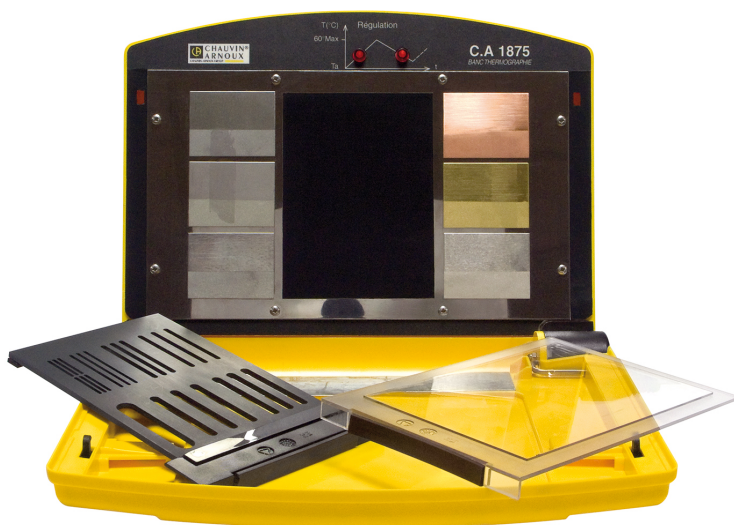


# C.A 1875



**Banc thermographie**

*Mesurer pour mieux Agir*







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 UTILISÉS

	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

## PRÉCAUTIONS 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

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>2. PRESENTATION .....</b>	<b>5</b>
<b>3. CARACTERISTIQUES.....</b>	<b>7</b>
3.1 CARACTERISTIQUES GENERALES DU BANC.....	7
3.2 CARACTERISTIQUES DU FUSIBLE .....	8
<b>4. MISE EN SERVICE.....</b>	<b>8</b>
<b>5. MANIPULATIONS .....</b>	<b>9</b>
5.1 LES TRANSFERTS THERMIQUES.....	9
5.1.1 <i>La théorie</i> .....	9
5.1.2 <i>Manipulations: étude de l'influence de l'émissivité</i> .....	15
5.2 ETUDE DU CORPS REEL.....	16
5.2.1 <i>La théorie</i> .....	16
5.2.2 <i>Manipulations : étude de l'influence de la réflexion et de la transmission</i> .....	18
5.3 OPTIQUE ET CAMERA DE THERMOGRAPHIE .....	18
5.3.1 <i>La théorie : étude de la résolution spatiale.</i> .....	18
5.3.2 <i>Manipulation : étude de la résolution spatiale</i> .....	22
5.4 MANIPULATIONS SUR LOGICIEL.....	23
5.5 LA THERMOGRAPHIE EN PRATIQUE .....	25
5.5.1 <i>Modes de détermination de défaut</i> .....	25
5.5.2 <i>Applications</i> .....	26
5.6 REALISATION D'UN RAPPORT Q19 .....	28
5.6.1 <i>Présentation</i> .....	28
5.6.2 <i>Mise en application</i> .....	32
<b>6. MAINTENANCE.....</b>	<b>32</b>
6.1 REPARATION.....	32
6.2 CHANGEMENT FUSIBLE .....	33
<b>7. GARANTIE .....</b>	<b>33</b>
<b>8. POUR COMMANDER .....</b>	<b>33</b>
<b>ANNEXE 1 : DETERMINATION EMISSIVE .....</b>	<b>34</b>
<b>ANNEXE 2 : DETERMINATION TEMPERATURE REFLECHIE .....</b>	<b>35</b>
<b>ANNEXE 3 : EXERCICES D'APPLICATION .....</b>	<b>36</b>
<b>ANNEXE 4 : SOLUTIONS.....</b>	<b>42</b>

