

# TIPE: Isolation thermique des sacs de livraison

Vincent LEMBLE ( N°35616 )

Épreuve de TIPE

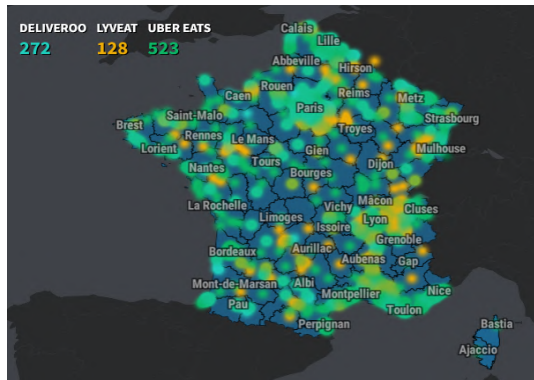
Session 2023

# Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Positionnement du modèle
- 3 Expérimentation
- 4 Conclusion

# Sujet et ancrage au thème

## Introduction



- 30 milliards dollars en 2021
- 350 millions euros de repas livrés en France en 2021

Carte des différents services de livraison en France.

Source : Le Parisien

# Problématique

## Introduction

Comment optimiser l'isolation thermique des sacs de livraison, tout en réduisant le plus possible leur coût et leur masse ?

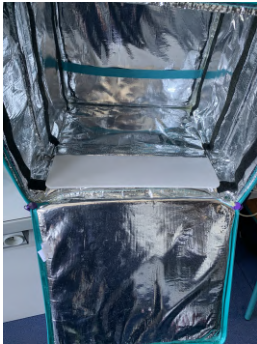
# Caractéristiques du sac

## Le sac

- coût : 90 euros
- masse : 2.6kg
- 6 faces constituées de 3 couches : aluminium, polypropylène et mousse en polyéthylène

# Caractéristiques du sac

## Le sac



Intérieur du sac.



Sac.



Panneau alvéole.

# Caractéristiques thermiques du sac

## Schéma 3D

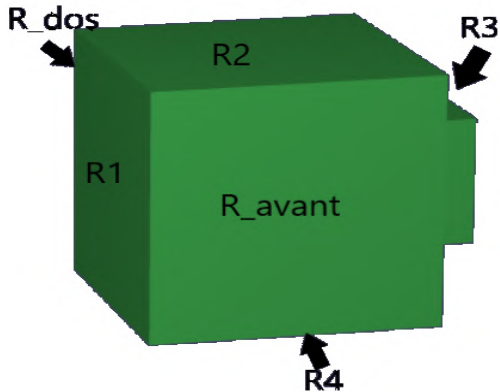


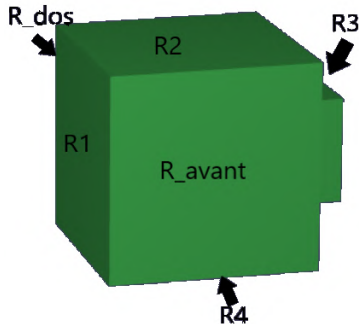
Schéma 3D représentant le sac et la résistance thermique de chaque face.

# Caractéristiques thermiques du sac

## Hypothèse sur les résistances thermiques

**Hypothèse** : les résistances thermiques des faces sont différentes.

$$R_2 \leq R_4 \leq R_{\text{avant}} \leq R_1 \leq R_3 \leq R_{\text{dos}}$$





# Caractéristiques thermiques du sac

## Les transferts thermiques

- **Rayonnement**
- **Conduction** régie par la loi de Fourier :

$$\vec{j}_{th} = -\lambda \overrightarrow{grad}T$$

- **Convection**
- **Conducto-convection** régie par la loi de Newton :

$$\vec{j}_{th} = h(T - T_{fluide})\vec{n}$$

# Caractéristiques thermiques du sac

## La résistance thermique

On a :

$$\phi = \iint_S \vec{j}_{th} \cdot d\vec{S}$$

et

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{\phi}$$

ainsi pour la conduction sur une surface plane :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$$

quant à la convection :

$$R_{th} = \frac{1}{hS}$$

# Présentation des expériences

## Expérimentation

- Validité des hypothèses
- Les résistances thermiques
- Les différents régimes
- Influence météorologique

