

دراسة الحمل الحراري الطبيعي ضمن تجاويف القرميد الجداري

الدكتور عهد محمود سليمان*

(تاريخ الإيداع 25 / 3 / 2014. قُبل للنشر في 16 / 7 / 2014)

□ ملخّص □

تكمن أهمية هذا البحث في دراسة انتقال الحرارة بالحمل ضمن تجاويف القرميد الموجودة في جدران المباني، مكنت هذه الدراسة من إيجاد مرجعية للأبحاث العديدة المنجزة ضمن هذا المجال بهدف التحقق من وثوقية النتائج المحصول عليها ضمن الحالة الخاصة المتعلقة بالقرميد الجداري المقسم عمودياً. هذا الإجراء كان بهدف استخدام هذه النتائج من أجل تطوير هذا القرميد مستقبلاً. تمت الدراسة من خلال النمذجة العددية بطريقة الحجوم المنتهية واستخدام برنامج الـ Matlab، وذلك لتجفيف واحد من هذه التجاويف الموجودة والمميز بثلاثة مقادير لابعدية وهي نسبة الاستطالة (A) وعدد ريلية (Ra) أو عدد غراشوف (Gr) وعدد براندل (Pr). هذه النمذجة تؤكد في الواقع أنه من أجل التجاويف الضيقة بشكل كاف مع الفوارق الصغيرة لدرجات الحرارة، بأن انتقال الحرارة بالحمل يكون قابلاً للإهمال وقد تم التحقق من ذلك من خلال تطور عدد نوسل الموضوعي كتابع للارتفاع. بالإضافة لذلك فقد استبعدنا التأثير المحتمل لأطراف التجويف (العلوي والسفلي) على هذه النتيجة (أي كانت الشروط الحدية لهذين السطحين الأفقيين من نوع البروفيل الخطي لدرجة الحرارة أو من النوع الأديباتي) وذلك بحساب عدد نوسل لشفرة الهواء والذي يساوي $Nu \approx 1$ مهما يكن الارتفاع، وهذا ما يسمح باعتبار أن انتقال الحرارة يتم بالتوصيل وأن تأثير الأطراف قابل للإهمال.

الكلمات المفتاحية: الحمل الطبيعي، عدد نوسل، القرميد الجداري، التجويف، جدران المباني.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Etude la convection naturelle dans les alvéoles de la brique monomurs

Dr. Ahed Suleiman *

(Déposé le 25 / 3 / 2014 . Accepté 16 / 7 / 2014)

□ Résumé □

L'objectif de cet article est d'étudier les transferts thermiques par convection dans les alvéoles de brique trouvées dans les parois des bâtiments. Cette étude a permis de faire référence à de nombreux travaux réalisés dans ce domaine pour vérifier la validité des résultats de ces études dans le cas particulier des briques à perforations verticales. Cette démarche a pour but de permettre d'utiliser ces résultats en tant qu'outils d'aide au développement de brique futures. Cette étude a été faite par l'utilisation de la méthode de volume finis et Matlab pour un alvéole caractérisé par trois grandeurs adimensionnels, le rapport d'allongement (A), nombre de Rayleigh (Ra) ou Grashof (Gr), et Prandtl (Pr). En effet, ces simulations confirment que pour les alvéoles suffisamment étroites avec des écarts de température petites, le transfert par convection est négligeable et permettent de vérifier, grâce à l'évolution du nombre de Nusselt local en fonction de la hauteur, que l'influence des extrémités de l'alvéole (supérieur et inférieur) sur ce résultat (quelque soit les conditions aux limites des ces extrémités de type profil linéaire de température ou de type adiabatique) en calculant le nombre de Nusselt de la lame d'air $Nu \approx 1$ quelque soit la hauteur, et permet d'affirmer que le transfert de chaleur est purement conductif et que l'influence des extrémités est négligeable.

Mots-clés : Convection naturelle, Nombre de Nusselt, Brique monomur, Alvéole, Parois de bâtiments.

*Professeur assistant- Département de Génie de Force Mécanique -Faculté de Génie Mécanique et Electrique- Université de Tichrine -Lattaquié- Syrie.

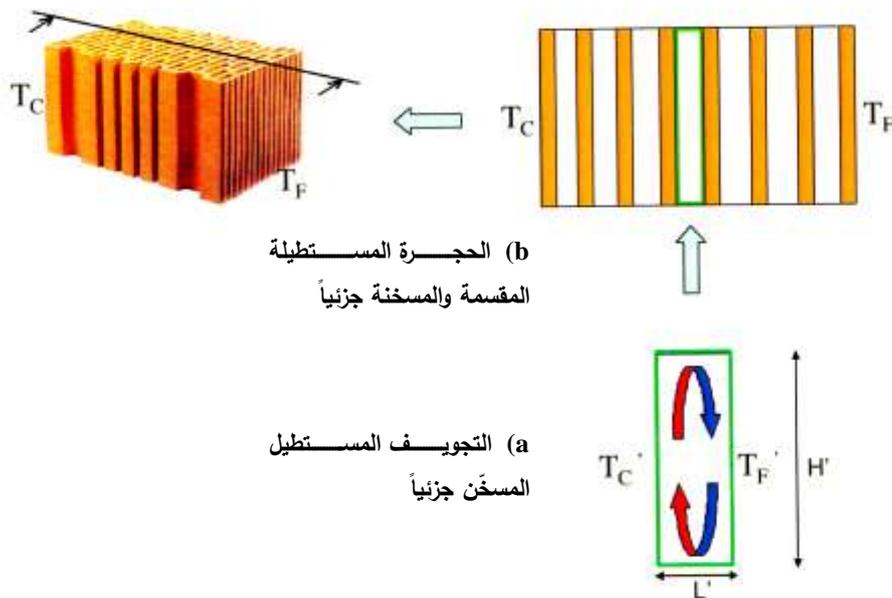
مقدمة:

خلال حقبة سنوات الـ 70-80 من القرن الماضي وبسبب الأزمة البترولية العالمية أصبح الحد من استهلاك الطاقة وترشيدها من الأمور الهامة والضرورية جداً، وتولي الحكومات في مختلف أنحاء العالم أهمية جدية لهذا الموضوع بسبب التهديدات التي تواجه كوكبنا كظاهرة الاحتباس الحراري، النفايات والحوادث النووية أو نفاذ مصادر الطاقة الأحفورية. أجريت دراسات عديدة لتحسين الجودة الحرارية لجدران البناء بهدف تحسين الخصائص الديناميكية لجدران المباني من أجل الدمج الجيد لحسابات الاستهلاك الطاقي.

