

Écoulement de Poiseuille stratifié en température

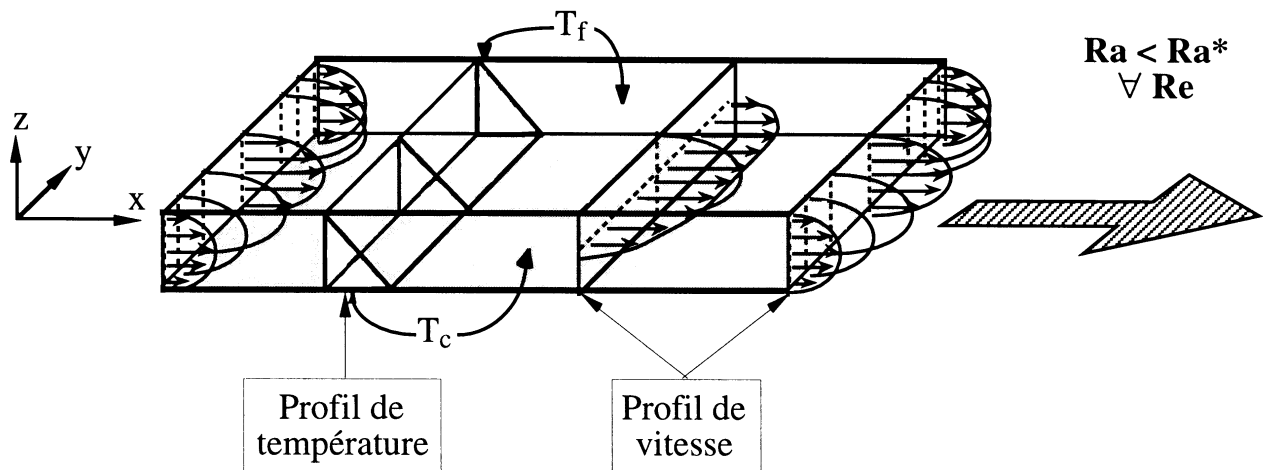


Figure 1 : Écoulement de Poiseuille purement conductif : écoulement de base dans les études de stabilité linéaire temporelle.

Figure 1 : Purely conductive Poiseuille flow : basic flow of the temporal linear stability studies.

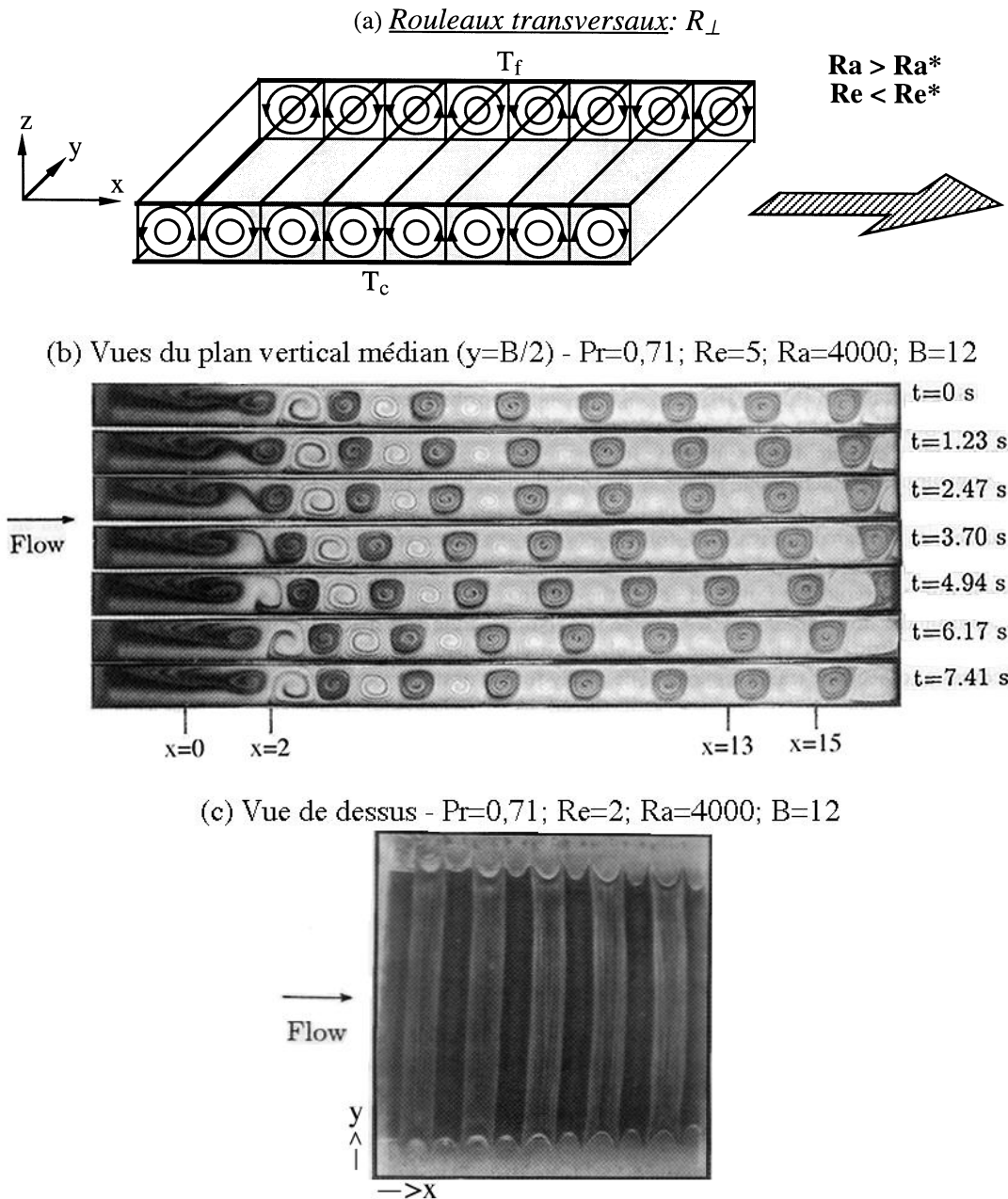


Figure 2: Écoulement de rouleaux transversaux : (a) Représentation schématique (la zone d'établissement et l'effet des bords verticaux sur la forme des rouleaux ne sont pas représentés) ; (b) Défilement de R_{\perp} dans l'air visualisés par une série de 7 photographies; début de la zone chauffée en $x=0$; pour $x \leq 2$, entrée thermique et zone d'établissement des R_{\perp} ; pour $x > 2$, écoulement de R_{\perp} pleinement développés ; (c) 11 R_{\perp} vus de dessus ((b) et (c) sont tirés de Yu et al. (1997) [128]).

Figure 2: Transversal roll flow : (a) Schematic representation (the entrance zone and the lateral wall effect on the shape of the rolls are not shown); (b) Series of 7 photos showing the scrolling of the R_{\perp} in an air flow; start of the heating zone at $x=0$; for $x \leq 2$, thermal entrance and zone of the establishment of the R_{\perp} ; for $x > 2$, fully developed R_{\perp} ; (c) top view of 11 R_{\perp} ((b) and (c) are extracted from Yu et al. (1997) [128]).

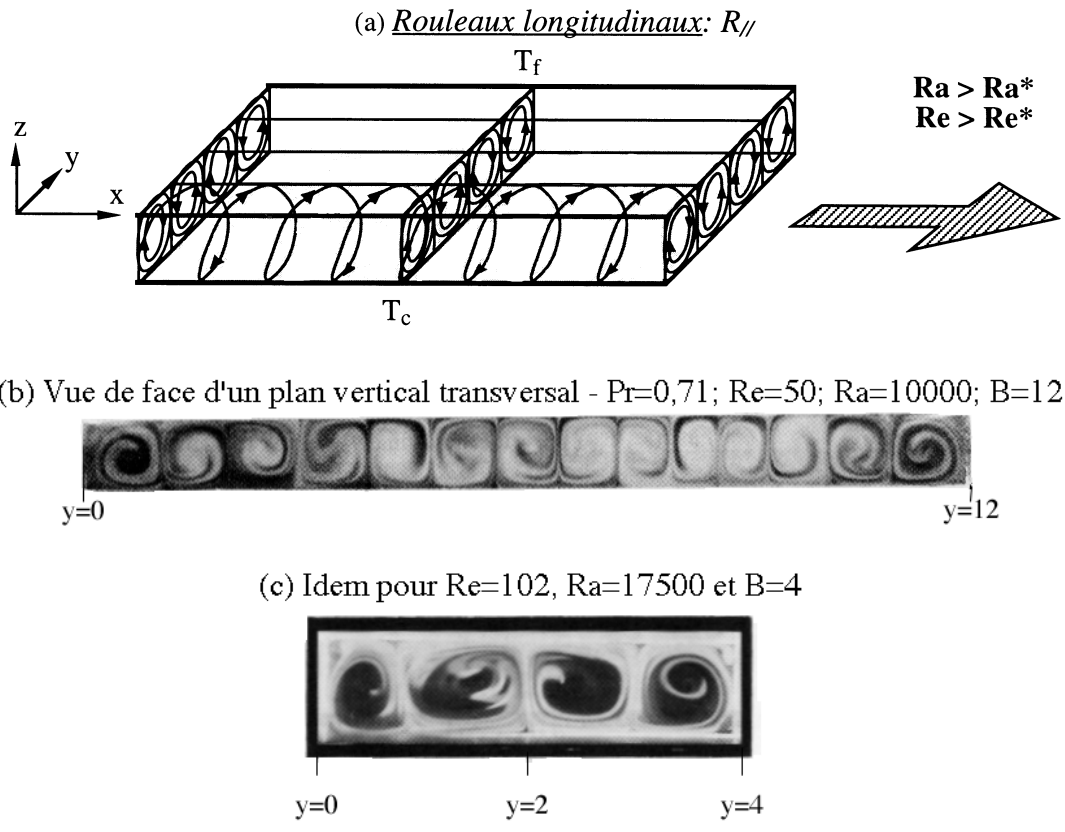
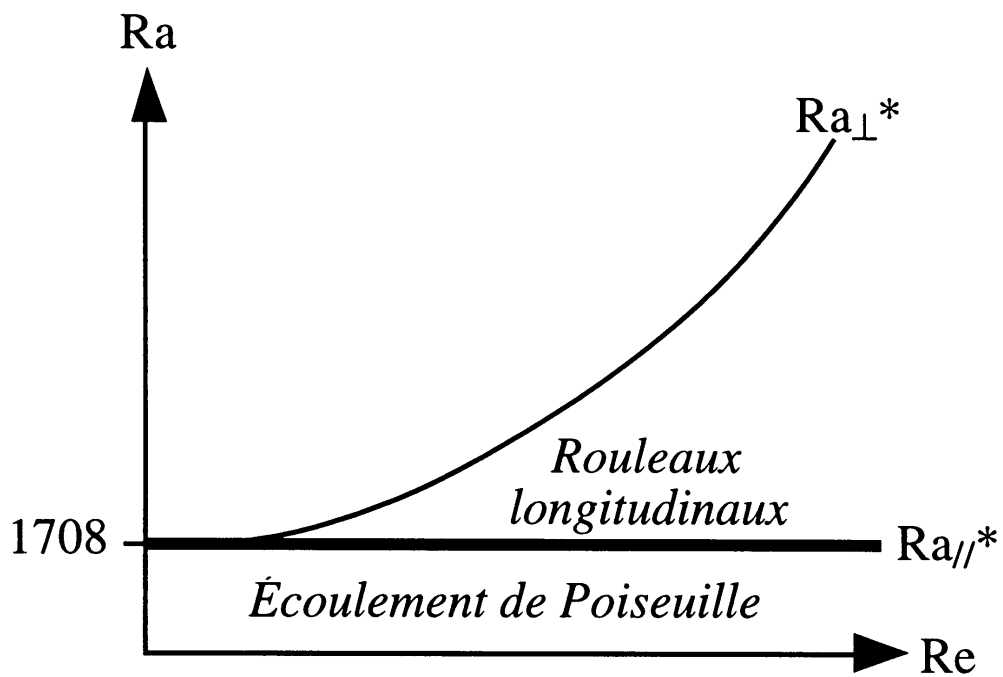


Figure 3: Écoulements de rouleaux longitudinaux pleinement établis : (a) Représentation schématique (l'effet des bords verticaux sur la forme des rouleaux n'est pas représenté) ; (b) Cas de 14 $R_{//}$ dans un écoulement d'air pour $B=l/h=12$ (tiré de Yu et al. (1997) [73]); (c) Cas de 4 $R_{//}$ pour $B=l/h=4$ (tiré de Lin et al. (1996) [125]).

Figure 3: Fully established longitudinal roll flow : (a) Schematic representation (the lateral wall effect on the shape of the rolls is not shown) ; (b) Case of 14 $R_{//}$ in an air flow for $B=l/h=12$ (extracted from Yu et al. (1997) [73]) ; (c) Case of 4 $R_{//}$ for $B=l/h=4$ (extracted from Lin et al. (1996) [125]).

Conduite d'extension latérale infinie ($B=l/h=\infty$)



————— $Ra^* = \min(Ra_{\perp}^*, Ra_{//}^*) = Ra_{//}^* = 1708$

Figure 4 : Diagramme de stabilité linéaire temporelle de l'écoulement de PRB entre deux plaques horizontales infinies.

Figure 4: Temporal linear stability diagram of the PRB flow between two infinite horizontal walls.

Conduite d'extension latérale finie

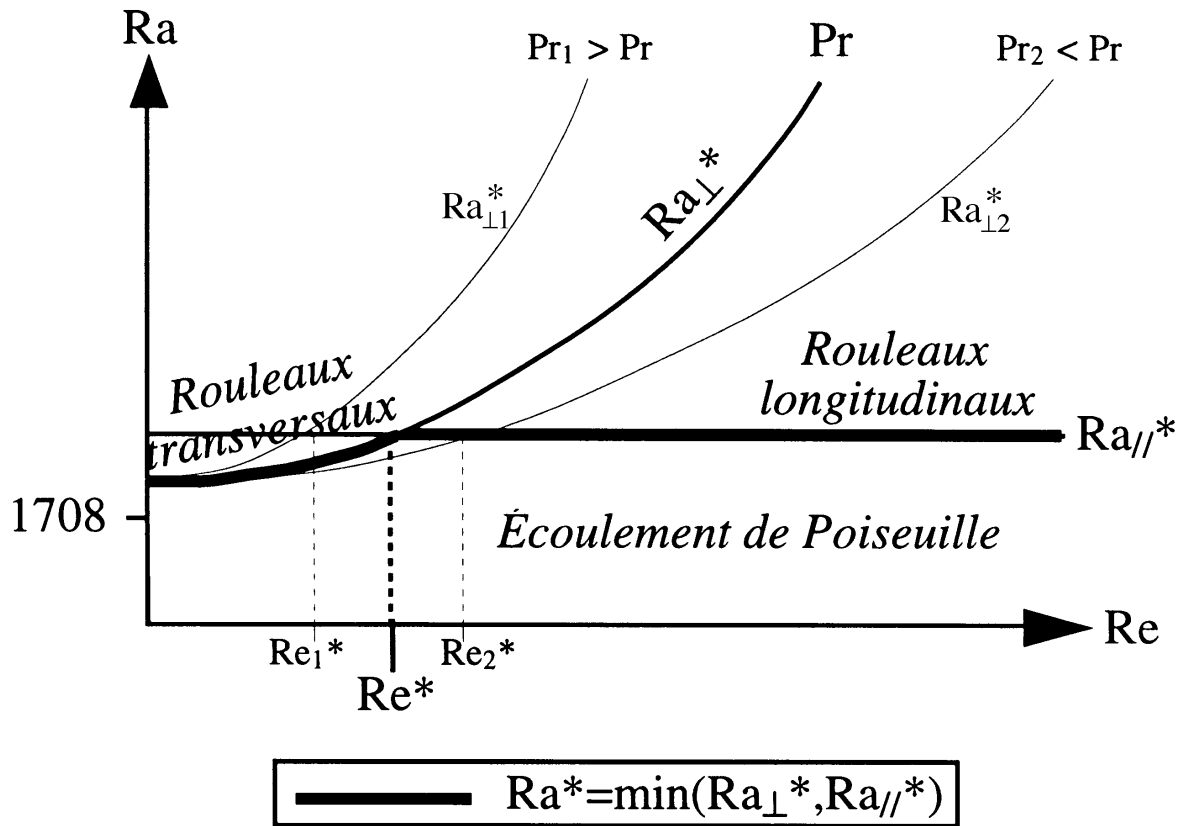


Figure 5: Diagramme de stabilité linéaire temporelle de l'écoulement de PRB pour une conduite d'extension latérale finie (extrait de Nicolas et al. (2000) [53] d'après un graphe de Luijkx et al. (1981) [66]).