# Expérience

## Objectif

**Objectif principal : mesurer la résistance thermique de chaque face.**

# Expérimentation

## Les équations

Loi phénoménologique :

$$C \frac{\partial T(t)}{\partial t} = \frac{T(t) - T_{ext}}{R_{th}}$$

$$\frac{\partial T(t)}{\partial t} + \frac{1}{R_{th}C} T(t) = \frac{T_{ext}}{R_{th}C}$$

Solution :

$$T(t) = T_{ext} + (T(0) - T_{ext}) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

Avec  $\tau = R_{th}C$

# Expérimentation

## Régression linéaire

On a vu que la courbe de la température est définie par :

$$T(t) = T_{ext} + (T(0) - T_{ext}) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

On a donc :

$$-\ln\left(\frac{T(t) - T_{ext}}{T(0) - T_{ext}}\right)\tau = t$$

On trace  $t$  en fonction de  $-\ln\left(\frac{T(t) - T_{ext}}{T(0) - T_{ext}}\right)$

Soit  $\tau$  le coefficient directeur de la régression linéaire.

On obtient :  $\boxed{R_{th} = \frac{\tau}{C}}$

# Expérimentation

## Hypothèse et première expérience

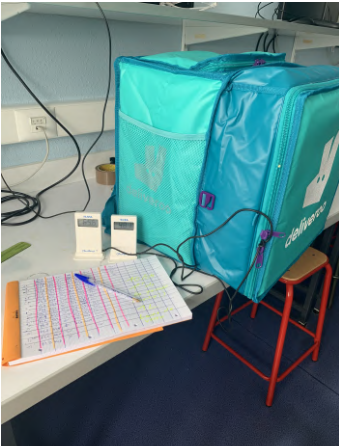


- **Hypothèse** : en présence de laine de verre la majorité des transferts thermiques se font par la face non isolée.

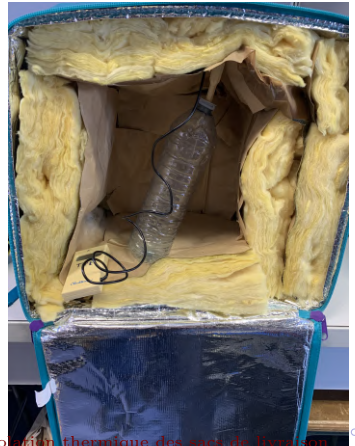
Première expérience : mesurer le temps caractéristique avec et sans isolation.

# Mesure des résistance thermique

## Déroulement expérience



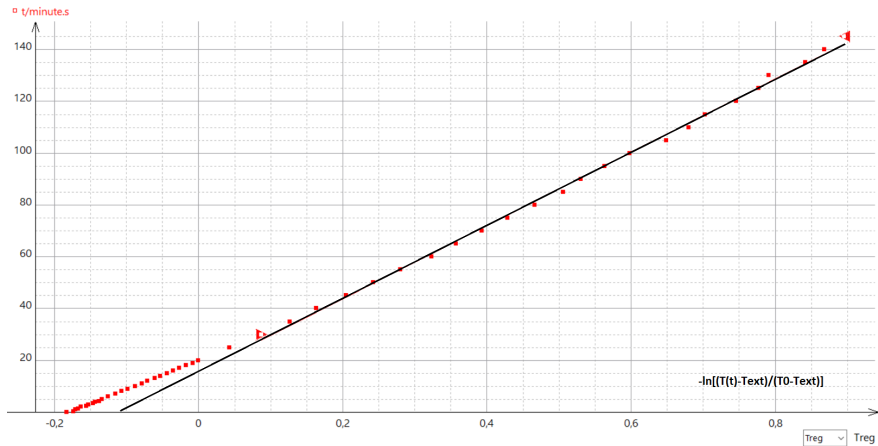
Vincent LEMBLE ( N°35616 )





# Premiers résultats

## Validation de l'hypothèse



Régression linéaire de la température pour le sac sans isolation.

