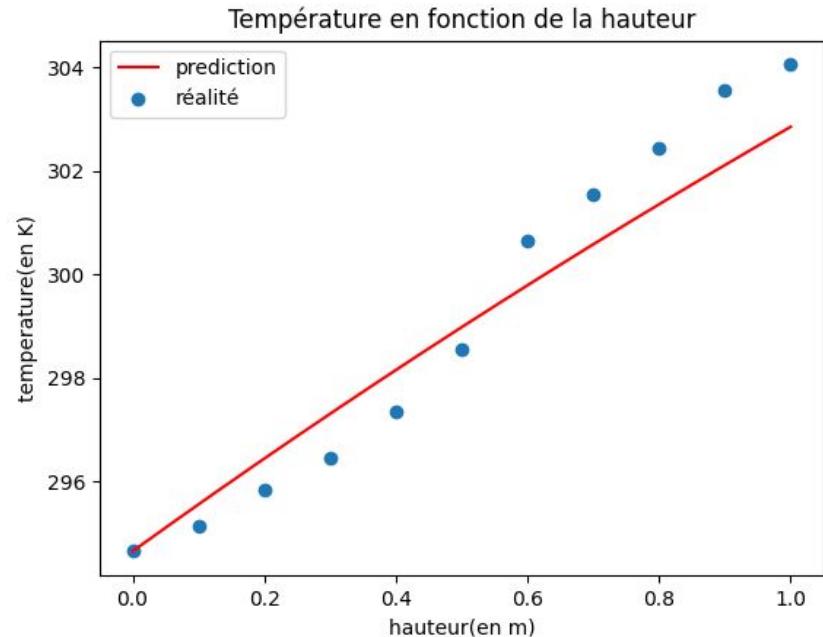


# Résultats expérimentaux

On détermine à l'aide du réseau de neurones  $h_1$  et  $h'_2$



$$P_{\text{solaire}} = 597 \text{ W/m}^2$$



$$P_{\text{solaire}} = 656 \text{ W/m}^2$$

# Écarts de modélisation

- Écart moyen entre le modèle analytico-empirique et le système réel :
  - température :  $\varepsilon = 0.4 \text{ K}$
- Écart moyen entre la simulation numérique et le système réel :
  - température :  $\varepsilon = 2.6 \text{ K}$

# Gains Énergétiques

- On obtient alors un rendement :  $\eta = 36\%$
- Gain d'énergie annuel moyen ( $0.5 \text{ m}^2$ ) : 572 kWh
- Production et transport électricité rendement de 38.5% soit 1486 kWh

# Extrapolation

- $h'_2$  indépendant des dimensions
- $h_1$  a priori invariant par élargissement
- Le rendement est donc constant par élargissement
- Un système de  $1\text{m}^2$  produirait donc suffisamment d'énergie pour chauffer seul une pièce de  $10\text{m}^2$  ( $2,5\text{m}$  de hauteur)

# Conclusion

- Un dispositif viable qui représente un bon complément
- Peu coûteux et compatible avec les enjeux environnementaux
- Limites du système

# Annexes

Détails des calculs :

La loi de Fourier et le bilan sur le bois donnent:

$$j_{\text{plaque} \rightarrow \text{bois}} = h'_{\text{2}}(T_{\text{plaque}} - T_0) \text{ avec } h'_{\text{2}} = h_2 \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{h_2 d}}\right)$$

Le bilan sur la plaque donne:

$$0 = P_s + h'_{\text{2}}(T_0 - T_{\text{plaque}}) + h_1(T_{\text{air}} - T_{\text{plaque}})$$

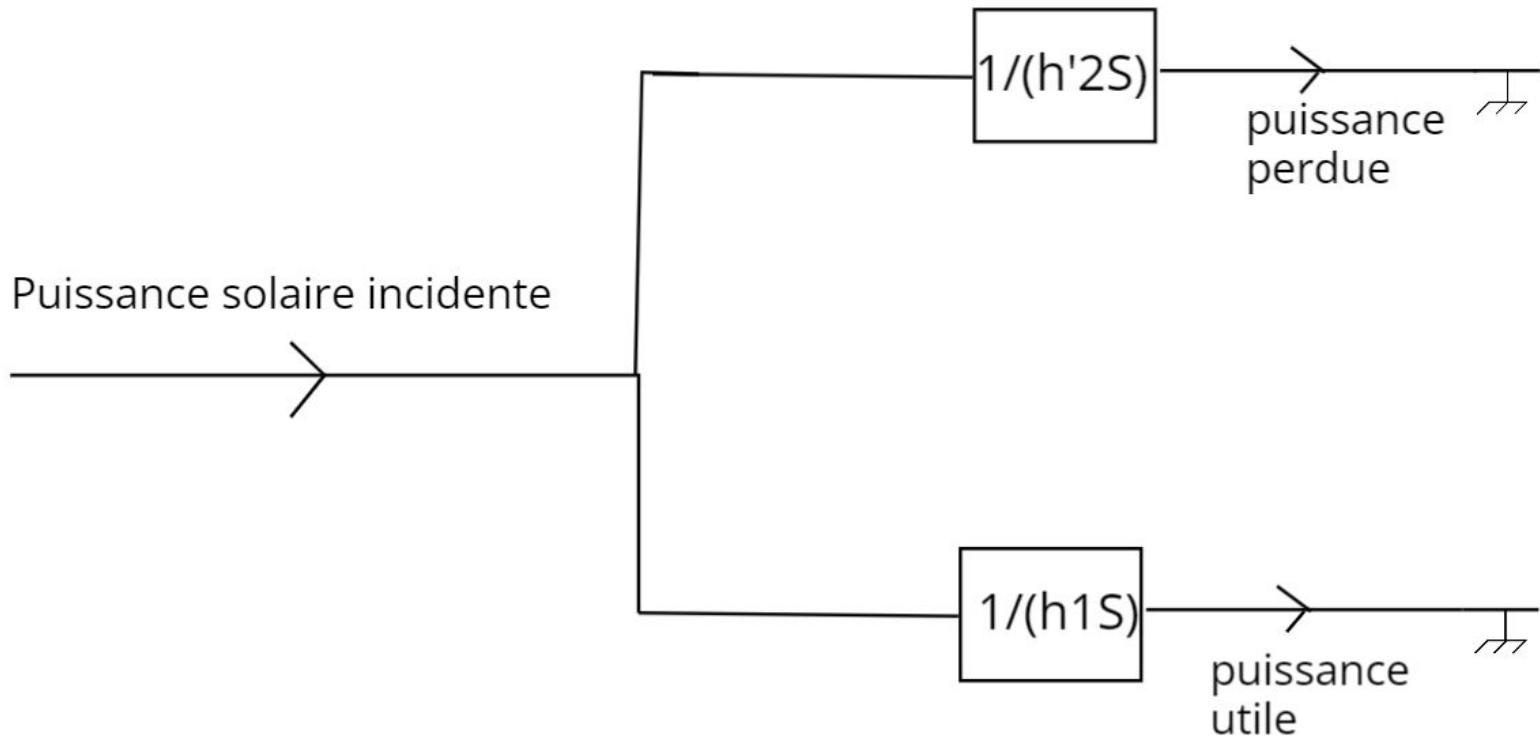
Le bilan sur l'air donne :  $D_m dh = \frac{\delta^2 Q}{dt}$  avec  $D_m = \rho v l e = \rho_0 v_0 l e$   $dh = c_p dT_{\text{air}}$