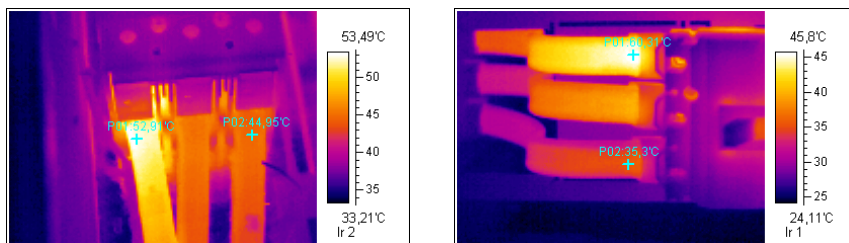
# 1. INTRODUCTION

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.

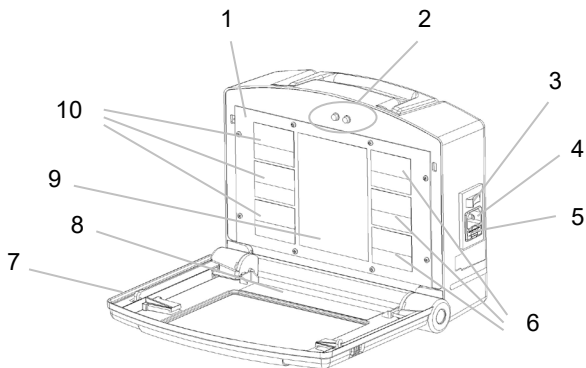
Le **banc didactique C.A 1875** est composé d'une plaque chauffante équipée de plusieurs cibles d'états de surface et de matériaux différents ainsi que d'écrans de test qui se fixent sur l'avant du banc à l'aide d'aimants. (Voir le schéma ci-dessous).

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 :**



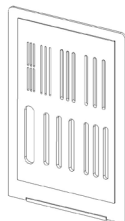
- 1 : Plaque chauffante
- 2 : LEDs d'indication de montée ou de descente en température
- 3 : Interrupteur Marche / Arrêt
- 4 : Connexion câble alimentation secteur
- 5 : Compartiment fusible
- 6 / 10: Plaques de matériaux différents
- 7 : Couvercle de protection du banc
- 8 : Plaque de fixation des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

## Présentation des écrans de test

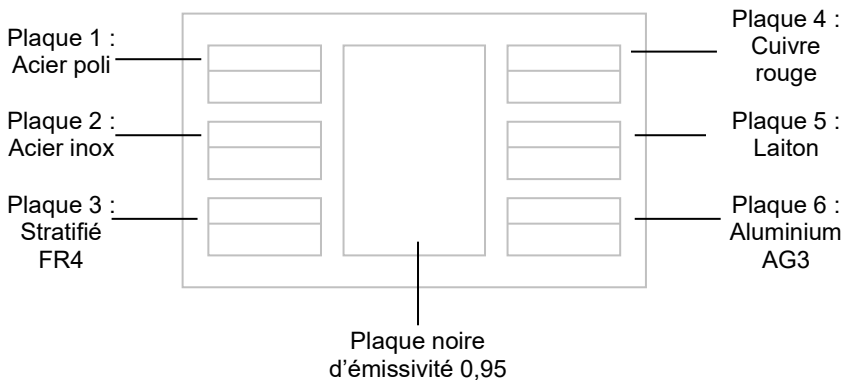
Ecran de test n°1 :  
Vitre plexiglas



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

- CEM selon IEC 61326-1

### **3.2 CARACTERISTIQUES DU FUSIBLE**

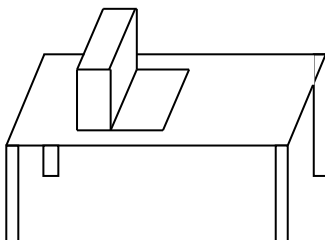
Dimensions : 5 x 20 mm

Calibre : 0,5 A rapide – 250 V

## **4. MISE EN SERVICE**

---

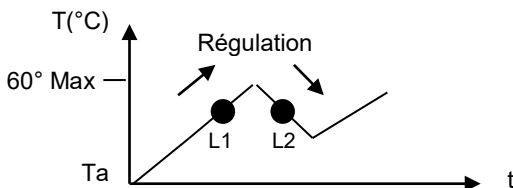
Le **banc didactique thermographie C.A 1875** doit être placé sur une surface plane. La plaque chauffante doit être perpendiculaire au plan de travail.



