



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة-

كلية العلوم التطبيقية

قسم الهندسة الميكانيكية

مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

الميدان: العلوم والتكنولوجيا

الشعبة: الهندسة الميكانيكية

التخصص: الهندسة الطاقوية

من إعداد الطلبة:

عباس المنذر

خديموا عبد الستار

الموضوع

دراسة تأثير قطر الأنبوب على أداء المبادل الحراري هوائي-أرضي

Étude effet du diamètre du tube sur les performances de l'échangeur de  
chaleur air-sol

أمام اللجنة المكونة من السادة:

رئيسا مشرفا	( أستاذ محاضر _ جامعة قاصدي مرباح ورقلة )	الأستاذ / نكار بويكر
مشرفا	( أستاذ محاضر _ جامعة قاصدي مرباح ورقلة )	الاستاذ / دريد م مبروك
مناقشا	( أستاذ محاضر _ جامعة قاصدي مرباح ورقلة )	الأستاذ / عاشوري الحاج

2022/2021

## الإهداء

نحمد الله عز وجل الذي وفقنا لإتمام هذا البحث العلمي والذي ألهمنا الصحة والعافية والعزيمة، فالحمد لله حمدا كثيرا،

مرت قاطرة البحث بكثير من العوائق، ومع ذلك تخطيناها بثبات بفضل من الله ومنه. أما بعد إلى أبوي وأخوتي وأصدقائي، فلقد كانوا بمثابة العنود والسند في سبيل استكمال البحث. ولا ينبغي أن أنسى أساتذتي ممن كان لهم الدور الأكبر في مساندي ومدي بالمعلومات القيمة

إلى كل قسم الميكانيك والى جميع دفعة 2022

والى كل أفراد كلية العلوم التطبيقية \_ جامعة قاصدي مرباح ورقلة \_

إلى كل من كان لهم اثر على حياتي والى كل من أحبهم قلبي ونسيهم قلبي

اهدي هذا العمل

## الشكر والعرفان

نحمد الله عز وجل الذي وفقنا في إتمام هذا البحث العلمي والذي ألهمنا الصحة والعافية والعزيمة، فالحمد

لله حمدا كثيرا

نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الدكتور المشرف (دريد محمد مبروك) على كل ما قدمه لنا من توجيهات

ومعلومات قيمة ساهمت في إطراء موضوع دراستنا في جوانبها المختلفة كما نتقدم بجزيل الشكر إلى

أعضاء لجنه مناقشه الموقرة دون نسيان كل من كان له الفضل من علمني حرف من معلمين وأساتذة

وبالأخص أساتذة قسم الميكانيك الذين كانوا لي أسرة ثانية

نقول لكم شكرا جزيلا على كل مجهوداتكم

الفهرس

I.....	الإهداء
II.....	الشكر والعرفان
III.....	الفهرس
VI.....	قائمة الأشكال والصور
VIII.....	قائمة الرموز
2.....	المقدمة العامة

الفصل الأول: التحليل النظري والدراسة البليوجرافية

4.....	1-1- المقدمة
5.....	2-1 - الطاقة الحرارية الأرضية:
6.....	1-2-1- تعريف الطاقة الحرارية الأرضية:
6.....	2-2-1- تعريف مبادل حراري أرضي:
7.....	1-2-2-1- نظام تصريف المكثفات
8.....	2-2-2-1- المروحة
8.....	3-2-1- مصادر الطاقة الحرارية الأرضية:
9.....	3-1- التدرج الجيوحراري
9.....	4-1- المضخة الحرارية الجوفية
10.....	5-1- خصائص التربة
10.....	1-5-1- الخصائص الحرارية للتربة
10.....	2-5-1- الموصلية الحرارية للتربة
11.....	3-5-1- السعة الحرارية الحجمية للتربة
12.....	4-5-1- الانتشار الحراري للتربة
12.....	6-1- المبادل الحراري
12.....	1-6-1- أنواع المبادلات الحرارية

الفصل الثاني دراسة النمذجة الرياضية

17	1-2-1- مقدمة.....
18	2-2-2- نقل درجة الحرارة.....
18	1-2-2-1- مجال درجة الحرارة.....
18	2-2-2-2- تدرج درجة الحرارة.....
18	2-2-2-3- التدفق الحراري.....
19	3-2-3- صياغة مشكلة انتقال الحرارة.....
19	1-3-2-1- موازنة الحرارة.....
19	2-3-2-2- أوضاع نقل الحرارة.....
19	3-3-2-3- التوصيل.....
20	4-3-2-4- الحمل الحراري.....
21	5-3-2-5- إشعاع.....
21	4-2-4- خصائص التدفق.....
22	1-4-2-1- نظام تدفق السوائل.....
22	2-4-2-2- التدفق الصفائحي في الأنبوب.....
22	3-4-2-3- التدفق المضطرب في الأنبوب.....
23	4-4-2-4- تدفق وسيط (تدفق انتقالي).....
24/23	5-2-5- النمذجة الحرارية لمبادل الهواء-الأرض للتبريد.....
24	6-2-6- وصف المشكلة.....
25	7-2-7- التوازن الحراري.....
26	8-2-8- عن طريق التوصيل الحراري.....
30	9-2-9- دراسة العملية الحرارية داخل الأنبوب:.....

الفصل الثالث المحاكاة العددية

36	1-3-1- مقدمة.....
37	2-3-2- تأثير طبيعة ونوع التربة:.....

40	..... 3-3- المحاكاة بالبرنامج ansys
59	..... استنتاج :
63	..... الاستنتاج العام.
65/66/67	..... ملخص:

قائمة الأشكال والصور

- الشكل 1-1: صورة للأنبوب المبادل الحراري ..... 7
- الشكل 2-1: صورة لنموذج المبادل الحراري تحت ارضي ..... 7
- الشكل 3-1: خريطة للعالم توضح الصفائح التكتونية وحدود تلك الصفائح. .... 8
- الشكل 4-1: أعماق التربة ودرجات الحرارة. .... 9
- الشكل 5-1: أنواع وتصنيفات المبادلات الحرارية ..... 13
- الشكل 6-1: مساحة سطح نقل الحرارة النسبية المطلوبة كدالة لنسبة ارتفاع درجة الحرارة (أو الانخفاض) ..... 14
- الشكل 1-2: تدرج درجة الحرارة. .... 18
- الشكل 2-2: النظام وتوازن الطاقة ..... 19
- الشكل 3-2: تمثيل تخطيطي للظاهرة التوصيل ..... 20
- الشكل 4-2: تمثيل تخطيطي لظاهرة الحمل الحراري ..... 21
- الشكل 5-2: تمثيل تخطيطي لظاهرة الإشعاع. .... 21
- الشكل 6-2: نظام التدفق ..... 23
- الشكل 7-2: مظهر شبكي (مقطع طولي) ..... 24
- الشكل 8-2: رسم تخطيطي للمشكلة الفيزيائية ..... 26
- الشكل 9-2: مبادل حراري بين الهواء والأرض ..... 30
- الشكل 1-3: تطور درجة حرارة الأرض النظرية كدالة ..... 38
- الشكل 2-3: تطور درجة حرارة التربة النظرية كدالة للوقت والعمق ض في حالة التربة الجبسية ..... 39
- الشكل 3-3: تطور درجة حرارة التربة النظرية كدالة للوقت والعمق ض في حالة التربة الرملية ..... 39
- الشكل 4-3: تطور درجة حرارة التربة كدالة زمنية لثلاثة أنواع من التربة لعمق 03 م ..... 40
- الشكل 5-3: صفحة المشروع في طاولة العمل ..... 41
- الشكل 6-3: شكل المساح على مستويين وأحادي الأبعاد ..... 41
- الشكل 7-3: الشكل النهائي للمساح بشكل ثلاثي الأبعاد ..... 42
- الشكل 8-3: النوع الأول من الشبكة ..... 43
- الشكل 9-3: النوع الثاني من الشبكات ..... 43
- الشكل 10-3: النوع الثالث من الشبكات ..... 44
- الشكل 11-3: تطور البقايا حسب عدد التكرارات  $L = 20m$   $Re = 1000$  ..... 46
- الشكل 12-3: رسم توضيحي لآلية دراسة القطر ..... 47
- الشكل 13-3: ملامح درجة حرارة الهواء ل  $Re 1000$  و  $L 20m$   $D 150$  ..... 47
- الشكل 14-3: ملامح درجة حرارة الهواء ل  $Re 1000$  و  $L 20m$   $D 200$  ..... 48
- الشكل 15-3: ملامح درجة حرارة الهواء ل  $Re 1000$  و  $L 20m$   $D 250$  ..... 48
- الشكل 16-3: ملامح درجة حرارة الهواء ل  $Re 1000$  و  $D 150$   $D 200$   $L 20m$   $D 250$  ..... 49

- الشكل 3-17: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $L 20m$   $D 150$  و  $Re 1000$  ..... 50
- الشكل 3-18: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $L 20m$   $D 200$  و  $Re 1000$  ..... 51
- الشكل 3-19: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $L 20m$   $D 250$  و  $Re 1000$  ..... 51
- الشكل 3-20: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $L 20m$   $D 150$  و  $Re 1000$  ..... 52
- الشكل 3-21: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $L 20m$   $D 200$  و  $Re 1000$  ..... 53
- الشكل 3-22: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $L 20m$   $D 250$  و  $Re 1000$  ..... 53
- الشكل 3-23: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 150$  و  $Re 1000$  ..... 54
- الشكل 3-24: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 200$  و  $Re 1000$  ..... 54
- الشكل 3-25: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 250$  و  $Re 1000$  ..... 55
- الشكل 3-26: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 150$  و  $Re 1000$  ..... 56
- الشكل 3-27: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 200$  و  $Re 1000$  ..... 56
- الشكل 3-28: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 250$  و  $Re 1000$  ..... 57
- الشكل 3-29: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 150$  و  $Re 1000$  ..... 58
- الشكل 3-30: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 200$  و  $Re 1000$  ..... 58
- الشكل 3-31: ملامح سرعة الهواء لـ  $L 20m$   $D 250$  و  $Re 1000$  ..... 58
- الشكل 3\_32 يمثل الشكل تطور درجة حرارة الهواء في الأنوب ..... 59
- الشكل 3\_33 يمثل الشكل تكبير لقيم تطور درجة حرارة الهواء في الأنوب ..... 60
- الشكل 3\_34 يمثل الشكل تطور درجة حرارة الهواء في الأنوب ..... 60
- الشكل 3\_35 يمثل الشكل تكبير لقيم تطور درجة حرارة الهواء في الأنوب ..... 61
- الشكل 3\_36 يمثل الشكل تطور درجة حرارة الهواء في الأنوب ..... 61
- الشكل 3-37 يمثل الشكل تكبير لقيم تطور درجة حرارة الهواء في الأنوب ..... 62

### قائمة الجداول

- الجدول رقم 1: مجموعة من المذكرات والعناوين التي أجريت على المبادل الحراري ..... 5
- الجدول رقم 2: حجم الشبكة ..... 46
- الجدول رقم 3: فحص نتيجة التقارب الجدول ..... 46



قائمة الرموز

$m^2/s$	الانتشار الحراري للتربة	a
$J/(kg \cdot ^\circ k)$	السعة الحرارية الجماعية للهواء	Cp air
$m/s^2$	الجاذبية	g
$w/m^2 \cdot ^\circ k$	معامل انتقال الحرارة الحراري	hconv
m	طول الأنبوب	L
Pa	ضغط جوي	P
m	نصف القطر الداخلي للأنبوب	Rint
m	نصف القطر الخارجي للأنبوب المدفون	Rext
$m^2 \cdot ^\circ k/w$	المقاومة الحرارية بين الأنبوب والأرض	Rsol
$^\circ C$	متوسط درجة الحرارة اليومية	T <sub>moy</sub>
$^\circ C$	درجة حرارة التربة على عمق zi	Ti
$^\circ C$	درجة حرارة الهواء	Tair
$m^2 \cdot ^\circ k/w$	المقاومة الحرارية الكلية بين الهواء والأرض	U
m/s	سرعة الهواء التالية (ox)	u
m/s	سرعة الهواء التالية (oy)	v
m/s	سرعة الهواء	Vair
m/s	سرعة الهواء التالية (oz)	w
m	العمق تحت سطح الأرض	Z
m	قطر الأنبوب الداخلي	$\varnothing$
$w/(m \cdot ^\circ k)$	النقل الحراري للهواء	$\lambda$
$w/(m \cdot ^\circ c)$	الناقلية الحرارية للتربة	$\lambda_{sol}$
$w/(m \cdot ^\circ k)$	التوصيل الحراري للأنبوب المدفون	$\lambda_{pipe}$
[rad]	التحول في مرحلة التذبذب	$\varphi$
$m^2/s$	الانتشار الحراري	$\alpha$
[-]	كفاءة الأنبوب المدفون	$\varepsilon$
Rad/jour	التردد الزاوي	$\omega$
Kg/m	كثافة الهواء	$\rho$
Kg/m	كثافة التربة	$\rho_{sol}$
$m^2/s$	اللزوجة الحركية للهواء	$\nu$

# المقدمة العامة

## المقدمة العامة

أجريت الدراسات الديموغرافية مؤخرًا على سكان العالم الثالث\_ البلدان السائرة في النمو\_ في مقدار الزيادة لديهم ولوحظ أنهم سوف يزدادوا بسرعة كبيرة وستكون احتياجاتهم من الطاقة عالية جدًا ، وبحلول عام 2050 م ، ستكون الأرض مأهولة بالسكان من 8 إلى 10 مليار شخص. [1]

حسب إحصائيات عام 2006، فإن الأمريكي يستهلك 8 أضعاف الطاقة من الأوروبي و 16 مرة أكثر من الأفريقي اليوم ، أعلن استنفاد موارد الطاقة تمثل حاليًا 90 ٪ من استهلاك الطاقة العالمي الذي يؤثر على البيئة (التلوث + تأثير الاحتباس الحراري).

لذلك لجئ العالم إلى الطاقة المتجددة، للتبريد الحراري الأرضي على وجه الخصوص، هي تقنية جديدة تستخدم تقليدياً في منطقتنا الصحراء، الناس يبنون منازل تحت الأرض (الأقبية) لتحديث الموائل في الصيف، نريد تطوير هذه التقنية التقليدية مع دراسة علمية متعمقة وبأساليب جديدة تسمح لنا باستخدامها بشكل صحيح وفي أفضل الظروف.

تتمثل هذه التقنية الجديدة في تزويد المبنى بالهواء النقي الذي يمر عبر أنبوب مدفون على عمق معين تحت الأرض مهما كانت الظروف المناخية بالخارج ، يبرد بالهواء البارد أو يسخن بالهواء الساخن باستخدام القصور الذاتي للحرارة من الأرض ، يأخذ الهواء دور سائل نقل الحرارة والأنبوب كمبادل حراري أثناء توجيه الهواء إلى المبنى في هذا العمل ، حيث أجريت من قبل دراسة في مذكرة تخرج لنيل الماستر على طول الأنبوب وكذلك دراسة أخرى على عمق الأنبوب ونحن في هذه المذكرة سنبدأ دراسة تأثير قطر الأنبوب على أداء المبادل الحراري، لمعرفة أحسن قطر مناسب حيث قمنا بعمل نموذج رياضي يسمح لنا بتوقع وحساب درجة حرارة الأرض على القطر الأحسن والمناسب للاستعمال.

من خلال النمذجة التحليلية لتقدير تطور درجة حرارة الهواء المتداول داخل أنبوب المبادل المدفون حسب القطر ، مما يقودنا الى التعرف على القطر الأمثل الذي يضمن تبادلًا جيدًا للحرارة بين الهواء والأرض من خلال جدار الصرف الأنبوبي.

لتحقيق الهدف المحدد في هذا العمل، قمنا بمعالجة هذه المشكلة في ثلاثة فصول أساسية:

الفصل الأول: يتضمن الفصل الأول دراسة ببيوغرافية تتعلق بالأسس الأساسية لتقنية التبريد بواسطة المبادل حراري تحت الأرض، بالإضافة إلى نظرة عامة على هذه التقنية  
 الفصل الثاني: أما الفصل الثاني فقد خصص لدراسة النمذجة الرياضية  
 الفصل الثالث: المحاكاة العددية

# الفصل الأول

التحليل النظري والدراسة  
الببليوجرافية

## 1-1- المقدمة

أصبح اليوم البحث عن مصادر جديدة للطاقة هو التزام وليس اختيار، يجب أن تمتثل هذه المصادر لشروط من وجهة نظر اقتصادية وبيئية، مثل

- وفرة وتوافر المصادر (وإذا كان المصدر متجددًا فهو أفضل)

- يجب أن تكون تكلفة تشغيل هذه الطاقات مقبولة

- العملية نفسها لا تشكل خطراً على البيئة

من بين هذه المصادر: الطاقة الشمسية، الكتلة الحيوية الهيدروليكية، الطاقة الحرارية الأرضية، التبريد والتدفئة بواسطة الطاقة الحرارية الأرضية، فمن خلال النمذجة والمحاكاة لأداء هذه الأنظمة، سنحاول دراسة تأثير قطر الأنبوب على أداء المبادل الحراري، لمعرفة أحسن قطر مناسب من خلال إنشاء برنامج بحثي في هذا المجال، يجعل من الممكن إنشاء نهج عالمي للتحكم بالطاقة المتجددة في هذه الدراسة النظرية لظاهرة تبريد المساكن بالطاقة الحرارية الجوفية حيث هذه عملية لم يتم استخدامها في بلدنا حتى الآن.

فالهدف هو معرفة تطور درجة حرارة الهواء المحيط في المبادل ذلك قد يكون في سياقات هيكلية مختلفة في هذا الفصل الأول الذي يتعامل مع مبدأ تشغيل الطاقة الحرارية الأرضية حيث هي تقنية مخصصة للتبريد في الصيف والتدفئة في الشتاء. من ناحية أخرى، سيتم الكشف عن نظرة عامة على العمل النظري والتجريبي الرئيسي الذي تم تنفيذه، حيث سنحاول تقديم بعض الأهداف لكل عمل تم تنفيذه، وبعض النتائج من خلال المنحنيات

يمثل الجدول أدناه مجموعة من المذكرات والعناوين التي أجريت على المبادل الحراري

العنوان	الكاتب	السنة	الرقم
استخدام مبادلات الهواء / التربة لتبريد المباني. القياسات في الموقع والنمذجة التحليلية والمحاكاة الرقمية والتحليل النظامي. تم تقديم أطروحة الدكتوراه لكلية العلوم بجامعة جنيف	بيير هولمولر	2002	1
أداء مادة مبادل حراري من النوع الجوي الأرضي. ITP في روميل 2005	ديفيد بارتولوميو	2005	2
تحجيم عناصر مبادل الهواء / التربة ، والمعروف باسم "الآبار الكندية" ، مقال مقدم في الجامعة جوزيف فورييه ، غرونوبل	ديفيد أميترانو	2006	3
التبريد باستخدام الطاقة الحرارية الأرضية: دراسة نظرية وتجريبية في موقع بسكرة ، مقال "مراجعة الطاقات المتجددة "	ن مومي وآخرون	2009	4
دراسة نظام تكييف الهواء يدمج بنر كندي في المناطق القاحلة ، حالة بشار ، "Revue الطاقات المتجددة Vol. 15 " رقم 3 (2012) 465-478	ب مباركي وآخرون	2011	5
محاكاة وتوصيف المبادل الحراري الأرضي الهواء المخصص لتبريد المباني العاملة في الظروف المناخية لجنوب الجزائر ، مراجعة من الطاقات المتجددة المجلد. 15 رقم 2 (2012) 275 - 284	بنهامو وآخرون	2011	6
تحديد وتحليل العوامل الرئيسية التي تؤثر على السلوك الحراري لمبادل هواء / أرضي تحت الأرض ، رسالة ماجستير في الهندسة الميكانيكية ، جامعة بسكرة	محمد سعد الدين	2012	7

الجدول رقم 1: مجموعة من المذكرات والعناوين التي أجريت على المبادل الحراري

## 1-2- الطاقة الحرارية الأرضية:

الطاقة الحرارية الجوفية هي مصدر طاقة بديل نظيف ومتجدد، وهي طاقة حرارية مرتفعة ذات منشأ طبيعي مخزنة في الصحارة في باطن الأرض. حيث يقدر أن أكثر من 99 % من كتلة الكرة

الأرضية عبارة عن صخور تتجاوز حرارتها 1000 درجة مئوية. ويستفاد من هذه الطاقة الحرارية بشكل أساسي في توليد الكهرباء. [1]

### 1-2-1- تعريف الطاقة الحرارية الأرضية:

هي طاقة متجددة يتم الحصول عليها من الحرارة الموجودة في باطن الأرض. ويمكننا استخدام هذه الطاقة ليس في الحصول على الطاقة الكهربائية فحسب، ولكن يمكننا الاستفادة منها في تسخين المباني وتبريدها، وفي المنتجات الصحية، وفي الينابيع الساخنة. تُعتبر الحرارة الموجودة بمركز الأرض مُنتجًا ثانويًا لتفاعلا كيميائية و نووية تحدث عميقًا في لب الكرة الأرضية، وتحدث منذ مليارات السنين. وتُعد الحرارة أحد المنتجات الثانوية الأكثر شيوعًا لهذه التفاعلات، حيث تهاجر ببطء بعد ذلك داخل الكرة الأرضية حتى تصل إلى الأماكن التي يمكننا الوصول إليها عن طريق الحفر في الأرض. ولأن تلك التفاعلات التي تحدث عميقًا في باطن الكرة الأرضية، ستستمر في الحدوث، فسُتستبدل أو تتجدد أي كمي نستخدمها من الحرارة. فتعتبر الطاقة الحرارية الجوفية بالاقتران مع الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الكهرومائية مصدرًا متجددًا للطاقة لأنه بإمكاننا استخدامه إلى الأبد. [2]

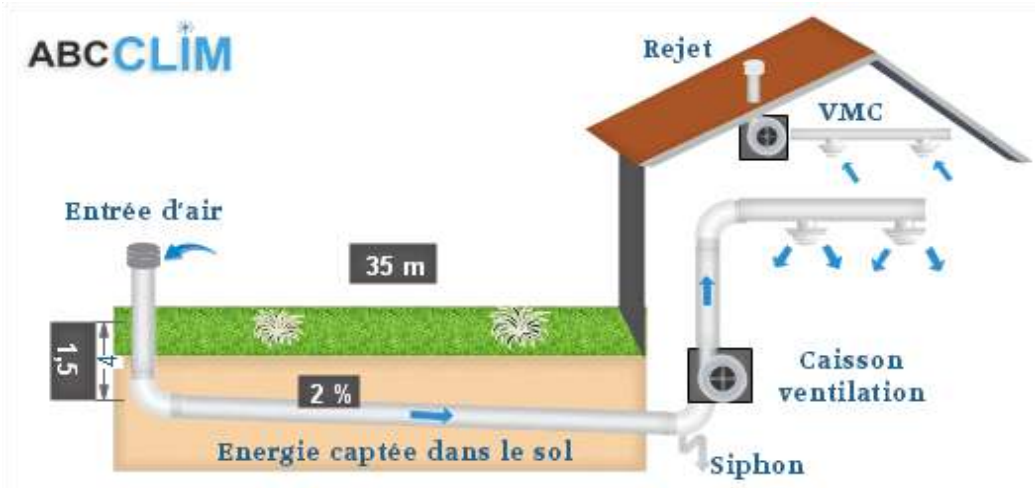
### 1-2-2- تعريف مبادل حراري أرضي:

التبادل الحراري المزدوج تحت الأرض (مبادل حراري أرضي) هو تبادل حراري تحت الأرض التي يمكن من خلاله تجميع الحرارة أو تبديدها تحت الأرض. يقومون باستخدام هذه العملية من خلال تسخين أو تبريد الهواء أو أي سوائل أخرى تحت الأرض بالاستفادة من درجة حرارة الأرض الجوفية الثابتة نسبيًا وملائمة سواء في فصل الشتاء أو فصل الصيف على أعماق لا تتجاوز 3م إذا ما كان استخدام هذا النظام للتدفئة والتبريد معا وعلى أعماق أكبر إذا ما استخدم النظام في عمليات التدفئة فقط. وفي حالة تدفئة أو تبريد السوائل كالماء مثلا يتم استخدامها في الاستخدامات السكنية أو الصناعية أو الزراعية. إذا كان هواء المبنى يمر من خلال مبادل حراري لعمليات التهوية ولكن مع الاحتفاظ بالطاقة الحرارية لهذا الهواء عندئذ يطلق عليه اسم أنبوب الأرض (ويسمى أيضا أنابيب التبريد أو التدفئة الأرضية) في أوروبا أو يسمى المبادلات الحرارية للهواء من خلال الأرض (المبادلات الحرارية الأرضية - الهواء). [3]

هذه الأنظمة تعرف بأكثر من اسم مثل: مبادل حراري من الهواء إلى التربة، والقنوات الأرضية، وأنظمة أنفاق الأرض-الهواء، والمبادل الحراري للأنابيب الأرضية، والمبادلات الحرارية تحت التربة، وأنابيب الهواء تحت الأرض



الشكل 1-1: صورة للأنبوب المبادل الحراري [1]



الشكل 2-1: صورة لنموذج المبادل الحراري تحت ارضي [1]

### 1-2-2-1- نظام تصريف المكثفات

عندما يتلامس الهواء الخارجي الساخن مع الجدران الداخلية الباردة للبيتر ، فإن بخار الماء الموجود في الهواء المتداول في القناة المدفونة يمكن أن يتكثف إلى قطرات دقيقة عندما يكون ملامساً للجدران الداخلية الباردة للآبار. هذا يساعد على نمو البكتيريا بسبب ركود ماء التكثيف داخل البيتر ، ويمكن أن يعطل الدورة الهوائية مما قد يغير جودة الهواء النقي في البيتر. وهكذا، البيتر الذي يميل مجراه ، هذا الميل ضروري للقضاء على أي مكثفات.