# Premiers résultats

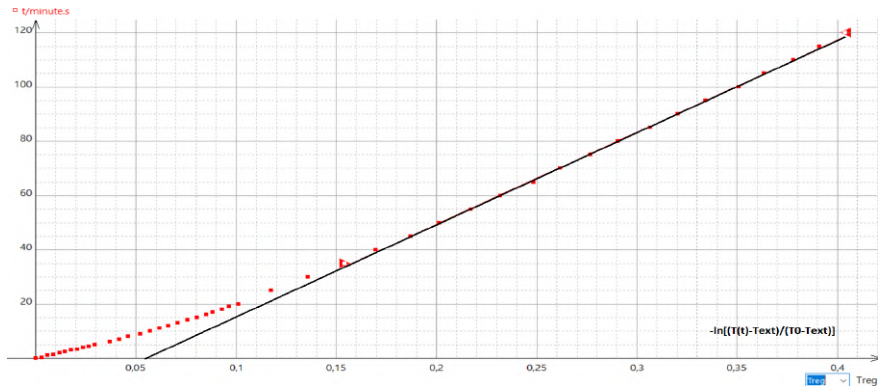
## Validation de l'hypothèse

On obtient :

$$\tau_{\text{sans isolation}} = 84 \pm 1 \text{min}$$

# Premiers résultats

## Validation de l'hypothèse



Régression linéaire de la température pour le sac totalement isolé de laine de verre.

# Premiers résultats

## Validation de l'hypothèse

On obtient :

$$\tau_{\text{avec isolation}} = 340 \pm 5 \text{min}$$

# Premiers résultats

## Conclusion

On obtient :

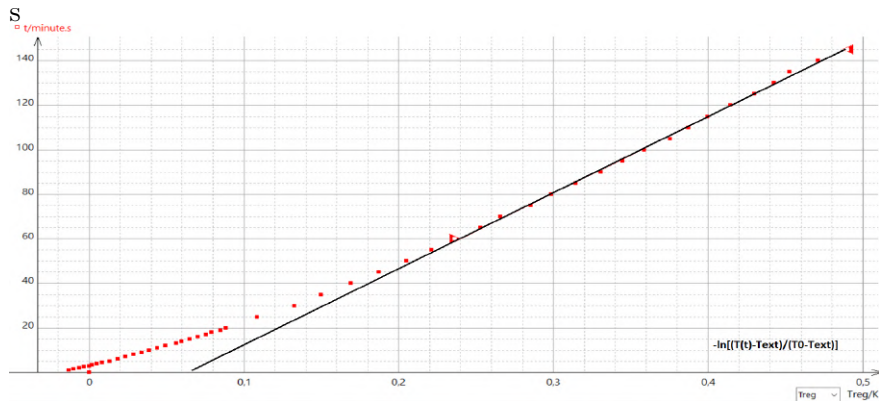
$$\frac{\tau_{\text{avec isolation}}}{\tau_{\text{sans isolation}}} \approx 4$$

**Hypothèse** : en présence de laine de verre la majorité des transferts thermiques se font par la face non isolée. ✓

Prochaine expérience : mesurer la résistance thermique de chaque face.

# Mesure des résistances thermique

## Courbe température



Régression linéaire de la température pour la face avant non isolée.

# Mesure des résistances thermiques

## Résultat

On obtient

$$\tau = 255 \pm 7min$$

Ainsi

$$R_{avant} = 0,061 \pm 0.003K.W^{-1}$$

# Mesure des résistances thermiques

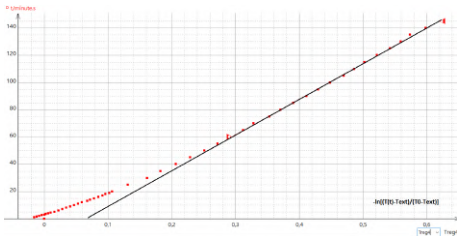
Face du dos





# Mesure des résistances thermiques

## La face du dos



Régression linéaire de la face du dos non isolée.

