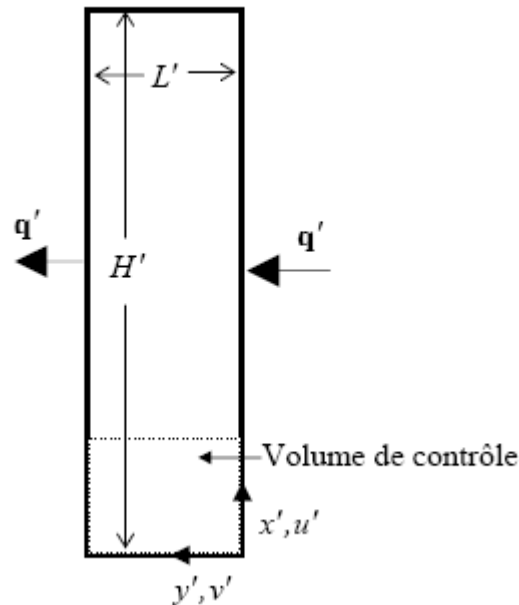


Vu le très grand nombre de travaux sur la convection naturelle thermique dans différentes cavités avec différents fluides principalement Newtonien et des conditions aux limites variantes utilisant des méthodes numériques et expérimentales. Notre étude bibliographique est divisée en deux parties, la convection naturelle dans des cavités parallélépipédique et mixte et la convection naturelle dans des cavités cylindrique ou nous avons mis l'accent sur la convection naturelle dans des cavités annulaires.

## 1. La convection naturelle dans des cavités parallélépipédique et mixte.

**1.1** Dans cette étude les auteurs (M, LAMSAADI, M, NAÏMI, M, HASNAOUI, A, BAHLAOUI, A, RAJI) [2], ont étudié la convection naturelle d'un fluide non-Newtonien, dont la loi de comportement est de type Ostwald-De Waele, confiné dans une cavité verticale chauffée horizontalement à l'aide d'une densité de flux de chaleur uniforme, les parois verticales étant isolées.

Les équations de la convection résultantes sont résolues numériquement dans leur intégralité par le biais d'une approche aux différences finies, centrées dans un maillage régulier ( $241 \times 41$ ) et une cavité ayant un rapport de forme  $A = 12$ .



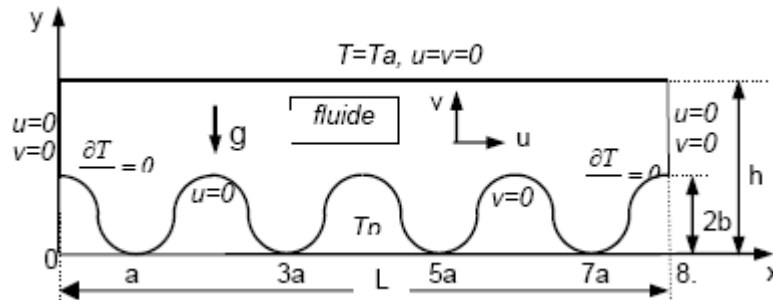
**Modèle physique et système de coordonnées**

Les résultats obtenus à partir de l'approximation d'écoulement pour une cavité rectangulaire verticale allongée ( $A = 12$ ), chauffée horizontalement et remplie d'un fluide non-Newtonien influencé par différents paramètres, notamment celui de l'indice de comportement,  $n$ , le nombre de Prandtl,  $Pr$ , et le nombre de Rayleigh,  $Ra$ , ont montré que l'effet de la rhéologie est tel que la convection thermique est favorisée par le caractère pseudo-plastique ( $0 < n < 1$ ) et défavorisée par celui dilatant ( $n > 1$ ).

**1.2** Les auteurs (M, REBHI, A, BELKACEM, A, TOUHAMI) [3], ont étudié numériquement la convection naturelle laminaire dans une enceinte bidimensionnelle à fond non uniforme (sinusoïdal) chauffé à une température constante et uniforme  $T_p$ , les parois verticales sont adiabatiques et la paroi supérieure est maintenue à une température constante

$T_a$ . Les paramètres dont dépend la structure de la convection naturelle sont : le nombre de Rayleigh qui varie entre  $10^3$  et  $5.10^5$ , le rapport d'aspect de la cavité  $A_s=8$  ( $A_s=L/h$ ) avec  $L$  la longueur,  $h$  la hauteur,  $2a$  la longueur d'onde du fond sinusoïdal, le facteur de forme  $A$  (entre 0.10 et 0.20) et le nombre de Prandtl (celui de l'eau).

Les équations gouvernant l'écoulement et le transfert thermique dans la cavité sont discrétisées en utilisant une méthode implicite aux différences finies et la méthode des volumes de contrôle.



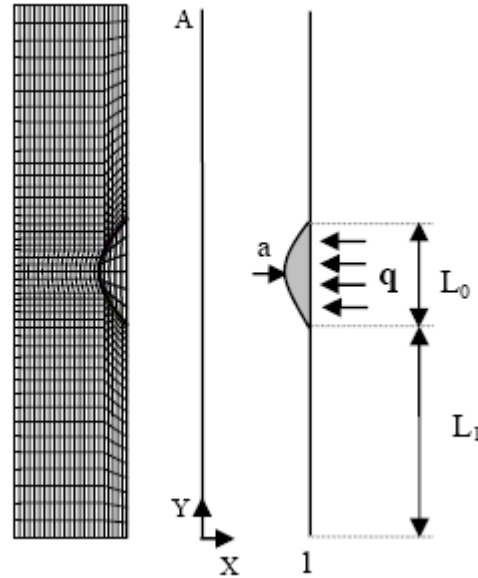
### Section droite du système étudié

L'étude est effectuée pour voir l'influence des différents facteurs de forme et différentes valeurs du nombre de Rayleigh en prenant de l'eau comme fluide remplissant la cavité, les résultats de cette étude sont présentés sous forme d'isothermes et de ligne de courant, les variations des nombres de Nusselt locaux et moyens.

D'après ces résultats ils ont constaté que la structure de l'écoulement est notamment affectée par le facteur de forme de la cavité en même temps que les transferts au voisinage de la paroi. L'écoulement dans la cavité est caractérisé par des zones de recirculation dans les creux et au-dessus des sommets, où les nombres de Nusselt locaux sont plus élevés, d'une façon générale les transferts développés au sein d'une cavité à fond de topographie non plane sont inférieurs à ceux obtenus dans une cavité à fond horizontal et uniforme de même longueur.

**1.3** Les auteurs (BELKACEM Abdellah, REBHI Mebrouk, TOUHAMI Abdelhamid) [4], ont étudié numériquement la convection naturelle dans un canal vertical délimité par deux plaques verticales de hauteur  $H$  et séparé d'une distance  $d$ , au milieu de l'une des plaques est fixée une protubérance sinusoïdale de longueur  $l_0$  et d'amplitude  $a_0$ , cette dernière est soumise à un flux uniforme de densité constante tandis que les parois sont adiabatiques, l'apport de chaleur par la protubérance par conduction-convection à l'air situé en son voisinage engendre une convection naturelle dans l'espace délimité par les deux plaques. Les équations et les conditions aux limites qui leur sont associées sont exprimées sous forme elliptique et discrétisées par la méthode implicite aux directions alterées (ADI), le couplage entre le champ de vitesse et de pression est assuré par l'algorithme PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operators).