Figure 5: Temporal linear stability diagram of the PRB flow for a finite lateral extension duct (extracted from Nicolas et al. (2000) [53] adapted from a graph of Luijkx et al. (1981) [66]).

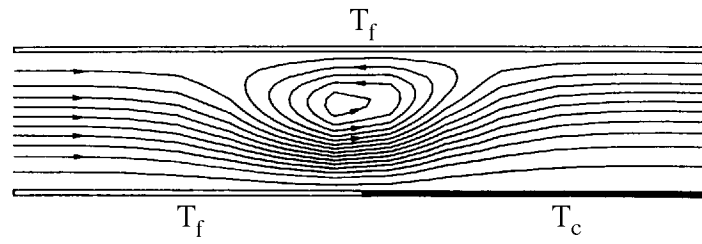
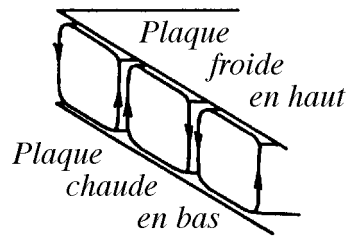
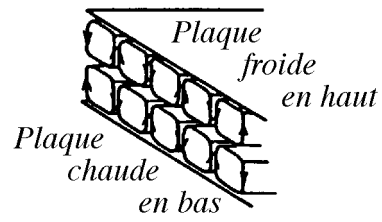


Figure 6 : Simulation numérique 2D de la cellule transversale stationnaire située juste au-dessus de l'entrée sur la plaque chauffée à $Re=2,1$, $Ra=770$ et $Pr=0,7$ (tiré de Visser et al. (1989) [16]).
Figure 6 : 2D numerical simulation of the steady transversal roll located just above the beginning of the heated wall at $Re=2.1$, $Ra=770$ and $Pr=0.7$ (extracted from Visser et al. (1989) [16]).



Rouleaux longitudinaux
de 1ère espèce
 $Ra^*_{//1}=1708$



Rouleaux longitudinaux
de 2ème espèce
 $Ra^*_{//2}=18352$

Figure 7 : Rouleaux longitudinaux de première et de deuxième espèce selon Mori et Uchida (1966) [57]
(tiré de [57]).

Figure 7 : First type and second type longitudinal rolls according to Mori and Uchida (1966) [57]
(extracted from [57]).

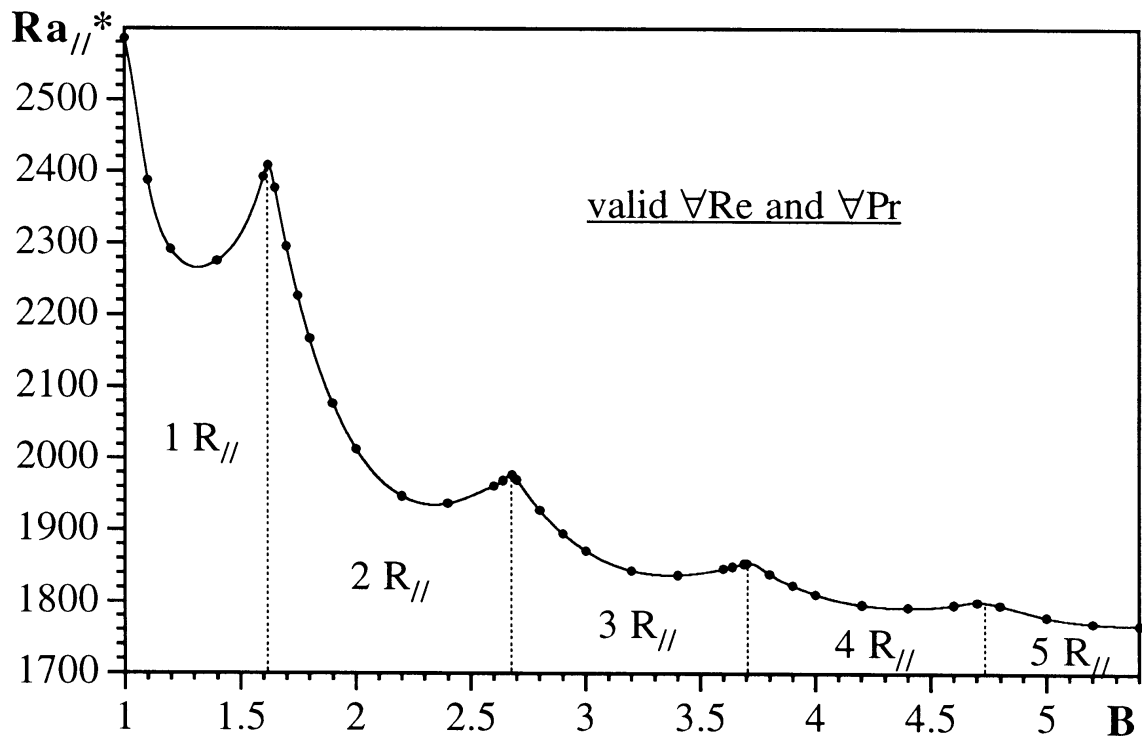


Figure 8 : Nombre de Rayleigh critique d'apparition des $R_{//}$ en fonction de l'allongement transversal B , et nombre de $R_{//}$ apparaissant au-dessus du seuil de transition, d'après une analyse de la stabilité linéaire temporelle de l'écoulement de Poiseuille purement conductif (tiré de Nicolas et al. (2000) [53]).

Figure 8 : Critical Rayleigh number for the $R_{//}$ as a function of the transversal aspect ratio B , and number of $R_{//}$ appearing just above the critical point, according to the temporal linear stability analysis of the purely conductive Poiseuille flow (extracted from Nicolas et al. (2000) [53]).

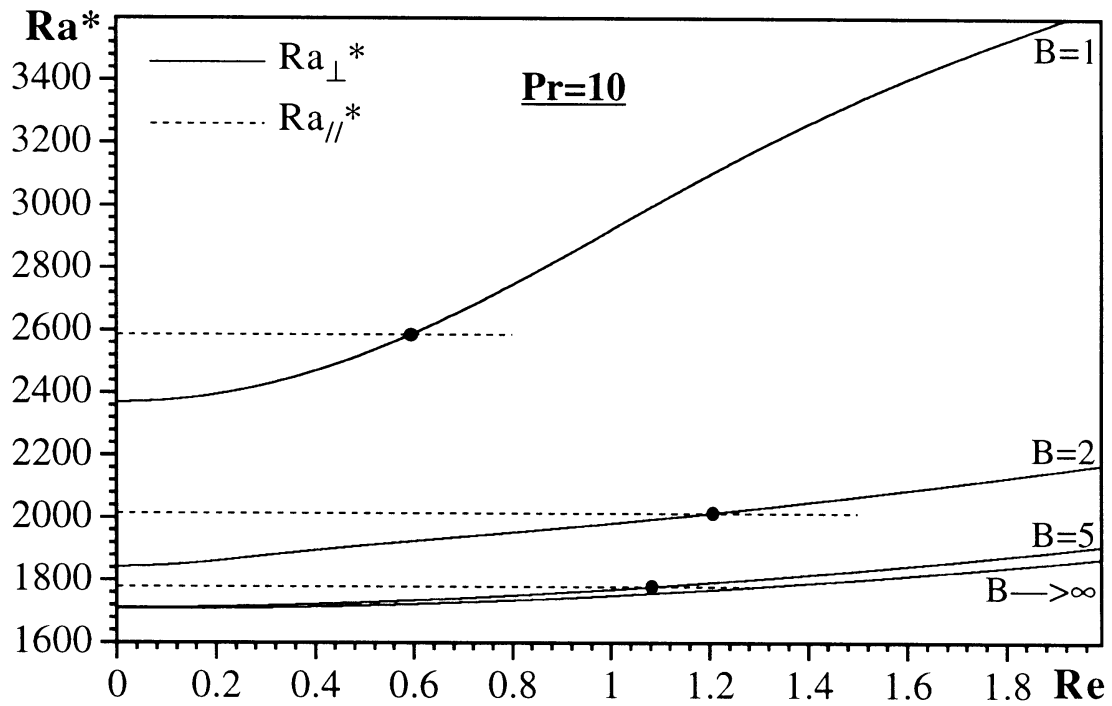


Figure 9 : Nombres de Rayleigh critiques d'apparition des R_{\perp} et des $R_{//}$ en fonction de Re , à $Pr=10$, pour plusieurs allongements transversaux B de la conduite. Les points d'intersection donnent les valeurs correspondantes de Re^* sur l'axe des abscisses (tiré de Nicolas et al. (2000) [53]).

Figure 9 : Critical Rayleigh numbers for the R_{\perp} and the $R_{//}$ as a function of Re , at $Pr=10$, for several transversal aspect ratios B of the duct. The intersection points give the corresponding values of Re^* on the abscissa axis (extracted from Nicolas et al. (2000) [53]).

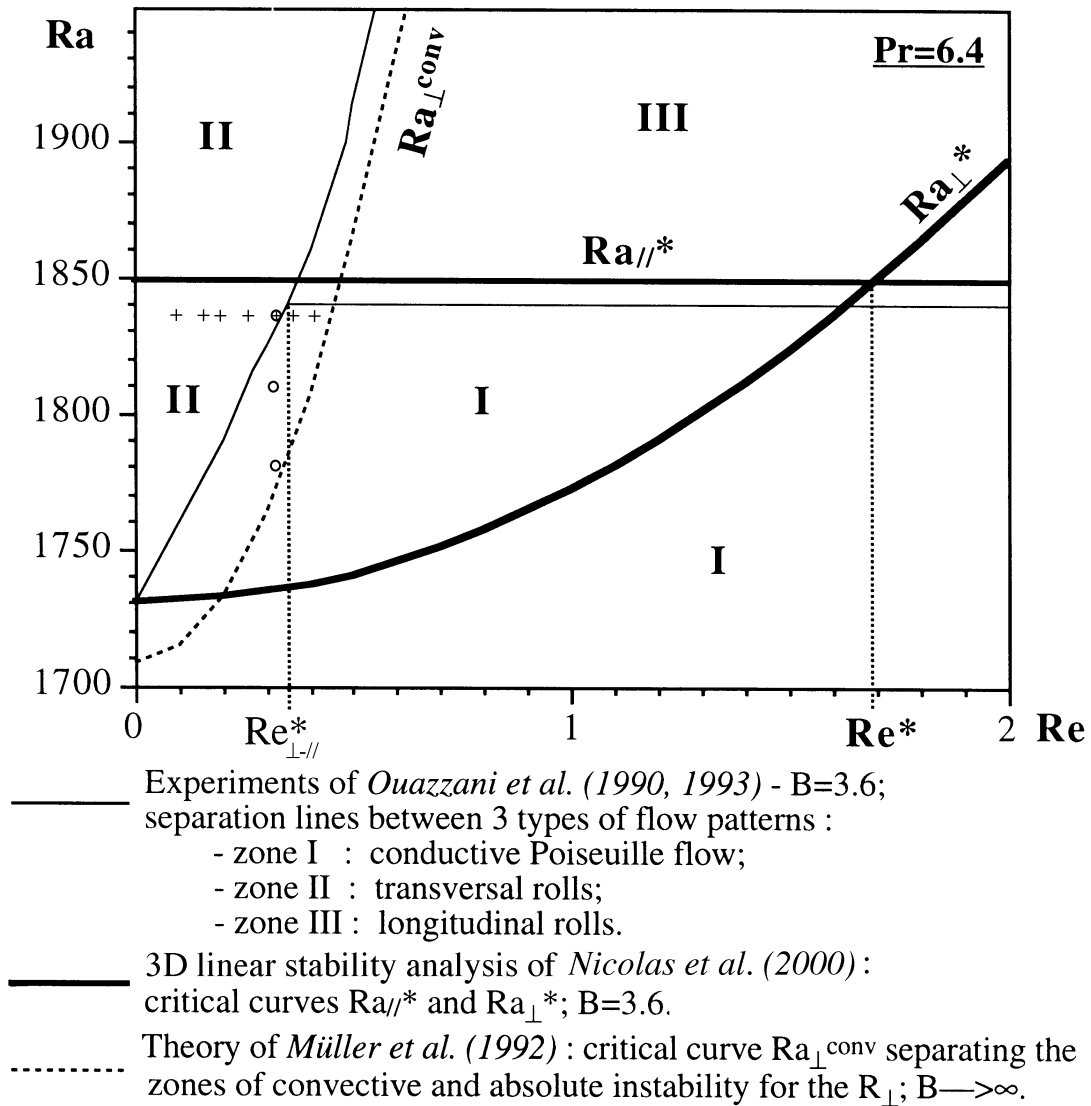


Figure 10 : Comparaisons, à Pr=6,4 , entre (i) le diagramme de stabilité déterminé expérimentalement par Ouazzani et al. (1990, 1993) [32, 100], (ii) les courbes Ra_{//}*(Re) et Ra_⊥*(Re) calculées par analyse de stabilité linéaire temporelle par Luijkx (1983) [52] et Nicolas et al. (2000) [53], et (iii) la courbe de transition entre les R_⊥ convectivement et absolument instables calculée par Müller et al. (1992) [68] pour un écoulement de PRB 2D. Les symboles ○ et + correspondent aux calculs de la figure 17 (extrait de Nicolas et al. (2000) [53]).

Figure 10 : Comparisons, at Pr=6.4, between (i) the stability diagram determined experimentally by Ouazzani et al. (1990, 1993) [32, 100], (ii) the curves Ra_{//}*(Re) and Ra_⊥*(Re) computed by temporal linear stability analysis by Luijkx (1983) [52] and Nicolas et al. (2000) [53], and (iii) the transition curve between the convectively and absolutely unstable R_⊥ computed by Müller et al. (1992) [68] for a 2D PRB flow. The symbols ○ and + correspond to the computations of figure 17 (extracted from Nicolas et al. (2000) [53]).

