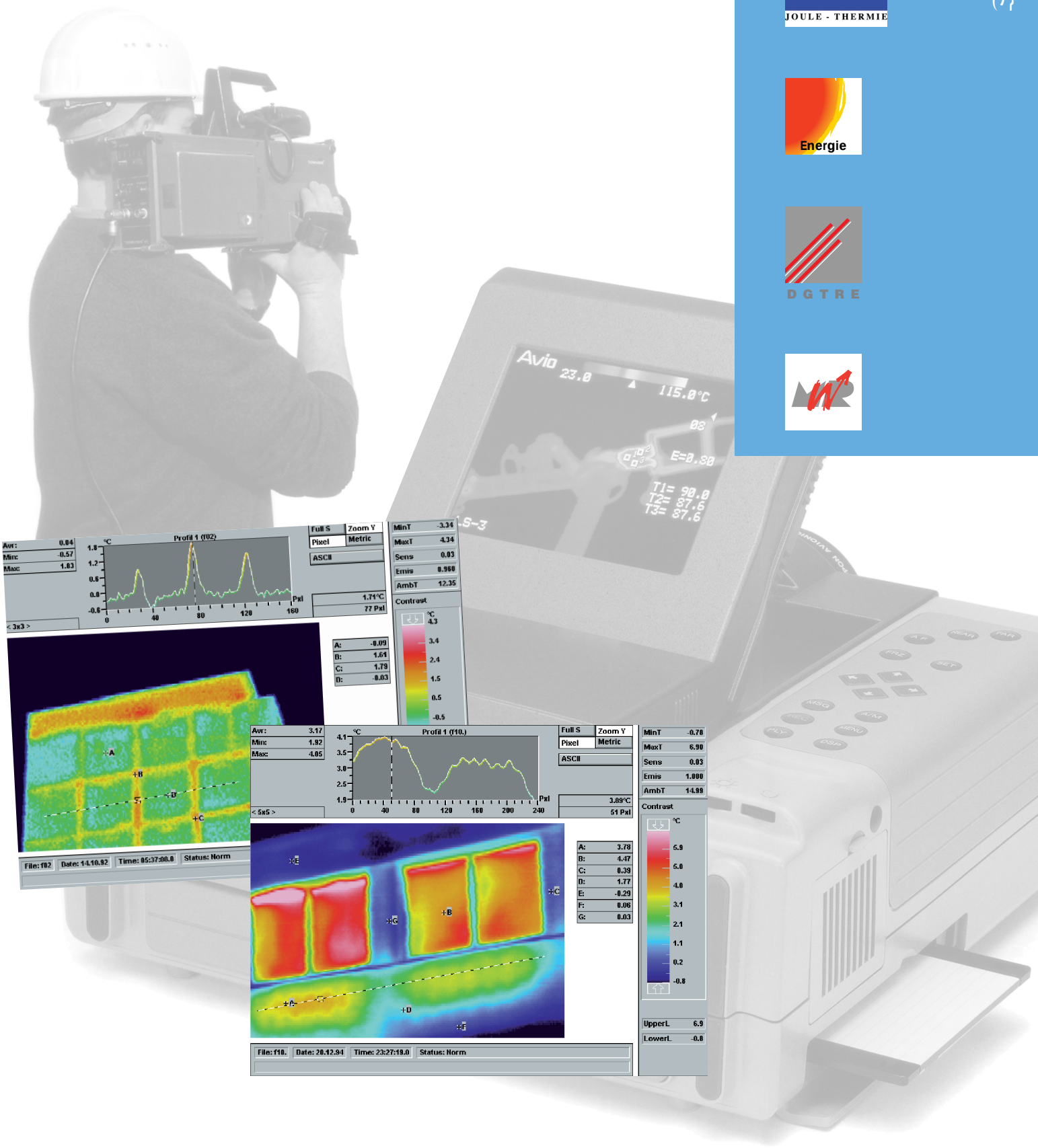
ÉTUDE DE CAS

La thermographie infrarouge en maintenance prédictive

cas du Centre hospitalier Saint-Joseph-Espérance



SOMMAIRE - LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE EN MAINTENANCE PRÉDICTIVE

LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE EN MAINTENANCE PRÉDUCTIVE		**3**
1.	**INTRODUCTION**	**3**
1.1.	NOTIONS DE TEMPÉRATURE	3
1.2.	MESURE DE TEMPÉRATURE & THERMOGRAPHIE INFRAROUGE	3
1.3.	LA CAMÉRA INFRAROUGE	4
2.	**LOIS DU RAYONNEMENT INFRAROUGE**	**5**
2.1.1	LE SPECTRE ÉLECTROMAGNÉTIQUE	5
2.1.2	BANDES SPECTRALES UTILISÉES EN THERMOGRAPHIE INFRAROUGE	6
2.2.	ÉTUDES THÉORIQUES ET RÉFÉRENTIELLES	7
2.3.	ÉTUDES PRATIQUES	9
3.	**GRANDEURS D'INFLUENCE POUR LA MESURE DE T° PAR THERMOGRAPHIE**	**13**
4.	**LA CAMÉRA INFRAROUGE**	**17**
4.1.	LES DÉTECTEURS	17
4.2.	LES SYSTÈMES DE MESURE DES CAMÉRAS INFRAROUGES	17
4.3.	CARACTÉRISTIQUES D'APPAREILLAGE ACTUELLEMENT SUR LE MARCHÉ	21
5.	**PRINCIPE ET MÉTHODE, CAS DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES**	**22**
5.1.	PRINCIPE DE DÉTECTION	22
5.2.	MÉTHODE D'INSPECTION	23
5.3.	LE RAPPORT D'ANALYSE	24
5.4.	AVANTAGES DE L'ANALYSE INFRAROUGE DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES	24
5.5.	L'ANALYSE INFRAROUGE : GAIN DE TEMPS ET D'ARGENT	25
5.6.	COMPÉTENCES REQUISES, AGRÉMENTS, RÈGLEMENTS : QUI PEUT PRATIQUER CES MESURES ?	25
6.	**APPLICATIONS DE LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE**	**27**
6.1.	CONTRÔLE DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES HAUTE ET BASSE-TENSION	27
6.2.	CONTRÔLE DE RÉFRACTAIRE	29
6.3.	CONTRÔLE DE LA QUALITÉ D'ISOLATION DES BÂTIMENTS	30
6.4.	CONTRÔLE SUR DES ÉQUIPEMENTS MÉCANIQUES	31
6.5.	CONTRÔLE SUR DES ÉQUIPEMENTS THERMIQUES	31
6.6.	CONTRÔLES QUALITATIFS ET QUANTITATIFS DES ÉCHANGES THERMIQUES	32
6.7.	LOCALISATION D'UNE CANALISATION D'EAU CHAUDE DANS UNE CHAPE	34
6.8.	REJET D'EAU CHARGÉE DANS UN BASSIN DE DÉCANTATION	34
7.	**ÉTUDE DE CAS : LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE AUX CLINIQUES SAINT-JOSEPH DE LIÈGE**	**35**

LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE EN MAINTENANCE PRÉDUCTIVE

1. Introduction

1.1 Notions de température:

La température d'un corps est une grandeur physique qui caractérise le niveau énergétique de ce corps : celle-ci s'exprime en degrés Celsius (°C) ou en Kelvin (K). L'échelle en Kelvin est référencée au zéro absolu qui vaut -273,15°C : à cette température, tout corps à une valeur énergétique nulle.