et  $\delta^2 Q = h_1(T_{\text{plaque}} - T_{\text{air}}) l dz dt$

On pose :  $\frac{1}{h_{\text{eq}}} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h'_{\text{2}}}$  et  $\delta = \frac{\rho_0 v_0 c_p e}{h_{\text{eq}}}$

# Annexes

Schéma électrique équivalent :



# Annexes

Dispositif de mesure de la puissance solaire:

- Échantillon de plomb (capacité thermique faible)
- Premier principe sur l'échantillon, en régime transitoire :  $P_s = \frac{C}{S} \frac{dT_{plaque}}{dt} + h(T_{plaque} - T_{air})$
- Mesure de la variation temporelle de température sur un temps court



# Annexes

Dispositif de modulation de la puissance solaire :

- Limiter la surface d'exposition pour limiter la puissance totale reçue par la maquette
- Plaque en aluminium, bon conducteur on considère donc une puissance uniforme



# Annexes

Matériel expérience :

Thermomètre IR



Anémomètre à fil chaud  
et thermocouple

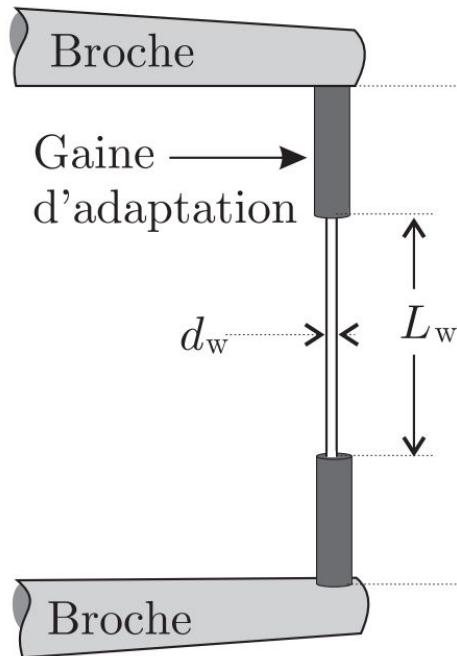


Thermomètre à sonde  
résistive



# Annexes

Anémomètre à fil chaud :



En régime permanent, on a :

$$h(T_f - T_{\text{air}})S = R i^2 \text{ et}$$

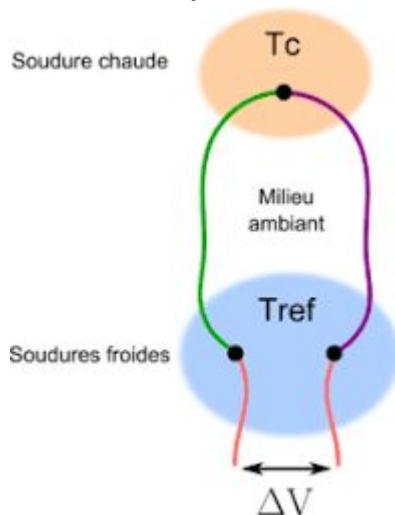
$h$  est une fonction de la vitesse du fluide

On détermine ainsi la vitesse

# Annexes

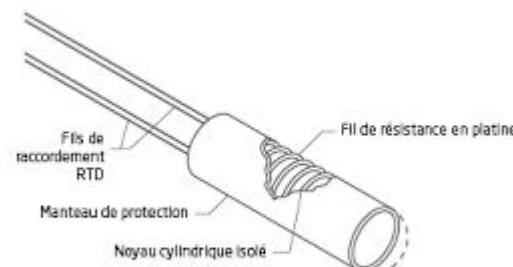
## Thermomètre thermocouple :

Différence de température entre les deux matériaux induit une tension variable de laquelle on déduit la température



## Thermomètre à sonde résistive :

Changement de température induit une variation de résistance de laquelle on déduit la température



**PR**  
electronics

# Annexes

Thermomètre à IR:



La caméra mesure le rayonnement émis par l'objet sur le modèle du corps noir