Ils ont analysé l'influence du rapport de forme de la protubérance, de la densité de flux de chaleur appliquée à la base de la protubérance et de la conductivité thermique du matériau le constituant sur les transferts dans le canal.

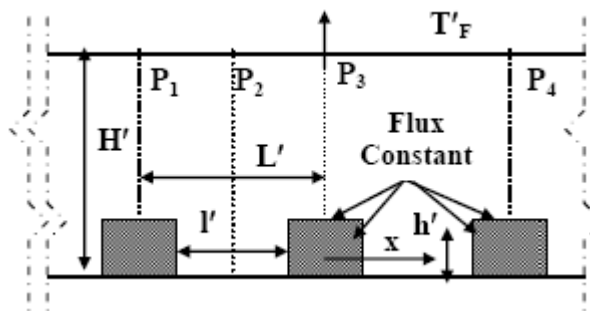


### Domaine de calcul et système de coordonnées

Les résultats ont montré que l'influence de la protubérance sur les transferts est d'autant plus importante que son amplitude et la densité du flux de chaleur qui lui est appliqué sont élevées. Pour des grandes valeurs du nombre de Rayleigh, il apparaît une zone de recirculation localisée dans la partie supérieure du canal en aval de la protubérance, le nombre de Nusselt local est maximal au sommet de la protubérance, zone où les transferts convectifs sont les plus intenses.

**1.4** Les auteurs (M., BAKKAS, M, HASNAOUI & A, AMAHMID) [5], ont étudié numériquement la convection naturelle induite dans un canal horizontal muni de blocs chauffants à l'aide d'un flux de chaleur uniforme et régulièrement disposés sur sa paroi inférieure, les éléments de surface restants sur cette paroi sont adiabatiques, la paroi supérieure du canal, placée à une hauteur  $H'$  de la paroi inférieure, est maintenue à une température uniforme  $T'_F$  (paroi froide du canal).

Les équations sont résolues en utilisant une méthode aux différences finies classique avec un maillage régulier, l'intégration des équations de la vorticité et de l'énergie est effectu e à l'aide de la méthode implicite aux directions altern es (ADI), l'équation de Poisson est trait e par une méthode de surrelaxation successive par point (PSOR).



Configuration  tudi e

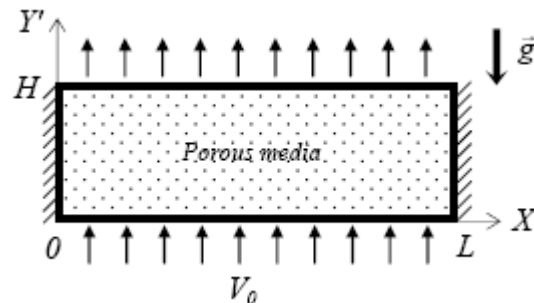
Les résultats obtenus ont montré que plusieurs solutions sont possibles pour ce problème. L'existence et le maintien de chaque type de solution dépend de  $Ra$  et du choix du domaine de calcul.

L'utilisation du DD (domaine contenant deux blocs appelé domaine double) permet d'obtenir des solutions qui retardent considérablement l'apparition du régime instationnaire par comparaison aux solutions obtenues dans le DS (un domaine contenant un seul bloc appelé domaine simple), le transfert de chaleur n'est affecté par la multiplicité des solutions que dans une gamme très étroite de  $Ra$  avec des différences de l'ordre de 10% ou inférieures à cet ordre, pour le DS, on a obtenu une solution symétrique quadra-cellulaire pour  $Ra < 6.7 \times 10^3$ , alors que seules les solutions bicellulaires ont été obtenues dans le cas des blocs isothermes pour cette gamme de  $Ra$ .

**1.5** Les auteurs (Z. ALLOUI, T. NGUYEN-QUANG, T. H. NGUYEN, G. LE PALEC, P. BOURNOT) [6], ont étudié le développement de la convection naturelle dans un milieu poreux avec deux conditions typiques isothermes et d'isoflux.

Le début de la convection est déterminé par la théorie linéaire de stabilité sous l'effet de différentes valeurs supercritiques de Rayleigh, cette étude a prouvé que le développement de la convection naturelle sous l'effet des acheminements est dû aux instabilités sous-critiques.

Pour déterminer le début de la convection, ils ont discrétisé l'ensemble d'équations linéaires en utilisant la méthode de différences finie et pour étudier le développement de la convection aux conditions supercritiques, l'ensemble d'équations non-linéaires dans des conditions de frontière sont discrétisés par une approche de volume de commande, en utilisant des différences centrées pour les dérivés spatiaux et des différences en arrière pour des dérivés de temps, les équations discrétisées pour  $T$  et  $\Psi$  sont alors résolues par le temps marchant jusqu'à ce qu'un état d'équilibre soit réalisé.



**Modèle physique**

Les résultats des essais numériques, pour diverses mailles et étapes de temps ont montré la convection sous l'effet d'un acheminement est due aux instabilités sous-critiques car l'écoulement se développe en modèles multicellulaires dans des conditions isothermes et d'isoflux.

**1.6** Les auteurs (Lioua KOLSI, Mohamed Naceur BORJINI, Habib BEN AISSIA) [7], ont étudié la convection naturelle dans une cavité rectangulaire allongée verticalement ayant un facteur de forme égale à 15 et un nombre de Prandtl égale à 125, relatif à un mélange eau-glycérine, le code numérique utilisé est basé sur la méthode des volumes finis.

Dans ce travail, ils se sont intéressés à détecter l'apparition du régime oscillatoire (en variant le nombre de Grashof) qui a été suivi d'une étude fréquentielle permettant d'apercevoir le passage au régime chaotique.

Les résultats obtenus l'écoulement est caractérisé par une stratification verticale du champ de température pour des nombres de Grashof supérieurs ou égaux à 200 et il est stationnaire monocellulaire jusqu'à une valeur critique du nombre de Grashof :  $Gr_{cr}=2800$  où il y a

apparition d'un régime oscillatoire périodique, ce régime s'accompagne par la création d'une cellule secondaire

En augmentant le nombre de Grashof le régime reste périodique jusqu'à une valeur de  $Gr=3100$  où il y a une première apparition du régime chaotique qui s'étale sur un intervalle étroit du nombre de Grashof délimité par  $Gr=3200$

Avant d'atteindre ce régime chaotique, le nombre des cellules secondaires est égal à deux et après le régime chaotique la structure se transforme en deux cellules centrales et deux cellules secondaires.

Ils ont trouvé aussi que la fréquence d'oscillation augmente légèrement entre  $Gr=2800$  et  $Gr=2900$ , et diminue entre  $Gr=2900$  et  $Gr=3000$  puis se stabilise pour  $Gr=3050$ , après le régime chaotique, un saut de fréquence est remarqué (de 5,8 à 10,4), et de  $Gr=3300$  jusqu'à 3600 la fréquence est stabilisée à 11 puis elle augmente à partir de  $Gr=3700$ .

**1.7** Dans ce travail les auteurs (S, AKLOUCHE, B, ZEGHMATI, K, BOUHADEF, M, DAGUENET) [8], ont étudié numériquement la convection naturelle bidimensionnelle instationnaire dans une enceinte fermée de section carrée remplie d'air, les parois verticales de cette enceinte sont divisées en deux parties de même dimension, la partie inférieure est maintenue à une température supérieure à l'autre partie de la paroi et les parois horizontales sont adiabatiques.