1.2 Mesure de température & Thermographie infrarouge:

La température se mesure à l'aide de thermomètres, par contact ou par rayonnement. La mesure par contact nécessite comme l'indique la définition, un contact entre l'élément dont on veut mesurer la température et l'appareil de mesure. La mesure au moyen de thermomètres à rayonnement ne nécessite aucun contact : ces appareils mesurent des rayonnements émis par tout corps dont la T° est supérieure à -273,15°C ou zéro K : ces rayonnements ont des longueurs d'onde qui se situent dans l'infrarouge et sont proportionnels à la température des corps. Un calculateur intégré au thermomètre convertit les rayonnements en températures sur base d'un étalonnage référentiel spécifique réalisé en laboratoire.

Le thermomètre à rayonnement se compose en fait d'un radiomètre et d'un calculateur : Le radiomètre mesure la puissance de rayonnement émis et le calculateur la transcrit en températures.

Pour les hautes températures, on parle de pyromètres.

Si on associe à l'observation d'une même scène thermique un système radiométrique de captation spatiale adjoint à un calculateur qui à la fois convertit les rayonnements infrarouges en points lumineux et en températures, on obtient une caméra infrarouge. Cet équipement permet de visualiser et de quantifier les températures d'une scène thermique : cette technique est appelée **"Thermographie infrarouge"**.

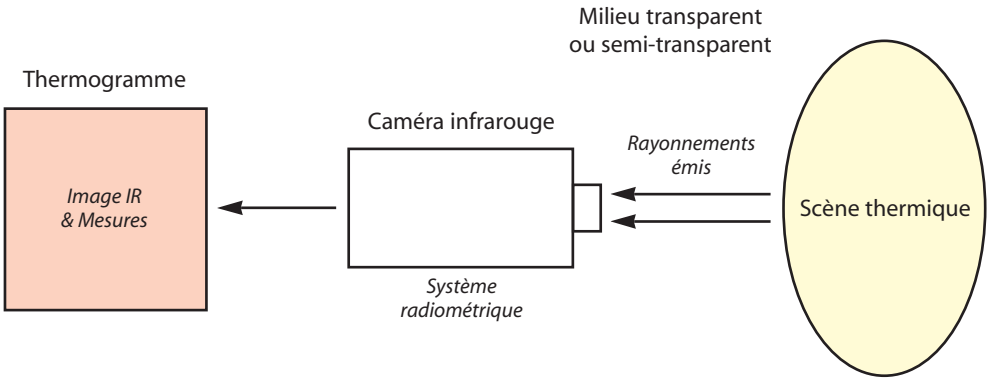
Il existe deux systèmes de captation spatiale des radiations électromagnétiques :

- **Le système à balayage spatial :**
  Le radiaomètre (détecteur unique) est couplé à un dispositif optomécanique qui par le biais de miroirs permet le balayage d'une scène suivant des axes verticaux et horizontaux. Dans ce cas, le même détecteur analyse chaque zone de la scène thermique avec un très léger décalage temporel.

- **Le système à plan focal :**
  Celui-ci est constitué par une multitude de radiomères appelé "matrice de détecteurs". Dans ce cas, chaque détecteur est destiné à l'analyse continue d'une zone unique dans le champs scanné défini par l'optique de la caméra.

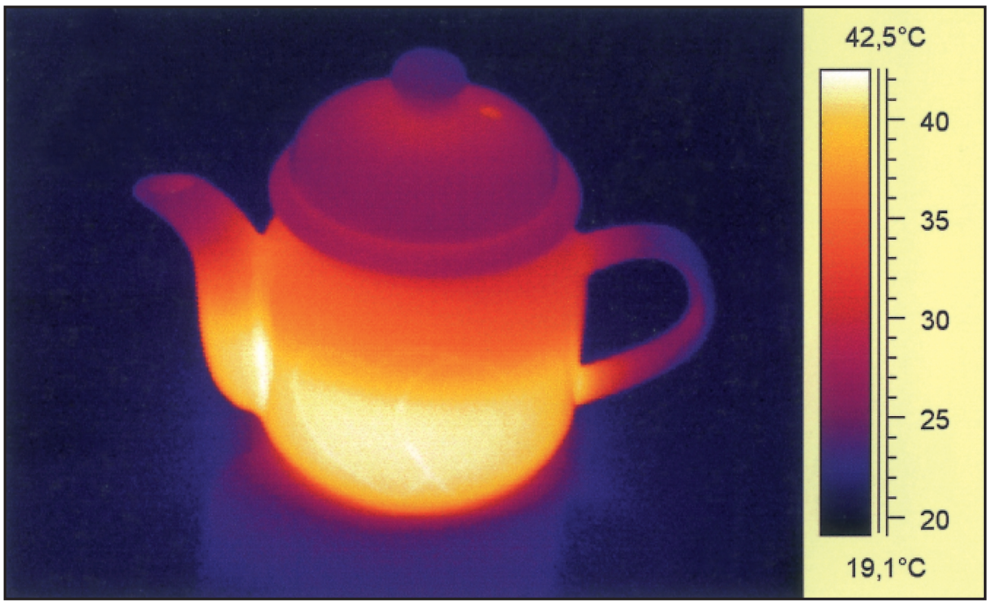
1.3 La caméra infrarouge :

> Principe :



> Fonctionnement :
La caméra infrarouge capte au travers d'un milieu transmetteur (ex : l'atmosphère) les rayonnements émis par une scène thermique. Le système radiométrique convertit la puissance de rayonnement en signaux numériques ou analogiques : ceux-ci sont transcrits en température par le calculateur et transformés en points lumineux sur un écran. L'image ainsi obtenue s'appelle "Thermogramme".