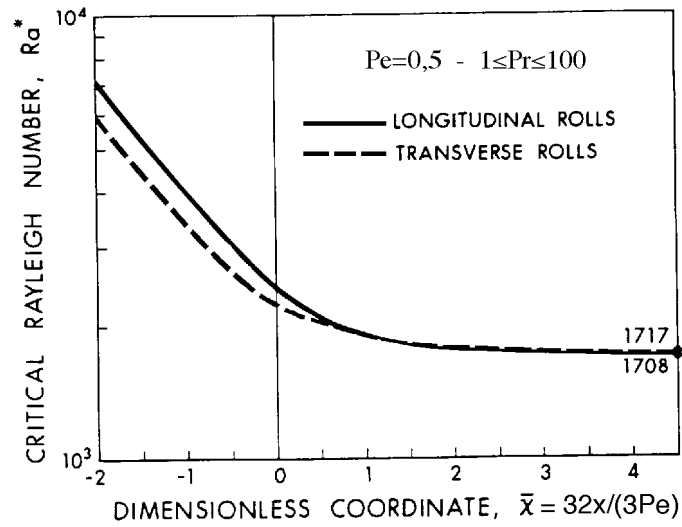


Figure 11 : Courbes de stabilité linéaire de l'écoulement de Poiseuille vis à vis des R_{\perp} et des $R_{//}$ dans la zone d'entrée thermique d'un canal d'extension latérale infinie chauffé uniformément par le bas pour $1 \leq Pr \leq 100$ et $Pe=0,5$ (tiré de Cheng et Wu (1976) [80]).

Figure 11 : Linear stability curves of the Poiseuille flow versus the R_{\perp} and the $R_{//}$ in the thermal entrance zone of a channel of infinite transversal extension uniformly heated from below for $1 \leq Pr \leq 100$ et $Pe=0.5$ (extracted from Cheng and Wu (1976) [80]).

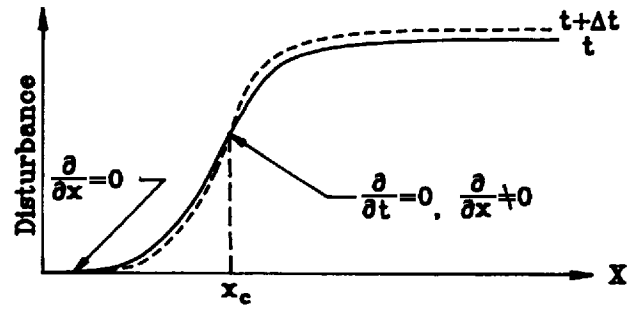


Figure 12 : Représentation schématique des critères mathématiques utilisés pour définir le seuil de stabilité marginale dans la zone d'entrée des écoulements de PRB (tiré de Lee et Hwang (1991) [88]).
 Figure 12 : Schematic representation of the mathematical criteria used to define the marginal stability threshold in the entrance zone of the PRB flows (extracted from Lee and Hwang (1991) [88]).

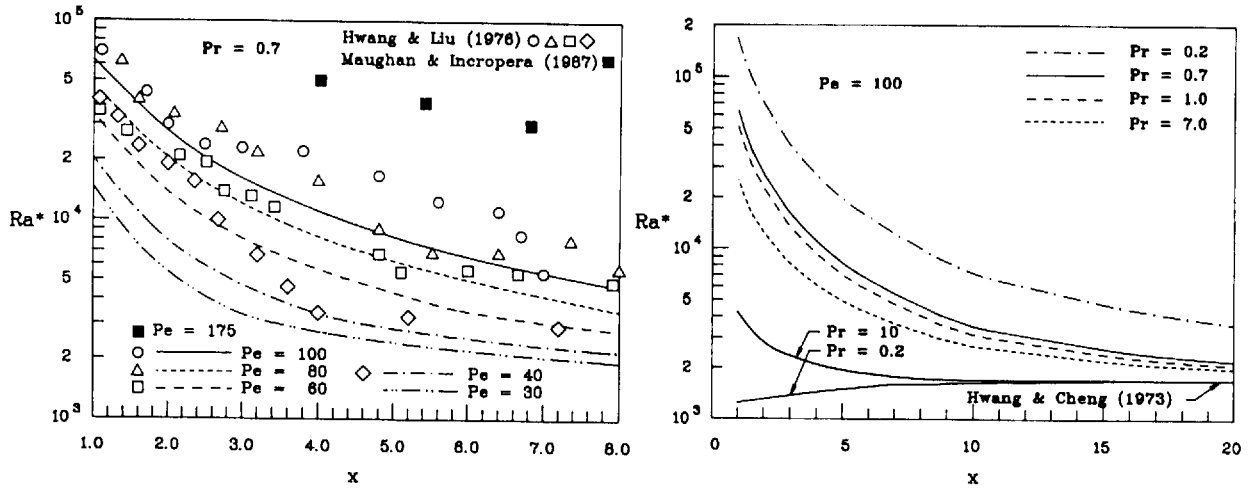


Figure 13 : Comparisons, entre théorie linéaire et expériences, de l'évolution axiale du nombre de Rayleigh critique d'apparition des $R_{//}$, dans la zone d'entrée thermique, en fonction de Pe et Pr (tiré de Lee et Hwang (1991) [87]).

Figure 13 : Comparisons, between linear theory and experiments, of the axial evolution of the critical Rayleigh number for the appearance of the $R_{//}$, in the thermal entrance zone, as a function of Pe and Pr (extracted from Lee and Hwang (1991) [87]).

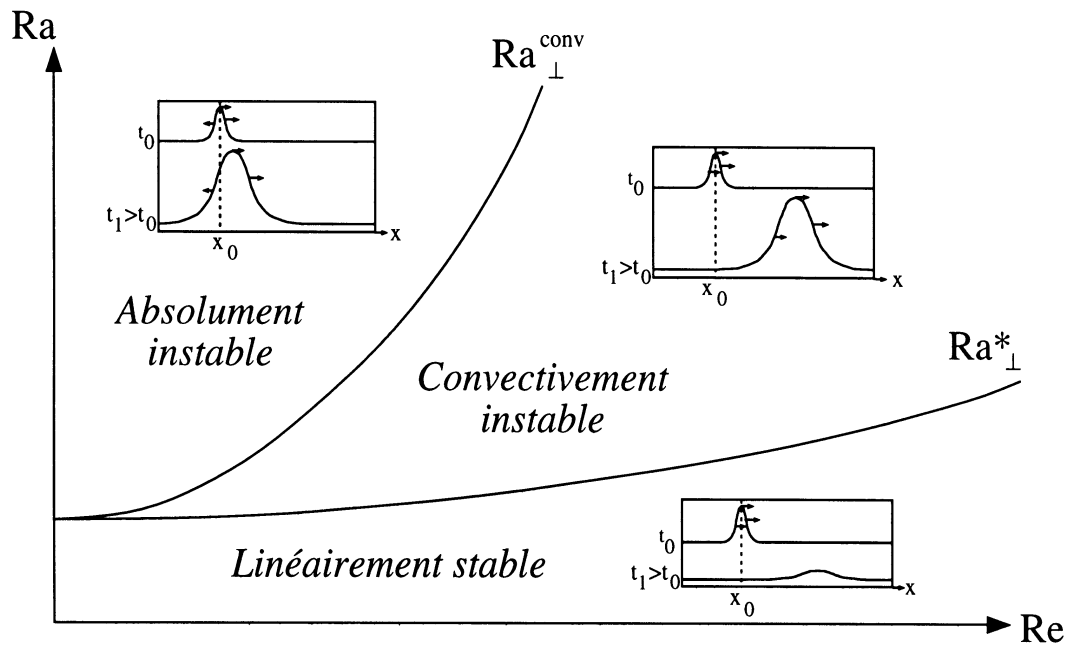


Figure 14 : Évolution spatiale et temporelle d'une perturbation impulsionnelle dans le cas d'écoulements linéairement stables, convectivement instables et absolument instables et représentation des courbes de transition Ra_{\perp}^* et Ra_{\perp}^{conv} entre ces différents types d'instabilités dans le cas des écoulements de PRB 2D.

Figure 14 : Temporal and spatial impulse response of linearly stable, convectively unstable and absolutely unstable flows, and transition curves Ra_{\perp}^* et Ra_{\perp}^{conv} between these different types of instabilities in the case of the 2D PRB flows.

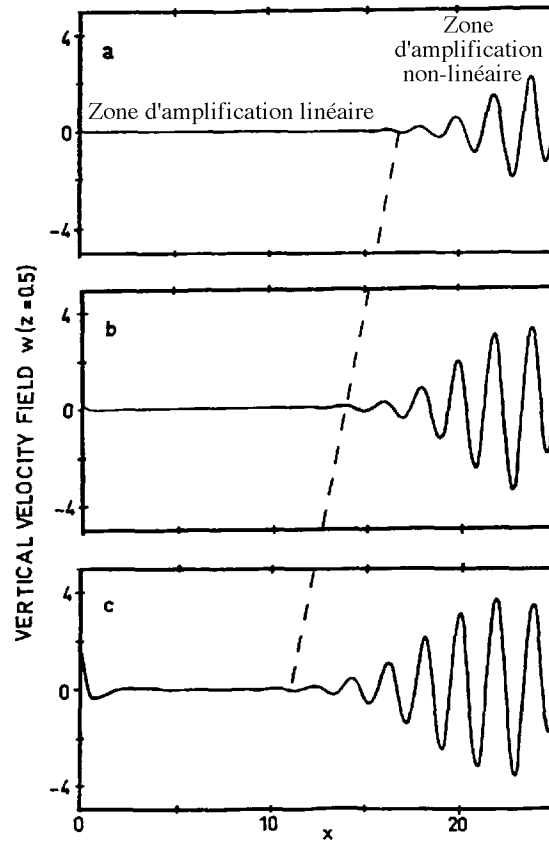


Figure 15 : Variation axiale de la composante verticale de la vitesse W en $z=0,5$, dans un écoulement convectivement instable de R_{\perp} ($Re=3$, $\varepsilon=0,114$, $Pr=1$), soumis à un bruit blanc en $x=0$, dont l'amplitude est égale à 1% (a), 10% (b) et 100% (c) de l'amplitude de saturation W_s . La ligne droite pointillée relie les positions où l'amplitude de $W(x ; z=0,5)$ prend la même valeur (tiré de Müller et al. (1992) [68]).

Figure 15 : Axial variation of the vertical velocity component W at $z=0.5$, in a convectively unstable flow of R_{\perp} ($Re=3$, $\varepsilon=0.114$, $Pr=1$), submitted to a white noise at $x=0$, whose amplitude equals 1% (a), 10% (b) and 100% (c) of the saturation amplitude W_s . The straight dashed line links the positions of equal vertical velocity amplitudes (extracted from Müller et al. (1992) [68]).

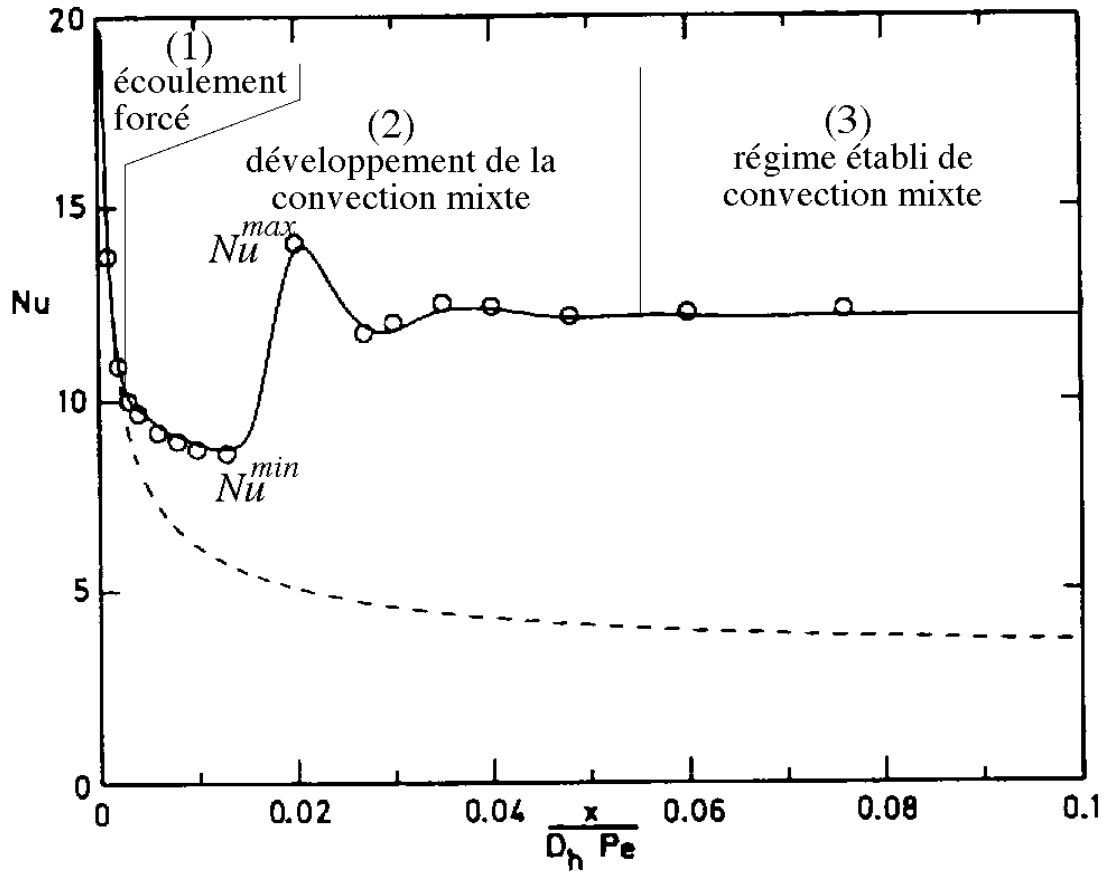


Figure 16 : Évolution axiale du nombre de Nusselt moyen dans la direction transversale pour un écoulement de $R_{//}$ à $Ra=1,56 \times 10^4$, $Re=250$, $Pr=6,5$ et $B=2$ (--- : écoulement forcé ; \circ : Mahaney et al. (1988) [114] ; — : Nonino et Del Giudice (1991) [116]) (tiré de [116]).

Figure 16 : Axial evolution of the time and spanwise average Nusselt number for a $R_{//}$ flow at $Ra=1.56 \times 10^4$, $Re=250$, $Pr=6.5$ and $B=2$ (--- : forced flow ; \circ : Mahaney et al. (1988) [114] ; — : Nonino and Del Giudice (1991) [116]) (extracted from [116]).