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.

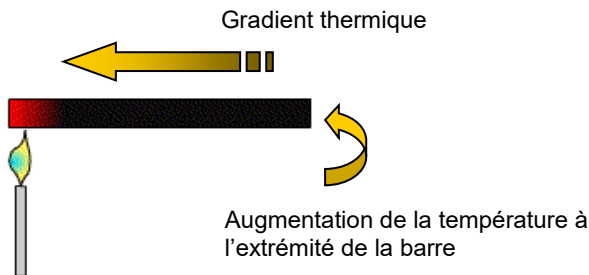
Un flux de chaleur est un terme d'énergie thermique par unité de temps. Un flux de transfert ne se produit que lorsqu'une différence de température est présente. L'énergie thermique est transférée d'un corps chaud vers un corps froid.

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.

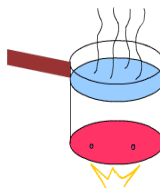


*Application : voir Annexe 3 exercice 1*

### 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:

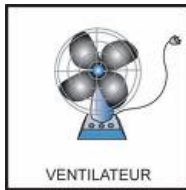
- La convection naturelle: lorsqu'il existe une différence de température entre deux points d'un fluide, le fluide chaud aura tendance à monter sous l'effet de la poussée d'Archimède. Il y aura ainsi circulation naturelle du fluide sous l'effet de la chaleur qui, par ailleurs, sera transportée avec lui: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



## C.A 1875

---

- 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.

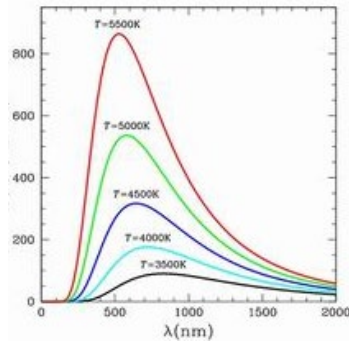
Tout corps à une température supérieure à 0 degré kelvin (zéro absolu, soit - 273,15°C) émet un rayonnement électromagnétique appelé rayonnement thermique. Le rayonnement infrarouge est le rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est comprise entre 700 nanomètres et 1 millimètre.

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 :

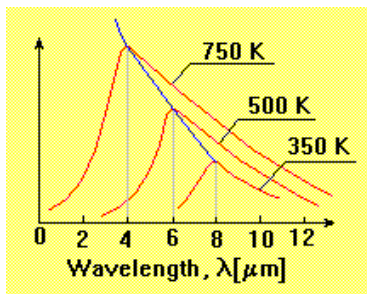
Energie rayonnée



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  $W / m^2$ .

$\sigma$ : constante de Stephan-Boltzmann =  $5,6703 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$

$S$ : 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*

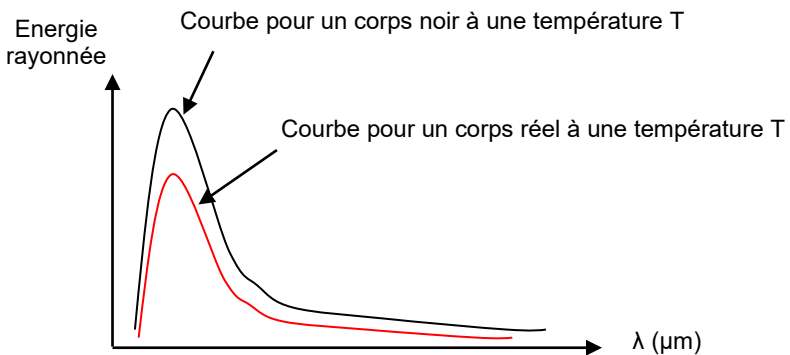
### L'émissivité

L'émissivité d'un matériau (souvent écrite  $\epsilon$ ), 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 réémettre 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 :