Exemple de thermogramme



La théière contient encore du thé à 50% de sa capacité.
Ce thé est toujours chaud : il émet du rayonnement infrarouge qui échauffe la porcelaine. La théière rayonne à son tour : cette émission est directement influençée par la source de chaleur initiale. La caméra infrarouge mesure tous les rayonnements émis par la surface du récipient et les restitue sous forme de thermogramme : cette image thermique est composée par des niveaux de couleur ou de gris (thermogramme N&B), lesquels sont en corrélation avec les niveaux de T° mesurés (échelle des températures).

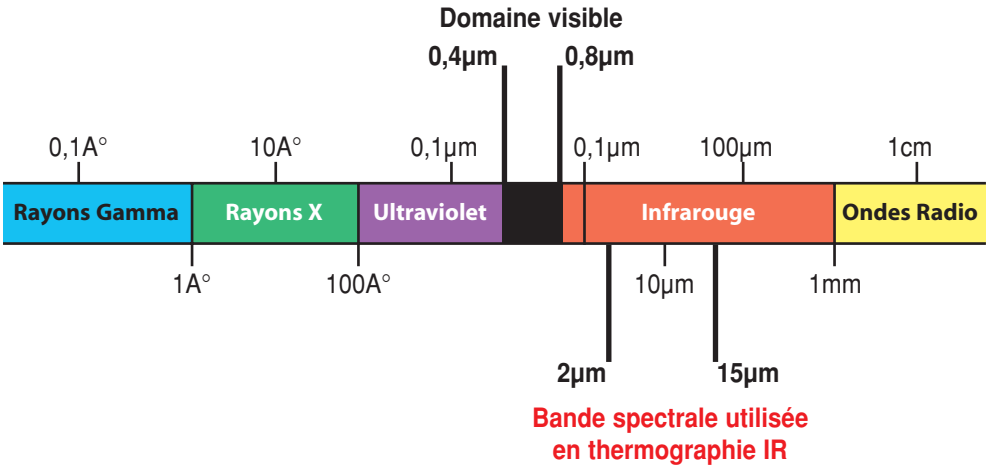
Dans ce cas, le thermogramme nous indique le niveau de thé restant ainsi que sa situation thermique avant consommation...

2. Lois du rayonnement infrarouge

2.1.1 Le spectre électromagnétique :

La lumière visible, les ondes radio, TV, les rayons X sont des rayonnements électromagnétiques :

Le spectre électromagnétique



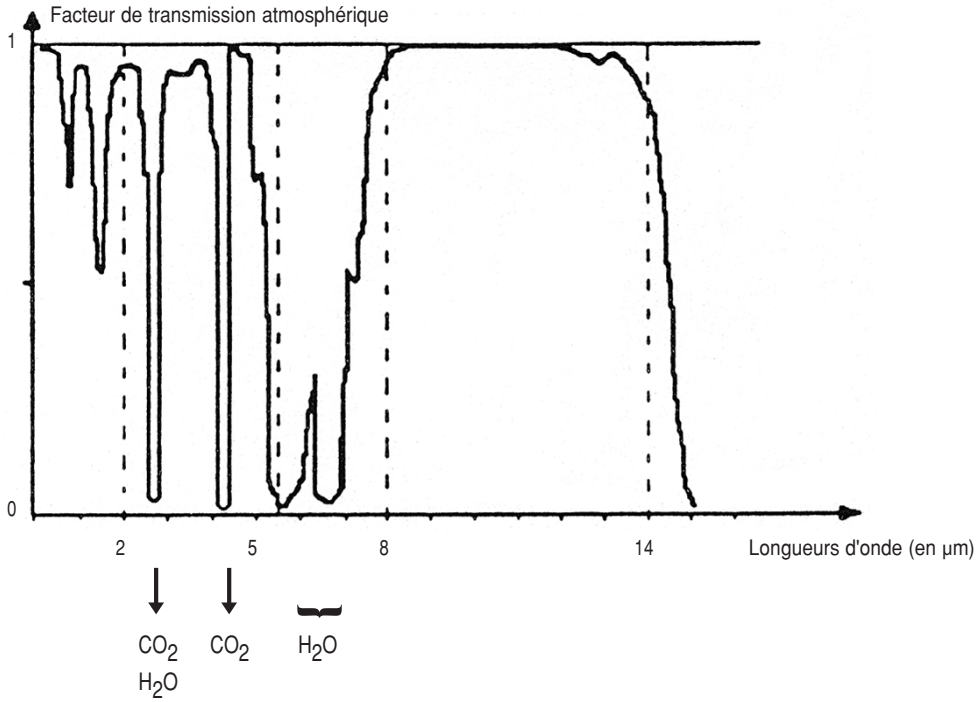
Le domaine visible s'étend des longueurs d'onde allant de 0,4 à 0,8 µm (micromètres). La bande infrarouge s'étend de 0,8 à 1000 µm : celle-ci peut-être divisée en plusieurs sections :

- l'infrarouge proche : 0,8 à 3 µm;
- l'infrarouge moyen : 3 à 6 µm;
- l'infrarouge éloigné : 6 à 15 µm;
- l'infrarouge lointain : 15 à 1000 µm.

2.1.2 Bandes spectrales utilisées en thermographie infrarouge :

En thermographie infrarouge, on travaille généralement dans une bande spectrale qui s'étend de 2 à 15 µm et plus particulièrement dans les fenêtres 2-5 µm et 7-15 µm. Il faut savoir que classiquement, les applications de la thermographie infrarouge s'effectuent dans un milieu ambiant naturel ou atmosphère naturelle : celle-ci constitue un milieu semi transparent ou "hublot" entre les rayonnements émis par un corps quelconque dont on veut mesurer la température et la caméra thermique. Ce milieu transmet donc en partie le rayonnement émis par une scène thermique.
Pour optimaliser la qualité d'imagerie et de mesures thermiques, il faut que la transmission des rayonnements infrarouges soit optimale. Dans ce contexte, les fabricants de matériel infrarouge ont analysé la transmission atmosphérique des ondes infrarouges et ont relevé 2 bandes spécifiques où la transmission est maximale mais non optimale (transmission inférieure à 100%) :

Facteur de transmission atmosphérique



• La bande 2-5 µm appelée Ondes courtes (SW, Short Waves).
• La bande 7-15 µm appelée Ondes longues (LW, Long Waves).

C'est principalement la vapeur d'eau et le gaz carbonique contenus à l'état gazeux dans l'atmosphère naturelle qui atténuent les rayonnements.

> Remarque :
Dans le cas de mesures infrarouges réalisées dans des milieux particuliers (gaz spécifiques, ...), il faut en étudier la transmission afin d'adapter au mieux le matériel de mesure : celui-ci ne sera plus classique mais bien spécifique.

