

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان –

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : (génie mécanique)

Spécialité : (construction mécanique)

Par : (Salah Sidi Mohamed)

Sujet

Analyse thermique d'une plaque par thermographie

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

Mr. BelKaid Sidi Mohammed	MCB	Université de Tlemcen	Président
Mr. Guelil Houcine	MCA	Université de Tlemcen	Examinateur
Mr. Chorfi Sidi Mohamed	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr. Boukhalfa Abdelkrim	Professeur	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

Dédicaces

Ce modeste travail est dédié à :

Mes chers parents que ALLAH les protège, qui m'ont offert tous les moyens et pour tout leur soutien et leurs encouragements.

Mon petit frère et ma sœur que dieu les garde

Mes amis Youcef et Mezouar pour leurs compagnies et soutiens tout au long de la réalisation de ce projet

Tous mes amis de près ou de loin, pour tous ces encouragements, et pour tous les moments joyeux que nous avons passés.

Et toute personne que je connais et qui me sont chers.

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord dieu tout puissant à m'avoir donné le courage, l'intelligence et la force de pouvoir venir à bout de ce travail

Je tiens également à remercier mes très chers parents, qui m'ont mis à ce monde mais aussi m'ont encouragé tout au long de ces nombreuses années et de voir leur sourire et aboutissant mon projet de fin d'études.

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'étude de Master au Département de Génie Mécanique de la Faculté de Technologie de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.

Ce travail est le fruit de plusieurs mois de réflexion et de recherche sous la supervision de mon encadreur Mr Chorfi et mon Co-encadreur Mr.Boukhalfa que je remercie infiniment pour leurs bienveillance et leurs instructions qui m'ont aidé à voir plus clair et d'avancer grâce à leurs conseils et leurs instructions mais aussi grâce à leur aide tout au long du processus de la réalisation de ce travail et surtout leurs motivations pour venir à bout de ce mémoire.

Je tiens également à remercier les jurys qui me rendent l'honneur d'accepter d'examiner ce modeste travail.et l'intérêt qu'ils portent à

ce travail et les remarques venant de leur part ne feront qu'enrichir ce travail.

Je tiens également à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la progression et à la réalisation de ce projet.

Résumé

Ce mémoire proposé consiste à la recherche sur l'analyse thermique et la thermographie en se basant sur les méthodes de mesures et en particulier la caméra infrarouge thermique, la compréhension de son bon fonctionnement et sa bonne prise en main.

L'objectif de ce mémoire est de définir la propagation thermique dans une plaque par thermographie grâce à la caméra thermique présente par le département de recherche de la faculté de technologie, pour but d'améliorer les connaissances sur l'analyse thermique et introduire ses connaissances dans les futurs travaux pratiques dans les laboratoires de recherche

Mots-clefs : analyse thermique, caméra thermique, température, chaleur, mesure de température, thermographie, étude expérimental.

Abstract

The proposed thesis consists of research on thermal analysis and thermography based on measurement methods, particularly thermal infrared cameras. It aims to understand their proper operation and handling.

The objective of this thesis is to define thermal propagation in a plate through thermography using the thermal infrared camera provided by the research department of the Faculty of Technology. The goal is to enhance knowledge in thermal analysis and introduce this knowledge into future practical work in research laboratories.

Keywords: thermal analysis, thermal camera, temperature, heat, temperature measurement, thermography, experimental study.

ملخص

هذه المذكرة المقترحة تتضمن بحثاً حول التحليل الحراري وتقنية التصوير الحراري باستناد إلى طرق القياس وبخاصة الكاميرا الحرارية بالأشعة تحت الحمراء، بهدف فهم كيفية عملها الصحيح وكيفية التعامل معها بشكل جيد.

هدف هذه المذكرة هو تحديد انتشار الحرارة في قطعة من خلال تقنية التصوير الحراري باستخدام الكاميرا الحرارية المقدمة من قبل قسم البحث في كلية التكنولوجيا، بهدف تعزيز المعرفة في مجال التحليل الحراري وإدخال هذه المعرفة في الأعمال التجريبية المستقبلية في المختبرات البحثية.

الكلمات الرئيسية: التحليل الحراري، الكاميرا الحرارية، درجة الحرارة، الحرارة، قياس درجة الحرارة، التصوير الحراري، دراسة تجريبية.

Sommaire

Introduction générale :	15
Chapitre I	16
Les méthodes de mesures de température.....	16
1.INTRODUCTION :	1
2. QUELS SONT LES METHODES DE MESURES de la température?.....	2
2.1 Thermomètres à liquide :	2
2.1.1 Les avantages du thermomètre à liquide.....	3
2.1.2 Les inconvénients du thermomètre à liquide	3
2.2 Thermocouples :.....	4
2.2.1 Les avantages du thermocouple :	5
2.2.2 Les inconvénients du thermocouple.....	5
2.3 Résistances de platine (RTD) :	6
2.3.1 Les avantages des résistances de platine.....	6
2.3.2 Les inconvenants des résistances de platine RTD	7
2.4 Les thermistances.....	8
2.4.1 Les avantage des thermistances :	9
2.5 Pyromètres optiques :.....	9
2.5.1 Les avantages du pyromètre optique.....	11
2.5.2 Les inconvénients du pyromètre optique	11
2.5.3 La caméra thermique.....	12
3. COMMENT BIEN CHOISIR LA METHODE DE MESURE	12
3.1 La précision requise	12
3.2.1 Les différents industries.....	13
3.2 La plage de température :.....	13
3.2.1 Thermomètres à liquide	13
3.2.2 Thermocouples.....	14

3.2.3 Thermistances	14
3.2.4 Résistances de platine (RTD)	15
3.3 La vitesse de mesure	15
3.3.1 Thermomètre à mercure	15
3.3.2 Thermomètre numérique.....	15
3.3.3 Thermocouple	15
3.3.4 Pyromètre infrarouge	15
4. Conclusion	16
Chapitre II.....	18
Présentation de la caméra thermique	18
FLIR T440	18
1.Introduction.....	19
2. A propos de la compagnie FLIR.....	20
3. Composants de la caméra thermique FLIR T440	21
3.1 Détails de la caméra thermique FLIR T440 :.....	23
3.2 Découvertes de diverses fonctionnalités de l’outil de mesure de température :	24
3.2.1 Les modes de l’appareil :	25
3.2.2 Les préréglages	26
3.2.4 Les paramètres de la caméra thermique.....	29
3.2.4.1 L’émissivité.....	29
3.2.4.2 table d’émissivité	30
3.2.4.3 température réfléchie	31
3.2.4.4 la distance de l’objet	32
3.2.4.5 Humidité relative	33
3.2.4.6 La température atmosphérique :.....	34
4. Conclusion	35
Chapitre III.....	36

Le Banc d'essai	36
3.1 Introduction.....	37
3.2 Découverte du banc d'essai	38
3.3 Etalonnage du thermomètre infrarouge	45
3.4 Travaux expérimentaux et résultats	45
3.4.1 Première plaque	46
3.4.1.1 première manipulation	46
3.4.1.2 la deuxième manipulation	48
3.4.1.3 troisième manipulation.....	50
3.4.2 Deuxième plaque	52
3.4.2.1 première manipulation	52
3.4.2.2 Deuxième manipulation	54
3.4.2.3 troisième manipulation.....	56
3.4.3 Troisième plaque.....	58
3.4.3.1 première manipulation	58
3.4.3.2 deuxième manipulation	60
3.4.3.3 troisième manipulation.....	62
3.5 Observations de résultats	64
3.5.1 Les intervalles d'erreurs.....	64
3.5.2 Interprétations	65
3.6 Conclusion	66
Conclusion générale et perspectives	67
Bibliographie.....	68

Liste des figures

Figure 1.1 loi de fourrier	1
Figure 2 thermometre à liquide	2
Figure1.3 thermocouple	4
Figure1.4 résistance de platine	6
Figure 1.5 les thermistances	8
Figure1.6 pyromètre vue de profil	10
Figure1.7 pyrometre vue de face	10
Figure1.8 les différents type de cameras thermique FLIR	12
Figure 1.9 logo teledyne tech.	20
Figure 2.10 valise de la camera Flir T440	21
Figure 2.11 valise ouverte de la camera Flir T440	21
Figure 2.12 composants de la caméra thermique	22
Figure 13 aperçu de la caméra en mode éteinte	23
Figure 2.14 aperçu de la camera allumée	24
Figure 2.15 les différents modes de mesures	25
Figure 2.16 les préréglages de la caméra thermique	26
Figure2.17 point de concentration de mesure	27
Figure 2.18 les paramètres de la caméra thermique	29
Figure 2.19 détermination de la température réfléchie	31
Figure 2.20 comment calculer la distance de mesure	32
Figure 2.21 un hygromètre numérique	33
Figure 2.22 illustration d'un Hygromètre	33
Figure 3.23 les différents composants du banc d'essai	39
Figure 3.24 le contenant du banc d'essai	40
Figure 3.25 la dalle réfractaire du banc d'essai	40
Figure 3.26 la résistance chauffante en forme serpent	41
Figure 27 le thermocouple utilisé dans le banc d'essai	42
Figure 3.28 le porte fusible	42
Figure 3.29 le domino électrique	43
Figure 3.30 câblage électrique utilisés dans le banc d'essai	43
Figure 3.31 les plaques de tôle utilisés dans l'expérience	44
Figure 3.32 illustration des dimensions des plaques de tôle utilisée	44
Figure 3.33 température mesuré pour l'étalonnage	45
Figure 3.34 illustration de l'ébullition de l'eau	45

<i>Figure 3.35 illustrations des points de mesure</i>	<hr/>	45
<i>Figure 3.36 propagation de la chaleur sur les 5 points de la plaque de tôle</i>	<hr/>	65

Liste des graphs

<i>graph 1.1 comparaison entre les PTC et les CTN</i>	9
<i>graph2 les différentes plage de température de thermocouple</i>	14
<i>graph 2.3 tableau d'émissivité</i>	30
<i>graph 2.4 montrant les différents facteurs de calcul de distance</i>	32
<i>tableau 3.5 tableau de rapport T/t a 120°c à 60s</i>	46
<i>graph 3.6 tableau de rapport T/t a 120° à 180s</i>	46
<i>graph 3.7 tableau de rapport T/t a 120° à 300s</i>	46
<i>graph 3.8 tableau de rapport T/t a 120° à 420s</i>	47
<i>graph 3.9 rapport T/t pour la première plaque</i>	47
<i>graph 3.10 propagation de chaleur T/t pour la première plaque à 120°c</i>	48
<i>graph 3.11 tableau de rapport T/t a 200°c à 60s</i>	48
<i>graph 3.12 tableau de rapport T/t a 200°c à 180s</i>	48
<i>graph13 tableau de rapport T/t a 200°c et à 300s</i>	49
<i>graph 14 tableau de rapport T/t a 200°c et à 480s</i>	49
<i>graph 3.15 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 1ère plaque à 200°c</i>	50
<i>graph 3.16 tableau de rapport T/t a 320°c et à 60s</i>	50
<i>graph 3.17 tableau de rapport T/t a 320°c et à 180s</i>	50
<i>graph 3.18 tableau de rapport T/t a 320°c et à 300s</i>	51
<i>graph 3.19 tableau de rapport T/t a 320°c et à 480s</i>	51
<i>graph 3.20 propagation de chaleur par rapport au temps de la 1ère plaque à 320°c</i>	52
<i>graph 3.21 tableau de rapport T/t a 120°c à 60s pour la 2ème plaque</i>	52
<i>graph 3.22 tableau de rapport T/t a 120°c à 180s pour la 2ème plaque</i>	52
<i>graph 3.23 tableau de rapport T/t a 120°c à 300s pour la 2ème plaque</i>	53
<i>graph 3.24 tableau de rapport T/t a 120°c à 400s pour la 2ème plaque</i>	53
<i>graph 3.25 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 2ème plaque à 120°c</i>	54
<i>graph 3.26 tableau de rapport T/t a 200°c à 60s pour la 2ème plaque</i>	54
<i>graph 3.27 tableau de rapport T/t 200°c à 180s pour la 2ème plaque</i>	55
<i>graph 3.28 tableau de rapport T/t a 200°c à 300s pour la 2ème plaque</i>	55
<i>graph 3.29 tableau de rapport T/t a 200°c à 480s pour la 2ème plaque</i>	55
<i>graph 3.30 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 2ème plaque à 200°c</i>	56
<i>graph 3.31 tableau de rapport T/t a 320°c à 60s pour la 2ème plaque</i>	56
<i>graph 32 tableau de rapport T/t a 320°c à 180s pour la 2ème plaque</i>	56
<i>graph 3.33 tableau de rapport T/t a 320°c à 300s pour la 2ème plaque</i>	57
<i>graph 3.34 tableau de rapport T/t a 320°c à 300s pour la 2ème plaque</i>	57
<i>Graph 3.35 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 2ème plaque à 320°c</i>	58

<i>graph 3.36 tableau de rapport T/t a120°C à 60s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>58</i>
<i>graph 3.37 tableau de rapport T/t a120°C à 180s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>59</i>
<i>graph 3.38 tableau de rapport T/t a120°C à 300s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>59</i>
<i>graph 3.39 tableau de rapport T/t a120°C à 420s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>59</i>
<i>graph 3.40 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 3eme plaque à 120°C</i>	<i>60</i>
<i>graph 3.41 tableau de rapport T/t a200°C à 60s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>60</i>
<i>graph 42 tableau de rapport T/t a200°C à 180s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>61</i>
<i>graph 3.43 tableau de rapport T/t a200°C à 300s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>61</i>
<i>graph 3.44 tableau de rapport T/t a200°C à 480s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>61</i>
<i>graph 3.45 propagation de chaleur par rapport au temps de la 3eme plaque à 200°C.....</i>	<i>62</i>
<i>graph 3.46 tableau de rapport T/t a320°C à 60s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>62</i>
<i>graph 3.47 tableau de rapport T/t a320°C à 180s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>62</i>
<i>graph 3.48 tableau de rapport T/t a320°C à 300s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>63</i>
<i>graph 3.49 tableau de rapport T/t a320°C à 480s pour la 3eme plaque.....</i>	<i>63</i>
<i>graph 3.50 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 3eme plaque à 320°C</i>	<i>64</i>

Introduction générale :

Le monde de la mécanique est un monde très vaste, c'est une science qui permet l'analyse de pleins de phénomènes tels que la conductivité thermique.

Dans ce mémoire le comportement thermique d'un solide dans le cas de la conduction sera étudié.

Il est important de souligner la nécessité a bien prendre connaissance des propriétés thermiques des structures pour leurs études et manipulation car leur négligence peut mener à des sérieux dangers

Les méthodes de mesure ont un impact important dans l'industrie et dans l'expérimentation. En effet elles sont essentielles dans de nombreux domaines tels que la science, l'industrie, la médecine et le contrôle de l'environnement, mais encore la précision de mesure est désormais exigé pour garantir la fiabilité des résultats, garantir la sécurité et aussi faciliter les recherches scientifiques

, Nous aurons aussi dans ce travail 3 chapitres :

Chapitre1 : les méthodes de mesure thermique

Chapitre 2 : présentation de la camera T440 FLIR

Chapitre3 : conception et réalisation de banc d'essai

Chapitre I

Les méthodes de mesures de température

1.INTRODUCTION :

Ce chapitre de ce mémoire se concentre sur le domaine de la mesure de température thermique et qui englobe les différents types de mesures thermique ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients

Les méthodes de mesure de la température sont essentielles dans de nombreux domaines tels que la science, l'industrie, la médecine et le contrôle de l'environnement. La capacité à mesurer avec précision la température est cruciale pour comprendre les processus thermiques, garantir la sécurité et la qualité des produits, et prendre des décisions éclairées dans de nombreux domaines.

Il existe différentes méthodes de mesure de la température, chacune ayant ses propres avantages et limites. Les thermomètres à liquide, les thermocouples, les thermistances, les pyromètres à infrarouge, les thermomètres à résistance de platine (RTD) et les thermomètres à rayonnement optique sont quelques-unes des méthodes couramment utilisées.

Fourier a découvert en 1807 que le flux de chaleur qui traverse un matériau d'une face A à une face B est toujours proportionnel à l'écart de température entre les 2 faces'' [1]

La loi de Fourier qui décrit le phénomène de la conduction thermique est énoncée du genre

$$\Phi = \lambda \times S \times \text{grad}T$$

λ : conductivité thermique

S : surface de contact (m²)

GradT : gradient de température

[2]

Figure 1.1 loi de fourrier

2. QUELS SONT LES METHODES DE MESURES de la température?

Il existe plusieurs méthodes de mesure de la température, adaptée à différents types d'applications et de situations, nous allons alors voir ci-dessous les méthodes que l'on peut retrouver et qui sont couramment utilisés :

2.1 Thermomètres à liquide :

Les thermomètres à liquide utilisent la dilatation thermique d'un liquide pour mesurer la température. Les thermomètres les plus couramment utilisés sont remplis de mercure ou d'alcool.