### 1-2-2-2- المروحة

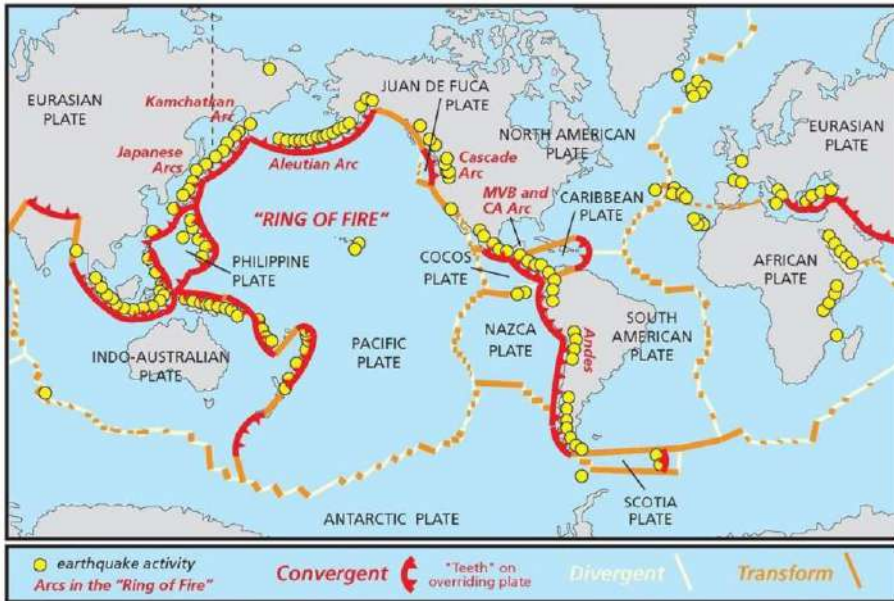
تعتبر تهوية البئر الكندي أكثر فاعلية من التهوية الطبيعية، حيث يتطلب نظام الآبار الكندي أن يكون مرتبطاً بالتهوية الميكانيكية أو VMC (هو نظام تدفق بسيط أو نظام تهوية مزدوج التدفق، ويضمن تجديد الهواء المحيط للمأوى)، وحجم يتم تحديد المروحة وفقاً لضمان معدلات التدفق التنظيمية. اعتماداً على درجة الحرارة الخارجية، سيعزز منظم الحرارة مرور الهواء عبر البئر الكندي. هناك نوعان رئيسيان من التهوية الميكانيكية مقترنة بمبادل هواء-أرضي:

\* تهوية ميكانيكية أحادية التدفق

\* تهوية ميكانيكية مزدوجة التدفق

### 1-2-3- مصادر الطاقة الحرارية الأرضية:

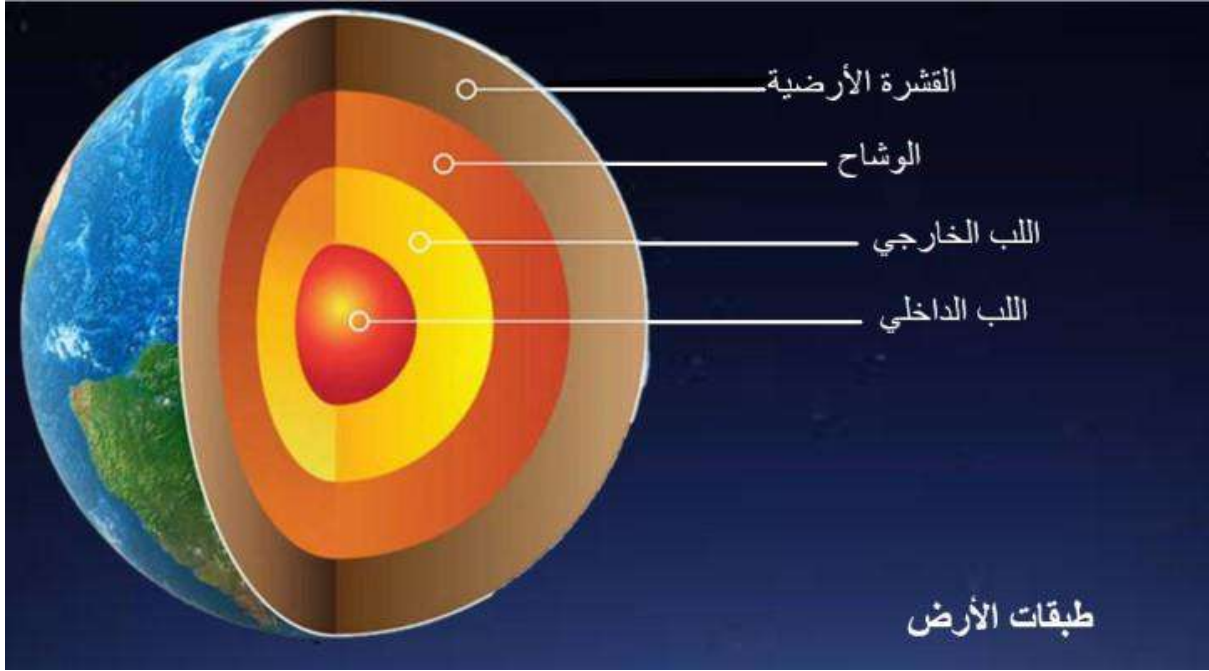
رغم أن الحرارة التي تخرج من مركز الأرض تهاجر إلى السطح في كل مكان، فإن الحرارة تتركز على حواف الصفائح التكتونية. فالصفائح التكتونية قطع من سطح الكرة الأرضية تتراص معاً مثل قطع الأحجية، وتتحرك ببطء. وقد تتحطم هذه الصفائح إلى قطع صغيرة في المناطق التي تصلها ببعضها البعض، أو تنزلق أسفل بعضها البعض؛ ويتسبب ذلك في جعل حوافها ذات درجة حرارة مرتفعة، واعتبارها أماكن مفعمة بالطاقة. وفي الحقيقة، تتصف حواف الصفائح التكتونية بحدوث الكثير من الزلازل في نطاقها مثل تلك المناطق في كاليفورنيا، والبراكين مثل تلك المناطق في اليابان. [2]



الشكل 1-3: خريطة للعالم توضح الصفائح التكتونية وحدود تلك الصفائح. [2]

## 1-3- التدرج الجيولوجي

التدرج في درجة الحرارة ليس هو نفسه بين مركز الأرض والطبقة الأرضية، حيث يمكن للمرء أن يصل إلى عدة مئات من الدرجات للأعماق الضحلة والعكس صحيح. كلما تعمقت في القشرة الأرضية، ارتفعت درجة الحرارة. في المتوسط، تصل الزيادة في درجة الحرارة إلى 20-30 درجة للكيلومتر. يعتمد هذا التدرج الحراري بشكل أكبر على منطقة الكرة الأرضية التي يتم النظر فيها. يمكن أن تختلف من 3 درجات مئوية لكل 100 متر (المناطق الرسوبية) حتى 15 درجة مئوية أو حتى 30 درجة مئوية (المناطق البركانية، مناطق الصدع مثل آيسلندا أو نيوزيلندا). [4]



الشكل 1-4: أعماق التربة ودرجات الحرارة

## 1-4- المضخة الحرارية الجوفية

المضخة الحرارية هي جهاز قادر على نقل الطاقة من بيئة "باردة" إلى بيئة "ساخنة". بشكل ملموس، يتكون هذا من أخذ السرعات الحرارية من البيئة الطبيعية (الهواء أو التربة أو الماء) لحقنها في داخل المبنى من أجل أن تكون ساخنة. حتى "البرد" والهواء والتربة والماء تحتوي على حرارة يمكن استخلاصها بنفقات طاقة أولية.

## 1-5-1- خصائص التربة

تعتبر الخصائص الحرارية للتربة ذات أهمية كبيرة في العديد من المشاريع الهندسية وغيرها من المواقف التي يحدث فيها انتقال الحرارة في التربة. على سبيل المثال ، لها أهمية كبيرة في تصميم الطرق أو المطارات أو خطوط الأنابيب أو المباني في المناطق الباردة وكذلك كبلات الطاقة تحت الأرض وأنابيب الماء الساخن أو خطوط أنابيب الغاز البارد في الأرض غير المجمدة. كما أنها مهمة في مجالات مثل الزراعة والأرصاد الجوية والجيولوجيا.

### 1-5-1- الخصائص الحرارية للتربة

تتأثر الخصائص الحرارية للتربة بشدة بمحتوى الماء الحجمي للتربة، وجزء حجم المواد الصلبة ، وجزء الهواء الحجمي. الهواء هو موصل حراري رديء ويقبل من فعالية المراحل الصلبة والسائلة لتوصيل الحرارة. في حين أن المرحلة الصلبة لديها أعلى موصلية، إلا أن تباين رطوبة التربة هو الذي يحدد إلى حد كبير التوصيل الحراري.

تكون التغيرات في درجات الحرارة شديدة على سطح التربة ويتم نقل هذه الاختلافات إلى طبقات تحت السطح ولكن بمعدلات منخفضة مع زيادة العمق.

تتمثل إحدى الطرق الممكنة لتقييم الخصائص الحرارية للتربة في تحليل التغيرات في درجة حرارة التربة مقابل العمق بواسطة قانون فورييه.

$$\frac{q}{A} = K \frac{\Delta T}{\Delta Z} \dots\dots\dots (I-1)$$

$$\frac{q}{A} \text{ التدفق الحراري أو معدل انتقال الحرارة لكل وحدة مساحة } \text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1} \text{ أو } \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$K \text{ توصيل حراري } \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} \text{ انحدار درجة الحرارة (تغير في درجة الحرارة / تغير في العمق) } \text{K}\cdot\text{m}^{-1}$$

### 1-5-2- الموصلية الحرارية للتربة

الموصلية الحرارية للتربة ( $\lambda$ ) هي نسبة حجم تدفق الحرارة الموصلية عبر التربة إلى حجم التدرج الحراري ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$ ). إنه مقياس لقدرة التربة على توصيل الحرارة ، تمامًا كما أن التوصيل الهيدروليكي هو مقياس لقدرة التربة على "توصيل" المياه. تتأثر التوصيل الحراري للتربة بمجموعة واسعة من خصائص التربة بما في ذلك:

- المسامية المملوءة بالهواء
- محتوى الماء
- الكثافة الظاهرية
- نسيج
- علم المعادن
- محتوى المادة العضوية
- تركيبة التربة
- درجة حرارة التربة

من بين مكونات التربة الشائعة، يتمتع الكوارتز بأعلى موصلية حرارية إلى حد بعيد، غالبًا ما تتكون غالبية أجزاء حجم الرمال في التربة بشكل أساسي من الكوارتز ، وبالتالي فإن التربة الرملية لها قيم توصيل حراري أعلى من أنواع التربة الأخرى ، مع تساوي جميع العوامل الأخرى. نظرًا لأن الموصلية الحرارية للهواء منخفضة جدًا، فإن المسامية المملوءة بالهواء تمارس تأثيرًا مهمًا على التوصيل الحراري للتربة.

كلما زادت المسامية المملوءة بالهواء، انخفضت الموصلية الحرارية تزداد الموصلية الحرارية للتربة مع زيادة محتوى الماء ، ولكن ليس بطريقة خطية بحتة. بالنسبة للتربة الجافة ، يمكن أن تؤدي الزيادات الصغيرة نسبيًا في محتوى الماء إلى زيادة كبيرة في الاتصال الحراري بين الجزيئات المعدنية لأن الماء يلتصق بالجزيئات ، مما يؤدي إلى زيادة كبيرة نسبيًا في التوصيل الحراري. [5]

### 1-5-3- السعة الحرارية الحجمية للتربة

السعة الحرارية الحجمية للتربة (C) هي كمية الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة وحدة حجم التربة بمقدار درجة واحدة (1-3 °C m<sup>-3</sup> J). على عكس الموصلية الحرارية ، تزداد السعة الحرارية الحجمية خطيًا بشكل صارم مع زيادة محتوى الماء في التربة. السعة الحرارية الحجمية هي أيضًا دالة خطية للكثافة الظاهرية. يمكن حساب السعة الحرارية الحجمية بواسطة:

$$C = \rho_D C_s + \rho_w C_w \theta \dots\dots\dots (I-2)$$

حيث  $\rho_b$  هي الكثافة الظاهرية للتربة،  $c_s$  هي الحرارة النوعية للمواد الصلبة في التربة  $g^{-1} \text{ } ^\circ J$  (C-1)،  $\rho_w$  هي كثافة الماء،  $c_w$  هي الحرارة النوعية للماء، و هو محتوى الماء الحجمي. تتطلب زيادة درجة حرارة التربة الأكثر رطوبة وكثافة طاقة أكثر من زيادة درجة حرارة التربة الأكثر جفافاً والأقل كثافة، والتي تتميز بسعة حرارية حجمية أقل. هذا هو أحد العوامل التي يمكن أن تسهم في انخفاض درجات حرارة التربة وتأخر نمو المحاصيل في التربة التي تتم إدارتها بدون حرث. [5]

### 1-5-4- الانتشار الحراري للتربة

الانتشار الحراري للتربة هو نسبة التوصيل الحراري إلى السعة الحرارية الحجمية. إنه مؤشر على المعدل الذي ينتقل به تغير درجة الحرارة عبر التربة عن طريق التوصيل. عندما يكون الانتشار الحراري مرتفعاً، تنتقل التغيرات في درجات الحرارة بسرعة عبر التربة. منطقياً، يتأثر الانتشار الحراري للتربة بجميع العوامل التي تؤثر على التوصيل الحراري والقدرة الحرارية. الانتشار الحراري أقل حساسية إلى حد ما للمحتوى المائي للتربة من الموصلية الحرارية والسعة الحرارية الحجمية. يعد الانتشار الحراري معلمة مفيدة بشكل خاص للمساعدة في فهم ونمذجة درجات حرارة التربة، وهو الموضوع التالي الذي سننظر فيه.

### 1-6- المبادل الحراري

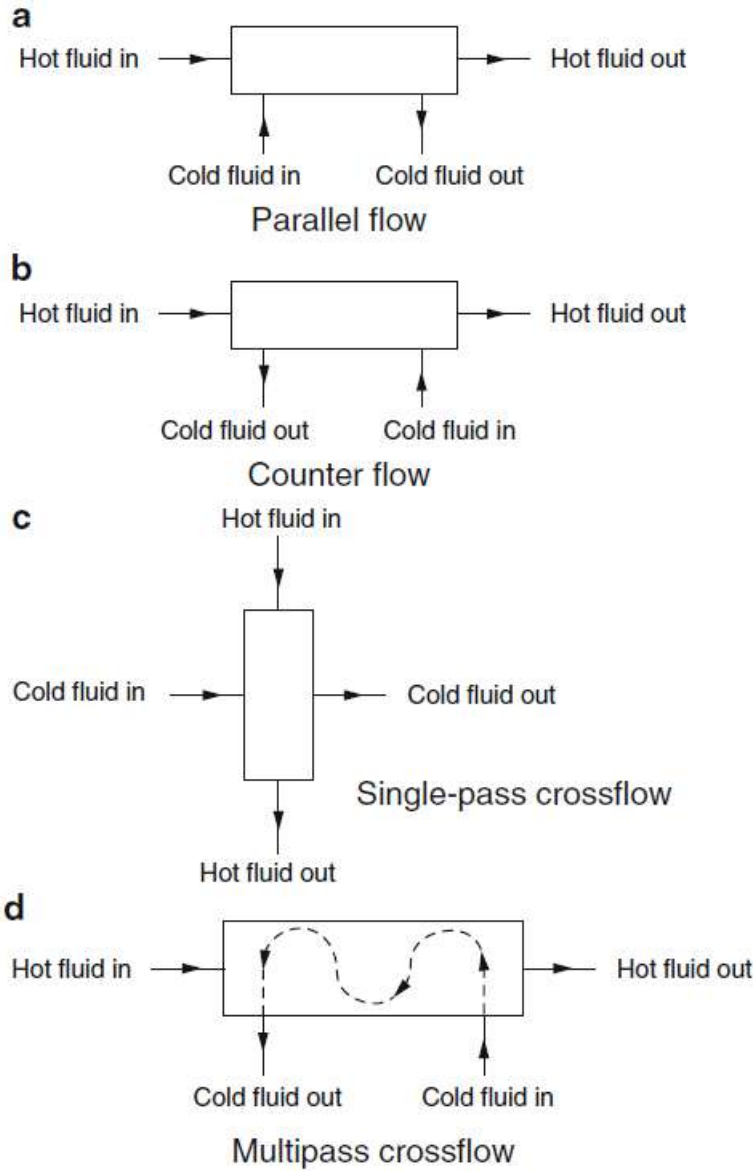
المبادل الحراري عبارة عن جهاز لنقل الحرارة يقوم بتبادل الحرارة بين سائلين أو أكثر من سوائل المعالجة. المبادلات الحرارية لها تطبيقات صناعية ومنزلية واسعة النطاق. تم تطوير العديد من أنواع المبادلات الحرارية لاستخدامها في محطات الطاقة البخارية، ومحطات المعالجة الكيميائية، وأنظمة تدفئة المباني وتكييف الهواء، وأنظمة طاقة النقل، ووحدات التبريد. يعتبر التصميم الفعلي للمبادلات الحرارية مشكلة معقدة. إنه ينطوي على أكثر من تحليل نقل الحرارة وحده. تلعب تكلفة التصنيع والتركييب والوزن والحجم أدواراً مهمة في اختيار التصميم النهائي من وجهة نظر التكلفة الإجمالية للملكية. في كثير من الحالات، على الرغم من أهمية التكلفة في الاعتبار، غالباً ما يكون الحجم والبصمة من العوامل المهيمنة في اختيار التصميم.

#### 1-6-1- أنواع المبادلات الحرارية

المبادل الحراري عبارة عن جهاز لنقل الحرارة يقوم بتبادل الحرارة بين سائلين أو أكثر من سوائل المعالجة. المبادلات الحرارية لها تطبيقات صناعية ومنزلية واسعة النطاق.

تم تطوير العديد من أنواع المبادلات الحرارية لاستخدامها في محطات الطاقة البخارية، ومحطات المعالجة الكيميائية، وأنظمة تدفئة المباني وتكييف الهواء، وأنظمة طاقة النقل، ووحدات التبريد. يعتبر التصميم الفعلي للمبادلات الحرارية مشكلة معقدة. إنه ينطوي على أكثر من تحليل نقل الحرارة وحده. تلعب تكلفة التصنيع والتركييب والوزن والحجم أدوارًا مهمة في اختيار التصميم النهائي، من وجهة نظر التكلفة الإجمالية للملكية. في كثير من الحالات، على الرغم من أهمية التكلفة في الاعتبار، غالبًا ما يكون الحجم والبصمة من العوامل المهيمنة في اختيار التصميم. [6]

يمكن تصنيف معظم المبادلات الحرارية على أنها واحدة من عدة أنواع أساسية. يوضح الشكل أدناه الأنواع الأربعة الأكثر شيوعًا، القائمة على تشكيل مسار التدفق.



الشكل 5-1: أنواع وتصنيفات المبادلات الحرارية

a. في التدفق المتزامن أو الموازي، يدخل تيارا المائعين معًا في أحد الطرفين، ويتدفقان في نفس الاتجاه، ويتركبان معًا في الطرف الآخر.

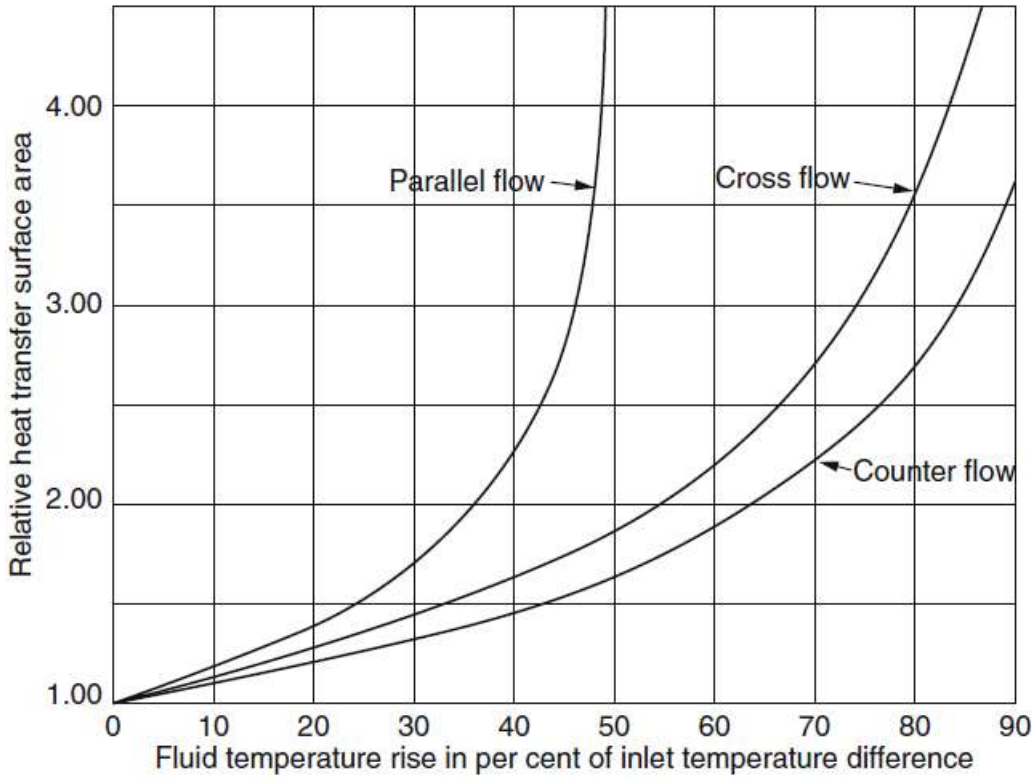
b. في وحدات التيار المعاكس، أو التدفق المعاكس، يتحرك التياران في اتجاهين متعاكسين.

c. في وحدات التدفق العرضي أحادي التمير، يتحرك أحد السوائل عبر مصفوفة نقل الحرارة بزاوية قائمة على مسار تدفق المائع الآخر.

d. في وحدات التدفق العرضي متعدد المسارات، يتحرك تيار مائع واحد ذهابًا وإيابًا عبر مسار التدفق لتيار المائع الآخر، مما يعطي عادةً تقريبًا متقاطعًا للتدفق المعاكس.

يكمن الاختلاف الأكثر أهمية بين هذه الأنواع الأساسية الأربعة في الكميات النسبية لمساحة سطح نقل الحرارة المطلوبة لنقل كمية الحرارة المطلوبة بين الموائع.

يوضح الشكل 5.1 أدناه المساحة النسبية المطلوبة لكل نوع كدالة للتغير في درجة حرارة المائع مع أكبر تغير في درجة الحرارة مطلوب لمجموعة نموذجية من الظروف. في المنطقة التي فيها درجة حرارة السائل.