Les équations d'énergie et de la vorticité sont résolues au moyen de la méthode aux directions alternées (ADI) et les systèmes d'équations algébriques qui en résultent associées à leurs conditions aux limites sont de types tridiagonales et sont résolues par l'algorithme de Thomas. L'étude est axée essentiellement sur la mise en évidence des routes vers le chaos ( $Pr=0.71$ ), pour différentes valeurs de Rayleigh, pour analyser l'influence du nombre de Rayleigh sur les transferts au cours du temps.

Ils ont effectué le calcul pour trois valeurs du nombre de Rayleigh thermique ( $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ) et un nombre de Prandtl de l'air pris égal à 0.71 et un pas de temps égal à  $10^{-5}$ .

Les résultats sont présentés sous forme de lignes de courant, et d'isothermes.

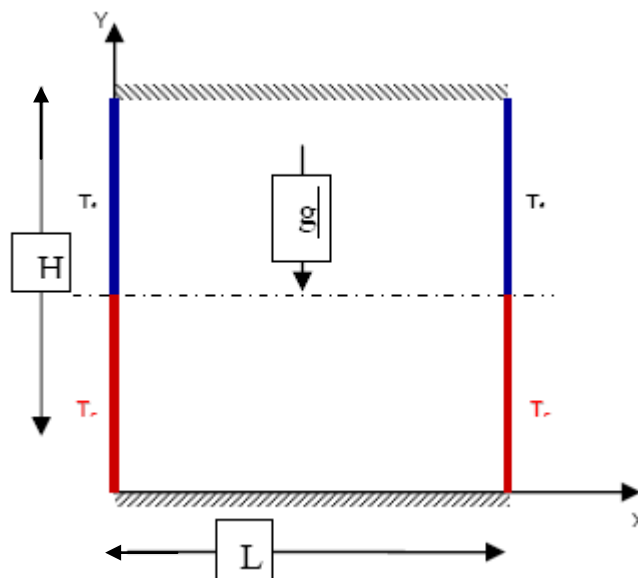


Schéma de la section droite de l'enceinte

Ces résultats ont montré que l'apparition d'un écoulement en régime chaotique pour des nombres de Rayleigh variant entre  $7.5 \cdot 10^5$  et  $3 \cdot 10^6$  et pour un nombre de Rayleigh égal à  $3.7 \cdot 10^6$  l'apparition de fenêtres en régime laminaire.

**1.8** Les auteurs (A Benkhelifa, et F Penot) [9], ont étudié expérimentalement des transitions à l'instationnarité des mouvements de convection naturelle dans une cavité rempli d'air de rapport de forme vertical  $A = 4$  possédant deux parois différentiellement chauffées à température constante, et inclinée d'un angle  $\theta$  ( $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ ).

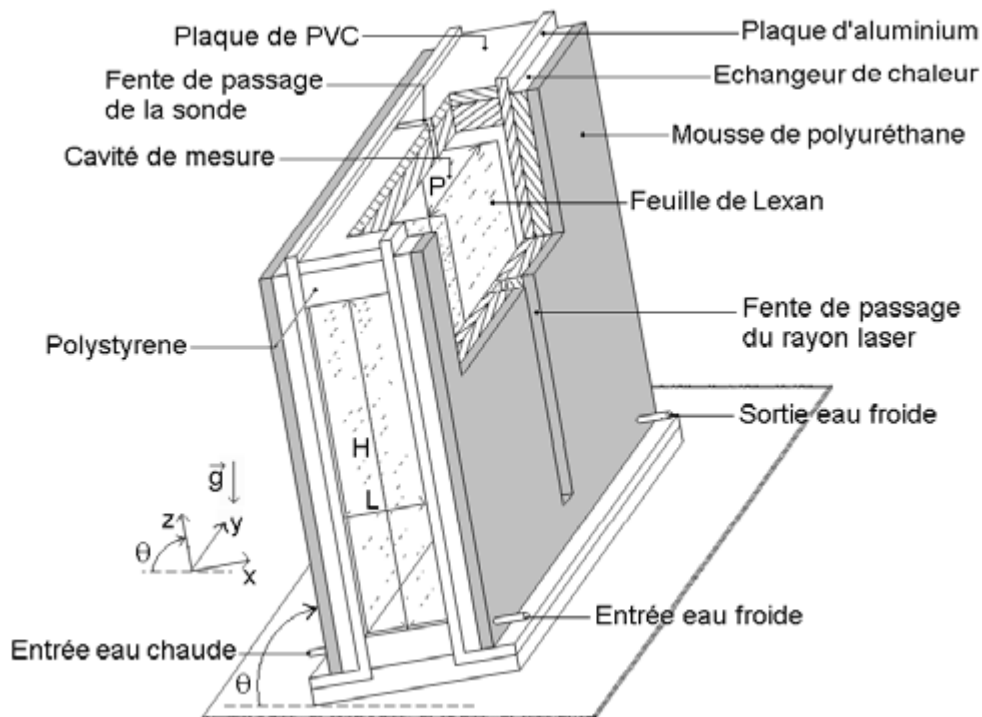
Pour ce faire, des mesures locales de fluctuations de température en haut de la couche limite chaude ont été faites en faisant varier progressivement l'écart de température entre les deux parois actives jusqu'à  $42^\circ\text{C}$ .

Ces mesures ont été traitées par la transformée de Fourier rapide (FFT), puis suivies par des visualisations des écoulements par tomographie laser (effectuées dans le plan médian perpendiculaire aux deux parois actives et suivant la hauteur  $H$ ).

Les analyses des résultats obtenus à l'aide des moyens de mesures et de visualisation ont permis de distinguer différents modes d'instabilités en fonction de l'angle d'inclinaison.  $\theta$ .

Concernant les mesures de températures locales de l'air dans la cavité, ils sont effectuées à l'aide de deux thermocouples

Afin d'avoir des informations qualitatives permettant d'appréhender les différents phénomènes rencontrés, des visualisations ont été réalisées par tomographie laser, cette technique optique non intrusive consiste à créer un plan lumineux dans la zone concernée de l'écoulement et à visualiser le mouvement du fluide dans ce plan par injection de microparticules solides de masse volumique la plus proche possible de celle du fluide considéré.



**Ecorché montrant la cavité expérimentale**

Les résultats ont montré que dans les cavités fortement inclinées ( $\theta \leq 40^\circ$ ) chauffées par dessous, le régime turbulent est atteint très tôt et l'écoulement est affecté par des fréquences basses causées par des instabilités de Rayleigh-Bénard, pour des inclinaisons  $60^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$ ,