Lorsque la température augmente, le liquide se dilate et monte dans un tube gradué. La lecture de la température se fait en observant la hauteur du liquide dans le capillaire.

Les thermomètres à liquide sont simples à utiliser et offrent une précision acceptable. Cependant, ils peuvent être plus lents à répondre aux changements de température par rapport à d'autres méthodes, ceci dit depuis les années 70 il commence à se faire oublier et remplacer par le thermomètre électronique dû à la révélation de dangers potentiels dont le plus dangereux le bris du verre de l'appareil qui entraîne la diffusion du mercure dans l'organisme produit très toxique et néfaste. [3]

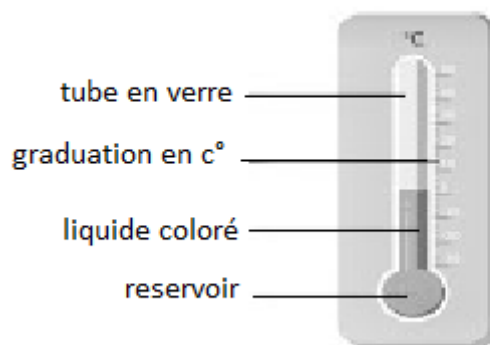


Figure 2 thermometre à liquide

2.1.1 Les avantages du thermomètre à liquide

Les thermomètres à liquide sont l'une des méthodes de mesure les plus connues mais quels avantages présentent-ils ?

- *-La précision : puisque ce dernier peut nous fournir une grande précision de mesure surtout lorsqu'on parle de thermomètre à mercure puisque ce dernier a une grande sensibilité aux variations de température.
- *-la plage de mesure : les thermomètres à liquide ont un grand étendu de mesure puisqu'on peut bien mesurer de très basses températures comme bien de hautes températures.
- *-leur durabilité : les thermomètres à liquide sont connus pour être des appareils assez durables et résistants à des conditions assez difficiles
- *-la stabilité : qui est un point essentiel puisque quand le liquide atteint l'équilibre thermique avec l'environnement, le liquide a tendance à être plus stable

2.1.2 Les inconvénients du thermomètre à liquide

Comme tous appareils le thermomètre à liquide a ses inconvénients aussi

- *-un danger potentiel : en cas de mauvaise manipulation qui peut entraîner la rupture de ce dernier il peut diffuser le mercure contenu à l'intérieur, produit toxique et dangereux pour la santé et l'environnement
- *- difficulté de lecture : puisque la lecture de température peut parfois avec les thermomètres à liquide être sujet d'un débat entre 2 personnes car la situation exacte du liquide sur le tube gradué peut être interprété différemment c'est pour cela qu'une lecture correcte est exigée.
- *-temps de réponse lente : souvent ces derniers nécessitent un peu de temps afin d'afficher la température mesurée, ce qui peut être un inconvénient dans certains cas où une mesure rapide est exigée.
- *-fragilité : les thermomètres à liquide ont tendance à être exposés à la rupture facilement des tubes

contenus le liquide dû à leur fragilité.

2.2 Thermocouples :

Un thermocouple est un dispositif utilisé pour mesurer la température en exploitant le principe de l'effet thermoélectrique. Il est constitué de deux fils métalliques de matériaux différents, généralement soudés ensemble à une extrémité pour former une jonction de mesure. On appelle souvent les fils métalliques du thermocouple « les jambes ».

Le Seebeck, tel est l'appellation de l'opération sous laquelle agit le thermocouple puisque quand la jonction précédemment expliqué, est soumise à une différence thermique un courant électrique est généré en raison de l'effet thermoélectrique car la différence de températures dans un métal a deux endroits différents provoque l'immigration des électrons de l'endroit chaud à l'endroit froid, il naît alors une différence de potentiel électrique.

Alors quels sont les points positifs et négatifs de cet outil ?



[4]

Figure1.3 thermocouple

2.2.1 Les avantages du thermocouple :

- * Plage de mesure étendue : Les thermocouples peuvent mesurer une large gamme de températures, allant de très basses températures (jusqu'à quelques degrés au-dessus du zéro absolu) à des températures très élevées
- * Robustesse : Les thermocouples sont généralement construits à partir de matériaux résistants à la corrosion et à l'usure, ce qui les rend adaptés aux environnements difficiles, tels que les applications industrielles, les systèmes de chauffage, les moteurs, etc.
- * Temps de réponse rapide : Les thermocouples réagissent rapidement aux changements de température, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant une surveillance en temps réel des variations de température.
- * Faible coût : Les thermocouples sont relativement peu coûteux à produire, ce qui en fait un choix économique pour de nombreuses applications de mesure de température.
- * Taille compacte : Les thermocouples sont généralement de petite taille, ce qui les rend faciles à intégrer dans des systèmes et des dispositifs de mesure
- * Linéarité : Les thermocouples ont une réponse linéaire, ce qui signifie que leur sortie est proportionnelle à la température mesurée. Cela simplifie la calibration et l'interprétation des mesures.

Et pleins d'autres avantages que l'on n'a pas cité mais comme toute chose ayant de nombreux avantages il ya aussi des points négatifs

2.2.2 Les inconvénients du thermocouple

- * Précision limitée : Les thermocouples ont une précision limitée par rapport à d'autres capteurs de température, tels que les résistances de platine (RTD) ou les thermistances. Leur précision varie en fonction du type de thermocouple, de la qualité de la fabrication et des conditions de mesure.
- * Sensibilité aux gradients de température : Les thermocouples sont sensibles aux gradients de température le long de leurs conducteurs. Cela peut entraîner des erreurs de mesure, en particulier dans des environnements où les gradients de température sont importants.
- * Étalonnage requis : les thermocouples nécessitent un étalonnage périodique pour maintenir leur

précision. Les coefficients des thermocouples (la relation entre la tension produite et la température) changent avec le temps et nécessitent un ajustement périodique.

* Instabilité à long terme : en raison de l'oxydation, de la contamination ou d'autres facteurs, le signal de sortie d'un thermocouple peut dériver avec le temps, ce qui peut nécessiter un étalonnage fréquent pour maintenir sa précision

Le choix d'un capteur de température dépendra des besoins spécifiques de l'application, de la précision requise et des conditions environnementales.

2.3 Résistances de platine (RTD) :

Les RTD, également appelées thermistances à résistance de platine, utilisent la variation de la résistance électrique d'un fil de platine en fonction de la température.

Les RTD sont constituées d'un fil de platine enroulé ou déposé sur un support isolant. Lorsque la température change, la résistance électrique du fil de platine change proportionnellement.

Les RTD offrent une grande précision, une stabilité à long terme et une faible dérive de la résistance.

Leur utilisation est courante lorsque des mesures précises et fiables sont nécessaires.

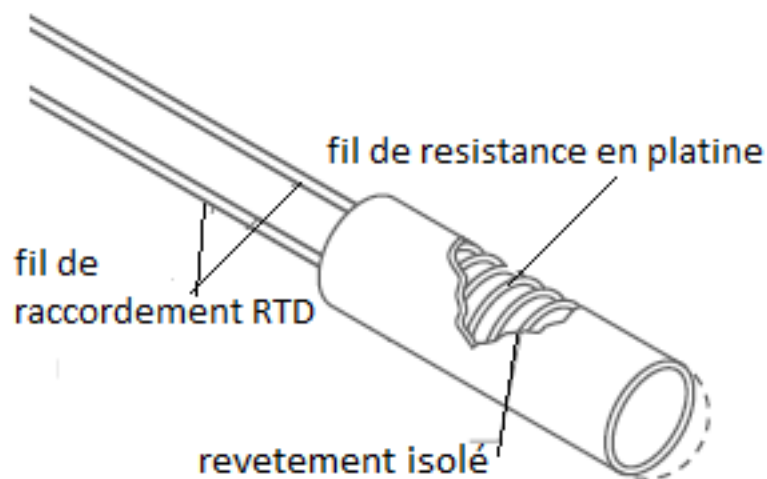


Figure 1.4 résistance de platine

2.3.1 Les avantages des résistances de platine

*Haute précision : les RTD offrent une précision de mesure supérieure à celle de nombreux autres

capteurs de température. Ils sont capables de fournir des mesures très précises, ce qui les rend idéaux pour les applications nécessitant une grande précision.

- * Stabilité à long terme : les RTD ont tendance à être stables à long terme, ce qui signifie qu'ils subissent peu de dérives au fil du temps. Cela réduit le besoin d'étalonnages fréquents et garantit une précision constante.

- * Large plage de températures : les RTD peuvent mesurer une large plage de températures, des températures très basses aux températures élevées. Ils sont généralement utilisés dans des environnements allant de -200°C à plus de 600°C .

- * Les RTD présentent une résistance accrue aux interférences électromagnétiques, ce qui les rend particulièrement adaptés aux environnements où les perturbations électromagnétiques sont fréquentes

- * Grâce à leur résistance électrique élevée, les RTD permettent une interconnexion aisée avec des circuits de mesure sans introduire de charges significatives.

- * Les RTD sont conformes aux normes internationales dans de nombreuses régions du monde, ce qui simplifie leur utilisation et leur interchangeabilité.

Mais aussi découvrons maintenant les différents inconvénients de ces derniers

2.3.2 Les inconvénients des résistances de platine RTD

- * Les RTD ont tendance à être plus onéreuses à l'achat que d'autres capteurs de température tels que les thermocouples ou les thermistances. Leur coût initial peut constituer un facteur limitant dans certaines applications.

- * Temps de réponse plus lent : Comparées aux thermocouples, les RTD ont généralement un temps de réponse plus lent, ce qui signifie qu'ils peuvent ne pas convenir aux applications nécessitant une mesure de la température en temps réel ou une réponse rapide aux changements de température.

- * Sensibilité aux courants de fuite : Les RTD ont une résistance électrique relativement élevée, ce qui les rend sensibles aux courants de fuite électrique. Dans certaines applications, cela peut nécessiter des précautions spéciales pour minimiser les erreurs de mesure

- * Contraintes de courant d'excitation : Les RTD nécessitent une source de courant d'excitation pour fonctionner, généralement fournie par l'instrument de mesure. Le courant d'excitation doit être suffisamment faible pour éviter de chauffer la RTD, car cela pourrait entraîner des erreurs de mesure

- * Faible résistance à la surcharge : Les RTD sont sensibles aux surcharges de courant et de tension.

Des surcharges accidentelles peuvent endommager la RTD et entraîner des erreurs de mesure permanentes

2.4 Les thermistances

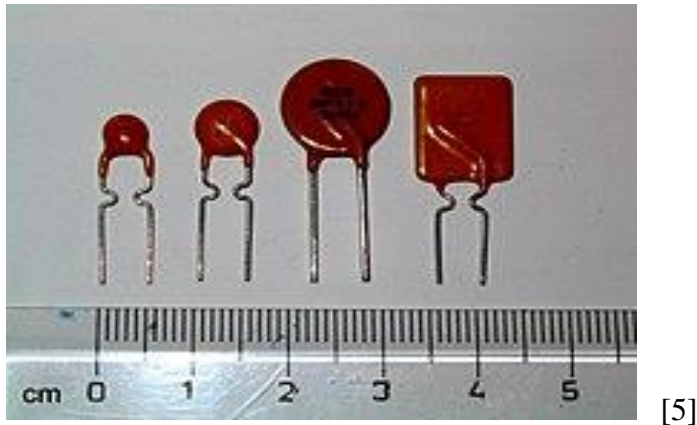


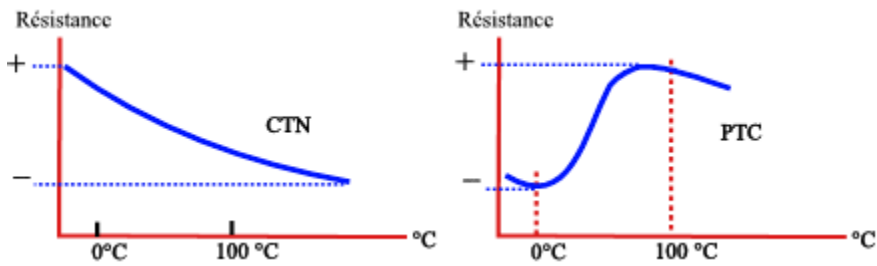
Figure 1.5 les thermistances

Les thermistances sont des capteurs de température basés sur la variation de la résistance électrique d'un matériau avec la température.

Les thermistances peuvent être classées en deux catégories principales : les thermistances à coefficient de température positif (PTC) et les thermistances à coefficient de température négatif (NTC).

Les thermistances PTC ont une résistance qui augmente avec la température, tandis que les thermistances NTC ont une résistance qui diminue avec la température.

Les thermistances offrent une sensibilité élevée, sont économiques et faciles à utiliser. Cependant, ils peuvent avoir des dérives et des non-linéarités plus importantes par rapport à d'autres capteurs.



Graph1

graph 1.1 comparaison entre les PTC et les CTN

2.4.1 Les avantages des thermistances :

- * Les thermistances se distinguent par leur sensibilité élevée à la température, ce qui leur permet de détecter de petites variations de température avec une grande précision. Cette sensibilité accrue en fait des capteurs idéaux pour des applications nécessitant une mesure précise de la température
- * les thermistances ont généralement une réponse rapide aux variations de température, ce qui les rend adaptées aux applications nécessitant une réaction rapide aux changements de température. Cette caractéristique est particulièrement avantageuse dans des environnements où des ajustements rapides de la température sont nécessaires.
- * Petit format : Les thermistances sont généralement de petite taille, ce qui les rend faciles à intégrer dans des dispositifs et des systèmes de mesure.
- * Facilité d'interconnexion : Les thermistances peuvent être facilement intégrées dans des circuits électroniques en raison de leur résistance électrique relativement basse.
- * Coût raisonnable : Les thermistances sont souvent plus abordables que les résistances de platine (RTD), ce qui peut en faire un choix économique pour certaines applications de mesure de température

2.5 Pyromètres optiques :

Les pyromètres optiques mesurent la température en détectant le rayonnement infrarouge émis par un objet. Ils sont utilisés pour mesurer la température de surface sans contact direct.

Les pyromètres utilisent des capteurs optiques sensibles à différentes longueurs d'onde infrarouge pour détecter le rayonnement thermique émis par l'objet.

En convertissant l'intensité du rayonnement infrarouge en une valeur de température à l'aide d'étalonnages et de modèles spécifiques, les pyromètres optiques permettent de mesurer la température des objets chauds, tels que les fours, les métaux en fusion, etc.



Figure1.6 pyromètre vue de profil

Figure1.7 pyromètre vue de face

Le processus de mesure se déroule généralement comme suit :

- Le pyromètre envoie un faisceau de lumière infrarouge vers l'objet dont la température doit être mesurée.
- L'objet absorbe une partie de cette lumière infrarouge et réfléchit le reste.
- Le capteur infrarouge du pyromètre mesure l'intensité du rayonnement infrarouge émis par l'objet.
- En utilisant cette intensité de rayonnement et en prenant en compte l'émissivité de l'objet (une propriété qui dépend du matériau et de la finition de surface), le pyromètre calcule la température de l'objet en fonction de la loi de Planck sur le rayonnement.

2.5.1 Les avantages du pyromètre optique

*Les pyromètres optiques offrent l'avantage significatif de mesurer la température des objets sans nécessiter de contact direct. Cette caractéristique les rend adaptés aux objets en mouvement, aux objets à haute température ou inaccessibles, ainsi qu'aux situations où le contact physique est indésirable.

* En effet, les pyromètres optiques se distinguent par leur temps de réponse extrêmement rapide, ce qui les rend adaptés aux applications nécessitant une mesure en temps réel des variations de température.

* Facilité d'utilisation : Ils sont relativement faciles à utiliser et ne nécessitent pas de contact avec l'objet mesuré. Cela les rend pratiques et sûrs à utiliser dans de nombreuses situations.

* les pyromètres optiques offrent une utilisation sans danger lors de la mesure de la température des objets. Ils permettent de mesurer la température sans contact physique, éliminant ainsi tout risque de contamination ou de dommage à l'objet mesuré

* Non intrusif : Les pyromètres optiques ne perturbent pas le processus ou l'objet mesuré, ce qui est particulièrement important dans les applications de recherche et de production.

