

- Banc thermographie
- Thermography bench

C.A 1875



PEWA
Messtechnik GmbH

Weidenweg 21
58239 Schwerte

Tel.: 02304-96109-0
Fax: 02304-96109-88
E-Mail: info@pewa.de
Homepage : www.pewa.de



FRANÇAIS

ENGLISH

Notice de fonctionnement

User's Manual

 **CHAUVIN®
ARNOUX**
CHAUVIN ARNOUX GROUP

Français.....	1
English.....	50

Vous venez d'acquérir un **banc didactique thermographie C.A 1875** et nous vous remercions de votre confiance.

Pour obtenir le meilleur service de votre appareil :

- **lisez** attentivement cette notice de fonctionnement,
- **respectez** les précautions d'emploi

SIGNIFICATION DES SYMBOLES UTILISES

	Tri sélectif des déchets pour le recyclage des matériels électriques et électroniques au sein de l'Union Européenne. Conformément à la directive WEEE 2002/96/EC : ce matériel ne doit pas être traité comme déchet ménager.
	Risque de danger. Consulter la notice de fonctionnement avant d'utiliser l'appareil.
	Le marquage CE garantit la conformité aux directives européennes ainsi qu'aux réglementations en matière de CEM.
	Attention, surface chaude

PRECAUTIONS D'EMPLOI

Si cet appareil est endommagé ou qu'une pièce est manquante, veuillez contacter immédiatement le vendeur.

Le non respect des instructions ou précautions d'emploi peut compromettre la protection assurée par l'appareil.

La présente notice doit être consultée pour chaque symbole de risque de danger rencontré.

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	4
2. PRESENTATION	5
3. CARACTERISTIQUES	7
3.1 Caractéristiques générales du banc	7
3.2 Caractéristiques du fusible	8
4. MISE EN SERVICE	8
5. MANIPULATIONS	9
5.1 Les transferts thermiques	9
5.1.1 La théorie.....	9
5.1.2 Manipulations: étude de l'influence de l'émissivité.....	15
5.2 Etude du corps réel.....	16
5.2.1 La théorie.....	16
5.2.2 Manipulations : étude de l'influence de la réflexion et de la transmission.....	18
5.3 Optique et camera de thermographie	18
5.3.1 La théorie : étude de la résolution spatiale.....	18
5.3.2 Manipulation : étude de la résolution spatiale.....	22
5.4 Manipulations sur logiciel.....	23
5.5 La thermographie en pratique	25
5.5.1 Modes de détermination de défaut.....	25
5.5.2 Applications.....	26
5.6 Réalisation d'un rapport Q19	28
5.6.1 Présentation.....	28
5.6.2 Mise en application.....	31
6. MAINTENANCE	31
6.1 Réparation	31
6.2 Changement fusible	32
7. GARANTIE	32
8. POUR COMMANDER	32

ANNEXE 1 : DETERMINATION EMISSIVTE	33
ANNEXE 2 : DETERMINATION TEMPERATURE REFLECHIE	34
ANNEXE 3 : EXERCICES D'APPLICATION	35
ANNEXE 4 : SOLUTIONS	41

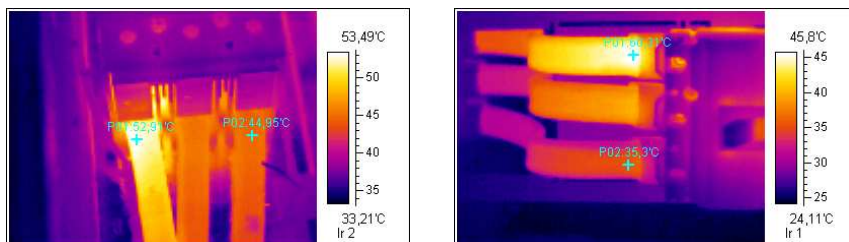
1. INTRODUCTION

La technologie de détection par thermographie infrarouge est devenue un moyen irremplaçable de garantir la sécurité des conditions de production industrielle. Son utilisation est commune à des secteurs de l'industrie aussi divers que la métallurgie et la sidérurgie, l'énergie électrique, l'industrie pétrolière, l'automatisation, l'exploitation du gaz naturel, l'industrie des transports, et à d'autres professions engagées tel que dans la lutte contre le feu et la surveillance des frontières. A toutes ces activités caractérisées par des procédures de fonctionnement en flux tendu, des équipements de production sous haute-tension, des courants électriques puissants ou des vitesses d'opération élevées, l'imagerie thermique infrarouge offre une méthode d'inspection sans-contact et en temps réel.

Cette méthode de détection ne nécessite aucune coupure de courant, n'exige ni arrêt des machines, ni interruption de la production. Elle permet de diagnostiquer à l'avance les dysfonctionnements latents, et ainsi de prévenir l'occurrence des pannes, d'éviter les incidents de production. L'imagerie thermique est une technique innovante d'évaluation « sans-contact », à la fois sûre, fiable, et rapide.

Une caméra thermique ne mesure pas des températures mais des flux de rayonnement. Après le réglage de certains paramètres par l'opérateur en thermographie, la caméra calcule alors les températures de la cible. Elle fournit ensuite à l'utilisateur une cartographie des températures, appelée thermogramme : à chaque température est associée une couleur.

Voici deux exemples de thermogrammes :



Vues intérieures de coffrets électriques triphasés

En premier lieu, nous pourrions constater que ces deux thermogrammes sont quasi identiques : nous observons une phase plus chaude que les deux autres (celle de gauche pour le thermogramme de gauche, celle du haut pour le thermogramme de

droite,). En effet, leur couleur est jaune clair, ce qui indique selon l'échelle de couleur située à droite de l'image IR que la température y est plus élevée.

Regardons de plus près ces deux images en insérant des curseurs de température.

Thermogramme de gauche :

- Curseur 1 : 52,9°C
- Curseur 2 : 44, 9°C

Suivant les règles de thermographie classique (voir après), il n'y a pas de problème particulier.

Thermogramme de droite :

- Curseur 1 : 60,3 °C
- Curseur 2 : 35,3 °C

Dans ce cas, l'écart de température est de 25 °C ! Nous pouvons conclure à un réel problème sur l'installation et une action corrective est à mettre en place.

En conclusion, il faut faire attention aux échelles de couleur et réaliser une véritable analyse . En effet, sombre signifie plus froid et clair signifie plus chaud, mais cela ne veut pas dire qu'il y ait un problème de détecter ! Il ne faut pas oublier que la caméra est un outil de mesure et qu'il est nécessaire de continuer les investigations !

2. PRESENTATION

Une demande grandissante en formation à la thermographie infrarouge a amené CHAUVIN ARNOUX à développer un équipement de mesure spécialement conçu dans un but pédagogique.

Loin d'être exhaustives, les manipulations proposées ont pour seul but d'illustrer par quelques exemples les relevées de mesure faux qu'il est possible de réaliser en thermographie infrarouge.

L'objectif est de sensibiliser les personnes au fait qu'une caméra infrarouge est un outil de mesure de précision qui nécessite une prise en main approfondie.

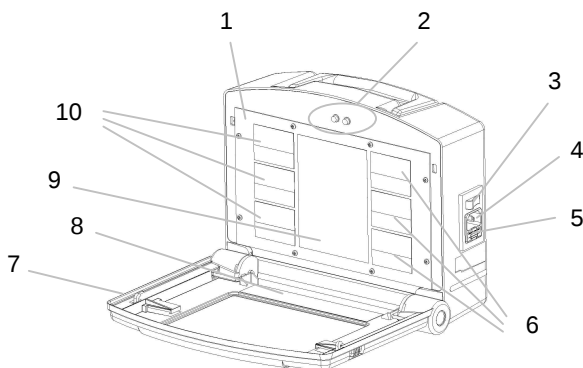
Le **banc didactique C.A 1875** est composé d'une plaque chauffante équipée de plusieurs cibles d'états de surface et de matériaux différents ainsi que d'écrans de test qui se fixent sur l'avant du banc à l'aide d'aimants. (Voir le schéma ci-dessous).

L'objectif de ce banc est de permettre à l'étudiant de mettre en avant les principales causes d'erreur possibles lors de la réalisation d'une mesure à l'aide d'une caméra infrarouge.

Cet ensemble permet d'effectuer les expérimentations suivantes :

- Problème d'émissivité des matériaux
- Problèmes de positionnement
- Problème de réflexion
- Problème de transmission
- Problème de résolution spatiale

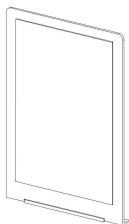
Présentation du banc didactique thermographie C.A 1875 :



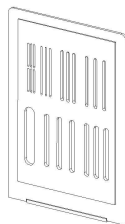
- 1 : Plaque chauffante
- 2 : LEDs d'indication de montée ou de descente en température
- 3 : Interrupteur Marche / Arrêt
- 4 : Connexion câble alimentation secteur
- 5 : Compartiment fusible
- 6 / 10: Plaques de matériaux différents
- 7 : Couvercle de protection du banc
- 8 : Plaque de fixation des écrans de test
- 9 : Plaque noire de référence pour les différents tests

Présentation des écrans de test

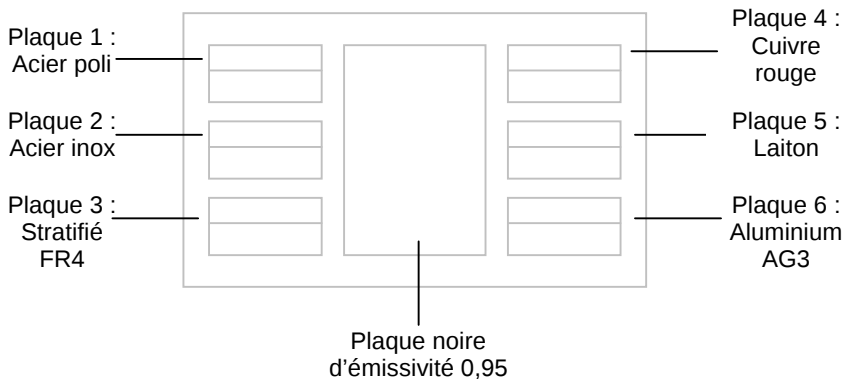
Ecran de test n°1 :
Vitre plexiglas



Ecran de test n°2:
Fentes de largeur variable



Présentation des cibles chaudes



3. CARACTERISTIQUES

3.1 CARACTERISTIQUES GENERALES DU BANC

Alimentation : 230 V

50 / 60 Hz

Consommation : 400 mA

Température plaque chauffante : 50 à 55°C ± 3°C

Dimension : 280 x 225 x 110 mm

Poids : 1,8 kg

Conditions d'environnement :

Utilisation en intérieur :

0 à 40°C et 10 à 90% HR

Altitude inférieure à 2000 m

Degré de pollution de 2

Stockage :

-20 à + 65°C et 10 à 90% HR

Altitude inférieure à 12000 m.

NB : un stockage à une température plus élevée est possible mais nécessite de réarmer manuellement le thermostat de sécurité pour rendre l'appareil fonctionnel.

Conformité aux normes internationales :

- Sécurité selon IEC 61010 Ed.2 2001

- CEM selon IEC 61326-1 Ed.97 + A1 Ed.98 + A2 Ed.2001

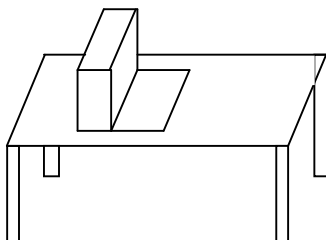
3.2 CARACTERISTIQUES DU FUSIBLE

Dimensions : 5 x 20 mm

Calibre : 0,5 A rapide – 250 V

4. MISE EN SERVICE

Le **banc didactique thermographie C.A 1875** doit être placé sur une surface plane. La plaque chauffante doit être perpendiculaire au plan de travail.



Une fois le banc positionné, branchez-le à une prise secteur équipée d'une terre et mettez en service avec le bouton Marche/Arrêt.

Attendez quelques minutes que la plaque monte en température pour effectuer les premiers tests.

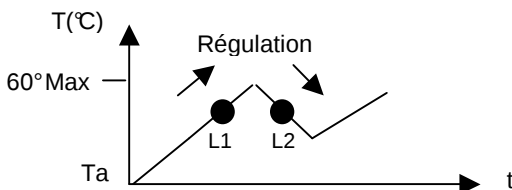


Schéma de fonctionnement des LEDs et de la variation de température de la plaque chauffante.

Lors de la mise en route du banc, L1 s'allume jusqu'à ce que la plaque atteigne environ 55°C . Une fois arrivée à cette température, L2 s'allume et la plaque se refroidit jusqu'à environ 50°C . La chauffe se remet en service avec l'allumage de L1 et ainsi de suite. Ce cycle se fera indéfiniment tant que le banc sera en fonctionnement.

5. MANIPULATIONS

Consultez la notice de fonctionnement pour la prise en main de la RayCAM. Avant toute nouvelle manipulation, créez un nouveau dossier d'enregistrement de thermogramme.

Lors des manipulations, sauvegardez un maximum d'images.

5.1 LES TRANSFERTS THERMIQUES

5.1.1 La théorie

Pour bien comprendre les événements en jeu, il est important de connaître les phénomènes qui sont à la base des évolutions, des changements de température. Il existe trois modes de transfert thermique :

- La conduction
- La convection
- Le rayonnement

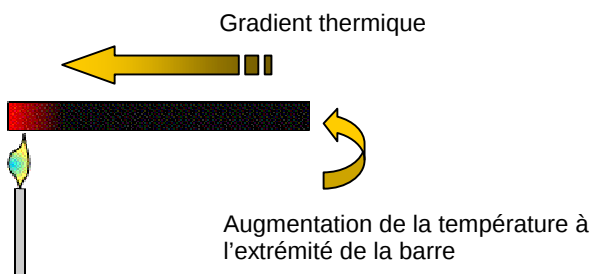
Ces trois modes peuvent être présents simultanément et indépendamment l'un de l'autre.

Un flux de chaleur est un terme d'énergie thermique par unité de temps. Un flux de transfert ne se produit que lorsqu'une différence de température est présente. L'énergie thermique est transférée d'un corps chaud vers un corps froid. Il est nécessaire de comprendre les phénomènes thermiques en jeu avant tout.

La conduction.

En physique, la conductivité thermique est la grandeur introduite pour quantifier l'aptitude d'un corps à conduire de la chaleur. Elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps sous l'action d'une différence de température entre les deux extrémités d'un échantillon de ce corps, donc en présence d'un gradient de température.

Prenons l'exemple d'une barre métallique que l'on chauffe à l'une de ses extrémités : l'agitation thermique des atomes situés à l'extrémité chauffée de la barre augmente et se transmet de proche en proche dans la direction inverse du gradient thermique.

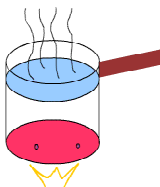


Application : voir Annexe 3 exercice 1

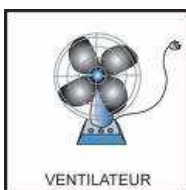
La convection.

Un débit ou une circulation de liquide ou de gaz peut transporter avec lui une certaine quantité d'énergie thermique. Ce transport de chaleur porte le nom de CONVECTION thermique. Dans la convection, la chaleur se sert du fluide comme véhicule pour se déplacer. Il existe deux types de transferts convectifs:

- La convection naturelle: lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un fluide, le fluide chaud aura tendance à monter sous l'effet de la poussée d'Archimède. Il y aura ainsi circulation naturelle du fluide sous l'effet de la chaleur qui, par ailleurs, sera transportée avec lui: on parle de convection naturelle.



- La convection forcée dans laquelle l'écoulement du fluide est forcé par un dispositif mécanique quelconque (pompe ou gravité pour un liquide, ventilateur pour de l'air).



La convection forcée est un phénomène dangereux en thermographie infrarouge. En effet, la convection forcée va amener la surface d'un corps à se refroidir, sans pour autant modifier sa température interne.

Par exemple, le vent est un mode de convection forcée. En présence de vent, l'être humain a une sensation de rafraîchissement et sa peau peut diminuer en température. Par contre, sa température interne ne va absolument pas être modifiée !!! Avec ou sans vent, l'organisme humain dispose d'une régulation très précise de sa température.

Comme en thermographie nous ne mesurons que la température de surface des objets, notre analyse sera faussée. En effet, la surface du matériau sera uniforme en température dû au phénomène de convection forcée mais les températures internes peuvent être différentes.

Application : voir Annexe 3 exercice 2

Le rayonnement : cas du corps parfait, le corps noir.

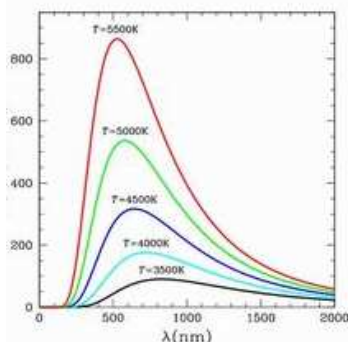
Tout corps à une température supérieure à 0 degré kelvin (zéro absolu, soit - 273,15°C) émet un rayonnement électromagnétique appelé rayonnement thermique. Le rayonnement infrarouge est le rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est comprise entre 700 nanomètres et 1 millimètre.

Etant donnée la loi de conservation de l'énergie, pour qu'un corps rayonne cela doit venir de lui-même : c'est une énergie interne.

En thermographie, on utilise le rayonnement pour mesurer la température des corps.