Pour la face du dos

On obtient

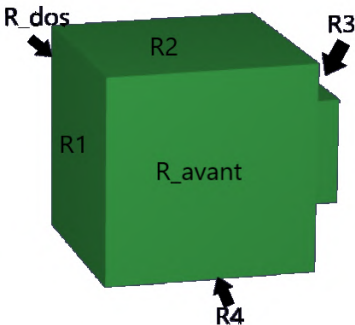
$$\tau = 301 \pm 4 \text{ min}$$

Ainsi

$$R_{dos} = 0,072 \pm 0.002 \text{ K.W}^{-1}$$

# Mesure des résistances thermiques

Récapitulatif de toutes les faces



$$R_3 = 0,075 \pm 0.003 K.W^{-1}$$

$$R_{dos} = 0,072 \pm 0.002 K.W^{-1}$$

$$R_1 = 0,065 \pm 0.003 K.W^{-1}$$

$$R_{avant} = 0,061 \pm 0.003 K.W^{-1}$$

$$R_2 = 0,060 \pm 0.002 K.W^{-1}$$

$$R_4 = 0,058 \pm 0.002 K.W^{-1}$$

Schéma 3D représentant le sac et la résistance thermique de chaque face.

# Mesure des résistances thermiques

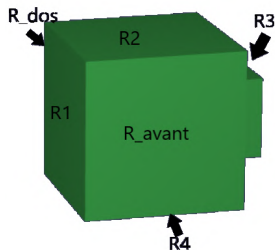
## Validation hypothèse et conclusion

### Conclusion :

On avait supposé que les résistances thermiques n'étaient pas égales et que :

$$R_2 \leq R_4 \leq R_{avant} \leq R_1 \leq R_3 \leq R_{dos}$$

On obtient :  $R_4 \leq R_2 \leq R_{avant} \leq R_1 \leq R_{dos} \leq R_3$



# Augmenter la résistance thermique

## Les différents matériaux

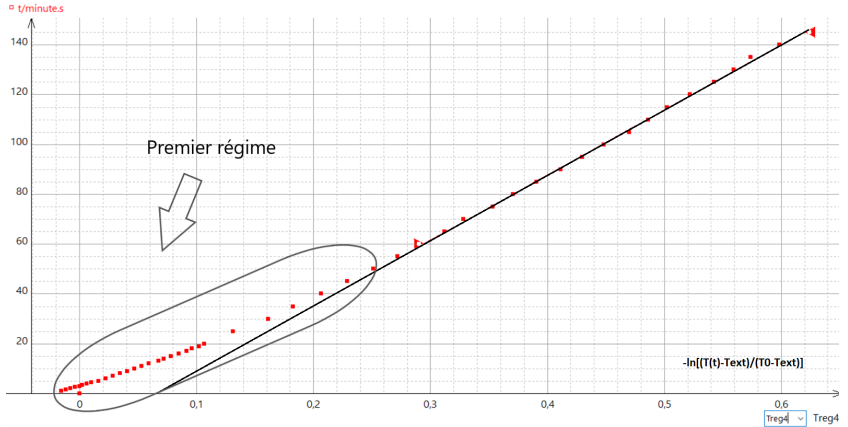
matériau	$R_{th,surfacique}$	masse volumique	prix
PPE	$0,27 \text{ m}^2.K.W^{-1}$	$10 \text{ kg.m}^{-3}$	$61,82 \text{ €}.\text{m}^{-2}$
fibre bois	$0,20\text{m}^2.K.W^{-1}$	$200\text{kg.m}^{-3}$	$27,86 \text{ €}.\text{m}^{-2}$
laine de coton recyclé	$0,24 \text{ m}^2.K.W^{-1}$	$30\text{kg.m}^{-3}$	$21,53 \text{ €}.\text{m}^{-2}$
laine de lin recyclé	$0,23 \text{ m}^2.K.W^{-1}$	$28\text{kg.m}^{-3}$	$16,44 \text{ €}.\text{m}^{-2}$
laine de verre	$0,26 \text{ m}^2.K.W^{-1}$	$22\text{kg.m}^{-3}$	$14,21 \text{ €}.\text{m}^{-2}$

A épaisseur fixée  $e=1\text{cm}$

Remerciements à Leroy Merlin Mondeville , au laboratoire MATELYS et l'entreprise NORAFIN.

# Constat de deux régimes

## Identification



Régression linéaire de la face du dos non isolée.

# Régime premier

## Conséquence

Plus de matériaux isolants  $\Rightarrow$  régime transitoire plus important.