2.5.2 Les inconvénients du pyromètre optique

* les pyromètres optiques sont sensibles à l'émissivité de la surface de l'objet mesuré. L'émissivité fait référence à la capacité d'un matériau à émettre un rayonnement infrarouge, qui est utilisé par les pyromètres optiques pour mesurer la température. Si l'émissivité n'est pas correctement prise en compte, cela peut entraîner des erreurs de mesure.

* la distance de mesure est un facteur important à prendre en compte lors de l'utilisation d'un pyromètre optique. La plupart des pyromètres optiques ont une plage de mesure spécifique qui doit être respecté

* l'atmosphère peut avoir un impact sur la précision des mesures effectuées par un pyromètre optique. Les gaz présents dans l'atmosphère, tels que la vapeur d'eau ou le dioxyde de carbone, peuvent absorber ou diffuser le rayonnement infrarouge émis par l'objet à mesurer

* Matériaux transparents : Les pyromètres optiques ne peuvent pas mesurer la température de matériaux transparents aux rayonnements infrarouges, tels que le verre ou le plastique.

* Coût initial : Les pyromètres optiques de haute qualité peuvent être coûteux à l'achat, en particulier

ceux conçus pour des applications très spécialisées.

2.5.3 La caméra thermique

Les caméras thermiques, également appelées caméras infrarouges ou caméras thermographiques, sont des dispositifs utilisés pour détecter, enregistrer et afficher les variations de température à travers une image visuelle. Elles fonctionnent en capturant le rayonnement infrarouge émis par les objets et en convertissant ces données en une image thermique où chaque pixel représente une température.



[6]

Figure 1.8 les différents type de cameras thermique FLIR

3. COMMENT BIEN CHOISIR LA METHODE DE MESURE

Comme précisé dernièrement il existe pleins de méthodes différentes de mesure donc le choix de la méthode de mesure dépendra de divers facteurs tels que :

3.1 La précision requise

Puisque que dans certains domaines des variations de températures subtiles peuvent avoir un grand impact sur les résultats. Celle-ci est très demandée dans certains domaines

3.2.1 Les différents industries

*l'industrie pharmaceutique et alimentaire afin de respecter les réglementations alimentaires

*l'industrie chimique : la précision est vitale lors des réactions chimiques puisque les écarts auront un effet sur la pureté des produits chimiques et la sécurité des installations et bien d'autres domaines

* Industrie pétrolière et gazière : Les installations pétrolières et gazières utilisent des mesures de température pour surveiller et contrôler les processus de raffinage, de forage et de production.

* Industrie électronique : Les composants électroniques sont sensibles à la température, et les mesures précises sont nécessaires pour le refroidissement, la soudure et le contrôle de la température ambiante dans la fabrication électronique

* Industrie automobile : Les mesures de température sont utilisées dans la fabrication automobile pour le traitement thermique des pièces, la gestion thermique des moteurs et la surveillance des performances.

* Industrie de la recherche : La recherche scientifique et l'analyse de laboratoire nécessitent des mesures de température pour de nombreuses applications, y compris la recherche fondamentale, la recherche biomédicale et la recherche environnementale.

3.2 La plage de température :

Chaque instrument de mesure de température a sa propre plage de température qui dépend dans quoi va-t-on l'utiliser par exemple :

3.2.1 Thermomètres à liquide : Les thermomètres à liquide, tels que les thermomètres à mercure ou à alcool, peuvent généralement mesurer des températures dans la plage de -40 °C à 500 °C

3.2.2 Thermocouples : Les thermocouples sont disponibles dans une large gamme de types, chacun ayant des plages de température spécifiques. Certains thermocouples couramment utilisés et leurs plages de température typiques sont les suivants :

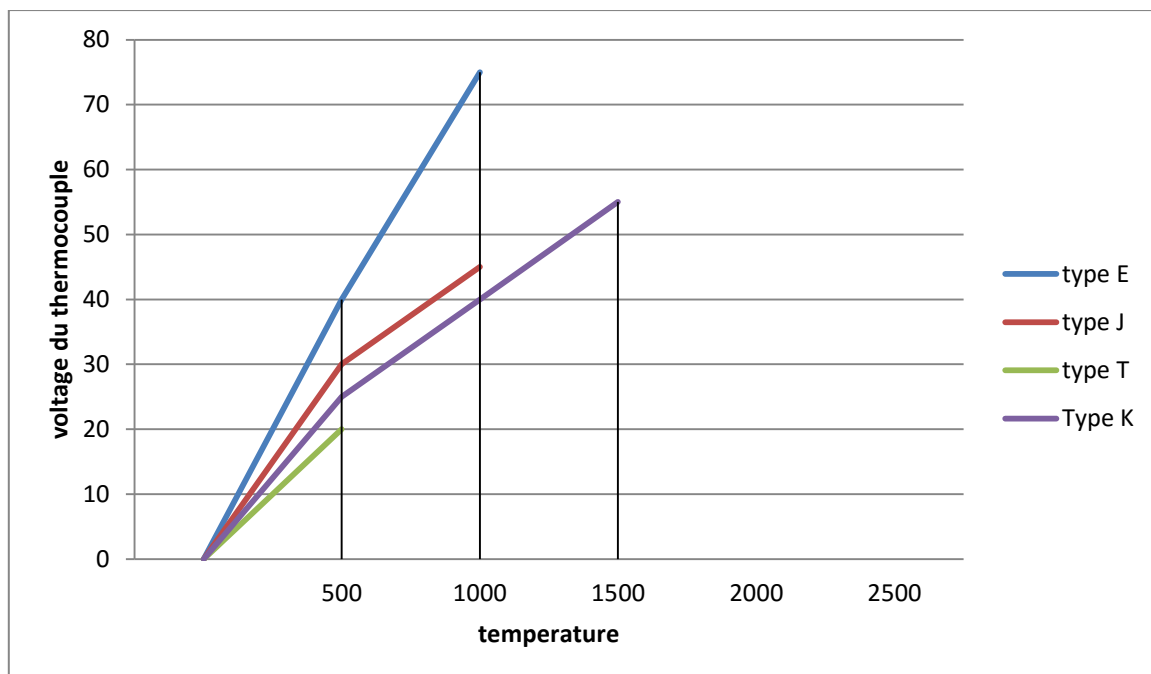
[7]

Type K : -200 °C à 1350 °C

Type J : -210 °C à 1200 °C

Type T : -200 °C à 400 °C

Type E : -200 °C à 900 °C



graph2 les différentes plages de température de thermocouple

3.2.3 Thermistances :

Les thermistances sont des capteurs de température qui utilisent la variation de la résistance électrique avec la température. Les thermistances peuvent mesurer des températures dans une plage de -100 °C à 300 °C, selon le type de thermistance utilisé.

3.2.4 Résistances de platine (RTD) : Les RTD, qui utilisent la résistance électrique d'un fil de platine pour mesurer la température, peuvent fonctionner dans des plages de température plus larges et offrir une meilleure précision. La plage de température typique des RTD à platine est de -200 °C à 850 °C

3.3 La vitesse de mesure

Il est important de noter que la vitesse de mesure peut dépendre des conditions environnementales et des spécifications du dispositif utilisé. Certains thermomètres peuvent nécessiter un temps de stabilisation avant de fournir une lecture précise. Dans certains cas, la vitesse de mesure peut être ajustée en fonction des besoins spécifiques de l'application.

Voici quelques exemples de certains dispositifs de mesure de température selon la vitesse de mesure

3.3.1 Thermomètre à mercure : Les thermomètres traditionnels à mercure peuvent prendre quelques minutes pour afficher une lecture précise. La vitesse de mesure est relativement lente, mais elle est souvent considérée comme fiable.

3.3.2 Thermomètre numérique : Les thermomètres numériques modernes sont généralement plus rapides que les thermomètres à mercure. Ils peuvent fournir une lecture précise en quelques secondes, voire moins.

3.3.3 Thermocouple : Les thermocouples sont des capteurs de température couramment utilisés dans les applications industrielles. Ils sont connus pour leur temps de réponse rapide et peuvent fournir des mesures presque instantanées.

3.3.4 Pyromètre infrarouge : Les pyromètres infrarouges mesurent la température sans contact en détectant le rayonnement infrarouge émis par un objet. Ils sont capables de fournir des mesures très rapides, en quelques millisecondes.

4. Conclusion

En conclusion ce chapitre nous a éclaircis sur les méthodes de mesures en passant par la découverte de différents types de mesure qui peuvent exister grâce à une recherche assez approfondi sur ce sujet.

En approfondissant notre connaissance sur les méthodes de mesure il est nécessaire de souligner la bonne utilisation des différentes méthodes de mesure thermique en dépendant de plusieurs paramètres mais aussi la bonne utilisation de ces derniers pour le but d'avoir une meilleure lecture et ainsi de résultats plus précis et une recherche bien mené .

De plus ce chapitre a aussi comporté les différents points positifs et négatifs de chaque méthode de mesure thermique, optimisant ainsi la bonne utilisation de chaque outil selon le but recherché et aussi le domaine d'utilisation de l'outil de mesure

Dans l'ensemble ce chapitre nous aura permis d'acquérir des nouvelles informations sur tous types de méthodes de mesure thermique ainsi que la bonne méthode du choix de l'outil et ce qui nous résume une assez bonne compréhension générale des méthodes de mesure de température

Chapitre II

Présentation de la caméra thermique

FLIR T440

1.Introduction

Parmi les différents équipements de mesure disponible à la faculté de technologie de l'université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen il est à notre disposition la caméra thermique FLIR T440

Ce chapitre propose une définition et une bonne prise en main de cet appareil et surtout comprendre le bon fonctionnement pour permettre aux futurs utilisateurs une compréhension complète de ces capacités.

Tout au long de ce chapitre nous aurons une compréhension de la méthode de fonctionnement de l'appareil de mesure de température infrarouge représenté par la caméra thermique par mesure infrarouge

De plus, ce chapitre constitue une ressource précieuse pour les futurs chercheurs et praticiens de l'ingénierie qui souhaitent explorer des domaines d'étude similaires. L'aperçu détaillé des fonctionnalités de l'équipement facilitera une prise de décision éclairée lors de la sélection des outils appropriés pour leurs efforts de recherche. De plus, il fournit une plate-forme pour des collaborations potentielles et l'échange de connaissances entre les chercheurs intéressés par les essais de matériaux et l'analyse thermique.

2. A propos de la compagnie FLIR

FLIR est une compagnie américaine, son siège fondé à Wilson ville dans les Etats Unis d'Amérique elle est spécialisé dans la conception des camera et capteurs thermique anciennement appelé flir systems inc elle est maintenant nommé teledyne flir llc puisqu'elle a été racheté par teledyne technologies en 2021.

En 2017 elle a été subventionnée par Google pour s'associer à l'organisation wwf pour leur fournir des caméras thermiques et des drones thermiques qui ont été distribué dans plusieurs pays d'Afrique afin de lutter contre le braconnage

En 2022 c'est la NASA qui rentre en scène avec tedelyne flir puisqu'elle acquit leur camera pour fabriquer un bouclier thermique

[8]



Figure 1.9 logo teledyne tech.

3. Composants de la caméra thermique FLIR T440

Voici un aperçu général de la valise de la caméra thermique



Figure 2.10 valise de la camera Flir T440



Figure 2.11 valise ouverte de la camera Flir T440

Dans l'image ci-dessous se trouve les différents composants de la caméra thermique



Figure 2.12 composants de la caméra thermique

(1) Et (2) : on a des batteries en lithium-ion rechargeables qui seront insérées dans notre appareil et qui viendront l'alimenter, pièces indispensables au bon fonctionnement de cette dernière avec une autonomie d'approximativement 4 heures et un temps de rechargement de 0 à 90% en 4 heures

(3) : la caméra thermique, pièce maitresse du dispositif, c'est elle qui nous permettra de mesurer la température de plusieurs corps qui peut mesurer jusqu'à 1200°C avec une résolution de 320 x 240 pixels

(4) : câble vidéo en prise jack, pour transmettre le signal vidéo vers une source d'émission comme par exemple une télévision

(5) : secteur pour charger les batteries en lithium-ion sans fil juste en les posant sur le secteur

(6) : source d'alimentation électriques avec plusieurs sorties, pour alimenter le chargeur de batteries

(7) : câbles USB, pour transmettre le signal vidéo avec un émetteur de source USB

(8) : banderole, pour pouvoir attacher la caméra thermique autour du coup pour une meilleure prise

(9) : AC adaptateur 100-260v pour charger la caméra thermique ou charger la charger les batteries en lithium-ion sans passer par le chargeur sans fil

3.1 Détails de la caméra thermique FLIR T440 :

C'est un appareil très sophistiqué et très développé qui contient énormément de spécificité.

C'est un appareil conçu qui peut mesurer jusqu'à 1200 degrés Celsius et un zoom qui peut atteindre jusqu'à 8x et une résolution de 320x240 pixels, de plus elle a une fréquence d'image de 60 Hz, elle a la fonctionnalité de pouvoir afficher un graphe de température live dans la photo actuelle, ce qui aide à mieux reconnaître les corps dans l'environnement



Figure 13 aperçu de la caméra en mode éteinte

Aperçu de l'écran de la caméra thermique en marche :

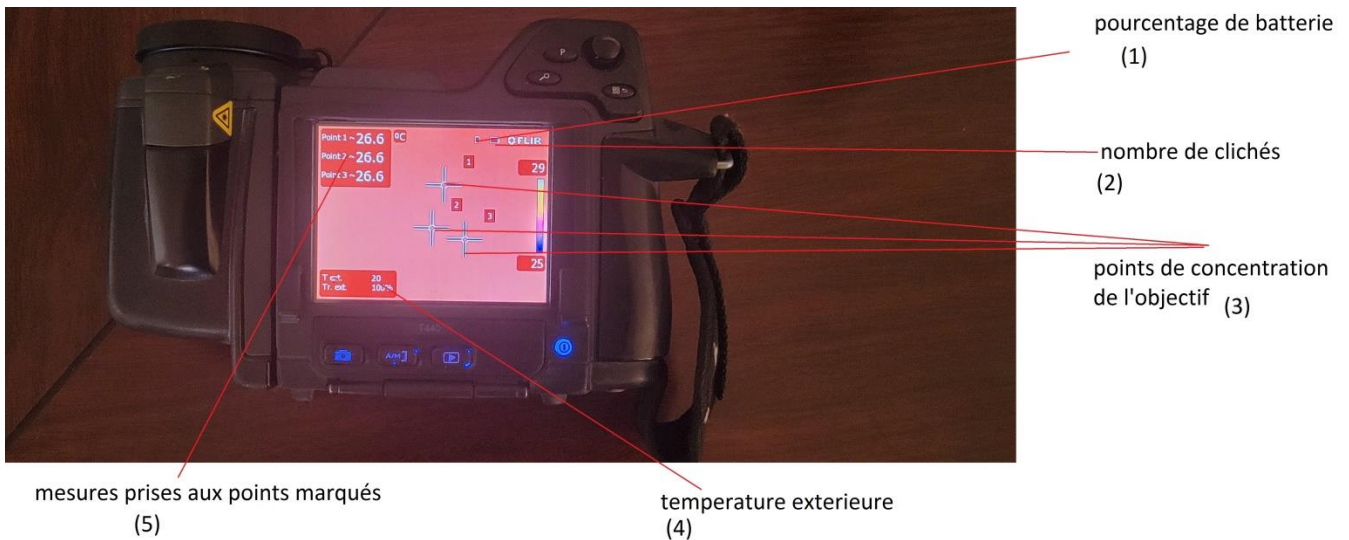


Figure 2.14 aperçu de la camera allumée

(1) : indication du pourcentage de batterie restante avec indicateur de batterie faible en clignotement

(2) : nombre de clichés réalisés avec possibilité de retour aux anciennes photos pour comparer différents résultats

(3) : point de concentration de l'objectif réglable depuis l'écran tactile puisque l'utilisateur peut choisir manuellement plusieurs points pour que l'objectif vienne se concentrer sur ces derniers afin de mesurer la température à leurs niveaux

(4) : indicateur de la température extérieure pour avoir pris connaissance de la température de l'environnement en temps réel