Pour chaque température et longueur d'onde données, il existe une énergie maximum rayonnée que tout corps ne peut dépasser. Ces informations sont données par les courbes de Planck :

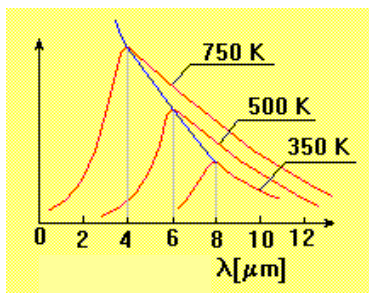
Energie
rayonnée



La loi de Wien donne la longueur d'onde (en micromètre) correspondant à l'énergie maximale rayonnée d'un corps noir à une température donnée T (en Kelvin).

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

La longueur d'onde du maximum de rayonnement infrarouge décroît lorsque la température du corps noir augmente.



C'est la loi de Stephan-Boltzmann qui permet de quantifier ces échanges. L'énergie E rayonnée par un corps s'écrit :

$$E = S \cdot \sigma \cdot T^4$$

Avec:

E : énergie rayonnée exprimée en W / m^2 .

σ : constante de Stephan-Boltzmann = $5,6703 \cdot 108 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

S : surface du corps exprimée en m^2

T : température du corps en Kelvin

Un corps noir est un corps dont la surface absorbe la totalité du rayonnement reçu.
NB : un corps noir n'existe pas matériellement, il représente un objet idéalisé dont la seule radiation émise serait la radiation thermique seulement dépendante de sa propre température.

Application : voir annexe 3 exercice 3 et 4

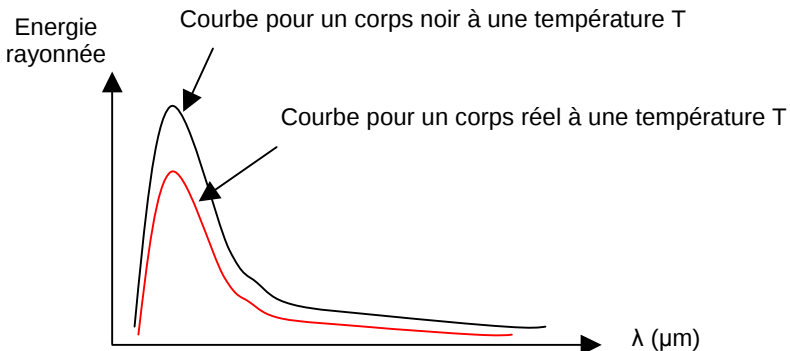
L'émissivité

L'émissivité d'un matériau (souvent écrite ϵ), est le rapport de l'énergie qu'il rayonne par celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température. C'est donc une mesure de la capacité d'un corps à absorber et à ré-émettre l'énergie rayonnée.

L'émissivité est une grandeur comprise entre 0 et 1.

Les lois précédentes ne sont pas tout à fait vraies et il est nécessaire d'introduire ce paramètre émissivité.

La courbe de Planck précédente devient alors :



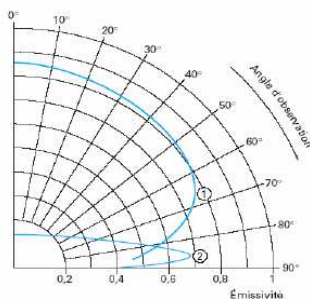
Plus l'émissivité diminuera, plus le maximum de la courbe diminuera également.
La loi de Stephan-Boltzmann devient alors :

$$E = \epsilon \cdot S \cdot \sigma \cdot T^4$$

L'émissivité est une caractéristique d'un matériau et de son état de surface. Plus un corps sera capable d'absorber de la chaleur, plus son émissivité sera proche de 1. Des abaques fournissent les émissivités des différents matériaux.

Pour réaliser des mesures correctes en thermographie, il est nécessaire de réaliser des manipulations sur des corps à émissivité élevée ($\epsilon > 0,8$). C'est le cas des plastiques opaques, des métaux oxydés, du bois et des matériaux de construction, des peintures.... Si l'utilisateur doit réaliser des mesures sur des matières à faible émissivité, il est conseillé d'appliquer une peinture noire dessus avant de faire la manipulation. Des erreurs de mesure très importantes sont apportées par la négligence ou la mauvaise appréciation de ce paramètre.

Un autre paramètre influençant la valeur d'émissivité est l'angle de mesure. Selon le graphe ci-dessous :



Ainsi, pour réaliser une mesure correcte, il est nécessaire de positionner sa caméra perpendiculaire à la cible de mesure (bien en face) pour que la valeur d'émissivité entrée dans la caméra corresponde bien à la réalité. Une tolérance de $\pm 45^\circ$ est acceptée.

L'émissivité est un paramètre fondamental en thermographie. Il est essentiel de bien la régler avant toute prise de mesure. Pour cela, il suffit de connaître le matériau dont on cherche à déterminer la température et de rentrer dans la caméra l'émissivité correspondante.

Dans le cas où aucune information n'est disponible sur le type du corps, une norme existe précisant la manière pour déterminer ce paramètre (Voir Annexe 1).

5.1.2 Manipulations: étude de l'influence de l'émissivité

Manipulation 1 : Mise en avant des problèmes de mesure sur des matériaux d'émissivité différentes.

Assurez-vous que le banc régule en température depuis quelques instants. Pointez la caméra vers la plaque chauffante, en s'assurant que vous êtes bien positionné face au banc.

- Faites en sorte d'avoir dans le champ de vision de la caméra la plaque centrale et au moins une des 6 plaques extérieures.

Que constatez-vous ?

Quelle conclusion pouvez-vous en tirer ?

- Selon la technique de détermination de l'émissivité présentée en annexe 1, déterminer l'émissivité des différentes plaques.

- Positionnez un morceau de ruban adhésif noir sur l'une des 6 plaques extérieures. Pointez à nouveau la caméra vers cette plaque.

Que constatez-vous ?

Quelle conclusion pouvez-vous en tirer ?

Manipulation 2 : Mise en avant des problèmes de positionnement vis à vis de la cible.

Créez un nouveau dossier.

- Pointez la caméra vers la plaque chauffante, en s'assurant que vous êtes bien positionné perpendiculairement au banc. Ciblez la zone centrale noire, d'émissivité élevée proche de 0,95.

- Prenez une mesure de température au centre de la plaque.

- Inclinez votre caméra légèrement. Prenez une nouvelle mesure de température.

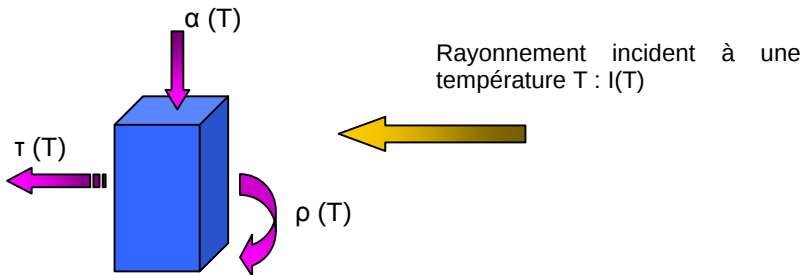
- Recommencez l'opération en inclinant à nouveau votre caméra, chaque fois d'un angle de 10° environ et relevez la température.

Quelle conclusion pouvez-vous en tirer ?

5.2 ETUDE DU CORPS REEL

5.2.1 La théorie

Le corps noir est donc un objet théorique. On ne peut appliquer les formules précédentes à un objet réel que moyennant quelques corrections : les objets réels n'absorbent qu'une fraction α du rayonnement incident, en réfléchissant une partie ρ et transmettent une fraction τ .



Suivant le principe de conservation de l'énergie, on obtient la relation suivante :

$$\alpha \cdot I(T) + \rho \cdot I(T) + \tau \cdot I(T) = I(T) ,$$

soit $\alpha + \rho + \tau = 1$

Lors d'un équilibre, l'objet va émettre $\varepsilon (T)$ la même quantité d'énergie qu'il a absorbé $\alpha (T)$.

Nous avons la relation suivante :

$$\alpha \cdot I(T) = \varepsilon \cdot I(T)$$

soit $\alpha = \varepsilon$

D'où:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

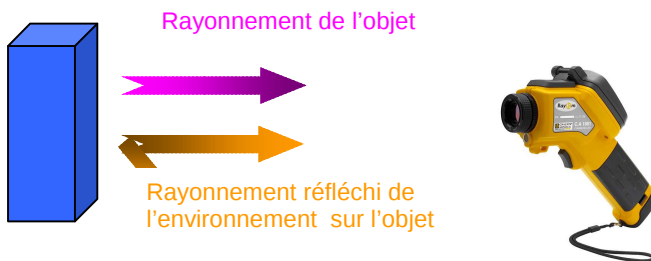
En thermographie, il est uniquement possible de réaliser des mesures sur des corps opaques. La transmission des matériaux est donc nulle.

Nous avons la relation :

$$\varepsilon + \rho = 1$$

et $\rho = 1 - \varepsilon$

Ainsi, lors d'une mesure en thermographie, il est nécessaire de tenir compte du rayonnement réfléchi « ambiant ». Une situation réelle de mesure est donc :



Et le rayonnement total reçu par la caméra est donc :

$$R_{\text{mesuré}} = R_{\text{objet}} + R_{\text{réfléchi}}$$

$\swarrow$
 $\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{objet}})^4$

$\swarrow$
 $\rho \cdot \sigma \cdot (T_{\text{réfléchi}})^4$

D'où :

$$\begin{aligned}
 R_{\text{mesuré}} &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{objet}})^4 + \rho \cdot \sigma \cdot (T_{\text{réfléchi}})^4 \\
 &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{objet}})^4 + (1 - \varepsilon) \cdot \sigma \cdot (T_{\text{réfléchi}})^4
 \end{aligned}$$

Pour obtenir la température de l'objet, il est donc nécessaire de fournir à la RayCAM les paramètres émissivité et température réfléchie.

La température réfléchie correspond à la température ambiante proche de la cible. Si aucun élément ne vient perturber la cible à inspecter, cette température correspond à la température ambiante.

Dans le cas où une source chaude ou froide proche de la cible dégagerait une chaleur, une norme existe précisant la manière pour déterminer cette température réfléchie (Voir Annexe 2).

Application : voir annexe 3 exercice 5

5.2.2 Manipulations : étude de l'influence de la réflexion et de la transmission

Manipulation 3 : Mise en avant des problèmes de mesure liés aux phénomènes de réflexion

Créez un nouveau dossier.

- Positionnez la caméra en face de la plaque en aluminium : brillant, de faible émissivité et donc fortement réfléchissante.
- Prenez une mesure avec votre corps en face de la plaque.
- Prenez une mesure en décalant votre corps, de telle sorte qu'il ne soit pas en face de cette plaque.
- Quelle conclusion pouvez-vous en tirer ?

Manipulation 4 : Mise en avant des problèmes de mesure liés aux problèmes de transmission.

Créez un nouveau dossier.

- Prenez une mesure de température de la plaque noire centrale, d'émissivité 0,95.
 - Positionnez l'écran de test numéro 1 (fenêtre de plexiglas) sur la zone prévue du banc.
- Attendez 2-3 minutes que le milieu s'uniformise en température.
Ciblez la plaque noire à travers la vitre plexiglas et prenez une mesure de température. Retirez la vitre et reprenez une mesure.
- Quelle conclusion pouvez-vous en tirer ?

5.3 OPTIQUE ET CAMERA DE THERMOGRAPHIE

5.3.1 La théorie : étude de la résolution spatiale.

Pouvoir de Résolution Spatiale d'Observation (PRSO).

On peut définir le Pouvoir de Résolution Spatiale d'Observation (PRSO) par un angle. On parle d'angle IFOV (Instantaneous Field Of View) qui désigne l'angle

sous lequel un détecteur de la matrice voit une surface élémentaire (Δs) de la scène thermique.

La difficulté pour définir IFOV tient au fait que les dimensions des capteurs matriciels ne sont pas standardisées. On ne désigne donc pas un objectif par sa distance focale, mais par l'angle FOV (Field Of View), sous lequel la caméra voit la scène thermique. Il y a en fait deux FOV :

- HFOV : angle horizontal
- VFOV : angle vertical

A partir de là, IFOV peut être défini par la relation :

$$\text{IFOV } (^\circ) = \frac{\text{HFOV}}{\text{ndH}} = \frac{\text{VFOV}}{\text{ndV}}$$

Avec :

- ndH : nombre de détecteurs sur l'horizontale de la matrice
- ndV : nombre de détecteurs sur la verticale de la matrice

En fait, on préfère exprimer l'IFOV en milliradians (mrad), ce qui correspond à une surface élémentaire en mm vue à une distance de 1 m (...mm@1m).

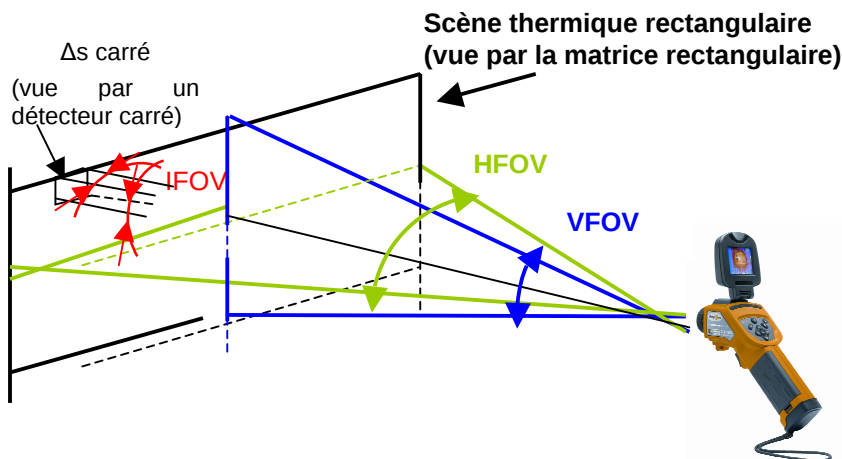
D'où la relation :

$$\text{IFOV (mrad)} = \frac{\text{HFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndH} \times 180^\circ} = \frac{\text{VFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndV} \times 180^\circ} = \text{PRSO}$$

L'IFOV correspond à la résolution spatiale de la caméra, c'est à dire à la dimension de la zone que peut mesurer un détecteur. Cette dimension dépend de la distance à laquelle se trouve la caméra de la cible.

Plus l'on est proche de la zone à inspecter, plus l'IFOV sera petit et la caméra percevra des objets de petite taille.

Schéma reprenant les différentes notions :



Application : voir annexe 3 exercice 6.

Pouvoir de Résolution Spatiale de Mesure (PRSM).

S'agissant de mesurer des températures et non plus de réaliser une image thermique, il faut s'intéresser à l'aspect métrologique de la caméra.

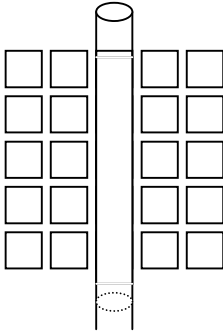
En effet, chaque détecteur est autonome et effectue une mesure du rayonnement reçu sur l'ensemble de sa zone. Le détecteur effectuera ainsi la moyenne du rayonnement total reçu et fournira à l'utilisateur la température correspondante.

Prenons le cas de la détermination de la température d'un fil.

Cas n°1 :

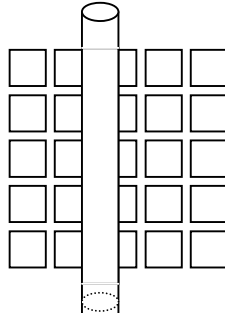
Le fil est de la taille d'1 IFOV.

Pour être certain de faire une mesure correcte, il faudrait que le fil se positionne de la sorte :



Dans cette configuration, nous obtiendrons une valeur de température correcte

En réalité, on a plus de risque d'avoir cette configuration :



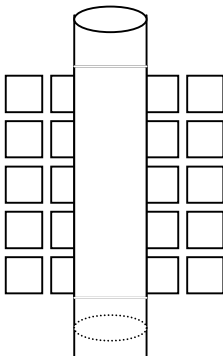
Aucun détecteur n'est recouvert complètement donc on n'aura aucune réponse correcte sur aucun des détecteurs !!!

Cette configuration n'est pas réaliste !!

Cas n°2 :

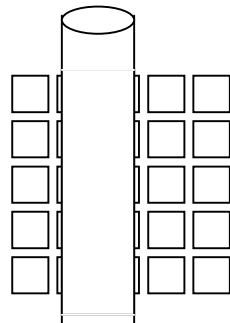
Le fil est de la taille de 2 IFOV.

Pour être certain de faire une mesure correcte, il faudrait que le fil se positionne de la sorte :



Dans cette configuration, nous obtiendrons une valeur de température correcte

En réalité, on a plus de risque d'avoir cette configuration :

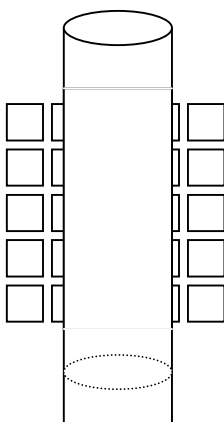


A nouveau, aucun détecteur n'est recouvert complètement : aucune réponse correcte sur aucun des détecteurs !!!

On n'est toujours pas certain de faire une mesure de température correcte.
Cette configuration n'est également pas réaliste !!

Cas n°3 :

Le fil est de la taille de 3 IFOV.



N'importe où se positionne le fil, il y
aura forcément un détecteur de recouvert !
La mesure est donc fiable.

Conclusion :

Pour être certain d'effectuer une mesure correcte, il faut que l'image de la cible
visée couvre au moins trois détecteurs.

La plus petite zone mesurable par la caméra correspond donc à 3 IFOV.

Soit :

$$PRSM = 3 PRSO$$

Application : voir annexe 3 exercices 7 à 9.

5.3.2 Manipulation : étude de la résolution spatiale.

Positionnez l'écran de test numéro 2 (fentes) sur la zone prévue du banc.
Attendez 2-3 minutes que le milieu s'uniformise en température.