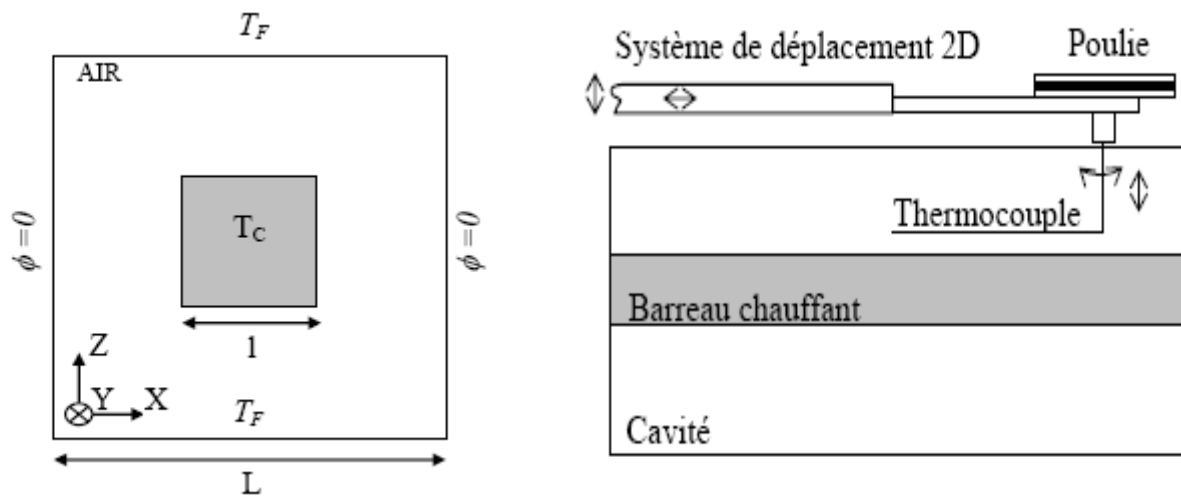
l'écoulement est dominé par des fréquences hautes dues à des instabilités de couche limite de Tolmien-Schlichting, par ailleurs, pour des cavités inclinées d'un angle  $\theta$  tel que  $100^\circ < \theta \leq 140^\circ$ , l'écoulement est plutôt affecté par des ondes de gravité de basses fréquences, cependant, au-delà de  $140^\circ$  d'inclinaison, aucune fréquence n'a été observée sur les spectres de puissance, et les visualisations effectuées montrent que l'écoulement reste stationnaire quel que soit l'écart de température.

**1.9** Les auteurs (L. Perrin, V. Ménard, P. Reulet, F. Micheli, P. Millan) [10], ont étudié expérimentalement les aspects dynamiques et thermiques d'un écoulement de convection naturelle en espace confiné générée par un barreau placé au centre d'une enceinte.

Plusieurs rapports de forme ont été explorés (0,2, 0,4, 0,6 et 0,8) pour une même cavité de 100 mm de côté, les champs dynamiques globaux sont mesurés à l'aide de la Vélocimétrie par Image de Particule (PIV) alors que les mesures en proche paroi sont réalisées par Vélocimétrie Laser Doppler (LDV), d'autre part, les champs thermiques globaux sont obtenus par le balayage d'un thermocouple dans la cavité.

Cette étude s'est principalement orientée sur la zone située entre le barreau et le plafond de l'enceinte où les échanges thermiques y sont les plus importants.

Le dispositif expérimental de la cavité est un parallélépipède à base carrée de côté 100mm et de 170mm de profondeur, les parois verticales sont constituées d'un double vitrage doublé par 50mm de mousse isolante, les parois horizontales sont constituées de plaques de cuivre dans lesquelles circule de l'eau régulée en température à l'aide d'un bain thermostaté, la température de ces parois est fixée à  $T_F = 30^\circ\text{C}$  et une visualisation par caméra infrarouge permet de vérifier l'homogénéité thermique des parois.



**Schéma du cas d'étude et dispositif de mesure des champs de température**

Les résultats obtenus montrent que pour  $A=0,2$  et  $0,6$  ( $A = \frac{l}{L}$ ) a mis en évidence deux topologies d'écoulement distinctes : formation d'un panache pour  $A=0,2$  et écoulement à 4 cellules pour  $A=0,6$ , d'autre part, pour  $A=0,4$ , les mesures ont montré la présence d'un écoulement instationnaire périodique caractéristique d'une bifurcation, Pour  $A=0,8$ , l'écoulement est constitué de deux cellules latérales et d'une zone de conduction au dessus du barreau chauffant

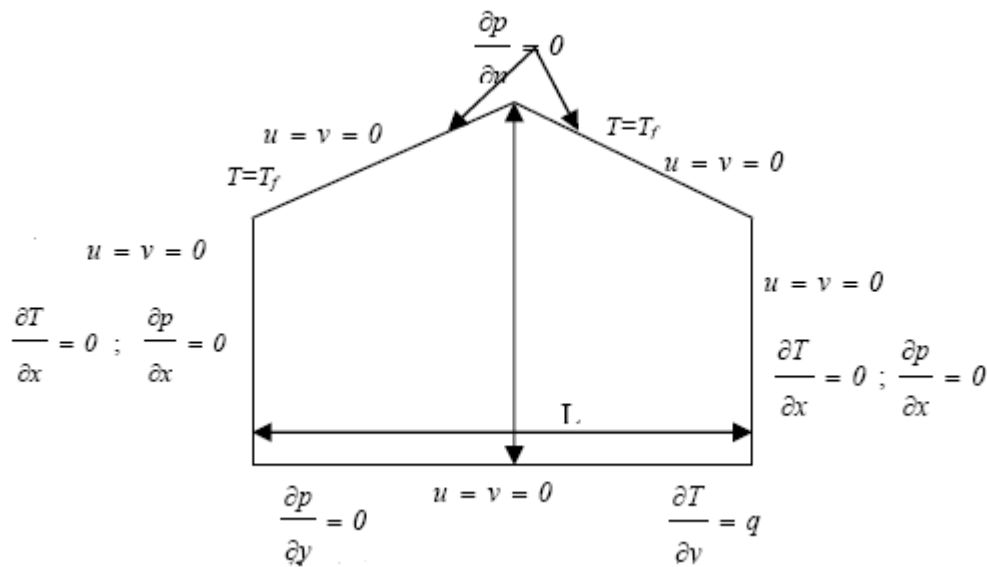
**1.10** Les auteurs (B, DRAOUI, M, BENYAMINE et T, BOULARD) [11], ont étudié numériquement le transfert thermique convectif dans une serre dépourvue de culture et chauffée par le bas (un flux imposé).

Ils ont simulé les écoulements d'air dans une serre dans le but d'étudier l'influence du nombre de Rayleigh ainsi que le rapport de forme sur les champs dynamiques et thermiques.

La résolution des équations a été réalisée par la méthode des volumes finis, et s'effectue par une méthode itérative, et ils ont simulé à l'aide d'un code de calcul basé sur l'algorithme SIMPLER (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equation Revised), la circulation générale de l'air au sein d'une serre fermée non cultivée.

Dans cette étude, ils ont tracé les lignes de courants, les isothermes, pour des rapports de forme  $A=L/H=1$  ( $L=6\text{m}$  et  $H=6\text{m}$ ) et  $A=3/2$  ( $L=6\text{m}$  et  $H=4\text{m}$ ) et pour différents nombre de Rayleigh  $Ra$ .

Les résultats obtenus ont montré que la convection naturelle prend de l'ampleur et prédomine sur la conduction, lorsque  $10^5 \leq Ra \leq 10^7$ , les particules d'air réchauffées au niveau du sol s'élèvent le long de la paroi, puis, les particules refroidies au contact du toit s'écoulent au voisinage de l'autre paroi et au voisinage du plan  $x \approx 3$ . Pour un temps suffisamment lent où le régime permanent est atteint, l'écoulement du fluide se caractérise par une seule cellule principale pour  $A=1$  et deux cellules égales, tournant en sens inverse pour  $A=3/2$ .



### Géométrie et conditions aux limites

Ils ont observé aussi que l'écart de température entre le sol et le centre de la serre est supérieur à celui entre le toit et le centre, cela peut s'expliquer par la grande différence des inerties du sol et la paroi (plastique).