(5) : les mesures de températures des points choisis précédemment en (3) en ° c

3.2 Découvertes de diverses fonctionnalités de l'outil de mesure de température :

3.2.1 Les modes de l'appareil :

Elle contient trois modes comme indiqué sur la photo qui suit

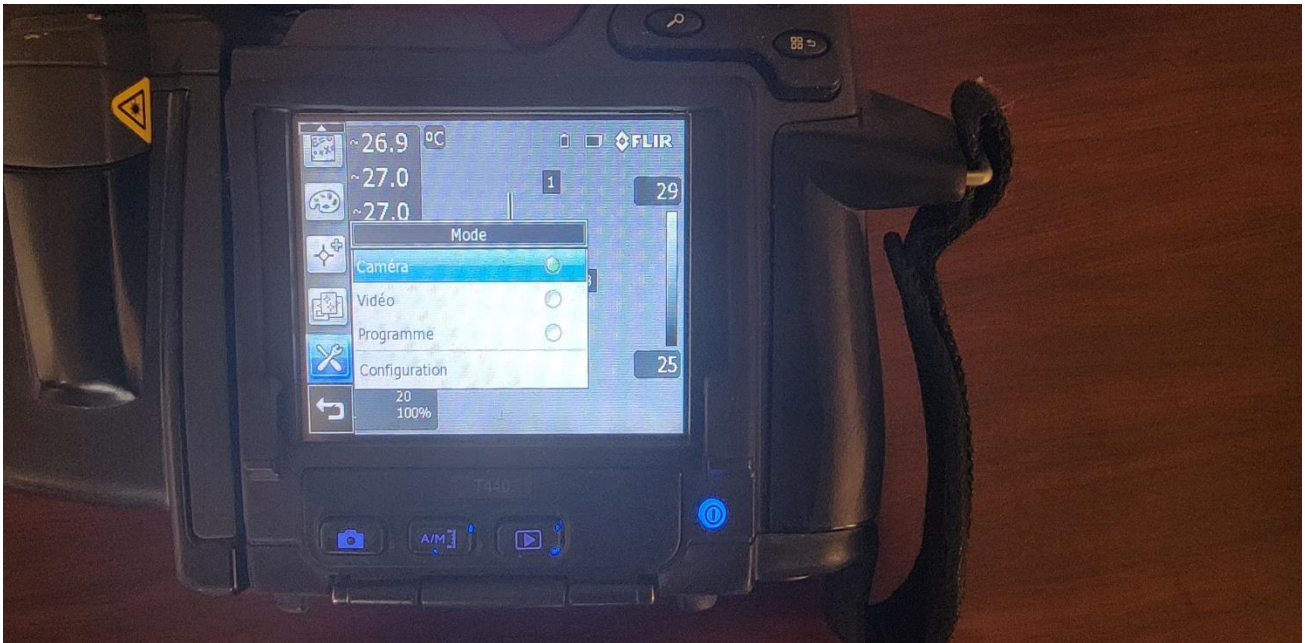


Figure 2.15 les différents modes de mesures

-le mode caméra : c'est le mode où on a accès à une simple photo prête à être prise lorsqu'on veut mesurer la température à une période de temps bien précise

-le mode vidéo : c'est le mode où on peut prendre une vidéo d'une certaine durée, très pratique lorsqu'on veut mesurer la température sous un intervalle de temps où on peut prendre des mesures à des moments différents

- le mode programme : c'est un mode qui permet d'enregistrer des images à intervalles différentes puisque la sélection de temps entre image sera sélectionné sur le pavé tactile et la condition d'arrêt peut être faite soit manuellement par un toucher tactile indiquant l'arrêt de prise d'images ou en présélectionnant le nombre d'image souhaitons capturer ou saisir la durée de prise totale et l'arrêt viendra se déclencher automatiquement à la fin du temps.

3.2.2 Les préréglages

Cet appareil est doté de plusieurs préréglages pour la mesure de température comme indiqué dans l'illustration ci-dessous :

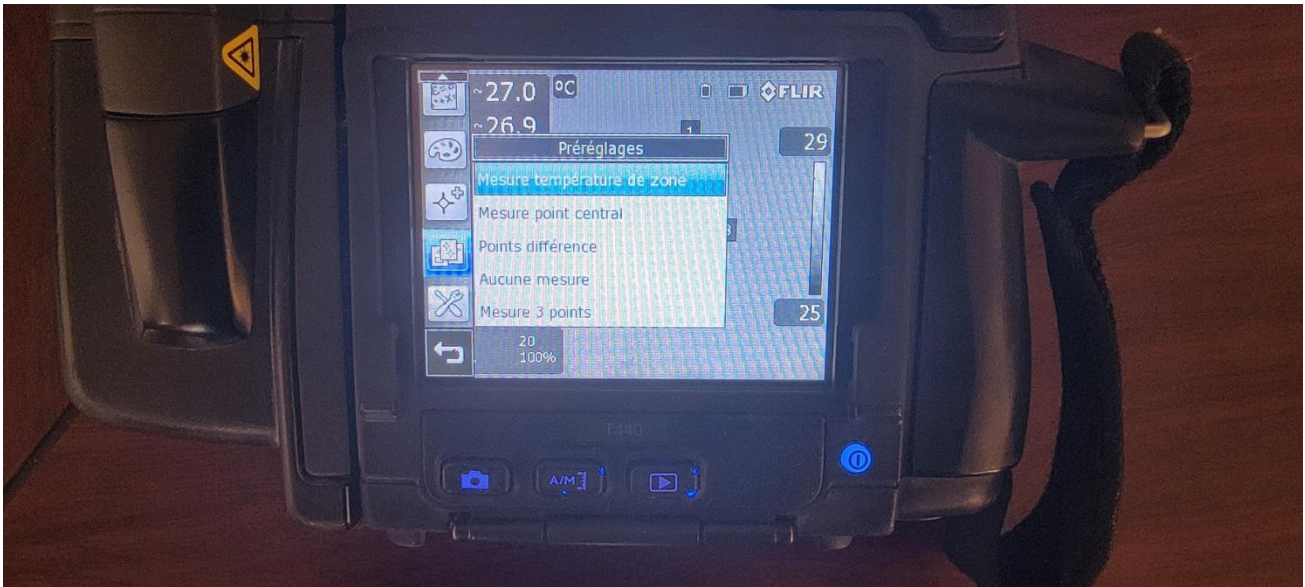


Figure 2.16 les préréglages de la caméra thermique

a- le préréglage mesure de température de zone : ce mode est activé lorsqu'on désire mesurer la température d'une zone, elle capture les images thermiques d'une zone en utilisant des détecteurs infrarouges sensibles à la chaleur. Elle peut fournir une représentation visuelle de la distribution de température d'une zone.

b- le préréglage de mesure point central permet d'obtenir une mesure précise de la température à un endroit spécifique en un seul point central d'un objet au lieu de mesurer la température sur toute la surface ou dans toute la zone.

c- le préréglage points différence consiste à mesurer la différence de température entre deux points spécifiques plutôt que de mesurer directement la température absolue à un seul point, c'est une méthode utilisée pour évaluer les variations de température entre deux points d'intérêt et pour surveiller les écarts de température plutôt que les valeurs absolues.

D le préréglage aucune ne mesure lorsque les mesures de référence sont indisponibles pour calibrer

une caméra thermique, nous pouvons utiliser une méthode de pré-réglage ou de réglage empirique pour obtenir des résultats approximatifs.

e- le pré-réglage 3 points consiste à relever la mesure de température selon 3 points différents dans une zone ou même dans un seul corps pour pouvoir ensuite obtenir plusieurs températures en une seule analyse.

C'est un mode où l'on peut choisir plusieurs points de mesure en même temps comme expliqué précédemment, ceci dit le choix varie entre plusieurs concentrations :



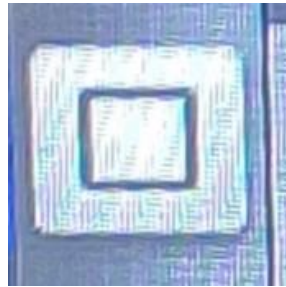
Figure2.17 point de concentration de mesure

a- la concentration en points : utile pour la mesure en points, on viendra choisir ce mode en cliquant sur ce signe sur l'écran tactile



Qui suivra après la clique sur ce symbole le choix de la concentration des points sur l'écran tactile en glissant les points sur la surface désiré

b- la concentration en carrée qui permet de mesurer la température sur plusieurs petites surfaces d'une zone ou d'un solide, puisque le glissement des petits carrées viendra après le choix de la concentration en carrée en choisissant ce symbole sur l'écran tactile



c- la concentration en ligne qui permet de faire des mesures de température rectiligne puisqu'elle nous permet de choisir des lignes depuis l'écran tactile sur la zone capturée depuis l'objectif selon notre choix en choisissant ce symbole



3.2.4 Les paramètres de la caméra thermique

C'est un outil de mesure qui comprend énormément de réglage nécessaire à la bonne opération de mesure et pour avoir des résultats précis. On peut accéder aux paramètres de la caméra tactile avec un double appui sur l'écran tactile, suivra l'obtention d'une interface similaire à l'image qui suit :

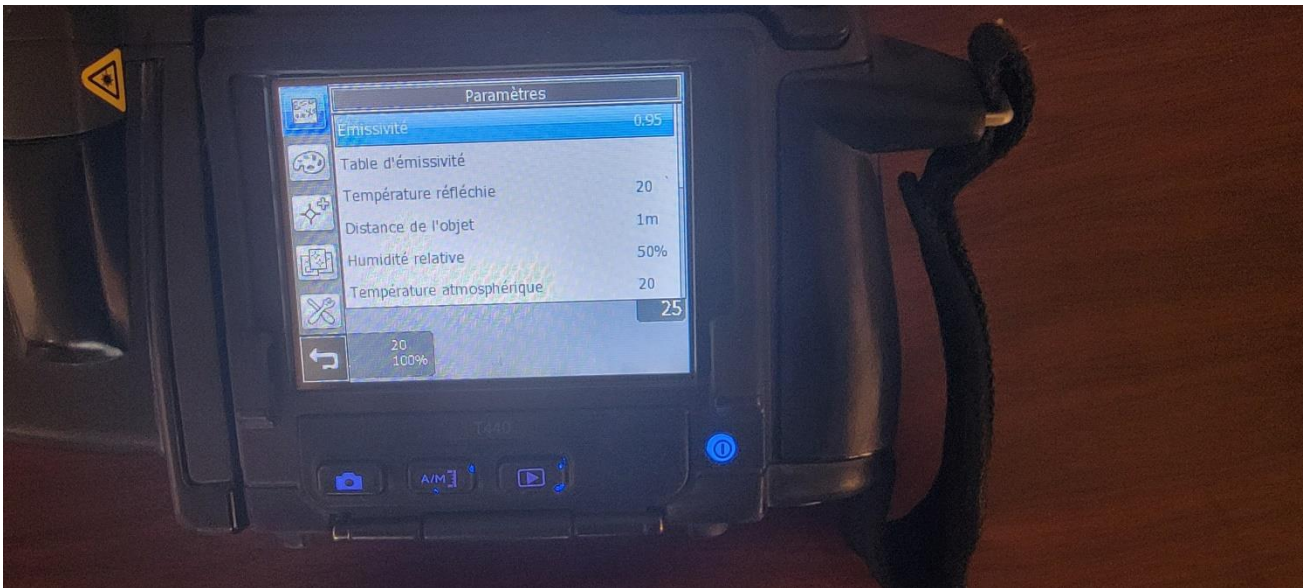


Figure 2.18 les paramètres de la caméra thermique

3.2.4.1 L'émissivité

C'est le premier paramètre sur la liste de l'appareil puisque c'est un paramètre primordial à la bonne mesure de température.

L'émissivité est une propriété physique d'un matériau qui décrit sa capacité à émettre et à absorber le rayonnement thermique. Plus précisément, l'émissivité d'un matériau est la mesure de sa capacité à émettre un rayonnement thermique par rapport à un corps noir parfait, qui est considéré comme ayant une émissivité de 1.0.

L'émissivité dépend des propriétés optiques et de surface du matériau. Les matériaux qui sont sombres, rugueux ou opaques ont généralement une émissivité élevée, ce qui signifie qu'ils émettent efficacement le rayonnement thermique. Elle joue un rôle important dans la mesure de température puisqu'elle va convertir le rayonnement thermique détecté en une estimation précise de la température de surface d'un objet. [9]

Après le choix du paramètre émissivité le choix de cette dernière se fait grâce à l'écran tactile en choisissant la bonne valeur selon le matériau utilisé, Utilisez les valeurs d'émissivité recommandées

pour le matériau que vous mesurez ou référez-vous à des tables d'émissivité pour les matériaux courants.

Il est important de confirmer le choix du nombre d'émissivité choisi avant de quitter ce réglage.

3.2.4.2 table d'émissivité

En sélectionnant cette table nous aurons un tableau contenant plusieurs matériaux et leurs émissivités

graph 2.3 tableau d'émissivité

<u>Matériaux</u>	<u>Emissivité</u>
Aluminium brut	0.07
Aluminium patiné	0.83
Brique	0.83
Carbone	0.95
Béton	0.95
Cuivre oxydé	0.78
Cuivre poli	0.05
Verre	0.97
Fer, fonte	0.64
Fer rouille	0.69
Bois de chêne	0.90
Huile épaisse	0.82
Papier blanc	0.70
Plâtre	0.86
Peau humaine	0.98
Acier inox poli	0.16
Acier oxydé	0.79
Acier poli	0.07
Caoutchouc, noir	0.95
Eau distillée	0.96
Eau gelée	0.98

3.2.4.3 température réfléchie

Dans une caméra thermique, la température réfléchie fait référence à la température mesurée par la caméra à partir du rayonnement thermique réfléchi par une surface. Lorsque la caméra thermique détecte le rayonnement thermique provenant d'un objet, une partie de ce rayonnement peut être réfléchi par la surface de l'objet plutôt que d'être émise directement par l'objet lui-même. Cette température réfléchie peut être différente de la température réelle de l'objet.

Lors de la mesure de la température d'une surface réfléchissante à l'aide d'une caméra thermique, il est important de prendre en compte la réflectivité de la surface. Les surfaces réfléchissantes peuvent refléter les rayons provenant d'autres objets environnants, y compris la chaleur ambiante, ce qui peut entraîner des mesures de température inexactes.

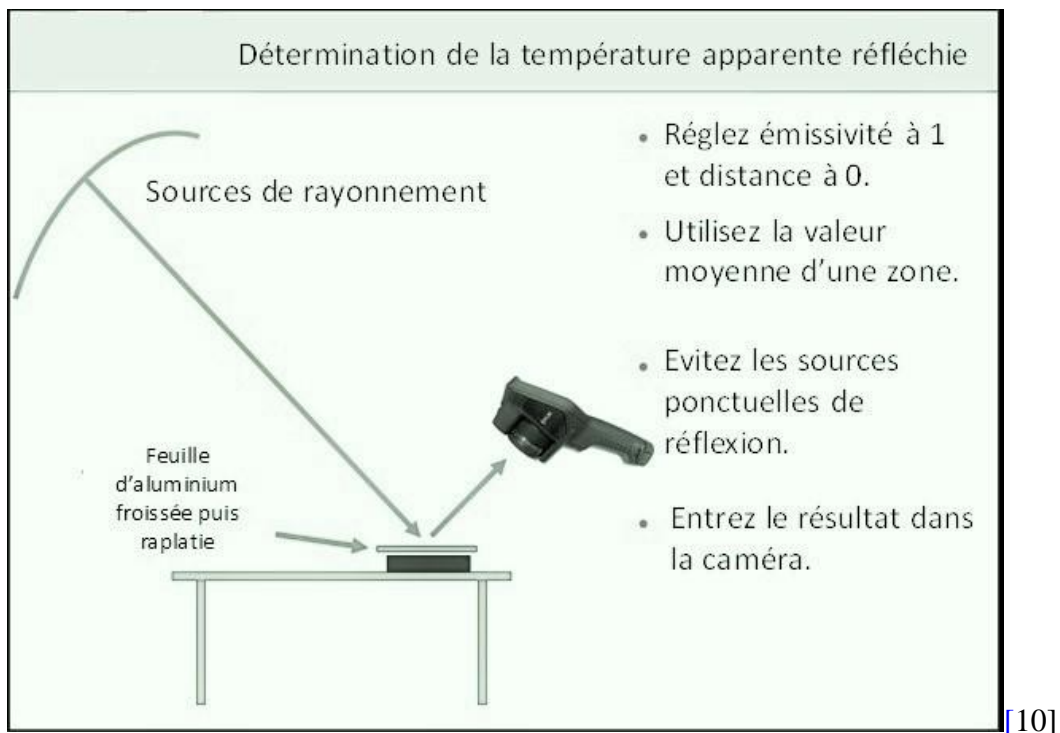
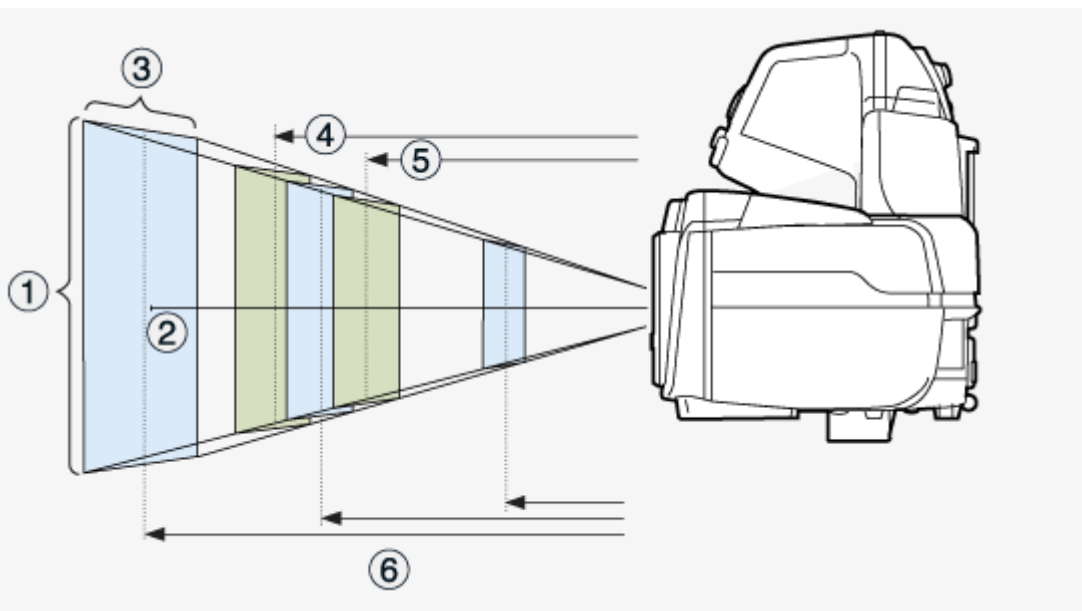


Figure 2.19 détermination de la température réfléchie

3.2.4.4 la distance de l'objet

La distance optimale pour mesurer la température d'un objet avec une caméra thermique dépend de plusieurs facteurs, notamment le modèle de la caméra, la taille de l'objet, l'émissivité de sa surface, la précision requise et l'application spécifique.