- Positionnez la RayCAM à 10 cm de l'écran n°2.
- Prenez un thermogramme de chaque série de fentes.

A l'aide des curseurs, déterminez la température de chaque fente.
Quelle est la conclusion ?

- Positionnez la RayCAm à 30 cm de l'écran n°2.
Prenez un thermogramme de chaque série de fentes.
A l'aide des curseurs, déterminez la température de chaque fente.
Quelle est la conclusion ?

- Positionnez la RayCAm à 80 cm de l'écran n°2.
Prenez un thermogramme de chaque série de fentes.
A l'aide des curseurs, déterminez la température de chaque fente.
Quelle est la conclusion ?

- Quel enseignement pouvez-vous tirer de cette manipulation ?

5.4 MANIPULATIONS SUR LOGICIEL

Voir Notice de fonctionnement pour la prise en main du logiciel RayCAm *report*.

L'objectif est de reprendre les différentes mesures explicitées ci-dessus à l'aide du logiciel RayCAm *report* et des images sauvegardées dans la caméra.

Manipulation 1 : transfert et archivage des thermogrammes

Connectez la caméra à un PC à l'aide du câble USB fourni.
Le PC reconnaît la RayCAm comme un disque dur externe.
Ouvrez le répertoire correspondant à la caméra, sélectionnez les différents dossiers et transférez-les vers le disque dur du PC.

Renommez les dossiers selon les différentes manipulations effectuées :

- Emissivité des matériaux
- Positionnement
- Réflexion
- transmission
- Résolution spatiale

Manipulation 2 : étude de l'influence de l'émissivité

- Ouvrez le logiciel et créez autant de zones infrarouge que vous avez d'images dans le dossier « Emissivité des matériaux ».
Insérez un thermogramme par zone.

- Insérez des points sur chaque matériaux et type de surface de chaque thermogramme.
- Créez une zone tableau par thermogramme.
Remplissez le tableau avec les éléments suivants : numéro et émissivité image IR, température et émissivité des points.
- Modifiez l'émissivité des points jusqu'à obtenir la température de la plaque noire.
- Comparez vos résultats avec ceux obtenus à l'aide de la caméra.

Manipulation 3 : étude de la résolution spatiale

- Ouvrez une nouvelle page de rapport et créez autant de zones infrarouge que vous avez d'images dans le dossier « Résolution spatiale ».
Insérez un thermogramme par zone.
- Insérez des points sur chaque fente de chaque thermogramme.
- Insérez une ligne sur chaque série de fentes.
- Créez une zone outil ligne d'analyse par thermogramme. Connectez éventuellement plusieurs lignes d'analyse si vous avez inséré plusieurs lignes sur votre thermogramme.
Déterminez la température de chaque fente.
- Créez une zone tableau par thermogramme.
Remplissez le tableau avec les éléments suivants : numéro et émissivité image IR, température des points.
- Tirez les conclusions qui s'en suivent des valeurs affichées dans le tableau à l'aide d'une zone texte.
- Comparez vos résultats avec ceux obtenus à l'aide de la caméra.

5.5 LA THERMOGRAPHIE EN PRATIQUE

5.5.1 Modes de détermination de défaut.

La thermographie absolue

Ce mode renseigne sur l'état d'un composant ou d'un matériau, compte-tenu de ses conditions de fonctionnement du moment.

La question qu'il faut alors se poser est : est-ce en deçà ou au-delà du maximum fourni par le constructeur ?

Lorsque la thermographie IR est intégrée dans les procédures de maintenance prédictive, on peut tracer l'évolution temporelle de la température absolue, puis extrapoler afin de connaître la date à laquelle un composant, par suite de son vieillissement, sera bon à changer.

La thermographie comparative qualitative

Considérant qu'il n'est pas toujours possible de déterminer correctement les températures, on pourra dans certaines circonstances se contenter de procéder qualitativement, en réglant de façon identique la caméra entre les deux scènes et en travaillant uniquement sur les différences apparentes dans l'image.

La thermographie comparative quantitative

La thermographie comparative quantitative consiste à comparer un matériau ou un composant supposé défectueux, avec un équivalent considéré comme une référence saine fonctionnant dans des conditions similaires.

Voici quelques données concernant des recommandations à mettre en place, ce mode de détermination de degrés d'intervention est utilisé pour la maintenance électrique et mécanique :

Écart (ΔT) basé sur la comparaison avec des composants identiques travaillant dans les mêmes conditions de charge	Critère de sévérité
< 10 °C	Possible. Surveiller jusqu'à la prochaine maintenance déjà planifiées
10 °C à 20 °C	Intermédiaire. Mesures correctives à mettre en place, planifier (~ 3 mois)

20 °C à 40 °C	Sérieux. Mesures correctives urgentes (max 1 mois)
> 40 °C	Critique. Mesures correctives à prendre immédiatement (max 1 sem.)

Application : voir annexe 3 exercice 10

5.5.2 Applications

La maintenance électrique

Les objectifs d'un tel contrôle sont de mettre en évidence, dans les infrastructures électriques en charge, des échauffements pouvant avoir diverses origines :

- o mauvaises connexions,
- o surcharges,
- o déséquilibre de phases,
- o contacts défaillants...

Ceci afin de prévoir et d'éviter :

- o des dégradations de matériels coûteux,
- o des arrêts de production,
- o des pertes d'exploitation,
- o des incendies...

L'objectif est d'apporter des éléments de décision permettant de réaliser les interventions correctives, de prévoir, d'anticiper, sur d'éventuels travaux à réaliser, puisque identifiés et de faciliter la maintenance des installations électriques (gain de temps et de sécurité)

La méthodologie à effectuer pour un contrôle en maintenance électrique est la suivante :

Un balayage systématique de l'ensemble de l'installation électrique est effectué (en cas de besoin et dans la mesure des possibilités, une visualisation par l'arrière est réalisée).

Les systèmes examinés étant en fonctionnement, les éléments qui composent l'installation électrique sont en charge normale. En fait, ils vont nous apparaître, sur l'image infrarouge, plus ou moins rayonnant suivant leur rôle, leur conception, leur charge, leur matériau.

L'opérateur doit effectuer la distinction entre les températures normales de fonctionnement et celles d'anomalies. Les anomalies étant localisées physiquement, un réglage des paramètres de l'objet (émissivité, ambiance...)

permet le calcul direct de la température maximale observée et éventuellement la surchauffe.

Un calcul complémentaire peut, dans le cas où le système n'est pas à sa charge normale, permettre d'estimer la surchauffe ramenée à son fonctionnement normal.

On admet qu'un défaut est de nature résistive. L'écart brut de température doit être compensé en fonction de la charge :

$$\Delta T_{\text{effectif}} = \Delta T_{\text{brut}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}})^2$$

C'est l'écart effectif qui est à considérer pour la classification du défaut.

Il reste à déterminer les degrés d'urgence d'intervention. Cette détermination est très importante car elle permet une véritable localisation dans le temps ; d'où une gestion aisée du traitement des anomalies.

Un cliché dans l'infrarouge et une photo dans le visible mémorisent le défaut.

Application: voir annexe 3 exercice 11

Application : la maintenance mécanique

Les pièces mécaniques en mouvement s'échauffent normalement du fait des frottements. La thermographie infrarouge permet de mettre en évidence des échauffements anormaux dus à :

- une usure
- un mauvais alignement
- un problème de lubrification.

Ce moyen d'investigation est principalement utilisé sur des ensembles moto-pompe ou moto-ventilateur. Il est utilisé en complément d'une analyse vibratoire, bien plus lourde à mettre en place.

En une seule image nous avons un état de santé du moteur électrique, de son alimentation (câbles), des paliers et éventuellement de l'alignement.

Il reste à déterminer les degrés d'urgence d'intervention.

Application : la thermique du bâtiment

Ces applications de la thermographie infrarouge concernent les architectes, les installateurs de chauffage et de sanitaire, les exploitants de chauffage, les électriciens, les sociétés immobilières, les experts immobiliers, les propriétaires, les assureurs.

A l'aide de l'infrarouge il est aisé de visualiser la distribution de chaleur sur la façade d'un bâtiment et il est possible de localiser précisément les pertes de chaleur dues à un défaut d'isolation. On peut ainsi dresser un bilan thermique du bâtiment.

Il est également possible de visualiser des canalisations enterrées :

- Chauffage au sol :
 - o Localisation de fuites : les canalisations qui transportent un fluide chaud et qui affleurent la surface du sol peuvent être facilement visualisées et il est possible de localiser précisément des fuites dans le réseau.
 - o Localisation des éléments chauffants : une localisation précise des tubes peut être nécessaire en vue du percement du sol pour travaux.
- Réseaux de distribution de chaleur (chauffages urbains) : suivi des canalisations enterrées, localisation de fuites dans les réseaux enterrés ou dans les caniveaux.

5.6 REALISATION D'UN RAPPORT Q19

5.6.1 Présentation

Un contrôle des installations électriques par thermographie infrarouge effectué selon le cahier des spécifications techniques du document APSAD D19, entraîne la délivrance du Q19 : déclaration de contrôle d'une installation électrique par thermographie infrarouge, permettant une éventuelle négociation du montant de la prime d'assurance de votre entreprise.

Les contraintes d'une telle inspection sont les suivantes :

- Fournir au thermographe avant l'intervention :
 - La liste complète et détaillée des matériels à contrôler.
 - Les informations sur les contraintes technologiques à prendre en considération (existence de plastrons, conditions particulières de fonctionnement ...)
 - Les informations concernant l'existence d'emplacements, de zones ou de locaux, présentant des dangers particuliers d'incendie, d'explosion.
- S'engager à :
 - Faire accompagner le thermographe sur les installations par un technicien du service.
 - Prendre connaissance du rapport de contrôle afin de remédier, dans les délais indiqués, aux défauts signalés, notamment lorsqu'ils sont susceptibles de provoquer un incendie.

- Communiquer à la société d'assurance un exemplaire de la déclaration Q19 dans les quinze jours après réception du rapport.

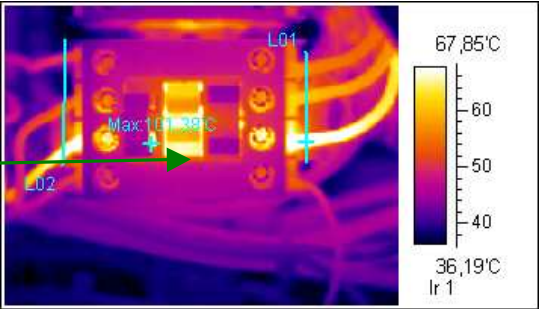
Les engagements du thermographe:

- Noter, à partir de la liste des matériels à inspecter, les différentes observations essentielles à la compréhension et à la résolution des problèmes (intensité, remarques, type et urgence des anomalies)
- Garantir les compétences de l'opérateur: L'ensemble de l'équipe intervenante est habilité BR H1V et est titulaire du certificat « Opérateur en contrôle d'installations électriques par thermographie infrarouge » délivré par le CNPP.
- Fournir, dès la fin de l'intervention, un premier compte-rendu oral ou écrit, du déroulement de l'intervention, et signaler les anomalies de grande urgence.
- Rédiger et envoyer dans les quinze jours suivant le contrôle, un rapport d'intervention comprenant :
 - Une présentation de l'intervention
 - La liste détaillée des équipements contrôlés
 - Un tableau récapitulatif des anomalies rencontrées
 - Une appréciation générale des installations électriques
 - Les fiches d'anomalies comprenant :
 - Un cliché infrarouge de l'anomalie,
 - Un cliché visible,
 - La localisation et la définition du matériel,
 - La température maximale observée au niveau de l'anomalie (+ ou – 5%),
 - Le profil de température,
 - Le degré d'urgence estimé.
 - L'habilitation électrique et la certification APSAD de l'opérateur
 - Le certificat d'étalonnage de la caméra infrarouge
 - La déclaration Q19 de contrôle d'une installation électrique par thermographie infrarouge prévue à la clause n°27c des traités d'assurance incendie APSAD

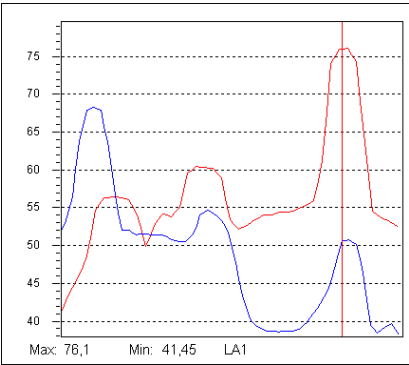
Ci-dessous un exemple de fiche d'anomalie correspondant à une inspection en thermographie infrarouge.

CONTROLE THERMOGRAPHIQUE

Fiche d'anomalie N°: 1
Poste :
Equipement :
Charge : 100 %



IR Info	Value
IrNo	1
ems	0,9
dist	1
envtmp	25
Date	2003-9-3
Time	12:52:39
Label	Value
Max:Temp	101,38
Max:ems	0,9
Max:dist	1



Diagnostic :

Recommandation :

CONCLUSION :

.....

..

Contrôlé par : M.

Réparé le : .. / .. / 2... par M.

Réparation vérifiée le .. / .. / 2... par M.

Degré d'urgence :
Réparation immédiate
Réparation dans 1 mois
A surveiller

X

5.6.2 Mise en application

A l'aide d'une armoire électrique présente dans la salle, prenez des thermogrammes de l'installation et réaliser un rapport selon le modèle Q19.

6. MAINTENANCE

Le fabricant ne pourra être tenu responsable de tout accident survenu suite à une réparation effectuée en dehors de son service après-vente ou des réparateurs agréés.

Entretien :

nettoyage :

- déconnectez l'appareil du réseau d'alimentation secteur ;
- nettoyez à l'aide d'un chiffon légèrement imbibé d'eau savonneuse et rincez avec le chiffon légèrement imbibé d'eau claire ;
- laissez sécher complètement avant toute nouvelle utilisation.

Réarmement du thermostat de sécurité :

- déconnectez l'appareil du réseau d'alimentation secteur ; ou appuyer sur le bouton sur le fond du boîtier
- dégondez le couvercle en actionnant les deux verrous d'ouverture ;
- ouvrez le boîtier en dévissant les cinq vis du fond ;
- appuyez jusqu'au déclic sur le pion central du thermostat ;
- remontez l'ensemble.

Un nouveau déclenchement sans motif réel sera le signe d'un défaut.

6.1 REPARATION

Réparation sous garantie et hors garantie.

Adressez vos appareils à l'un des Centres Techniques régionaux MANUMESURE, agréés CHAUVIN ARNOUX

Renseignements et coordonnées sur demande :

Tél. : 02 31 64 51 43

Fax. : 02 31 64 51 09

Réparation hors de France métropolitaine.

Pour toute intervention sous garantie ou hors garantie, retournez l'appareil à votre distributeur.

6.2 CHANGEMENT FUSIBLE

Déconnectez l'appareil du réseau d'alimentation secteur ;

Entre la prise et le bouton Marche/Arrêt, appuyez sur les deux languettes pour tirer le porte fusible vers l'extérieur.

Pour garantir la continuité de la sécurité, ne remplacer le fusible défectueux que par un fusible aux caractéristiques strictement identiques .

Un fusible de remplacement est disponible dans le porte fusible après son ouverture.

7. GARANTIE

Notre garantie s'exerce, sauf stipulation expresse, pendant **douze mois**, après la date de mise à disposition du matériel (extrait de nos Conditions Générales de Vente, communiquées sur demande).

La garantie ne s'applique pas suite à :

- une utilisation inappropriée de l'équipement ou à une utilisation avec un matériel incompatible ;
- des modifications apportées à l'équipement sans l'autorisation explicite du service technique du fabricant ;
- des travaux effectués sur l'appareil par une personne non agréée par le fabricant ;
- une adaptation à une application particulière, non prévue par la définition du matériel ou non indiquée dans la notice de fonctionnement ;
- des dommages dus à des chocs, chutes ou inondations.

8. POUR COMMANDER

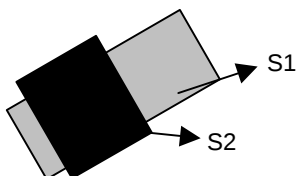
C.A 1875.....P01.6516.20

Fourni avec un cordon d'alimentation, deux écrans de test accessoire, une notice de fonctionnement incluant le manuel de TP dans une sacoche.

ANNEXE 1 : DETERMINATION EMISSIVTE

Il s'agit de la norme ASTM E1933-99A :

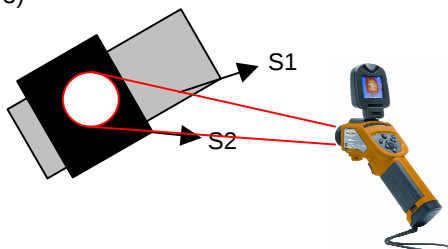
1)



Soit S1 la surface du matériau dont on cherche à déterminer l'émissivité. Appliquons sur S1 une couche de peinture noire S2 dont l'émissivité est connue.

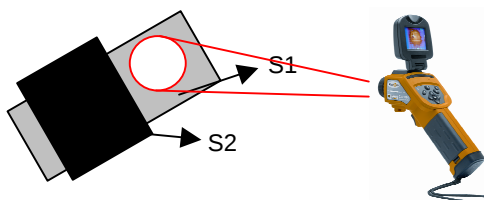
2) S1 et S2 étant dans les mêmes conditions environnementales, les deux surfaces sont à la même température.