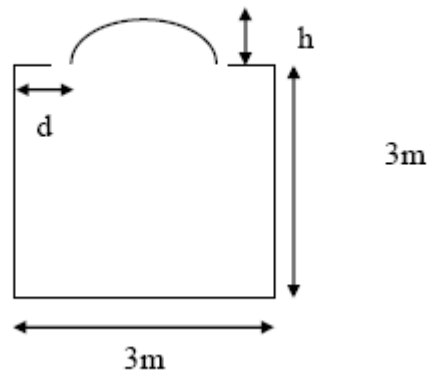
L'évolution du transfert de chaleur dans la serre pour différents nombres de Rayleigh, représenté par le nombre de Nusselt, est représenté par des courbes, qui montrent que le nombre de Nusselt local croît en fonction de  $x$ , et au voisinage de la paroi, ce dernier tend vers une valeur maximale, donc, la logique est respectée du moment qu'il y a une concentration d'isothermes au niveau des coins (sol), ce qui explique un nombre de Nusselt important, afin d'analyser l'influence du nombre de Rayleigh sur le taux d'échange, ils ont présenté la variation du nombre de Nusselt en fonction du nombre de Rayleigh pour les deux facteurs de forme ( $A=1$  et  $A=3/2$ ),



Ils ont constaté que pour un nombre de Rayleigh variant de  $10^4$  et  $10^5$ , le nombre de Nusselt est faible et c'est la conduction qui domine, avec l'augmentation du nombre de Rayleigh, le taux d'échange augmente et le nombre de Nusselt devient important.

Le taux d'échange est plus important que pour  $A=1$  et ceci peut être expliqué par le fait que la géométrie pour  $A=3/2$  favorise mieux la circulation d'air et par conséquent un échange de chaleur important (serre plus large).

**1.11** Les auteurs (N, FEZZIOUI, et B, DRAOUI) [12], ont étudié numériquement la convection naturelle thermique bidimensionnelle instationnaire dans une cavité avec un toit en forme de coupole rempli avec un fluide newtonien, (en l'occurrence de l'air). Les surfaces verticales gauches et droites sont supposées adiabatiques ou isothermes, conformément aux hypothèses souvent adoptées pour les parois de bâtiment. Par contre, les surfaces horizontales supérieures (toit) et inférieures sont considérées isothermes, et sont portées aux températures chaudes ( $T_c$ ) et température froide ( $T_f$ )



### Problème étudié

Les équations du modèle sont discrétisées par la méthode des différences finies, basée sur l'approche des volumes, afin de réaliser un compromis entre le temps et la précision des résultats de la simulation, ils ont fait une étude d'optimisation sur l'influence des pas d'espace utilisés.

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de ligne de courant et d'isothermes, pour des formes différentes, ils ont varié le facteur de forme ainsi que le nombre de Rayleigh, les valeurs des températures prises en compte sont prises pour les valeurs habituellement rencontrées dans la région de Bechar.

Ces résultats ont montré que pour un plan médian vertical (au dessus), la température diminue, l'air perd, en effet, de la chaleur, au niveau de la paroi.

Les isothermes présentées affichent des distorsions qui deviennent plus importantes avec l'augmentation du nombre de Ra.

Pour  $Ra=10^4$ , la convection devienne plus dominante, ils ont constaté une naissance d'une concentration des isothermes dans les coins de deux circulations aux coins supérieur et inférieur respectivement de la paroi gauche.

Concernant les lignes de courant, on remarque le développement de deux cellules principales dont le sens de rotation est opposé un à un pour le cas de nombre de  $Ra=10^2$  et  $Ra=10^3$ . Avec l'augmentation de nombre de Ra, les deux cellules se transforment en une grande cellule

de taille plus grand et de circulation positive, pour le nombre de  $Ra=10^5$ , ils ont distingué le développement de deux cellule secondaires aux coins supérieurs et inférieurs au voisinage de la paroi gauche.

**1.12** L'auteur (H, SALMMUN) [13], a étudié numériquement la convection naturelle dans des cavités triangulaires d'allongement  $1 \leq Al \leq 10$  et pour deux types de fluides (l'air et l'eau) avec un nombre de Grashof qui varie entre  $10^2$  et  $10^5$ .

Les équations de conservation de mouvement et de l'énergie en régime transitoire sont résolues par la méthode (ADI).

L'auteur a mis en évidence un écoulement unicellulaire pour  $Gr=10^3$ , Au dessus de cette valeur, il se développe un écoulement multicellulaire, il apparaît un écoulement oscillatoire pour  $Gr=10^4$  dans le cas de l'air et  $Gr=10^5$  pour l'eau.

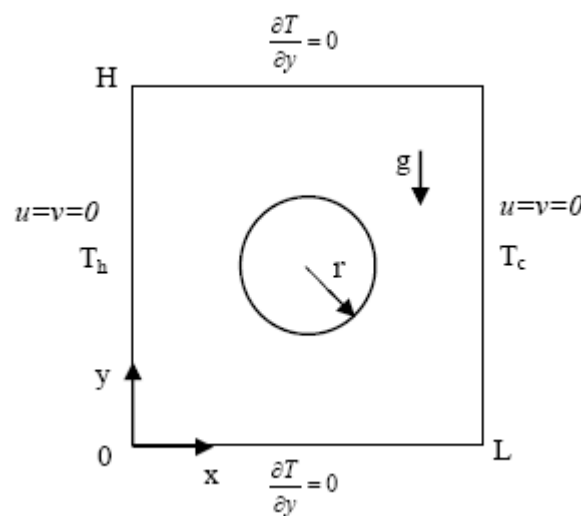
**1.13** Les auteurs (M,RAVI et R,HENKES) [14], ont basé leurs recherches dans le but de déterminer en détail le type d'écoulement dans les coins de la cavité soumise à des sollicitations thermiques élevées ( $10^6 \leq Ra \leq 10^8$ ) pour différents types de fluide  $0.85 \leq Pr \leq 1.8$ .

Les équations de conservation sont intégrées sur des volumes de contrôle,

Dans cet article, les auteurs montrent que l'augmentation de la sollicitation thermique conduit à des recirculations aux niveaux des coins de la cavité.

**1.14** Les auteurs (M, JAMI, A, MEZRHAB) [15], ont étudié le transfert thermique d'un écoulement d'air dans une cavité carrée au centre de laquelle est placé un cylindre de rayon  $r$  générant de la chaleur, les parois horizontales sont adiabatiques et les parois verticales sont isothermes et portées à des températures chaude  $T_h$  et froide  $T_c$ .

La méthode numérique adoptée est celle des «gaz sur réseaux» (Gaz de Boltzmann sur réseau), elle suit le déplacement de milliers de "particules fluides" qui sont contraintes à se déplacer sur un réseau (qui peut être hexagonal, carré avec diagonales ou autre), cette méthode présente des avantages par rapport aux autres méthodes classiques dans la résolution des équations de Navier-Stokes, parmi ces avantages, la grande facilité avec laquelle on peut traiter les obstacles les plus complexes et l'aisance avec laquelle on traite les écoulements multiphasiques ainsi que la simplicité de sa programmation.



**Modèle physique**

Les résultats sont présentés en termes de ligne de courant, des isothermes et des nombres de Nusselt moyen à la paroi chaude ( $Nu_h$ ) et froide ( $Nu_c$ ).

