

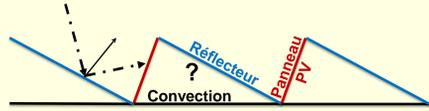
# Ecoulements laminaires de convection naturelle en cavités triangulaires

Marie-Christine Duluc <sup>(1,2\*)</sup>, Stéphanie Pellerin <sup>(1,3)</sup>, Vincent Bourdin <sup>(1)</sup>



## Expérience ALEPH

SIRTA Ecole Polytechnique Palaiseau



Production électrique annuelle des panneaux solaires accrue de 20% grâce aux réflecteurs

## CONTEXTE ET OBJECTIFS

Rendement des panneaux PV  $\nabla$   
quand température des panneaux  $\nearrow$

Thermique dans la cavité, notamment la convection ( $h$ ) ?

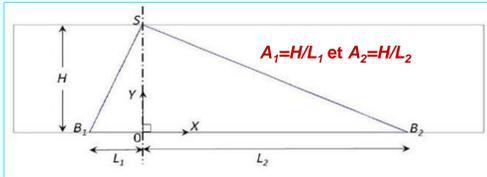
- $T_{\text{équilibre}}$  des panneaux photovoltaïques
- Valorisation de la chaleur stockée dans la cavité ?

**Convection naturelle dans une cavité scalène ?**  
Etude et résultats préliminaires

## ETUDE

Cavité 2D : triangle scalène contenant de l'air ( $A_1=H/L_1$  et  $A_2=H/L_2$ ),  
Convection naturelle : hypothèse de Boussinesq  
Conditions aux limites de type Dirichlet en parois  
(Configuration **hiver**)

Adimensionnement (idem ref [1])



$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{H} & y &= \frac{Y}{H} & t' &= \frac{t}{H^2/\nu} \\ u &= \frac{U}{\nu/H} & v &= \frac{V}{\nu/H} \\ \Theta &= \frac{T - T_c}{T_h - T_c} \\ Pr &= \frac{\mu c_p}{k} & Gr &= \frac{g\beta(T - T_c)H^3}{\nu^2} \end{aligned}$$

C.L.  $\begin{cases} u = v = 0 \\ T(B_1S) = T(SB_2) = T_c = 0 \\ T(B_1B_2) = T_h = 1 \end{cases}$

C.I.  $\begin{cases} u = v = 0 \\ Gr = 0 \\ T(B_1S) = T(SB_2) = T_c = 0 \\ T(B_1B_2) = T_h = 1 \end{cases}$

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + Gr\Theta \\ \frac{\partial \Theta}{\partial t} + u \frac{\partial \Theta}{\partial x} + v \frac{\partial \Theta}{\partial y} = \frac{1}{Pr} \left( \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} \right) \end{cases}$$

## MOYENS

Simulations numériques 2D, stationnaires et instationnaires  
Code COMSOL Multiphysics®

$Pr=0,71$   $10^5 < Gr < 10^8$

2 cavités symétriques ( $H=1$ ) :

- 1  $A_1=A_2=0,5$  (validation avec littérature [1])
- 2  $A_1=A_2=2,25$

1 cavité scalène rectangle ( $H=1$ ) :

- 3  $A_1=2,25 ; A_2=0,45$  (ALEPH)

[1] Hotzmann et al. *Laminar Natural Convection in Isoceles Triangular Enclosures Heated from Below and Symmetrically cooled From above*, J. Heat Transfer (36), 2000, pp.485-491

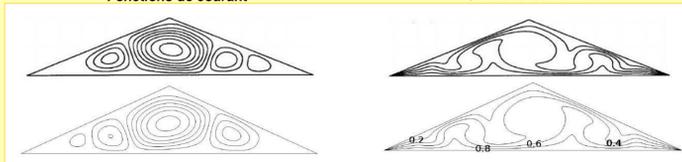
## RESULTATS ET DISCUSSION

1

Cavité 1 :  $A=0,5$  et cas-test de validation [1]  
 $Pr=0,71$   $Gr=10^5$

Fonctions de courant

Surfaces isothermes



Bifurcation fourche supercritique pour  $Gr_c > 8900$   
Cellules secondaires et panaches thermiques