3)



Avec la RayCAM, on mesure la température de S2 avec une émissivité de 0,95 paramétrée dans la caméra

4)



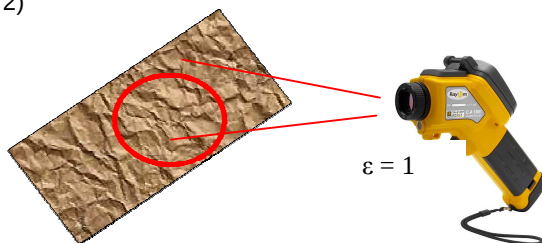
Une fois la température déterminée, on déplace la caméra vers la cible dont l'émissivité est inconnue. Il suffit de modifier ce paramètre sur la RayCAM jusqu'à obtenir sur la cible inconnue la même valeur de température que sur S2. L'émissivité du corps est alors déterminée.

ANNEXE 2 : DETERMINATION TEMPERATURE REFLECHIE

Il s'agit de la norme ASTM E1933-99A :

1) On place au plus près de la scène visée, avec la même orientation par rapport à la caméra, une feuille d'aluminium ménager préalablement froissée puis défroissée grossièrement.

2)



On fait l'hypothèse que la feuille d'aluminium est un réflecteur parfait sur lequel se réfléchit un corps noir équivalent à l'environnement moyen.

Le réglage d'émissivité dans la caméra est donc : $\epsilon = 1$

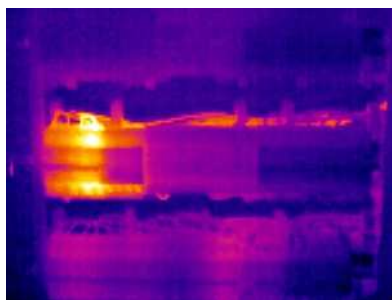
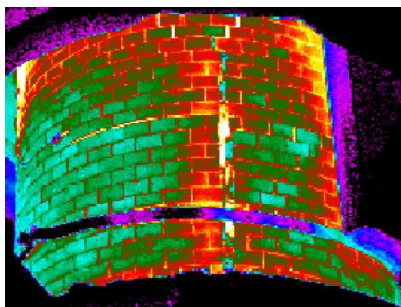
3) On mesure la température du corps noir équivalent à l'environnement sur la feuille d'aluminium, au moyen d'un outil d'analyse adapté - spot avec moyennage sur plusieurs positions ou encore mieux, la moyenne calculée sur une large zone.

4) Cette Température Réfléchie est à entrer manuellement dans le calculateur. Elle deviendra active dès lors que l'émissivité d'un objet réel sera inférieure à 1.

ANNEXE 3 : EXERCICES D'APPLICATION

Exercice 1

Mise en avant de conduction en thermographie IR :

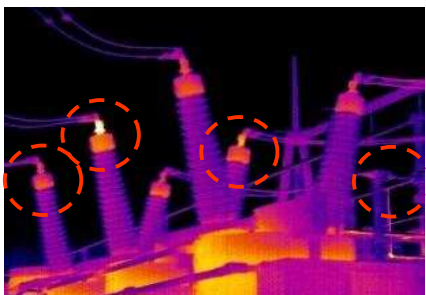


Commentez ces deux images.

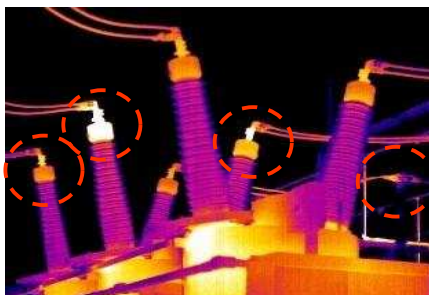
Exercice 2

Mise en avant des problèmes de convection forcée en thermographie IR.

Thermogramme pris par grand vent



Thermogramme pris par temps calme



Exercice 3

Un corps noir de forme sphérique, ayant un rayon de 5 cm, émet un rayonnement de 230 W.

- a) Quelle est la température de ce corps ?
- b) Quelle est la longueur d'onde correspondant au maximum d'énergie rayonnée?

Exercice 4 :

D'après les estimations faites sur la terre, la surface du soleil est $6,1 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$ et la puissance rayonnée est de $3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$.

En supposant que le soleil est assimilé à un corps noir :

- a) Quelle est la température de surface ?
- b) Quelle est la longueur d'onde correspondant au maximum d'énergie rayonnée ?

Exercice 5:

Mise en avant des problèmes de transmission en thermographie IR.



Commentez ce thermogramme.

Exercice 6

Selon les caractéristiques de la RayCAM, déterminer l'IFOV de la camera en mrad et en ...mm@1m :

- a) Selon les éléments verticaux de la matrice

- b) Selon les éléments horizontaux de la matrice
- c) Quelle est la plus petite surface détectable par la caméra ?

Exercice 7

- a) Quel est la largeur de la plus petite zone mesurable d_1 par la RayCAM ?
- b) Quel est la largeur de la plus petite zone mesurable d_2 par la RayCAM à 50 cm ?

Exercice 8

A quelle distance doit-on se positionner pour mesurer la température :

- a) D'un câble de 2 mm de diamètre (d_1) ?
- b) D'un câble de 5 mm de diamètre (d_2) ?
- c) D'un câble de 10 mm de diamètre (d_3) ?

Exercice 9

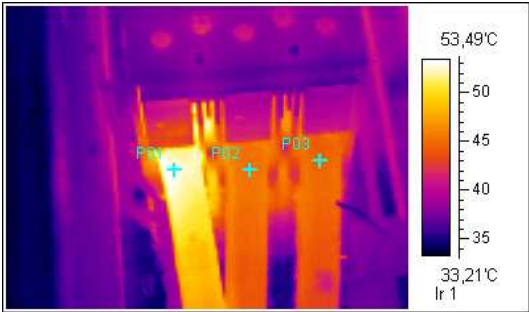
Nous cherchons à déterminer la température d'un câble de $1,5 \text{ mm}^2$.

- a) A l'aide d'un objectif standard, à quelle distance d_1 dois-je me mettre pour effectuer une mesure correcte ?
- b) Puis-je utiliser un objectif grand angle d'IFOV de 4,1 mrad? Si oui, quelle est la distance à respecter ?

Exercice 10

Déterminer les degrés d'urgence d'intervention des thermogrammes ci-dessous.

Thermogramme 1



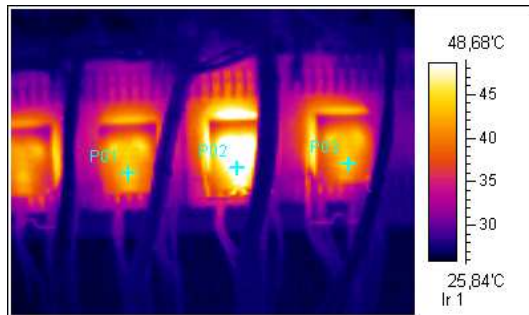
P01	52,8°C
P02	45,5°C
P03	45°C

Thermogramme 2



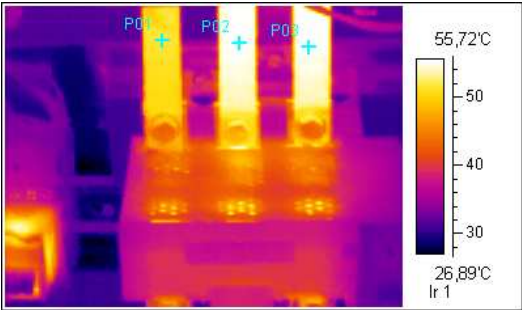
P01	57,9°C
P02	68°C
P03	67,4°C

Thermogramme 3



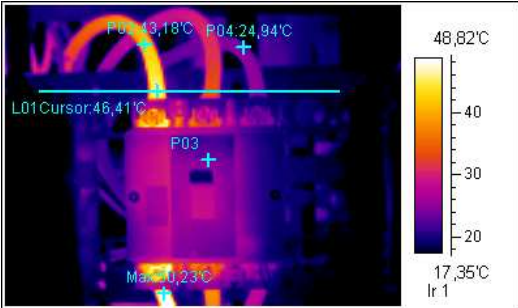
P01	45,5°C
P02	51,6°C
P03	44,7°C

Thermogramme 4



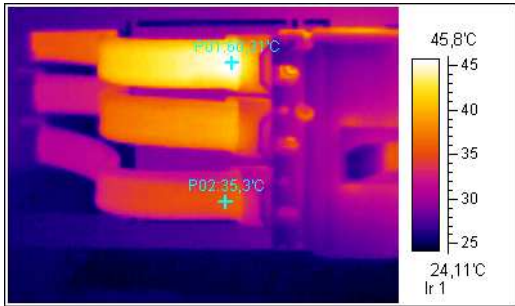
P01	51,3°C
P02	55,3°C
P03	55,4°C

Thermogramme 5



P02	43,2°C
P04	24,9°C

Thermogramme 6



P01	60,3°C
P04	35,3°C

Exercice 11

Déterminer les degrés d'urgence d'intervention des thermogrammes précédents sachant que :

- Thermogramme 1 pris à 60 % de la charge nominale
- Thermogramme 2 pris à 90 % de la charge nominale
- Thermogramme 3 pris à 85 % de la charge nominale
- Thermogramme 4 pris à 40 % de la charge nominale
- Thermogramme 5 pris à 90 % de la charge nominale
- Thermogramme 6 pris à 100 % de la charge nominale

ANNEXE 4 : SOLUTIONS

Solution 1

Thermogramme 1 :

Il s'agit de l'observation d'un réfractaire à l'aide d'une caméra infrarouge. A l'œil nu, on ne voit rien. Normalement, si la cheminée était bien isolée, nous devrions avoir une température uniforme à la surface du réfractaire, donc une couleur uniforme. Or nous pouvons voir verticalement un trait de couleur plus claire, donc de température plus chaude. On peut conclure qu'il y a un défaut et que le réfractaire commence à se fissurer.

Thermogramme 2 :

Par conduction, la chaleur se propage le long du câble. On peut voir que le fil est chaud, mais il ne s'agit pas d'un défaut, le problème est ailleurs !

Ainsi, il faut faire attention si l'on tombe sur un câble avec une température supérieure lors de l'inspection, bien vérifier de part et d'autre du point chaud pour connaître l'origine exacte du défaut (c'est le point le plus chaud qui est la source du problème).

Solution 2

Thermogramme 1

L'image ayant été prise par grand vent, l'air a uniformisé la température de surface des objets environnant. Or la thermographie infrarouge est une technique de mesure de surface. Ainsi, rien ne pourra être observé à l'aide d'une caméra et les problèmes éventuels ne pourront être détectés. D'où l'obtention d'une température uniforme à la surface des objets et une couleur uniforme qui apparaît sur le thermogramme.

Mauvaise interprétation de l'image, passage à côté de problèmes.

Thermogramme 2

L'image a été prise par temps calme, sans influence de l'air environnant. La température de surface des objets observés correspond donc bien à la température interne des objets. Des points chauds apparaissent ainsi, d'où une couleur plus claire qui apparaît sur certaines parties du thermogramme.

Interprétation correcte de l'image et du système, mise en avant de problèmes.

Solution 3

Question a

Loi de Stéfán :

$$P = S \varepsilon \sigma T^4$$

Avec $\varepsilon = 1$ car corps noir

$\sigma = 5,68.10^{-8}$ Constante de Boltzman

$S = \pi R^2$ surface d'une boule

D'où :

$$T^4 = P / S \varepsilon \sigma \quad \Rightarrow \quad T = 847 \text{ K} = 574 \text{ °C}$$

Question b

Loi de déplacement de Wien :

$$\lambda_{\max} T = \text{Cste} \\ = 2\,898 \text{ }\mu\text{m.K}$$

D'où :

$$\lambda_{\max} = 2\,898 / T \Rightarrow \lambda_{\max} = 3,42 \text{ }\mu\text{m}$$

Solution 4

Question a

Loi de Stéfán :

$$P = S \varepsilon \sigma T^4$$

Avec $\varepsilon = 1$ car corps noir

$\sigma = 5,68.10^{-8}$ Constante de Boltzman

D'où :

$$T^4 = P / S \varepsilon \sigma \quad \Rightarrow \quad T = 5\,792 \text{ K}$$

Question b

Loi de déplacement de Wien :

$$\lambda_{\max} T = \text{Cste} \\ = 2\,898 \text{ }\mu\text{m.K}$$

D'où :

$$\lambda_{\max} = 2\,898 / T \Rightarrow \lambda_{\max} = 0,5 \text{ }\mu\text{m}$$

Nous sommes dans le visible, c'est pour cela que le soleil nous apparaît jaune...

Solution 5

Il s'agit d'une image thermographique d'un visage avec lunette.

Nous observons que la température des lunettes est plus froide que la température du visage de la personne.

En première conclusion, nous pourrions dire que les yeux de la personne sont plus froids que le restant de son visage.

Cette analyse est bien entendue fausse : il s'agit simplement d'un problème de transmission ! En effet, il n'est pas possible d'observer et de mesurer des températures à travers un verre !

D'où cette mesure fausse !

Solution 6

Question a

Selon la définition de l'IFOV, nous avons :

$$\text{IFOV } (^\circ) = \frac{\text{VFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndV} \times 180^\circ}$$

Avec VFOV = 15° (angle de vue vertical)

ndV = 120 (nombre de détecteurs sur la verticale de la matrice)

D'où :

$$\text{IFOV} = 2,18 \text{ mrad}$$

Un détecteur voit une surface élémentaire de 2,18 mm à une distance de 1 m

Question b

Selon la définition de l'IFOV, nous avons :

$$\text{IFOV } (^\circ) = \frac{\text{HFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndH} \times 180^\circ}$$

Avec HFOV = 20° (angle de vue vertical)

ndH = 160 (nombre de détecteurs sur la verticale de la matrice)

D'où :

$$\text{IFOV} = 2,18 \text{ mrad}$$

Un détecteur voit une surface élémentaire de 2,18 mm à une distance de 1 m

Nous obtenons bien le même IFOV en travaillant sur les éléments verticaux ou sur les éléments horizontaux.

Question c

La distance minimale de focalisation de la RayCAm est de 10 cm.

D'après les résultats ci-dessus, la RayCAm détecte une zone de 2,18 mm par 2,18 mm à une distance de 1m.

On a alors :

$$\begin{array}{ll} \text{À 1 m} & \Delta s_1 = 2,18 \text{ mm} \\ \text{À 10 cm} & \Delta s_2 = x \text{ mm} \end{array}$$

D'où :

$$\Delta s_2 = 0,218 \text{ mm}$$

Solution 7

Question a

L'IFOV de la RayCAm est de 2,2 mrad.

La distance minimale de focalisation est de 10 cm.

La plus petite zone mesurable correspond à la valeur de 3 IFOV.

Nous avons donc:

$$d_1 = 3 \times \text{IFOV}_{10 \text{ cm}}$$

D'où:

$$d_1 = 0,66 \text{ mm}$$

Question b

L'IFOV de la RayCAm est de 2,2 mrad.

On a alors :

$$\text{à } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{à } 50 \text{ cm} \quad \Delta s_2 = x \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{De plus : } d_2 &= 3 \times \text{IFOV}_{50 \text{ cm}} \\ &= 3 \times \Delta s_2 \end{aligned}$$

D'où :

$$d_2 = 3,3 \text{ mm}$$

Solution 8

Question a

Pour être certain de faire une mesure correcte, on doit avoir au maximum:

$$d_{\text{câble}} = 3 \times \Delta s_2$$

De plus, selon l'IFOV de la caméra:

$$\text{à } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{à } d_1 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{câble}} / 3$$

On a alors :

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta s_2 / 2,2 \\ &= (d_{\text{câble}} / 3) / 2,2 \end{aligned}$$

D'où :

$$d_1 = 0,30 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

La caméra doit se situer à une distance maximale de 30 cm pour effectuer une mesure correcte.

Question b

Pour être certain de faire une mesure correcte, on doit avoir au maximum:

$$d_{\text{Câble}} = 3 \times \Delta S_2$$

De plus, selon l'IFOV de la caméra:

$$\text{à } 1 \text{ m} \quad \Delta S_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{à } d_2 \text{ m} \quad \Delta S_2 = d_{\text{Câble}} / 3$$

On a alors :

$$\begin{aligned} d_2 &= \Delta S_2 / 2,2 \\ &= (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2 \end{aligned}$$

D'où :

$$d_2 = 0,76 \text{ m} = 76 \text{ cm}$$

La caméra doit se situer à une distance maximale de 76 cm pour effectuer une mesure correcte.

Question c

Pour être certain de faire une mesure correcte, on doit avoir au maximum:

$$d_{\text{Câble}} = 3 \times \Delta S_2$$

De plus, selon l'IFOV de la caméra:

$$\text{à } 1 \text{ m} \quad \Delta S_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{à } d_3 \text{ m} \quad \Delta S_2 = d_{\text{Câble}} / 3$$

On a alors :

$$\begin{aligned} d_3 &= \Delta S_2 / 2,2 \\ &= (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2 \end{aligned}$$

D'où :

$$d_3 = 1,5 \text{ m}$$

La caméra doit se situer à une distance maximale de 1,5 m pour effectuer une mesure correcte.

Solution 9

Question a

Le diamètre d du câble correspondant est :

$$P = \pi \times (d/2)^2$$

Donc :

$$d = (4 \times P / \pi)^{1/2}$$

Pour être certain de faire une mesure correcte, on doit avoir au maximum:

$$d_{\text{Câble}} = 3 \times \Delta S_2$$

De plus, selon l'IFOV de la caméra:

$$\text{à } 1 \text{ m} \quad \Delta S_1 = 2,2 \text{ mm}$$

$$\text{à } d_1 \text{ m} \quad \Delta S_2 = d_{\text{Câble}} / 3$$

On a alors :

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta S_2 / 2,2 \\ &= (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2 \end{aligned}$$

$$= ((4 \times P) / \pi)^{1/2} / 3) / 2,2$$

D'où :

$$d_1 = 0,21 \text{ m} = 21 \text{ cm}$$

Pour effectuer une mesure correcte, il faut que la caméra soit entre 10 cm et 21 cm de la cible.