الشكل 6-1: مساحة سطح نقل الحرارة النسبية المطلوبة كدالة لنسبة ارتفاع درجة الحرارة (أو الانخفاض)

في تيار المائع الذي يحتوي على تغير أكبر في درجة الحرارة إلى الاختلاف في درجة الحرارة بين تيارات المدخل

التغيير عبر المبادل الحراري هو نسبة مئوية صغيرة من الاختلاف في درجة الحرارة بين تيارات السوائل الداخلة ، تتطلب جميع الوحدات نفس المنطقة تقريباً. يعتبر المبادل الحراري ذو التدفق المتوازي مهمًا بشكل أساسي للتطبيقات في هذه المنطقة. تمتلك وحدات التدفق المتقاطع نطاقًا أوسع إلى حد ما من التطبيقات وهي مناسبة بشكل خاص لبعض أنواع إنشاءات المبادلات الحرارية التي لها مزايا خاصة. يتطلب المبادل الحراري ذو التدفق المعاكس أقل مساحة. [6]

علاوة على ذلك ، فهو النوع الوحيد الذي يمكن استخدامه في المنطقة التي يقترب فيها تغير درجة الحرارة في أحد أو كلا مجاري المائع من اختلاف درجة الحرارة بين تيارات السوائل الداخلة. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن تصنيف المبادلات الحرارية على أنها اتصال مباشر أو اتصال غير مباشر. في نوع الاتصال المباشر ، يحدث انتقال الحرارة بين سائلين غير قابلين للامتزاج ، مثل الغاز والسائل ، في اتصال مباشر. على سبيل المثال ، تعتبر أبراج التبريد والمكثفات النفاثة لبخار الماء والأبخرة الأخرى التي تستخدم رذاذ الماء أمثلة نموذجية لمبادلات الاتصال المباشر.



# الفصل الثاني

دراسة النمذجة الرياضية

## 2-1- مقدمة

التبادل الحراري المزدوج تحت الأرض (ground-coupled heat exchanger) هو تبادل حراري تحت الأرض التي يمكن من خلاله تجميع الحرارة أو تبديدها تحت الأرض. يقوم باستخدام هذه العملية من خلال تسخين أو تبريد الهواء أو أي سوائل أخرى تحت الأرض بالاستفادة من درجة حرارة الأرض الجوفية سواء في فصل الشتاء أو فصل الصيف على أعماق لا تتجاوز 3م إذا ما كان استخدام هذا النظام للتدفئة والتبريد معا وعلى أعماق أكبر إذا ما استخدم النظام في عمليات التدفئة فقط. وفي حالة تدفئة أو تبريد السوائل كالماء مثلا يتم استخدامها في الاستخدامات السكنية أو الصناعية أو الزراعية. [3] إذا كان هواء المبنى يمر من خلال مبادل حراري لعمليات التهوية ولكن مع الاحتفاظ بالطاقة الحرارية لهذا الهواء عندئذ يطلق عليه اسم أنبوب الأرض ( ويسمى أيضا أنابيب التبريد أو التدفئة الأرضية) في أوروبا أو يسمى المبادلات الحرارية للهواء من خلال الأرض ( EAHE or earth-air heat exchangers ) ((EAHX هذه الأنظمة تعرف بأكثر من اسم مثل : air-to-soil heat exchanger, earth channels, earth canals, earth-air tunnel systems, ground tube heat exchanger, hypocausts, subsoil heat exchangers, underground air pipes, and others.

حيث تنتقل الحرارة تلقائياً من جسم ذي درجة حرارة عالية إلى جسم ذي درجة حرارة منخفضة كما هو الحال بين جسم الإنسان ومحيطه. وعندما نريد تنظيم درجة حرارة الغرفة لراحة الإنسان، يجب أن يكون هناك نوع من التبادل الحراري، مثل التسخين عندما يكون الجو بارداً في الشتاء أو التبريد عندما يكون الجو حاراً في الصيف. نحن نعلم أنه إذا كان هناك جسمان على اتصال، فإن الحرارة سوف يتم نقلها من الجسم ذي درجة الحرارة العالية إلى الجسم ذي درجة الحرارة المنخفضة، ويتوقف انتقال الحرارة بين الجسمين عند تساويهما عند الوصول إلى درجة حرارتهما والوصول إلى التوازن الحراري.

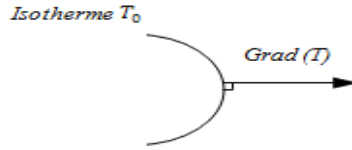
## 2-2-2- نقل درجة الحرارة

### 2-2-2-1- مجال درجة الحرارة

يتم تحديد عمليات نقل الطاقة من التطور في المكان والزمان لدرجة الحرارة:  $T=f(x, y, z, t)$ . القيمة اللحظية لدرجة الحرارة في جميع النقاط في الفضاء هي عدد قياسي يسمى مجال درجة الحرارة. [7]

### 2-2-2-2- تدرج درجة الحرارة

إذا قمنا بدمج جميع النقاط في الفضاء التي لها نفس درجة الحرارة، نحصل على سطح يسمى سطح متساوي الحرارة. يكون تغير درجة الحرارة لكل وحدة طول الحد الأقصى على طول السطح العادي إلى متساوي الحرارة. يتميز هذا الاختلاف بتدرج درجة الحرارة. [8]



الشكل 1-2: تدرج درجة الحرارة

## 2-2-2-3- التدفق الحراري

تتدفق الحرارة تحت تأثير التدرج الحراري من درجات حرارة عالية إلى درجات حرارة منخفضة. كمية الحرارة المنقولة لكل وحدة زمنية لكل وحدة مساحة من السطح المتساوي الحرارة تسمى كثافة تدفق الحرارة [9]

$$q = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots (II-1)$$

ثم تتدفق الحرارة كمية الحرارة المنقولة على السطح  $S$  لكل وحدة زمنية

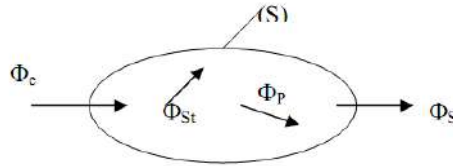
$$Q = \frac{dQ}{dt} \dots\dots\dots (II-2)$$

## 2-3-3- صياغة مشكلة انتقال الحرارة

### 2-3-3-1 موازنة الحرارة

من الضروري أولاً وقبل كل شيء تعريف النظام (S) بحدوده في الفضاء ثم إنشاء جرد لمختلف

التدفقات الحرارية التي تؤثر على حالة النظام والتي يمكن أن تكون: [10]



الشكل 2-2: النظام وتوازن الطاقة

$\Phi$  : التدفق الحراري المخزن في النظام (S)

$\Phi p$  : التدفق الحراري الناتج في النظام (S)

$\Phi e$  : دخول تدفق الحرارة إلى النظام (S)

$\Phi st$  : التدفق الحراري الخارج في النظام (S)

إذا طبقنا مبدأ موازين الحرارة لإنشاء توازن الطاقة للنظام (S):  $\Phi e + \Phi p = \Phi s + \Phi st$

الإنتاج + التبادلات = التخزين

### 2-3-3-2 أوضاع نقل الحرارة

هناك ثلاث طرق رئيسية لنقل الحرارة: التوصيل والإشعاع والحمل الحراري

#### 2-3-3-3 التوصيل

هو انتقال الحرارة داخل كتلة الجسم الصلب، من النقاط الأكثر سخونة إلى النقاط الأكثر برودة،

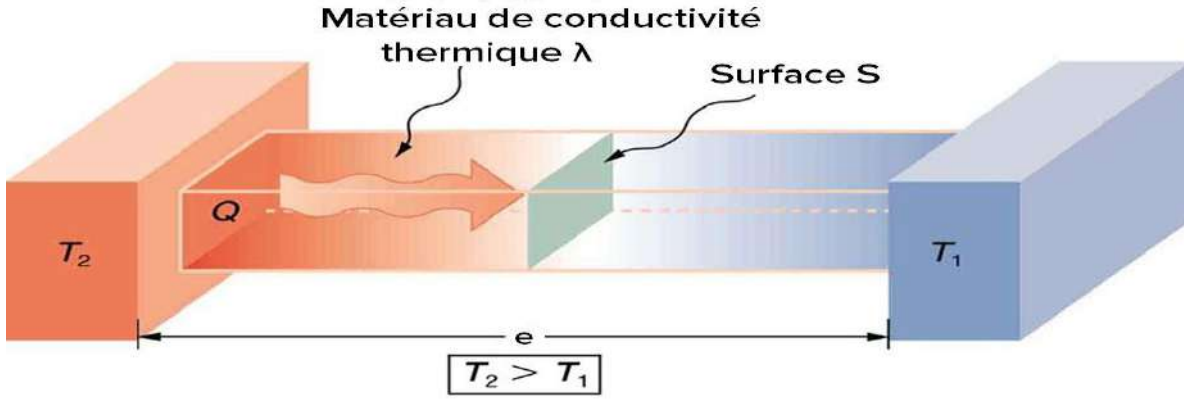
نتيجة لتلامس الجسيمات بينها وبدون إزاحة ظاهرة للمادة. تعتمد نظرية التوصيل على فرضية فورييه :

كثافة التدفق تتناسب مع تدرج درجة الحرارة.

$$q_{cd} = -\lambda \text{ grade } T \dots \dots \dots (II-3)$$

أو شكل آخر على شكل جبري

$$q_{cd} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \dots \dots \dots (II-4)$$



الشكل 2-3: تمثيل تخطيط الظاهرة التوصيل.

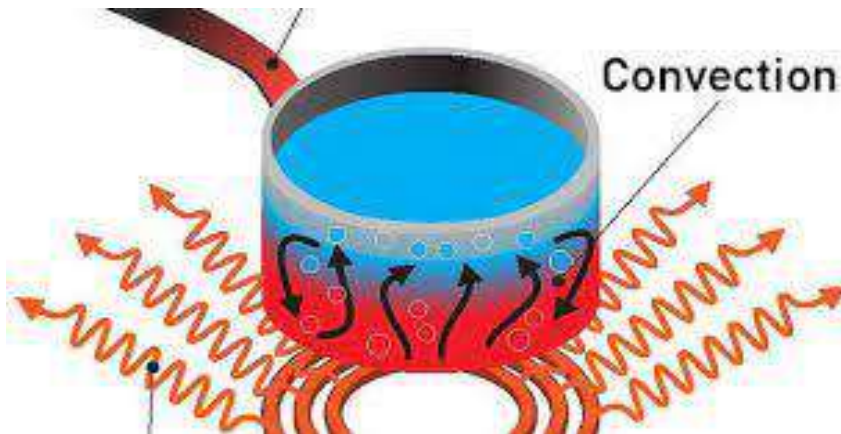
### 4-3-2- الحمل الحراري

إنها طريقة انتقال الحرارة التي تتضمن حركة سائل توجد في التبادل الذي يحدث بين الجدار والسوائل

**الحمل القسري:** يتم التمييز بين الحمل الحراري القسري، حيث تكون حركة السائل ناتجة عن عمل مضخة أو مروحة أو مدخنة موضوعة في الدائرة.

**الحمل الحراري الطبيعي:** الحمل الحراري الطبيعي، حيث يتم إنشاء حركة السائل من خلال الاختلاف الكثافة، والتي ترجع إلى اختلافات درجة الحرارة الموجودة في السائل. يتم إعطاء التبادل الحراري بين سائل ملامس لجدار درجة حرارة مختلفة بواسطة قانون نيوتن

$$\varphi = h.A.(Tp - T_{\infty})$$



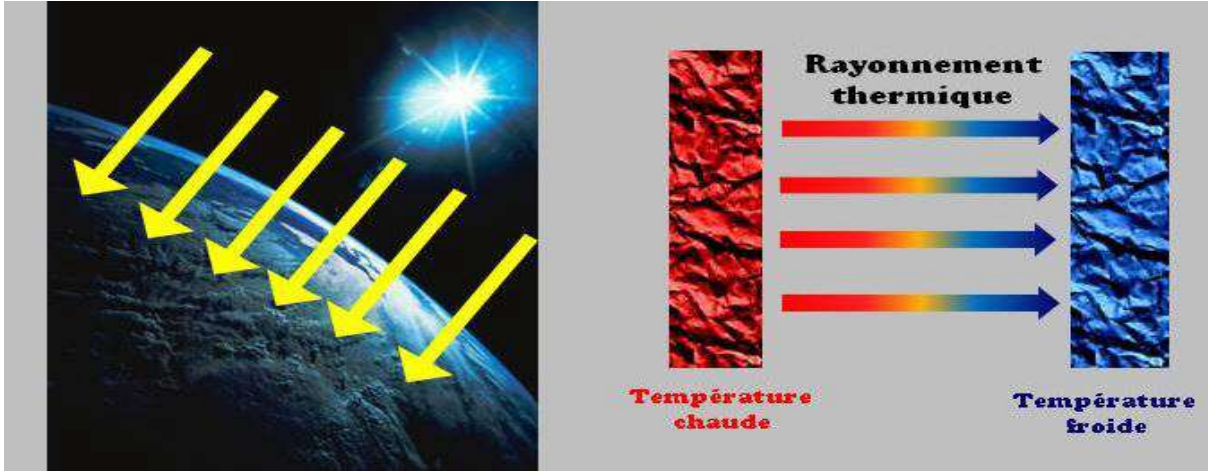
الشكل 2-4: تمثيل تخطيطي لظاهرة الحمل الحراري

2-3-5- إشعاع

الإشعاع الحراري هو طريقة انتقال الحرارة التي تنتقل من خلالها الحرارة من جسم عند درجة حرارة عالية إلى جسم آخر أكثر برودة، لا يتلامس الجسمان مع بعضهما البعض، لكن يتم فصلهما بواسطة وسط شفاف مثل الهواء أو الفراغ. هذا هو الإشعاع الكهرومغناطيسي ، ولكنه يقتصر على الأطوال الموجبة "للإشعاع الحراري" ،

وبالتالي ، فإن الطاقة المنبعثة من الإشعاع من سطح S تعطى بواسطة معادلة ستيفان بولتزمان:

$$\phi = \sigma \cdot e \cdot A \cdot (T_p^4 - T_{\infty}^4) \dots \dots \dots (II-5)$$



الشكل 2-5: تمثيل تخطيطي لظاهرة الإشعاع.

2-4- خصائص التدفق

مجال تطبيق ميكانيكا الموائع ، والذي يتكون من دراسة حركات السوائل ، واسع للغاية ، وبالتالي يشمل ، على سبيل المثال ، الآلات التوربينية ، والملاحة الجوية ، والاحتراق ، والهيدروليكا.

نحن مهتمون عمومًا بنوعين من التدفقات:

- التدفقات الخارجية مفيدة في التصميم الأيروديناميكي.

- التدفقات الداخلية المفيدة في تصميم أنظمة الاحتراق ، والتبريد ، والأنظمة الهيدروليكية ، إلخ ...

## 2-4-1- نظام تدفق السوائل

في أي تدفق ، يتحرك جسيم سائل على طول مسار يسمى الانسياب. تشكل مجموعة خطوط التيار المحددة بواسطة حدود وهمية أو حقيقية شبكة تيار أو أنبوب تيار. في مائع متحرك في أنبوب ، يكون كل جزيء من المائع هو نفسه في حالة حركة ويتحرك وفقاً "لخط التدفق" الخاص به مع سرعة. عندما تكون جميع العوامل (السرعة ، والضغط ، واللزوجة ، والكثافة ، وما إلى ذلك) ، عند نقطة معينة ، مستقلة عن الوقت ، يقال إن التدفق ثابت أو دائم أو ثابت. إذا كانت إحدى المعلمات غير مستقرة بمرور الوقت ، يُقال إن النظام غير مستقر أو متغير. [11]

## 2-4-2- التدفق الصفائحي في الأنبوب

عندما يمر سائل عبر الأنبوب وينزل بالتوازي مع الجدران التي توجهه ، يقال إن التدفق صفحي. يتم توزيع السرعات بالتساوي. تولد مثل هذه التدفقات ضوضاء قليلة جداً بسبب هيكل السرعة المنظم جيداً.

## 2-4-3- التدفق المضطرب في الأنبوب

أنبوب التدفق المضطرب يتحرك بحرية. في التدفق الصفائحي A تدفق أنبوبي مضطرب يتحرك بحرية. في التدفق الصفائحي A في الأنابيب ، تتحرك جزيئات السوائل في طبقات متوازية دون أن تختلط مع بعضها البعض. توزيع سرعة السائل في الأنبوب غير متجانس. يعتمد الاختلاف على الخصائص الفيزيائية للتدفق الرقائقي والاضطراب

تدفق الصفائحي :

- $2000 > Re$

- "سرعة منخفضة"

- جزيئات السوائل تتحرك في خط مستقيم

- طبقات من الماء تتدفق فوق بعضها البعض بسرعات مختلفة دون اختلاط بين الطبقات.

- شكل سرعة التدفق للتدفق الصفائحي في الأنابيب الدائرية هو شكل قطع مكافئ ، مع أقصى تدفق في مركز الأنبوب وأقل

تدفق عند جدران الأنابيب.

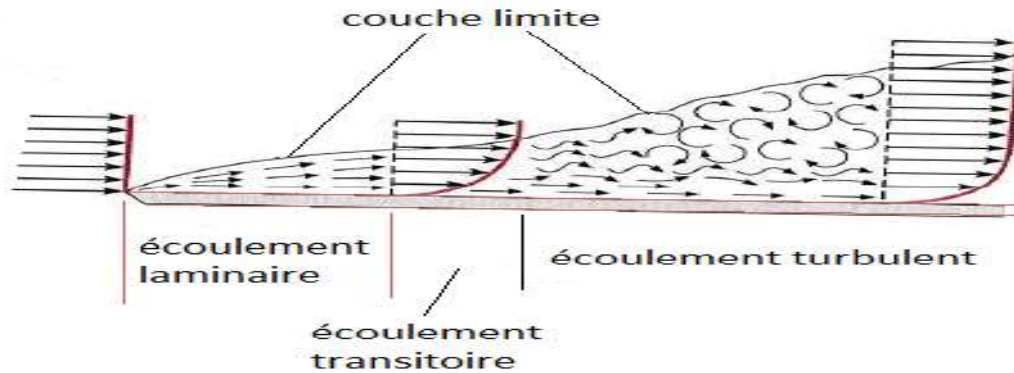
- متوسط سرعة التدفق حوالي نصف السرعة القصوى.

#### الجريان المضطرب:

- يميل التدفق المضطرب إلى الحدوث بسرعات أعلى، ولزوجة منخفضة، وأبعاد خطية مميزة أعلى.
- إذا كان رقم رينولدز أكبر من  $Re > 2000$ ، يكون التدفق مضطربًا.
- عدم الانتظام: يتميز التدفق بالحركة غير المنتظمة للجزيئات السوائل. حركة الجزيئات السائلة فوضوية.
- الانتشار: في التدفق المضطرب، يوجد توزيع سرعة مسطح إلى حد ما عبر قسم الأنبوب، مما يؤدي إلى تدفق السائل بأكمله عند قيمة معينة واحدة وسرعان ما يسقط قريبًا جدًا من الجدران. السمة المسؤولة عن الخلط المعزز وزيادة معدلات نقل الكتلة والزخم والطاقة في التدفق تسمى "الانتشارية".
- الدوران: يتميز التدفق المضطرب بآلية توليد دوامة قوية ثلاثية الأبعاد. تُعرف هذه الآلية باسم تمدد الدوامة.
- التبديد: عملية التبديد هي عملية يتم فيها تحويل الطاقة الحركية للتدفق المضطرب إلى طاقة داخلية عن طريق إجهاد القص اللزج.

### 2-4-4- تدفق وسيط (تدفق انتقالي)

- التدفق العابر، بالنسبة لرقم رينولدز يتراوح بين 2300-3000، هناك تدفق غير ثابت يتناوب من التدفق الصفحي إلى التدفق المضطرب بحيث يتم إخماد الاضطرابات الصغيرة حتى يصبح التدفق رقائقيًا، وهذا النظام قليل الأهمية في الممارسة الصناعية. [10]



الشكل 2-6: نظام التدفق

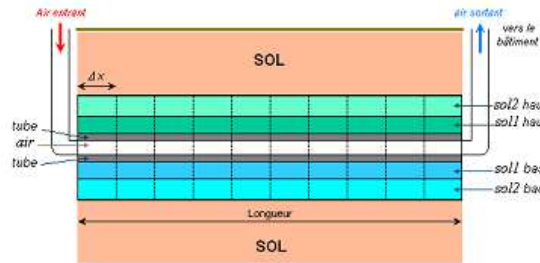


## 2-5- النمذجة الحرارية لمبادل الهواء-الأرض للتبريد

يعتمد التبادل الحراري بين الأرض والهواء المتداول في الأنابيب على هيكل المبادل ودرجة حرارة مدخل الهواء ودرجة حرارة الأرض بالقرب من الأنابيب. إذا كانت درجة الحرارة الأولى تشكل طلباً يمكن توفيره بواسطة ملف بيانات الأرصاد الجوية ، فيجب بالضرورة حساب الثانية ، وهذا هو السبب في أن النموذج المنتج منظم في جزأين. يحسب الجزء الأول درجة الحرارة في أي نقطة على الأرض ، باستثناء تأثير المبادل الحراري (درجة حرارة الأرض "غير المضطربة"). تستخدم درجة الحرارة هذه كشرط حدودي للنظام المدروس. الجزء الثاني ، الذي يشكل نموذج المبادل نفسه ، يحسب درجة حرارة الهواء عند مخرج المبادل. [12]

يؤخذ في الاعتبار فقط التبادل الحراري على مستوى الأنابيب. يُفترض أن تكون الأنابيب متطابقة ويفترض أن تتمتع التربة بخصائص متجانسة حول الأنابيب. من أجل مراعاة الجوانب الديناميكية والمكانية للتبادل الحراري ، يتم تمثيل الأنابيب والأرض في المنطقة المجاورة بشبكة ، وتتكون هذه الشبكة من عدة شبكات أسطوانية متحدة المركز.

يتم تقطيع هذه الشبكات بانتظام إلى أقسام عمودية لتشكيل شبكة كاملة



الشكل 2-7: مظهر شبكي (مقطع طولي)

## 2-6- وصف المشكلة

الغرض من المشروع الذي نريد تنفيذه هو تحديد أفضل قطر يكون فيه نظام المبادل الحراري الأرضي / الجوي أكثر كفاءة من خلال تعديل قيمة سرعة دوران الهواء في الأنابيب. المشكلة التي تم أخذها في الاعتبار هي أنبوب أسطواني على شكل حرف U ذو مقطع دائري ثابت مدفون على عمق  $Z$ . حيث يدور الهواء. هذا يؤدي إلى طول أفقي  $L$  وسمك رفيع  $e$  ، لذلك في كل مرة نقوم بتغيير قيمة قطر الأنبوب ، نأخذ ثلاثة أقطار وهي  $150\text{cm}$   $200\text{cm}$   $250\text{cm}$  ، يخضع لدرجة حرارة ثابتة  $T_s =$

293 K ، الهواء الذي يدور في القناة عند درجة حرارة وسرعة محيطية = 1500 K ثابت. عند رقم رينولدز  $Re=1000$  [12]

لتبسيط النموذج الرياضي، فإننا نعتبر الافتراضات الأكثر استخدامًا في هذا النوع من المشكلات. نفترض أن:

- يكون تدفق السوائل (الهواء) رقائقًا و نيوتونيا و غير قابل للضغط على طول القناة.
- يحدث التبادل الحراري في حالة مستقرة.
- التربة المحيطة بالقناة متجانسة مع موصلية حرارية متجانسة في جميع طبقات التربة.
- بافتراض أن درجة حرارة الأنبوب تساوي درجة حرارة الأرض.  $T_{\text{الأرض}} = T_{\text{أنبوب}}$ .
- لا يوجد تفاعل كيميائي أو مصدر حرارة أو كتلة.
- انتقال الحرارة المشعة لا يكاد يذكر.
- افترض أن هناك عازلاً للحرارة عند مخرج الأنبوب حيث لا يوجد تبادل حراري محدد  $t = 0$

## 7-2- التوازن الحراري

يتناسب تدفق الحرارة لكل وحدة مساحة عبر جدار الأنبوب مع اختلاف درجة الحرارة بين السطح الداخلي،  $ol$  ، والسطح الخارجي للأنبوب ،  $T_{air}$  ، وعكسًا للمقاومة الحرارية للجدار  $R$ .

$$T_{sol} - T_{air}$$

$$\varphi = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} \dots \dots \dots (II-6)$$

تتكون مقاومة الجدار (الغمد) ، من ناحية ، من مقاومة التوصيل ، ومن ناحية أخرى ، مقاومة الحمل الحراري :

$$R = R_{cd} + R_{cv} \dots \dots \dots (II-7)$$

$$dQ = \varphi S dt = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} s dt \dots \dots \dots (II-8)$$

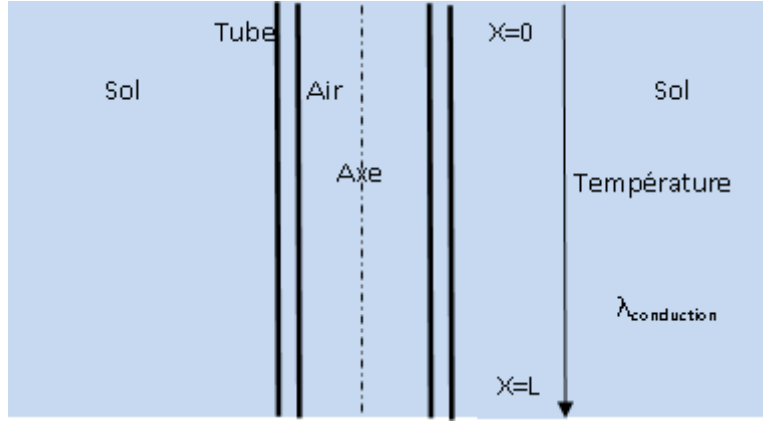
$$Telleque S = S_{laterale} \dots \dots \dots (II-9)$$

$$dQ = \varphi S dt = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} s dt = \frac{T_{sol} - T_{air}}{R} 2.r._.L. dt \dots \dots \dots (II-10)$$

$$q v = s v = \frac{d^2}{4} v \dots \dots \dots (II-11)$$

### 8-2- عن طريق التوصيل الحراري

التوصيل هو انتقال للحرارة في المادة عن طريق الاهتزاز الجزيئي ، فالاهتزازات الحرارية



للبلورات عبارة عن فوتونات مثارة.