بإلقاء نظرة سريعة على الأعمال المنجزة على الحمل الطبيعي تظهر الصعوبة في فهم هذا النوع من انتقال الحرارة، بالإضافة إلى عدم وجود معلومات كافية حول هذا الموضوع. علماً أنه جرت العادة لدى مصنعي القرميد الجداري على ترك تجاويف ضيقة بشكل كاف من أجل منع ظهور انتقال الحرارة بالحمل.

سنقوم هنا بدراسة انتقال الحرارة بالحمل ضمن القرميد الجداري. إن المحرك الرئيسي لهذا النوع من انتقال الحرارة هو فرق الكثافة بين جزيئات المائع. ستتم هذه الدراسة على المقطع العمودي للقرميد في الشكل (a-1) والذي يمثل إحدى تجاويف القرميد الجداري المبينة في الشكل (1).

أجري هذا البحث في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين.



الشكل (1) المقارنة النظرية لانتقال الحرارة بالحمل الطبيعي ضمن تجاويف القرميد الجداري.

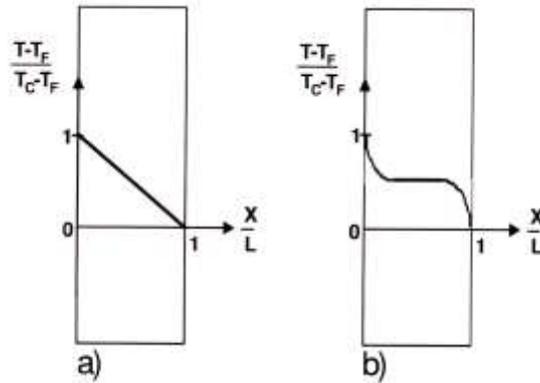
دراسة مرجعية:

إن مبدأ الحمل الطبيعي بسيط نسبياً، حيث المحرك الرئيسي للمائع هو قوة دافعة أرخميدس. في الحالة التي تهمنها، يكون الهواء على تماس مع الوجه الساخن وبالتالي تنخفض كثافته ويرتفع نحو الأعلى بينما الهواء الذي يكون على تماس مع الوجه البارد ترتفع كثافته وينزل نحو الأسفل. بما أن التجويف مغلق يحدث دوران للهواء كما هو مبين في الشكل (a-1).

إن هذه الدراسة النظرية تهتم عدد كبير من التطبيقات التي تختلف باختلاف قياس التجويف المدروس والذي يُمَيَّز بنسبة الاستطالة ($A = H'/L'$) وبفرق درجات الحرارة المفروض بين وجهي التجاويف [1]، [2]، [3]، [4]. نجد على سبيل المثال ما قام به [5]، والذين يعالج الحمل الطبيعي ضمن التجاويف ذات نسبة الاستطالة المساوية للواحد. هذه الأعمال تُستخدم عادةً عند الدراسة الحرارية للأبنية السكنية، حيث تكون الحجرة عبارة عن الغرفة السكنية. ضمن الجدار الأحادي تكون التجاويف ذات نسب استطالة مرتفعة (تصل إلى 20)، ومن أجل أخذ دراسة مرجعية للأشكال الهندسية الحقيقية نقترح من حالة الزجاج المزدوج المدروس من قبل [6]، [7].

فيما يتعلق بانتقال الحرارة في قلب المائع، إذا كان نوسل في عام (1906) أول من قام بقياسات لهذا النوع من المسائل، فإن [8] هو من أكد وجود حيزين لانتقال الحرارة في الجريان الصفحي: الحيز التوصيلي وحيز الطبقة الحدية. وهذا ما تم تأكيده لاحقاً من قبل [9]، [10].

يُمَيَّز الحيز التوصيلي بتدرج عمودي ضعيف لدرجة الحرارة مع بروفيل خطي لدرجة الحرارة، كما يظهر الشكل (a-2). عندما يرتفع فرق درجات الحرارة تنشأ طبقة حدية في جوار الجدران، محاطة أيضاً بمنطقة مركزية تدعى (القلب)، وانتقال الحرارة لا يتم بالحمل عبر الطبقة الحدية ولا بالتوصيل عبر القلب، وبالمحصلة يوجد تدرج قوي لدرجات الحرارة قرب الجدران وتدرج ضعيف لدرجات الحرارة في المنطقة المركزية (القلب) كما هو موضح في الشكل (b-2). ويعكس الحيز التوصيلي يوجد في القلب تدرج عمودي كبير لدرجات الحرارة شبه خطي باستثناء المناطق المجاورة للسطحين الأفقيين [9].



الشكل (2) بروفيل درجة الحرارة المميز لحيز التوصيل (a)، وللطبقة الحدية (b).

يُوصف الحمل الطبيعي بمعادلات حفظ الكتلة و كمية الحركة والطاقة. بعد تحويل هذه المعادلات إلى الشكل اللابعدي نلاحظ أن الجريان يعتمد على ثلاثة أعداد وهم : نسبة الاستطالة للتجويف (A)، عدد ريلية (Ra) أو عدد غراشوف (Gr) وعدد براندل للمائع (Pr). [11]، [12]، [13] حددوا الحد الفاصل بين الحيز الصفحي والحيز المضطرب كتابع لـ A و Ra. إن ارتفاع عدد ريلية من أجل نسبة استطالة ثابتة يؤدي إلى ظهور تذبذبات، ويرفع قيمة عدد ريلية أكثر يمكننا الوصول إلى الحيز المضطرب. لا بد من الإشارة هنا إلى أن عدد من الباحثين يشكّون في صلاحية هذا الحد، بالإضافة إلى ذلك فإن اللاستقرارية لا تُعْلَن بشكل حتمي الاضطراب بل يمكن أن تقود إلى ظاهرة أخرى وهي الحيز متعدد الخلايا و الذي يكون فيه الجريان دوماً صفحياً، و هذا ما درس من قبل [14]، والذي سمح لنا

من إقصاء الحالة الخاصة للقرميد. بالنتيجة، فإن أعداد ريلية التي من أجلها تظهر الخلايا الثانوية تكون مرتفعة جداً من أجل فوارق موضعية لدرجات الحرارة ولنسب الاستطالة المصادفة ضمن جدران البناء.