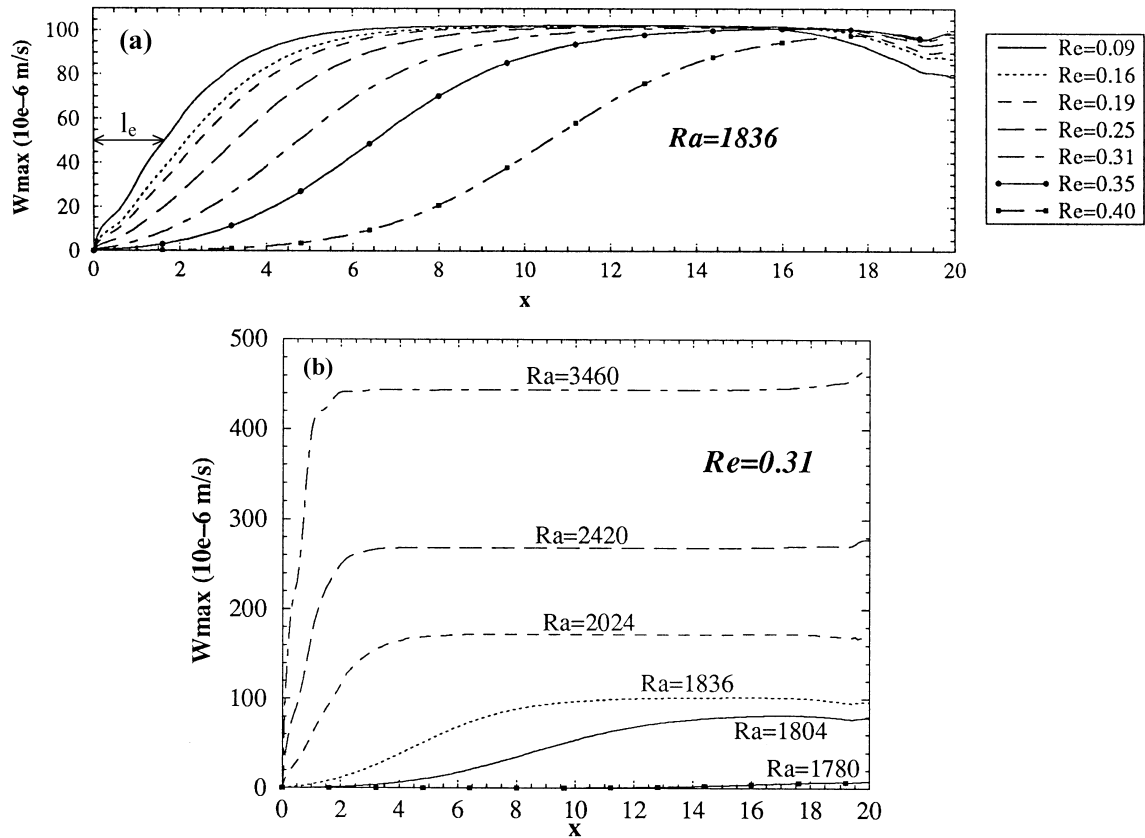


Figure 17 : Envelopes stationnaires $W_{max}(x)$ de la composante de vitesse verticale maximale obtenue par simulation numérique directe 2D à $Pr=6,4$ avec $A=L/h=20$: (a) à $Ra=1836$ pour plusieurs valeurs de Re ; (b) à $Re=0,31$ pour plusieurs valeurs de Ra . Tous ces point de calculs sont représentés à la figure 10. La longueur d'établissement l_e est représentée à $Ra=1836$ et $Re=0,09$ (tiré de Nicolas et. (1997) [101]).

Figure 17 : Stationary envelopes $W_{max}(x)$ of the maximum vertical velocity component obtained from 2D direct numerical simulations at $Pr=6.4$ with $A=L/h=20$: (a) at $Ra=1836$ for several values of Re ; (b) at $Re=0.31$ for several values of Ra . All these computational points are drawn on figure 10. The characteristic growth length l_e is drawn at $Ra=1836$ and $Re=0.09$ (extracted from Nicolas et. (1997) [101]).

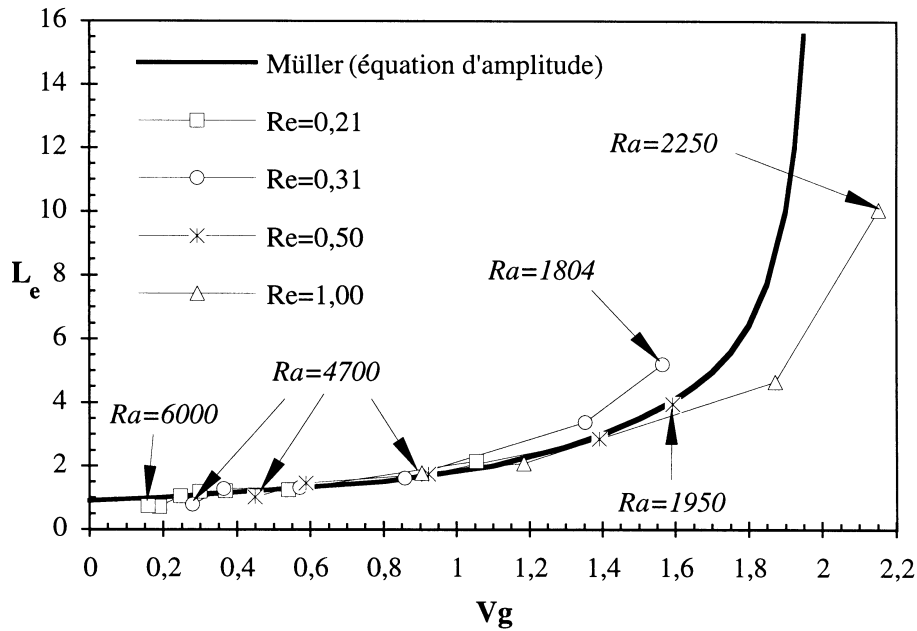
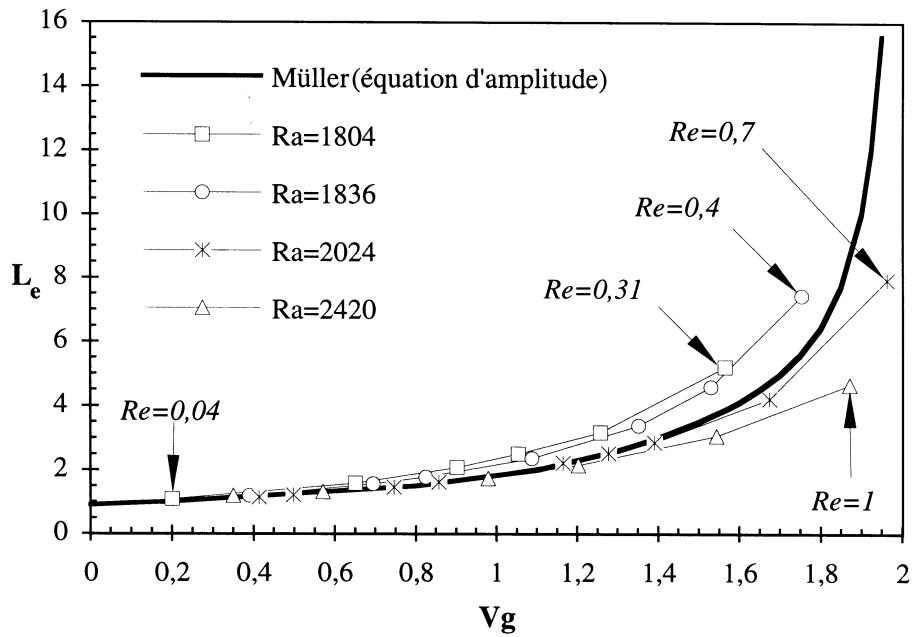


Figure 18 : Longueur d'établissement réduite L_e des R_{\perp} en fonction de la vitesse de groupe réduite V_g . Comparaison entre les simulations numériques 2D de Nicolas (1997) [102] à $Pr=6,4$ (symboles), et la courbe théorique "universelle" de Müller et al. (1989, 1992) [78, 68] (trait gras).

Figure 18 : Reduced characteristic growth length L_e of the R_{\perp} as a function of the reduced group velocity V_g . Comparison between the 2D numerical simulations of Nicolas (1997) [102] at $Pr=6.4$ (symbols), and the "universal" theoretical curve of Müller et al. (1989, 1992) [78, 68] (bold line).

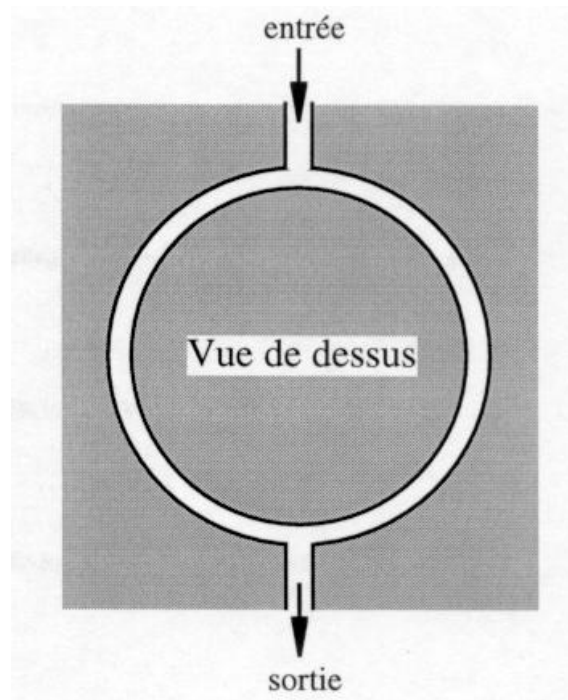


Figure 19 : Représentation schématique de la cellule expérimentale de Pocheau et al. (1987) [144].
Figure 19 : Scheme of the experimental channel of Pocheau et al. (1987) [144].

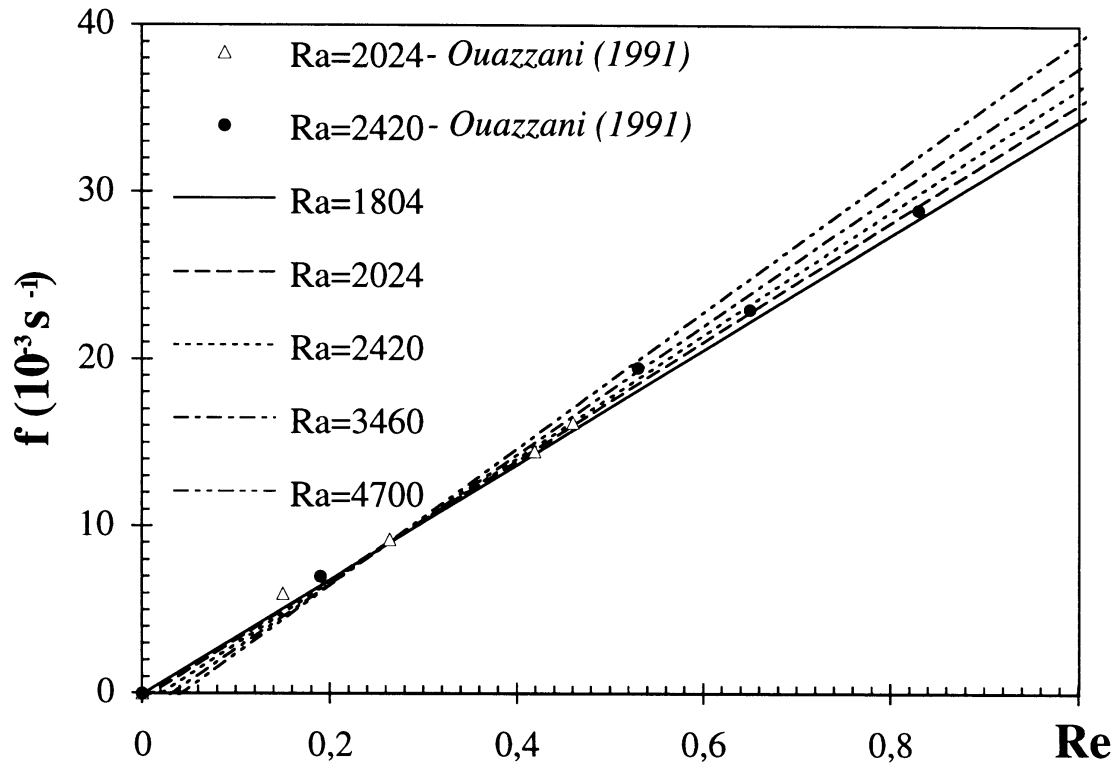


Figure 20 : Variation de la fréquence f des R_{\perp} en fonction de Re , pour plusieurs valeurs de Ra , à $Pr=6,4$. Comparaison entre les expériences de Ouazzani (1991) [134] (symboles) et les simulations numériques 2D de Nicolas et al. (1997) [101] (lignes). Mise en évidence du blocage des R_{\perp} à Re petit (tiré de [101]).

Figure 20 : Variation of the R_{\perp} frequency f as a function of Re , for several values of Ra , at $Pr=6.4$. Comparison between the experiments of Ouazzani (1991) [134] (symbols) and the 2D numerical simulations of Nicolas et al. (1997) [101] (lines). The pinning of the R_{\perp} is clearly shown at small Re (extracted from [101]).

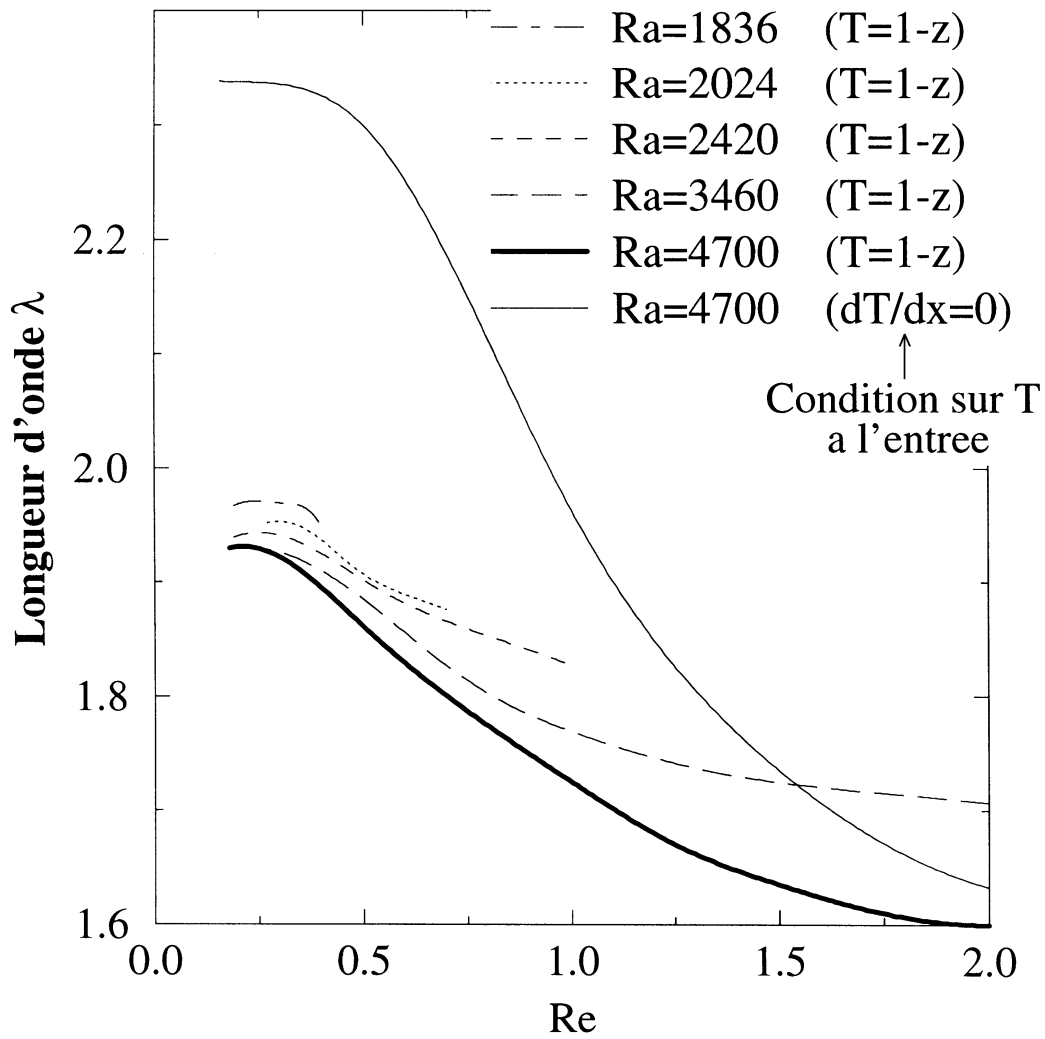


Figure 21 : Variations de la longueur d'onde λ des R_{\perp} en fonction de Re , pour plusieurs valeurs de Ra et à $Pr=6,4$, obtenue par simulations numériques 2D par Nicolas (1997) [102] et Nicolas et al. (1997) [101]. A $Ra=4700$, on compare l'influence sur λ des conditions d'entrée sur la température de type Dirichlet ($T=1-z$) et de type Neumann ($\partial T/\partial z=0$).