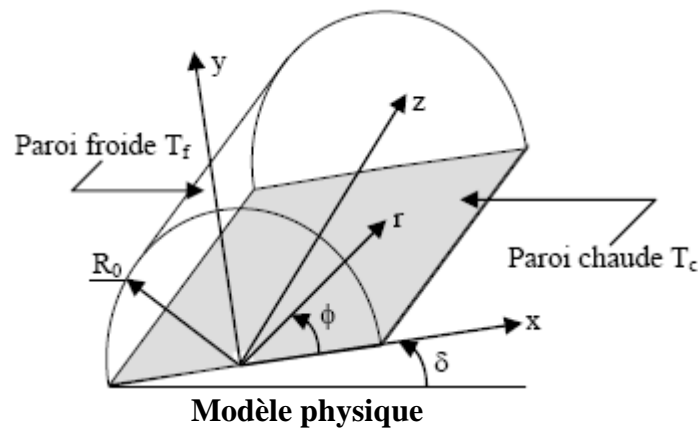
Afin d'analyser l'effet du nombre de Rayleigh et de la chaleur produite par le cylindre interne, ils ont présenté les isothermes et les lignes de courant pour  $Ra = 10^3$  et  $10^6$ , pour chaque valeur de  $Ra$ , le taux de différence de température  $\Delta T^*$  est pris égal à 0, 10 et 50, en absence de la production de la chaleur ( $\Delta T^* = 0$ ) et vu la position des parois actives, les lignes de courant circulent dans le sens des aiguilles d'une montre, pour des valeurs basses de  $Ra$ , la circulation est faible, les lignes de courant sont circulaires et les isothermes ont tendance à être parallèles aux parois verticales car le transfert thermique se fait par conduction.

Quand  $Ra$  augmente, la vitesse de l'écoulement devient importante et la circulation devient forte près de la paroi chaude et de la paroi froide.

Dans le cas de la génération de la chaleur ( $\Delta T^* \neq 0$ ), la température augmente à l'intérieur de la cavité et devient maximale sur le cylindre, donc le transfert se fait du cylindre vers les parois actives on provoque une re-circulation dans le sens trigonométrique, elle s'intensifie avec l'augmentation de  $\Delta T^*$ .

**1.15** Les auteurs (N, RETIEL, M,A, KHIAT et H, BOUGUERRA) [16], ont étudié l'influence de l'inclinaison d'une cavité demi cylindrique en faisant varier l'angle  $\delta$  entre  $0^\circ$ , qui correspond à la cavité horizontale, jusqu'à  $15^\circ$ , pour chaque valeur de  $\delta$  ( $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ) ils ont varié le nombre de Rayleigh de  $10^3$  à  $10^6$  pour un nombre de Prandtl égal à 0.7 qui correspond à l'air, le modèle numérique utilisé pour résoudre le système d'équations est fondé sur la méthode des volumes finis.

L'intérêt de cette étude c'est de voir l'influence de l'inclinaison de la cavité demi cylindrique sur la structure de l'écoulement et la distribution de la température dans les deux cas stationnaire et instationnaire.



Les résultats ont révélé pour le cas stationnaire pour  $\delta$  égal à  $0^\circ$  que la structure d'écoulement est formée par deux cellules symétriques et un champ de température sous forme de panache vertical lorsque le nombre de Rayleigh est  $10^5$ .

L'augmentation de  $\delta$  engendre une déstabilisation de la structure de l'écoulement avec la dominance d'une cellule, si la cavité est inclinée vers la gauche, la cellule gauche se développe en occupant presque la totalité de la cavité, par contre la cellule droite rétrécie.

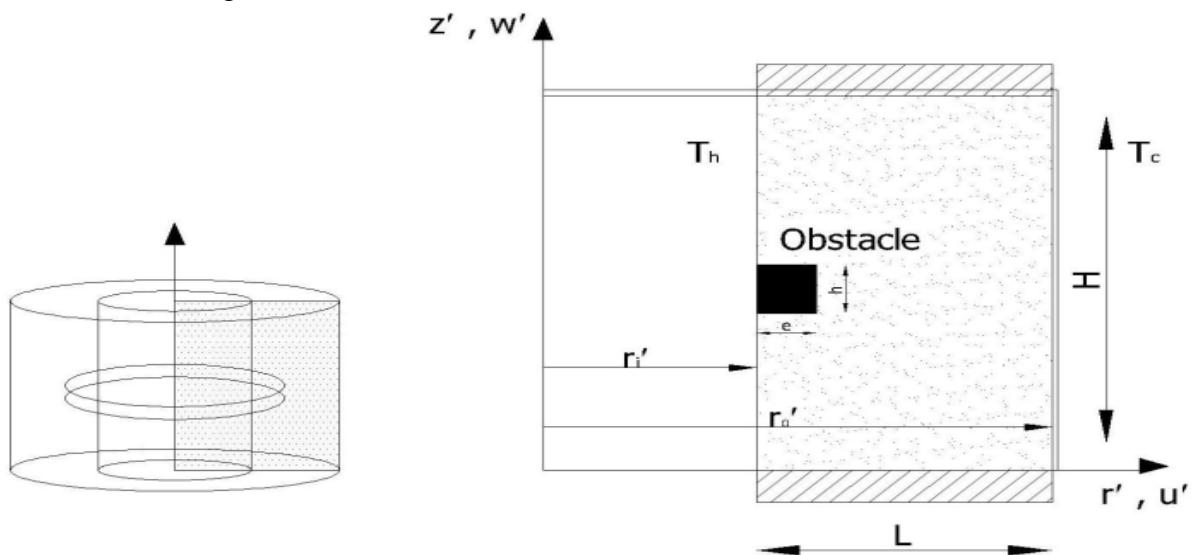
Pour le cas instationnaire ils ont choisi le plus faible angle d'inclinaison  $\delta = 1^\circ$  et ils ont imposé des conditions initiales symétriques, pour un temps faible de l'ordre de  $\tau = 10$ , une structure d'écoulement pratiquement symétrique à une cavité horizontale ( $\delta = 0^\circ$ ), et pour un temps  $\tau = 100$ , la cellule droite n'occupe que 1/3 de la cavité, en arrivant au temps  $\tau = 200$  l'écoulement atteint un état stationnaire.

## 2. La convection naturelle dans des cavités cylindrique:

**2.1** Les auteurs (K.CHOUKAIRY et R.BENNACER) [17], ont étudié l'effet d'un obstacle sur le transfert de chaleur, cet obstacle modifie la structure de l'écoulement et affecte les transferts locaux.

Cette modification est plus prononcée dans une configuration cylindrique au vu de la dissymétrie des écoulements résultants, l'effet d'un obstacle sur le transfert thermique, induit par convection naturelle, est étudié numériquement par la méthode des volumes finies, la configuration considérée est celle du domaine annulaire, les parois verticales sont maintenues à des températures différentes et uniformes alors que les parois horizontales sont adiabatiques. L'effet de la dimension (son épaisseur et sa hauteur) et la conductivité de l'obstacle sur le transfert sont analysés pour des cas suivantes.