2.2 Etudes théoriques et référentielles

> Le corps noir : radiateur idéal :

Le corps noir est le corps de référence dans la théorie du rayonnement infrarouge : celui-ci est capable d'absorber tout rayonnement incident quelque soit sa longueur d'onde et d'émettre à son tour des radiations à toutes les longeurs d'onde. Ce corps référentiel cède à l'environnement l'énergie captée jusqu'à l'établissement d'un équilibre thermodynamique : **le corps noir est un radiateur idéal.**

Trois lois définissent le rayonnement d'un corps noir :
- la loi de Plank;
- la loi de Wien;
- la loi de Stefan-Boltzman.

a) Loi de Plank :

Max Plank a calculé les flux de puissances électromagnétiques émis par un corps noir.

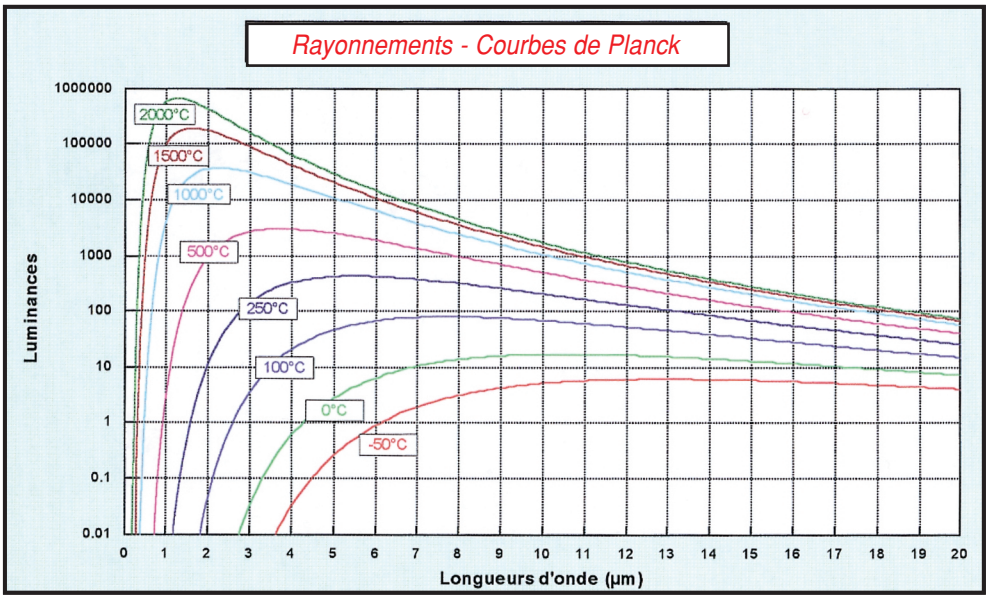
On a :

$$W\lambda = \frac{2.\Pi.h.c^2}{\lambda^5.(e^{(h.c/\lambda.k.T)}-1} \text{ (Watts/cm}^2\mu\text{)}$$

avec :
- λ Longueur d'onde;
- $W\lambda$ Flux de puissance émis par un corps noir à la longueur d'onde;
- **c** Vitesse de la lumière = 3.10^{10} cm/s;
- **h** Constante de Plank = $6{,}6.10^{-34}$ Watt.s^2;
- **k** Constante de Boltzman = $1{,}4.10^{-23}$ Watt.s^2/°K;
- **T** Température absolue du corps noir en Kelvin.

Ces formulations mathématiques complexes sont représentées par les courbes ci-dessous.

Les longueurs d'ondes sont exprimées en micromètres et les puissances de rayonnement sont exprimées en luminances (NB : l'échelle des luminances est logarithmique).



Par ce graphe, nous constatons que :

- Le spectre d'émission du corps noir est continu.
- La puissance électromagnétique émise croît avec la température du corps noir.
- L'émission de rayonnement passe par un maxima : ce maxima se produit à des longueurs d'onde de plus en plus faibles lorsque la température du corps noir croît.
- A partir d'une température de l'ordre de 520°C, l'émission du rayonnement infrarouge apparaît dans le domaine spectral visible (0,4-0,8µm) : les objets chauffés au moins à cette température deviennent donc visibles par l'oeil humain de par la couleur rouge sombre.
  En-dessous de cette température, nous ne "voyons" pas les températures car l'émission de rayonnement se fait au-delà de la bande spectrale sur laquelle sont calibrés nos yeux. Dès lors, pour visualiser des corps dont la T° est inférieure à 520°C, il faut utiliser des appareils dont le seuil de détection est inférieur à celui de l'oeil humain.

b) La loi de Wien :

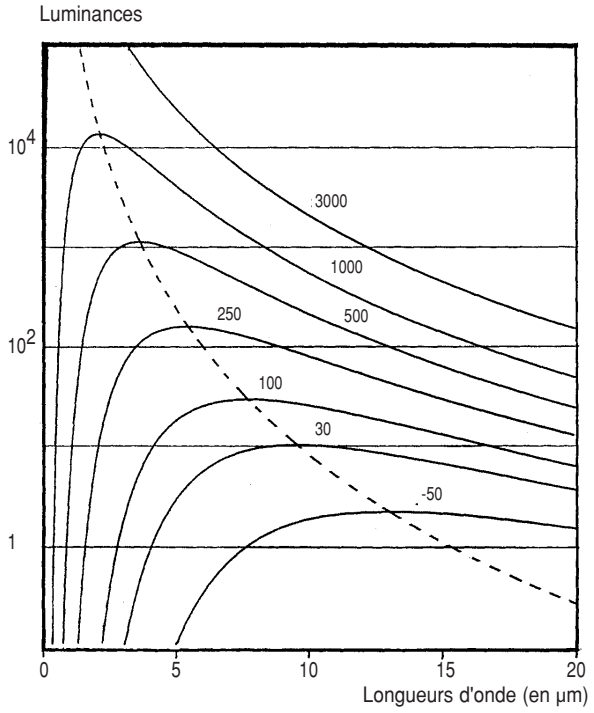
Par dérivation de la loi de Plank, on obtient la loi de Wien.

On a :

$$\lambda \textbf{ max} = \frac{\textbf{2898}}{\textbf{T}} \text{ (µm)}$$

avec : • λ **max** Longueur d'onde à laquelle se produit l'émission maximale;
• **T** Température absolue du corps en Kelvin.