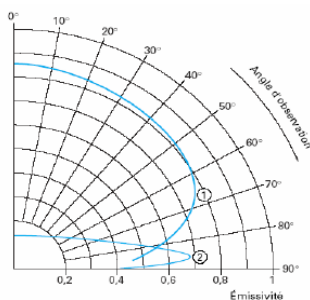
Plus l'émissivité diminuera, plus le maximum de la courbe diminuera également. La loi de Stephan-Boltzmann devient alors :

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

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 +/- 45° 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 différente.

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.

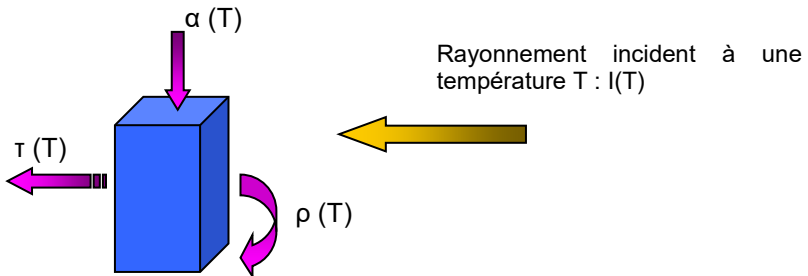
- Recommencez l'opération en inclinant à nouveau votre caméra, chaque fois d'un angle de 10° environ et relevez la température.

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  $\alpha$  du rayonnement incident, en réfléchissant une partie  $\rho$  et transmettent une fraction  $\tau$ .



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.

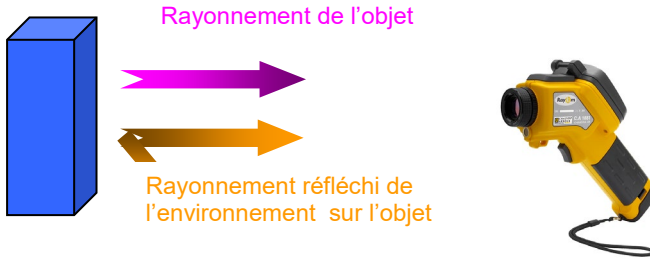
Nous avons la relation :

$$\varepsilon + \rho = 1$$

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 :

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

$$\begin{array}{ccc} & \swarrow & \searrow \\ \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{\text{objet}})^4 & & \rho \cdot \sigma \cdot (T_{\text{réfléchi}})^4 \end{array}$$

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 ( $\Delta s$ ) 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).

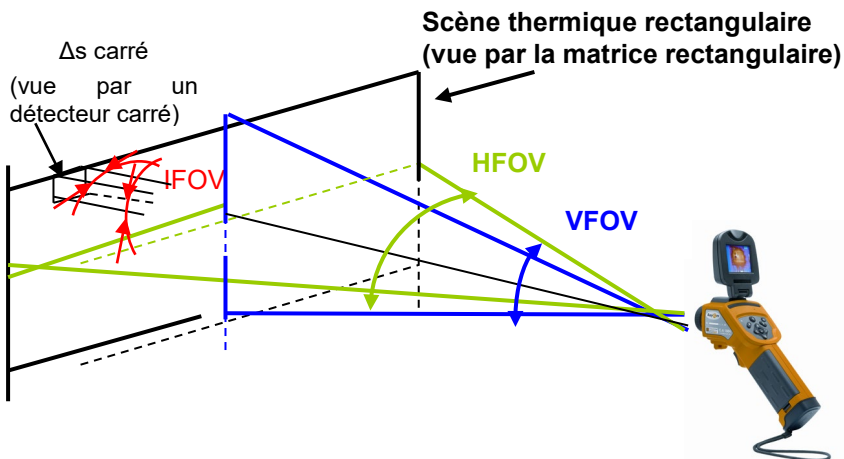
D'où la relation :

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

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.