### الشكل 8-2: رسم تخطيطي للمشكلة الفيزيائية

تم كتابة معادلة التوصيل العامة على النحو التالي:

$$\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \frac{Q'}{\rho c} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \frac{\partial T}{\partial t} \right) = \frac{k}{\rho c} \dots \dots \dots (II-12)$$

لذلك، لنقل أحادي البعد على طول المحور السيني

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (II-13)$$

وبدون مصدر داخلي يمكننا استخدام المعادلة  $Q' = 0$  لتبسيط المعادلة العامة بالشكل التالي:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \dots \dots \dots (II-14)$$

يتم وضع

$$\frac{k}{\rho c} = \alpha \dots \dots \dots (II-15)$$

لذلك نواجه معادلة تفاضلية بمشتقات جزئية بالشكل التالي:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} \dots \dots \dots (II-16)$$

$$T(x,t) = \theta(x,t) + T_I \dots \dots \dots (II-17)$$

ونضع

$$\frac{\partial^2 \theta(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta(x,t)}{\partial t} \dots \dots \dots (II-18)$$

لدينا الحل العام التالي  $\theta(x,t)$  :

والاستعاضة عنها في المعادلة نحصل على:

$$\frac{\partial^2 f(t)R(x)}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{f(t)R(x)}{\partial t} \dots \dots \dots (II-19)$$

ثم القسمة على  $\theta(x)$ ، تصبح بالتالي:

$$\frac{d^2 R(x)}{R(x) dx^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{d f(t)}{f(t) dt} \dots \dots \dots (II-20)$$

$$\frac{d^2 R(x)}{R(x) dx^2} = cte \dots \dots \dots (II-21)$$

$$\frac{1}{\alpha} \frac{d f(t)}{f(t) dt} = cte \dots \dots \dots (II-22)$$

نستخدم هذا الثابت، على سبيل المثال

باختيار الثابت (أ)، يتم تحديد الشروط الأولية لمعادلة النظام :

$$\Rightarrow \frac{df}{f} = \alpha \frac{1}{\alpha} \frac{df(t)}{f(t) dt} \dots \dots \dots (II-23)$$

$$\ln f(t) - \ln f(i) = \alpha a t \dots \dots \dots (II-24)$$

$$\alpha = \frac{\ln f(t)}{\ln f(i)} \dots \dots \dots (II-25)$$

$$\Rightarrow \frac{f(t)}{f(i)} = e^{\alpha a t} \dots \dots \dots (II-26)$$

$$\Rightarrow f(t) = f(i) e^{\alpha a t} \dots \dots \dots (II-27)$$

المعادلة الثانية

$$\frac{d^2R(x)}{R(x)dx^2} = a \dots\dots\dots (II-28)$$

$$R(x) = 0 - \frac{d^2R(x)}{dx^2} \dots\dots\dots (II-29)$$

$$R(x) = e^{\sqrt{ax}} + Be^{-\sqrt{ax}} \dots\dots\dots (II-30) \text{ لدينا الحل التالي}$$

$$0 = \lim_{x \rightarrow \infty} R(x) \text{ لهذا نعتقد أن } a < 0$$

$$\text{يصبح: } R(x) = Be^{-\sqrt{ax}} \text{ لذلك}$$

$$\Rightarrow R(x) = Be^{-\sqrt{\frac{iw}{\alpha}} x} \dots\dots\dots (II-31)$$

$$R(x) = Be^{-\sqrt{-iwx}} = B \left[ \exp - \sqrt{\frac{w}{\alpha}} e^{i\frac{\pi}{2}x} \right] \dots\dots\dots (II-32)$$

$$= B \left[ \exp - \sqrt{\frac{w}{\alpha}} e^{i\frac{\pi}{4}x} \right] \dots\dots\dots (II-33)$$

$$= B \left[ \exp - \sqrt{\frac{w}{\alpha}} \left( \cos \frac{\pi}{4} + i \sin \frac{\pi}{4} \right) x \right] \dots\dots\dots (II-34)$$

$$- B \left[ \exp = \sqrt{\frac{w}{\alpha}} \left( \frac{1}{\sqrt{2}} + i \frac{1}{\sqrt{2}} x \right) \right] \dots\dots\dots (II-35)$$

لذا

$$R(x) = B \left[ \exp - \sqrt{\frac{w}{2\alpha}} (1+i)x \right] \dots\dots\dots (II-36)$$

$$e^{iwt} \theta(x, t) = \theta \dots\dots\dots (II-37)$$

$$e^{-\sqrt{\frac{iw}{2\alpha}}(1+i)x}$$

إذا كانت  $x = 0$   $T = (0, t) \rightarrow \cos wt$ دعنا نوسع التعبير  $\theta(0, t)$ :

$$\begin{aligned}
(\theta, t) &= T_0 e^{-i\omega t} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}(1+i)x} \\
&= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x} (e^{i\omega t} e^{-i\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x}) \\
&= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x} e^{i\omega t} e^{i(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x)} \\
&= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x} (\cos(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x) + i \sin(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x)) \\
&= T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x} (\cos \omega t \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x + \sin \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x + i \sin \omega t \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x + i \cos \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x) \theta(x, t)
\end{aligned}$$

..... (II-38)

أو

$$\begin{aligned}
&((\cos \omega t + i \sin \omega t) (\cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x + i \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x) = e^{i\omega t} e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x} \\
&= \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x + \sin \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x + i \sin \omega t \cos \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x - i \cos \omega t \sin \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x \\
&e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x} \cos(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x) = T \theta(x, t)
\end{aligned}$$

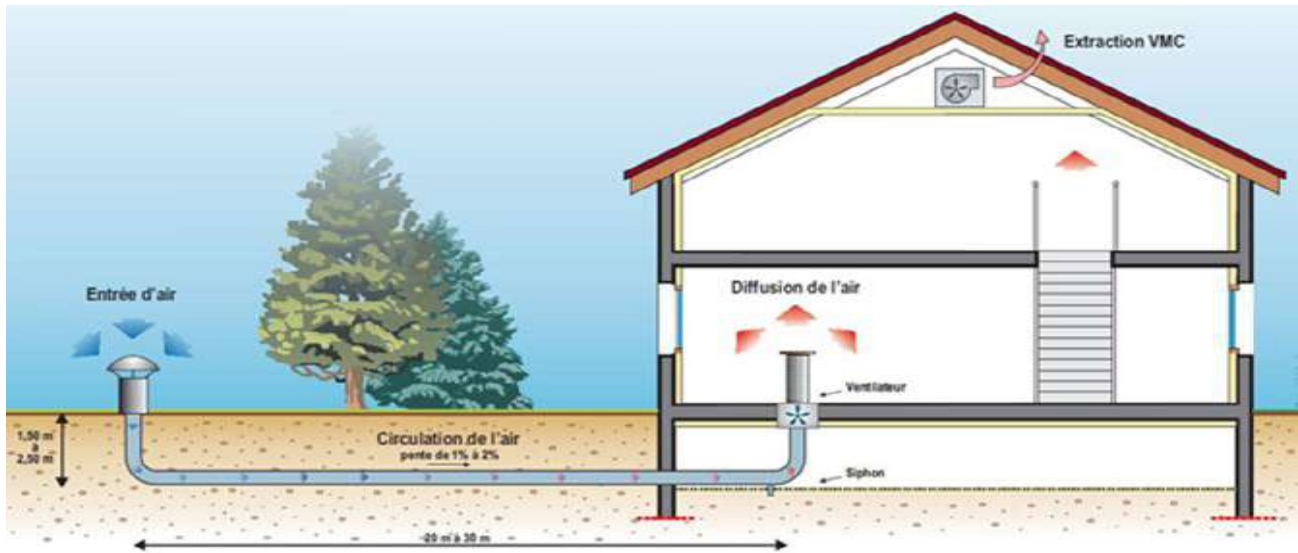
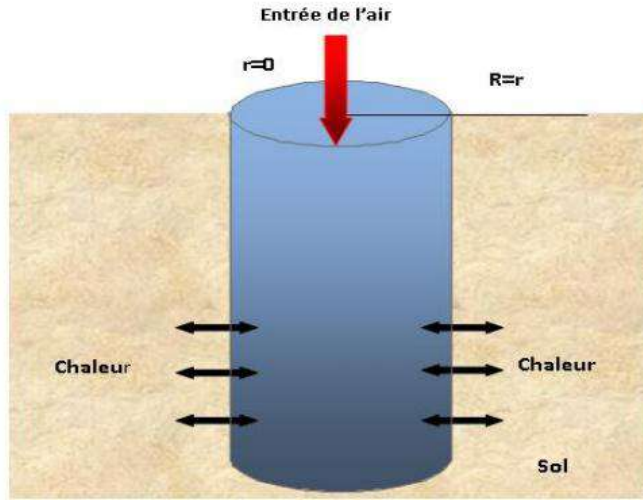
..... (II-39)

ثم أخيرًا سيكون للمعادلة الشكل:

$$T + T_i + T_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x} \cos(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}x) \dots \dots \dots (II-40)$$

بالحمل الحراري:

يُطلق على وضع نقل الحرارة الذي يحدث في وقت واحد مع نقل الكتلة اسم نقل الحرارة بالحمل الحراري .



الشكل 2-9: مبادل حراري بين الهواء والأرض

### 9-2- دراسة العملية الحرارية داخل الأنبوب:

يعتبر أن الموصلية الحرارية للتربة تساوي التوصيل الحراري لمادة مجرى الهواء

$$\lambda = \text{حالة الأرضية}$$

يصبح ميزان الحرارة :

$$\overline{\lambda grand T} - P div \vec{q} + \Phi) div = \rho \frac{DE}{Dt} \dots \dots \dots (II-41)$$

كما أشرنا سابقاً أن الهواء يعتبر مائعاً غير قابل للضغط لذلك:

$$0 = \text{div} \vec{q} \dots \dots \dots \text{(II-42)}$$

- حركة أحادية الاتجاه على المحور  $x \rightarrow$

$$\frac{d}{dx} \rightarrow 0, (v = w = 0) \dots \dots \dots \text{(II-43)}$$

افتراضات إضافية:

✚ الخصائص الفيزيائية للسوائل ثابتة  $\lambda, \mu,$

✚ نعطي الطاقة الداخلية بواسطة  $E = C v T + E_0$

✚ الظاهرة الحرارية دائمة

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

لذلك تتم كتابة معادلة توازن الحرارة على النحو التالي:

$$\rho C v u \frac{dT}{dx} = \lambda_f \left[ \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right] + \mu \left( \frac{du}{dr} \right)^2 \dots \dots \dots \text{(II-44)}$$

بشكل عام، كلا المصطلحين من التبديد اللزج  $\mu \left( \frac{du}{dr} \right)^2$  والتوصيل  $\lambda_f \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \rightarrow 0$  في ظل هذه الظروف، تتم كتابة المعادلة

$$\rho C v u \frac{dT}{dx} = \frac{\lambda_f}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots \text{(II-45)}$$

نلفت الانتباه إلى أننا اعتبرنا أن السائل قابل للضغط عند لزوجة ثابتة، ولا ننسى أن تدفق الهواء مصنوع في أنبوب دائري.

هذا يؤدي إلى أن النظام الديناميكي دائم.

معادلة الحركة:

هي معادلة رياضية معروفة في مجال تدفق السوائل تسمى معادلة stockes-Navier، الشكل العام لمعادلة الحركة على النحو التالي للتدفق ثلاثي الأبعاد:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \nu \cdot \nabla^2 U$$



$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} = v \cdot \nabla^2 U$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = v \cdot \nabla^2 U \dots\dots\dots (II-46)$$

بتطبيق الافتراضات المذكورة أعلاه، نحصل على:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial P}{\partial y} = 0 \\ P(x) = P \end{cases} \dots\dots\dots (II-47)$$

تتم كتابة معادلة الحفظ الشامل على النحو التالي:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \dots\dots\dots (II-48)$$

لذلك تصبح معادلة Stokes-Navier على محور الإحداثيات الديكارتية:

$$- \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + v \cdot \nabla^2 U = 0 \dots\dots\dots (II-49)$$

في الإحداثيات الأسطوانية ، تصبح المعادلة :

$$- \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\mu}{\rho} \nabla + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \left[ r \frac{\partial u}{\partial r} \right] \dots\dots\dots (II-50)$$

مع:

$$\mu \cdot \nabla^2 u = \frac{\partial P}{\partial x} \dots\dots\dots (II-51)$$

لتبسيط المعادلة ونعادلها بالثابت -  $\alpha$  :

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\mu}{\rho} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \left[ r \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial r} \right] = -\alpha \dots\dots\dots (II-52)$$

### شروط الحدود:

وفقاً لإجراءات تبسيط المعادلات أعلاه، يجب إجراؤها على أساس كل حالة على حدة مع احترام

شروط الحدود المنصوص عليها في الوضع المادي لمجال الدراسة:

### حالة التدفق على طول الجدران ثابتاً

باستخدام شروط الحدود المناسبة نحصل على حلولاً لمعادلة التفاضلية:

لدينا في الوقت  $t \geq 0$  ، عاد السائل إلى الأنبوب في الوقت  $t \geq 0$  مع  $T = 1$

$$r = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial r} = 0 \dots\dots\dots (II-53)$$

على سطح التلامس بين الهواء والأرض، تتم كتابة كثافة التدفق:

$$r = R \quad -q_0 = \lambda_{fluide} \frac{\partial T}{\partial r} \dots\dots\dots (II-54)$$

باستخدام تغيير المتغيرات:

$$\frac{x}{R} \frac{\gamma}{R Re Pr} = X \frac{T - T_i}{q_0 \left(\frac{R}{\lambda}\right)}, r' = \frac{r}{R} = r^* \dots\dots\dots (II-55)$$

و:

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu}, \gamma = \frac{C_p \mu C_p}{C_v \lambda_f} = Pr \dots\dots\dots (II-56)$$

✓ رقم بدون أبعاد ، يميز السلوك الحراري للسائل. إنها النسبة بين انتشار الزخم وانتشاره الحراري. (Pr)

✓ رقم رينولدز : يميز ويسمح بتحديد نظام التدفق (رقائقي أو مضطرب أو عابر). يمثل النسبة بين قوى القصور الذاتي والقوى اللزجة

يبسط على النحو التالي

$$(1 - r^{*2}) \cdot \frac{dT}{dx^*} = \frac{1}{r^*} \frac{\partial}{\partial r^*} \left( r^* \frac{dT}{dr^*} \right) \dots\dots\dots (II-57)$$

إذن الشروط الحدودية المتعلقة بالمشكلة هي

$$\frac{dT}{dr^*} = 0 \quad , \quad r^* = 1$$

$$T^* = 0 \quad , \quad x^* = 0$$

$$\frac{dT}{dr^*} = 0 \quad , \quad r^* = 0$$

. حالة تغير درجة الحرارة عند الجدار

بعد تطوير معادلة توازن الحرارة، يتم التعبير عن ذلك

$$\rho C_v U \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda_f \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\partial y}{\partial x} \dots \dots \dots \text{(II-58)}$$

لذلك تأخذ المعادلة الشكل التالي:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{a}{u} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \dots \dots \dots \text{(II-59)}$$

المعادلة مكتوبة بالإحداثيات الديكارتية على النحو التالي:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{a}{u} \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \dots \dots \dots \text{(II-60)}$$

# الفصل الثالث

المحاكاة العددية

## 3-1- مقدمة

المبادل الحراري تحت الأرضي أو المبادل الحراري المقترن بجوف الأرض يمكنه التقاط الحرارة من الأرض و/ أو إعطاء الحرارة للأرض. يستخدم المبادل درجة حرارة الأرض الجوفية شبه الثابتة لتدفئة أو تبريد الهواء أو موائع أخرى للاستخدامات السكنية أو الزراعية أو الصناعية. إذا ضُخَّ الهواء عبر المبادل الحراري للتهوية بالاسترجاع الحراري يدعى المبادل أنابيب أرضية (يصطلح أيضًا على تسميتها أنابيب التبريد الأرضية، أو أنابيب التدفئة الأرضية، أو المبادلات الحرارية الهوائية-الأرضية، أو المبادلات الحرارية هواء-تربة، أو القنوات الأرضية، أو أنظمة الأنفاق الهوائية-الأرضية، أو أنابيب التبادل الحراري الأرضية، أو الهيبوكاوستوم، أو المبادلات الحرارية تحت التربة، أو المتاهات الحرارية، أو أنابيب الهواء تحت الأرضية، وأسماء أخرى). [13]

غالبًا ما تكون الأنابيب الأرضية بديلًا حيويًا واقتصاديًا لأنظمة التدفئة أو تكييف الهواء المركزية التقليدية أو تكون مكملًا لها؛ وذلك بسبب عدم وجود ضواغط أو مواد كيميائية أو حراقات، والاكتفاء بوجود أجهزة نفخ لتحريك الهواء. تُستخدم هذه إما للتبريد (و/ أو التسخين) الجزئي أو الكلي لهواء تهوية المنشأة. يمكن لاستخدامها أن يساعد في تحقيق الأبنية لمعايير المنزل السلبي أو لنيل شهادة الريادة في تصميمات الطاقة والبيئة.

استُخدمت المبادلات الحرارية الأرضية-الهوائية في المنشآت الزراعية (مباني الحيوانات) والمنشآت البستانية (بيوت الدفيئة) في الولايات المتحدة الأمريكية على امتداد عدة عقود ماضية واستخدمت إلى جوار المدافئ الشمسية في المناطق الساخنة الجرداء لآلاف السنين، ربما بدءًا من الإمبراطورية الفارسية. أصبح تطبيق هذه الأنظمة في الهند كما في الأماكن ذات المناخات الأبرد كالدنمارك والنمسا وألمانيا لتسخين الهواء لأنظمة تهوية المنازل شائعًا إلى حد ما منذ منتصف تسعينيات القرن العشرين، ويجري تبنيه ببطء في أمريكا الشمالية.

يمكن أيضًا للمبادل الحراري المقترن بالأرض أن يستخدم الماء أو مانع التجمد كمانع ناقل للحرارة، غالبًا إلى جوار مضخة جيوحرارية

ولهذا فإن من مبدأ تشغيل مبادل الهواء الأرضي المدفون والعناصر المكونة له، فقد أصبح من الممكن تسليط الضوء على العديد من العوامل التي تتدخل بشكل مباشر أو غير مباشر في أداء مثل هذا النظام لتبريد الهواء في قطاع البناء. المعلمات الرئيسية المشاركة في المبادل (الهواء المدفون / الأرض)

< المعلمات الحرارية الفيزيائية للأرض (التوصيل الحراري، السعة الحرارية والكثافة).

< المعلمات الهندسية للمبادل (سمك وقطر أنبوب المبادل والطول الكلي للمبادل المدفون).

< المعلمات الحرارية الفيزيائية للمواد المستخدمة في بناء المبادلات (الهواء / الأرض) المدفونة (التوصيل الحراري)، نظام التدفق

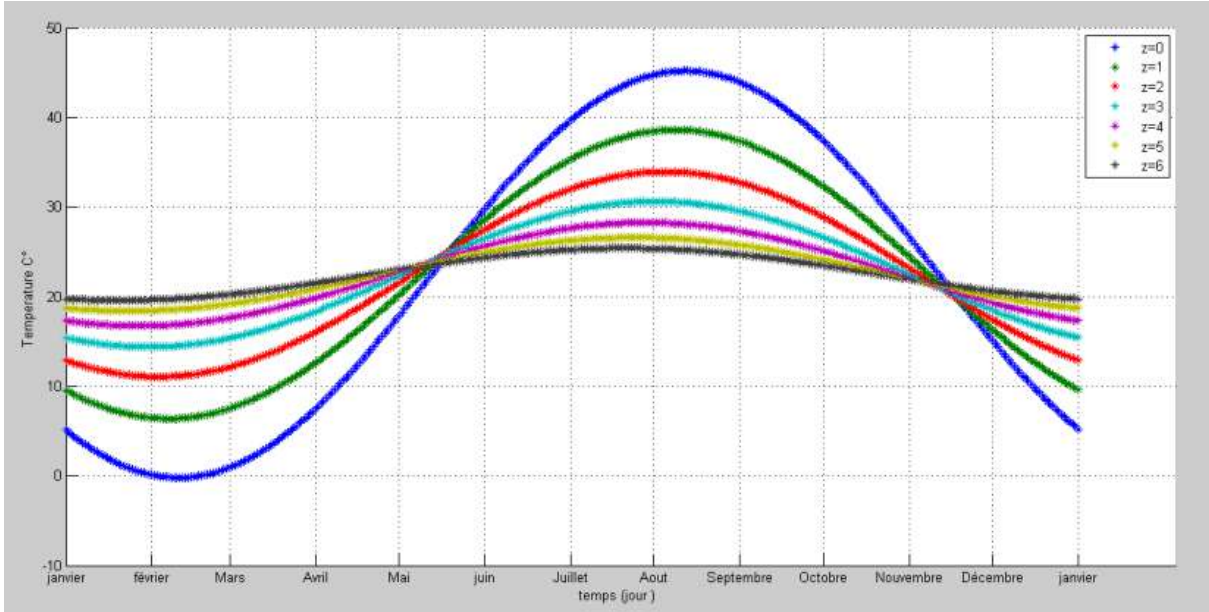
الصفائحي أو المضطرب؟ وإلا فإن الأمر يتعلق بالتحكم في تدفق كتلة الهواء المحقون في المبادل

وفقاً للدراسة والتركيب الببليوغرافي الذي بدأ في الفصل الأول تمكنا من انجاز النموذج الرياضي وكذلك العمل على برنامج Ansys الذي تمكنا من خلاله إلى معرفة القطر الأنسب للمبادل الحراري

### 3-2- تأثير طبيعة ونوع التربة:

تتميز التربة بثلاث عوامل رئيسية تؤثر بشكل مباشر على السلوك الحراري لمبادل المدفون الهواء / التربة، وبشكل أساسي تطور درجة حرارة الهواء المحقون، وهي التوصيل الحراري والكثافة والقدرة الحرارية. في هذه المحاكاة ودراسة التحجيم، أخذنا في الاعتبار ثلاثة أنواع من التربة التي استجابت أكثر في الجزائر، مما جعل من الممكن متابعة تغير درجة حرارة التربة كدالة زمنية (365 يوماً) الشكل (3-3)

(1) (2-3) (3-3) على التوالي لقيم 07 عمق 1، 0، 2، 3، 4، 5، 6 و 7 أمتار.