Question b

Pour être certain de faire une mesure correcte, on doit avoir au maximum:

$$d_{\text{Câble}} = 3 \times \Delta S_2$$

De plus, selon l'IFOV de la caméra:

$$\text{à } 1 \text{ m} \quad \Delta S_1 = 4,1 \text{ mm}$$

$$\text{à } d_1 \text{ m} \quad \Delta S_2 = d_{\text{Câble}} / 3$$

On a alors :

$$d_1 = \Delta S_2 / 2,2$$

$$= (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2$$

$$= ((4 \times P) / \pi)^{1/2} / 3) / 4,1$$

D'où :

$$d_1 = 0,11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

Il est possible d'utiliser un grand angle.

Pour effectuer une mesure correcte, il faut que la caméra soit entre 1 cm et 11 cm de la cible.

Solution 10

Thermogramme 1

Selon la température des curseurs, déterminons la différence de température entre P01 et P02 :

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{P01} - T_{P02} \\ &= 52,8 - 45,5 \end{aligned}$$

$$\Delta T = 7,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D'où un degré de criticité de niveau 0, à suivre.

Thermogramme 2

Selon la température des curseurs, déterminons la différence de température entre P01 et P02 :

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 68 - 57,9 \end{aligned}$$

$$\Delta T = 10,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D'où un degré de criticité de niveau 1, planifier une action corrective dans les 3 à 6 mois.

Thermogramme 3

Selon la température des curseurs, déterminons la différence de température entre P01 et P02 :

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 51,6 - 45,5\end{aligned}$$

$$\Delta T = 6,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D'où un degré de criticité de niveau 0, à suivre.

Thermogramme 4

Selon la température des curseurs, déterminons la différence de température entre P01 et P02 :

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 55,3 - 51,3\end{aligned}$$

$$\Delta T = 4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D'où un degré de criticité de niveau 0, à suivre.

Thermogramme 5

Selon la température des curseurs, déterminons la différence de température entre P02 et P04 :

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P04} \\ &= 43,2 - 24,9\end{aligned}$$

$$\Delta T = 18,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D'où un degré de criticité de niveau 1, planifier une action corrective dans les 3 à 6 mois.

Thermogramme 6

Selon la température des curseurs, déterminons la différence de température entre P02 et P01 :

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P01} - T_{P02} \\ &= 60,3 - 35,3\end{aligned}$$

$$\Delta T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D'où un degré de criticité de niveau 2, planifier une action corrective dans les 1 à 3 mois.

Solution 11Thermogramme 1

Nous avons la relation :

$$\Delta T_{\text{effectif}} = \Delta T_{\text{brut}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}})^2$$

L'installation a été thermographiée à 60 % de sa charge, d'où :

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}} = 100/60$$

L'écart de température mesurée était de 7,3°C

Ainsi :

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effectif}} &= \Delta T_{\text{brut}} \times (100/60)^2 \\ &= 7,3 \times (100/60)^2 \\ &= 20,3 \text{ °C}\end{aligned}$$

En réalité, le degré de criticité est de niveau 2, il est nécessaire de planifier une action corrective dans les 1 à 3 mois.

Thermogramme 2

Nous avons la relation :

$$\Delta T_{\text{effectif}} = \Delta T_{\text{brut}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}})^2$$

L'installation a été thermographiée à 90 % de sa charge, d'où :

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}} = 100/90$$

L'écart de température mesurée était de 10,1°C

Ainsi :

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effectif}} &= \Delta T_{\text{brut}} \times (100/90)^2 \\ &= 10,1 \times (100/90)^2 \\ &= 12,5 \text{ °C}\end{aligned}$$

Le degré de criticité est de niveau 1, planification d'une action corrective dans les 3 à 6 mois.

Il n'y a aucune influence notable de la charge.

Thermogramme 3

Nous avons la relation :

$$\Delta T_{\text{effectif}} = \Delta T_{\text{brut}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}})^2$$

L'installation a été thermographiée à 85 % de sa charge, d'où :

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}} = 100/85$$

L'écart de température mesurée était de 6,1°C

Ainsi :

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effectif}} &= \Delta T_{\text{brut}} \times (100/85)^2 \\ &= 6,1 \times (100/85)^2 \\ &= 8,5 \text{ °C}\end{aligned}$$

Le degré de criticité est de niveau 0, il est nécessaire de suivre l'évolution de l'installation.

Il n'y a aucune influence notable de la charge.

Thermogramme 4

Nous avons la relation :

$$\Delta T_{\text{effectif}} = \Delta T_{\text{brut}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}})^2$$

L'installation a été thermographiée à 40 % de sa charge, d'où :

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}} = 100/40$$

L'écart de température mesurée était de 4°C

Ainsi :

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effectif}} &= \Delta T_{\text{brut}} \times (100/40)^2 \\ &= 4 \times (100/40)^2 \\ &= 25 \text{ °C}\end{aligned}$$

Après une première approche où il paraissait qu'il n'y ait aucun défaut apparent, nous nous apercevons qu'il s'agit d'un degré de criticité de niveau 2 ! Une action corrective est à planifier dans les 1 à 3 mois.

Thermogramme 5

Nous avons la relation :

$$\Delta T_{\text{effectif}} = \Delta T_{\text{brut}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}})^2$$

L'installation a été thermographiée à 90 % de sa charge, d'où :

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{mesuré}} = 100/90$$

L'écart de température mesurée était de 18,3°C

Ainsi :

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effectif}} &= \Delta T_{\text{brut}} \times (100/90)^2 \\ &= 4 \times (100/90)^2 \\ &= 22,6 \text{ °C}\end{aligned}$$

Suite à cette correction de la charge, nous passons d'un degré de criticité de niveau 1 à un niveau 2 ! Une action corrective est à planifier dans les 1 à 3 mois.

Thermogramme 6

L'installation est à 100% de sa charge, aucune correction n'est donc à apporter !

You have just purchased a **C.A 1875 thermography tutorial bench** and we thank you for your confidence.

For best results from your instrument:

- **read** these operating instructions carefully,
- **observe** the precautions for use

MEANINGS OF THE SYMBOLS USED

	Selective sorting of wastes for the recycling of electrical and electronic equipment within the European Union. In accordance with directive WEEE 2002/96/EC: this equipment must not be processed as household waste.
	Possible hazard. Refer to the operating instructions before using the device.
	The CE marking guarantees conformity with European directives and with regulations concerning EMC.
	Attention, hot surface

PRECAUTIONS FOR USE

If this device is damaged or a part is missing, please immediately contact the seller.
Non-observance of the instructions or of the precautions for use may impair the protection provided by the device.

Refer to these instructions concerning each danger symbol encountered.

CONTENTS

1. INTRODUCTION	53
2. PRESENTATION	54
3. CHARACTERISTICS	56
3.1 General characteristics of the bench	56
3.2 Characteristics of the fuse	57
4. COMMISSIONING	57
5. MANIPULATIONS	58
5.1 THERMAL TRANSFERS.....	58
5.1.1 Theory.....	58
5.1.2 Manipulations: study of the influence of emissivity.....	63
5.2 Study of the real body.....	64
5.2.1 Theory.....	64
5.2.2 Manipulations: study of the influence of reflection and transmission.....	66
5.3 OPTICS AND THERMOGRAPHY CAMERA	67
5.3.1 Theory: study of the spatial resolution.....	67
5.3.2 Manipulation: study of spatial resolution.....	70
5.4 MANIPULATIONS ON SOFTWARE	71
5.5 THERMOGRAPHY IN PRACTICE	73
5.5.1 Fault determination modes.....	73
5.5.2 Applications.....	74
5.6 Producing a q19 report	76
5.6.1 Presentation.....	76
5.6.2 Application.....	79
6. MAINTENANCE	79
6.1 Repair	79
6.2 CHANGE OF FUSE.....	79
7. WARRANTY	80
8. TO ORDER	80

APPENDIX 1: DETERMINATION OF EMISSIVITY	81
APPENDIX 2: DETERMINATION OF REFLECTED TEMPERATURE	82
APPENDIX 3: APPLICATION EXERCISES	83
APPENDIX 4: SOLUTIONS	89

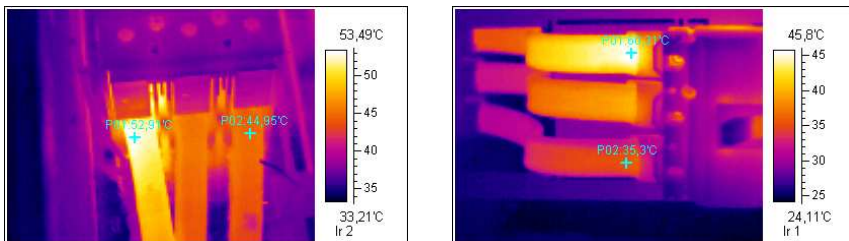
1. INTRODUCTION

Infrared thermography detection technology has become an essential means of guaranteeing the safety of industrial production conditions. It is used in sectors of industry as varied as metallurgy and steel-making, electric power, the oil industry, automation, the extraction of natural gas, the transport industry, and other professions active in fire fighting and border surveillance. In all of these activities, characterized by just-in-time operating procedures, production equipment at high voltage, powerful electric currents, or high operating speeds, infrared thermal imaging can be a useful contact-free real-time inspection method.

This detection method requires no breaking of current, no stopping of machines or interruption of production. It can diagnose latent defects in advance, and so forestall the occurrence of malfunctions and prevent production incidents. Thermal imaging is an innovative "contact-free" evaluation technique that is all at once safe, reliable, and rapid.

A thermal camera does not measure temperatures, but radiant fluxes. After the adjustment of a few parameters by the thermography operator, the camera calculates the temperatures of the target. It then gives the user a map of the temperatures, or "thermogram": each temperature is represented by a colour.

Here are two examples of thermograms:



Inside views of three-phase electrical boxes

First of all, we can see that these two thermograms are practically identical: we observe one phase that is hotter than the other two (the one on the left in the left-hand thermogram, the top one in the right-hand thermogram). As it happens, their colour is light yellow, which indicates according to the colour scale to the right of the IR image that the temperature is higher there.

Let's take a closer look at these two images, by inserting temperature cursors.

Left-hand thermogram:

- Cursor 1: 52.9°C
- Cursor 2: 44.9°C

In accordance with the rules of classical thermography (see below), there is no particular problem.

Right-hand thermogram:

- Cursor 1: 60.3°C
- Cursor 2: 35.3°C

In this case, the temperature difference is 25°C! We can conclude that there is a real problem in the installation and corrective action must be taken.

In conclusion, it is necessary to pay attention to the colour scales and to perform a genuine analysis. Dark means colder and light means hotter, but that does not mean that there is a problem to be detected! Bear in mind that the camera is a measurement tool and that the investigations must be continued!

2. PRESENTATION

Growing demand for training in infrared thermography has led CHAUVIN ARNOUX to develop measurement equipment specially designed for instructional purposes.

Far from being exhaustive, the manipulations proposed are intended only to illustrate, through a few examples, the false measurement records it is possible to produce in infrared thermography.

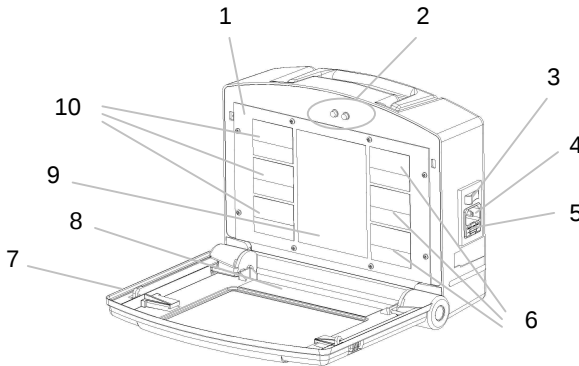
The objective is to make people aware that an infrared camera is a precision measurement tool that requires much training and experience to use correctly.

The **C.A 1875 tutorial bench** comprises a hot plate with several targets having different surface conditions and made of different materials, along with test screens that are affixed to the front of the bench using magnets. (See the diagram below).

The purpose of this bench is to allow the student to discover the main possible causes of error when making a measurement using an infrared camera.

This equipment can be used to perform the following experiments:

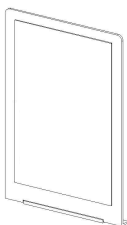
- Problem of emissivity of the materials
- Problems of positioning
- Problem of reflection
- Problem of transmission
- Problem of spatial resolution

Presentation of the C.A 1875 thermography tutorial bench:

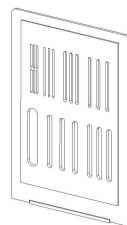
- 1: Hot plate
- 2: LEDs indicating rising or falling temperature
- 3: On / Off switch
- 4: Power cord connection
- 5: Fuse compartment
- 6: 10: Plates of different materials
- 7: Cover protecting the bench
- 8: Test screen attachment plate
- 9: Black reference plate for the various tests

Presentation of the test screens

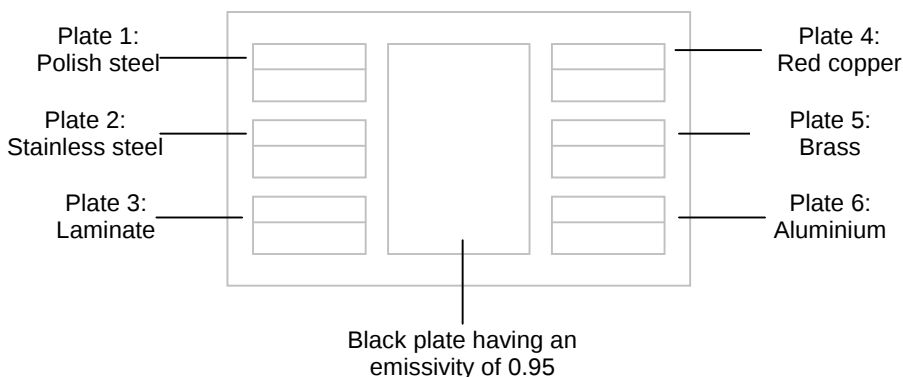
Test screen no. 1:
Plexiglas pane



Test screen no. 2:
Slits of variable width



Presentation of the hot targets



3. CHARACTERISTICS

3.1 GENERAL CHARACTERISTICS OF THE BENCH

Power supply: 230 V
50 / 60 Hz
Consumption: 400 mA
Temperature of hot plate: 50 to 55°C $\pm$ 3°C

Dimensions: 280 x 225 x 110 mm
Weight: 1.8 kg

Environmental conditions:

Indoor use:

0 to 40°C and 10 to 90% RH
Altitude less than 2000 m
Degree of pollution 2

Storage:

-20 to + 65°C and 10 to 90% RH
Altitude less than 12,000 m.

NB: storage at a higher temperature is possible but requires manually resetting the safety thermostat to render the device functional.

Conformity to international standards:

- Safety as per IEC 61010 Ed. 2 2001
- EMC as per IEC 61326 - 1 Ed. 97 + A1 Ed. 98 + A2 Ed. 2001

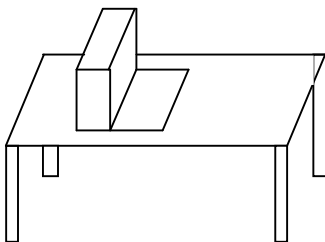
3.2 CHARACTERISTICS OF THE FUSE

Dimensions: 5 x 20 mm

Rating: 0.5 A fast-blow – 250 V

4. COMMISSIONING

The **C.A 1875 thermography tutorial bench** must be placed on a flat, level surface. The hot plate must be perpendicular to the work top.



Once the bench is in place, connect it to a mains outlet with an earth and power up using the On/Off button.

Wait a few minutes for the plate to warm up before running the first tests.

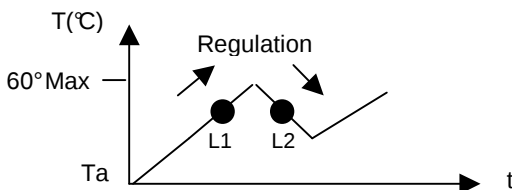


Diagram of operation of the LEDs and of the temperature variation of the hot plate.

When the bench is started up, L1 lights until the plate reaches approximately 55°C. When this temperature is reached, L2 lights and the plate cools to approximately 50°C. Heating resumes, with the lighting of L1, and so on. This cycle continues indefinitely for as long as the bench is in operation.

5. MANIPULATIONS

**Look up the operating instructions for the use of the RayCAM.
Before any new manipulation, create a new thermogram recording folder.
During the manipulations, save as many images as possible.**

5.1 THERMAL TRANSFERS

5.1.1 Theory

To correctly understand the events involved, it is important to know the phenomena that underlie evolutions or changes of temperature.

There are three thermal transfer modes:

- Conduction
- Convection
- Radiation

These three modes can be present simultaneously, independently of one another. A heat flux is a quantity of thermal energy per unit of time. A transfer flow occurs only when there is a temperature difference. Thermal energy is transferred from a hot body to a cold body.

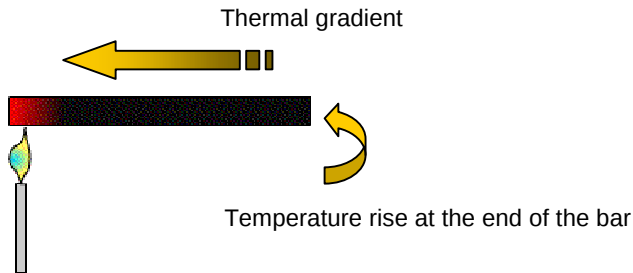
It is necessary first of all to understand the thermal phenomena involved.