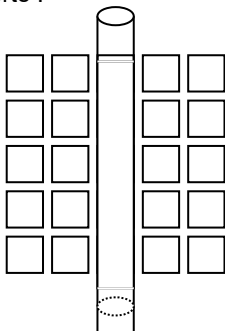
En effet, chaque détecteur est autonome et effectue une mesure du rayonnement reçu sur l'ensemble de sa zone. Le détecteur effectuera ainsi la moyenne du rayonnement total reçu et fournira à l'utilisateur la température correspondante.

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

Cas n°1 :

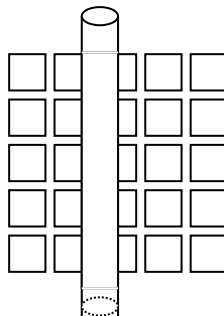
Le fil est de la taille d'1 IFOV.

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 :



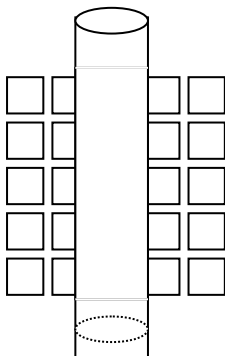
Aucun détecteur n'est recouvert complètement donc on n'aura aucune réponse correcte sur aucun des détecteurs !!!

Cette configuration n'est pas réaliste !!

Cas n°2 :

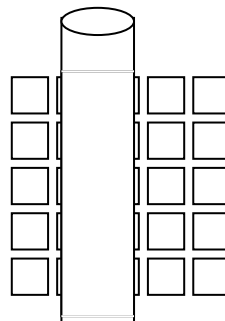
Le fil est de la taille de 2 IFOV.

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 :

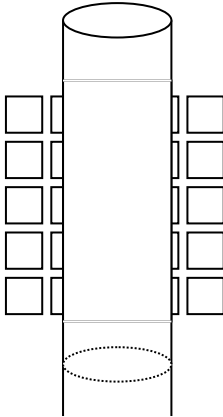


A nouveau, aucun détecteur n'est recouvert complètement : aucune réponse correcte sur aucun des détecteurs !!!

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 infrarouges que vous avez d'images dans le dossier « Emissivité des matériaux ».  
Insérez un thermogramme par zone.  
- Insérez des points sur chaque matériau 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 :

Ecart ( $\Delta T$ ) 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 :

- mauvaises connexions,
- surcharges,
- déséquilibre de phases,
- contacts défectueux...

Ceci afin de prévoir et d'éviter :

- des dégradations de matériels coûteux,
- des arrêts de production,
- des pertes d'exploitation,
- 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:

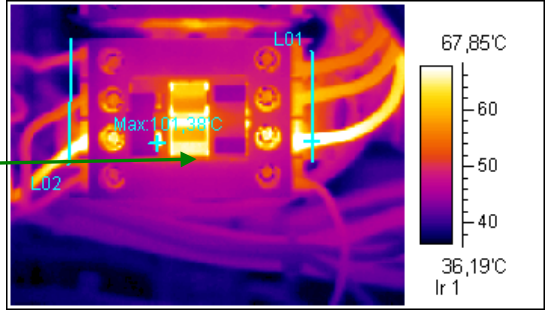
- Noter, à partir de la liste des matériels à inspecter, les différentes observations essentielles à la compréhension et à la résolution des problèmes (intensité, remarques, type et urgence des anomalies)
- Garantir les compétences de l'opérateur: L'ensemble de l'équipe intervenante est habilité BR H1V 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

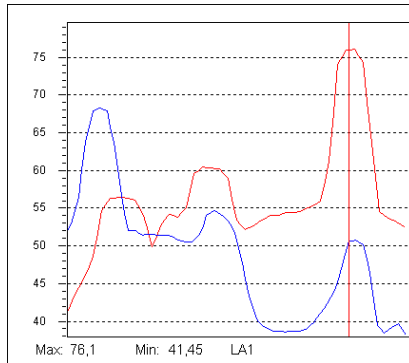
Ci-dessous un exemple de fiche d'anomalie correspondant à une inspection en thermographie infrarouge.