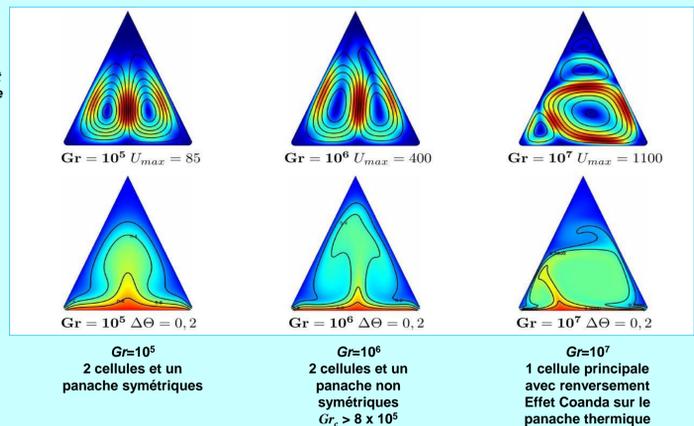
2

Cavité 2 :  $A=2,25$   
 $Pr=0,71$   $Gr=10^5, 10^6, 10^7$

Fonctions de courant et norme de la vitesse

Surfaces isothermes

Etats stationnaires S.N. instationnaires

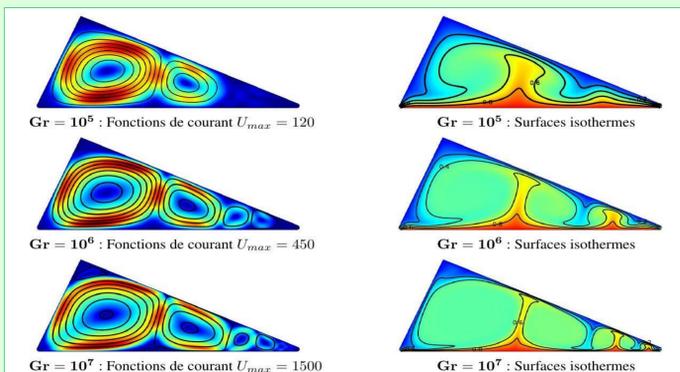


3

Cavité scalène :  $A_1=2,25$   $A_2=0,5$   
 $Pr=0,71$   $Gr=10^5, 10^6, 10^7$

Fonctions de courant et norme de la vitesse

Surfaces isothermes



Une cellule principale due à  $A_2$   
 $Gr \nearrow$   
Apparition de cellules secondaires induites par  $A_1$   
Panaches thermiques ascendants et descendants  
 $Nu \nearrow$

1 2 3

Nusselt moyen sur la paroi inférieure  $\langle Nu \rangle = \frac{1}{L_1 + L_2} \int_{L_1}^{L_1+L_2} q''_w(x, t_{ss}) dx$

	$Gr$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$
1	Nu[Cavité symétrique $A_1 = 0,5$ ]	0,98	1,2	2,19	-	-
2	Nu[Cavité symétrique $A_1 = 2,25$ ]	1	1	1,46	2,5	4
3	Nu[Cavité non symétrique]	1	1,13	1,88	3,52	5,73

## PERSPECTIVES

$\rightarrow$  vers application ALEPH

- Autres conditions aux limites
- Rayonnement
- Ecoulement de convection externe
- Ouvertures ; effet cheminée
- Simulations 3D



(1) LIMSI-CNRS, Université Paris-Saclay, Campus Universitaire 91405 Orsay

(2) CNAM, 75003 Paris

(3) LIMSI-CNRS, Université Paris-Sud, Université Paris-Saclay, Campus Universitaire 91405 Orsay