Conduction.

In physics, thermal conductivity is the parameter used to quantify the ability of a body to conduct heat. It represents the quantity of heat transferred per unit of area and per unit of time under the action of a temperature difference between the two ends of a sample of the body, and therefore in the presence of a temperature gradient.

Consider the example of a metal bar that is heated at one of its ends: the thermal

agitation of the atoms located at the heated end of the bar increases and is transmitted step by step in the direction opposite the thermal gradient.

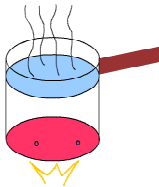


Application: see Appendix 3, exercise 1

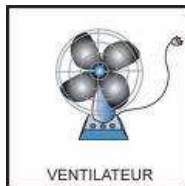
Convection.

A flow or circulation of a liquid or gas can transport with it a certain quantity of thermal energy. This transport of heat is called thermal CONVECTION. In convection, the heat uses the fluid as a vehicle to convey it. There are two types of convective transfers:

- Natural convection: when there is a temperature difference between two points in a fluid, the hot fluid tends to rise because of its buoyancy. This creates a natural circulation of the fluid under the effect of the heat, which is then transported by it: this is called natural convection.



- Forced convection in which the flow of the fluid is forced by some mechanical device (pump or gravity for a liquid, blower for air).



Forced convection is an undesirable phenomenon in infrared thermography. This is because forced convection cools the surface of a body without for all that altering its internal temperature.

For example, wind is a vector of forced convection. When there is wind, people feel cooler and their skin temperature may fall. But their internal temperature will not be modified at all! With or without wind, human body has a very fine regulation of its temperature.

Since we measure only the surface temperatures of objects in thermography, our analysis will be wrong. This is because the surface of the material will be at a uniform temperature because of forced convection, but the internal temperatures may be different.

Application: see Appendix 3, exercise 2

Radiation: case of the full radiator or black body.

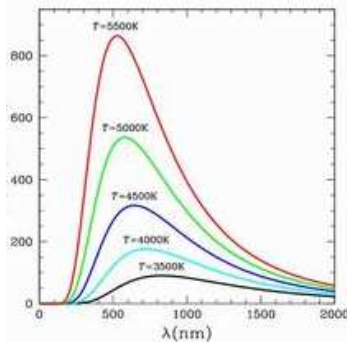
Any body at a temperature above 0 degree kelvin (absolute zero, or -273.15°C) emits electromagnetic radiation called thermal radiation. Infrared radiation is electromagnetic radiation of which the wavelength is between 700 nanometres and 1 millimetre.

Given the law of the conservation of energy, for a body to radiate, it must be the source of the energy: this is an internal energy.

In thermography, the radiation is used to measure the temperature of the body.

For each given temperature and wavelength, there is a maximum radiated energy that no body can exceed. This information is provided by Planck's curves:

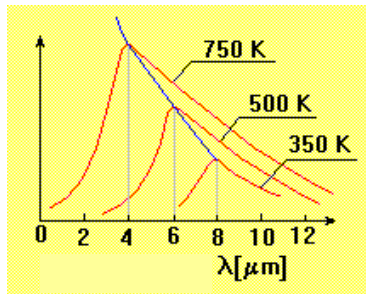
Radiated
energy



Wien's law gives the wavelength (in micrometers) corresponding to the maximum radiated energy of a black body at a specified temperature T (in Kelvin).

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

The wavelength of the infrared radiation maximum decreases as the temperature of the black body increases.



The Stefan-Boltzmann law is used to quantify these exchanges. The energy E radiated by a body is written:

$$E = S \cdot \sigma \cdot T^4$$

With:

E : radiated energy expressed in W/m^2 .

σ : Stefan-Boltzmann constant = $5.6703 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

S : area of the body expressed in m^2

T : temperature of the body in Kelvin

A black body is a body of which the surface absorbs all radiation received.

NB: a black body is not a real thing, but an idealized object from which the only outgoing radiation is thermal radiation, determined solely by the body's own temperature.

Application: see appendix 3, exercises 3 and 4

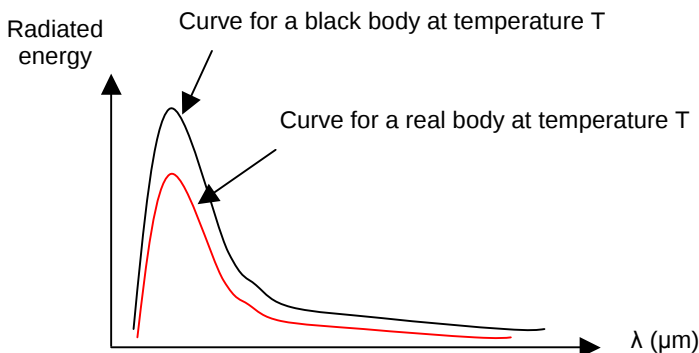
Emissivity

The emissivity of a material (often written ϵ), is the ratio of the energy it radiates to the energy a black body would radiate at the same temperature. It is therefore a measure of the capacity of a body to absorb and re-emit radiant energy.

The emissivity is a quantity between 0 and 1.

The laws stated earlier are not strictly true without qualification, making it necessary to introduce this parameter, the emissivity.

Planck's curve above then becomes:



The lower the emissivity, the lower the maximum of the curve.

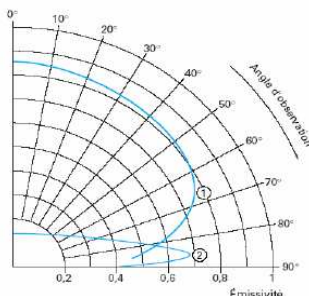
The Stefan-Boltzmann law then becomes:

$$E = \epsilon \cdot S \cdot \sigma \cdot T^4$$

The emissivity of a material is a characteristic of that material and of its surface condition. The more capable a body is of absorbing heat, the closer its emissivity to 1. There are nomographs indicating the emissivities of various materials.

To make valid measurements in thermography, it is necessary to perform manipulations on bodies having a high emissivity ($\epsilon > 0.8$). This applies to opaque plastics, oxidized metals, wood and building materials, paints, etc. If a user must make measurements on materials having a low emissivity, we recommend first applying black paint to them, then performing the manipulation. Very large measurement errors can result from neglecting or misjudging this parameter.

Another parameter that influences the emissivity is the measurement angle. According to the graph below:



Thus, to make a valid measurement, it is necessary to place the camera perpendicular to the measurement target (facing it squarely) so that the emissivity entering the camera reflects reality. A tolerance of $\pm 45^\circ$ is accepted.

The emissivity is a fundamental parameter in thermography. It is essential to set it correctly before making any measurement. For this purpose, it is enough to know the material of which the temperature is to be determined and enter the corresponding emissivity in the camera.

If no information is available about the type of the body concerned, there is a standard that specifies how to determine this parameter (See Appendix 1).

5.1.2 Manipulations: study of the influence of emissivity

Manipulation 1: Highlighting the problems of measurement on materials having different emissivities.

Make sure that the temperature of the bench has been stable for a few moments. Aim the camera at the hot plate, making sure that you are correctly positioned in front of the bench.

- The field of view of the camera must include the central plate and at least one of the 6 outer plates.

Is this the case?

What conclusion can you draw?

- Using the technique for determining emissivity described in appendix 1, determine the emissivities of the various plates.

- Place a piece of black adhesive tape on one of the 6 outer plates. Aim the camera at this plate again.

What do you observe?

What conclusion can you draw?

Manipulation 2: Highlighting the problems of positioning with respect to the target.

Create a new folder.

- Aim the camera at the hot plate, making sure that you are correctly positioned perpendicular to the bench. Target the black zone in the centre, which has a high emissivity, close to 0.95.

- Make a temperature measurement at the centre of the plate.

- Tilt your camera slightly. Make another temperature measurement.

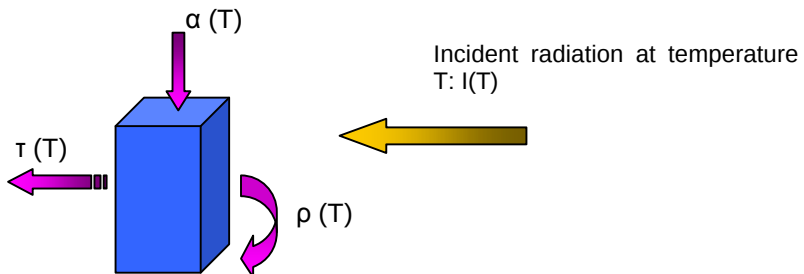
- Repeat the operation, tilting your camera again, by approximately 10° each time, and record the temperature.

What conclusion can you draw?

5.2 STUDY OF THE REAL BODY

5.2.1 Theory

The black body is a theoretical object. The formulas given above can be applied to a real object only with a few corrections: real objects absorb only a fraction α of the incident radiation, reflecting a part ρ and transmitting a fraction τ .



The principle of the conservation of energy yields the following equation:

$$\alpha \cdot I(T) + \rho \cdot I(T) + \tau \cdot I(T) = I(T) ,$$

$$\text{or } \alpha + \rho + \tau = 1$$

At equilibrium, the object emits $\varepsilon(T)$ the same quantity of energy as it absorbs $\alpha(T)$. This gives the following equation:

$$\alpha \cdot I(T) = \varepsilon \cdot I(T)$$

$$\text{or } \alpha = \varepsilon$$

Whence:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

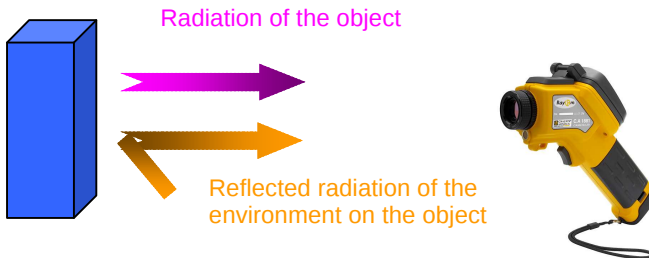
In thermography, it is possible to make measurements only on opaque bodies. The transmission of the materials is therefore zero.

This gives the equation:

$$\varepsilon + \rho = 1$$

$$\text{and } \rho = 1 - \varepsilon$$

Thus, when making a measurement by thermography, it is necessary to make allowance for reflected "ambient" radiation. A real measurement situation is therefore:



And the total radiation received by the camera is therefore:

$$R_{\text{measured}} = R_{\text{object}} + R_{\text{reflected}}$$

$\swarrow$
 $\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{object}})^4$

$\swarrow$
 $\rho \cdot \sigma \cdot (T_{\text{reflected}})^4$

Whence:

$$R_{\text{measured}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{object}})^4 + \rho \cdot \sigma \cdot (T_{\text{reflected}})^4$$

$$= \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{object}})^4 + (1 - \varepsilon) \cdot \sigma \cdot (T_{\text{reflected}})^4$$

To obtain the temperature of the object, it is therefore necessary to enter the emissivity and reflected temperature parameters in the RayCAM.

The reflected temperature corresponds to the ambient temperature near the target. If nothing interferes with the target to be inspected, this temperature corresponds to the ambient temperature.

If a hot or cold source near the target gives off heat, there is a standard that specifies how to determine the resulting reflected temperature (See Appendix 2).

Application: see appendix 3, exercise 5

5.2.2 Manipulations: study of the influence of reflection and transmission

Manipulation 3: Highlighting of the problems of measurement linked to reflection phenomena

Create a new folder.

- Position the camera in front of the aluminium plate: shiny, having a low emissivity, and therefore strongly reflecting.
- Make a measurement with your body in front of the plate.
- Make a measurement with your body shifted so as to be no longer in front of the plate.
- What conclusion can you draw?

Manipulation 4: Highlighting of the problems of measurement linked to problems of transmission.

Create a new folder.

- Make a temperature measurement on the black plate in the centre, the emissivity of which is 0.95.

- Place test screen number 1 (plexiglas window) on the zone provided for it on the bench.

Wait 2-3 minutes for the temperature of the environment to become uniform.

Target the black plate through the plexiglas pane and make a temperature measurement. Remove the pane and take a measurement one more time.

What conclusion can you draw?

5.3 OPTICS AND THERMOGRAPHY CAMERA

5.3.1 Theory: study of the spatial resolution.

Observation Spatial Resolving Power (PRSO).

The Observation Spatial Resolving Power (PRSO) can be defined by an angle. It is known as the IFOV (Instantaneous Field Of View) angle, and is the angle at which a detector of the matrix sees an elementary surface (Δs) of the thermal scene.

The difficulty in defining IFOV lies in the fact that the dimensions of the matrix sensors are not standardized. So an objective is designated not by its focal length, but by the FOV (Field Of View) angle at which the camera sees the thermal scene.

There are in fact two FOVs:

- HFOV: horizontal angle
- VFOV: vertical angle

Starting from this, IFOV can be defined by the equation:

$$\text{IFOV (}^\circ\text{)} = \frac{\text{HFOV}}{\text{ndH}} = \frac{\text{VFOV}}{\text{ndV}}$$

With:

- ndH: number of detectors on the horizontal of the matrix
- ndV: number of detectors on the vertical of the matrix

In practice, the IFOV is generally expressed at milliradians (mrad), which corresponds to an elementary surface in mm seen at a distance of 1 m (...mm@1m).

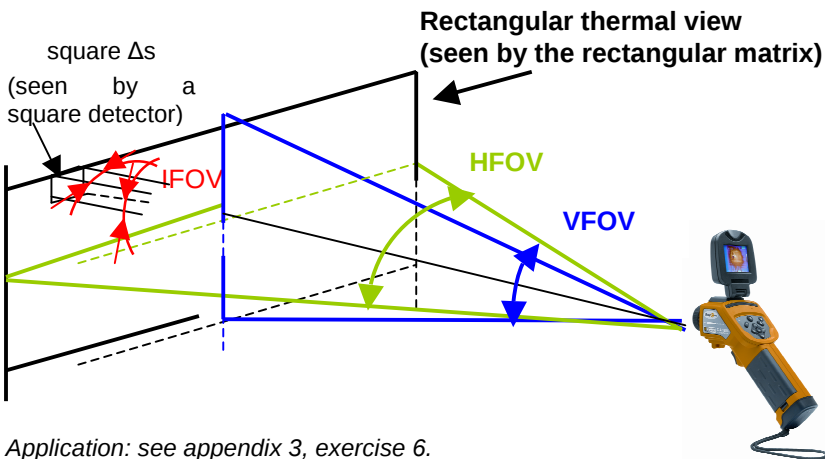
Whence the equation:

$$\text{IFOV (mrad)} = \frac{\text{HFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndH} \times 180^\circ} = \frac{\text{VFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndV} \times 180^\circ} = \text{PRSO}$$

The IFOV corresponds to the spatial resolution of the camera, i.e. to the dimension of the zone a detector can measure. This dimension depends on the camera's distance from the target.

The closer the camera to the zone to be inspected, the smaller the IFOV and the smaller the objects the camera perceives.

Diagram summing up the various concepts:



Measurement Spatial Resolving Power (PRSM).

For temperature measurements, as opposed to thermal imaging, it is necessary to consider the metrological character of the camera.

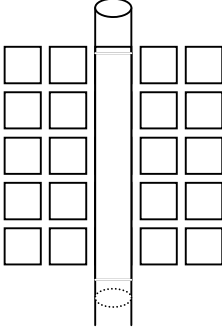
This is because each detector is independent and makes a measurement of the radiation received over the whole of its zone. The detector determines the mean of the total radiation received and indicates the corresponding temperature to the user.

Consider the case of determining the temperature of a wire.

Case no. 1:

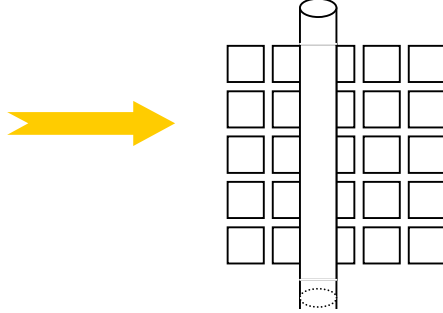
The wire is the size of 1 IFOV.

To be sure of making a valid measurement, the wire must be positioned like this:



In this configuration, we find the correct temperature

In reality, there is a greater risk of having this configuration:



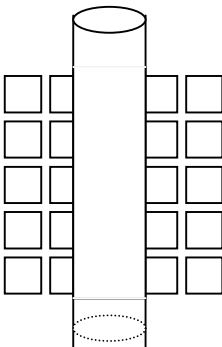
No detector is completely covered: no valid response on any of the detectors!!!

But this configuration is not realistic!

Case no. 2:

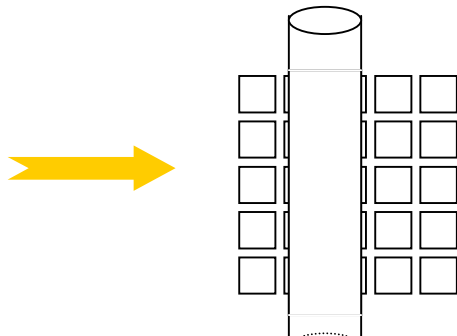
The wire is the size of 2 IFOVs.

To be sure of making a valid measurement, the wire must be positioned like this:



In this configuration, we obtain a valid temperature reading

In reality, there is a greater risk of having this configuration:

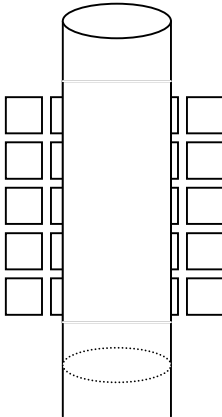


Once again, no detector is completely covered: no valid response on any of the detectors!!!

We are still not sure of making a valid temperature measurement.
This configuration too is unrealistic!!