# 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



### 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 appuyez sur le bouton sur le fond du boîtier
- dégongez 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

Pour les réparations sous garantie et hors garantie, contactez votre agence commerciale Chauvin Arnoux la plus proche ou votre centre technique régional Manumasure qui établira un dossier de retour et vous communiquera la procédure à suivre.

Coordonnées disponibles sur notre site : <http://www.chauvin-arnoux.com> ou par téléphone aux numéros suivants : 02 31 64 51 55 (centre technique Manumasure), 01 44 85 44 85 (Chauvin Arnoux).

Pour les réparations hors de France métropolitaine, sous garantie et hors garantie, retournez l'appareil à votre agence Chauvin Arnoux locale ou 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 **24 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

---

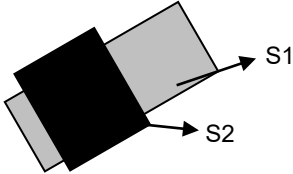
### C.A 1875

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 EMISSIVE

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

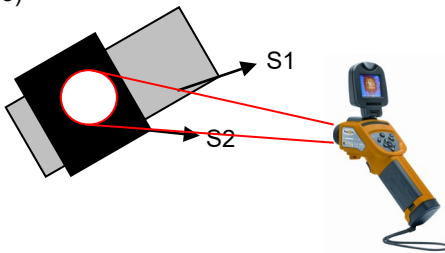
1)



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.

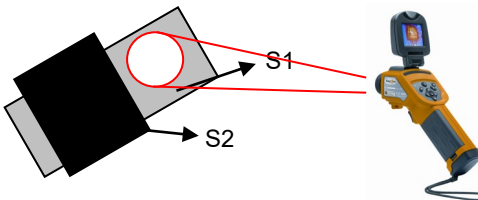
2) S1 et S2 étant dans les mêmes conditions environnementales, les deux surfaces sont à la même température.

3)



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

4)



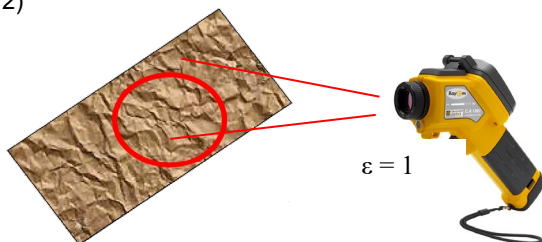
Une fois la température déterminée, on déplace la caméra vers la cible dont l'émissivité est inconnue. Il suffit de modifier ce paramètre sur la RayCAM jusqu'à obtenir sur la cible inconnue la même valeur de température que sur S2. L'émissivité du corps est alors déterminée.

## 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 :  $\epsilon = 1$

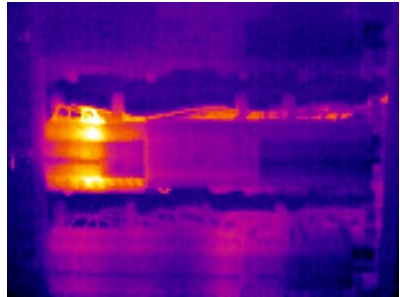
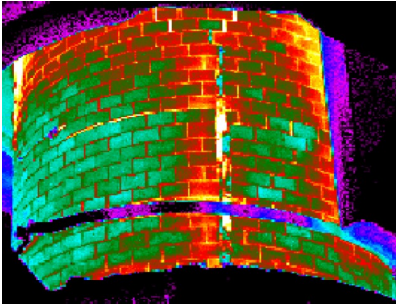
3) On mesure la température du corps noir équivalent à l'environnement sur la feuille d'aluminium, au moyen d'un outil d'analyse adapté - spot avec moyennage sur plusieurs positions ou encore mieux, la moyenne calculée sur une large zone.