Depuis la brochure « FLIR data base » nous pouvons remarquer certaines données notamment la FOV (Field of view) qui veut dire champs de vision, qui est calculable sur le site de TELEDYNE FLIR en choisissant le modèle p/n :62103-1302 FLIR T440 nous aurons un champ de vision de 25°x19° ce qui équivalent à un SSR 36 :1 ce qui veut dire que l'on peut mesurer un objet d'une taille de 1 mètre a une distance de 36 mètres



[11]

Figure 2.20 comment calculer la distance de mesure

graph 2.4 montrant les differents facteur de calcul de distance

Numéro du composant	Désignation
1	Champ de vision vertical(vfov)
2	Champ de vision instantané(IFOV)
3	Champ de vision horizontal(hfov)
4	Profondeur de fond loine de limite (dof far)
5	Profondeur de fond proche de limite(dof near)
6	Distance de l'objet

3.2.4.5 Humidité relative

L'humidité relative de l'air peut avoir un impact sur les mesures infrarouges de la température, en particulier lorsque les objets à mesurer sont soumis à des variations d'humidité. Voici comment l'humidité relative peut influencer les mesures infrarouges de la température :

*Absorption du rayonnement infrarouge : L'eau présente dans l'air a la capacité d'absorber certains rayonnements infrarouges. Plus l'humidité relative de l'air est élevée, plus il y a d'eau dans l'atmosphère pour absorber le rayonnement infrarouge. Cela peut entraîner une diminution de la quantité de rayonnement infrarouge atteignant la caméra thermique, ce qui peut potentiellement affecter la précision des mesures.

*Émissivité modifiée : L'humidité de l'air peut influencer l'émissivité effective de la surface des objets. Lorsque l'humidité relative est élevée, l'eau condensée ou l'humidité de l'air peuvent modifier la façon dont la surface de l'objet émet le rayonnement infrarouge. Cela peut entraîner des variations dans la mesure de la température de surface.

*Refroidissement par évaporation : Lorsqu'un objet chaud est exposé à de l'air humide, l'humidité peut s'évaporer de la surface de l'objet, ce qui peut entraîner un refroidissement de la surface. Cela peut rendre difficile la mesure précise de la température de surface, car la caméra thermique peut détecter la température plus basse due à l'évaporation de l'eau.

Le meilleur moyen reste de bien mesurer l'humidité relative grâce à un hygromètre (c'est un petit appareil qui nous permet de mesurer l'humidité de l'air) et ensuite entrer cette valeurs sur la caméra thermique en % (de 0 à 100%) [12]



Figure 2.21 un hygromètre numérique

Figure 2.22 illustration d'un Hygromètre

[13]

3.2.4.6 La température atmosphérique :

La température atmosphérique environnante peut influencer les mesures effectuées par une caméra thermique, en particulier lorsque vous mesurez des objets à distance ou dans des conditions environnementales variables. Voici comment la température atmosphérique peut affecter les mesures thermographiques :

*Effet de la température ambiante : La température ambiante de l'air environnant peut influencer la mesure de la température d'un objet. Par exemple, si la température ambiante est très froide, cela peut entraîner un refroidissement de l'objet mesuré, ce qui peut se traduire par une température de surface plus basse détectée par la caméra thermique. À l'inverse, une température ambiante élevée peut provoquer une élévation de la température de surface de l'objet.

*Réfraction de la chaleur : Les variations de la température atmosphérique peuvent provoquer des phénomènes de réfraction de la chaleur, ce qui peut dévier les rayonnements infrarouges émis par les objets avant qu'ils n'atteignent la caméra thermique. Cela peut potentiellement affecter la précision des mesures à longue distance.

*Calibration : Les caméras thermiques modernes permettent souvent de compenser les variations de la température ambiante en ajustant les paramètres de mesure. La calibration est essentielle pour garantir des mesures précises

4. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté une revue de l'équipement disponible au niveau des laboratoires pédagogiques de la faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaïd-Tlemcen. En offrant un aperçu complet des fonctions et des modes opératoires de l'équipement, ce chapitre a effectivement introduit l'outil utilisé dans l'étude expérimentale et fourni une compréhension claire de sa capacité notamment de la caméra thermique FLIR T440.

Ce chapitre constitue une ressource précieuse pour les futurs chercheurs de l'ingénierie intéressés par des domaines d'étude similaires et tout ce qui concerne la thermographie. La vue d'ensemble complète des fonctions de l'équipement facilite une prise de décision éclairée lors de la sélection de cet outil pour les recherches à venir, puisqu'un précieux temps sera économisé lors de la prochaine utilisation de cet outil en consultant ce chapitre et en assimilant rapidement la bonne prise en main de la caméra thermique.

Les connaissances acquises dans ce chapitre seront déterminantes pour guider l'étude expérimentale ultérieure sur la thermographie. En tirant parti des capacités de l'équipement introduit, l'objectif est d'approfondir les connaissances sur le domaine l'analyse thermique et la thermographie pour pouvoir donner les bases aux futurs chercheurs sur la thermographie pour mieux découvrir cette science et aussi pour faire Intégrer ces équipements à l'avenir dans des Tps,

Chapitre III

Le Banc d'essai

3.1 Introduction

Ce chapitre présente une étude expérimentale portant sur l'analyse thermique, en s'appuyant sur l'équipement présenté dans le chapitre précédent, l'étude vise à mettre l'équipement en marche et l'utiliser pour obtenir des données expérimentales sur les comportements thermiques sur divers plaques de matériaux différents et de dimensions différentes.

L'outil de mesure utilisé sera la caméra thermique FLIR T440 en utilisant les données recherchées au cours du chapitre précédent pour pouvoir les mettre en œuvre.

Ce chapitre présente les résultats et l'analyse dérivés de l'étude expérimentale, en soulignant les idées et les conclusions tirées des données collectées.

Nous allons analyser le comportement de propagation de chaleur à travers des plaques en tôle grâce à des outils de mesure de température de dimensions similaires et d'épaisseurs différentes

3.2 Découverte du banc d'essai

Le banc d'essai réalise comme indique sur la figure est compose de

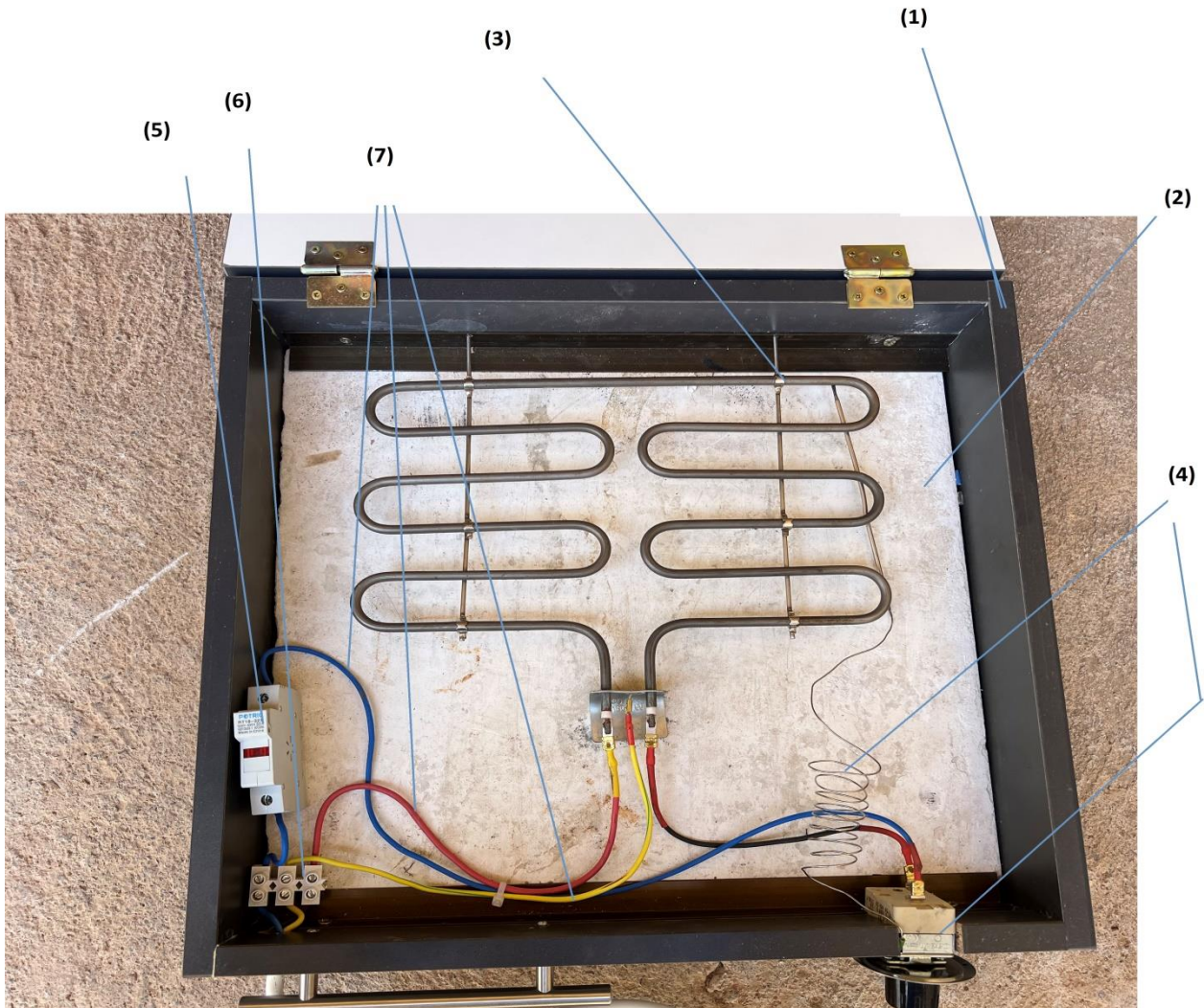


Figure 3.23 les différents composants du banc d'essai

(1) La contenant du banc d'essai : une valise fabriqué en mélaminé contenant le banc d'essai

Ce matériau a été choisi pour plusieurs raisons :

- Sa durabilité : c'est un matériau qui est reconnu pour sa résistance aux manipulations quotidiennes
- Son coût : c'est un matériau relativement abordable avec un excellent rapport qualité-prix
- sa légèreté : c'est un matériau qui ne pèse pas lourd et donc facilement transportable et utile

pour l'utilisation quotidienne.



Figure 3.24 le contenant du banc d'essai

(2) Une dalle réfractaire : pour optimiser les résultats de notre étude expérimentale il faut minimiser les pertes de chaleur ainsi réduire les échanges avec le milieu extérieur, c'est pourquoi l'utilisation de cette dalle réfractaire est très avantageux puisque son rôle est de garder la chaleur vers la face supérieur et va éviter que la chaleur se dissipe.

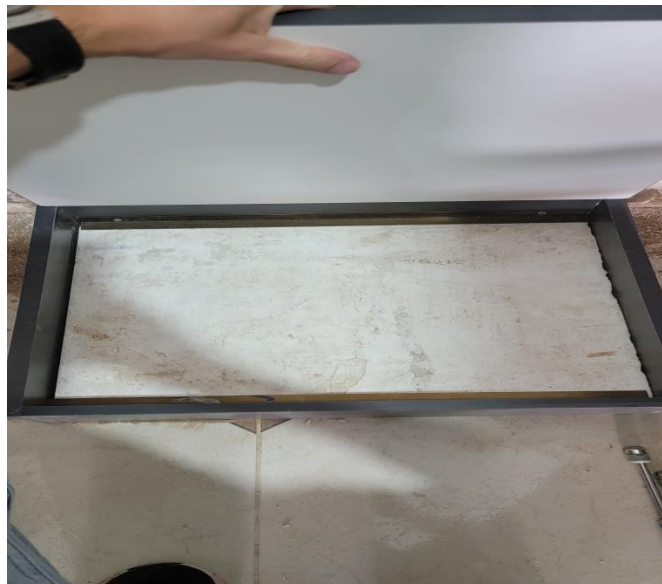


Figure 3.25 la dalle réfractaire du banc d'essai

- (3) Une résistance serpentine : La résistance chauffante est un dispositif qui transforme l'énergie électrique en chaleur, permettant ainsi le transfert de chaleur par convection, conduction ou rayonnement, par le biais d'un câble thermocouple.



Figure 3.26 la résistance chauffante en forme serpentin

- (4) Un thermocouple : c'est le dispositif utilisé pour mesurer la température en exploitant le principe de l'effet thermoélectrique.

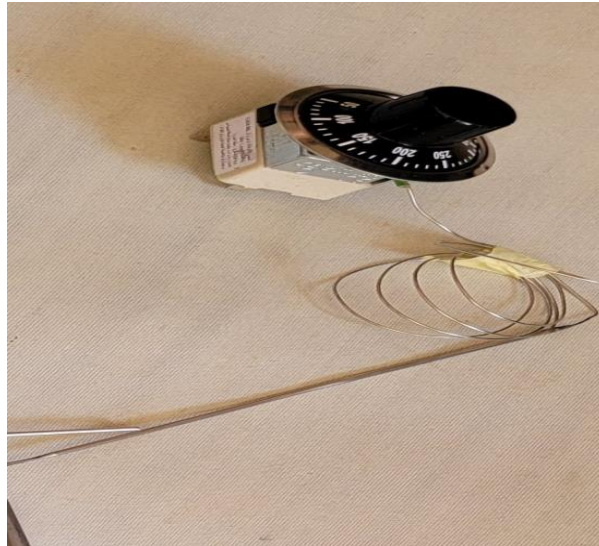


Figure 27 le thermocouple utilisé dans le banc d'essai

(5) Porte fusible : Un porte-fusible est un dispositif électrique utilisé pour loger et protéger un fusible électrique. Les fusibles sont des composants de sécurité qui sont conçus pour protéger les circuits électriques contre les surcharges de courant en fondant ou en coupant le circuit lorsque le courant dépasse une valeur prédéterminée.



Figure 3.28 le porte fusible

[13]

(6) Le domino électrique : Un domino électrique, également connu sous le nom de bloc de jonction ou de borne de raccordement, est un dispositif utilisé en électricité pour connecter proprement et de manière sécurisée plusieurs fils électriques ou conducteurs. Ils sont

largement utilisés dans les installations électriques pour relier les câbles électriques de manière efficace, fiable et sans exposition des conducteurs nus.