Case no. 3:

The wire is the size of 3 IFOVs.



Anywhere the wire is placed, there will necessarily be at least one detector covered!

The measurement is therefore reliable.

Conclusion:

To ensure that a valid measurement is made, the image of the target aimed at must cover at least three detectors.

The smallest zone measurable by the camera therefore corresponds to 3 IFOVs.

Or:

$$\text{PRSM} = 3 \text{ PRSO}$$

Application: see appendix 3, exercises 7 to 9.

5.3.2 Manipulation: study of spatial resolution.

Place test screen number 2 (slits) in the zone provided for it on the bench.
Wait 2-3 minutes for the temperature of the environment to become uniform.

- Position the RayCAm 10 cm from screen no. 2.

Make a thermogram of each series of slits.

Using the cursors, determine the temperature of each slit.

What is your conclusion?

- Position the RayCAM 30 cm from screen no. 2.
Make a thermogram of each series of slits.
Using the cursors, determine the temperature of each slit.
What is your conclusion?

- Position the RayCAM 80 cm from screen no. 2.
Make a thermogram of each series of slits.
Using the cursors, determine the temperature of each slit.
What is your conclusion?

What have you learned from this manipulation?

5.4 MANIPULATIONS ON SOFTWARE

See the operating instructions for the use of the RayCAM *report* software.

The objective is to sum up the various measurements explained above using the RayCAM report software and images saved in the camera.

Manipulation 1: transfer and archiving of the thermograms

Connect the camera to a PC using the USB cable provided.
The PC recognizes the RayCAM as an external hard disc.
Open the directory corresponding to the camera, select the various folders, and transfer them to the hard disc of the PC.

Rename the folders according to the various manipulations performed:

- Emissivity of materials
- Positioning
- Reflection
- Transmission
- Spatial resolution

Manipulation 2: study of the influence of emissivity

- Open the software and create as many infrared zones as there are images in the "Emissivity of materials" folder.
Insert one thermogram per zone.
- Insert points on each material and type of surface of each thermogram.

- Create one table zone per thermogram.
Enter the following elements in the table: number and emissivity of IR image, temperature and emissivity of the points.
- Modify the emissivity of the points until you obtain the temperature of the black plate.
- Compare your results with those obtained using the camera.

Manipulation 3: study of spatial resolution

- Open a new report page and create as many infrared zones as there are images in the "Spatial resolution" folder.
Insert one thermogram per zone.
- Insert points on each slit of each thermogram.
- Insert one line on each series of slits.
- Create one analysis line tool zone per thermogram. Possibly, connect several analysis lines if you have inserted several lines in your thermogram.
Determine the temperature of each slit.
- Create one table zone per thermogram.
Enter the following elements in the table: number and emissivity of IR image, temperature of the points.
- Draw the conclusions that follow from the values displayed in the table, in a text box.
- Compare your results with those obtained using the camera.

5.5 THERMOGRAPHY IN PRACTICE

5.5.1 Fault determination modes.

Absolute thermography

This mode provides information about the condition of a component or of a material given its operating conditions at the time.

The question that must then be asked is: is this below or above the maximum indicated by the manufacturer?

When IR thermography is incorporated in predictive maintenance procedures, it is possible to trace the time course of the absolute temperature, then extrapolate in order to know the date on which a component, because of its ageing, will have to be changed.

Qualitative comparative thermography

Considering that it is not always possible to determine temperatures correctly, one may settle in some circumstances for proceeding qualitatively, by adjusting the camera in the same way between two scenes and working only on the apparent differences in the image.

Quantitative comparative thermography

Quantitative comparative thermography consists in comparing a material or a component assumed to be defective with an equivalent, operating under similar conditions, taken as a sound reference.

Here are some data concerning recommendations to be set in place; this manner of determining degrees of maintenance is used for electrical and mechanical maintenance:

Difference (ΔT) based on comparison of identical components working under the same load conditions	Criterion of severity
< 10°C	Possible. Keep under surveillance until the next maintenance already planned
10°C to 20°C	Intermediate. Corrective measures to be set in place, scheduled (~ 3 months)

20°C to 40°C	Serious. Corrective measures are urgent (max. 1 month)
> 40°C	Critical. Corrective measures must be taken immediately (max. 1 week)

Application: see appendix 3, exercise 10

5.5.2 Applications

Electrical maintenance

The purpose of an inspection of this type is to detect, in electrical infrastructure under load, temperature rises of various origins:

- o incorrect connections,
- o overloads,
- o phase imbalances,
- o faulty contacts, etc.

This is in order to anticipate and prevent:

- o damage to expensive equipment,
- o production stoppages,
- o operating losses,
- o fires, etc.

The objective is to provide information on which to base decisions so that corrective work can be done, and any work needed can be foreseen and anticipated, because identified, and thereby facilitate the maintenance of electrical installations (time saved and safety enhanced)

The methodology to be applied for an electrical maintenance inspection is the following:

A systematic sweep of the whole electrical installation is performed (if needed and where possible, a view from the back is taken).

The systems examined are in operation, and the elements making up the electrical installation are under normal load. In fact, they will appear, in the infrared image, more or less radiant according to their role, their design, their load, their material.

The operator must distinguish between the normal and anomalous operating temperatures. When the anomalies have been physically located, the parameters of the object (emissivity, ambience, etc.) can be adjusted to allow direct calculation of the maximum temperature observed and any overheating.

If the system is not at its normal load, a further calculation can be performed to estimate the overheating referred to normal operation.

It is assumed that a fault is resistive in character. The raw temperature difference must be corrected for the load:

$$\Delta T_{\text{effective}} = \Delta T_{\text{raw}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}})^2$$

It is the effective difference that must be considered when classifying the fault.

It remains to be determined how urgent maintenance is. This determination is very important, because it provides a veritable location in time; whence easy management of the processing of the anomalies.

An infrared image and a photograph in visible light record the fault.

Application: see appendix 3, exercise 11

Application: mechanical maintenance

Mechanical parts in movement are normally heated because of friction. Infrared thermography is used to reveal abnormal temperature rises due to:

- wear
- misalignment
- a lubrication problem.

This means of investigation is used primarily on motor-pump and motor-blower sets. It is used as a complement to a vibration analysis, which is much more cumbersome to set up.

A single image shows us the soundness of the electric motor, of its power supply (cables), of the bearings, and possibly of the alignment. It remains to be determined how urgent maintenance is.

Application: building heating and cooling

These applications of infrared thermography concern architects, the installers of heating and sanitary systems, the operators of heating systems, electricians, real estate companies, real estate experts, owners, and insurers.

Using infrared radiation, it is easy to visualize the distribution of heat on the outside wall of a building and it is possible to precisely locate heat losses due to insulation defects. This makes it possible to draw up a thermal assessment of a building.

It is also possible to visualize underground piping:

- In-floor heating:

- o Locating leaks: pipes that convey a hot fluid and are just below the surface of a floor are readily visualized, and it is possible to precisely locate leaks in a network.
- o Location of heating elements: it may be necessary to locate pipes precisely with a view to drilling into a floor for work.
- Heat distribution networks (urban heating systems): tracking underground piping, locating leaks in the underground networks or in gutters.

5.6 PRODUCING A Q19 REPORT

5.6.1 Presentation

An inspection of electrical installations by infrared thermography, performed in accordance with the technical specifications of the APSAD D19 document, leads to the issuance of the Q19: declaration of inspection of an electrical installation by infrared thermography, which may be of use in negotiating the amount of the insurance premium your company pays.

The constraints of such an inspection are the following:

- Make available to the thermographer, before the inspection:
 - A complete and detailed list of the equipment to be checked.
 - Information about the technological constraints to be taken into consideration (existence of guard plates, particular operating conditions, etc.)
 - Information about the existence of locations, zones, or rooms where there is a particular fire or explosion risk.
- Agree to:
 - Have the thermographer accompanied in the installations by a technician belonging to the relevant department.
 - Read the inspection report in order to remedy, within the times indicated, the faults reported, especially when they are likely to cause a fire.
 - Communicate a copy of the Q19 declaration to the insurance company within fifteen days after reception of the report.

The commitments of the thermographer:

- Record, using the list of equipment to be inspected, the various observations essential to understanding and solving the problems (intensity / current, remarks, type and urgency of anomalies)

-
- Guarantee the competence of the operator: Each member of the inspection team is BR H1V accredited and holds the certificate of "Operator for the inspection of electrical installations by infrared thermography" issued by the CNPP.
 - Provide, as soon as the inspection is over, a first oral or written report describing the course of the inspection and report the most urgent anomalies.
 - Write and forward, within fifteen days following the inspection, an inspection report including:
 - A description of the inspection
 - A detailed list of the equipment checked
 - A summary table of the anomalies found
 - An overall assessment of the electrical installations
 - Anomaly sheets containing:
 - An infrared image of the anomaly,
 - A photograph in visible light,
 - The location and definition of the equipment,
 - The maximum temperature observed at the level of the anomaly (+/- 5%),
 - The temperature profile,
 - The estimated degree of urgency.
 - The electrical accreditation and APSAD certification of the operator
 - The certificate of calibration of the infrared camera
 - The Q19 declaration of inspection of an electrical installation by infrared thermography called for in clause no. 27c of the APSAD fire insurance treaties

Below is an example of an anomaly sheet corresponding to an inspection by infrared thermography.

THERMOGRAPHIC INSPECTION

Anomaly sheet no. 1

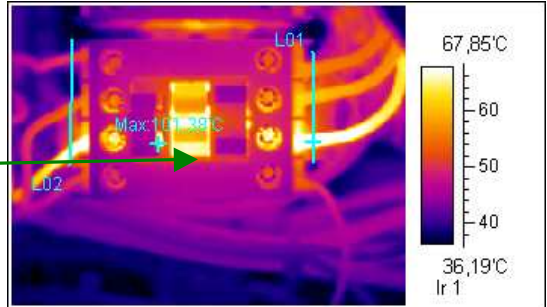
Station:

Equipment:

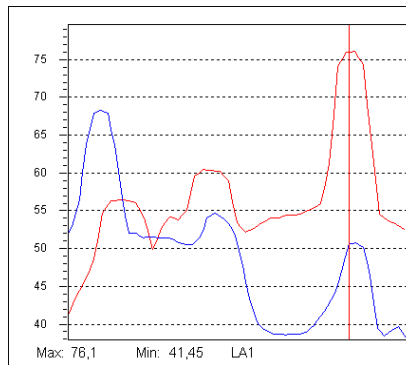
Load: 100%



**CHAUVIN®
ARNOUX**
CHAUVIN ARNOUX GROUP



IR Info	Value
IrNo	1
ems	0.9
dist	1
envtmp	25
Date	2003-9-3
Time	12:52:39
Label	Value
Max:Temp	101.38
Max:ems	0.9
Max:dist	1



Diagnostic:

Recommendation:

CONCLUSION:

.....
Checked by: Mr.....

Inspected on: .././2... by Mr

Repair inspected on .././2... by Mr

Degree of urgency:

Immediate repair

Repair within 1 month

Surveillance required

X

5.6.2 Application

Using an electrical cabinet present in the room, make thermograms of the installation and prepare a report based on the Q19 model.

6. MAINTENANCE

The manufacturer cannot be held liable for any accident that occurs following a repair done by a party other than its customer service department or an approved repairer.

Maintenance:

Cleaning:

- Disconnect the device from the power network;
- Clean using a cloth moistened with soapy water and rinse using a cloth moistened with plain water;
- Let dry completely before using again.

Resetting the safety thermostat:

Disconnect the device from the power network; or press the button on the back of the housing

Unhinge the cover by actuating the two clips;

Open the housing by unscrewing the five screws of the bottom;

Press the button at the centre of the thermostat until it trips;

Reassemble the device.

If it trips out again without a real reason, that is a sign of a fault.

6.1 REPAIR

For all work, under the warranty or after, return the device to your dealer.

6.2 CHANGE OF FUSE

Disconnect the device from the power network;

Between the plug and the On/Off button, press the two tabs to withdraw the fuse holder.

To preserve the same level of safety, replace the defective fuse only by a fuse having strictly identical characteristics.

A replacement fuse is available in the fuse holder after it is opened.

7. WARRANTY

Our warranty is valid, except as otherwise expressly stipulated, for **twelve months**, counting from the date on which the equipment is made available (extract from our General Terms of Sale, communicated on request).

The warranty does not apply following:

- inappropriate use of the equipment or use with incompatible equipment;
- modifications made to the equipment without the explicit permission of the manufacturer's technical staff;
- work done on the device by a person not approved by the manufacturer;
- adaptation to a particular application not anticipated in the definition of the equipment or not indicated in the operating instructions;
- damage by shocks, falls, or floods.

8. TO ORDER

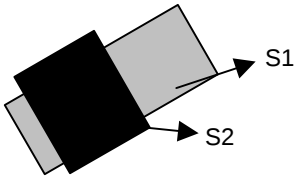
C.A 1875.....P01.6516.20

Supplied with a power cord, two accessory test screens, operating instructions including the problems manual in a carrying bag.

APPENDIX 1: DETERMINATION OF EMISSIVITY

The relevant standard is ASTM E1933-99A:

1)

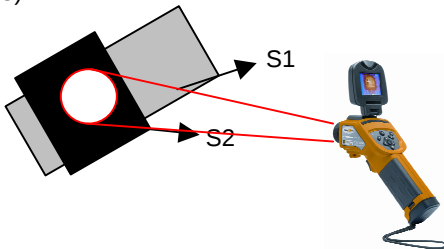


Let S1 be the surface area of the material of which it is desired to determine the emissivity.

Apply to S1 a coat of black paint S2 of which the emissivity is known.

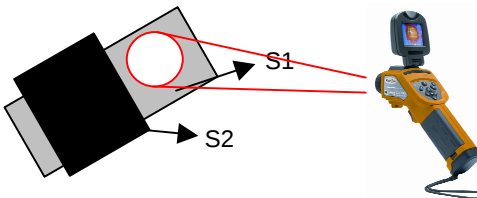
2) S1 and S2 being in the same environmental conditions, the two surfaces are at the same temperature.

3)



With the RayCAM, the temperature of S2 is measured with an emissivity of 0.95 parameterized in the camera.

4)



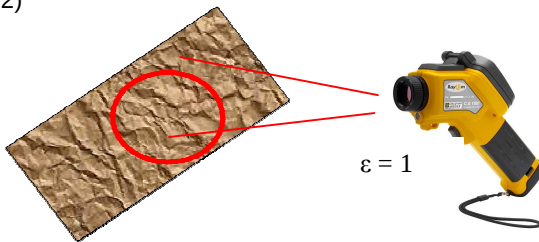
Once the temperature has been determined, the camera is shifted to the target of which the emissivity is unknown. It then suffices to change this parameter on the RayCAM until the temperature reading on the unknown target is the same as the temperature measured on S2. The emissivity of the body is then known.

APPENDIX 2: DETERMINATION OF REFLECTED TEMPERATURE

The relevant standard is ASTM E1933-99A:

1) A sheet of ordinary aluminium foil, crumpled and flattened, is placed as close as possible to the scene viewed, in the same orientation with respect to the camera.

2)



It is assumed that the sheet of aluminium is a perfect reflector on which is reflected a black body equivalent to the mean environment.

The emissivity setting of the camera is therefore: $\varepsilon = 1$

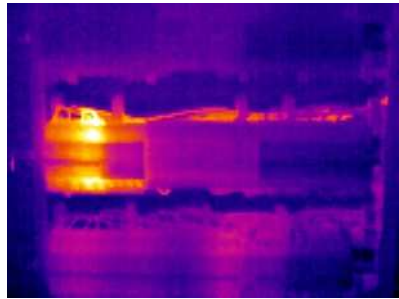
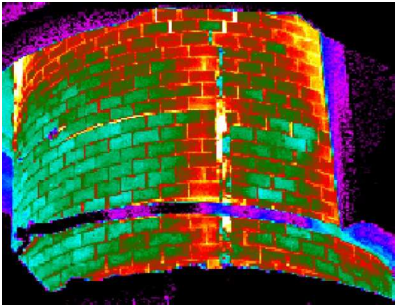
3) The temperature of the black body equivalent to the environment is measured on the sheet of aluminium, using an appropriate analysis tool - spot with averaging over several positions or, better still, the mean calculated over a large area.

4) This Reflected Temperature must be entered into the computer by hand. It becomes active when the emissivity of a real object is less than 1.

APPENDIX 3: APPLICATION EXERCISES

Exercise 1

Highlighting of conduction in IR thermography:

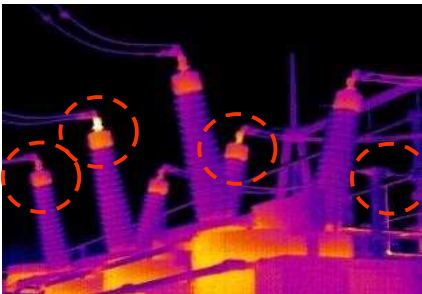


Comment on these two images.

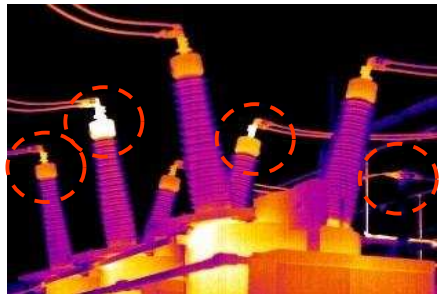
Exercise 2

Highlighting of the problems of forced convection in IR thermography.

Thermogram made in high wind



Thermogram made in still air



Exercise 3

A spherical black body having a radius of 5 cm emits 230 W of radiation.

- a) What is the temperature of this body?
- b) What is the wavelength corresponding to the maximum of radiated energy?