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 :

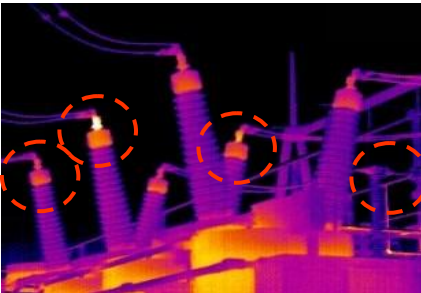


Commentez ces deux images.

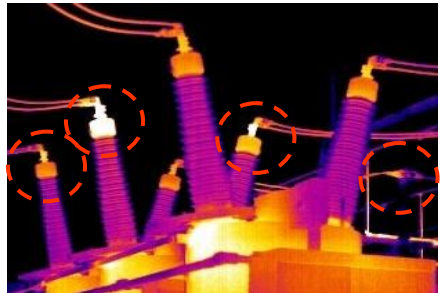
### Exercice 2

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

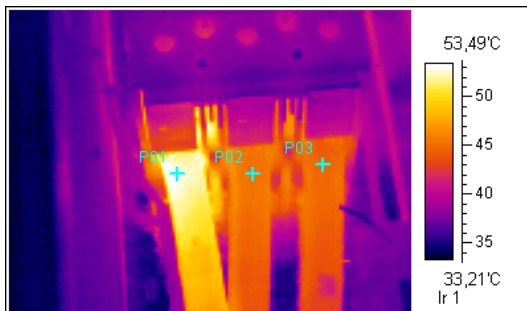
Nous cherchons à déterminer la température d'un câble de  $1,5 \text{ mm}^2$ .

- 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**

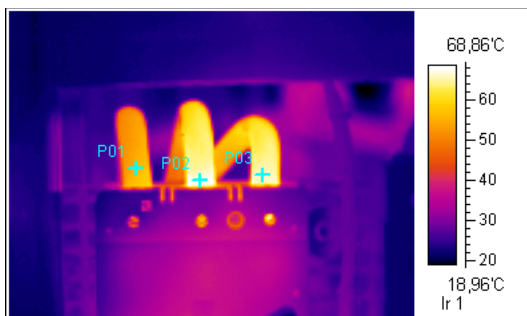
Déterminer les degrés d'urgence d'intervention des thermogrammes ci-dessous.