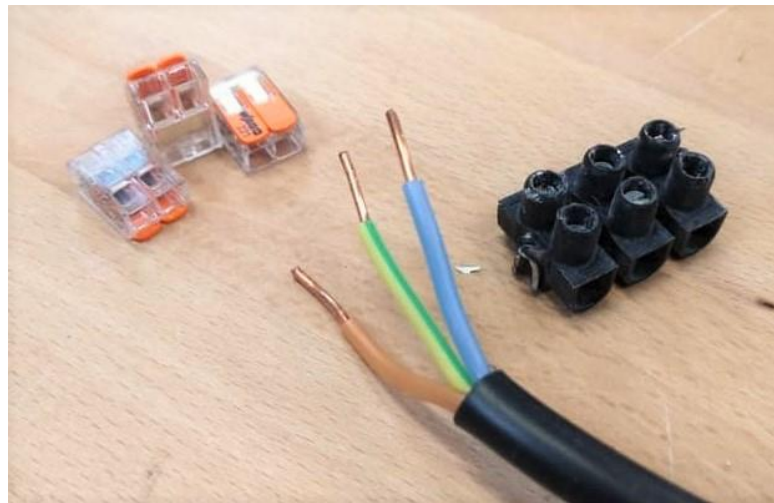


Figure 3.29 le domino électrique

(7) Fil de câblage électrique : Les fils de câblage électrique sont des conducteurs électriques utilisés pour établir des connexions électriques dans les installations électriques. Ils sont fabriqués à partir de divers matériaux et sont classés en fonction de leur capacité à transporter différents niveaux de courant électrique.

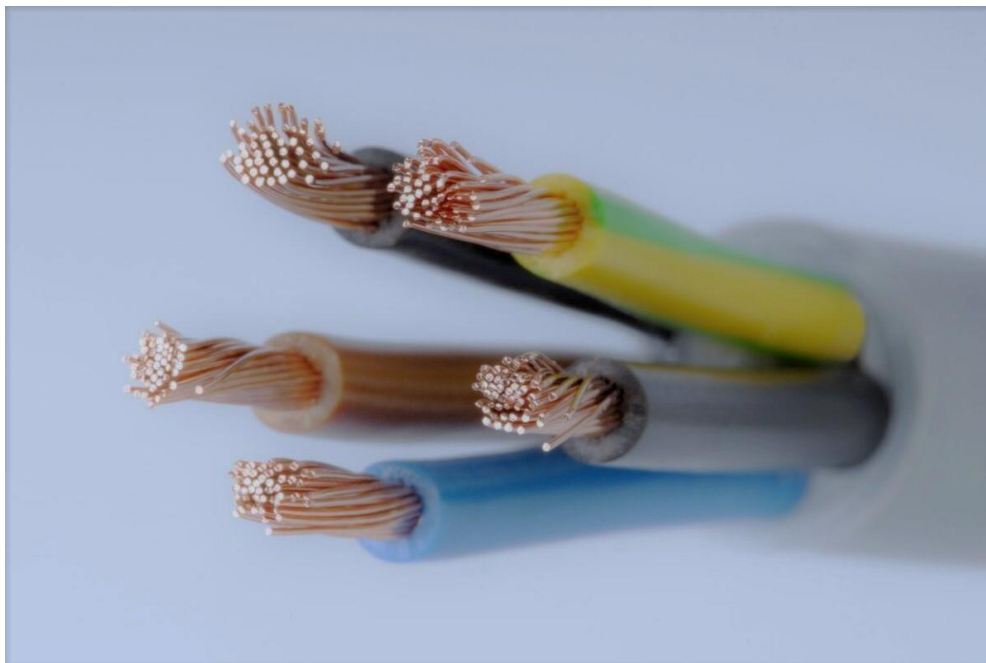


Figure 3.30 câblage électrique utilisés dans le banc d'essai

(8) Des plaques en tôle de mêmes dimensions mais de différentes épaisseurs :

On a 3 plaques de tôle



Figure 3.31 les plaques de tôle utilisés dans l'expérience

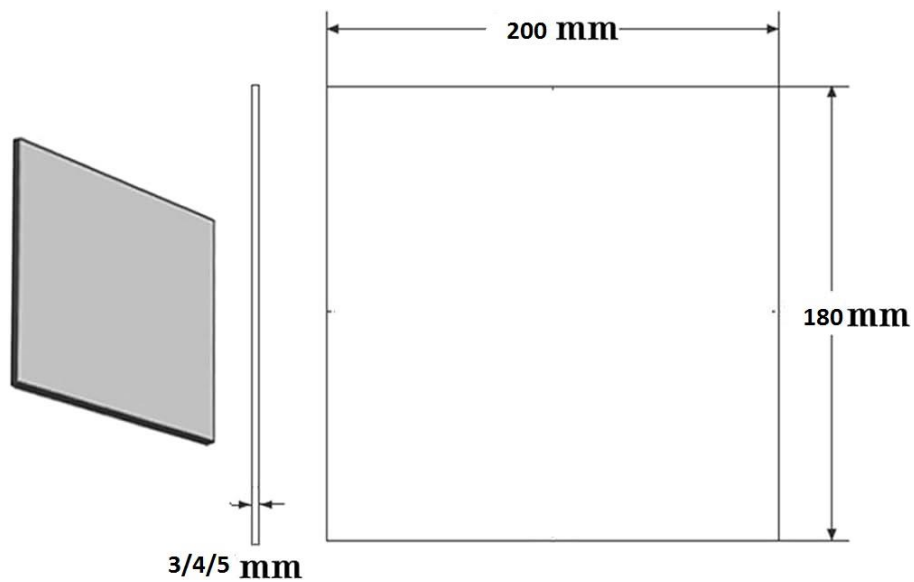


Figure 3.32 illustration des dimensions des plaques de tôle utilisée

$L = 200 \text{ mm}$

L : longueur

$l = 180 \text{ mm}$

l : largeur

$e = 3 - 4 - 5 \text{ mm}$

e : épaisseur

3.3 Etalonnage du thermomètre infrarouge

Dans un premier temps nous allons nous servir du thermomètre infrarouge pour sa facilité d'utilisation et sa rapidité, mais avant de faire, il faut bien s'assurer de bien étalonner son outil de mesure en l'occurrence ici nous allons faire l'étalonnage grâce à un phénomène physique qui est l'ébullition d'eau, puisque l'on sait que la température d'ébullition d'eau est de 100°C



Figure 3.33 température mesuré pour l'étalonnage

Figure 3.34 illustration de l'ébullition de l'eau

3.4 Travaux expérimentaux et résultats

Nous allons suivre la propagation thermique à l'aide de la caméra infrarouge sur la plaque de tôle selon (5) points : a-b-c-d-e comme indique sur la figure

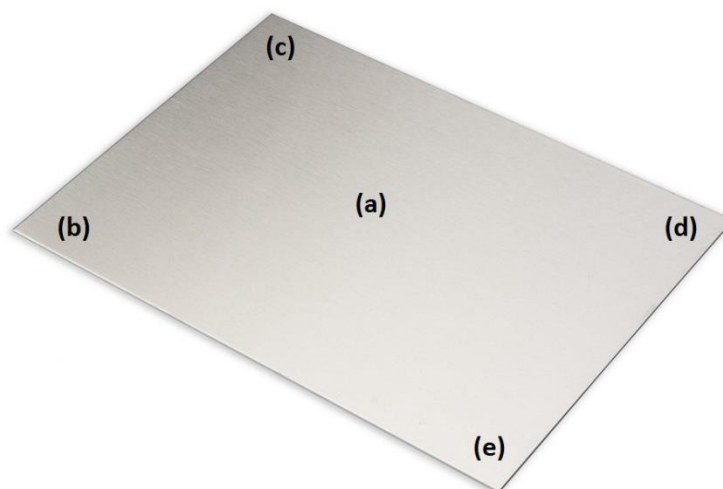


Figure 3.35 illustrations des points de mesure

3.4.1 Première plaque

Pour la première manipulation nous allons chauffer une plaque de tôle de dimensions 200mmx180mmx3mm

3.4.1.1 première manipulation

On reste sur une température au thermocouple constante en variant le temps

- Le thermocouple réglé sur 120°C à t= 60s

Tableau 3.5 tableau de rapport T/t à 120°C à 60s

Les points	La température
(a)	63.2°C
(b)	62.1°C
(c)	63°C
(d)	59.4°C
(e)	59.2°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C à t= 180s

graph 3.6 tableau de rapport T/t à 120° à 180s

Les points	La température
(a)	82.6°C
(b)	91.8°C
(c)	90.5°C
(d)	89.7°C
(e)	89.2°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C et à t=300s

graph 3.7 tableau de rapport T/t à 120° à 300s

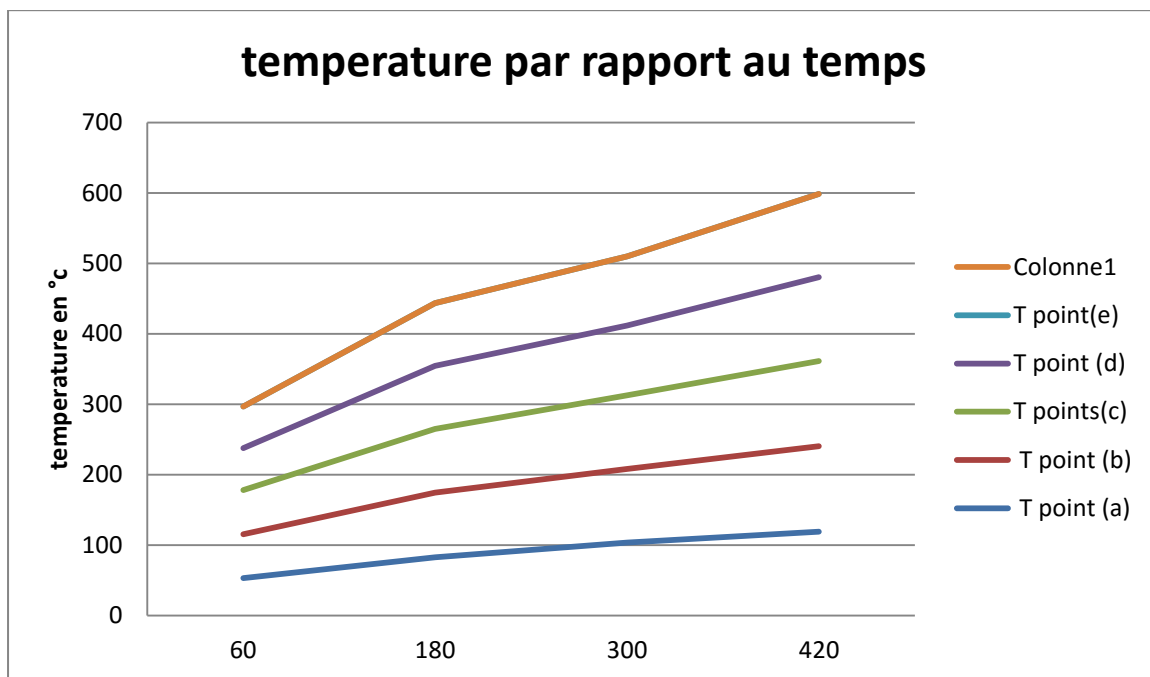
Les points	La température
(a)	103.5°C
(b)	104.5°C
(c)	104.9°C

(d)	98.8°C
(e)	98.3°C

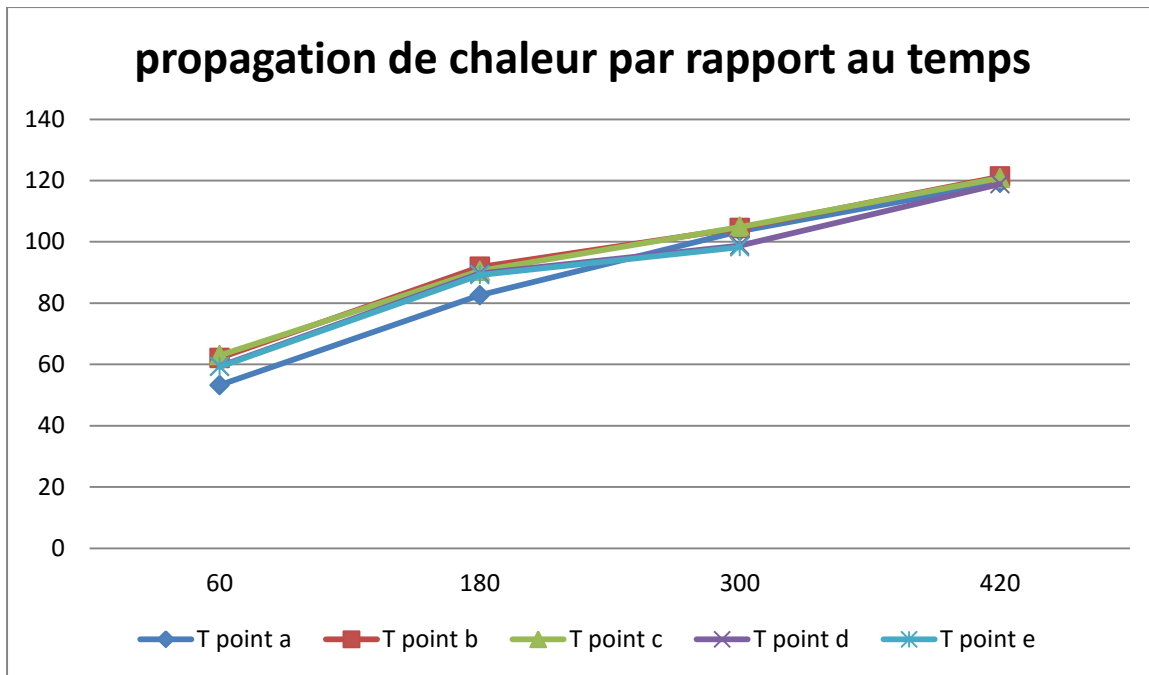
- le thermocouple est réglé sur 120°C et à t=420s

graph 3.8 tableau de rapport T/t à 120° à 420s

Les points	La température
(a)	119.2°C
(b)	121.3°C
(c)	120.8°C
(d)	118.9°C
(e)	118.4°C



graph 3.9 rapport T/t pour la premiere plaque



graph 3.10 propagation de chaleur T/t pour la première plaque à 120°C

3.4.1.2 la deuxième manipulation

Nous allons garder la température au thermocouple constante et varier le temps

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=60s

graph 3.11 tableau de rapport T/t a 200°C à 60s

Les points	La température
(a)	114.8°C
(b)	115.1°C
(c)	116.7°C
(d)	111.4°C
(e)	110.8°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=180s

graph 3.12 tableau de rapport T/t a200°C à 180s

Les points	La température
(a)	176.2°C
(b)	177°C

(c)	177.9°C
(d)	175.9°C
(e)	175.6°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=300s

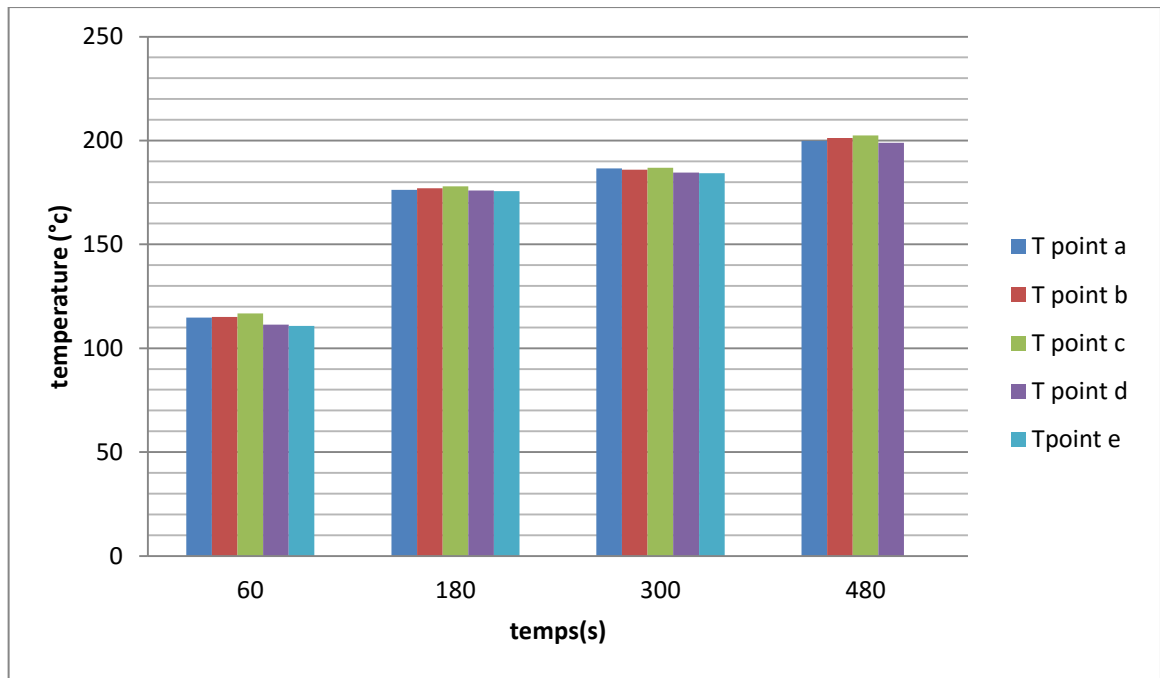
graph13 tableau de rapport T/t a200°C et à 300s