Objectif : mesurer l'impact sur une pizza

# Capacité thermique d'une pizza

## Expérimentation



Vincent LEMBLE ( N°35616 )



## Calorimétrie.

TIPE Isolation thermique des sacs de livraison

# Capacité thermique d'une pizza

## Expérimentation

D'après le **premier principe de la thermodynamique** :

$$C_{calorimetre} = \frac{m_{eau2}C_{eau}(T_2 - T_f)}{T_f - T_i} - m_{eau1}C_{eau}$$

De même :

$$C_{pizza} = - \frac{(m_{eau}C_{eau} + C_{calorimetre})(T_f - T_{chaud})}{m_{pizza}(T_f - T_{froid})}$$



# Capacité thermique d'une pizza

## Expérimentation

On obtient expérimentalement :

$$C_{\text{calorimetre}} = 113 \pm 8 J.K^{-1}$$

$$C_{\text{pizza}} = 602 \pm 27 J.K^{-1}$$

# Masse d'eau

## Expérimentation

Masse d'eau équivalente :

$$C_{pizza} = C_{PET}m_{PET} + C_{eau}m_{eau}$$

Ce qui donne :

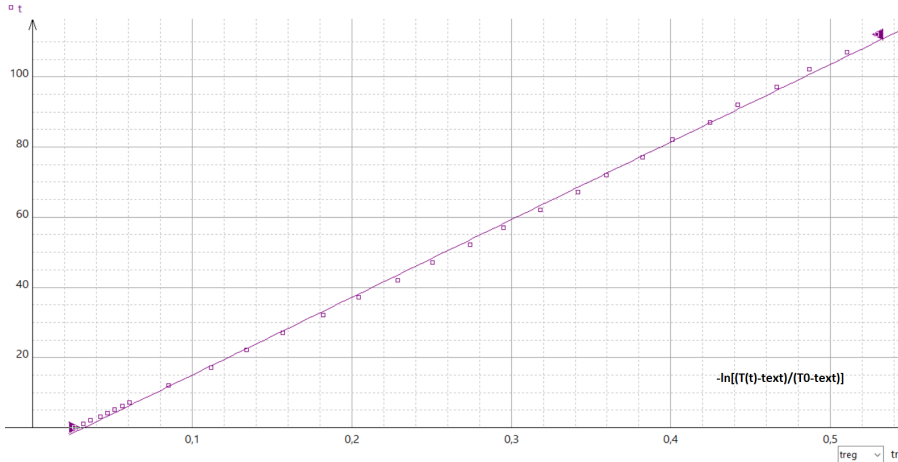
$$m_{eau} = \frac{C_{pizza} - C_{PET}m_{PET}}{C_{eau}}$$

Donc :  $m_{eau} = 134 \pm 6g$

PET=Polytéréphtalate d'éthylène

# Refroidissement de la pizza

## Avec une heure de préchauffe

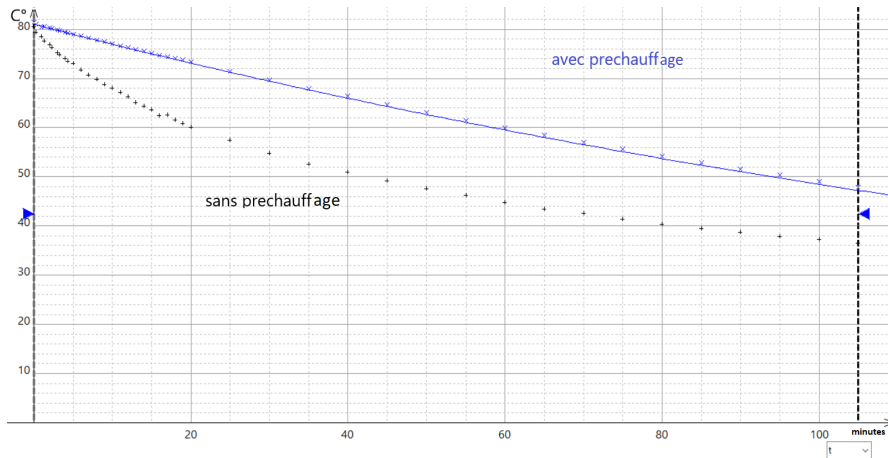


Régression linéaire avec préchauffe du sac

Thème isolation thermique des sacs de livraison

# Refroidissement de la pizza

## Expérimentation



Courbe de la température de la masse d'eau équivalente avec et sans préchauffe.