La courbe définie par cette équation est représentée en pointillé sur la figure ci-dessous. Celle-ci est modélisée par les maxima des courbes de Planck. Elle indique que lorsque la température croît, le maximum d'énergie émis se déplace vers les faibles longueurs d'onde.
Plus simplement, cette loi exprime le fait que la couleur d'un objet chauffé à haute température varie du rouge sombre au blanc.



c) La loi de Stefan-Boltzmann :

Par intégration de la loi de Plank, on obtient la loi de Stefan-Boltzmann.
Celle-ci détermine le flux de puissance total émis par un corps noir.

On a :

$$W = \sigma.T^4 \ (Watts/cm^2)$$

avec : • σ Constante de Stefan-Boltzmann = $5,7.10^{-12}$ ($Watts/cm^2/°K^4$);
• **T** Température absolue du corps noir en Kelvin.

Le flux de puissance total émis par un corps noir est proportionnel à la quatrième puissance de sa température absolue.

Pour information, le flux de puissance émis par le soleil dans le spectre visible n'est que de 25% du flux total.

2.3 Etudes pratiques

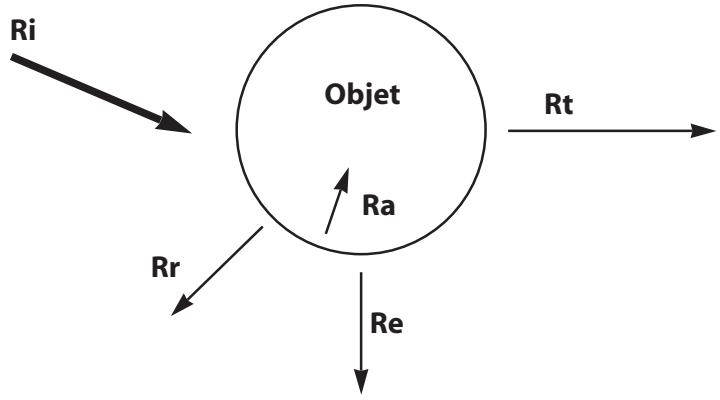
> Les corps noirs et les corps réels :
Le corps noir est un corps parfait au sens physique : il émet un maximum de puissance de rayonnement à une température donnée. La réalité est toute autre : en effet les corps réels rencontrés dans notre environnement ne sont généralement pas des radiateurs idéaux. L'objet réel émet toujours moins de rayonnement que le corps noir, quelle que soit la température ou la longeur d'onde. Ainsi, les lois que nous avons décrites ne sont applicables qu'avec certaines corrections.

> Bilan radiatif du corps noir et du corps reél :

1) Cas général :

On considère un objet placé dans le vide (ceci annule la prise en compte d'autres modes de transfert d'énergie tels que la convection et la conduction; dans notre cas, on s'intéresse exclusivement au transfert d'énergie par rayonnement).

avec : • **Ri** Rayonnement incident en provenance d'un autre élément;
• **Ra** Rayonnement absorbé par l'objet;
• **Rt** Rayonnement transmis par l'objet;
• **Re** Rayonnement émis par l'objet;
• **Rr** Rayonnement réfléchi par l'objet.



NB : Tous ces facteurs sont sélectifs : leurs grandeurs varient en fonction de la longueur d'onde du rayonnement.

> Explications :

a) L'objet reçoit du rayonnement incident Ri en provenance d'une source quelconque.

b) Ri est directement restituée en partie au milieu extérieur par réflexion : c'est le rayonnement réfléchi Rr.

c) L'objet absorbe une partie de Ri : c'est le rayonnement absorbé Ra.
Cette énergie absorbée échauffe donc l'objet jusqu'à obtenir un équilibre thermodynamique avec le milieu extérieur : l'objet finit alors par émettre autant de puissance qu'il n'en absorbe.
Le rayonnement absorbé est donc égal au rayonnement émis : Ra = Re.

d) L'objet transmet une partie de Ri : c'est le rayonnement transmis Rt.

> Bilan des rayonnements :

$$\mathbf{Ri = Rr + Ra + Rt} \quad \text{avec} \quad Ra = Re$$

donc

$$\mathbf{Ri = Rr + Re + Rt}$$

ou

$$\mathbf{1 = \{Rr / Ri\} + \{Re / Ri\} + \{Rt / Ri\}}$$

avec **{Rr / Ri}** Facteur de réflexion "r";
{Re / Ri} Facteur d'émission (ou émissivité) "ε";
{Rt / Ri} Facteur de transmission "t";

ainsi $\boxed{\mathbf{1 = r + \varepsilon + t}}$

Cette formulation est le cas général ou l'équation de base du bilan radiatif.

2) Cas du corps noir référentiel :

Le corps noir, comme nous l'avons défini ci-dessus, est un radiateur idéal : ilabsorbe intégralement tous les rayonnements incidents et les restituent complétement au milieu environnant :

• Le facteur de réflexion est nul : r = 0
• Le facteur de transmission est nul : t = 0

• L'émission est maximale $\boxed{\varepsilon = 1}$

3) Cas du corps réel :

3.1) Cas général :
En thermographie infrarouge classique, on s'intéresse principalement à la visualisation et à la quantification de T° de surface de divers objets dits "opaques" aux rayonnements infrarouges captés par la caméra thermique.

Le facteur de transmission est nul : t = 0

$$\mathbf{1 = \varepsilon + r}$$

3.2) Cas particuliers:

a) Le miroir thermique :
Le miroir parfait réfléchit intégralement tous les rayonnements incidents

Le facteur d'absorption ou d'émission est nul : $\varepsilon = 0$

$$\mathbf{r = 1}$$

b) Les corps semi-transparents :
Certains "objets" transmettent en partie le rayonnement incident : c'est le cas des gaz (atmosphère par ex.) ou des hublots. Ces corps semi-transparents sont des milieux de propagation des rayonnements IR que l'on retrouve généralement entre l'objet opaque sur lequel on désire réaliser une mesure de température et la caméra thermique.

Pour les gaz, le facteur de réflexion est nul : r = 0

$$\mathbf{\varepsilon + t = 1}$$

c) Le corps transparent idéal :
Le vide est le milieu parfaitement transmetteur :

$$\mathbf{t = 1}$$

Que se passe-t-il dans la vie quotidienne?

Notre environnement est composé d'objets qui émettent tous du rayonnement IR. Parmi ceux-ci, il existe des sources à très hautes températures telles que le soleil, les lampes à incandescence, etc...
Ces sources, principalement d'éclairage, émettent des rayonnements qui sont partiellement réfléchis par chaque objet : l'oeil humain voit ainsi ces objets grâce aux rayonnements qu'ils réfléchissent dans le spectre visible.
La nuit ou lorsque nous éteignons la lumière, il n'y a plus de source d'émission de rayonnements assez puissante que pour percevoir les objets situés dans notre environnement. Dans ce cas, seuls les éléments portés à plus de 520°C sont vus par l'oeil humain.