Les points	La température
(a)	186.6°C
(b)	185.9°C
(c)	186.9°C
(d)	184.6°C
(e)	184.2°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=480s

Graph 14 tableau de rapport T/t à 200°C et à 480s

Les points	La température
(a)	199.8°C
(b)	201.2°C
(c)	202.4°C
(d)	198.9°C
(e)	198.5°C



graph 3.15 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 1ere plaque à 200°C

3.4.1.3 troisième manipulation

On reste sur une température constante et on varie le temps

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t= 60s

graph 3.16 tableau de rapport T/t à 320°C et à 60s

Les points	La température
(a)	205.6°C
(b)	208.1°C
(c)	207.6°C
(d)	203.9°C

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t= 180s

graph 3.17 tableau de rapport T/t à 320°C et à 180s

Les points	La température
(a)	273.8°C
(b)	274.1°C

(c)	273.1°C
(d)	271.9°C
(e)	271.4°C

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t=300s

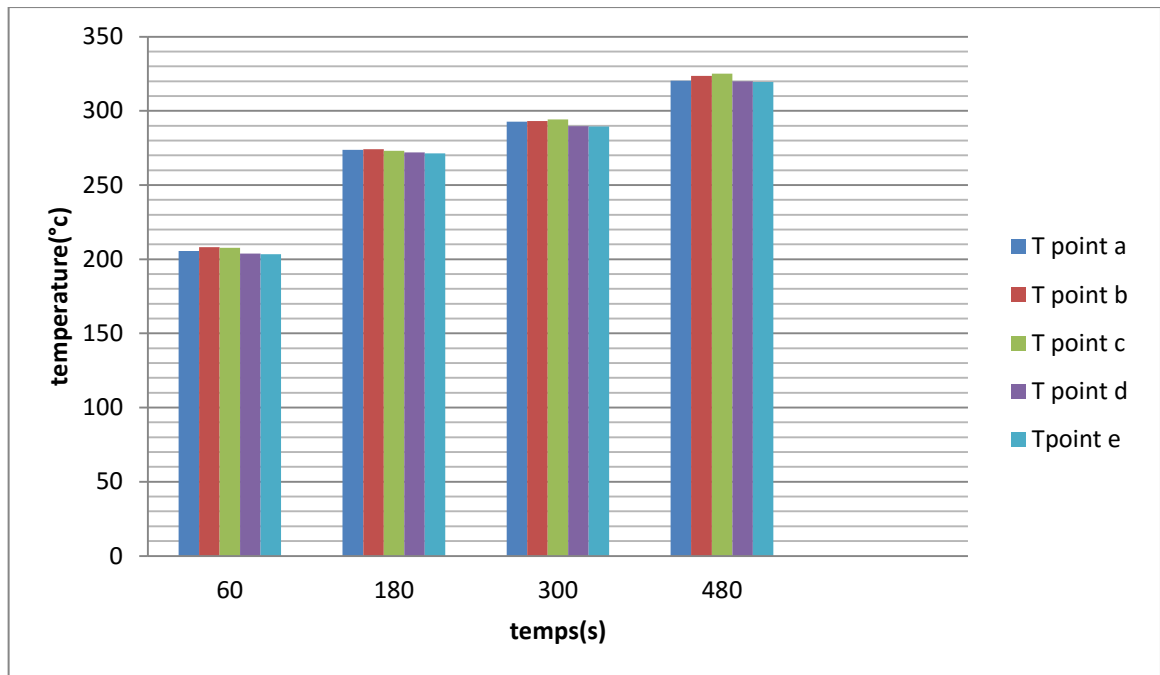
graph 3.18 tableau de rapport T/t à 320°C et à 300s

Les points	La température
(a)	292.8°C
(b)	293.1°C
(c)	294.3°C
(d)	289.8°C
(e)	289.5°C

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t=480s

graph 3.19 tableau de rapport T/t à 320°C et à 480s

Les points	La température
(a)	320.3°C
(b)	323.5°C
(c)	325.1°C
(d)	319.8°C
(e)	319.5°C



graph 3.20 propagation de chaleur par rapport au temps de la 1ere plaque à 320°C

3.4.2 Deuxième plaque

Pour la première manipulation nous allons chauffer une plaque de tôle de dimensions 200mmx180mmx4mm

3.4.2.1 première manipulation

On reste sur une température au thermocouple constante en variant le temps

- Le thermocouple réglé sur 120°C à t= 60s

graph 3.21 tableau de rapport T/t a120°C à 60s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	59.2°C
(b)	59.6°C
(c)	59.3°C
(d)	57.8°C
(e)	57.1°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C à t= 180s

graph 3.22 tableau de rapport T/t a120°C à 180s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	78.8°C
(b)	85.6°C
(c)	86.1°C
(d)	82.7°C
(e)	81.9°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C et à t=300s

graph 3.23 tableau de rapport T/t a120°C à 300s pour la 2eme plaque

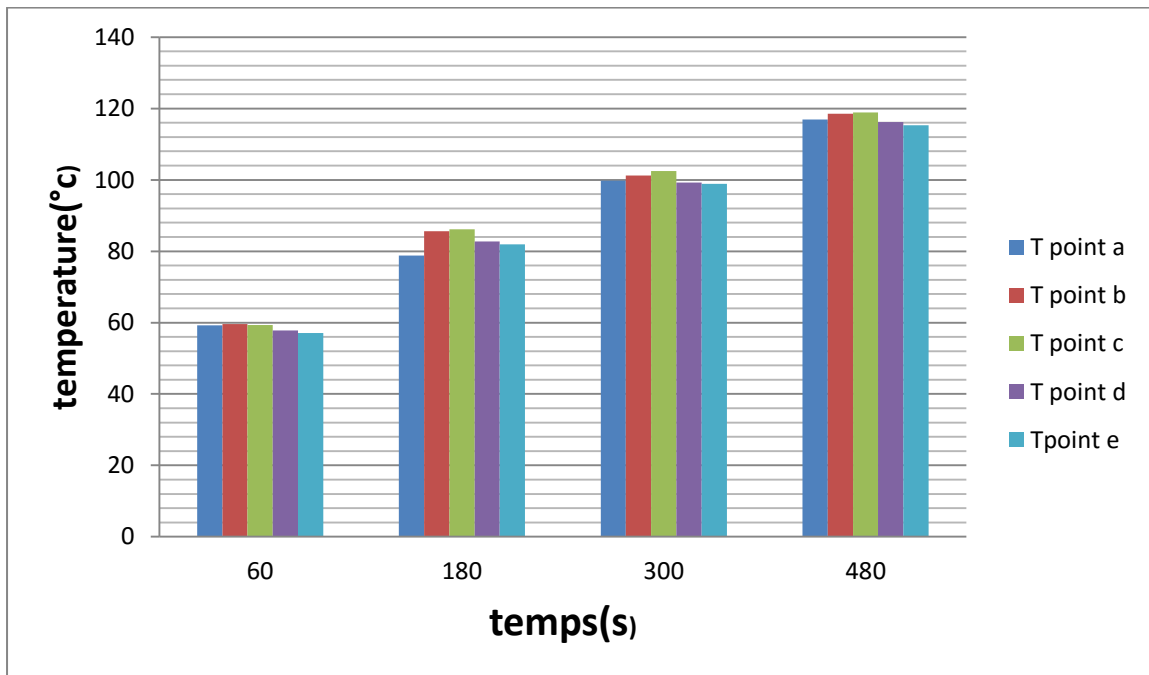
Les points	La température
(a)	99.8°C
(b)	101.2°C
(c)	102.5°C
(d)	99.2c
(e)	98.9°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C et à t=420s

graph 3.24 tableau de rapport T/t a120°C à 400s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	116.9°C
(b)	118.5°C
(c)	118.9°C
(d)	116.2°C
(e)	115.3°C

graph 3.25 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 2eme plaque à 120°C



3.4.2.2 Deuxième manipulation

On maintient la température du thermocouple constante et on varie le temps

- Le thermocouple est réglé à 200°C et t=60s

graph 3.26 tableau de rapport T/t a200°C à 60s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	112.8°C
(b)	113.4°C
(c)	113.9°C
(d)	110.1°C
(e)	109.5°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=180s

graph 3.27 tableau de rapport T/t 200°C à 180s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	174.3°C
(b)	175.3°C
(c)	176.1°C
(d)	173.2°C
(e)	171.8°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=300s

graph 3.28 tableau de rapport T/t à 200°C à 300s pour la 2eme plaque

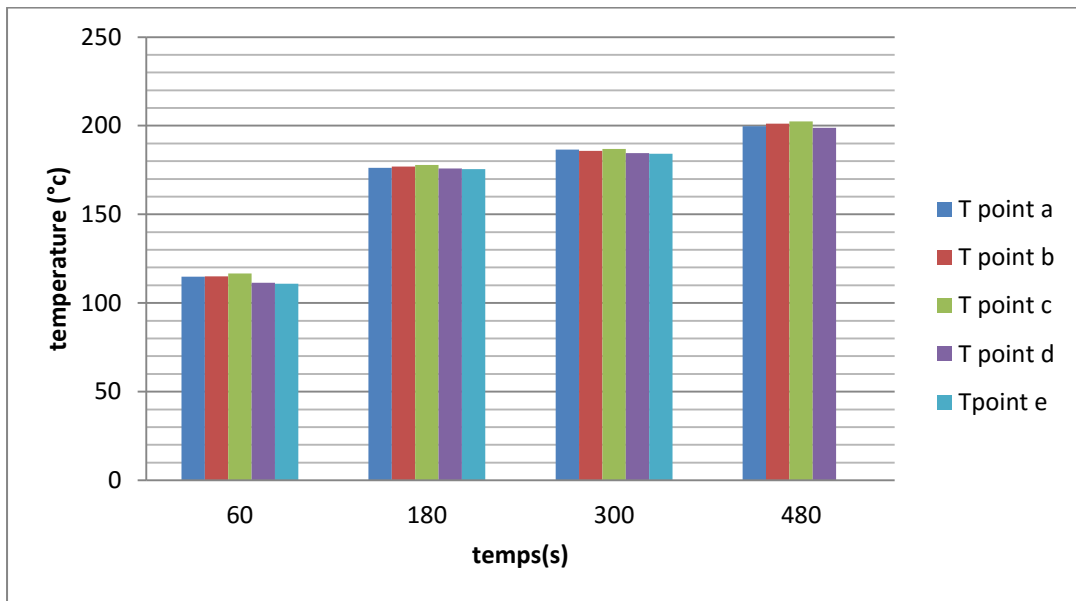
Les points	La température
(a)	182.6°C
(b)	182.2°C
(c)	183.1°C
(d)	181.3°C
(e)	180.7°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=480s

graph 3.29 tableau de rapport T/t a200°C à 480s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	196.2°C
(b)	197.6°C
(c)	197.4°C
(d)	193.8°C
(e)	192.9°C

graph 3.30 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 2eme plaque à 200°C



3.4.2.3 troisième manipulation

On reste sur une température constante et on varie le temps

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t= 60s

graph 3.31 tableau de rapport T/t a320°C à 60s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	203.8° c
(b)	204.6°c
(c)	204.1°c
(d)	201.8°c
(e)	200°c

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t= 180s

Graph 32 tableau de rapport T/t a320°C à 180s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	268.4°c
(b)	269.7°c
(c)	268.9°c
(d)	266.5°c
(e)	266.1°c

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t=300s

graph 3.33 tableau de rapport T/t à 320°C à 300s pour la 2eme plaque

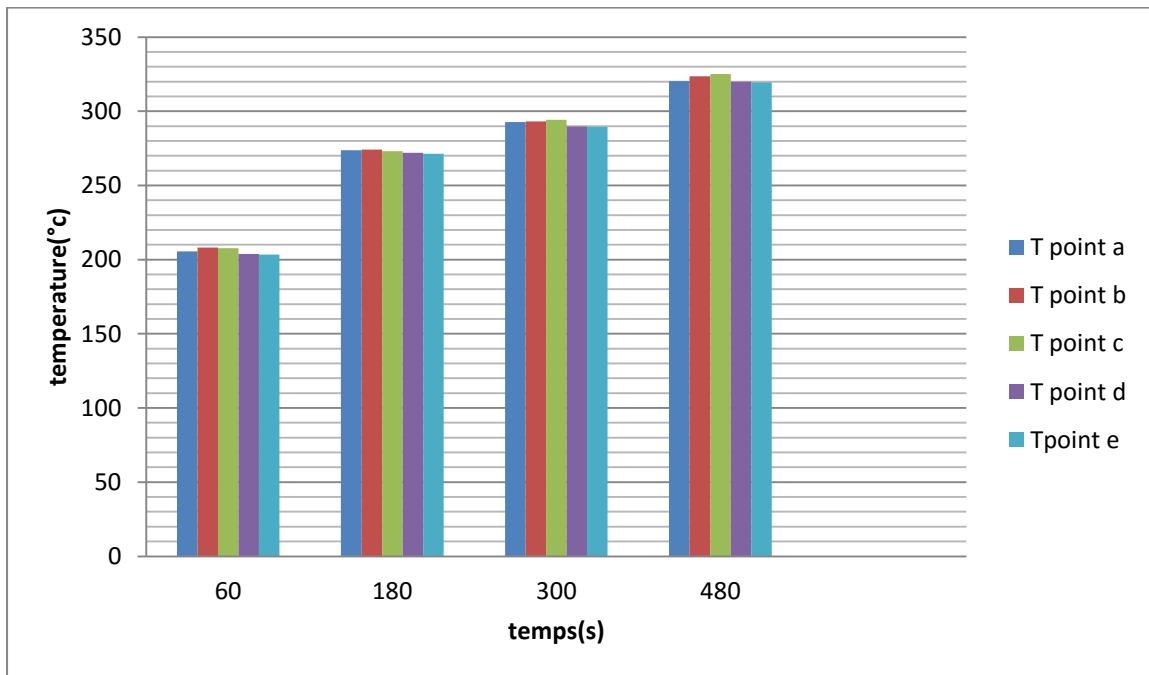
Les points	La température
(a)	290.8°C
(b)	291.4°C
(c)	291.8°C
(d)	287.8°C
(e)	287.6°C

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t=480s

graph 3.34 tableau de rapport T/t à 320°C à 300s pour la 2eme plaque

Les points	La température
(a)	318.5°C
(b)	319.8°C
(c)	321.2°C
(d)	316.3°C
(e)	315.8°C

Graph 3.35 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 2eme plaque à 320°C



3.4.3 Troisième plaque

Pour la première manipulation nous allons chauffer une plaque de tôle de dimensions 200mmx180mmx5mm

3.4.3.1 première manipulation

On reste sur une température au thermocouple constante en variant le temps

- Le thermocouple réglé sur 120°C à t= 60s

graph 3.36 tableau de rapport T/t a120°C à 60s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	56.4°C
(b)	56.3°C
(c)	57.3°C
(d)	54.8°C
(e)	53.7°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C à t= 180s

graph 3.37 tableau de rapport T/t a120°C à 180s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	79.6°C
(b)	82.1°C
(c)	81.8°C
(d)	79.2°C
(e)	78.5°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C et à t=300s

graph 3.38 tableau de rapport T/t a120°C à 300s pour la 3eme plaque

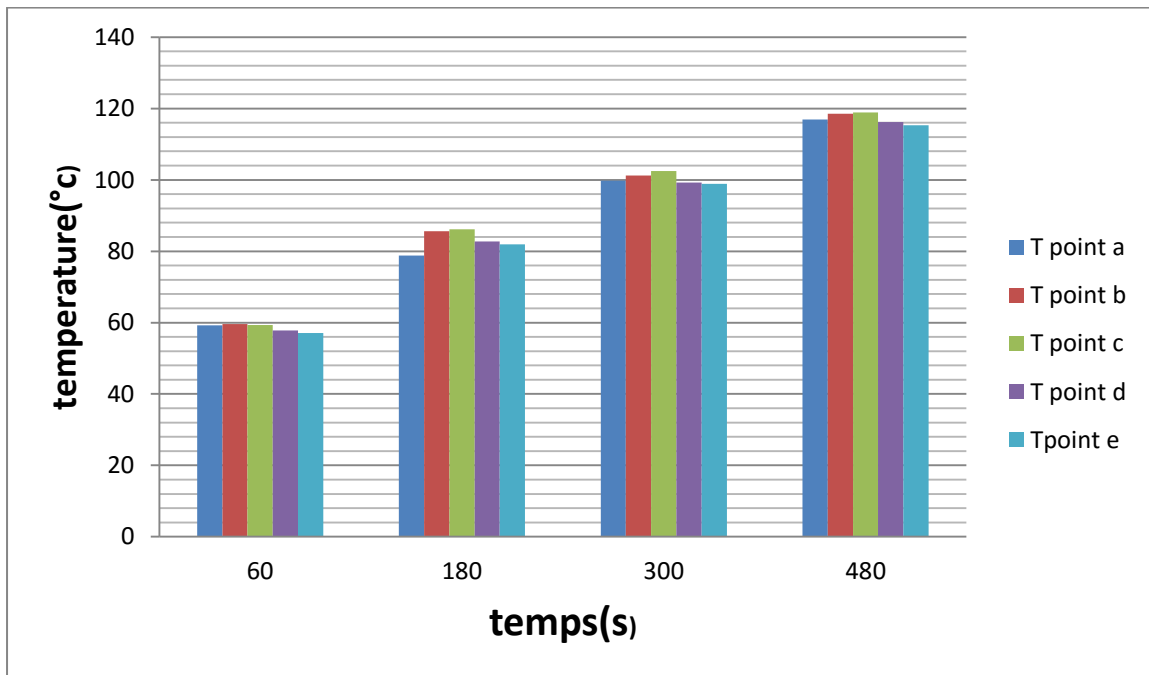
Les points	La température
(a)	96.8°C
(b)	97.6°C
(c)	97.2°C
(d)	93.5°C
(e)	93.1°C