عندما يكون بالإمكان استبعاد الحيز متعدد الخلايا، فإن دراسة [15]، تُظهر عدم حتمية وجود حيز الطبقة الحدية. تظهر هذه الدراسة على القرميد المفرغ عمودياً، أن الحمل الطبيعي يحسن عملية التبادل الحراري عبر الجدار بشكل كبير، لذلك يجب تجنب قدر الإمكان هذا النوع من انتقال الحرارة وبالتالي رؤية كيفية إمكانية إلغاؤه. [16]، وجدوا أنه من أجل الأبعاد الصغيرة لتجاويف القرميد ومن أجل الفوارق الصغيرة في درجات الحرارة بين طرفيه فإن انتقال الحرارة بالحمل يكون قابلاً للإهمال.

إن الحيزين المقدمين في الشكل (2)، يختلفان بقيمة عدد نوسل (Nu)، والذي يساوي النسبة بين التدفق الحلمي و التدفق التوصيلي:

$$Nu = \frac{hL'}{\lambda_a}$$

h: معامل التبادل الحراري بالحمل، λ_a : عامل التوصيل الحراري للهواء.

سمحت العديد من الدراسات على الحجرات المغلقة المسخنة بشكل جزئي من الحصول على العديد من العلاقات بين هذه الأعداد اللابعدية الثلاثة المميزة لانتقال الحرارة ضمن هذا النوع من الأشكال الهندسية. [17]، يقدمون جزءاً من هذه الدراسات وكذلك العلاقات المستنتجة والتي لها الشكل العام التالي:

$$Nu = a.Ra^b.A^c$$

Ra: عدد ريلية.

يبين الجدول (1) قائمة بقيم المعاملات (a,b,c) للهواء وذلك لعدة باحثين.

الجدول (1) قيم المعاملات (a,b,c) بحسب الباحثين للعلاقة $Nu = a.Ra^b.A^c$ ، [17]

c	b	a	المراجع
-	0.397	0.060	Newell & al.
-	0.3594	0.085	Han
-	0.25	0.252	Elder
-0.265	0.315	0.169	Newell & al.
-0.1	0.3	0.130	Eckert & al.[9]
-0.111	0.25	0.196	Jakob & al.
-0.25	0.25	0.25	MacGregor & al.
-0.25	0.25	0.364	Bejan

تسمح هذه العلاقات من تحديد عدد نوسل وبالتالي من تحديد التدفقات الحرارية عبر شفرة الهواء (التجويف). برُهنَت هذه العلاقات من أجل مجالات معرفة بشكل جيد لكل من Ra و A. من الضروري التحقق من أن هذه العلاقات قابلة للتطبيق من أجل شفرات الهواء الموجودة ضمن تجاويف الجدار الأحادي ومن أجل فوارق في درجات الحرارة

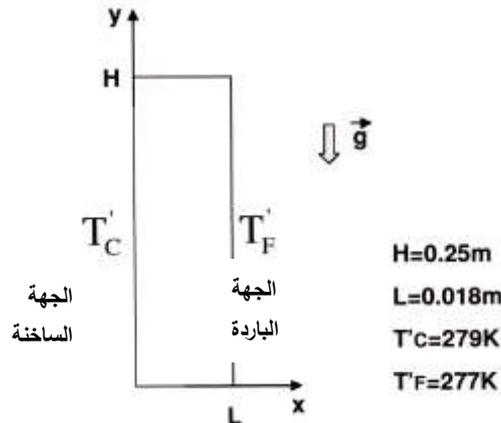
المصادفة عادةً ضمن هذا النوع من القرميد. نقترح الدراسة النوعية والكمية لانتقال الحرارة ضمن التجويف حيث الشكل الهندسي والفروق الحرارية تقترب من تلك المصادفة ضمن الجدران الأحادية.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى دراسة الحمل الحراري ضمن الحجرات المغلقة ذات الأبعاد المطابقة لأبعاد التجاويف المصادفة ضمن القرميد الجداري المستخدم في البناء، والخاضعة لضغوط حرارية ناتجة عن انتقال الحرارة ضمن الجدار بالكامل. ورؤية أهمية هذا النوع من انتقال الحرارة أو عدمها في التجاويف الصغيرة جداً الموجودة ضمن هذا النوع من القرميد.

طرائق البحث ومواده:

إن الدراسة المنجزة هنا ستكون عبارة عن النمذجة العددية للجريان ضمن التجويف بطريقة الحجم المنتهية [18] وبمساعدة Matlab. الحالات المدروسة هنا ليست إلا تقديماً للواقع، سنهمل تأثير الجدران العموديان الأخران للتجويف وذلك بدراسة المشكلة ببعدين فقط، سنعتبر أن التجويف مملوء بالهواء والحمل الإشعاعي مهمل. كانت الشروط الحدية للسطحين الأفقيين و المصادفة في الدراسات المنجزة، إما أدبياتية أو من نوع تغير خطي لدرجة الحرارة. دُرس تأثير خيار أحد هذين الشرطين الحديين من قبل [19]. لكن الحالة التي تهملنا ليست معالجة بشكل واضح ضمن الدراسة السابقة، لذلك قمنا بالتحقق بواسطة نمذجة عددية لدراسة تأثير أحد الشرطين الحديين السابقين. كانت الحجرة (وبالتالي التجويف) ضمن النتائج المقدمة هنا مغلقة في نهايتها بسطحين مطبق عليهما التغير الخطي لدرجة الحرارة المفروضة. تم بالنسبة للسطحين العموديين اختيار درجات الحرارة (المتجانسة على طول الجدران العمودية) بحيث تقدم فارق قدره درجتين حراريتين فقط، وهي الحالة المصادفة عادة ضمن تجاويف الجدار الأحادي في الحيز الثابت. وكذلك فإن المقادير الهندسية مطابقة للأبعاد الموجودة ضمن غالبية الحالات الحقيقية كما في الشكل (3).



الشكل (3) التجويف المدروس.