4) Remarque importante :

En thermographie infrarouge, l'émission de rayonnement par un corps quelconque est le facteur correctif de mesure essentiel.
Le flux de puissance total émis par un corps réel pourrait s'assimiler à :

$$\mathbf{W} = \varepsilon.\sigma.\mathbf{T^4} \text{ (Watts/cm}^2\text{)}$$

avec :
- ε Emissivité du corps réel;
- σ Constante de Stefan-Boltzmann = $5{,}7.10^{-12}$ (Watts/cm^2/°K^4);
- **T** Température absolue du corps noir en Kelvin.

Seulement, l'émissivité d'un corps réel n'est pas systématiquement constante dans tout le spectre électromagnétique, ce qui rend aléatoire l'application de la formule de Planck. En thermographie infrarouge on distingue trois types de corps dont l'émissivité respective a un comportement particulier dans le spectre de la lumière :

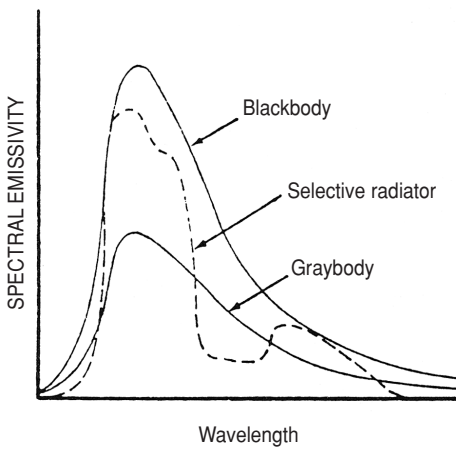
- le corps noir;
- le corps gris;
- le corps sélectif ou radiateur sélectif.

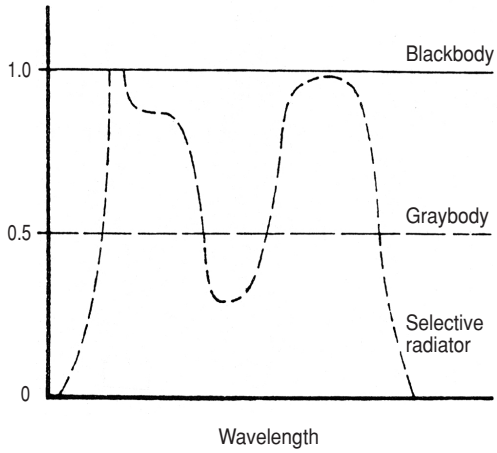
Le corps noir est le radiateur idéal : son émissivité est maximale et constante à toutes les longueurs d'ondes : ε **= 1 = Constante.**

Le corps gris est un objet dont l'émissivité n'est pas maximale mais "constante à toutes les longueurs d'onde" : ε **< 1 = Constante.**
En thermographie infrarouge classique, on considère que les objets réels sur lesquels on réalise de l'image et de la mesure de T° sont des corps gris.
Cette hypothèse tient compte du fait que les bandes spectrales ou fenêtres infrarouges utilisées par les caméras thermiques sont étroites par rapport au spectre électromagnétique de la lumière.

Le radiateur sélectif est un corps dont l'émissivité n'est pas maximale et varie avec la longueur d'onde : ε **< 1 = Variable.**

Les figures ci-dessous détaillent graphiquement l'émission spectrale ainsi que les variations d'émissivité des trois types de corps :



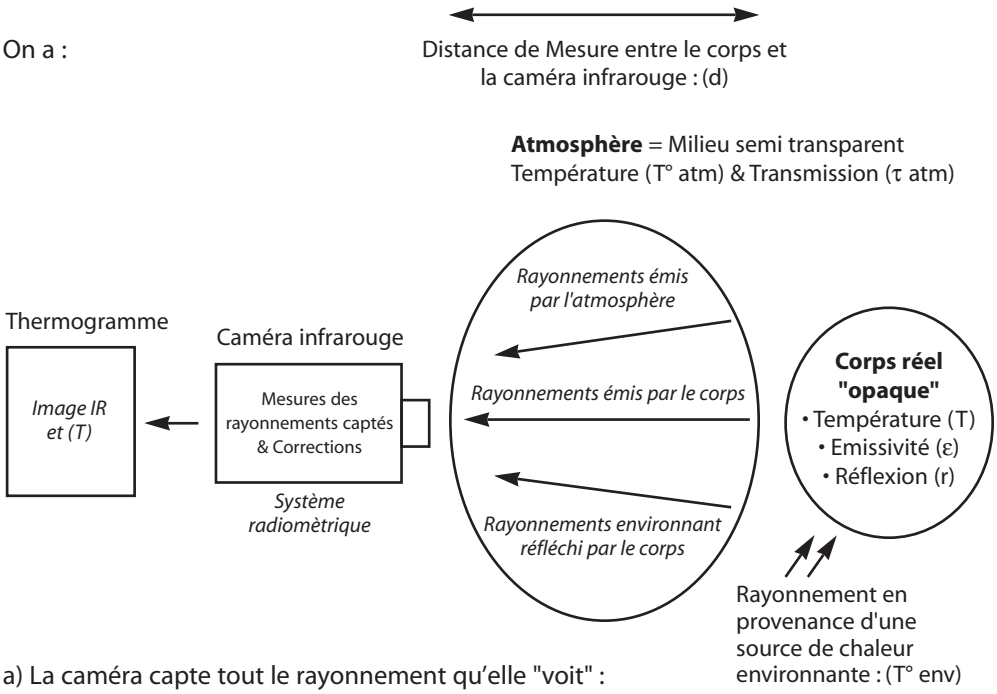


3. Grandeurs d'influence pour la mesure de T° par thermographie

Cas général de mesure de T° par thermographie IR :

Mesure de la température d'un corps réel "opaque" dans une atmosphère classique à une distance d.

On a :



a) La caméra capte tout le rayonnement qu'elle "voit" :

- Une partie du rayonnement émis par l'objet.
- Une partie du rayonnement émis par une source environnante et partiellement réfléchi par l'objet. Chacune de ces fractions est transmise au travers de l'atmosphère, donc atténuée de par la transmission atmosphérique non optimale.
- Le rayonnement émis par l'atmosphère.

b) Le système radiométrique doit corriger le rayonnement capté afin de calculer avec précision la valeur de la température du corps. Cette correction tient compte d'une série de paramètres influant directement la mesure exacte de température. Ces paramètres sont appelés **"Grandeurs d'influence"**.