Figure 21 : Variation of the R_{\perp} wave length λ as a function of Re , for several values of Ra , at $Pr=6.4$, resulting from the 2D numerical simulations of Nicolas (1997) [102] and Nicolas et al. (1997) [101]. At $Ra=4700$, the influence on λ of the entrance temperature boundary conditions of Dirichlet type ($T=1-z$) and of Neumann type ($\partial T/\partial z=0$) are compared.

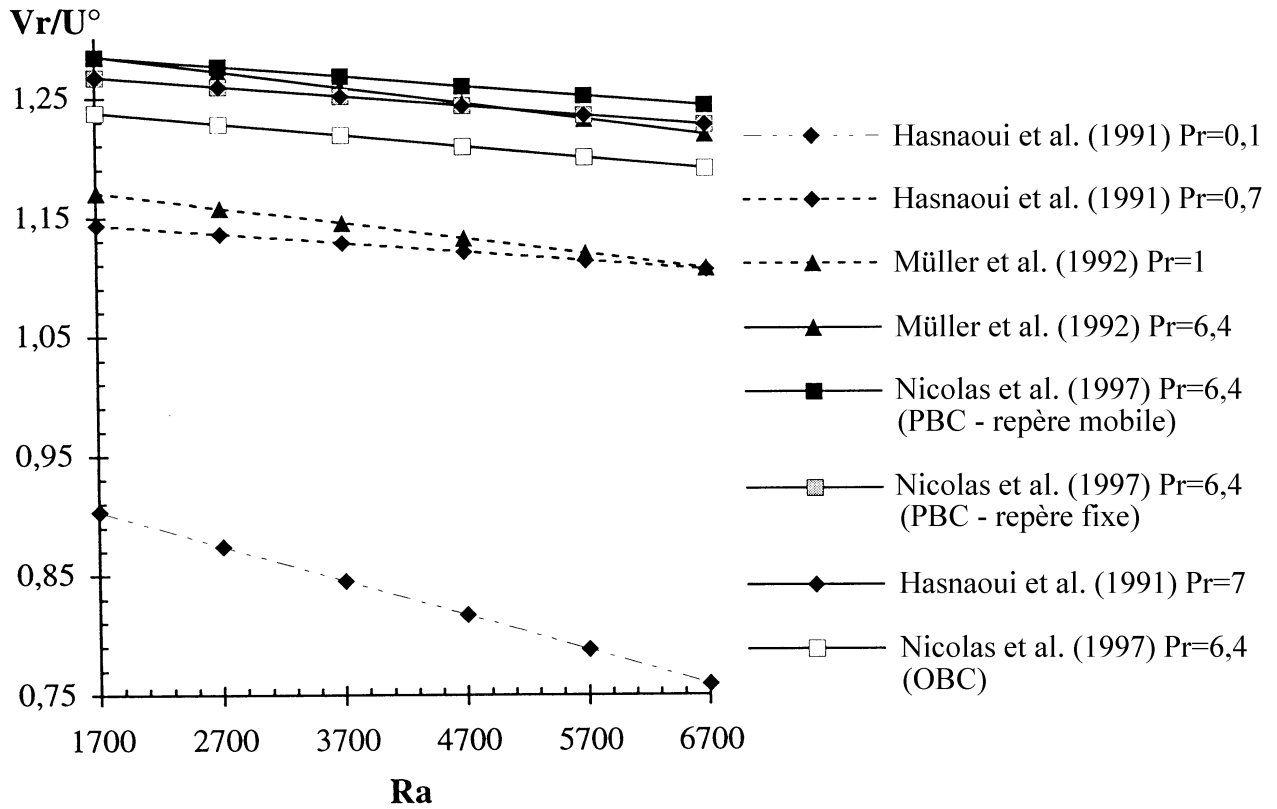


Figure 22 : Influence du nombre de Prandtl sur les droites $V_r/U^\circ=f(Ra)$ dont les équations, obtenues dans des modélisations 2D des écoulements de $R_\perp (B \rightarrow \infty)$, sont données dans le *tableau VIII*.

Figure 22 : Influence of the Prandtl number on the straight lines $V_r/U^\circ=f(Ra)$ whose equations, obtained from 2D modelisation of the R_\perp flows ($B \rightarrow \infty$), are given in *table VIII*.

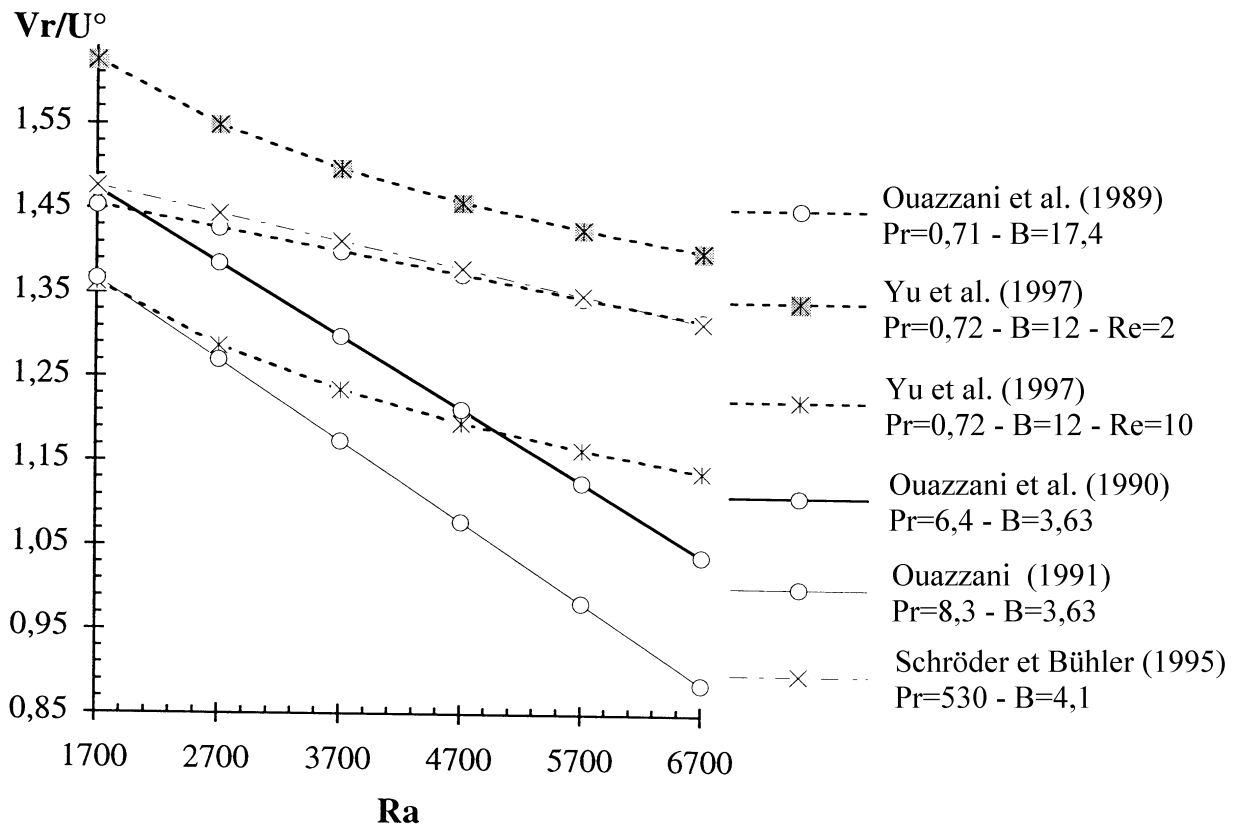


Figure 23 : Influence du confinement latéral B et du nombre de Prandtl Pr sur les courbes $V_r/U^\circ=f(Ra)$ dont les équations, obtenues dans des expériences et des simulations numériques 3D, sont données dans le tableau VIII.

Figure 23 : Influence of the lateral confinement B and of the Prandtl number Pr on the curves $V_r/U^\circ=f(Ra)$ whose equations, obtained from experiments and 3D numerical simulations, are given in table VIII.

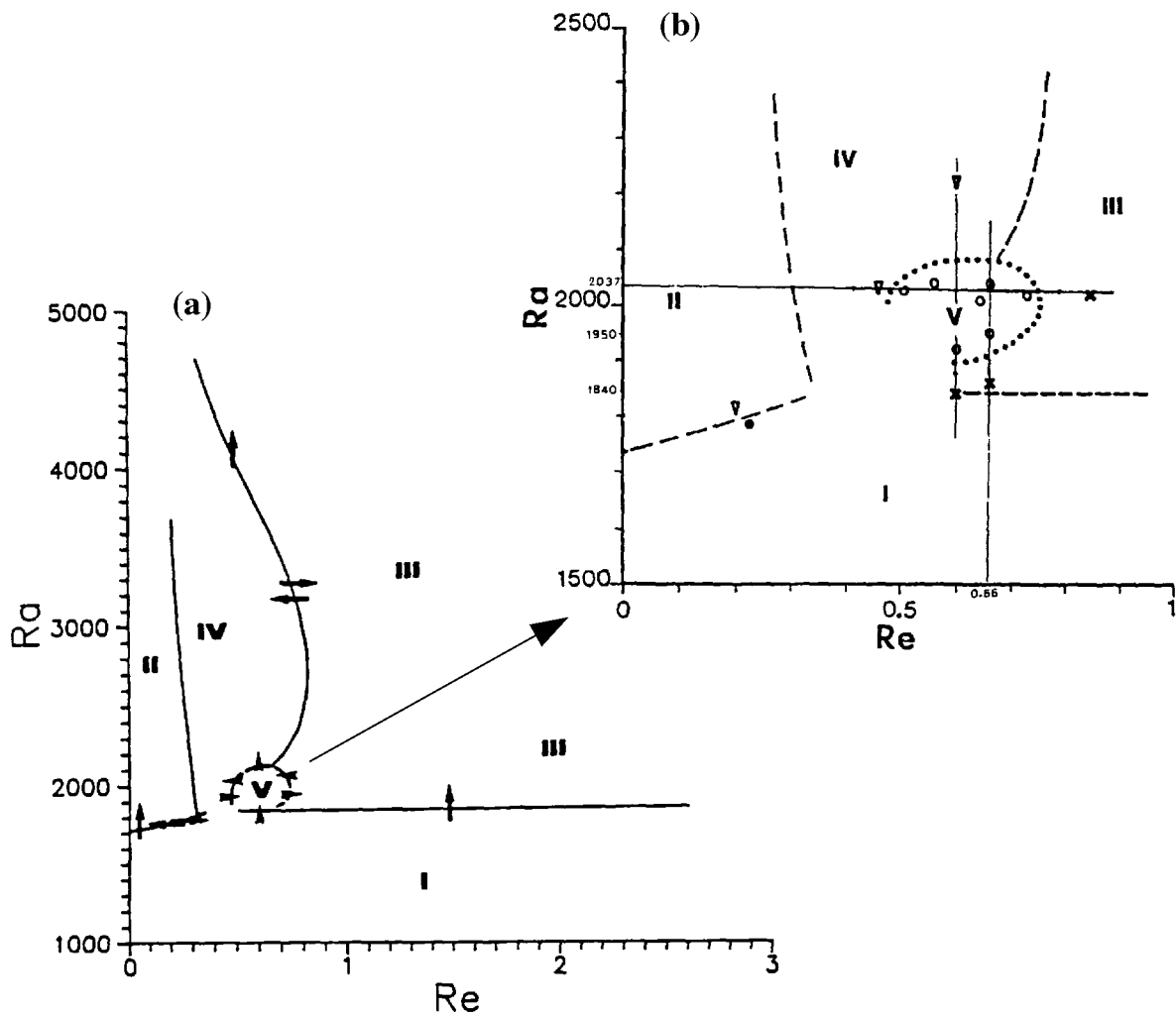


Figure 24 : Domaine d'existence, dans le plan Ra - Re , des différentes configurations d'écoulements identifiées par Ouazzani (1991) [134] dans ses expériences à $Pr=6,4$ et $B=3,63$; (a) vue générale (tirée de Ouazzani et al. (1990) [32]); (b) zoom sur la zone V (tiré de Ouazzani et al. (1993) [100]); I : écoulement de Poiseuille ; II : R_{\perp} stables ; III : $R_{//}$ stables ; IV : R_{\perp} ou $R_{//}$ selon les conditions initiales ; V : structures intermittentes (superposition des R_{\perp} et des $R_{//}$).

Figure 24 : Existence domain in the plane Ra - Re of the different flow patterns identified by Ouazzani (1991) [134] in his experiments at $Pr=6.4$ and $B=3.63$; (a) general view (extracted from Ouazzani et al. (1990) [32]) ; (b) zoom on zone V (extracted from Ouazzani et al. (1993) [100]); I : Poiseuille flow ; II : stable R_{\perp} ; III : stable $R_{//}$; IV : R_{\perp} or $R_{//}$ according to the initial conditions ; V : intermittent patterns (superposition of R_{\perp} and $R_{//}$).

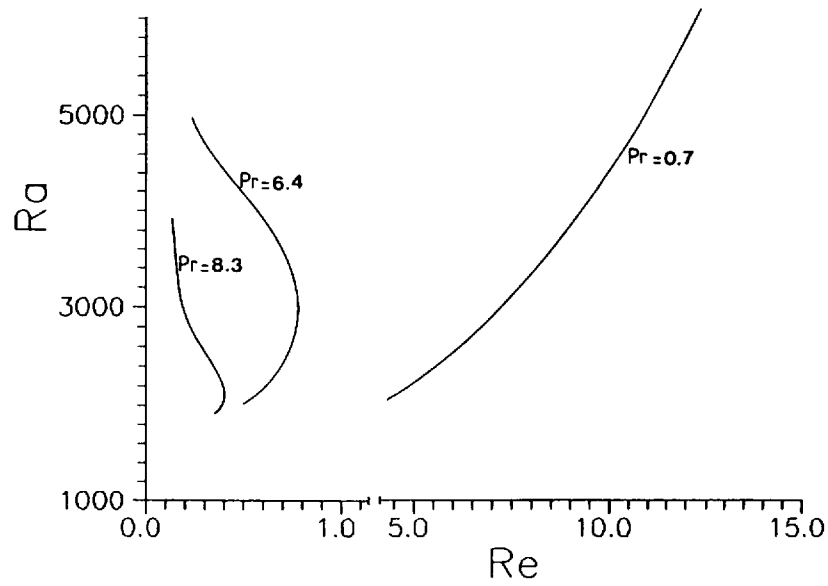


Figure 25 : Courbes de transition entre les R_{\perp} (observés à gauche de chaque courbe) et les $R_{//}$ (observés à droite de chaque courbe) pour des nombres de Prandtl et des allongements transversaux différents : $Pr \approx 0,7$ (air) avec $B=17,4$; $Pr \approx 6,4$ (eau à 23°C) avec $B=3,63$; $Pr \approx 8,3$ (eau à 14°C) avec $B=3,63$ (tiré de Ouazzani (1991) [134]).