المعادلات الواصفة لهذه المشكلة هي معادلات حفظ الكتلة، كمية الحركة والطاقة. إن الخطوة في المعادلات السابقة عبارة عن فاصل مكاني (Δx) صغير جداً من أجل الأخذ الجيد بالحسبان سلوك الطبقات الحدية (المناطق

التي ينشأ فيها الحمل الطبيعي). المائع الموجود في التجويف هو الهواء حيث حددت خواصه الترموفيزيائية عند درجة الحرارة T'_m . و الفارق في درجات الحرارة صغير بشكل كاف من أجل تحقيق تقريب Boussinesq ([20]، [6]). كما رأينا من مختلف الدراسات المرجعية المتعلقة بهذا النوع من انتقال الحرارة عبر الحجرة، فإن انتقال الحرارة يكون تابعاً لثلاثة أعداد لابعدية وهي عدد براندل، عدد ريلية (أو غراشوف) ونسبة الاستطالة. لذلك من أجل إظهار هذه الأعداد الثلاثة قمنا بتحويل المعادلات الواصفة لهذه الدراسة إلى الشكل اللابعدي. باختيار عرض التجويف L كمسافة مرجعية، وبتحويل المتغيرات المكانية إلى الشكل اللابعدي يؤدي إلى ظهورها بالشكل اللابعدي X, Y و A .

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}$$

$$A = \frac{H}{L}$$

وكذلك فإن اختيار V_0 و T'_m كسرعة ودرجة حرارة مرجعيتين يسمح بكتابة مركبات السرعة والضغط بالشكل اللابعدي.

$$T'_m = \frac{T'_C + T'_F}{2}$$

$$V_0 = \sqrt{g\beta(T'_C - T'_F)}$$

$$U = \frac{u}{V_0}, \quad V = \frac{v}{V_0}$$

$$P = \frac{p}{\rho V_0^2}$$

بالنتيجة نحصل على المعادلات اللابعدية التي يظهر فيها العددين Ra, Pr .

• معادلة الاستمرار:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0$$

• معادلة نافيه - ستوكس:

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \left(\frac{Pr}{Ra}\right)^{1/2} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2}\right)$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \left(\frac{Pr}{Ra}\right)^{1/2} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2}\right) + \theta$$

• معادلة الطاقة:

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = (Ra.Pr)^{-1/2} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2}\right)$$

$$Ra = \frac{g\beta(T'_C - T'_F)L^3}{\nu_a \alpha_a} = Gr.Pr \quad \text{حيث:}$$

$$Pr = \frac{\nu_a}{\alpha_a}$$

ν_a : اللزوجة الحركية للهواء.

α_a : النفوذية الحرارية للهواء.

β : معامل ارتفاع الضغط الإيزوخوري، ويفرض أن الهواء مطابق لغاز مثالي، هذا ما يسمح بالكتابة

$$\beta = \frac{1}{T'_m}$$

النتائج والمناقشة:

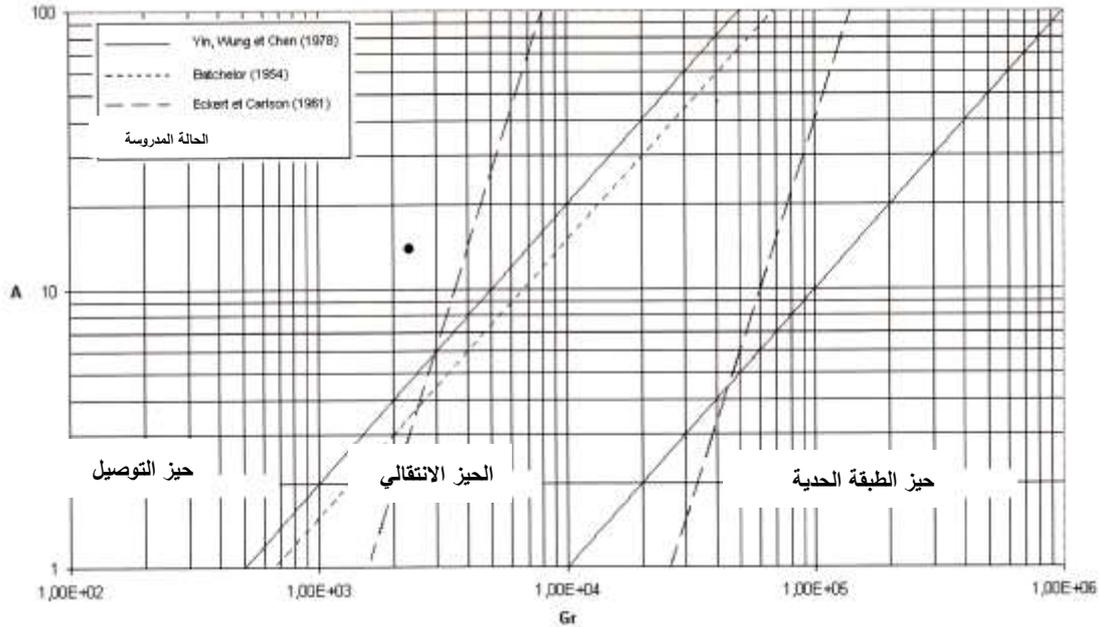
• تحديد موقع المسألة المدروسة

قبل البدء بإجراء النمذجة العددية للمشكلة المدروسة، يتوجب علينا تحديد موقع المشكلة المدروسة بالنسبة للدراسات المرجعية. يمكننا حساب الأعداد اللابعديّة السابقة انطلاقاً من القيم المطابقة للحالة المدروسة:

$$H = 25.10^{-2} \text{ m}, \quad L = 18.10^{-3} \text{ m}, \quad T'_C = 279 \text{ K}, \quad T'_F = 277 \text{ K}, \quad g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$$

$$\nu_a = 1,33.10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}, \quad \beta = 3,59.10^{-3} \text{ K}^{-1}, \quad \alpha_a = 2,22.10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$$

$$A = 13,9 \quad Gr = 2326 \quad Pr = 0,71 \quad \text{وبالتالي نجد:}$$



الشكل (4) الحد الفاصل توصيل/حمل ضمن التجاويف المستطيلة المغلقة.