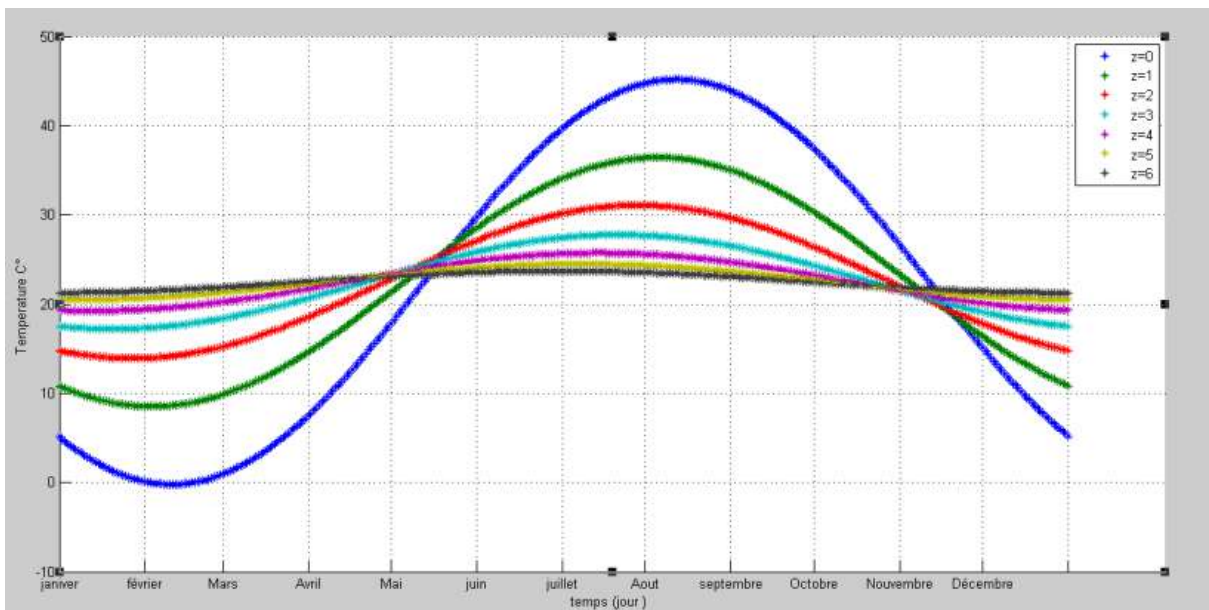
الشكل 3-1: تطور درجة حرارة الأرض النظرية كدالة [14]

الوقت والعمق ض في حالة التربة الطينية

$$(\rho=1800 \text{ kg/m}^3, \lambda=1.5 \text{ W/m.K}, C_p=1340 \text{ J/kg.K})$$

2. تربة جسيية

$$(\rho=2400 \text{ kg/m}^3, \lambda=0.51 \text{ W/m.K}, C_p=1090 \text{ J/kg.K})$$

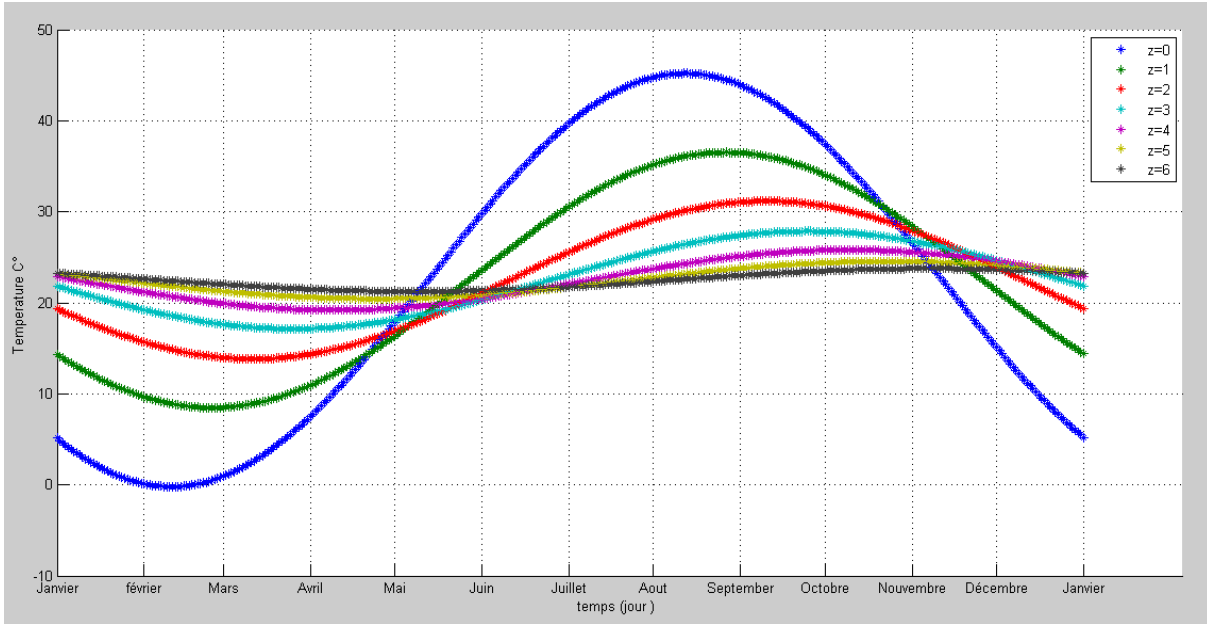


الشكل 3-2: تطور درجة حرارة التربة النظرية كدالة للوقت والعمق ض في حالة التربة الجبسية

$$(\rho=2400 \text{ kg/m}^3 \cdot \lambda=0.51 \text{ W/m.K} \quad C_p=1090 \text{ J/kg.K}) \quad [14]$$

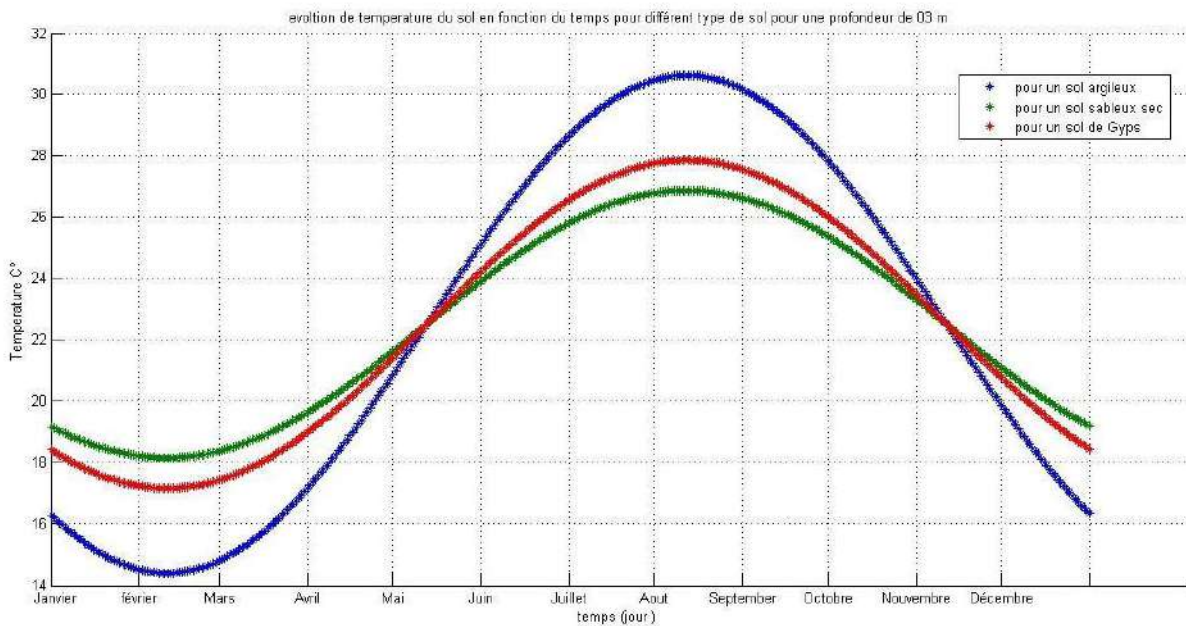
3. التربة الرملية الجافة

$$(\rho=1650 \text{ kg/m}^3, \lambda=0.27 \text{ W/m.K}, C_p=805 \text{ J/kg.K}).$$



الشكل 3-3: تطور درجة حرارة التربة النظرية كدالة للوقت والعمق ض في حالة التربة الرملية

$$[14] \quad (\rho=1650 \text{ kg/m}^3, \lambda=0.27 \text{ W/m.K}, C_p=805 \text{ J/kg.K})$$





**الشكل 3-4:** تطور درجة حرارة التربة كدالة زمنية لثلاثة أنواع من التربة لعمق 03 م المقارنة بين تطور درجة الحرارة كدالة زمنية

لثلاثة [14]

أنواع مختلفة من التربة الشكل 18 على عمق 03 متر على التوالي طين مع انتشار حراري  $\alpha = 6.33.10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$  ، الجبس  $\alpha = 0.203.10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$  والرمل  $\alpha = 0$  ،  $2.10^{-7}$  متر مربع / ثانية ، يمكن ملاحظة أن الرمال مقارنة بسطح الأرض تظهر تغيراً أقصى في درجة الحرارة في فترة الشتاء ، ومن ناحية أخرى ، يصبح هذا التحول في الطور ضعيفاً في فترة الصيف وهو ما يمكن تبريره من خلال انتشاره الحراري منخفض.

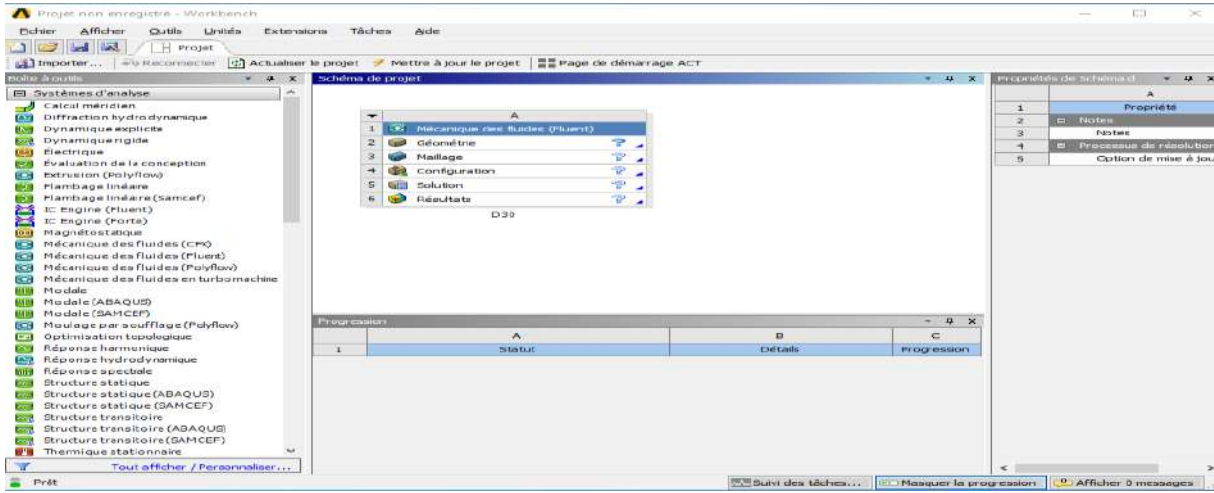
### 3-3 - المحاكاة بالبرنامج ansys

تُعرف المحاكاة العددية في ميكانيكا الموائع (CFD ؛ ديناميكيات الموائع الحسابية) اليوم كأحد أدوات التصميم الأساسية وتستخدم على نطاق واسع في الصناعة. يعتمد اختيار استخدام مثل هذه الطريقة العددية بشكل أساسي على نوع وتعقيد المشكلة المراد حلها: طبيعة السائل ، والسلوك الديناميكي الحراري ، ونمذجة البيئة ، والمشكلة الثابتة أو غير المستقرة ، يعمل برنامج ديناميكيات الموائع الحسابي على تسريع تطوير المنتجات ، وهو بديهي ولكنه قوي للغاية. تمنحك منتجات Ansys CFD الفرصة لاتخاذ خطوات لا تصدق من خلال الابتكار حيث تزداد الضغوط لتحسين المنتجات وتقلص هوامش الخطأ بسرعة. تتكون من أكثر الحلول دقة وموثوقية في الصناعة ، وسوف تثق في نتائجك

#### الإنشاء الهندسي

الخطوة 01 في طاولة العمل

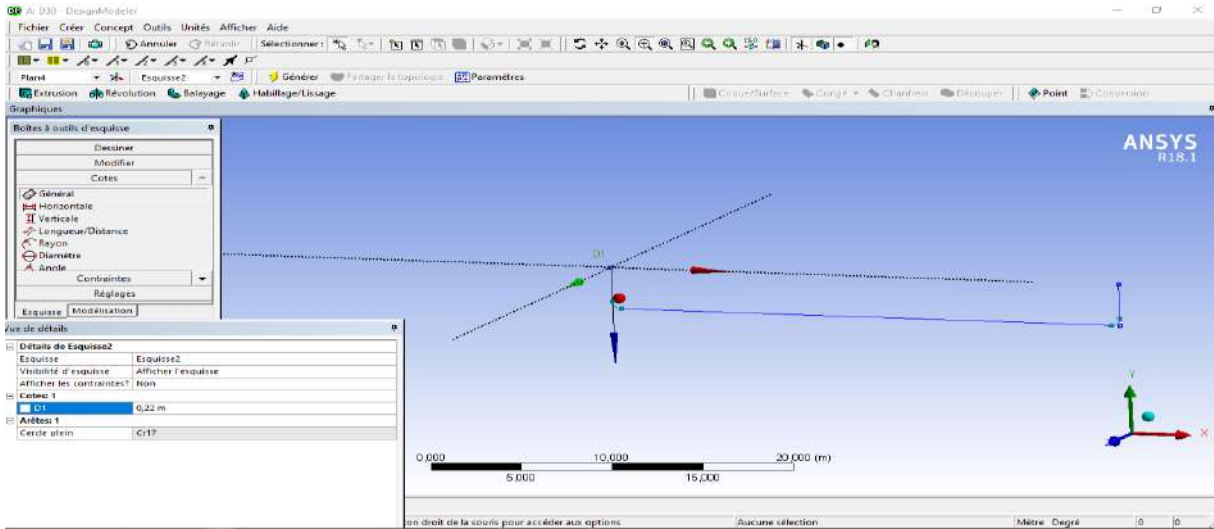
افتتاحية Ansysworkbench الميكانيكا المختارة للسوائل (بطلاقة)



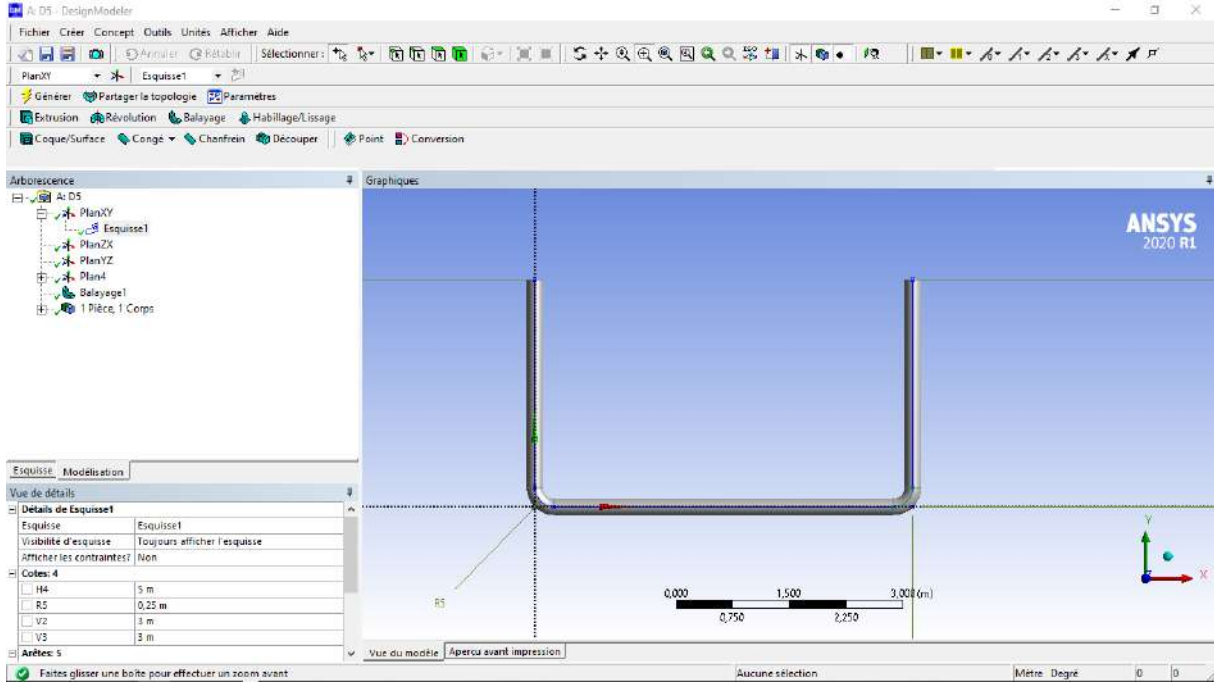
الشكل 3-5: صفحة المشروع في طاولة العمل

الخطوة 02 في نمذجة التصميم

يحدد شكل المساح في طائرتين وفي D1



الشكل 3-6: شكل المساح على مستويين وأحادي الأبعاد



**الشكل 7-3:** الشكل النهائي للمساح بشكل ثلاثي الأبعاد

الخطوة 03 ربط الهندسة تحت التشبيك

انقر فوق Mesh وحدد معلمة Mesh

شبكة منظمة (كوادرا / سداسي): من الأسهل بكثير إنشاؤها باستخدام هندسة متعددة الكتل

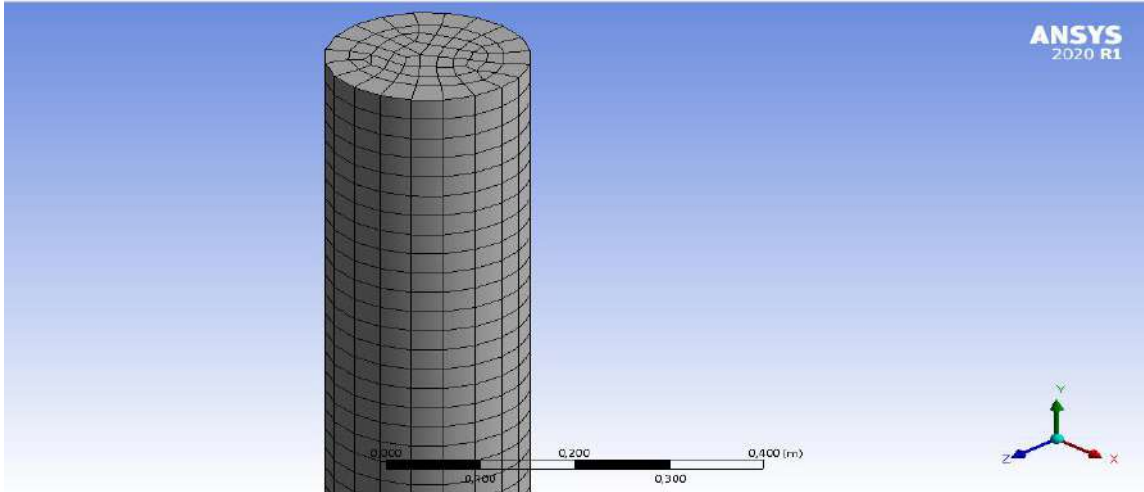
حدد شرط الحدود

اضغط **Sélections nommées** وحدد وجوه شرط الحدود

**تحسين الشبكة**

نريد إجراء تجارب لتحديد دقة النتائج النهائية وسرعة الحساب بين الأنواع الثلاثة للشبكات

IV.2.2.1 النوع الأول من الشبكات يقسم العناصر إلى شكل عشوائي عريض

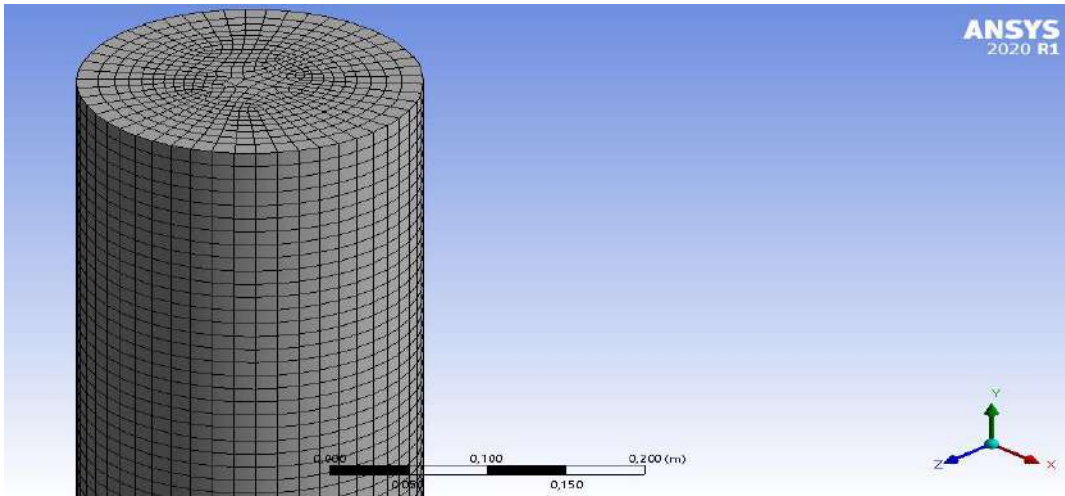


الشكل 3-8: النوع الأول من الشبكة

### النوع الثاني

نختار تقسيمًا منتظمًا للعناصر بشكل أصغر مع زيادة التقسيم الداخلي والخارجي على مستوى هندسة الشكل ، وهذه الشبكة شائعة في مجال دراسة شبكة نقل الحرارة وهي شائعة في المجال لدراسة انتقال الحرارة.

شبكة منظمة (كوادرا / سداسي): من الأسهل بكثير إنشاؤها باستخدام هندسة متعددة الكتل

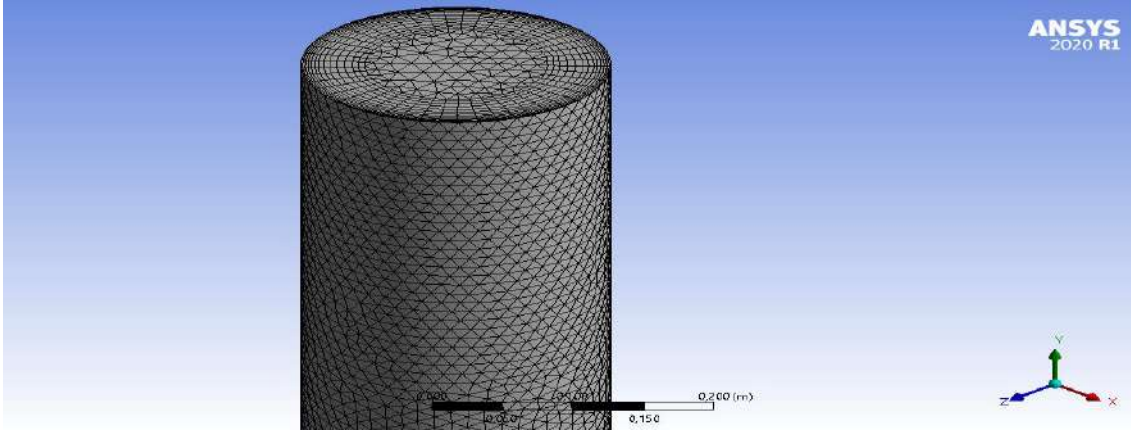


الشكل 3-9: النوع الثاني من الشبكات

### النوع الثالث

نأخذ العناصر على شكل مثلثات غير متساوية، بينما الأجزاء الداخلية بأشكال غير منتظمة

شبكة غير منظمة (ثلاثي / رباعي): يتم إنشاء عناصر هذا النوع من الشبكات بشكل تعسفي دون أي قيود على ترتيبها



الشكل 3-10: النوع الثالث من الشبكات

### اختبار الشبكة

بعد الانتهاء من اختبارات الدقة، يتضح أن النوع الثاني من الشبكة

يكاد يكون الأكثر دقة في النتائج والأسرع في أداء العمليات الحسابية

لذلك اخترنا النوع الثاني من الشبكات في دراستنا

الخلايا	وجوه	العقد	الطول = 20 م
936144	2844420	973926	

الجدول رقم 2: حجم الشبكة

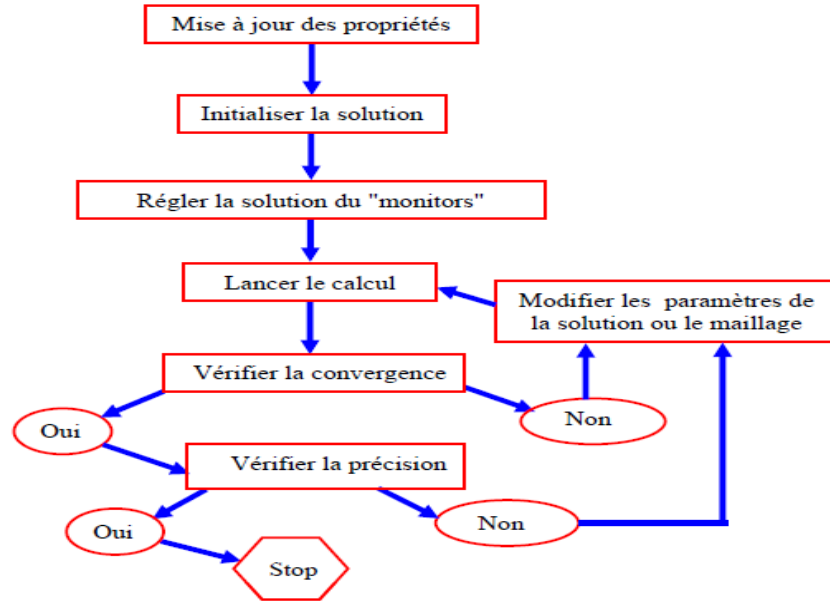
### إعداد المشكلة تحت fluent

يعد fluent أحد الحلول المستخدمة على نطاق واسع في الصناعة في جميع أنحاء العالم. Fluent

هو رمز كمبيوتر يعتمد على طريقة الحجم المحدود والذي يجعل من الممكن محاكاة تدفق السوائل القابلة

للانضغاط أو غير القابلة للضغط أو الثابتة أو المؤقتة التي تتضمن ظواهر فيزيائية مختلفة مثل نقل

الحرارة والاضطراب والتدفقات في الآلات الدوارة والمحركات الحرارية في الأشكال الهندسية المعقدة



مخطط الحساب

### فحص حجم الشبكة

يعتمد عدد الخلايا اللازمة لحل مشكلة على الدقة المتوقعة. من أجل اختيار شبكة مثالية للحصول على نتائج مقبولة، من الضروري إيجاد حل وسط بين عدد الشبكات ووقت الحساب الذي يزيد بشكل كبير مع تنقيح تقدير المجال.