- le thermocouple est réglé sur 120°C et à t=420s

graph 3.39 tableau de rapport T/t a120°C à 420s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	112.8°C
(b)	113.1°C
(c)	113.5°C
(d)	111.8°C
(e)	110.7°C

graph 3.40 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 3eme plaque à 120°C



3.4.3.2 deuxième manipulation

On maintient la température du thermocouple constante et on varie le temps

- Le thermocouple est réglé à 200°C et t=60s

graph 3.41 tableau de rapport T/t a200°C à 60s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	109.5°C
(b)	110.4°C
(c)	110.8°C
(d)	108.6°C
(e)	106.4°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=180s

Graph 42 tableau de rapport T/t a200°C à 180s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	170.1°C
(b)	170.5°C
(c)	171.3°C
(d)	169.8°C
(e)	167.5°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=300s

graph 3.43 tableau de rapport T/t a200°C à 300s pour la 3eme plaque

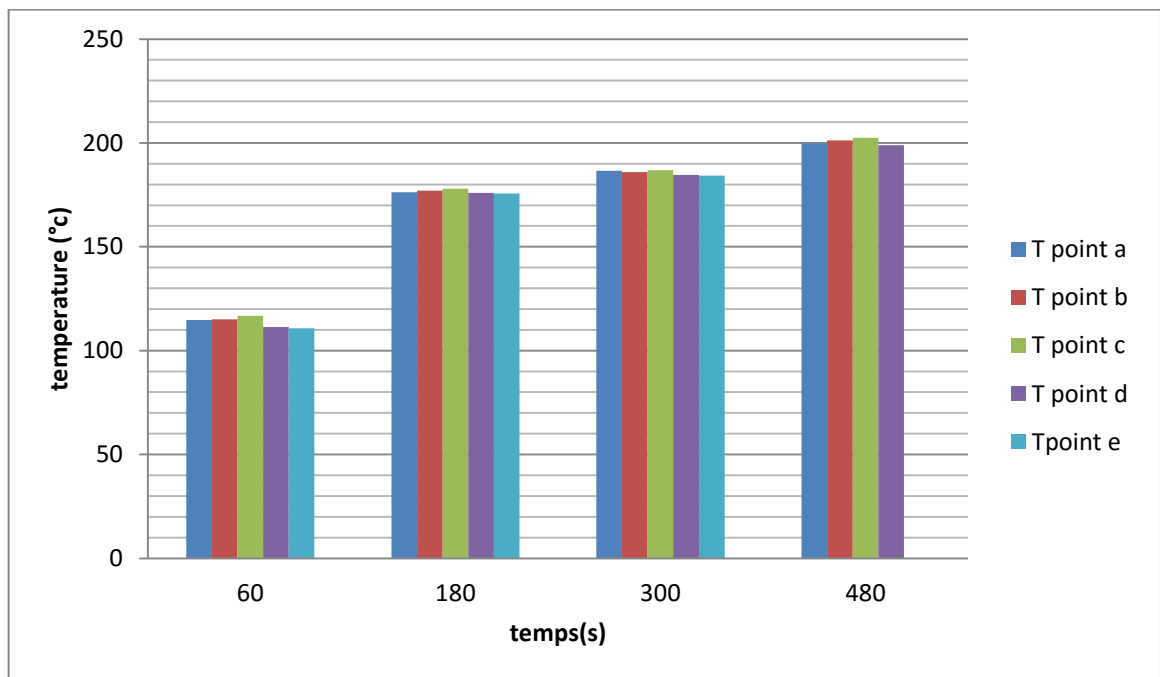
Les points	La température
(a)	175.6°C
(b)	176.1°C
(c)	177.2°C
(d)	174.8°C
(e)	172.9°C

- Le thermocouple est réglé sur 200°C et t=480s

graph 3.44 tableau de rapport T/t a200°C à 480s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	192.8°C
(b)	193.2°C
(c)	193.8°C
(d)	190.5°C
(e)	188.7°C

graph 3.45 propagation de chaleur par rapport au temps de la 3eme plaque à 200°C



3.4.3.3 troisième manipulation

On reste sur une température constante et on varie le temps

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t= 60s

graph 3.46 tableau de rapport T/t a320°C à 60s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	189.9° c
(b)	192.5°c
(c)	193.4°c
(d)	187.6°c
(e)	186.8°c

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t= 180s

graph 3.47 tableau de rapport T/t a320°C à 180s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	251.2°c
(b)	252.3°c

(c)	253.4°C
(d)	251.8°C
(e)	250.7°C

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t=300s

graph 3.48 tableau de rapport T/t a320°C à 300s pour la 3eme plaque

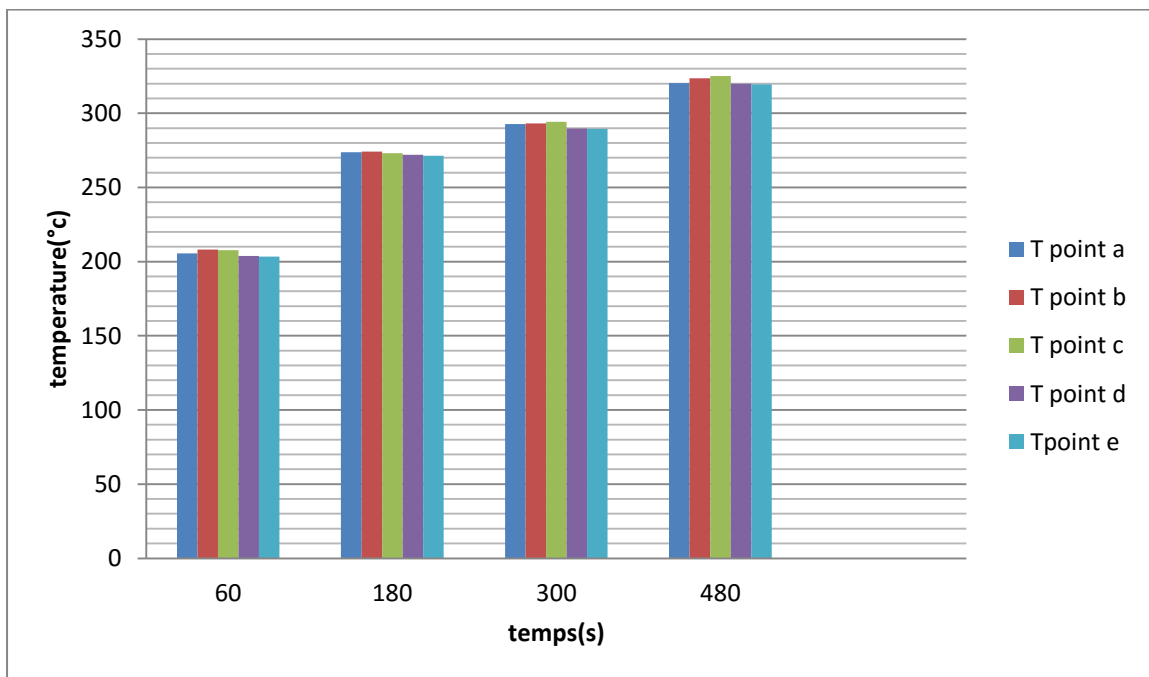
Les points	La température
(a)	278.9°C
(b)	281.5°C
(c)	281.9°C
(d)	276.2°C
(e)	275.4°C

- Le thermocouple est réglé sur 320°C et t=480s

graph 3.49 tableau de rapport T/t a320°C à 480s pour la 3eme plaque

Les points	La température
(a)	315.8°C
(b)	315.9°C
(c)	316.8°C
(d)	311.2°C
(e)	310.5°C

graph 3.50 propagation de chaleur par rapport au temps pour la 3eme plaque à 320°C



3.5 Observations de résultats

Ces différentes manipulations pour les 3 plaques différentes en épaisseur nous ont donnés des résultats en quelque sorte attendus mais avec plus de précision sur la façon que se propage la chaleur sur la surface des plaques

3.5.1 Les intervalles d'erreurs

Certes nous avons obtenus des résultats assez précis mais cela n'empêche pas de trouver des intervalles d'erreurs causés par plusieurs facteurs

- L'échange de température avec le milieu extérieur : nous n'avons pas une isolation parfaite ce qui signifie qu'on aura des échanges avec le milieu extérieur, ainsi-dit nous aurons des pertes de chaleurs qui viendront entrainer une fausse mesure de température lors de l'opération
- L'erreur de lecture : on n'est jamais à l'écart d'une mauvaise lecture en utilisant les outils de mesure de température quel que soit sa précision, il y aura toujours des erreurs de lecture et de mesures
- Les différents facteurs qui peuvent entrainer un faux affichage de température au cours de la lecture : comme l'humidité ou bien les données entrées tel que l'émissivité ne sont pas correctes ou bien la température ambiante trop élevée ou trop basse

- La distance de mesure et l'angle de mesure : il ya différents facteurs à prendre en compte pour pouvoir bien choisir la distance a laquelle on se trouve de l'objet que l'on souhaite mesurer mais aussi l'angle d'où l'on se tient
- L'étalonnage non-correct

3.5.2 Interprétations

Nous remarquons ici qu'on a une propagation sur cette 1^{ère} plaque de façon proportionnelle au temps puisque on la chaleur s'est propagé de manière équilibré aux seins des 5 points (a-b-c-d-e)

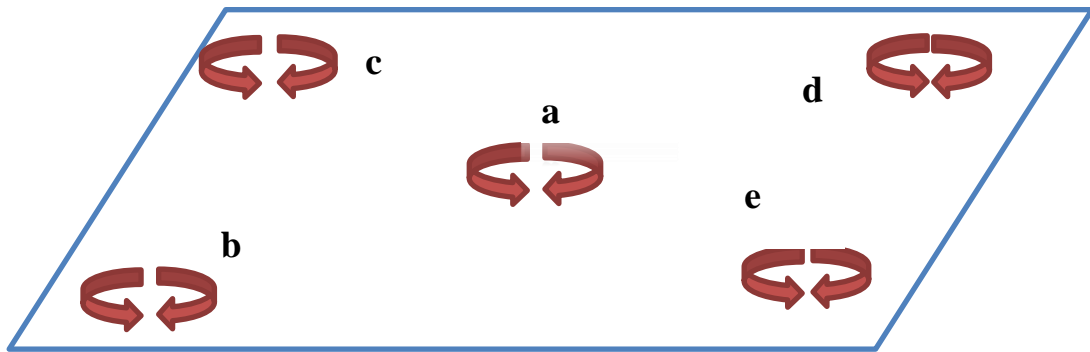


Figure 3.36 propagation de la chaleur sur les 5 points de la plaque de tôle

3.6 Conclusion

En conclusion ce chapitre a présenté des études expérimentales sur l'analyse thermique d'une plaque par thermographie en s'accroissant la propagation de chaleur dans une plaque et le rôle des dimensions de celle-ci sur la propagation.

Les résultats obtenus à partir de l'étude expérimentale, bien qu'avec quelques inexactitudes, ont fourni des informations précieuses sur l'analyse par thermographie et les pièges dans lesquels l'utilisateur pourrait tomber.

Il convient de noter que ces études expérimentales ont été menées dans les limites de l'équipement disponible et des contraintes de temps. Malgré ces limites, l'étude a donné des résultats significatifs qui peuvent contribuer à la compréhension et l'exploitation des équipements de laboratoire et de leurs implications sur leur utilisation à des fins pédagogiques.

Dans l'ensemble, ce chapitre conclut l'étude expérimentale, fournissant des informations cruciales sur les équipements utilisés et leur rôle dans l'étude et de l'analyse thermique. Les résultats obtenus à partir de cette étude servent de base à d'autres recherches et développements dans le domaine.

Conclusion générale et perspectives

L'analyse thermique est une discipline scientifique et technique essentielle qui se concentre sur l'étude des propriétés thermiques des matériaux, des systèmes et des processus. Cette approche fournit des informations précieuses sur la manière dont la chaleur est générée, transférée et dissipée, ce qui a un impact significatif dans de nombreux domaines.

En conclusion ce mémoire a exploré le domaine de la thermographie et de l'analyse thermique en couvrant par le passage les méthodes de mesure, le bon fonctionnement des outils de mesure thermique, et en ayant recours au matériel et à l'équipement mis à disposition par la faculté de technologie à l'Université de Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen nous ce mémoire a fait progresser la bonne compréhension du matériel et la bonne prise en main de la camera FLIR T440. Les résultats présentés dans ce mémoire constituent une base solide pour les futurs efforts de recherche, qui peuvent être incorporés dans des travaux pratiques pour donner un aspect pratique aux études et améliorer la compréhension des étudiants faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaïd-Tlemcen sur l'analyse thermique des matériaux et sur la thermographie.

En perspective, j'espère que ce travail permettra aux futures classes d'avoir une compréhension de la technologie de la caméra thermique et de continuer à explorer le domaine de la thermographie et de l'analyse thermique. Avec plus d'efforts pour comprendre et fait marcher les équipements du laboratoire, mais aussi de développer de banc d'essai pour l'optimiser.

Bibliographie

[1] : <https://chauffage.ooreka.fr/astuce/voir/563295/loi-de-fourier-sur-la-conduction-thermique>

[2] : <https://chauffage.ooreka.fr/astuce/voir/563295/loi-de-fourier-sur-la-conduction-thermique>

[3] : depuis chat gpt3 : caractéristique du thermomètre a liquide

[4] : <https://binarytech-dz.com/produit/capteurs-robotique/capteurs/capteurs-meteo/sonde-thermocouple-de-type-k-de-2-m-4-0-800-c/>

[5] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Thermistance>

[6] : la brochure d'utilisation de la camera FLIR T440

file:///C:/Users/SaLah/Desktop/pfe/flir%20thermographie/FLIR_Tools_Manual.pdf

[7] : https://www.thermometre.fr/blogs/les-thermocouples/plage-de-mesure-des-thermocouples?gclid=CjwKCAjwsKqoBhBPEiwALrrqiBb8GK9r-plo7KDZvSz7lpTE7j-1SgUAlbQH0J8jd3GuRWu9z-ZCRxoCRAIQAvD_BwE

[8] : https://en.wikipedia.org/wiki/Teledyne_FLIR

[9] : M.Siroux. Développement de techniques de mesure de l'émissivité de matériaux opaques à température ambiante. Approches radiométrique et calorimétrique en régime périodique. s.l. : Thèse Université Paris 12, 1996.

[10] : https://flir-fr.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/1615/~/1%C3%A9missivit%C3%A9-et-la-temp%C3%A9rature-apparente-r%C3%A9fl%C3%A9chie

[11] : depuis document numerique de Flir T440 P\N / 62103-1302 and FOV calculator
https://flir.custhelp.com/app/utis/fl_fovCalc/pn/62103-1302/ret_url/%252Fapp%252Ffl_download_datasheets%252Fid%252F12

[12] : <https://fr.scribd.com/document/465759725/Humidite-absolue-et-relative#>

[13] : <https://moineau-instruments.com/thermometre-hygrometre-analogique/2467-thermometre-hygrometre-mecanique-a-poser-boitier-laiton-chrome-4532t.html>

[14] : <https://www.dealec.fr/merchant/product/porte-fusibles-1>