يبين الشكل (4) الدراسات المختلفة لانتقال الحرارة للهواء ضمن الحجرات المغلقة، والذي يميز حيزات مختلفة

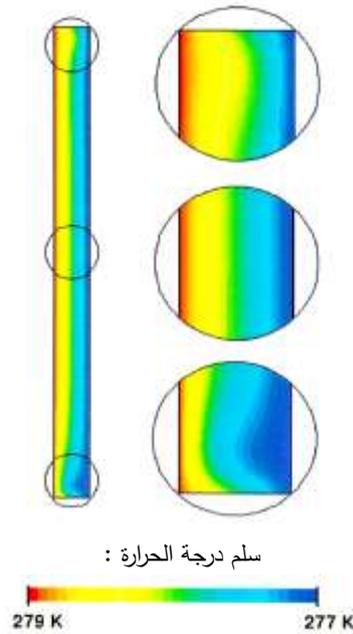
لانتقال الحرارة كتابع لنسبة الاستطالة (A) ولعدد غراشوف (Gr). نلاحظ على هذا الشكل بالنسبة لـ [8] Batchelor

أن الحد الفاصل بين حيز التوصيل الصافي وحيز الطبقة الحدية واضح بشكل صريح، وكذلك الأمر بالنسبة لـ [9]، [11].

[9]، استنتجوا وجود منطقة انتقالية بين هذين الحيزين. إن الحالة التي تهمنا مقدما على الشكل بنقطة سوداء موجودة ضمن حيز التوصيل الصافي. تقودنا هذه النتيجة الأولية إلى الاعتقاد أن انتقال الحرارة ضمن شفرات الهواء الموجودة ضمن تجاويف القرميد الجداري يتم بالتوصيل. وهذا ما سنقوم بإثباته بإجراء النمذجة العددية.

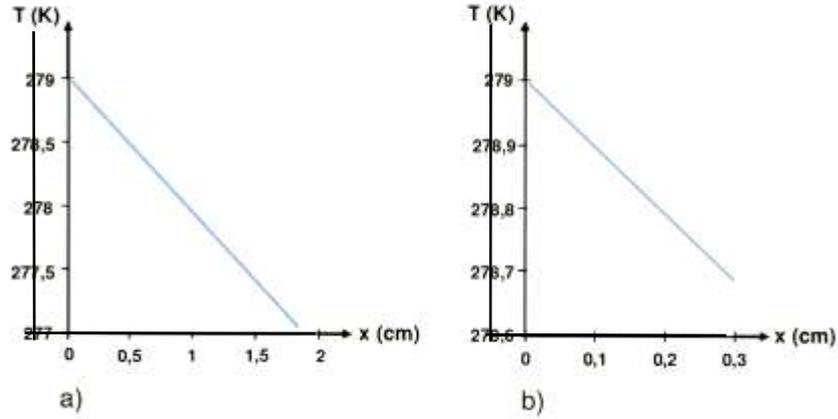
• النمذجة العددية

إن التحليل النوعي للشكل (5) والذي يقدم حقل درجة الحرارة ضمن شفرة الهواء، يظهر أن هذا الحقل ينتظم في الجزء المركزي (الخطوط الإيزوترمية عمودية تماماً) ومشوهة قليلاً قرب أطراف التجويف وسنعود إلى تأثير هذه المناطق لاحقاً.



الشكل (5) حقل درجة الحرارة ضمن شفرة الهواء البسيطة (التجويف).

لقد رأينا في الدراسة المرجعية السابقة أن انتقال الحرارة بالحمل يُمَيِّز ببروفيل درجة الحرارة الذي لم يعد خطياً بل يقدم تدرجاً قوياً بالقرب من الجدران. يظهر الشكل (a-6) برروفيل درجة الحرارة عبر شفرة الهواء عند منتصف ارتفاع التجويف والذي يبدو أنه خطياً تماماً. بتكبير المنطقة القريبة من الجدار الساخن، الشكل (b-6) نلاحظ أن انتقال الحرارة يتم (في الطبقة الحدية التحتية للزجة) أيضاً بالتوصيل. إن ميل برروفيل درجة الحرارة لا يتغير عند المرور من هذه المنطقة القريبة من الجدار وفيما تبقى من شفرة الهواء، يمكننا الاستنتاج أن الحيز التوصيلي يسيطر على كامل عرض التجويف. هذه النتيجة تحققت أيضاً في الجانب البارد من التجويف.

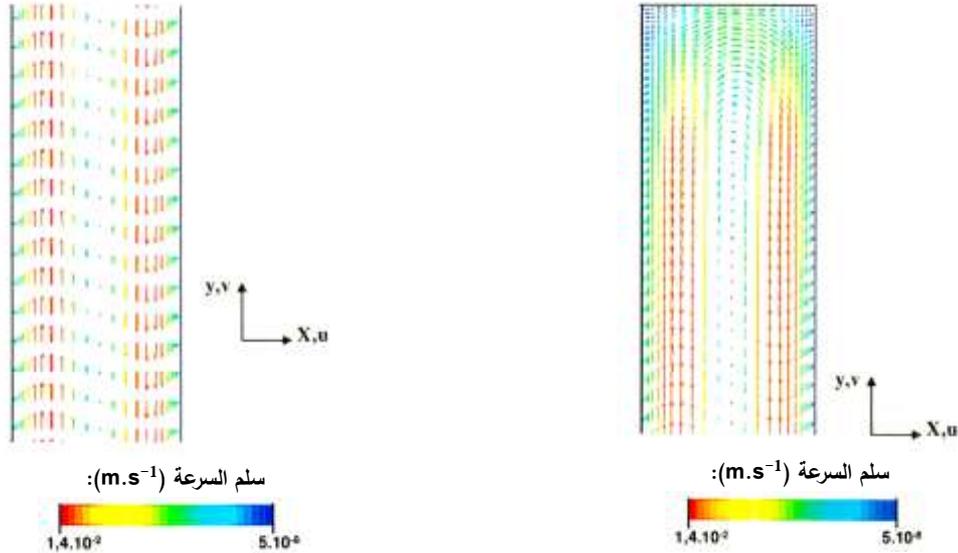


الشكل (6) بروفيل درجة الحرارة عند منتصف ارتفاع التجويف.

(a) على كامل عرض التجويف.

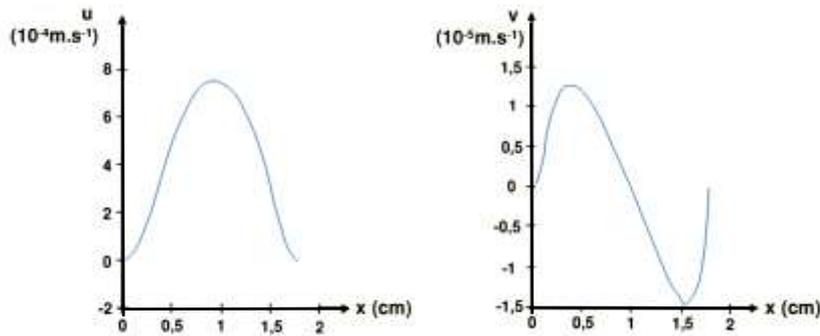
(b) ضمن الـ 3mm الأولى من الجانب الساخن.