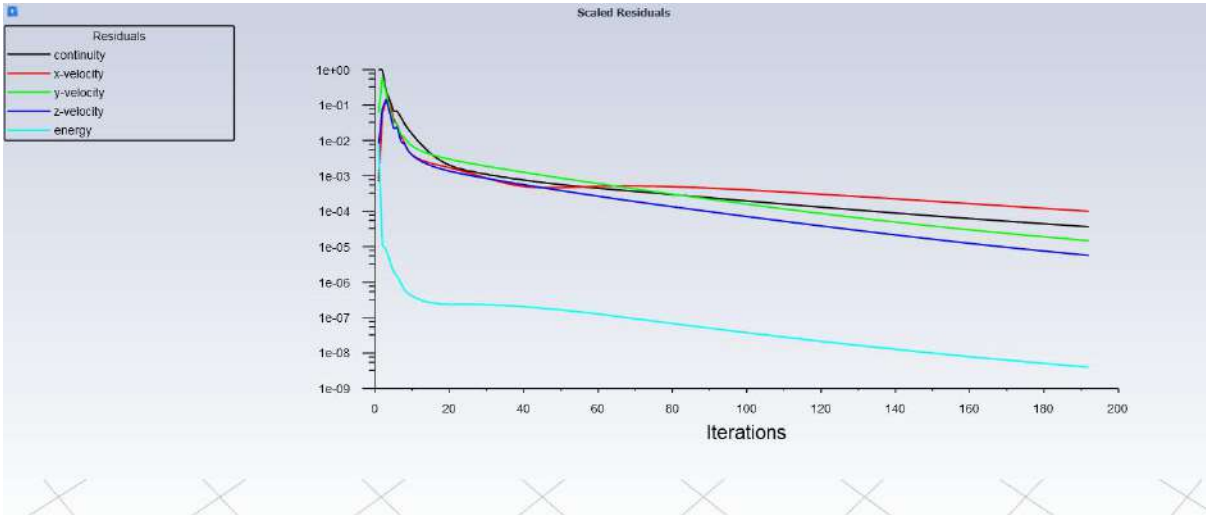
نقسم مجالنا إلى جزأين طوليين، لأنه كبير جدًا بالنسبة لسعة الحوسبة القابلة للتنفيذ على (PC)،

لذلك نأخذ الحالة النهائية.

### فحص التقارب

لضمان تقارب الحلول، نقدم منحنيات من المعادلات المختلفة للتدفق في المبادل. بعد 0200 تكرارًا،

يصل برنامج Fluent إلى نقطة التقارب في العتبة بطول 20 مترًا و  $Re = 1000$ .



**الشكل 3-11:** تطور البقايا حسب عدد التكرارات  $L = 20m$   $Re = 1000$

يحدد الجدول أدناه عدد التكرارات لكل طول ولكل رقم رينولدز

1000	قيمة Re
200	قطر 200مم

الجدول رقم 3 : فحص نتيجة التقارب الجدول

### النتائج والتحليل

في هذا الجزء، سوف نقدم ونناقش نتائج انتقال الحرارة بالحمل القسري في قناة أسطوانية تحت الأرض على شكل حرف U، وتتغير درجة حرارة الأرض بطريقة خطية؛ على مستوى الأرض،  $T = 293K$  و  $20^\circ C$ . بعد ذلك سوف نقدم لك أقطار مختلفة من القنوات الأفقية 150 مم و 200 مم و 250 مم بطول ثابت 20 م رينولدز  $Re = 1000$  عند درجة الحرارة المحيطة  $T = 318 K$ .

محاكاة النموذج ثلاثي الأبعاد برمز سلس.

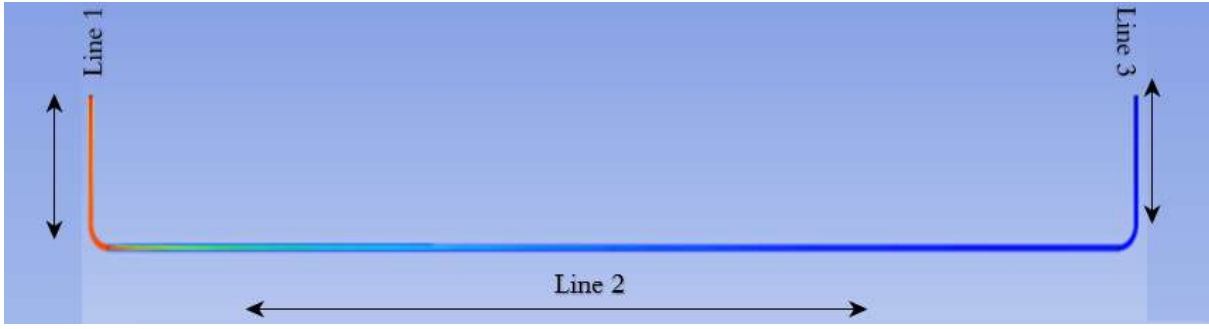
نقدم نتائج المحاكاة العددية التي تم الحصول عليها بواسطة FLUENT، مع مراعاة الخصائص الفيزيائية الحرارية للهواء:

$$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3 \text{ الكثافة}$$

$$C_p = 1006.43 \text{ J/kg. K} \text{ السعة الحرارية}$$

$$\lambda = 0.0242 \text{ W/m. K} \text{ الموصلية الحرارية}$$

اللزوجة الديناميكية:  $\mu = 1.7894001 \cdot 10^{-05} \text{ kg/m. s}$



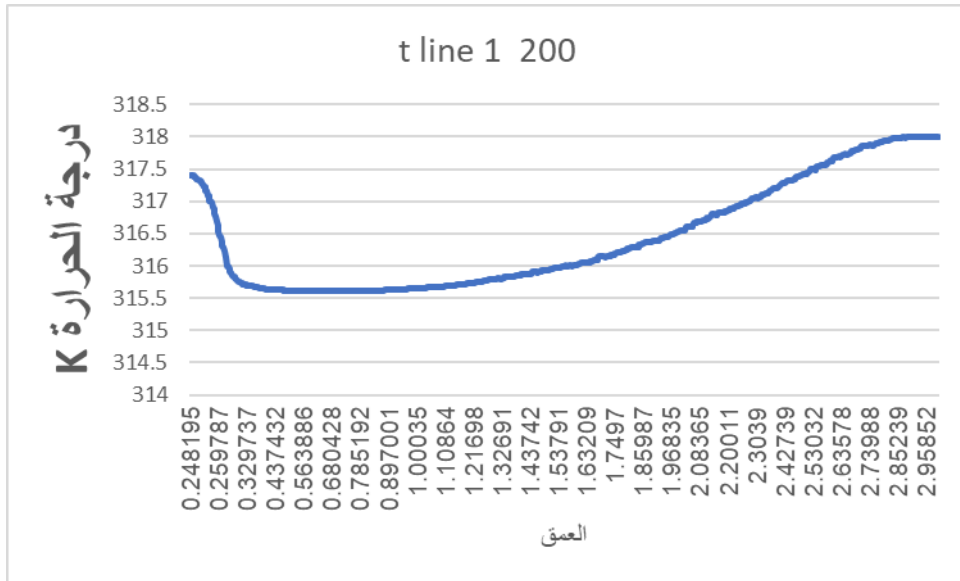
الشكل 3-12: رسم توضيحي لآلية دراسة القطر

محيط درجة الحرارة

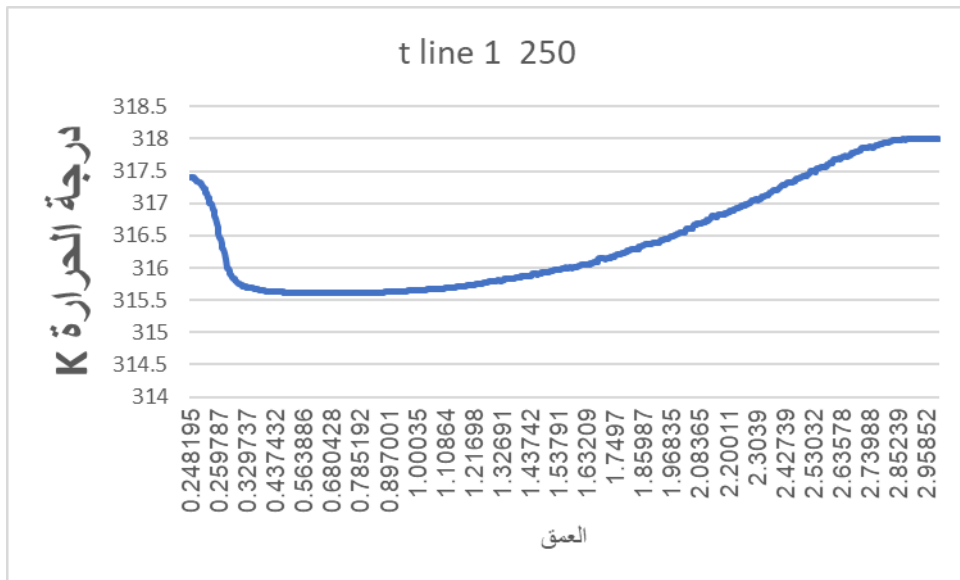


الشكل 3-13: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $L 20m$   $D 150$  و  $Re 1000$





الشكل 14-3: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $Re = 1000$  و  $L = 20m$  و  $D = 200$



الشكل 15-3: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $Re = 1000$  و  $L = 20m$  و  $D = 250$

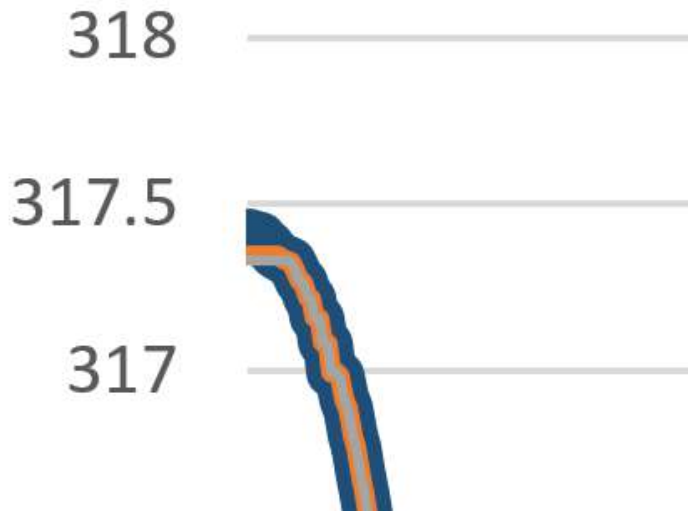
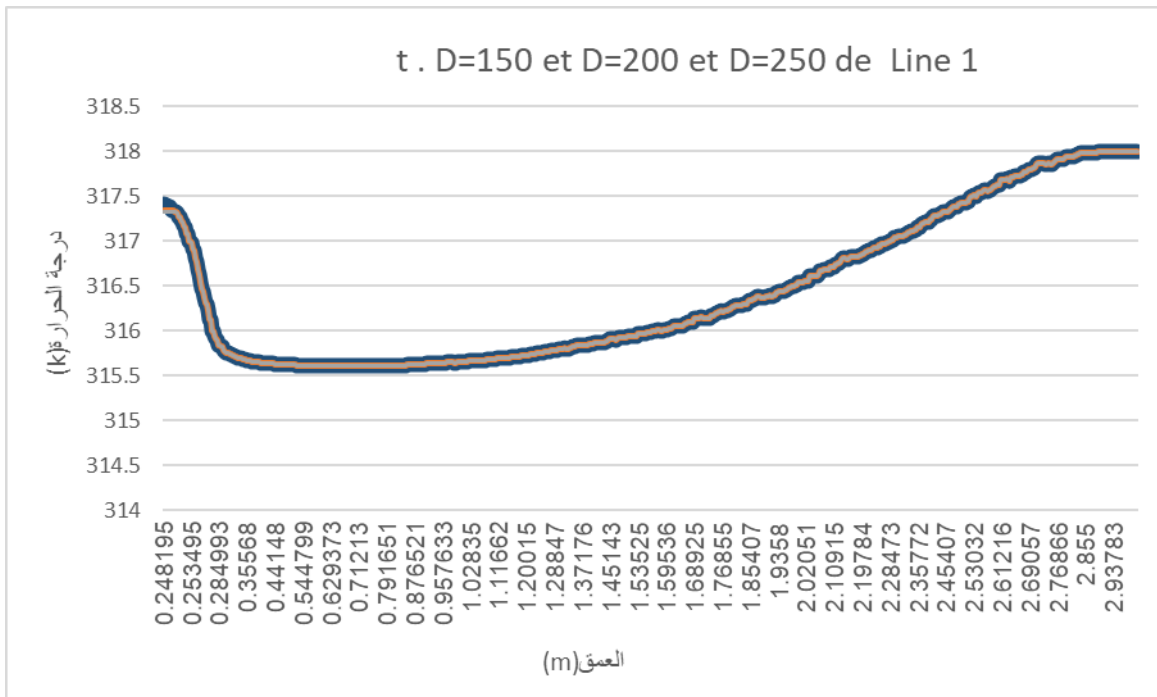
نسجل تغيرات في درجة حرارة الهواء بدلالة الأقطار  $D=250\text{mm}$   $D=150\text{ mm}$

عند  $D=200\text{mm}$   $Re=1000$  و عمق  $P$  حيث نلاحظ انخفاض بطيء في درجة الحرارة من القيمة

الأولية 318 كلفن حتى تصل الى حوالي 315.605 كلفن عند كل الأقطار عند عمق  $P=0.666553$ ,

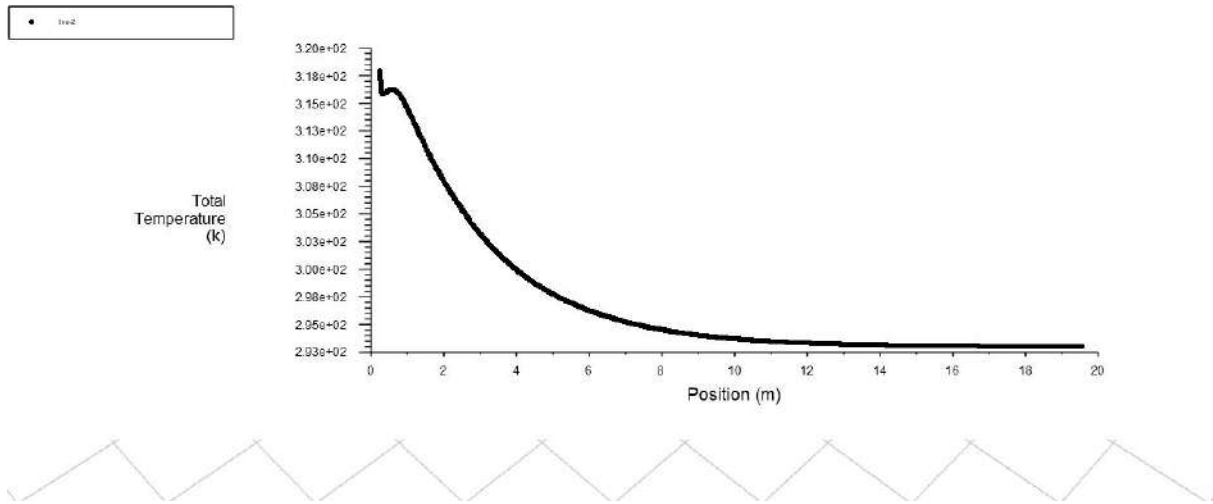
و هذا راجع الى توزع الحرارة و انتشارها على مستوى السطح الداخلي للأنبوب , ثم نلاحظ ثبات درجة الحرارة من عمق  $P=0.666553$  الى  $P=0.712207$ , و هذا يرجع الى تساوي درجة حرارة التربة مع

درجة حرارة الهواء , ثم نلاحظ زيادة في درجة حرارة الهواء حتى تصل الى قيمة اقل من القيمة الأولية و ذلك عند ادنى عمق ( دوران الانبوب), و هذا بسبب انكسار و احتكاك جزيئات الهواء بالأنبوب.

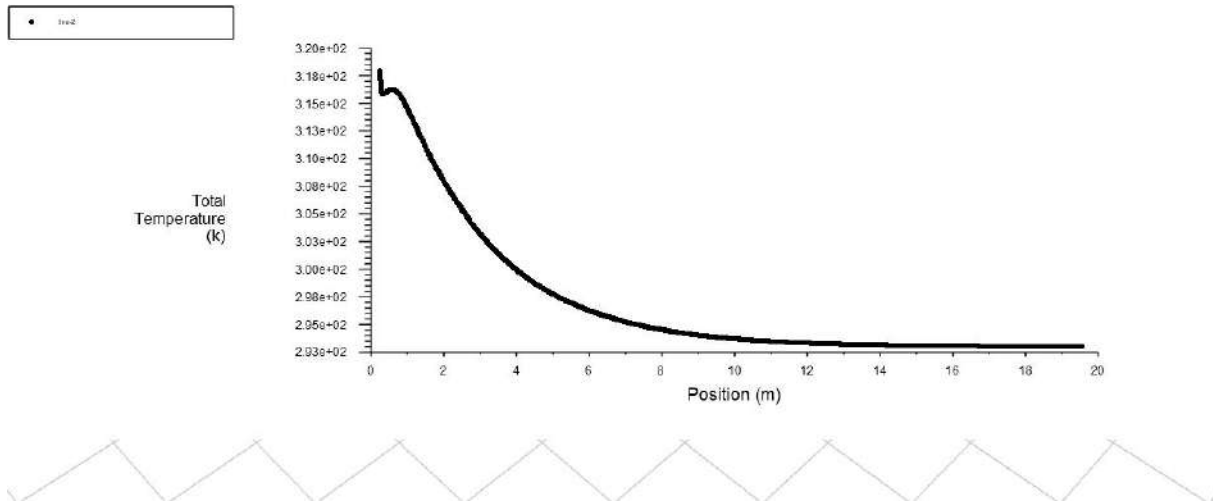


الشكل 3-16: ملامح درجة حرارة الهواء ل  $D=250$   $D=200$   $D=150$  و  $Re=1000$   $L=20\text{m}$

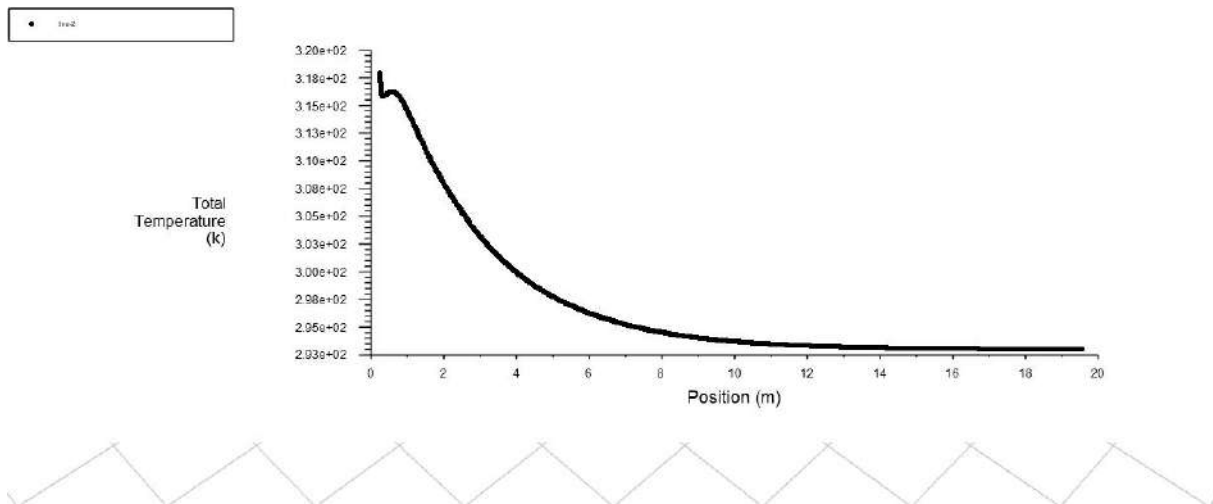
نسجل تغيرات في درجة حرارة الهواء بدلالة الأقطار  $D=250\text{mm}$  و  $D=150\text{mm}$  عند  $Re=1000$  و عمق  $P$  حيث نلاحظ انخفاض بطيئ في درجة الحرارة من القيمة الأولية 318 كلفن حتى تصل الى حوالي 315.605 كلفن عند كل الأقطار عند عمق  $P=0.666553$ , و هذا راجع الى توزع الحرارة و انتشارها على مستوى السطح الداخلي للانبوب, ثم نلاحظ ثبات درجة الحرارة من عمق  $P=0.666553$  الى  $P=0.712207$ , و هذا يرجع الى تساوي درجة حرارة التربة مع درجة حرارة الهواء, ثم نلاحظ زيادة في درجة حرارة الهواء حتى تصل الى قيمة اقل من القيمة الأولية و ذلك عند قبل ادنى عمق ( دوران الانبوب), بالنسبة ل  $D=150\text{mm}$  تصل الى 317.41 كلفن و  $D=200\text{mm}$  تصل الى 317.337 و بالنسبة ل  $D=250\text{mm}$  فقيمة 317.331 كلفن, و هذا بسبب انكسار و احتكاك جزيئات الهواء بالانبوب.