Figure 25 : Critical curves between the R_{\perp} (observed on the left of each curve) and the $R_{//}$ (observed on the right of each curve) for different Prandtl numbers and lateral extensions : $Pr \approx 0.7$ (air) with $B=17.4$; $Pr \approx 6.4$ (water at 23°C) with $B=3.63$; $Pr \approx 8.3$ (water at 14°C) with $B=3.63$ (extracted from Ouazzani (1991) [134]).

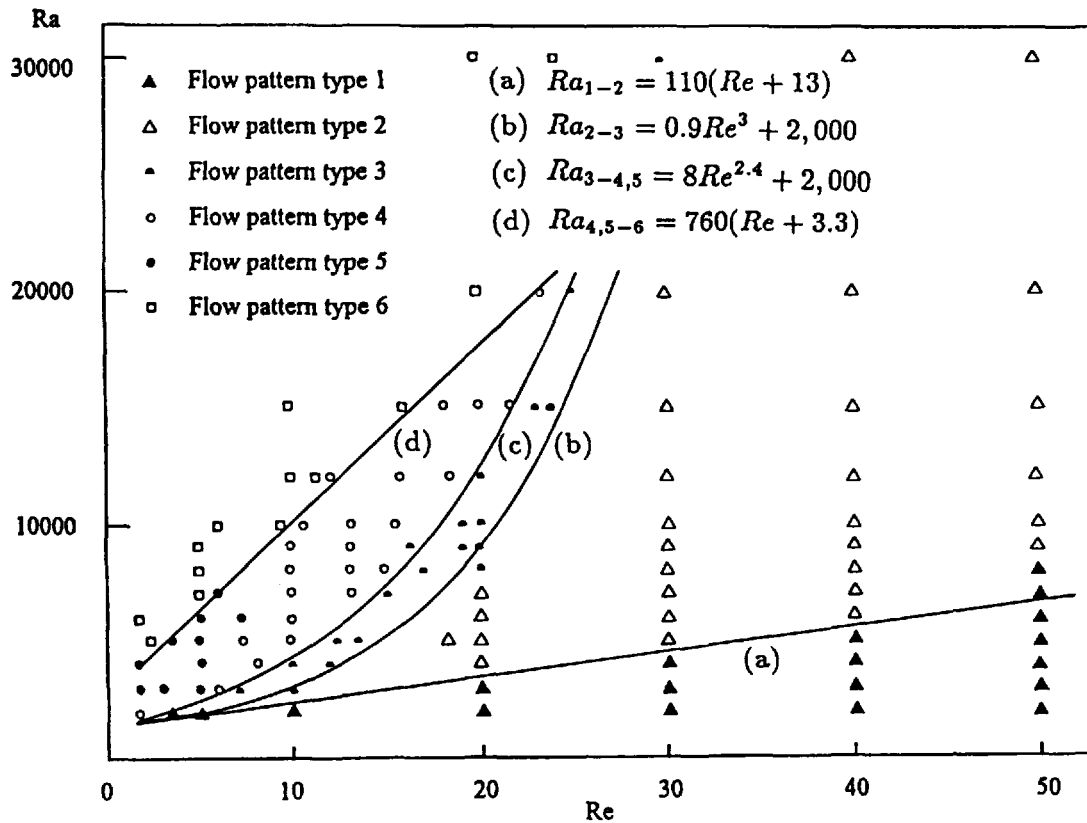


Figure 26 : Diagramme de stabilité des différentes configurations observées expérimentalement par Yu et al. (1997) [128] dans des écoulements de PRB dans l'air ($Pr \approx 0,7$) avec une conduite d'allongement transversal $B=12$. Six configurations différentes sont identifiées : type 1: $R_{//}$ stables ; type 2: $R_{//}$ instables (avec fusions et divisions des $R_{//}$) ; type 3: transitions entre $R_{//}$ instables et R_{\perp} situés au centre du canal (cf. figure 28(b)) ; type 4: écoulement mixte avec coexistence des R_{\perp} et des $R_{//}$ (cf. figure 28(a)) ; type 5: R_{\perp} stables ; type 6: rouleaux irréguliers non stabilisés ; (tiré de [128]).

Figure 26 : Stability diagram of the different flow patterns observed experimentally by Yu et al. (1997) [128] in PRB flows in air ($Pr \approx 0,7$) with a $B=12$ transversal aspect ratio duct. Six different flow patterns are identified : type 1: stable $R_{//}$; type 2: unstable $R_{//}$ (with splitting and merging of the $R_{//}$) ; type 3: transitions between unstable $R_{//}$ and R_{\perp} located near the duct center (cf. figure 28(b)) ; type 4: mixed flow with coexistence of R_{\perp} and $R_{//}$ (cf. figure 28(a)) ; type 5: stable R_{\perp} ; type 6: unsteady irregular rolls ; (extracted from [128]).

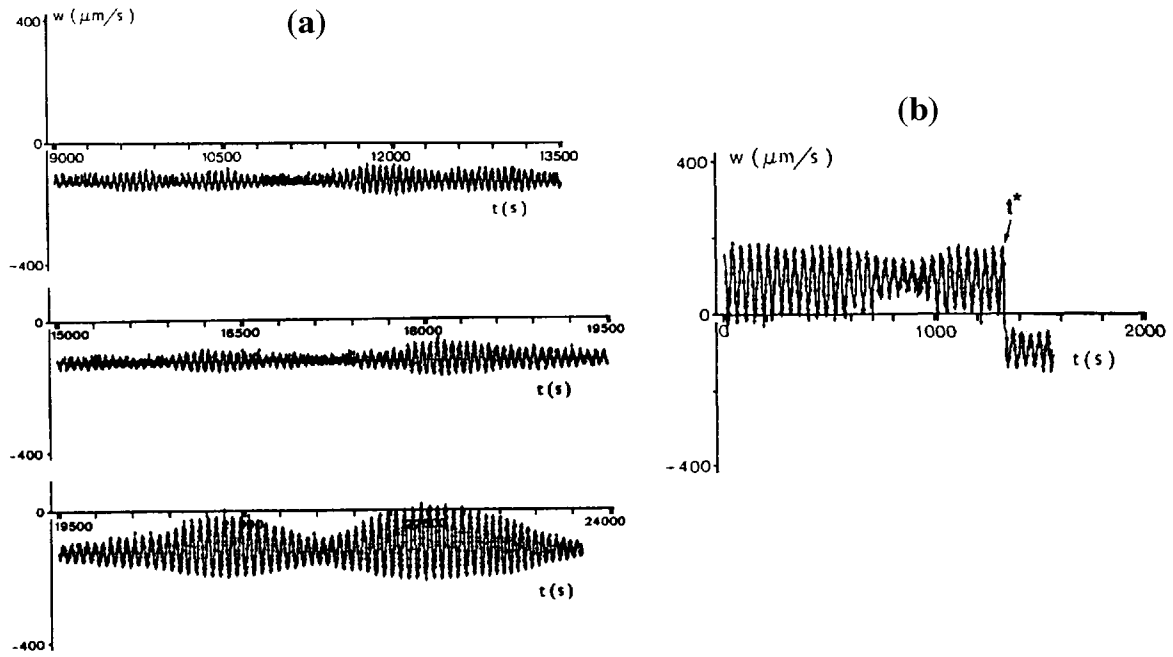


Figure 27 : (a) Extrait d'un enregistrement sur plusieurs jours des structures intermittentes de la zone V de la figure 24 ; $B=3,63$, $Pr=6,4$, $Re=0,56$ et $Ra=2037$ (tiré de Ouazzani (1991) [134]). (b) Périodicité dans la direction transversale mise en évidence par le déplacement selon y de la sonde à $t=t^*$; $B=3,63$, $Pr=6,4$, $Ra=2012$ et $Re=0,63$ (tiré de Ouazzani et al. (1993) [100]).

Figure 27 : (a) Extract of a several day recording of the intermittent patterns of the zone V of figure 24 ; $B=3.63$, $Pr=6.4$, $Re=0.56$ and $Ra=2037$ (extracted from Ouazzani (1991) [134]). (b) Periodicity in the transversal direction shown by the y moving of the probe at $t=t^*$; $B=3.63$, $Pr=6.4$, $Ra=2012$ et $Re=0.63$ (extracted from Ouazzani et al. (1993) [100]).

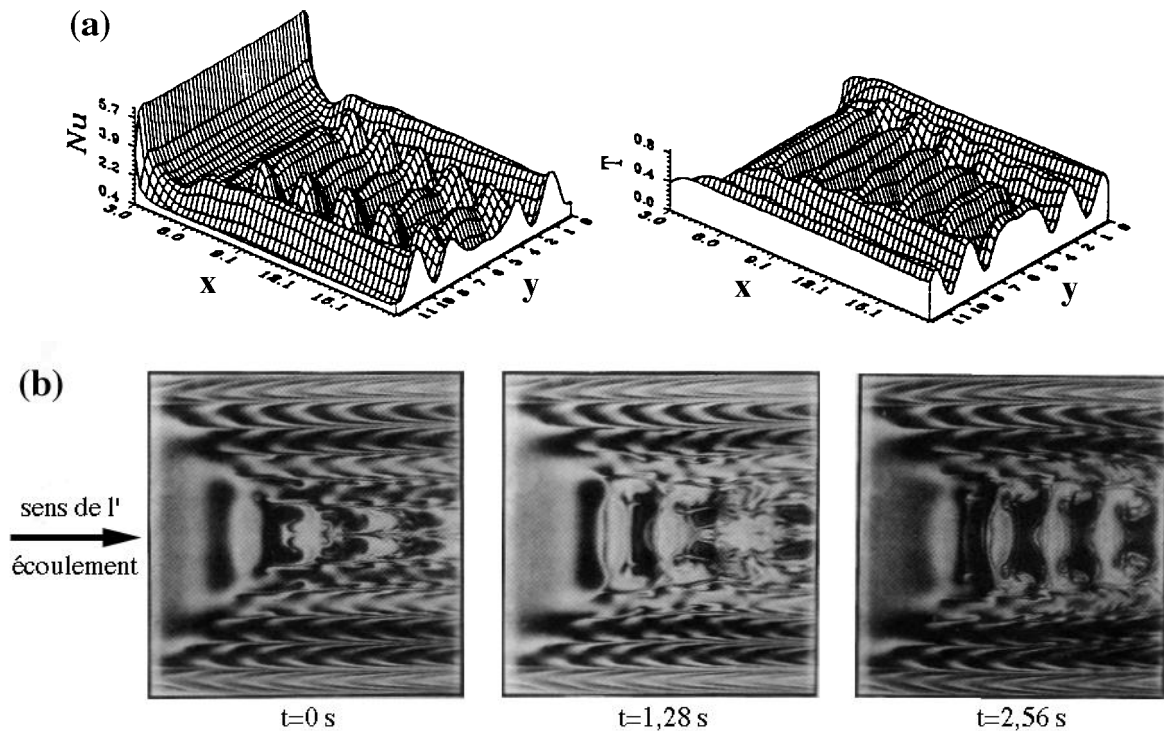


Figure 28 : Visualisation des régimes d'écoulements avec superposition des $R_{//}$ (situés le long des bords latéraux) et des R_{\perp} (situés au centre de la conduite) : (a) Nappes de Nu (en $z=0$) et de T (en $z=0,5$), obtenues par simulation numérique 3D pour $Ra=4200$, $Re=10$, $Pr=0,71$ et $B=12$ (tiré de Chang et al. (1997) [127]) ; (b) Écoulement intermittent visualisé par un plan laser en $z=0,5$ dans de l'air avec de la fumée (vue de dessus), à trois instants différents et pour $Ra=4000$, $Re=10$, $Pr\approx 0,7$ et $B=12$ (tiré de Yu et al. (1997) [128]).

Figure 28 : Visualization of the flow patterns with superposition of the $R_{//}$ (located near the lateral walls) and the R_{\perp} (located at the center of the duct) : (a) maps of Nu (at $z=0$) and of T (at $z=0.5$), obtained from 3D numerical simulations at $Ra=4200$, $Re=10$, $Pr=0.71$ and $B=12$ (extracted from Chang et al. (1997) [127]) ; (b) Intermittent flow visualized by a laser sheet at $z=0.5$ in air with smoke particles (top view), at three different instants for $Ra=4000$, $Re=10$, $Pr\approx 0.7$ and $B=12$ (extracted from Yu et al. (1997) [128]).

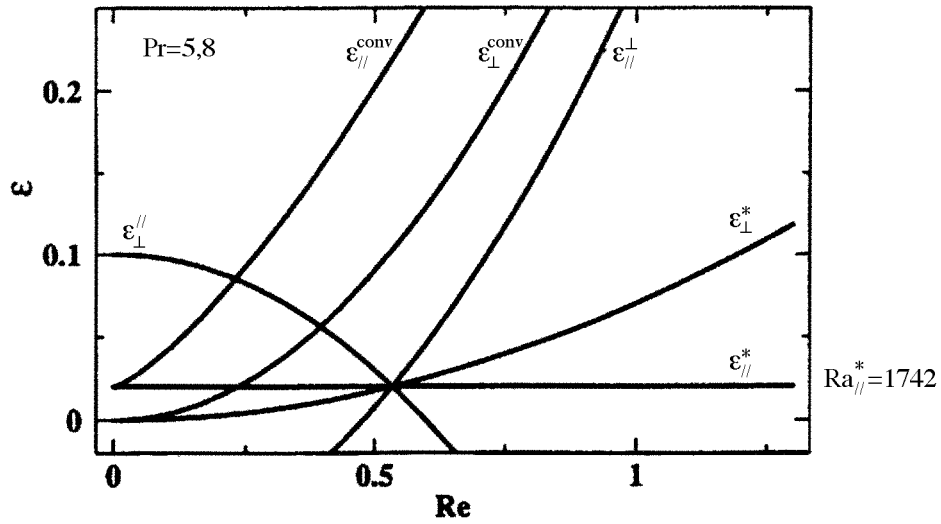


Figure 29 : Diagramme des stabilités convectives et absolues des R_{\perp} et des $R_{||}$ dans le plan (ε, Re) , établi à partir d'un modèle basé sur deux équations de Ginzburg-Landau couplées, pour $Pr=5,8$ et $Re^* \approx 0,5$ (voir le texte pour les explications) (tiré de Müller et al. (1993) [104]).