TIPE Isolation thermique des sacs de livraison

# Refroidissement de la pizza

## Conclusion

- Deux types de régimes.
- Importance de préchauffer le sac, pour préserver les pizzas lors des premières livraisons surtout s'il y a un ajout de matériaux.

# Influence météorologique

La résistance thermique lorsqu'il y a du vent.

Lors du déplacement du livreur il y a un mouvement d'air sur les faces du sacs.

Objectif :  
mesurer l'impact de la conducto-convection sur la résistance thermique.

# Influence météorologique

## Mise en place de l'expérience



Vincent LEMBLE ( N°35616 )

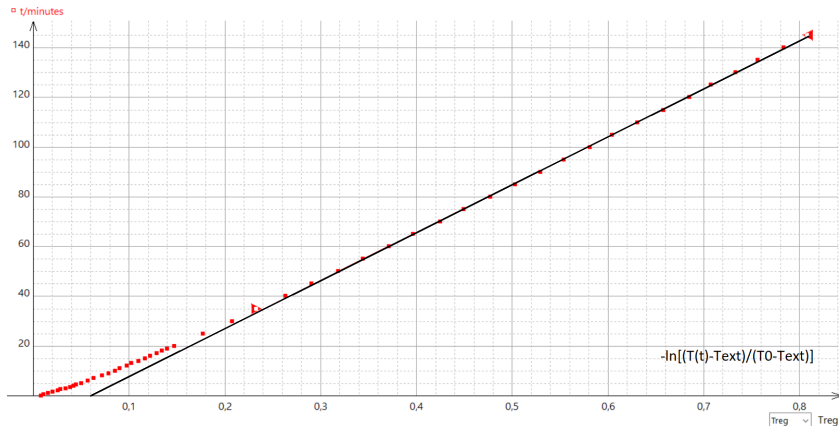


TYPE Isolation thermique des sacs de livraison



# Influence météorologique

## Résultat



Régression linéaire de la température avec un vent à 5.6m/s



# Influence météorologique

## Résultat

On obtient pour une vitesse de vent de  $5,6\text{m.s}^{-1}$  :

$$R_{avant,vent} = 0,046 \pm 0,005 K.W^{-1}$$

Or on avait eu sans vent :

$$R_{avant} = 0,061 \pm 0,003 K.W^{-1}$$

# Conclusion

- Caractère non isotrope des différentes faces.
- Préchauffer le sac.
- Le vent diminue la résistance thermique  $\Rightarrow$  bacher le sac.
- Limite du modèle : emballage.

## ouverture

- Mesures avec emballage.
- Mesurer l'influence du rayonnement.
- Caractère non isotrope de la conducto-convection ?
- Comparer les matériaux sous d'autres facteurs : résistance mécanique...

# Annexe

## Conducto-convection

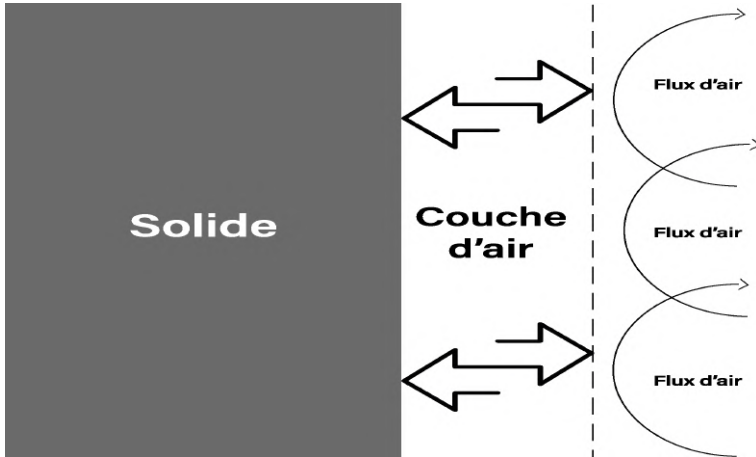


Schéma de la conducto-convection

# Annexe

## Les lois

Loi de Stefan-Boltzmann :

$$\vec{j}_{th} = T^4 \epsilon \sigma \vec{n}$$

Diffusion advectio-convection de chaleur :

$$\vec{j}_{th} = -\lambda \overrightarrow{grad}T + \rho c_p T \overrightarrow{v_{fluide}}$$