الشكل 3-17: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $D=150\text{mm}$  و  $L=20\text{m}$  و  $Re=1000$



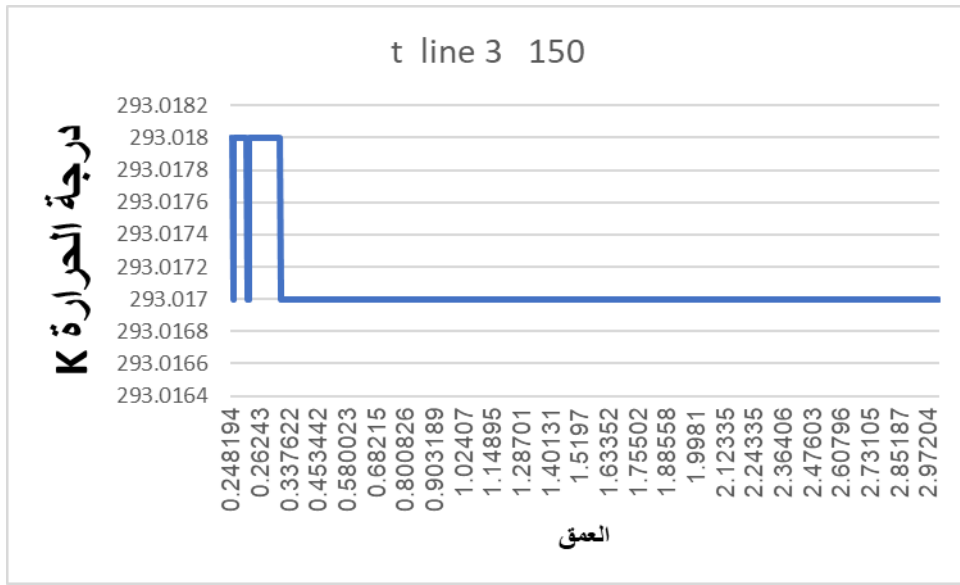
الشكل 3-18: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $Re = 1000$  و  $L = 20m$   $D = 200$



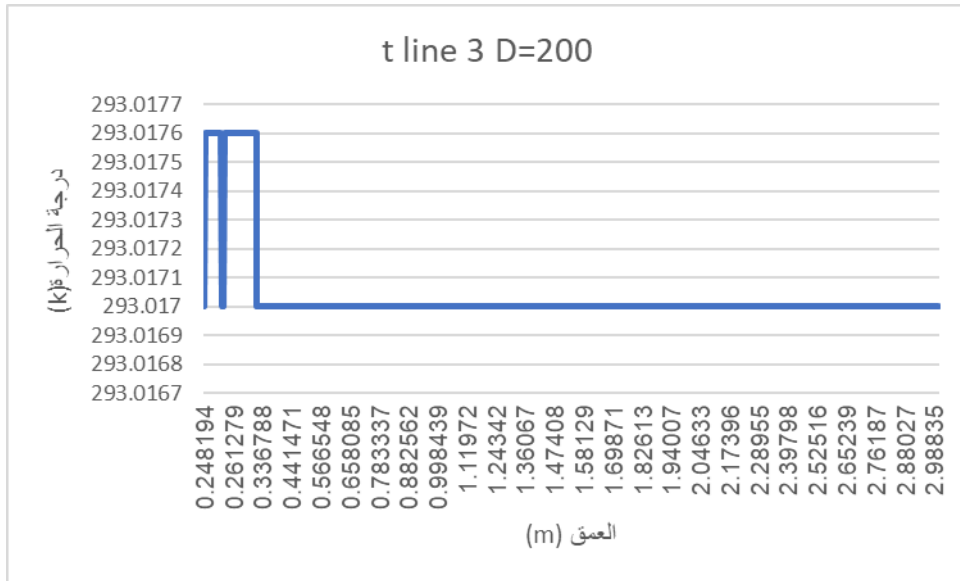
الشكل 3-19: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $Re = 1000$  و  $L = 20m$   $D = 250$

يمثل المنحنى تسجيل لتغيرات في درجة حرارة الهواء فيما يتعلق بالقطر  $D=150cm$ ,  
 $D=250cm$   $D=200cm$  عند طول  $L=20m$  وفي  $Re=1000$  وفي نهاية القناة العمودية نلاحظ انخفاض  
 درجة حرارة الهواء و انعطاف عند درجة حوالي 315 كلفن بالنسبة لـ  $D=150cm$  و اما نلاحظ عند  
 $D=200cm$  نسجل قيمة انعطافها حوالي 314.013 كلفن , و نلاحظ تسجيل انعطاف درجة حرارة  
 الهواء بقيمة حوالي 312 كلفن بالنسبة للقطر  $D=250cm$  , وهذا بسبب تذبذب و اصطدام جزيئات الى

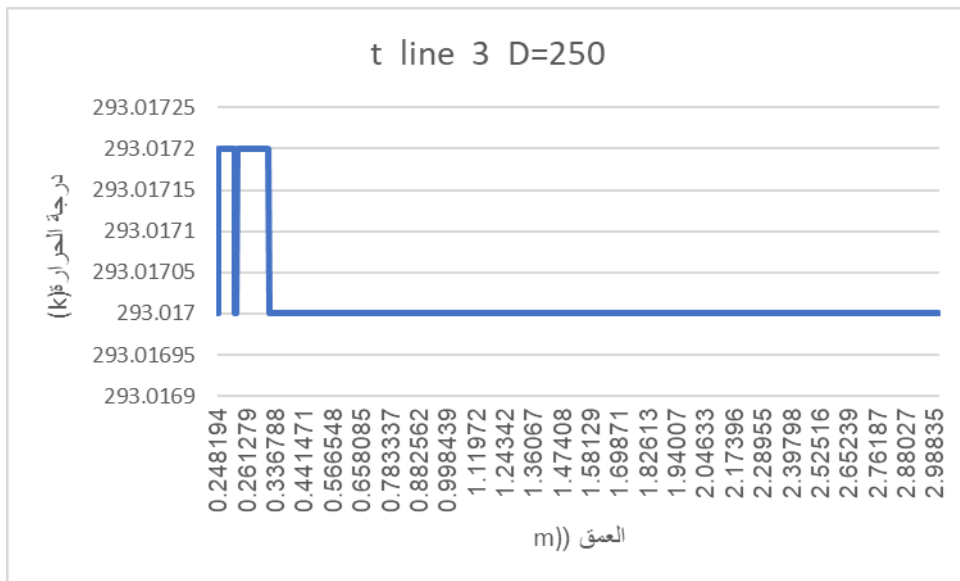
غاية استقرارها على المسار الثابت . ثم نلاحظ انخفاض في درجة الحرارة الى ان تصل 293 كلفن، هذا الانخفاض بسبب انتقال حرارة الهواء الى الأرض بعد مرور الهواء في القناة، ثم نسجل ثبات في درجة الحرارة ابتداء من طول 12 متر الى غاية نهاية الانبوب، وهذا بسبب تساوي درجة حرارة كل من الأرض والهواء.



الشكل 3-20: ملامح درجة حرارة الهواء لـ L 20m D 150 و Re 1000



الشكل 3-21: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $Re = 1000$  و  $L = 20m$   $D = 200$



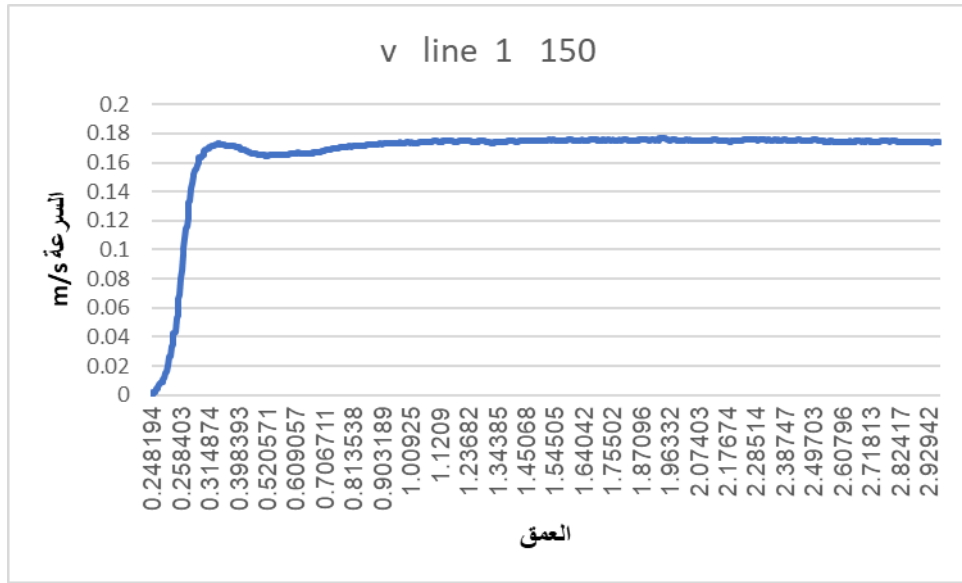
الشكل 3-22: ملامح درجة حرارة الهواء لـ  $Re = 1000$  و  $L = 20m$   $D = 250$

يمثل المنحنى تسجيل لتغيرات في درجة حرارة الهواء فيما يتعلق للأقطار  $D=150cm$ ,

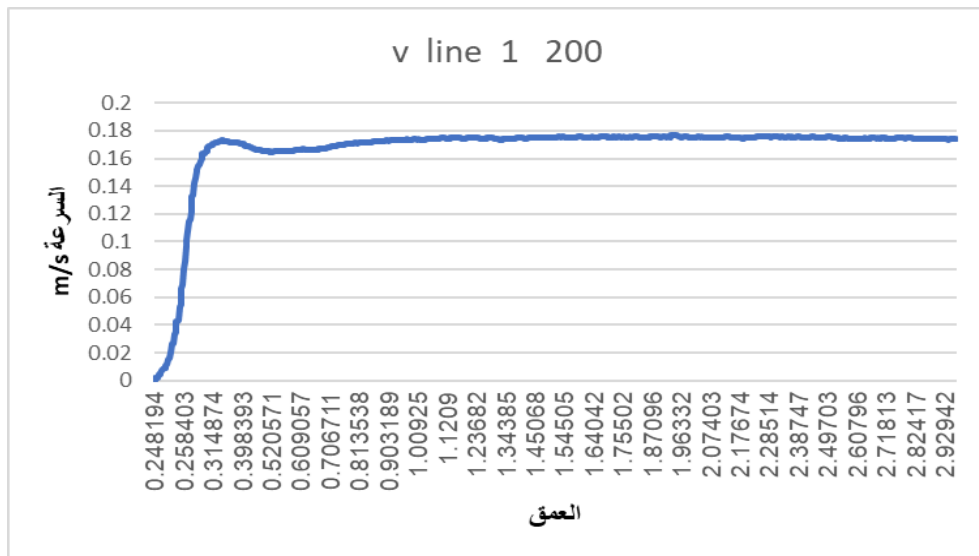
$D=200cm$   $D=250cm$  عند عمق  $P = 3m$  وفي  $Re=1000$ . حيث نلاحظ تذبذب طفيف في درجة

الحرارة بين قمتي العمقين  $P=0.248194$  و  $P=0.324286$ . نسجل بالنسبة  $D=150mm$  تذبذب تصل

ذروتها الى 293.018 كلفن، اما بالنسبة  $D=200$  فنلاحظ تسجيل قيمة ذروتها 293.0176، كما نلاحظ تسجيل لدرجة حرارة بقيمة 293.0172 كلفن للقطر  $D=250\text{mm}$ ، وهذا بسبب انكسار واحتكاك جزيئات الهواء بالأنبوب (عند دوران الأنبوب)، ثم نلاحظ استقرار درجة الحرارة عند 293.017 كلفن، وذلك بسبب تماثل بين درجتي الحرارة الهواء والأرض.

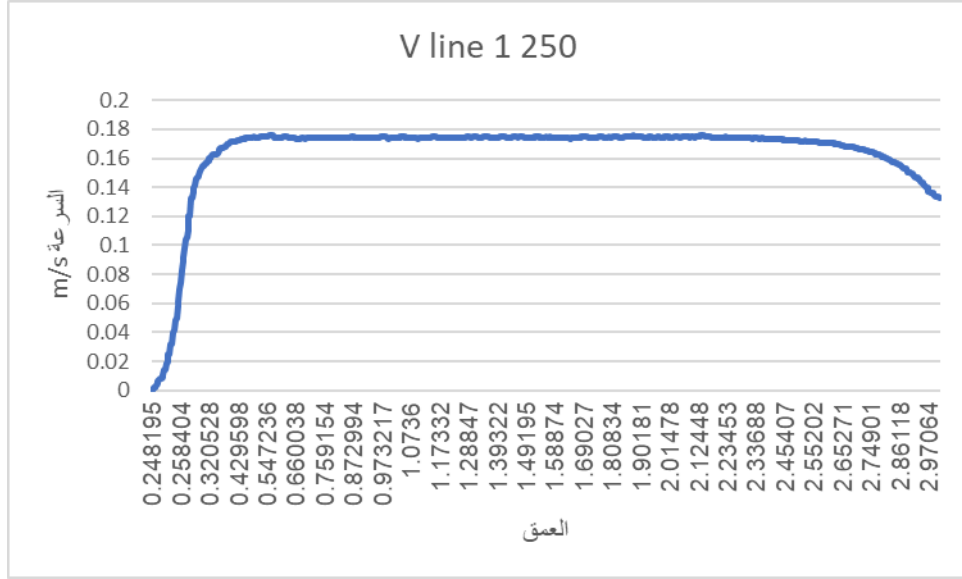


الشكل 23-3: ملامح سرعة الهواء لـ  $D=150$  و  $L=20\text{m}$  و  $Re=1000$



الشكل 24-3: ملامح سرعة الهواء لـ  $D=200$  و  $L=20\text{m}$  و  $Re=1000$

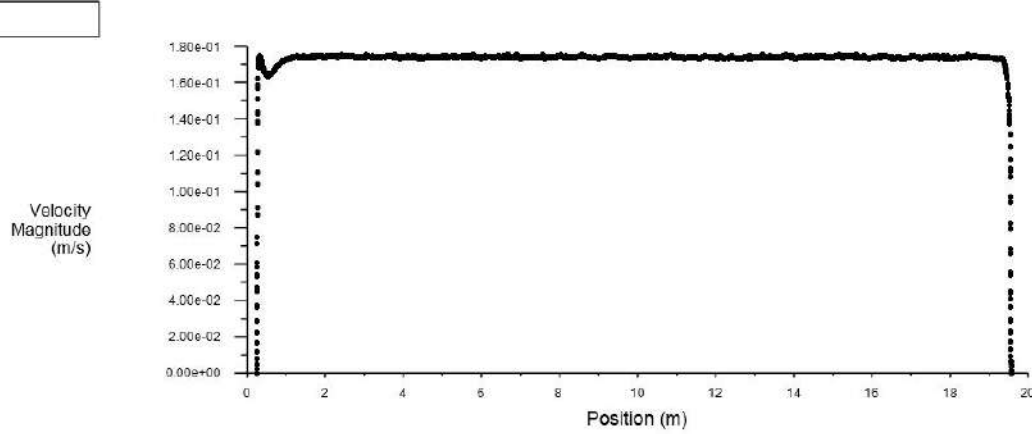
نسجل تغيرات في السرعة بالنسبة للقطرين  $D=150\text{mm}$  ,  $D=200\text{mm}$  عند  $Re=1000$  و عمق  $P$  , حيث نلاحظ ثبات السرعة عند قيمة حوالي  $0.175$  م \ ث بين قمتي العمق  $P=2.92942$  و  $P=0.609057$  , ثم نلاحظ انخفاض حاد للسرعة وهذا نتيجة لتأثير مقاومة اللزوجة الديناميكية للحركة و تراكم جزئيات الهواء عند دوران الانبوب .



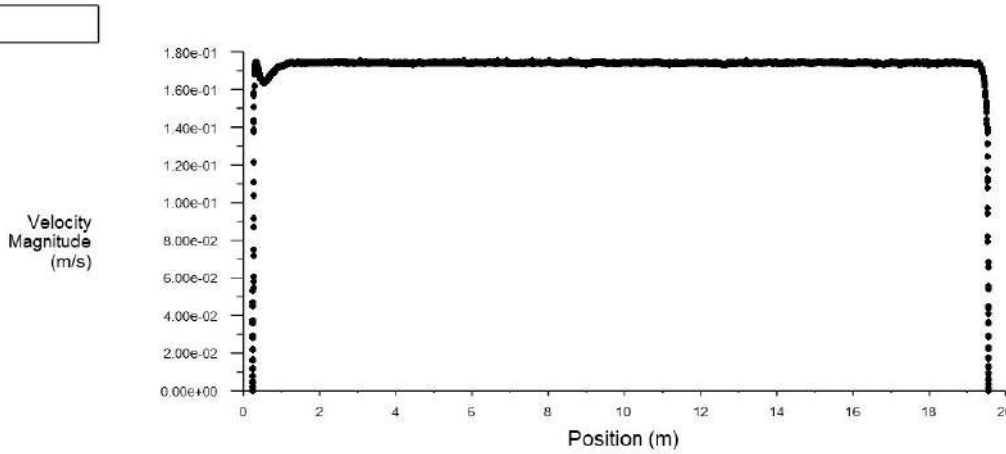
الشكل 3-25: ملامح سرعة الهواء لـ  $D=250$  و  $L=20\text{m}$  و  $Re=1000$

نسجل تغيرات في السرعة بالنسبة للقطر  $D=250\text{mm}$  , عند  $Re=1000$  و عمق  $P$  , حيث نلاحظ ان بداية المنحى لقيمة السرعة اقل من قيم السرعة في  $D=150\text{mm}$  ,  $D=200$  و هذا بسبب كبر في قطر الانبوب , ثم نلاحظ ثبات السرعة عند قيمة حوالي  $0.175$  م \ ث . و بعد القيمة حوالي  $0.429598$  نلاحظ انخفاض حاد في قيمة السرعة , وهذا بسبب تأثير مقاومة اللزوجة الديناميكية للحركة عند دوران الانبوب .



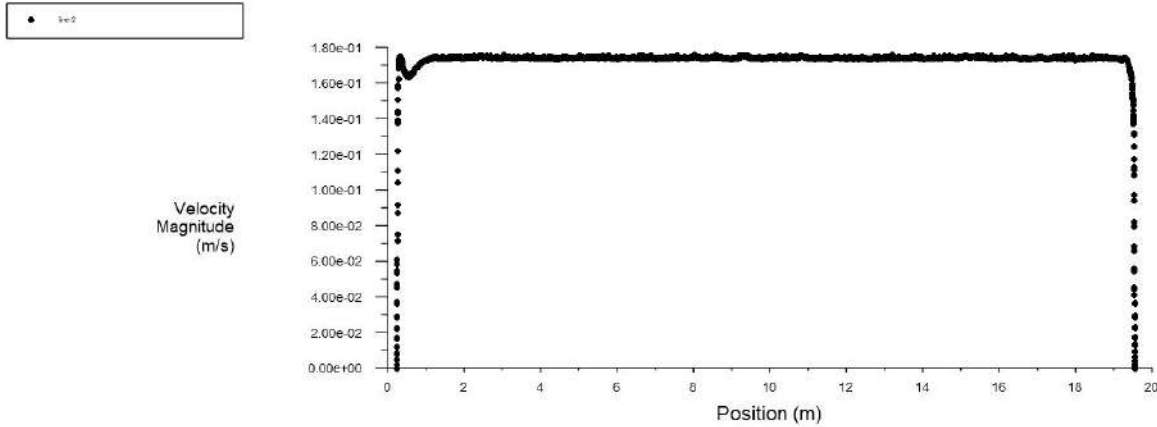


الشكل 3-26: ملامح سرعة الهواء ل  $Re = 1000$  و  $L = 20m$   $D = 150$



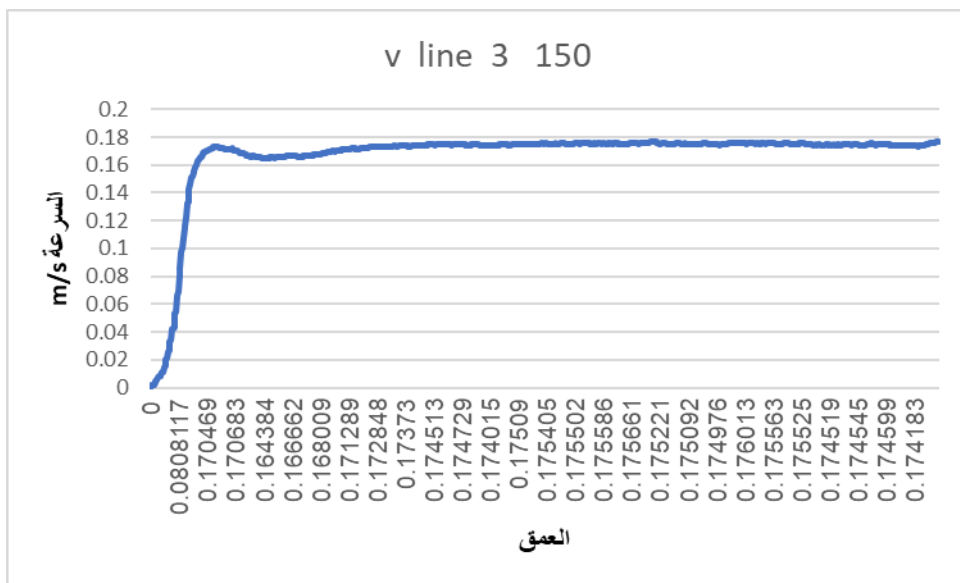
الشكل 3-27: ملامح سرعة الهواء ل  $Re = 1000$  و  $L = 20m$   $D = 200$

نسجل تغيرات في السرعة بالنسبة للقطرين  $D=150cm$ ,  $D=200cm$  عند  $Re=1000$  و طول  $L=20m$  , حيث نلاحظ ارتفاع حاد في قيمة السرعة الى ان تصل  $0.175$  م\ث , حدوث ذلك بسبب تراكم جزيئات الهواء المضخة من طرف محطة سحب الهواء . ثم نلاحظ تذبذب طفيف بالنسبة لقيمة السرعة , وهذا بسبب تذبذب و اصطدام جزيئات الى غاية استقرارها على المسار الثابت . ثم نلاحظ ثبات لقيمة السرعة عند  $0.175$  م\ث , وبعد

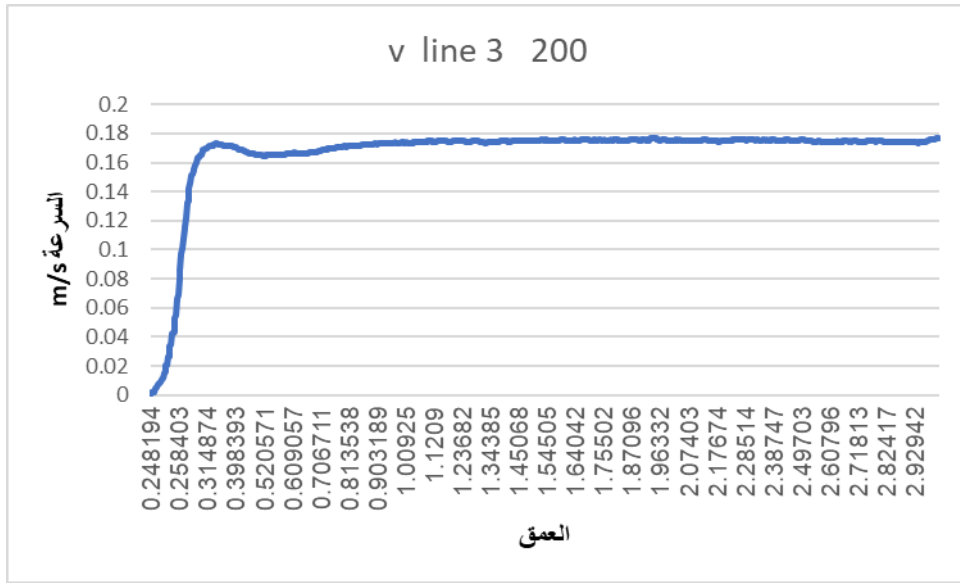


الشكل 3-28: ملامح سرعة الهواء لـ  $D=250$  و  $L=20$  و  $Re=1000$

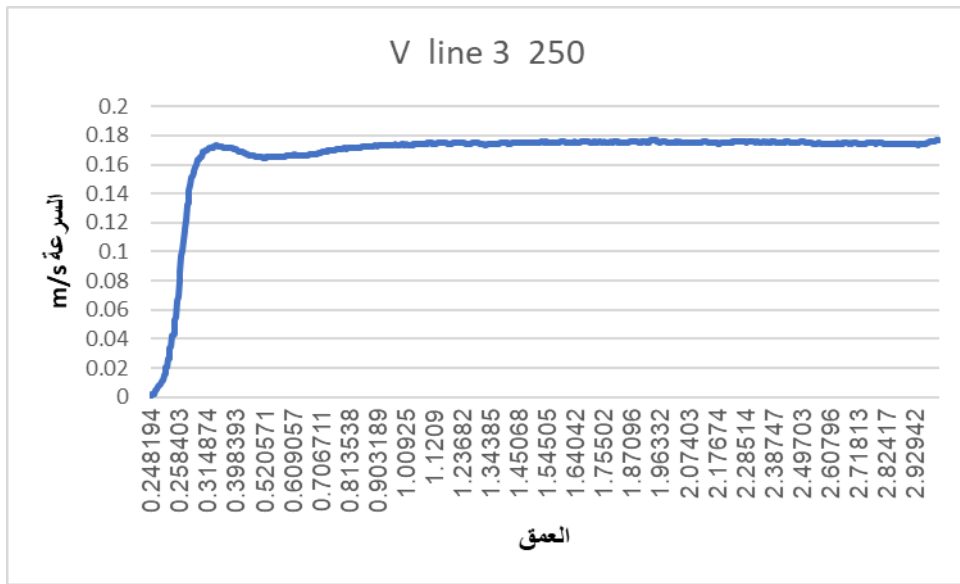
نسجل تغيرات في السرعة بالنسبة للقطر,  $D=250$  عند  $Re=1000$  و طول  $L=20$ م , حيث نلاحظ ارتفاع حاد في قيمة السرعة الى ان تصل  $0.177$  م\ث , حدوث ذلك بسبب تراكم جزيئات الهواء المضخة من طرف محطة سحب الهواء .ثم نلاحظ تذبذب طفيف بالنسبة لقيمة السرعة , وهذا بسبب تذبذب اصطدام جزيئات الى غاية استقرارها على المسار الثابت .ثم نلاحظ ثبات لقيمة السرعة عند  $0.177$  م\ث , وبعد ذلك تم تسجيل انخفاض حاد للسرعة عند طول اقل من الطول الأدنى للأنبوب على ما يقارب  $L=19.654$ م , و هذا بسبب انكسار و احتكاك جزيئات الهواء بالأنبوب (عند دوران الانبوب).