Figure 29 : Diagram of the convective and absolute stabilities of the R_{\perp} and the $R_{||}$ in the plane (ε, Re) , established from a model based on two coupled Ginzburg-Landau equations, for $Pr=5.8$ and $Re^* \approx 0.5$ (see text for the explanations) (extracted from Müller et al. (1993) [104]).

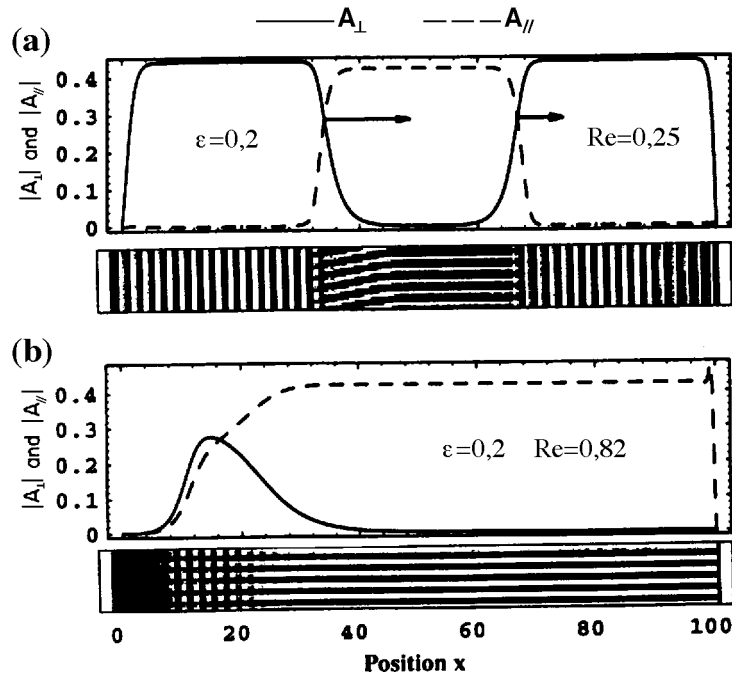


Figure 30 : Evolution axiale des enveloppes des R_{\perp} et des $R_{//}$ obtenues à partir d'un modèle basé sur deux équations de Ginzburg-Landau couplées, et représentation simple des structures correspondantes de l'écoulement : (a) régime transitoire avec propagation de fronts, où coexistent des R_{\perp} et des $R_{//}$ en différents endroits de la conduite ; $\varepsilon=0,2$, $Re=0,25$ et $Pr=5,8$; (b) régime permanent avec superposition des R_{\perp} et des $R_{//}$ à l'entrée de la conduite ; $\varepsilon=0,2$, $Re=0,82$ et $Pr=5,8$ (tiré de Müller et al. (1993) [104]).

Figure 30 : Axial evolution of the R_{\perp} and $R_{//}$ envelops obtained from a model based on two coupled Ginzburg-Landau equations, and simple representation of the corresponding flow patterns : (a) unsteady pattern with propagation of fronts and coexistence of the R_{\perp} and the $R_{//}$ in different places of the duct ; $\varepsilon=0.2$, $Re=0.25$ and $Pr=5.8$; (b) steady flow with superposition of the R_{\perp} and the $R_{//}$ at the duct entrance ; $\varepsilon=0.2$, $Re=0.82$ and $Pr=5.8$. (extracted from Müller et al. (1993) [104]).

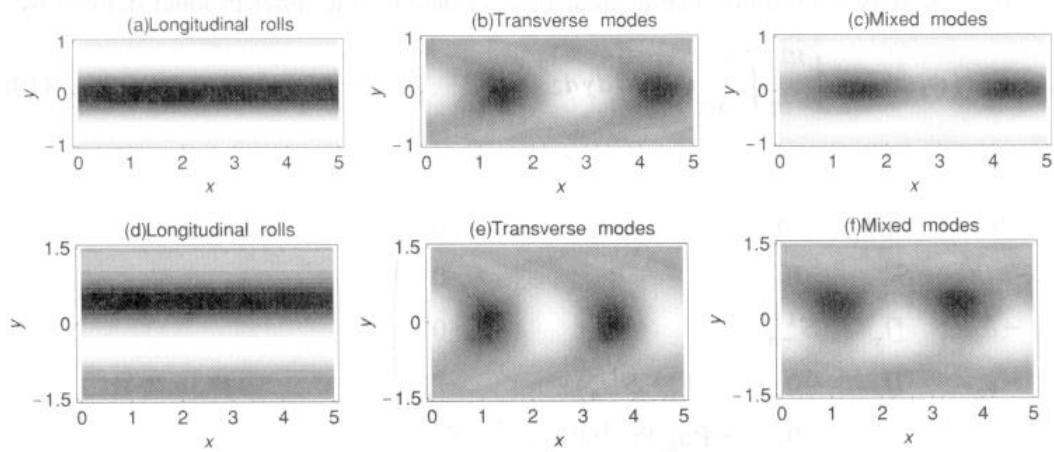


Figure 31 : Visualisation dans des plans horizontaux à mi-hauteur du canal des perturbations de température (noir=froid, blanc=chaud) pour les trois types de structures thermoconvectives susceptibles d'être observées près du point triple $(Ra, Re)=(Ra_{//}^*, Re^*)$, d'après une théorie faiblement non-linéaire basée sur deux équations d'amplitude couplées : (a), (d) : $R_{//}$; (b), (e) : R_{\perp} ; (c), (f) : structures mixtes pour $D_a/D_b=7/3$. Cas de conduites d'allongement transversal $B=2$ ((a)-(c)) et $B=3$ ((d)-(f)), avec des parois latérales parfaitement conductrices et pour $Pr=7$ (tiré de Kato et Fujimura (2000) [54]).

Figure 31 : Visualisation on the horizontal mid-planes $z=h/2$ of the temperature disturbances (lighter shades=hot and darker shades=cold) for the three types of thermoconvective patterns that are liable to appear in the neighborhood of the critical point $(Ra, Re)=(Ra_{//}^*, Re^*)$ according to a weakly non-linear theory based on two coupled amplitude equations : (a), (d) : $R_{//}$; (b), (e) : R_{\perp} ; (c), (f) : mixed modes with $D_a/D_b=7/3$. Case of ducts with transversal aspect ratio $B=2$ ((a)-(c)) and $B=3$ ((d)-(f)), with perfectly conducting side walls and for $Pr=7$ (extracted from Kato et Fujimura (2000) [54]).

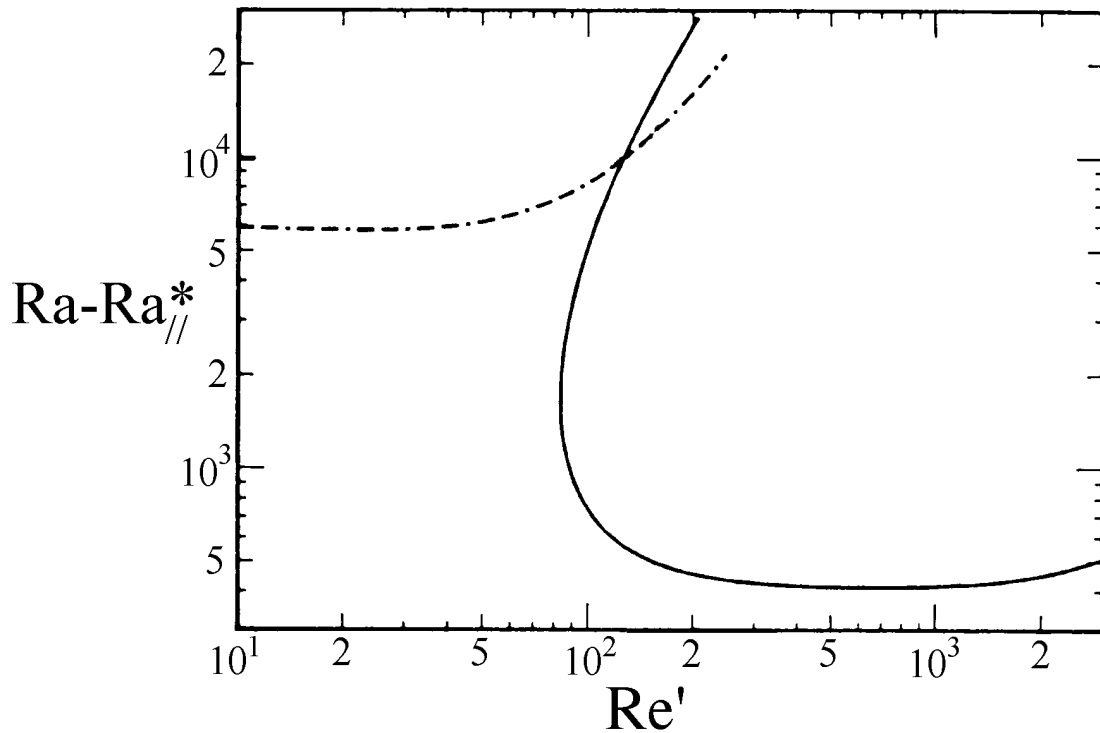


Figure 32 : Diagramme de stabilité linéaire temporelle des $R_{//}$ stationnaires dans le plan $Ra-Re$ à $Pr=0,7$ et $B \rightarrow \infty$. Les $R_{//}$ deviennent instables vis à vis des rouleaux longitudinaux sinueux présentés à la *figure 33* pour $Ra > Ra_{//}^{*II}$, c'est à dire au-dessus et à droite des courbes pointillées et continues. Ce diagramme de stabilité est séparé en deux zones : l'une à gauche et l'autre à droite du nombre de Reynolds critique $Re'^{*II} \approx 100$ (tiré de Clever et Busse (1991) [150]).

Figure 32 : Temporal linear stability diagram of the steady $R_{//}$ in the plane $Ra-Re$ at $Pr=0.7$ and $B \rightarrow \infty$. The $R_{//}$ become unstable versus the wavy longitudinal rolls shown on *figure 33* for $Ra > Ra_{//}^{*II}$, i.e. above and to the right of the solid and the double dash-dotted lines. This stability diagram is cut in two zones : one to the left and the other to the right of the critical Reynolds number $Re'^{*II} \approx 100$ (extracted from Clever and Busse (1991) [150]).

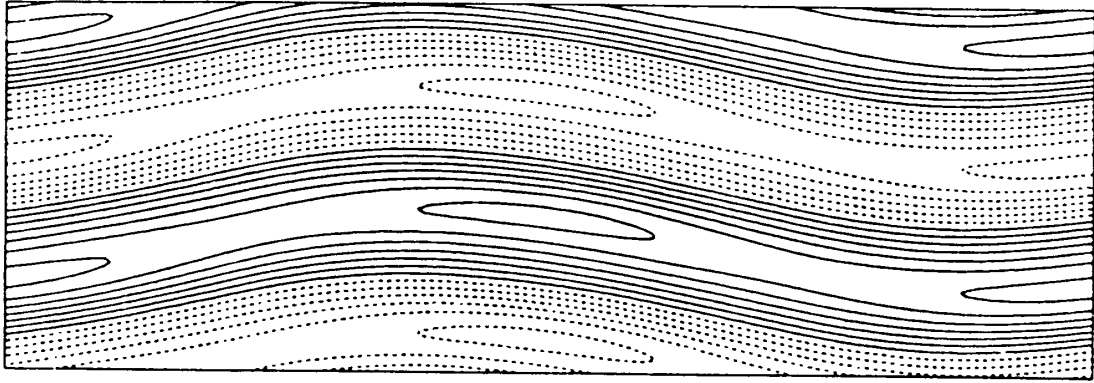


Figure 33 : Représentation des isothermes dans le plan $z=0,5$ des rouleaux longitudinaux sinueux qui apparaissent pour $Ra > Ra_{//}^{*II}$ à la *figure 32*. Les valeurs des paramètres sont $Pr=0,71$, $Ra=3000$, $Re'=200$ et $B \rightarrow \infty$. L'écoulement moyen va de droite à gauche (tiré de Clever et Busse (1991) [150]).

Figure 33 : Representation of the isotherms in the plane $z=0.5$ of the wavy longitudinal rolls which appear for $Ra > Ra_{//}^{*II}$ in *figure 32*. The parameter values are $Pr=0.71$, $Ra=3000$, $Re'=200$ and $B \rightarrow \infty$. The average flow goes from the right to the left (extracted from Clever and Busse (1991) [150]).

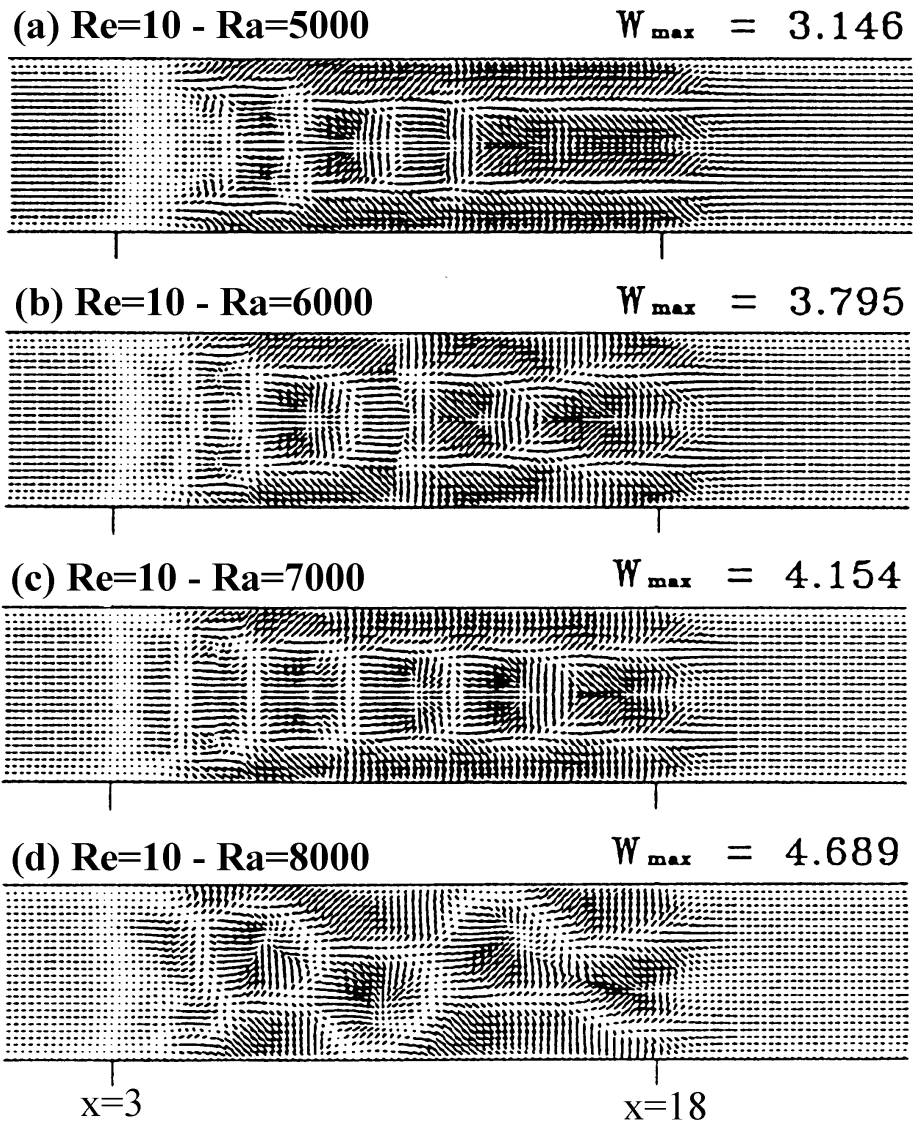


Figure 34 : Champ de vecteurs vitesses dans le plan horizontal $z=0,766$, pour un écoulement de PRB à $Pr=0,71$ et $Re=10$, dans une conduite d'allongement transversal $B=5$ chauffée uniformément par le bas entre $x=3$ et $x=18$; (a) $Ra=5000$, (b) $Ra=6000$, (c) $Ra=7000$, (d) $Ra=8000$ (tiré de Yu et lin (1997) [129]).
Figure 34 : Velocity vector maps in the horizontal plane $z=0,766$, for a PRB flow at $Pr=0.71$ and $Re=10$, in a $B=5$ transversal aspect ratio duct uniformly heated from below between $x=3$ and $x=18$; (a) $Ra=5000$, (b) $Ra=6000$, (c) $Ra=7000$, (d) $Ra=8000$ (extracted from Yu et lin (1997) [129]).