Il ont considéré à la fois un bloc de conductivité faible (isolant) et élevée (conducteur), Le bloc est placé à proximité immédiate du cylindre intérieur et son épaisseur (l'obstacle) varie de  $e=0$  (sans obstacle cas de référence) à  $e=1$  où l'obstacle couvre toute la largeur de la cavité, pour un but d'étudier la variation de Nusselt moyen (paroi chaude) avec l'épaisseur de l'obstacle pour les deux conductivités thermiques extrême ( $kr = 1$  et  $300$ ), et pour une hauteur d'obstacle égale à  $0.1$ .

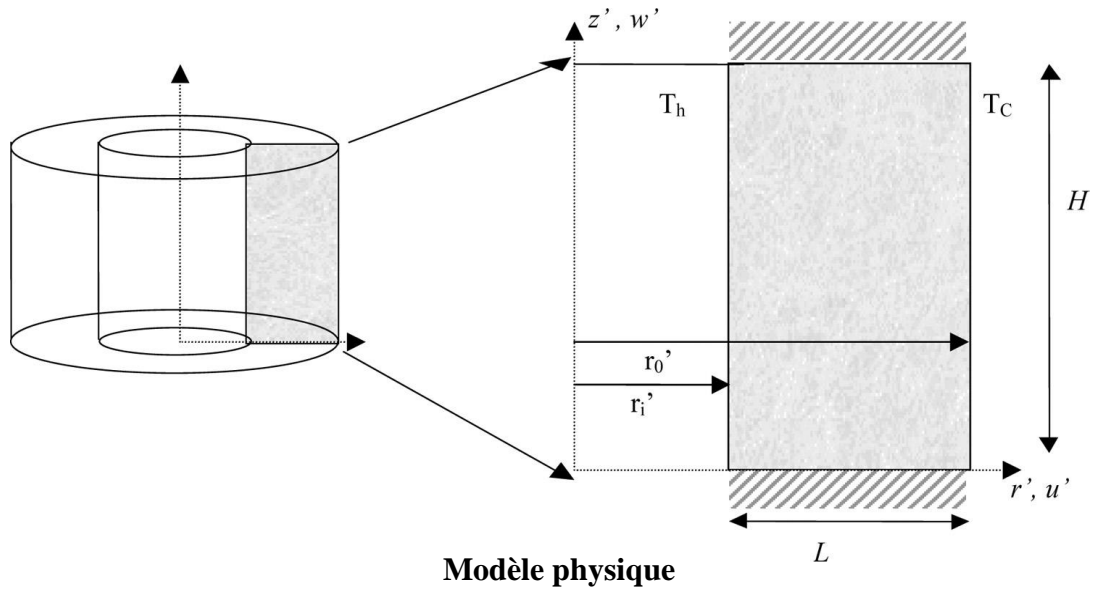


**Modèle physique étudiier**

Les résultats numériques ont montré que l'accroissement ou la réduction du transfert de chaleur peut être obtenu par la modification des conductivités thermique du bloc via différents mécanismes.

- L'existence de l'obstacle, augmente la résistance thermique ce qui diminue (pour les faibles conductivités) le transfert de chaleur
- L'augmentation de la surface d'échange permet l'augmentation du transfert.
- L'inclusion de l'obstacle modifie l'écoulement global et donc les transferts locaux.

**2.2** Les auteurs (K. Choukairy, R. Bennacer, H. Beji, and S. Jaballah) [18], ont étudié la convection naturelle dans une cavité cylindrique annulaire en régime transitoire pour  $Pr=0.71$ , la résolution des équations de NAVIER-STOKES par la méthode des volumes finis.



Ils ont étudié l'effet du nombre de Rayleigh et l'effet de courbure sur le temps d'évolution de l'écoulement, les résultats ont montré que le temps nécessaire pour la stabilité de l'écoulement (état stationnaire) croît avec l'intensité de la convection.

**2.3** L'étude de (K, CHOUKAIRY, R, BENNACER & M, EL GANAOU) [19], vise la compréhension et la quantification du transfert de chaleur au travers des domaines annulaires sans modifications de la géométrie et plus particulièrement l'effet du partitionnement horizontal sur le couplage thermique des différents sous domaines.

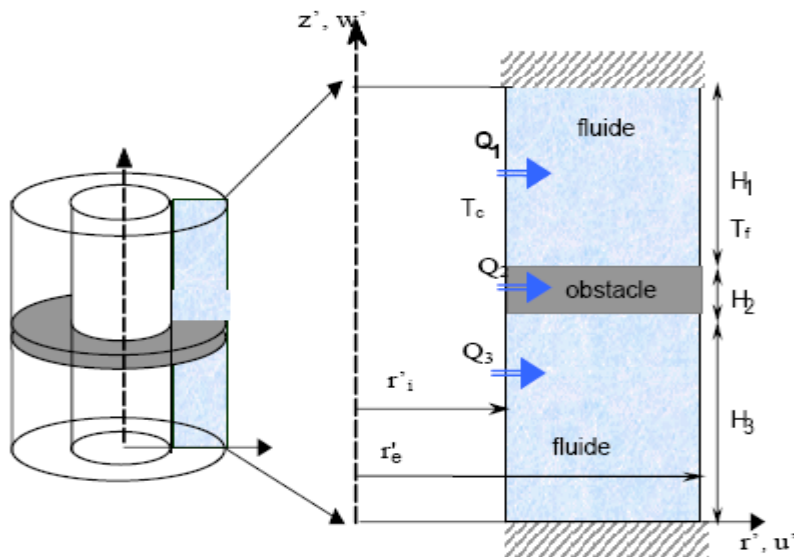
Dans la présente étude, l'effet du partitionnement horizontal sur le couplage thermique des différents sous domaines est étudié analytiquement et numériquement.

L'approche analytique a montré clairement les capacités d'estimer le taux du transfert thermique et de prédire les conditions optimales pour atteindre le maximum d'échange.

La simulation numérique a illustré la validité des résultats analytiques et a permis d'identifier les conditions nécessaires et suffisantes pour appliquer les corrélations trouvées analytiquement pour différentes courbures et nombres de Rayleigh.

Les résultats trouvés montrent que le transfert de chaleur atteint un maximum avec le rapport de forme. Pour des couches limites bien développées ( $A > 1$ ), il tend asymptotiquement vers

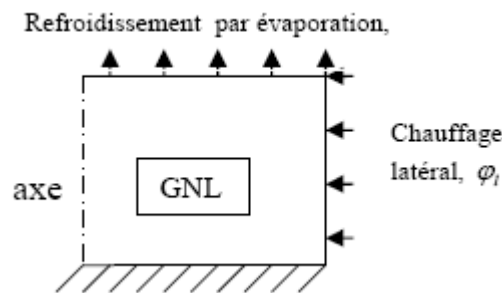
$$A^{-\frac{1}{4}}.$$



Les résultats montrent aussi que le transfert de chaleur dans une cavité partitionnée est supérieur à celui obtenu dans une cavité non partitionnée au delà d'une certaine valeur du rapport de forme  $A > 1$ .

**2.4** L'étude de (M.S.KHELIFI TOUHAMI, A.BENBRIK, D.LEMONNIER, D.BLAY) [20], est porte sur la convection naturelle dans une cavité cylindrique avec chauffage latéral suivi d'une évaporation à la surface libre du liquide.

Le liquide et un gaz naturel liquéfié stocké dans les bacs cryogéniques affectée par la convection naturelle le long de la paroi du réservoir dont l'isolation n'est pas parfaite.