الشكل 3-29: ملامح سرعة الهواء لـ  $D=150$  mm و  $L=20$  m و  $Re=1000$



الشكل 3-30: ملامح سرعة الهواء لـ  $D=200$  mm و  $L=20$  m و  $Re=1000$



الشكل 3-31: ملامح سرعة الهواء لـ  $D=250$  mm و  $L=20$  m و  $Re=1000$

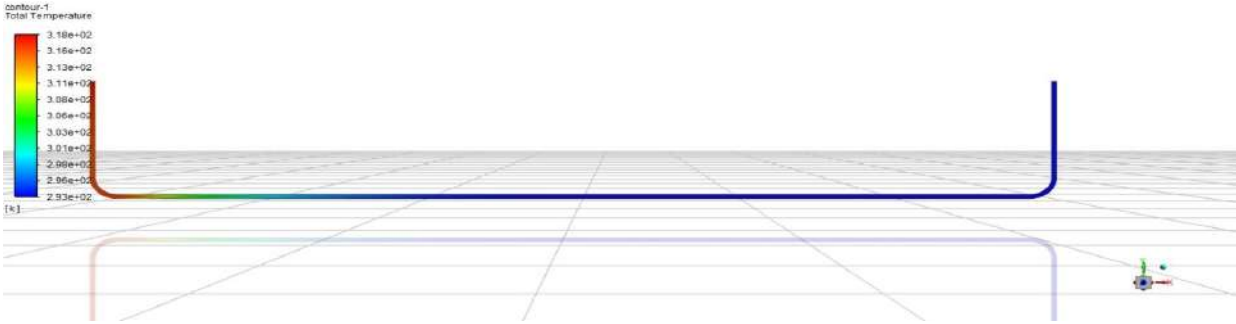
نسجل تغيرات في السرعة بالنسبة للقطرين  $D=150$  mm ,  $D=200$  mm ,  $D=250$  mm عند

$Re=1000$  و عمق  $P$  , , حيث نلاحظ زيادة في حركة السرعة وهذا نتيجة لتأثير مقاومة اللزوجة

الديناميكية للحركة و تراكم جزئيات الهواء عند دوران الانبوب . ثم نلاحظ ثبات السرعة عند قيمة حوالي 0.175 م \ ث بين قمتي العمق  $P=2.92942$  و  $P=0.609057$

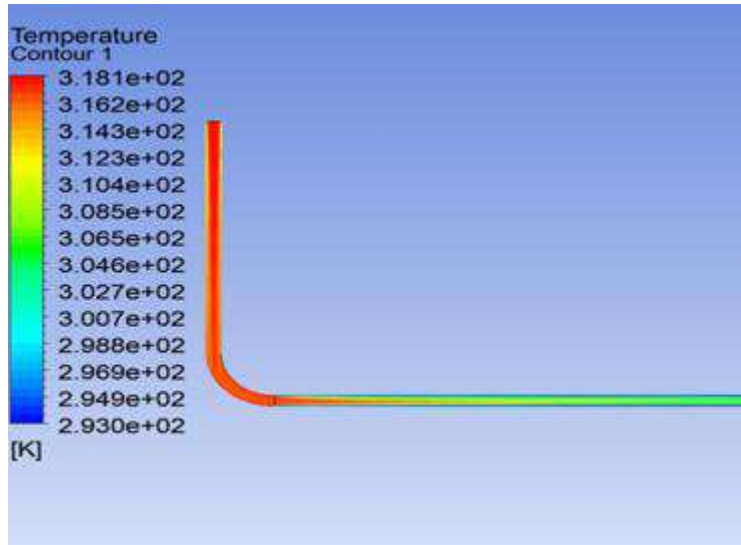
### استنتاج :

مقارنة الخطوط العريضة الموضحة لتدرج درجة الحرارة بين كل 150م و 200م و 250م (contour) على الترتيب

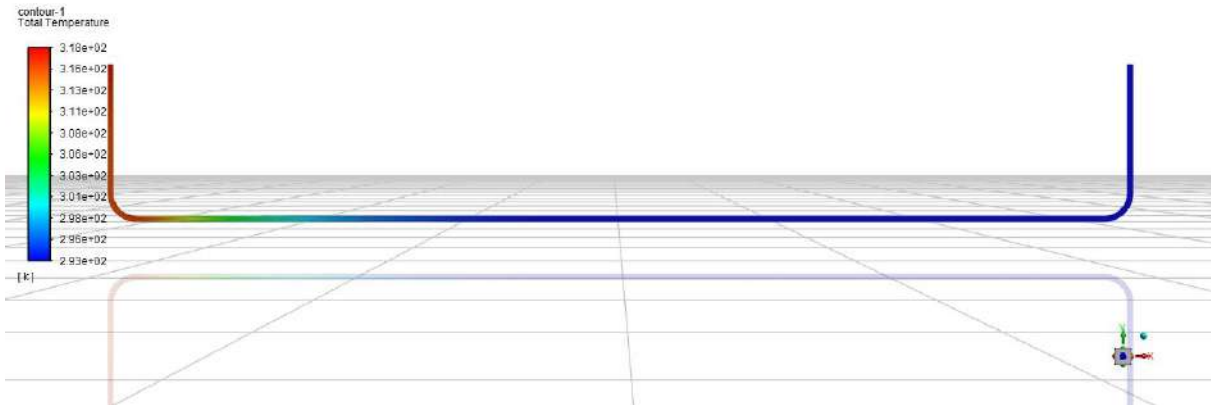


الشكل 3\_32 : يمثل الشكل تطور درجة حرارة الهواء في الأنبوب

150 يدخل السائل إلى الهواء عند درجة حرارة عالية تبلغ 318 كلفن أثناء مروره عبر الأنابيب ، يحدث تحول حراري له ، حيث تنتقل الحرارة إلى الأرض عن طريق الحمل الحراري. في هذه الحالة لا يكون انتقال الحرارة بطيئاً ، لأن الهواء يصل إلى منتصف القناة الأفقية ويحمل درجة حرارة عالية نسبياً حوالي 302 كلفن ويكون عند مخرج حوالي 298.2 كلفن لا تعتبر درجة حرارة منخفضة لا تكفي تكييف المحطة

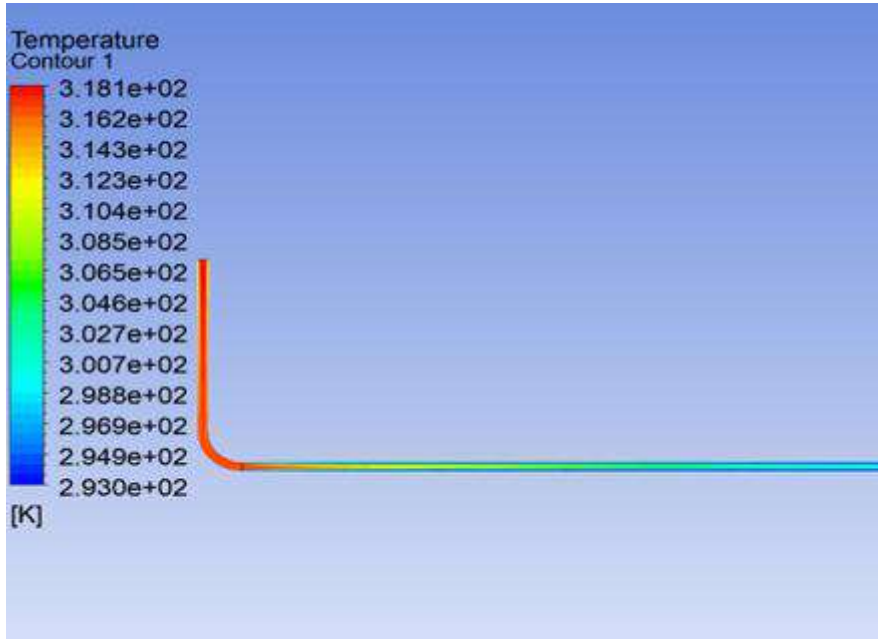


الشكل 33\_3 : يمثل الشكل تكبير لقيم تطور درجة حرارة الهواء في الأنبوب

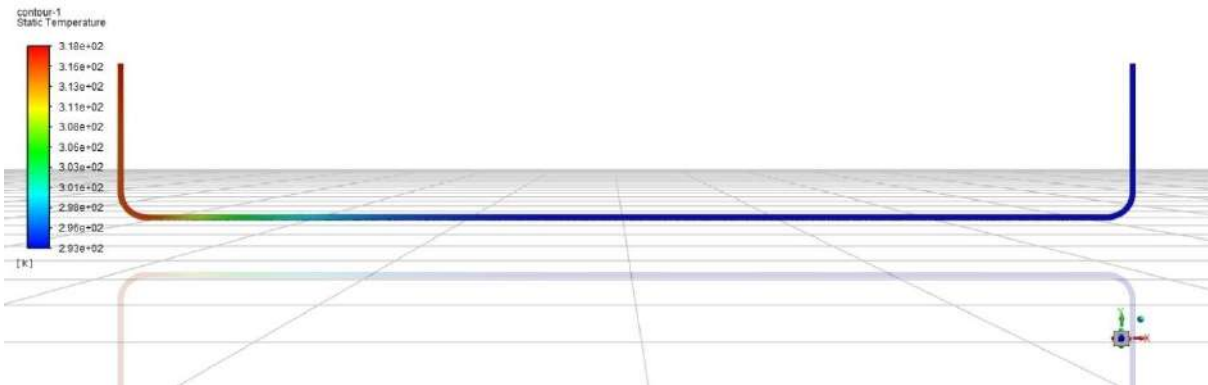


الشكل 34\_3 : يمثل الشكل تطور درجة حرارة الهواء في الأنبوب

200 يدخل السائل الهواء عند درجة حرارة عالية 318 كلفن. عند المرور عبر الأنابيب يحدث لها تحول حراري ، حيث تنتقل الحرارة إلى الأرض بالحمل الحراري ، وفي هذه الحالة يكون انتقال الحرارة سريعاً نسبياً ، حيث يصل الهواء إلى منتصف القناة الأفقية ، ويحمل درجة حرارة عالية تبلغ حوالي 300.7 كلفن ، وعند المنفذ حوالي 296 كلفن تعتبر درجة حرارة منخفضة مقبولة لتبريد المحطة

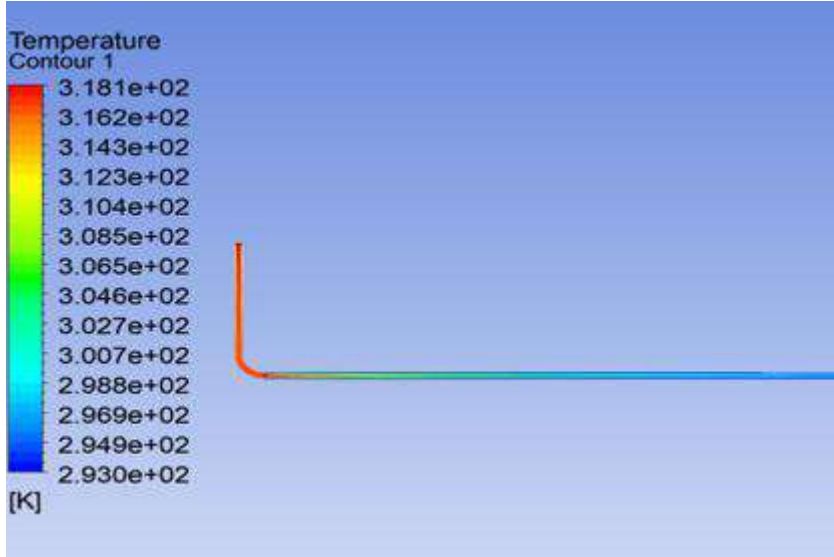


الشكل 3\_35 : يمثل الشكل تكبير لقيم تطور درجة حرارة الهواء في الأنبوب



الشكل 3\_36 : يمثل الشكل تطور درجة حرارة الهواء في الأنبوب

250 يدخل السائل إلى الهواء عند درجة حرارة عالية 318 كلفن ، وعند المرور عبر الأنابيب ، يحدث تحول حراري له ، حيث تنتقل الحرارة إلى الأرض عن طريق الحمل الحراري. في هذه الحالة يكون انتقال الحرارة سريعاً لأن الهواء يصل إلى منتصف القناة الأفقية ويحمل درجة حرارة عالية تبلغ حوالي 297 كلفن وعند مخرج حوالي 293.6 كلفن تعتبر درجة حرارة عالية جداً. محطة



الشكل 3\_37 : يمثل الشكل تكبير لقيم تطور درجة حرارة الهواء في الأنبوب

## الاستنتاج العام

تعتبر المبادلات الحرارية (هواء /تربة) في الوقت الحاضر واحدة من الحلول المشجعة للغاية ، والمخصصة لتبريد الهواء في الصيف والتدفئة في الشتاء. أظهرت الدراسات التي تم إجراؤها أن هذا النظام له استهلاك منخفض للطاقة بفضل اعتماده على الهواء الطبيعية مقارنة بالتقنيات التقليدية الأخرى التي "غالبًا ما يكون مصدرها الكهرباء وهو الوقود الأحفوري

حيث تطرقنا في دراستنا الحالية إلى تحديد قطر الأنبوب مبادل حراري (هواء / تربة) مدفون ، ولهذا حيث ان الغاية من كل المشروع هو إيجاد أفضل تحسين ممكن للقطر من اجل خفض درجة الحرارة داخل المبنى والتي تتواجد في المناطق الحارة , نقوم بتحديد هذا التحسين من خلال إجراء تجارب على نفس نظام مبادل حراري هواء/أرض بنفس الشروط التجريبية التي قام بها الطالبين

مع تغيير في كل مرة في قيمة قطر الأنابيب , ثم نختار القطر الذي تكون فيه درجة الحرارة اقل داخل المبنى ويكون فيها النظام أكثر فعالية , التجارب كانت بواسطة المحاكاة العددية في الكمبيوتر التي تدرس جريان الهواء داخل الأنبوب استعنا ببرنامج التحليل العددي اونسيس من اجل معرفة تغيرات درجات الحرارة داخل الأنابيب والتبادل الحراري بين الأرض والهواء قمنا بإجراء نمذجة للمعادلات الفيزيائية التي تصف انتقال الحرارة وإدخالها على شكل معطيات حتى يتمكن برنامج من معالجتها و تحليلها وبعد التجارب وجدنا انه يجب ألا يقل القطر الأنبوب عن 200 مم

بناءً على دراستنا لمعرفة القطر الأمثل للأنبوب وبغرض الحصول على أداء حراري أفضل من مبادل تحت الأرض (هوائي / أرضي) ، بعض المعلومات التي جمعناها من مختلف المصادر نقترح أن يتبع المصنعون توصيات معينة أثناء التنفيذ العملي لمثل هذا الجهاز

أن يكون قطر الأنبوب 200 مم( دراستنا في المذكرة )

وأن يستوفوا الشروط. ثلاثة أمتار متر فوق الأرض ومترين تحت الأرض

وكذلك الطول الأمثل هو 20 م

مادة بناء بولي كلوريد الفينيل عالية الضغط بسبب هذه المزايا العديدة ، فهي أقل تكلفة من المواد المعدنية ، وهي صلبة وتتمتع بمقاومة جيدة للتآكل في وجود التربة والرطوبة.

لضمان انتقال جيد للحرارة بين السائل الموجه من خلال المبادل المدفون والأرض المحيطة، يجب

ألا تتجاوز السماكة المثلى التي يجب مراعاتها 5 مم، مع البقاء ضمن حدود تعليمات التشغيل



## قائمة المراجع ببليوغرافية

- [1] Rouag, A., Contribution à l'étude du transfert thermique dans les échangeurs de chaleur des machines frigorifiques à adsorption, 2017, Université Mohamed Khider-Biskra
- [2] Benhammou, M. and B. Draoui, Modélisation de la température en profondeur du sol pour la région d'Adrar-Effet de la nature du sol. Revue des Energies Renouvelables,
- [3] Ozgener, O., L. Ozgener, and D.Y. Goswami, Experimental prediction of total thermal resistance of a closed loop EAHE for greenhouse cooling system. International Communications in Heat and Mass Transfer
- [4] I.B Fridleifsson, 'Geothermal in Comparison with other Energy Resources'; IGA NEWS, Newsletter of the International Geothermal Association
- [5] Mémoire de maîtrise, Université de l'Oklahoma T.I
- [6] ب. زوهري، أنواع وتصنيفات المبادلات الحرارية، 2018.
- [7] د. ماكوفسكي، التوصيل الحراري، قسم الهندسة الميكانيكية جامعة أوبرن، 2010.
- [8] "تم نشر تقرير يعرض الإحصائيات التي تمت دراستها على 64 دولة بين عامي 2009 و 2018
- [9] براهمي، ثابت نقل الحرارة التوصيل، 2018.
- [10] م. ف. ا. الأساسية، "جامعة الاخوة متنوري قسنطينة"، Available: موقع اتصالات الجزائر.
- [تاريخ الوصول 17 05 2022].
- [11] ب. ل. توفيق، التأثيرات الإشعاعية الحرارية والتوصيف المناخي الدقيق للساحات الداخلية للمباني العامة، قسنطينة: جامعة متنوري، 2006.
- [12] س. ت. ب. بيوورتييه، النمذجة الحرارية لمبادل الهواء-الأرض لتبريد المباني، باريس، فرنسا: مركز الطاقة والعمليات ، المدرسة الوطنية للمناجم، 2012.
- [13] "ويكيبيديا، Wikipedia
- [14] ص. عدني، "أبعاد مبادل هواء / تربة تحت الأرض مخصص لتبريد الهواء". أطروحة ماجستير.

## ملخص:

ركزنا في هذه الدراسة على استغلال حرارة الأرض في عملية التكييف الحراري للمباني، هذا التكييف لا يتطلب طاقة لان مصدره هو حرارة الأرض التي تكون معتدلة في مستويات قريبة من السطح، يتم تطبيق هذه التقنية بواسطة مبادل حراري هواء/أرض التي تعتمد على أنابيب تكون مدفونة في التربة، ويتم على مستوى الأنابيب التبادل الحراري للهواء والذي يوفر حرارة مقبولة داخل المبنى حيث غالبًا ما تكون الأنابيب الأرضية بديلاً حيوياً واقتصادياً لأنظمة التدفئة أو تكييف الهواء المركزية التقليدية أو تكون مكملًا لها؛ وذلك بسبب عدم وجود ضواغط أو مواد كيميائية أو حراقات، والاكتفاء بوجود أجهزة نفخ لتحريك الهواء. تُستخدم هذه إما للتبريد أو التسخين الجزئي أو الكلي لهواء لتهوية المبنى. حيث إن استخدامها يساعد في تبريد أو تسخين الأبنية طبيعيًا دون الحاجة إلى المكيفات الهوائية التي تشتغل بالكهرباء حيث هي تعتبر نظام طبيعي بديل يعمل على عدم استهلاك الكهرباء حيث أن الغاية من كل المشروع هو إيجاد أفضل تحسين ممكن من أجل خفض درجة الحرارة داخل المبنى والتي تتواجد في المناطق الحارة، نقوم بتحديد هذا التحسين من خلال إجراء تجارب على نفس نظام مبادل حراري هواء/أرض بنفس الشروط التجريبية مع تغيير في كل مرة في قيمة قطر الأنابيب، نختار القطر الذي تكون فيه درجة الحرارة أقل داخل المبنى ويكون فيها النظام أكثر فعالية، التجارب تكون بواسطة المحاكاة العددية في الكمبيوتر التي تدرس جريان الهواء داخل الأنابيب استعنا ببرنامج ANSYS للتحليل العددي من أجل معرفة تغيرات درجات الحرارة داخل الأنابيب والتبادل الحراري بين الأرض والهواء قمنا بإجراء نمذجة للمعادلات الفيزيائية التي تصف انتقال الحرارة وإدخالها على شكل معطيات حتى يتمكن برنامج من معالجتها وتحليلها

**الكلمات المفتاحية:** الحرارة الجوفية الأرضية، التكييف السلبي، الانتقال الحرارية، مبادل حراري

هواء/أرض

## Sommaire :

Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur l'exploitation de la chaleur terrestre dans le processus de conditionnement thermique des bâtiments. Cette climatisation ne nécessite pas d'énergie car sa source est la chaleur du sol, qui est modérée à des niveaux proches de la surface. Cette technologie est appliquée par un échangeur de chaleur air/sol qui s'appuie sur des tuyaux enterrés dans le

---

sol, et au niveau du tuyau, l'échange de chaleur de l'air a lieu, ce qui fournit une chaleur acceptable à l'intérieur du bâtiment

Où les tubes souterrains sont souvent une alternative viable et économique aux systèmes de chauffage central ou de climatisation conventionnels ou un complément aux systèmes conventionnels ; Cela est dû à l'absence de compresseurs, de produits chimiques ou de brûleurs, et à la présence de soufflantes pour déplacer l'air. Ceux-ci sont utilisés pour le refroidissement ou le chauffage partiel ou total de l'air pour ventiler le bâtiment. Comme son utilisation aide à refroidir ou à chauffer naturellement les bâtiments sans avoir besoin de climatiseurs fonctionnant à l'électricité, car il est considéré comme un système naturel alternatif qui fonctionne sans consommer d'électricité

Puisque le but de l'ensemble du projet est de trouver la meilleure amélioration possible afin de réduire la température à l'intérieur du bâtiment, qui est situé dans des zones chaudes, nous déterminons cette amélioration en menant des expériences sur le même système d'échangeur de chaleur air/sol avec le même conditions expérimentales avec un changement à chaque fois de la valeur de Le diamètre des tuyaux, on choisit le diamètre dans lequel la température est plus basse à l'intérieur du bâtiment et le système est le plus efficace, les expériences se font par simulation numérique dans l'ordinateur qui étudie l'air flux à l'intérieur du tuyau, nous avons utilisé le programme ANSYS pour l'analyse numérique afin de connaître les changements de température à l'intérieur des tuyaux et l'échange de chaleur entre la terre et l'air Nous avons modélisé les équations physiques qui décrivent le transfert de chaleur et l'avons saisie sous la forme de données pour qu'un programme puisse les traiter et les analyser

**Mots clés :** géothermie, conditionnement passif, transfert thermique, échangeur air/sol

---

## Summary:

In this study, we focused on the exploitation of earth's heat in the process of thermal conditioning of buildings. This cooling does not require energy because its source is ground heat, which is moderated to near-surface levels. This technology is applied by an air/soil heat exchanger that relies on pipes buried in the ground, and at the pipe the heat exchange of air takes place, which provides acceptable heat to the interior of the building

Where underground tubes are often a viable and economical alternative to conventional central heating or air conditioning systems or a complement to conventional systems; This is due to the absence of compressors, chemicals or burners, and the presence of blowers to move the air. These are used for partial or total cooling or heating of the air to ventilate the building. As its use helps to naturally cool or heat buildings without the need for air conditioners powered by electricity, as it is considered an alternative natural system that works without consuming electricity

Since the aim of the whole project is to find the best possible improvement in order to reduce the temperature inside the building, which is located in hot areas, we determine this improvement by conducting experiments on the same system of air/soil heat exchanger with the same experimental conditions with a change each time of the value of the diameter of the pipes, we choose the diameter in which the temperature is lower inside the building and the system is the most efficient, the experiments are done by numerical simulation in the computer which studies the air flow inside the pipe, we used the ANSYS program for numerical analysis in order to know the temperature changes inside the pipes and heat exchange between earth and air We modeled the physical equations that describe heat transfer and captured it as data for a program to process and analyse them

**Keywords:** geothermal energy, passive conditioning, heat transfer, air/soil exchanger