Le facteur d'émission ou EMISSIVITE ε :

L'émissivité d'un corps représente l'aptitude de ce corps à émettre du rayonnement infrarouge. C'est le rapport entre le flux de puissance émis à une longueur d'onde par un corps réel porté à une température T et le flux de puissance qui serait émis à la longueur d'onde par un corps noir porté à la température T.

on a :

$$\varepsilon_\lambda = \frac{\mathbf{W}_\lambda}{\mathbf{W}_{\lambda o}} \text{ (sans unité)}$$

avec :
- $\mathbf{W}_\lambda$ Flux de puissance émis par un corps réel à la longueur d'onde λ ;
- $\mathbf{W}_{\lambda o}$ Flux de puissance émis par un corps noir à la longueur d'onde λ.

- Les corps noir et réel sont à la même température.

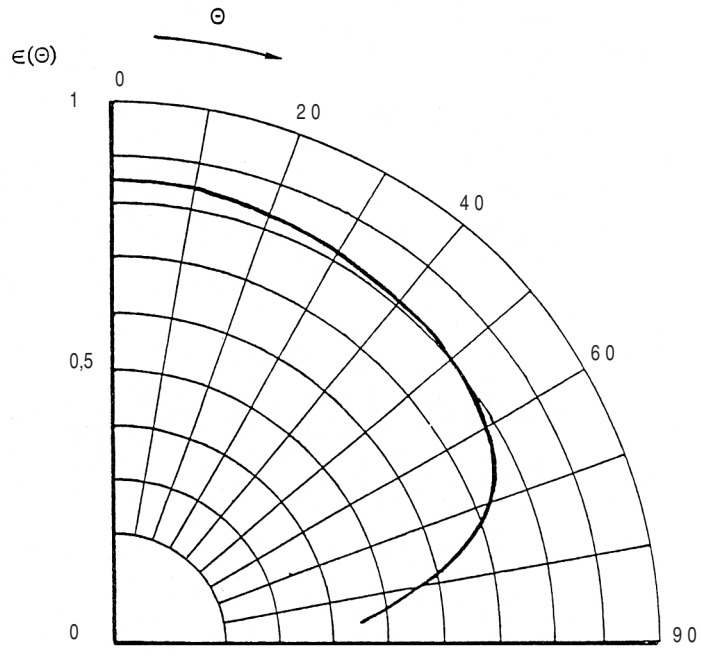
> Facteurs d'influence de l'émissivité :

a) Le matériau constituant le corps et son état de surface : plus la surface est rugueuse ou oxydée, plus l'émissivité est élevée.

b) La longueur d'onde : l'émissivité d'un corps est sélective : comme on travaille dans des bandes spectrales étroites, un objet sélectif peut-être assimilé à un corps gris dont l'émissivité est constante.

c) La direction de l'émission : l'émission du rayonnement infrarouge varie avec l'angle d'observation d'une même surface d'un corps. L'émissivité reste constante jusqu'à plus ou moins 50° par rapport à la normale : au-delà, celle-ci chute fortement.

Exemple :



Emissivité directionnelle du caoutchouc pour la bande de 3 à 5 µm

d) La température du matériau : la variation de l'émissivité est due dans ce cas à la modification de l'état de surface du matériau par la température.

> Détermination du facteur d'émissivité :

Nous n'aborderons pas dans ce paragraphe les méthodes de déterminations pratiques de l'émissivité de corps réels du fait de leur complexité.
Il faut savoir que la quantification précise de l'émissivité d'un matériau est une opération particulière qui est généralement réalisée en laboratoire à l'aide de matériel spécifique. Ces mesures spéciales contribuent à l'élaboration d'abaques classiquement utilisés en thermographie infrarouge. On trouve ainsi dans la littérature technique des tables d'émissivités de divers matériaux : celles-ci sont approximatives et peuvent-être utilisées, avec précaution, afin de dégrossir les calculs de température.

Quelques exemples :

• T est la température en °C à laquelle a été réalisée la mesure.
• "dl" est la longueur d'onde en µm ou la bande spectrale.
• ε_n (dl & T) est l'émissivité normale pour dl et T.

Matériaux	T(°C)	dl (µm)	εn (dl & T)
Peau	30	2 à 5	0,98
Papier	30	8 à 12	0,95
Bois brut	20	2 à 5	0,83
Argile	30	8 à 12	0,95
Béton	20	2 à 5	0,94
Sol sec	20	2 à 5	0,90
Sol humide	20	2 à 5	0,95
Eau	0 à 100	8 à 12	0,93
Eau	0 à 100	2 à 5	0,95
Glace	< 0	8 à 12	0,95
Peinture mate	20 à 100	2 à 5	0,95
Peinture brillante	20 à 100	2 à 5	0,90
Vêtements (Textile)	30	8 à 12	0,95
Acier oxydé	100	2 à 5	0,74
Acier poli	100	2 à 5	0,07
Acier rouillé	20	2 à 5	0,69
Aluminium en feuille mate	100	2 à 5	0,09
Argent	30	8 à 12	0,02
Carbone graphite	30	8 à 12	0,70/0,80
Cuivre grossier	30	8 à 12	0,05/0,10
Fer galvanisé	30	2 à 5	0,25
Fonte en fusion	1300	2 à 5	0,28
Or	30	8 à 12	0,01/0,10
etc...			

> Comment procède-t-on sur le terrain?

Le matériel de mesure utilisé, la nature du matériau, les conditions d'analyse et l'expérience de l'opérateur sont les critères principaux dans la détermination à l'aide d'abaques de l'émissivité à utiliser. Si dans certains cas on ne peut déterminer avec précision l'émissivité d'un matériau quelconque, ou que sa valeur est trop faible pour réaliser une mesure fiable de température, il est alors possible de modifier l'émissivité du matériau en l'augmentant et en lui donnant une valeur connue.
Cette méthode, souvent utilisée en thermographie infrarouge, consiste à recouvrir, lorsque c'est possible, la zone à mesurer par une fine couche d'eau, d'huile ou de peinture mate : ceci modifie l'émissivité de surface à des valeurs de l'ordre de 0,95 dans la bande 3 à 5µm..