**Représentation schématique du problème étudié**

La forme non conservative des équations est discrétisée sur un maillage uniforme en utilisant la méthode des différences finies,

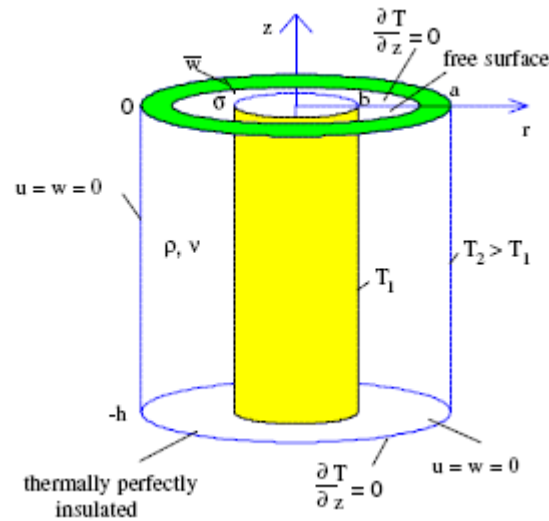
Les résultats ont montré que les valeurs spécifiques du gaz obtenue par le calcul pour des nombres de Rayleigh variant entre  $10^3$  et  $10^5$  et des rapports d'allongement de la cavité  $Al=1/3$ ,  $1/2$  et  $1$ , ces rapports inférieurs à  $1$  correspondent au fait que les bacs de stockage du GNL sont généralement partiellement remplis, dans tous les cas de simulation le nombre de Prandtl est fixée à  $2$  ( $Pr$  du GNL) pour tous les cas d'allongement de la cavité.

Dans un premier lieu, ils ont étudié les profils de température adimensionné pour  $Ra = 10^5$  et  $Al = 1/3$ ,  $1/2$ ,  $1$ , les résultats ont montré que la température moyenné calculé est la plus élevée dans le cas de l'allongement unitaire ( $T=0,96$ ) alors qu'elle n'est que de  $0,38$  pour  $Al = 1/3$ . D'autre part ils ont noté une décroissance de la température moyenne avec l'augmentation du nombre de Rayleigh, et ce pour chaque type d'allongement.

Ils se sont aussi intéressés à l'évolution du nombre de Nusselt latéral et du nombre de Nusselt à la surface libre.

**2.5** Les auteurs (Helmut F Bauer et Werner Eidel) [21], ont étudié la convection thermocapillaire dans un récipient cylindrique annulaire de rayon intérieur  $b$  et de rayon externe  $a$ , rempli d'un liquide incompressible et visqueux à la hauteur  $h$ , la paroi extérieure de récipient est maintenue à une température  $T_2$ , avec  $T_2 > T_1$  et la paroi intérieure de récipient est maintenue à une température  $T_1$ , alors que le fond du réservoir au  $z=-h$  est adiabatique, la surface libre de liquide à  $z=0$  est soumise à un gradient radial de la température.

L'importance de la tension superficielle au niveau de la surface libre de liquide est selon la température locale liquide que un effort de cisaillement sur la surface liquide crée une convection thermocapillaire, qui par la suite transmise par traction visqueuse dans la majeure partie du liquide de la colonne annulaire.



### Modèle physique et système de coordonnées

Ils ont étudié l'effet rapport de la courbure ( $k=b/a$ ) et le rapport de taille du liquide ( $h/a$ ) sur la structure dynamique de fluide, et aussi ils ont étudié l'effet ou le gradient de la température montre un comportement oscillant, et l'effet de partitionnement sur la surface libre du liquide dans la région,  $a-\omega \leq r \leq a$  ou  $\omega$  est la largeur de l'anneau.

Les résultats présentés sous forme de ligne de courant pour des valeurs suivantes,  $0.5 \leq b/a \leq 2$ ,  $1 \leq h/a \leq 1.25$ , et un nombre Marangoni  $M=24$ .

D'après cette étude ils ont constaté plusieurs explications:

- La structure de l'écoulement dépend fortement du rapport de la courbure ( $k=b/a$ ) et le rapport de taille du liquide ( $h/a$ ).
- Pour une faible valeur de ( $h/a$ ) ils ont constaté la présence d'un vortex singulière qui circule dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.
- Les vitesses d'écoulement augmentent ( $u$  et  $w$ ) avec l'augmentation du gradient de température.
- Les vortex extérieur montre un écoulement plus fort que les vortex intérieur de jante.
- l'augmentation du rapport de taille du liquide ( $h/a$ ). provoquant un nombre toujours croissant d'anneaux de vortex.

### 3. Conclusion:

L'étude que nous avons rencontrée dans la littérature, montre que la convection naturelle dans les cavités a été largement étudiée au cours des dernières années, parce qu'elle sert à modéliser et prédire des phénomènes dans des domaines variés.

Parmi, les travaux qui nous ont le plus attiré notre attention, citons en particulier les travaux de De Vahl Davis et al.[23] à des nombres de Rayleigh de l'ordre de  $2 \cdot 10^5$ , une étude paramétrique faisant varier le nombre de Prandtl dans la gamme  $0.5 < Pr < 10^4$  et le rapport de forme  $A$  entre 1 et 33 pour des rapports de rayon compris entre 1 et 10 leur a permis de conclure que le transfert de chaleur n'est pas seulement fonction du nombre de Rayleigh  $Ra$  et du rapport de forme  $A$  mais également du rapport des rayons  $K$ .

Citons également les travaux de Schwab et Dewitt [24] qui ont calculé le nombre de Nusselt moyen pour différentes valeurs de  $Ra$ ,  $Pr$  et  $A$  et pour un rapport de rayon  $K=2$ , leurs résultats sont 30 à 50% supérieurs à ceux de De Vahl Davis et al.[23]. Lorsque  $K$  augmente fortement, la courbure de la paroi extérieure n'aura plus d'influence sur l'écoulement dans le cœur de la

cavité, il sera alors assimilé à un écoulement de couche limite autour d'un cylindre vertical chaud, par contre l'étude la plus récente sur la convection naturelle dans une cavité annulaire est celle de Kumar et al [22]. Elle fournit des corrélations pour des cavités à faible et moyen rapport de forme ( $0.3 \leq Ar \leq 10$ ), pour des rapports de rayons compris entre 1 et 15 et des nombres de Rayleigh variant de  $10^4$  à  $10^6$ . Ils ont obtenu des corrélations pour un fluide ayant un nombre de Prandtl constant et égal à 0.7 pour le but d'étudier l'effet de la courbure des parois verticales sur la structure de l'écoulement et le transfert de chaleur. C'est pour cela on a validé notre code de calcul à partir des travaux de Kumar et al [22] et de Vahl Davis et al [23] et Schwab et Dewitt [24].

Nous pouvons remarquer que la majorité des travaux effectués se sont intéressés aux effets des paramètres géométriques (rapport de forme A et rapport des rayons K). Nous avons jugé utile d'étudier l'effet d'un autre paramètre géométrique qui est la variation du rapport de la hauteur du cylindre intérieur sur le cylindre extérieur dont la valeur a été fixée à l'unité dans tous les travaux cités ci-dessus. Notre travail consiste donc à étudier la convection naturelle dans une cavité cylindrique partiellement annulaire où les résultats montrent l'influence du rapport des hauteurs  $X=h/H$ , ( $0 \leq X \leq 1$ ), pour  $10^3 \leq Ra \leq 10^6$  en fixant  $A=1$ ,  $K=2$  et  $Pr=7.0$ .