راقبنا فيما بعد حقل السرعة، نلاحظ على الشكلين (7)، (8)، السلوك الموصوف في الدراسة المرجعية سابقاً. نشاهد أن الهواء يرتفع من الجانب الساخن وينعطف في أعلى التجويف قبل النزول على طول الوجه البارد للتجويف.

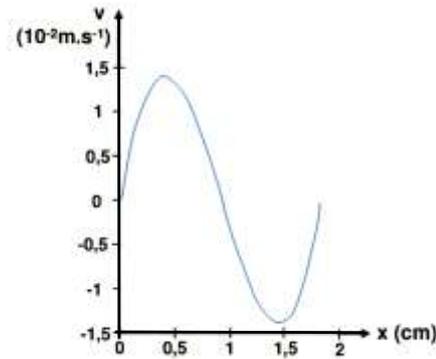


الشكل (7) حقل السرعة في أعلى شفرة الهواء البسيطة (التجويف). الشكل (8) حقل السرعة عند منتصف ارتفاع شفرة الهواء البسيطة (التجويف).

يظهر الشكل (9) مركبات السرعة الأفقية و العمودية في أعلى التجويف. بشكل عام نلاحظ أن معدل السرعة مرتفع قليلاً. يتبع الهواء الأمامي المسار المفروض من قبل الجدار، ومن المنطقي أن نشاهد أن المركبة الأفقية أكبر من المركبة العمودية في أعلى التجويف. هذه النتيجة معكوسة ضمن الجزء المركزي للتجويف، حيث أن المركبة الأفقية شبه معدومة (من رتبة 10^{-6} m.s^{-1})، بينما تبلغ المركبة العمودية قيمة من رتبة $1,5 \text{ cm.s}^{-1}$ كما هو واضح في الشكل (10).

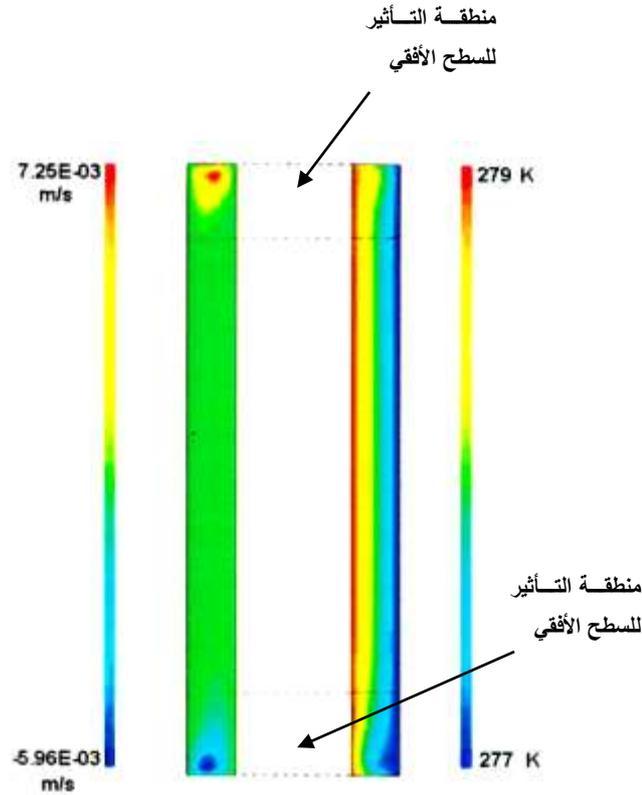


الشكل (9) بروفيل السرعة في أعلى التجويف.
a) المركبة الأفقية b) المركبة العمودية



الشكل (10) المركبة العمودية للسرعة عند منتصف ارتفاع التجويف.

يمكننا التساؤل لماذا حيز انتقال الحرارة ليس حتمياً بالرغم من وجود حقل سرعة غير معدوم. إذا أهملنا لبرهة طرفي التجويف (العلوي والسفلي)، يمكننا تقديم تفسيرين: يتألف التفسير الأول من القول أنه بمراقبة شدة السرعة، يكون انتقال الحرارة أكثر سهولة بالانتشار عبر عرض التجويف من إتباعه للمائع في حركته على طول جدران التجويف. بينما يركز التفسير الثاني على حقيقة أنه في غالبية التجويف لا تكون مركبة السرعة إلا عمودية. إذن ضمن الجريانات المسماة (متوازية) والمصادفة في حالتنا فإن انتقال الحرارة يتم عبر التوصيل المتعامد مع خطوط التيار. وبما أن مركبات السرعة الأفقية معدومة فلا يوجد أية تغذية لأية طبقة حدية محتملة. بالطبع هذه الاستدلال لا يشمل الأطراف، حيث كما يظهر الشكل (11)، يوجد ضمن هاتين المنطقتين اضطراب في الحقل الحراري (على يمين الشكل) وفي حقل السرعة (على يسار الشكل).

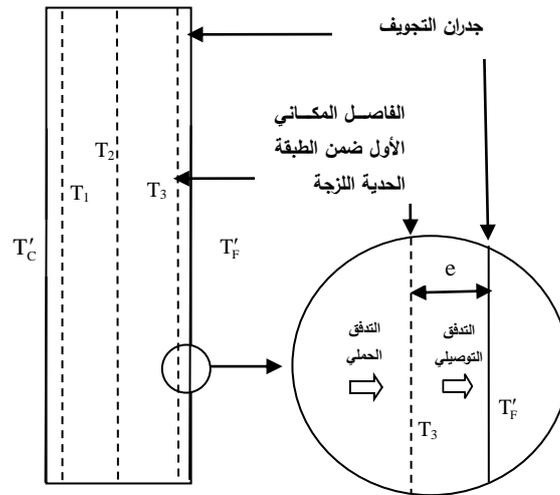


الشكل (11) مناطق التأثير للسطوح الأفقية في التجويف البسيط.