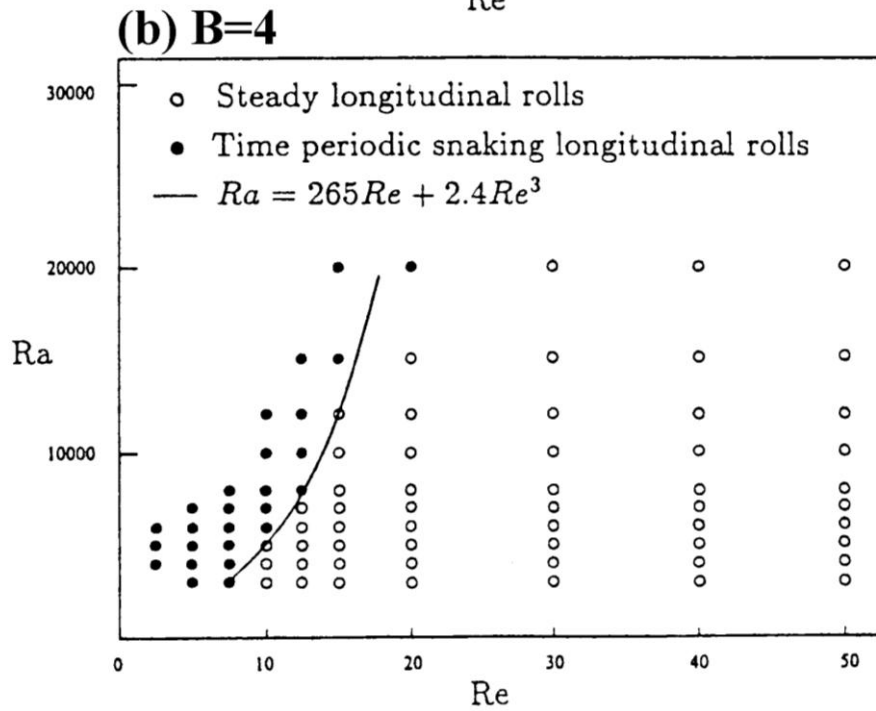
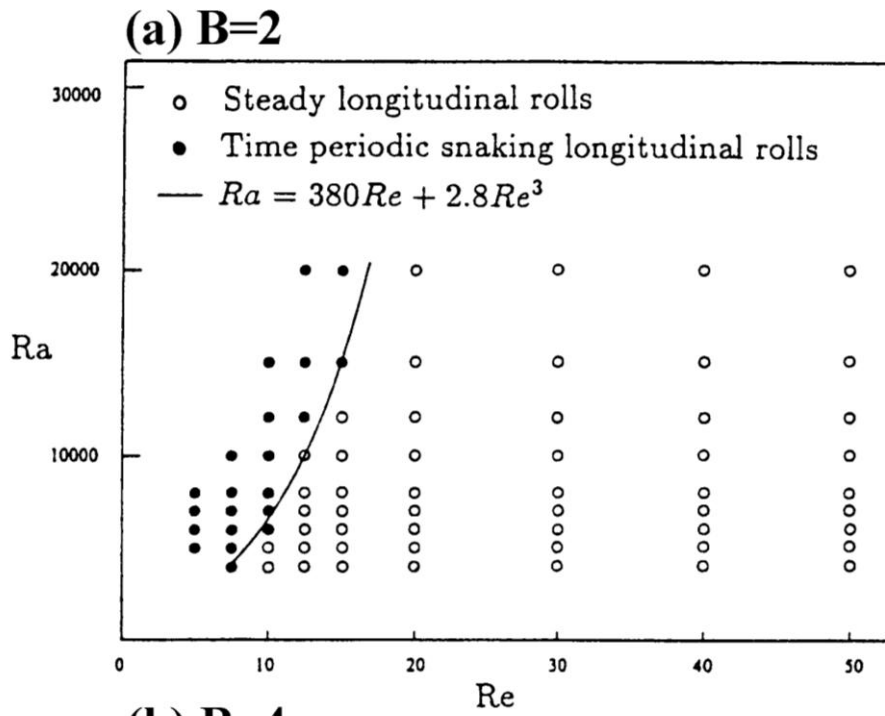


Figure 35 : Diagramme de transition établi expérimentalement dans des écoulements d'air entre les régimes de $R_{//}$ stationnaires et de $R_{//}$ sinueux périodiques en temps ; (a) $B=l/h=2$; (b) $B=4$ (tiré de Chang et Lin (1998) [75]).

Figure 35 : Experimental stability diagram, established experimentally in air flows, delineating the zones of steady $R_{//}$ and of time periodic snaking $R_{//}$; (a) $B=l/h=2$; (b) $B=4$ (extracted from Chang et Lin (1998) [75]).

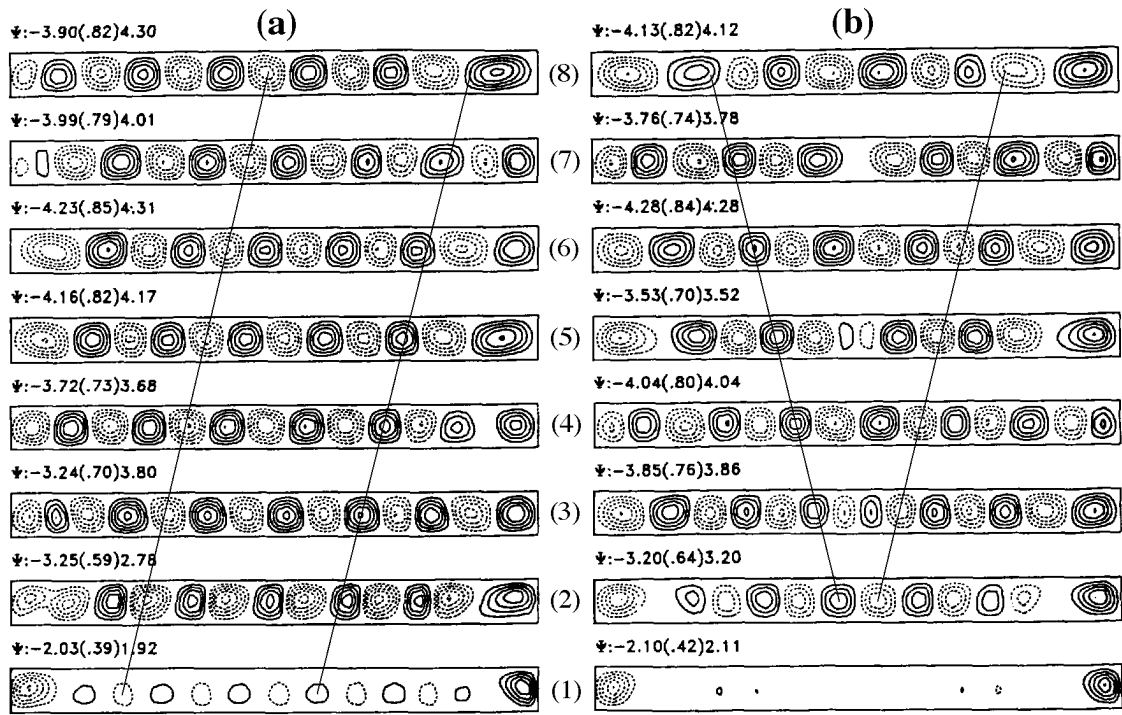


Figure 36 : Représentation des lignes de courant dans les plans (y, z) en $x=2,52$ (1) ; $4,21$ (2) ; $5,89$ (3) ; $7,57$ (4) ; $9,26$ (5) ; $10,94$ (6) ; $12,62$ (7) et $14,30$ (8), pour deux types d'écoulements de $R_{//}$ obliques calculés par simulations numériques 3D à $Pr=0,71$ et $B=12$: (a) $R_{//}$ inclinés d'un bord à l'autre du canal à $Ra=20000$ et $Re=50$; (b) rouleaux obliques en forme de V à $Ra=9000$ et $Re=30$ (tiré de Yu et al. (1997) [73]).

Figure 36 : Drawing of the streamlines in the planes (y, z) at $x=2.52$ (1), 4.21 (2), 5.89 (3), 7.57 (4), 9.26 (5), 10.94 (6), 12.62 (7) and 14.30 (8), for two types of oblique $R_{//}$ flows computed by 3D numerical simulations at $Pr=0.71$ and $B=12$: (a) $R_{//}$ inclined from on side of the channel to the other at $Ra=20000$ and $Re=50$; (b) V-shaped oblique rolls at $Ra=9000$ and $Re=30$ (extracted from Yu et al. (1997) [73]).

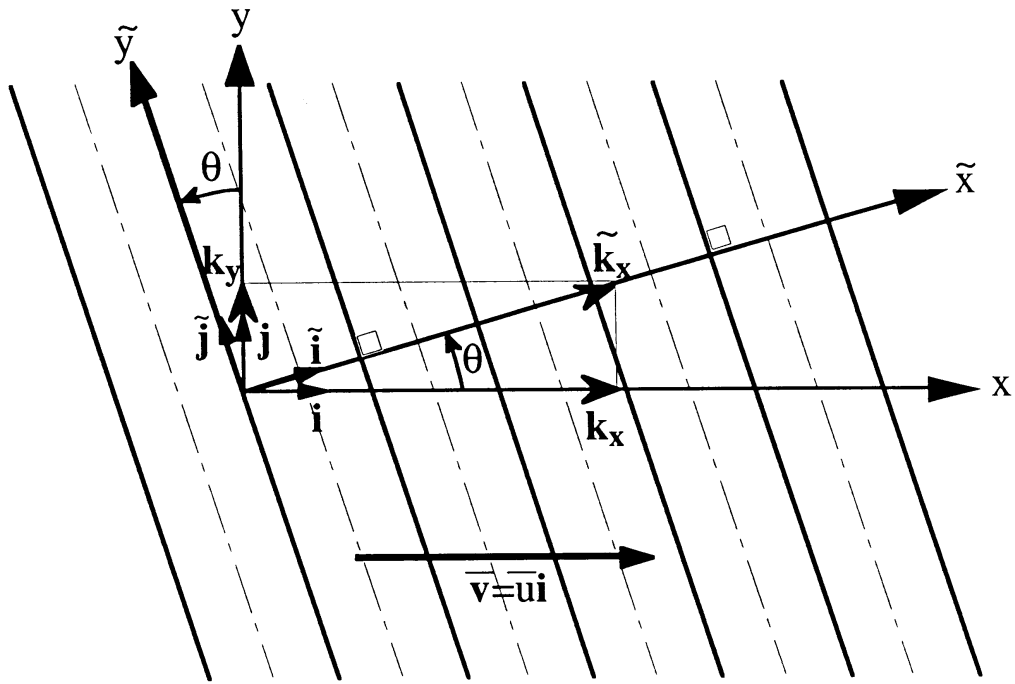
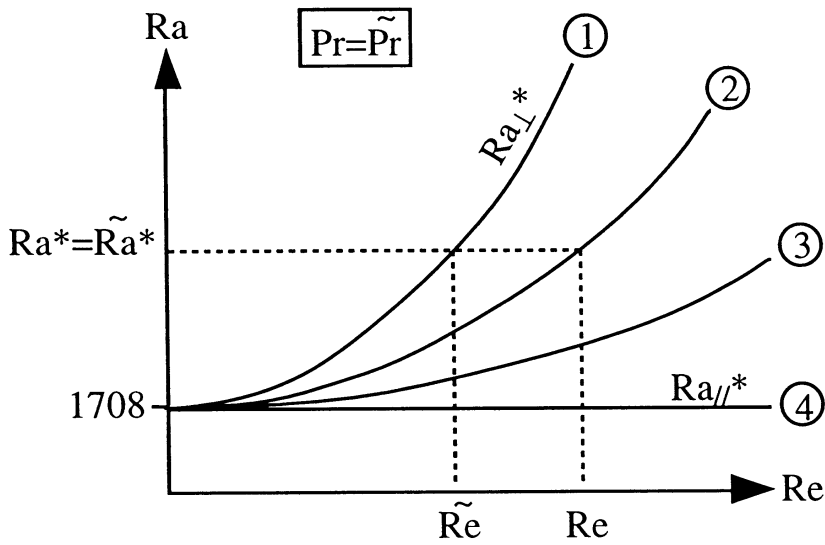


Figure 37 : Représentation du changement de repère résultant de la transformation de Squire dans le cas où les perturbations naissent sous la forme de rouleaux parallèles, inclinés d'un angle θ par rapport à la direction \mathbf{i} de l'écoulement moyen, et de vecteur d'onde $\tilde{\mathbf{k}}_x = \tilde{k}_x \tilde{\mathbf{i}} = (k_x^2 + k_y^2)^{1/2} \tilde{\mathbf{i}}$ (tiré de Nicolas (1997) [102]).

Figure 37 : Representation of the change of reference frame resulting from Squire's transformation when the perturbations arise like parallel rolls, tilted of an angle θ from the direction \mathbf{i} of the average flow, and of wave vector $\tilde{\mathbf{k}}_x = \tilde{k}_x \tilde{\mathbf{i}} = (k_x^2 + k_y^2)^{1/2} \tilde{\mathbf{i}}$ (extracted from Nicolas (1997) [102]).



- ①: $k_x^1 = k_x^{1*} (Re) \neq 0$
 $k_y^1 = 0$
 R_{\perp} 2D et 3D
- ②: $k_x^2 \neq 0$
 $k_y^2 \neq 0$
Perturbations 3D
- ③: $k_x^3 \neq 0$ et $k_x^3 < k_x^2$
 $k_y^3 \neq 0$ et $k_y^3 > k_y^2$
Perturbations 3D
- ④: $k_x^4 = 0$
 $k_y^4 = k_y^{4*} = 3,116$
 $R_{//}$

Figure 38 : Détermination graphique à l'aide de la transformation de Squire (cf. texte) des courbes critiques $Ra^*=f(Re)$ pour des perturbations 3D quelconques dans le cas d'écoulements de PRB entre deux plaques infinies (adapté de la figure VIII-3 de Platten et Legros (1984) [51]).

Figure 38 : Graphical determination from Squire's transformation (cf. text) of the critical curves $Ra^*=f(Re)$ for any 3D perturbations in the case of PRB flows between two infinite plates (adapted from figure VIII-3 of Platten and Legros (1984) [51]).