Exercise 4:

Based on estimates made on Earth, the area of the sun is $6.1 \times 10^{18} \text{ m}^2$ and its radiated power is $3.9 \times 10^{26} \text{ W}$.

Regarding the sun as a black body:

- a) What is its surface temperature?
- b) What is the wavelength corresponding to the maximum of radiated energy?

Exercise 5:

Highlighting of the problems of transmission in IR thermography.



Comment on this thermogram.

Exercise 6

From the characteristics of the RayCAM, determine the IFOV of the camera in mrad and in ...mm@1m:

- a) For the vertical elements of the matrix
- b) For the horizontal elements of the matrix
- c) What is the smallest area the camera can detect?

Exercise 7

- a) What is the width d_1 of the smallest zone the RayCAM can measure?
- b) What is the width d_2 of the smallest zone the RayCAM can measure at 50 cm?

Exercise 8

From what distance should you measure the temperature:

- a) Of a cable of 2 mm in diameter (d_1)?
- b) Of a cable of 5 mm in diameter (d_2)?
- c) Of a cable of 10 mm in diameter (d_3)?

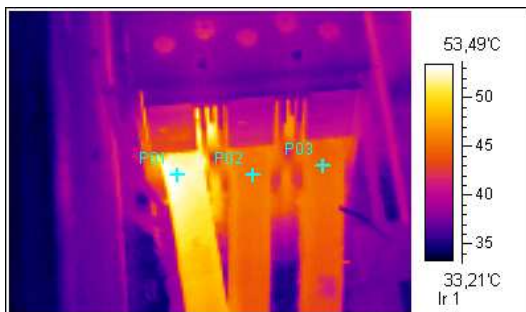
Exercise 9

We want to determine the temperature of a 1.5 mm^2 cable.

- a) Using a standard objective, at what distance d_1 must I be to make a valid measurement?
- b) Can I use a wide-IFOV-angle 4.1mrad objective? If so, from what distance?

Exercise 10

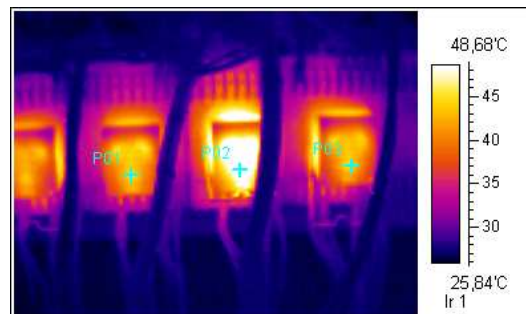
Determine the degrees of urgency of maintenance of the thermograms below.

Thermogram 1

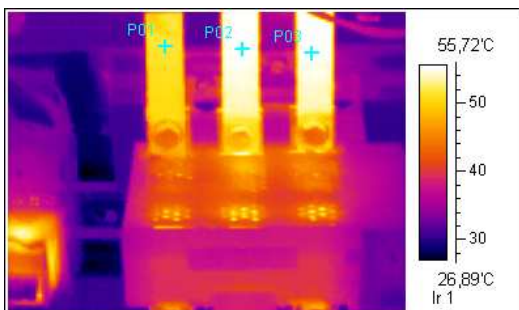
P01	52.8°C
P02	45.5°C
P03	45°C

Thermogram 2

P01	57.9°C
P02	68°C
P03	67.4°C

Thermogram 3

P01	45.5°C
P02	51.6°C
P03	44.7°C

Thermogram 4

P01	51.3°C
P02	55.3°C
P03	55.4°C

Thermogram 5

P02	43.2°C
P04	24.9°C

Thermogram 6

P01	60.3°C
P04	35.3°C

Exercise 11

Determine the degrees of urgency of maintenance of the thermograms above assuming that:

- Thermogram 1 was made at 60% of nominal load
- Thermogram 2 was made at 90% of nominal load
- Thermogram 3 was made at 85% of nominal load
- Thermogram 4 was made at 40% of nominal load
- Thermogram 5 was made at 90% of nominal load
- Thermogram 6 was made at 100% of nominal load

APPENDIX 4: SOLUTIONS

Solution 1

Thermogram 1:

This concerns the observation of a refractory using an infrared camera. The naked eye sees nothing. Normally, if the stack were correctly insulated, the temperature of the surface of the refractory should be uniform, and so its colour should be uniform. But we see a vertical line that is lighter in colour, and therefore hotter. It can be concluded that there is a defect and that the refractory has started to crack.

Thermogram 2:

By conduction, the heat is propagated along the cable. It can be seen that the wire is hot, but this is not a defect; the problem lies elsewhere!

This illustrates the point that you must be cautious if you find a cable with a higher temperature during the inspection; check on both sides of the hot spot to determine the exact origin of the fault (it is the hottest point that is the source of the problem).

Solution 2

Thermogram 1

The image was made in a high wind, and the air has made the surface temperatures of the surrounding objects uniform. But infrared thermography is a surface measurement technique. In consequence, nothing can be observed using a camera, and any problems will go undetected. The temperature at the surface of the objects is uniform and the thermogram shows a uniform colour.

Wrong interpretation of the image, in which problems may be overlooked.

Thermogram 2

The image was made in still air, which does not affect the results. The surface temperatures of the objects observed therefore correctly correspond to their internal temperatures. Hot spots are revealed in this way, as a lighter colour in some parts of the thermogram.

Correct interpretation of the image and of the system, revealing problems.

Solution 3Question a

Stefan's law:

$$P = S \varepsilon \sigma T^4$$

With $\varepsilon = 1$ because black body

$$\sigma = 5.68 \times 10^{-8} \text{ Boltzmann's constant}$$

$$S = \pi R^2 \text{ surface of a ball}$$

Whence:

$$T^4 = P/S \varepsilon \sigma \quad \Rightarrow \quad T = 847 \text{ K} = 574^\circ\text{C}$$

Question b

Wien's law:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max} T &= \text{Constant} \\ &= 2\,898 \text{ } \mu\text{m.K} \end{aligned}$$

Whence:

$$\lambda_{\max} = 2\,898/T \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\max} = 3.42 \text{ } \mu\text{m}$$

Solution 4Question a

Stefan's law:

$$P = S \varepsilon \sigma T^4$$

With $\varepsilon = 1$ because black body

$$\sigma = 5.68 \times 10^{-8} \text{ Boltzmann's constant}$$

Whence:

$$T^4 = P/S \varepsilon \sigma \quad \Rightarrow \quad T = 5,792 \text{ K}$$

Question b

Wien's law:

$$\begin{aligned} \lambda_{\max} T &= \text{Constant} \\ &= 2,898 \text{ } \mu\text{m.K} \end{aligned}$$

Whence:

$$\lambda_{\max} = 2,898/T \quad \Rightarrow \quad \lambda_{\max} = 0.5 \text{ } \mu\text{m}$$

We are in visible light, which is why the sun looks yellow to us, etc.

Solution 5

This is a thermographic image of a face with glasses.

We can see that the glasses are colder than the person's face.

Off hand, we might conclude that the person's eyes are colder than the rest of the person's face.

This analysis is of course false: it simply reveals a transmission problem! As it happens, it is not possible to observe and measure temperatures through glass!

Whence this false measurement!

Solution 6

Question a

According to the definition of the IFOV:

$$\text{IFOV } (^\circ) = \frac{\text{VFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndV} \times 180^\circ}$$

With VFOV = 15° (vertical viewing angle)

ndV = 120 (number of detectors on the vertical of the matrix)

Whence:

$$\text{IFOV} = 2.18 \text{ mrad}$$

A detector sees an elementary surface of 2.18 mm at a distance of 1 m

Question b

According to the definition of the IFOV:

$$\text{IFOV } (^\circ) = \frac{\text{HFOV} \times \pi \times 1000}{\text{ndH} \times 180^\circ}$$

With HFOV = 20° (vertical viewing angle)

ndH = 160 (number of detectors on the vertical of the matrix)

Whence:

$$\text{IFOV} = 2.18 \text{ mrad}$$

A detector sees an elementary surface of 2.18 mm at a distance of 1 m

We find the same IFOV on the vertical elements and on the horizontal elements.

Question c

The minimum focal length of the RayCAM is 10 cm.

Based on the results above, the RayCAM detects a zone measuring 2.18 mm by 2.18 mm at a distance of 1 m.

It follows that:

$$\text{At 1 m} \quad \Delta s_1 = 2.18 \text{ mm}$$

At 10 cm

$$\Delta s_2 = x \text{ mm}$$

Whence:

$$\Delta s_2 = 0.218 \text{ mm}$$

Solution 7

Question a

The IFOV of the RayCAM is 2.2 mrad.

The minimal focal length is 10 cm.

The smallest zone that can be measured corresponds to 3 IFOV.

We therefore find:

$$d_1 = 3 \times \text{IFOV}_{10 \text{ cm}}$$

Whence:

$$d_1 = 0.66 \text{ mm}$$

Question b

The IFOV of the RayCAM is 2.2 mrad.

It follows that:

$$\text{at } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2.2 \text{ mm}$$

$$\text{at } 50 \text{ cm} \quad \Delta s_2 = x \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Moreover } d_2 &= 3 \times \text{IFOV}_{50 \text{ cm}} \\ &= 3 \times \Delta s_2 \end{aligned}$$

Whence:

$$d_2 = 3.3 \text{ mm}$$

Solution 8

Question a

To be sure of making a valid measurement, the following value must not be exceeded:

$$d_{\text{Cable}} = 3 \times \Delta s_2$$

In addition, based on the IFOV of the camera:

$$\text{at } 1 \text{ m} \quad \Delta s_1 = 2.2 \text{ mm}$$

$$\text{at } d_1 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Cable}}/3$$

It follows that:

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta s_2 / 2.2 \\ &= (d_{\text{Cable}}/3) / 2.2 \end{aligned}$$

Whence:

$$d_1 = 0.30 \text{ m} = 30 \text{ cm}$$

The camera must be at a distance of not more than 30 cm to make a valid measurement.

Question b

To be sure of making a valid measurement, the following value must not be exceeded:

$$d_{\text{Cable}} = 3 \times \Delta s_2$$

In addition, based on the IFOV of the camera:

$$\text{at 1 m} \quad \Delta s_1 = 2.2 \text{ mm}$$

$$\text{at } d_2 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Cable}} / 3$$

It follows that:

$$\begin{aligned} d_2 &= \Delta s_2 / 2.2 \\ &= (d_{\text{Cable}} / 3) / 2.2 \end{aligned}$$

Whence:

$$d_2 = 0.76 \text{ m} = 76 \text{ cm}$$

The camera must be at a distance of not more than 76 cm to make a valid measurement.

Question c

To be sure of making a valid measurement, the following value must not be exceeded:

$$d_{\text{Cable}} = 3 \times \Delta s_2$$

In addition, based on the IFOV of the camera:

$$\text{at 1 m} \quad \Delta s_1 = 2.2 \text{ mm}$$

$$\text{at } d_3 \text{ m} \quad \Delta s_2 = d_{\text{Cable}} / 3$$

It follows that:

$$\begin{aligned} d_3 &= \Delta s_2 / 2.2 \\ &= (d_{\text{Cable}} / 3) / 2.2 \end{aligned}$$

Whence:

$$d_3 = 1.5 \text{ m}$$

The camera must be at a distance of not more than 1.5 m to make a valid measurement.

Solution 9

Question a

The corresponding diameter d of the cable is:

$$P = \pi \times (d/2)^2$$

Therefore:

$$d = ((4 \times P) / \pi)^{1/2}$$

To be sure of making a valid measurement, the following value must not be exceeded:

$$d_{\text{Cable}} = 3 \times \Delta S_2$$

In addition, based on the IFOV of the camera:

$$\text{at } 1 \text{ m} \quad \Delta S_1 = 2.2 \text{ mm}$$

$$\text{at } d_1 \text{ m} \quad \Delta S_2 = d_{\text{Cable}} / 3$$

It follows that:

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta S_2 / 2.2 \\ &= (d_{\text{Cable}}/3) / 2.2 \\ &= (((4 \times P)/\pi)^{1/2}/3) / 2.2 \end{aligned}$$

Whence:

$$d_1 = 0.21 \text{ m} = 21 \text{ cm}$$

For a valid measurement to be made, the camera must be between 10 cm and 21 cm from the target.

Question b

To be sure of making a valid measurement, the following value must not be exceeded:

$$d_{\text{Cable}} = 3 \times \Delta S_2$$

In addition, based on the IFOV of the camera:

$$\text{at } 1 \text{ m} \quad \Delta S_1 = 4.1 \text{ mm}$$

$$\text{at } d_1 \text{ m} \quad \Delta S_2 = d_{\text{Cable}} / 3$$

It follows that:

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta S_2 / 2.2 \\ &= (d_{\text{Cable}}/3) / 2.2 \\ &= (((4 \times P)/\pi)^{1/2}/3) / 4.1 \end{aligned}$$

Whence:

$$d_1 = 0.11 \text{ m} = 11 \text{ cm}$$

It is possible to use a wide-angle lens.

For a valid measurement to be made, the camera must be between 1 cm and 11 cm from the target

Solution 10

Thermogram 1

From the temperatures of the cursors, let us determine the difference of temperature between P01 and P02:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_{\text{P01}} - T_{\text{P02}} \\ &= 52.8 - 45.5 \end{aligned}$$

$$\Delta T = 7.3^\circ\text{C}$$

Whence a degree of criticality of level 0, requiring surveillance.

Thermogram 2

From the temperatures of the cursors, let us determine the difference of temperature between P01 and P02:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 68 - 57.9\end{aligned}$$

$$\Delta T = 10.1^{\circ}\text{C}$$

Whence a degree of criticality of level 1; plan corrective action in from 3 to 6 months.

Thermogram 3

From the temperatures of the cursors, let us determine the difference of temperature between P01 and P02:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 51.6 - 45.5\end{aligned}$$

$$\Delta T = 6.1^{\circ}\text{C}$$

Whence a degree of criticality of level 0, requiring surveillance.

Thermogram 4

From the temperatures of the cursors, let us determine the difference of temperature between P01 and P02:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P01} \\ &= 55.3 - 51.3\end{aligned}$$

$$\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$$

Whence a degree of criticality of level 0, requiring surveillance.

Thermogram 5

From the temperatures of the cursors, let us determine the difference of temperature between P02 and P04:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P02} - T_{P04} \\ &= 43.2 - 24.9\end{aligned}$$

$$\Delta T = 18.3^{\circ}\text{C}$$

Whence a degree of criticality of level 1; plan corrective action in from 3 to 6 months.

Thermogram 6

From the temperatures of the cursors, let us determine the difference of temperature between P02 and P01:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_{P01} - T_{P02} \\ &= 60.3 - 35.3\end{aligned}$$

$$\Delta T = 25^{\circ}\text{C}$$

Whence a degree of criticality of level 2; plan corrective action in from 1 to 3 months.

Solution 11Thermogram 1

We find the equation:

$$\Delta T_{\text{effective}} = \Delta T_{\text{raw}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}})^2$$

The installation was thermographed at 60% of its load, whence:

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}} = 100/60$$

The measured temperature difference was 7.3°C

So:

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effective}} &= \Delta T_{\text{raw}} \times (100/60)^2 \\ &= 7.3 \times (100/60)^2 \\ &= 20.3^\circ\text{C}\end{aligned}$$

In reality, the degree of criticality is level 2, corrective action in from 1 to 3 months must be planned.

Thermogram 2

We find the equation:

$$\Delta T_{\text{effective}} = \Delta T_{\text{raw}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}})^2$$

The installation was thermographed at 90% of its load, whence:

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}} = 100/90$$

The measured temperature difference was 10.1°C

So:

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effective}} &= \Delta T_{\text{raw}} \times (100/90)^2 \\ &= 10.1 \times (100/90)^2 \\ &= 12.5^\circ\text{C}\end{aligned}$$

The degree of criticality is level 1; plan corrective action in from 3 to 6 months. There is no significant influence of the load.

Thermogram 3

We find the equation:

$$\Delta T_{\text{effective}} = \Delta T_{\text{raw}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}})^2$$

The installation was thermographed at 85% of its load, whence:

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}} = 100/85$$

The measured temperature difference was 6.1°C

So:

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effective}} &= \Delta T_{\text{raw}} \times (100/85)^2 \\ &= 6.1 \times (100/85)^2 \\ &= 8.5^\circ\text{C}\end{aligned}$$

The degree of criticality is level 0; the evolution of the installation must be monitored.

There is no significant influence of the load.

Thermogram 4

We find the equation:

$$\Delta T_{\text{effective}} = \Delta T_{\text{raw}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}})^2$$

The installation was thermographed at 40% of its load, whence:

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}} = 100/40$$

The measured temperature difference was 4°C

So:

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effective}} &= \Delta T_{\text{raw}} \times (100/40)^2 \\ &= 4 \times (100/40)^2 \\ &= 25^\circ\text{C}\end{aligned}$$

After a first approach in which it seemed that there was no apparent fault, we find a degree of criticality of level 2! Corrective action in from 1 to 3 months must be planned.

Thermogram 5

We find the equation:

$$\Delta T_{\text{effective}} = \Delta T_{\text{raw}} \times (I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}})^2$$

The installation was thermographed at 90% of its load, whence:

$$I_{\text{nominal}}/I_{\text{measured}} = 100/90$$

The measured temperature difference was 18.3°C

So:

$$\begin{aligned}\Delta T_{\text{effective}} &= \Delta T_{\text{raw}} \times (100/90)^2 \\ &= 18.3 \times (100/90)^2 \\ &= 22.6^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Following this correction for the load, we go from a degree of criticality of level 1 to level 2! Corrective action in from 1 to 3 months must be planned.

Thermogram 6

The installation is at 100% of its load, so no correction is needed!