إن ارتفاع كلاً من هاتين المنطقتين هو 3cm، وهذا يعني 25% من الارتفاع الكلي، ومن غير المؤكد أن التوصيل الحراري هو المسيطر ضمن هاتين المنطقتين. من المفضل تحديد طريقة انتقال الحرارة انطلاقاً من المقادير الكلية كعدد نوسل (Nu). يقدم هذا العدد النسبة بين تدفق الحرارة المتبادل بالحمل والتدفق المتبادل بالتوصيل. ولهذا السبب فإن عدد نوسل $Nu > 1$ يكون مميزاً بانتقال الحرارة بالحمل، بينما يكون انتقال الحرارة بالتوصيل الصافي من أجل عدد نوسل $Nu = 1$. لذلك نقترح حساب قيمة هذا العدد ضمن حالتنا.

• حساب عدد نوسل ومعامل التبادل الحراري بالحمل

نقدم هنا الطريقة المستخدمة من قبل [6] لحساب عدد نوسل وكذلك معامل التبادل الحراري بالحمل. من أجل ذلك، تكون درجات الحرارة محددة في كل نقطة من الشبكة، يمكننا بشكل خاص الاستعانة بطبقة المائع الموجودة ضمن الخط الأول من الشبكة (T_1 و T_3)، وكذلك بطبقة المائع الموجودة في مركز التجويف (T_2) بالإضافة إلى أننا نعرف درجات حرارة الجدران (T'_C و T'_F). يظهر الشكل (12) التجويف والخطوط الثلاثة للشبكة. لتكن e المسافة بين الخط الأول من الشبكة والجدار (ضمن حالتنا، هذه المسافة هي نفسها من كلا جانبي التجويف). نوه هنا أنه إذا انتقلنا من الجانب البارد للتجويف إلى الجانب الساخن تبقى الدراسة نفسها. إن المسافة e صغيرة وتساوي (0,5 mm)، يمكننا اعتبار أن الهواء ضمن المنطقة القريبة من الجدار ساكن.



الشكل (12) حساب عدد نوسل ومعامل التبادل الحراري بالحمل.

في الواقع ضمن الطبقة الحدية التحتية للزجة، فإن شرط التصاق المائع الحقيقي يقود إلى أن هذا الأخير له سرعة شبه معدومة. وبالتالي يمكن اعتبار أن انتقال الحرارة ضمن هذه السماكة يتم بالتوصيل. إذا حسبنا خصائص الهواء عند درجة الحرارة الوسطية T_m ، فإن كثافة التدفق نكتب على النحو التالي:

$$\phi_{COND}(y) = \frac{\lambda_{a(T_m(y))}}{e} (T_3(y) - T'_F(y))$$

تسمح الموازنة الحرارية عبر الخط الأول من الشبكة لكل تجويف من القول أن التدفق التوصيلي الذي حسبناه يساوي التدفق الحملّي الحاصل بين المائع الواقع ضمن التجويف و وجه التجويف ضمن السماكة e وهذا ما يسمح بكتابة:

$$\phi_{CONV}(y) = h_F (T_2(y) - T'_F(y)) = \phi_{COND}(y)$$

يمكننا تحديد معامل التبادل الحرارة بالحمل من المعادلة التالية:

$$h(y) = \frac{\phi_{COND}(y)}{T_2(y) - T'_F}$$

وبالتالي يمكننا الحصول على عدد نوسل الموضعي كتابع لـ (y) من الجانب البارد لكل تجويف بنفس

الطريقة:

$$Nu_F(y) = \frac{h(y)L}{\lambda}$$

بإتباع نفس الإجراء على الجانب الساخن للتجويف يمكننا إيجاد عدد نوسل $(y) Nu_C$. بإجراء التكامل العددي لهذه الأعداد على كامل ارتفاع التجويف نحصل على قيم Nu_C ، Nu_F . بأخذ القيمة الوسطية لهذين المقدارين نستطيع تحديد عدد نوسل المطلوب للتجويف.

نحصل في الحساب المنجز على عدد نوسل قيمته $Nu = 1,05$ وهذا ما يسمح باعتبار أن انتقال الحرارة يتم بالتوصيل وأن تأثير الأطراف قابل للإهمال. يمكننا أيضاً مقارنة هذه القيمة مع القيم الناتجة من العلاقات المقدمة في الدراسة المرجعية سابقاً. إن أعداد نوسل المحسوبة هنا بمساعدة هذه العلاقات انطلاقاً من الأعداد A و Ra المقدمة في الجدول (2) والتي تمت مقارنتها بالنسبة لتلك الأعداد الناتجة من الحساب العددي السابق (النمذجة العددية Nu_{Num}).

الجدول (2) مقارنة $Nu_{Num} - Nu_{correl}$ من أجل العلاقات المختلفة $Nu = a.Ra^b.A^c$ ، [17]

$\frac{ Nu_{correl} - Nu_{Num} }{Nu_{correl}}$	Nu_{correl}	المراجع
8%	1.14	Newell & al.
14%	1.22	Han
35%	1.61	Elder
21%	0.87	Newell & al.
14%	0.92	Eckert & al.
12%	0.93	Jakob & al.
17%	0.90	MacGregor & al.
13%	1.20	Bejan

تقود النتائج المقدمة ضمن الجدول (2) إلى العديد من الملاحظات. في البداية، إن بعض القيم الخاصة لعدد نوسل الناتجة من العلاقات (Nu_{correl}) ليس لها معنى. في الواقع من الصعب رؤية عدد نوسل أصغر من الواحد وهذا ما يعني أن انتقال الحرارة بالحمل ضمن شفرة الهواء أصغر من الانتقال التوصيلي. بالإضافة لذلك، فإن القيم الثلاثة الأولى لا تطابق الحالة المدروسة هنا حيث أن هذه العلاقات قد استنتجت من أجل نسب استطالة مساوية للواحد. بينما ضمن حالتنا نذكر أن نسبة الاستطالة $A \approx 14$. إن العلاقة الأخيرة ضمن الجدول (2) والمتعلقة بالحجرات حيث الحيز الحلمي هو المسيطر [17]، ليست أيضاً ملائمة للحالة التي تهمنا.

الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا بدراسة انتقال الحرارة بالحمل ضمن الجدران الأحادية، مما سمح لنا من التحقق أنه من أجل الأبعاد والفوارق لدرجات الحرارة المصادفة عادةً، فإن انتقال الحرارة بالحمل يكون قابلاً للإهمال. هذه النتيجة موجودة في الدراسة المرجعية وقد بُرهنَت بالنمذجة العددية المنجزة في هذا البحث. بالإضافة لذلك فقد استبعدنا التأثير المحتمل

لأطراف التجويف على هذه النتيجة (أياً كانت الشروط الحدية لهذين السطحين الأفقيين من نوع البروفيل الخطي لدرجة الحرارة أو من النوع الأدبياتي) وذلك بحساب عدد نوسل ضمن التجويف. يمكن في الواقع أن نصادف ضمن القرميد الجداري تجاويف ذات أبعاد أصغر من تلك المدروسة هنا وكذلك فارق في درجة الحرارة أيضاً أصغر بين طرفي التجويف، وكذلك نسب استطالة أكبر من تلك المحسوبة هنا، بالإضافة لذلك عدد غراشوف أصغر من ذلك الموجود ضمن دراستنا. من ناحية أخرى رأينا على الشكل (4) توضع النقطة السوداء المُقدِّمة للحالة المدروسة ضمن اتجاه تزايد A وانخفاض Gr والذي يذهب في اتجاه النتيجة المستخلصة هنا وهي إمكانية إهمال انتقال الحرارة بالحمل، لذلك ننصح مصنعي القرميد بجعل عرض التجاويف صغيرة جداً من رتبة 1 cm.

تشكل هذه النتيجة على شفرات الهواء الخطوة الأولى لفهم ظاهرة الحمل ضمن الجدران الأحادية. وإذا كانت التجاويف المغلقة تقدم غالبية الحالات المصادفة ضمن الجدار المكّون من القرميد الجداري لكنها لا تقدمها كلها. يمكن أن تهتم الدراسات اللاحقة بدراسة الاتصالات الممكنة بين التجاويف الشاقولية وتأثير ذلك على انتقال الحرارة بالحمل، هذه الاتصالات تنتج عند المناطق التي لا يوجد فيها الملاط اللازم لربط البلوك ضمن الجدار حيث يتم توضع البلوك بحيث تكون كافة التجاويف شاقولية وبالتالي عندما لا يتوفر الملاط اللازم للربط سيتم اتصال تجويف بآخر. كما يمكن أن تركز الدراسة اللاحقة على تحديد انتقال الحرارة بالإشعاع ضمن هذه التجاويف من أجل إظهار أهمية هذا النوع من انتقال الحرارة من عدمها.

المراجع:

- [1] GUSTAVSEN, A. THUE, J.V. *Numerical simulation of natural convection in three-dimensional cavities with a high vertical aspect ratio and a low horizontal aspect ratio*. Journal of Building Physics, Vol. 30, No. 3, 2007, 217-240.
- [2] BAIRI, A. *Correlations for transient natural convection in parallelogrammic enclosures with isothermal hot wall*, Applied Thermal Engineering. Vol. 51, 2013, 833-838.
- [3] SAURY, D. ROUGER, N. DJANNA, F. FENOT, F. *Natural convection in an air-filled cavity: Experimental results at large Rayleigh numbers*, International Communications in Heat and Mass Transfer. Vol. 38, 2011, 679-687.
- [4] ZHAO, F.Y. LIU, D. TANG, G. F. *Natural convection in an enclosure with localized heating and salting from below*, International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 51, 2008, 2889-2904.
- [5] BRETON, J. T. *Similitude et stabilité des écoulements de convection naturelle dans une cavité fermée à haut nombre de Rayleigh (pièce d'habitation)*. Thèse de Sciences Physiques, Toulouse III, No. 1396, 1989, 141.
- [6] LARTIGUE, B. *Contribution à l'étude thermique et dynamique de doubles vitrages courbés. Approche numérique et expérimentale*. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées – Toulouse, No. 537, 1999, 128.
- [7] LORENTE, S. LACARRIERE, B. LARTIGUE, B. *Influence of the geometry on the heat transfer by natural convection in a rectangular cavity*. International Journal of Heat and Technology. Vol. 20, No.2, 2002, 75-80.

- [8] BATCHELOR, G. K., *Heat transfer by free convection a cross a closed cavity between vertical boundaries at different temperature.* Quarterly of Applied Mathematics, Vol. 12, No.3,1954, 209-233.
- [9] ECKERT, E.R.G. CARLSON, W. O., *A natural convection in an air layer enclosed between two vertical plates with different temperature.* Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 2, 1961, 106-120.
- [10] EIDER, J. W., *Laminar free convection in an vertical slot.* Journal of Fluid Mechanics. Vol. 23, 1965, 77-98.
- [11] YIN, S.H. WUNG, T.Y. CHEN, K., *Natural convection in an air layer enclosed within rectangular cavities.* Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 21, 1978, 307-315.
- [12] XIN, S. QUERE, P. *Natural convection flows in air-filled, differentially heated cavities with adiabatic horizontal walls.* Numerical Heat Transfer Part A: Applications, Vol. 50, 2006, 437- 466.
- [13] COSTA.V.A.F., *Natural convection in partially divided square enclosures: Effect of thermal boundary conditions and thermal conductivity of the partitions,* Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 55, 2012, 7812-7822.
- [14] ZAHO, Y. CURCIJA, D. GOSS, W.P. *Prediction of the multicellular flow regime of natural convection in fenestration glazing cavities.* ASHRAE 1009-1020. 103, 1997, Transactions, Vol.
- [15] LORENTE, S. *Contribution à l'étude des transferts thermiques dans les alvéoles verticales – application aux produits de terre cuite, modélisation et expérimentation.* Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquée – Toulouse, No. 368, 1996, 148.
- [16] LACARRIERE,B. , LARTIQUE,B., MONCHOUX,F. *Numerical study of heat transfer in a wall of vertically perforated bricks : influence of assembly methode.* Energy and Buildings, Vol. 35, Issue 3, March 2003, 229-237.
- [17] GEBART, B. JALURIA, Y. MAHAJAN,R.L. SAMMALDA, B. *Buoyancy -induced flows and transport,* Hemisphere Publishing Corporation, 1988. 1001.
- [18] PATANKAR, S. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow,* Hemisphere Publishing, Washington, 1980, 197.
- [19] ELSHERBINY. S.M. HOLLANDS, K.G.T. RAITHBY, G.D. *A effect of thermal boundary conditions on natural convection in vertical and inclined air layers.* Journal of Heat Transfer, Vol. 104, 1982, 515-520.
- [20] GRAY, D.D. GIORGINI, A. *The validity of the Boussinesq approximation for liquids and gazes.* Int. J. Heat Mass Transfer. Vol. 19, 1976, 545-551.