Thermogramme 1



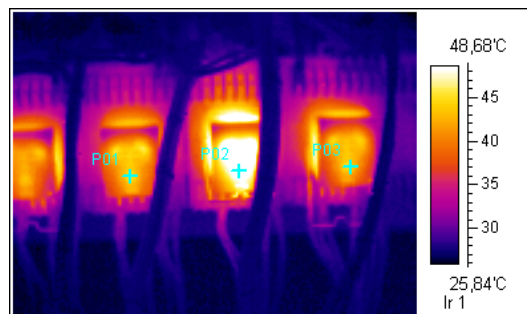
P01	52,8°C
P02	45,5°C
P03	45°C

Thermogramme 2



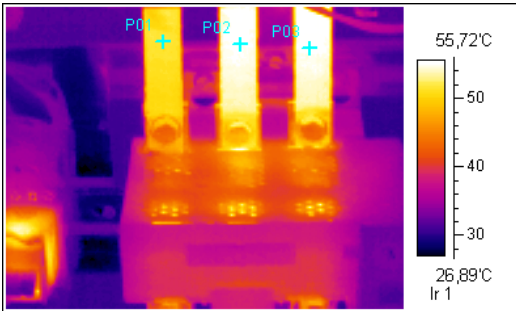
P01	57,9°C
P02	68°C
P03	67,4°C

Thermogramme 3



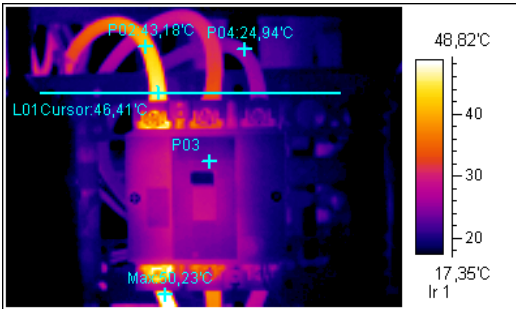
P01	45,5°C
P02	51,6°C
P03	44,7°C

Thermogramme 4



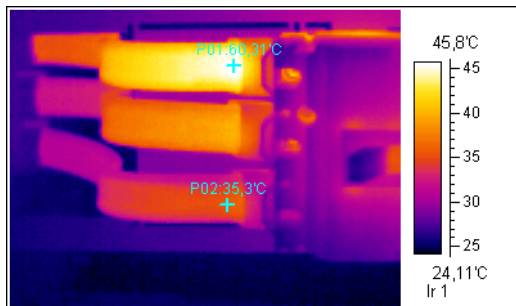
P01	51,3°C
P02	55,3°C
P03	55,4°C

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 clair 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 $\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8}$  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 :

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

D'où :

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

**Solution 4**Question a

Loi de Stéfán :

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

Avec  $\varepsilon = 1$  car corps noir $\sigma = 5,68 \cdot 10^{-8}$  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 :

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

D'où :

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

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 fautive : 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 fautive !

### 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 :

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

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 :

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

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

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

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 :

$$d_1 = \Delta s_2 / 2,2 \\ = (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2$$

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 :

$$d_2 = \Delta s_2 / 2,2 \\ = (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2$$

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:

$$\begin{array}{ll} \text{à } 1 \text{ m} & \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm} \\ \text{à } d_3 \text{ m} & \Delta s_2 = d_{\text{Câble}} / 3 \end{array}$$

On a alors :

$$d_3 = \Delta s_2 / 2,2 \\ = (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2$$

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:

$$\begin{array}{ll} \text{à } 1 \text{ m} & \Delta s_1 = 2,2 \text{ mm} \\ \text{à } d_1 \text{ m} & \Delta s_2 = d_{\text{Câble}} / 3 \end{array}$$

On a alors :

$$d_1 = \Delta s_2 / 2,2 \\ = (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2 \\ = (((4 \times P) / \pi)^{1/2} / 3) / 2,2$$

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 :

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta s_2 / 2,2 \\ &= (d_{\text{Câble}} / 3) / 2,2 \\ &= ((4 \times P) / \pi)^{1/2} / 3 / 4,1 \end{aligned}$$

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 :

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

$$\Delta T = 4 \text{ °C}$$

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 :

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

$$\Delta T = 18,3 \text{ °C}$$

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 :

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

$$\Delta T = 25 \text{ °C}$$

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

### **Solution 11**

#### Thermogramme 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 !

**FRANCE**

**Chauvin Arnoux Group**

190, rue Championnet

75876 PARIS Cedex 18

Tél : +33 1 44 85 44 85

Fax : +33 1 46 27 73 89

[info@chauvin-arnoux.com](mailto:info@chauvin-arnoux.com)

[www.chauvin-arnoux.com](http://www.chauvin-arnoux.com)

**INTERNATIONAL**

**Chauvin Arnoux Group**

Tél : +33 1 44 85 44 38

Fax : +33 1 46 27 95 69

**Our international contacts**

[www.chauvin-arnoux.com/contacts](http://www.chauvin-arnoux.com/contacts)