Le facteur de réflexion {r} & la température environnante {T°env}

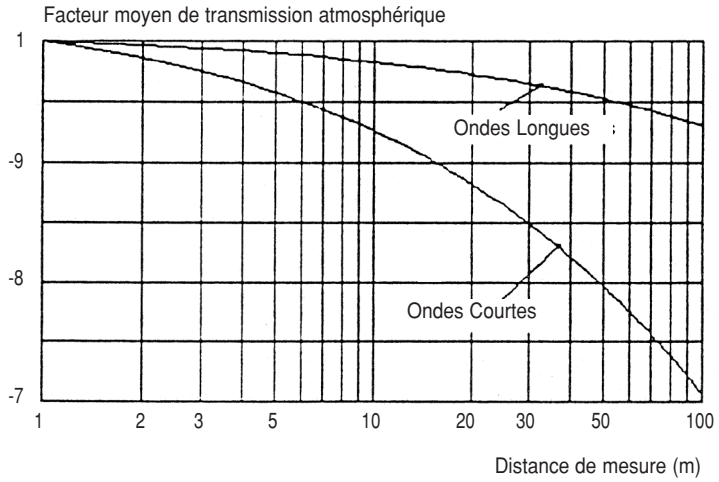
L'objet réel réfléchit en partie du rayonnement en provenance de sources de chaleur environnantes.
La quantité de rayonnement réfléchi dépend de la quantité d'énergie émise par la source auxiliaire et le coéfficient de réflexion de la surface de l'objet.
Dans le cas général de mesure par thermographie, le facteur de réflexion vaut:

$$r = 1 - \varepsilon$$

La quantification du rayonnement émis par la source "parasite" est assimilée à celui qui serait émis par un radiateur idéal ou corps noir : on mesure donc à l'aide du même appareil de mesure infrarouge la température de la source environnante en considérant donc son émissivité égale à 1. Cette température appelée température environnante intègre ainsi dans le calculateur de la caméra infrarouge le rayonnement qui se réfléchit partiellement sur la surface de l'objet.

La température atmosphérique T°{atm} et la distance de mesure {d}

L'atmosphère dans laquelle on réalise la thermographie émet des rayonnements infrarouges qui perturbent également la mesure de la température d'un corps.
Les rayonnements émis par l'atmosphère doivent être déduits par le calculateur de la caméra thermique : ceux-ci dépendent de la température atmosphérique et de son émission.
L'atmosphère est un milieu semi-transparent aux rayonnements infrarouges : celle-ci propage tous les rayonnements en provenance de l'objet réel (émis & réfléchis).
Cette propagation n'est pas optimale et est régie par le facteur moyen de transmission atmosphérique.
Ce facteur, assimilé aux fenêtres spectrales utilisées par les caméras thermiques, dépend de la distance de mesure entre la caméra et l'objet et du taux d'humidité atmosphérique.



Courbes du facteur moyen de transmission de l'atmosphère en fonction de la distance de mesure, pour une atmosphère à 50% d'humidité relative.

Récapitulatif des grandeurs d'influence :

1) {ε} ou Emissivité de surface du corps réel.
   L'émissivité détermine le facteur de réflexion du corps : $r = 1 - \varepsilon$

2) {T°env} ou Température environnante.
   Celle-ci se réfléchit partiellement sur la surface du corps.

3) {T°atm} ou Température atmosphérique.

4) {d} ou distance de mesure entre l'objet et la caméra.
   Celle-ci détermine suivant la bande spectrale utilisée le facteur moyen de transmission atmosphérique dans des conditions d'humidité relative déterminées : soit τ atm.
   Le paramètre de transmission atmosphérique détermine l'émissivité de l'atmosphère et autorise le calcul du rayonnement atmosphérique à déduire :

$$\varepsilon \text{ atm} = (1 - \tau \text{ atm}) \text{ (pour les corps gazeux semi-transparents).}$$

4. La caméra infrarouge

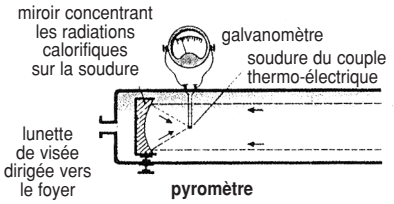
La caméra infrarouge moderne ressemble extérieurement de plus en plus à un caméscope. Si son aspect s'assimile à celui d'une caméra vidéo normale, son mode de fonctionnement en est tout différent.

4.1 Les détecteurs :

Il existe 2 types de détecteurs :

- Les détecteurs thermiques : ceux-ci sont basés sur la détection d'une augmentation de température au niveau du détecteur. La variation de température fait varier l'une des propriétés physiques du matériau détecteur (résistance électrique par exemple) et provoque une variation du signal délivré. Ce type de détecteur a un temps de réponse relativement long.
  On utilise entre-autre cette technique dans la fabrication de tubes pyroélectriques.

Exemple : le pyromètre pour les mesures de hautes températures dans les fours :



- Les détecteurs quantiques : ceux-ci sont constitués de semi-conducteurs où l'absorption d'un photon (particule d'énergie lumineuse) provoque la libération ou le transfert d'électrons. Ce type de détecteur à une sensibilité élevée et un temps de réponse extrêmement faible.
  L'utilisation de ces détecteurs au maximum de leur sensibilité nécessite leur refroidissement à des températures très basses :

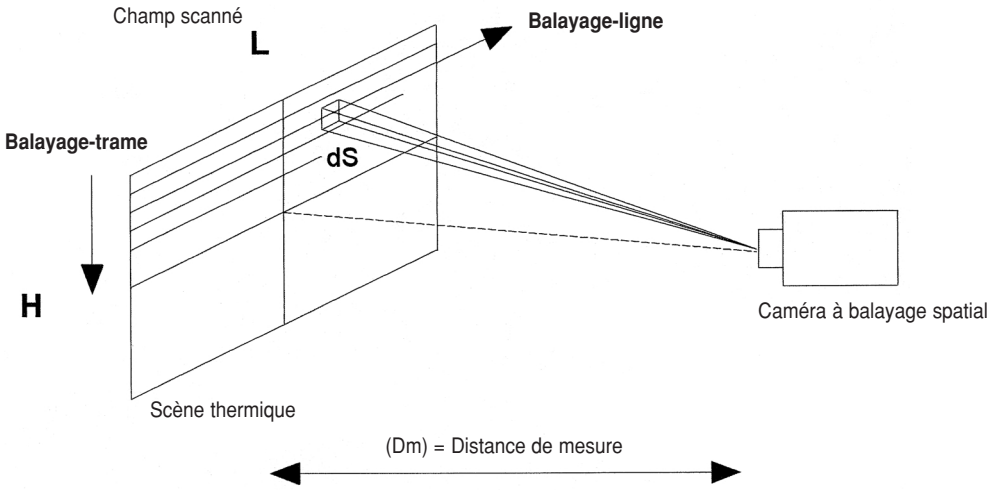
    - système refroidi par de l'azote liquide : - 196°C;
    - refroidisseur thermoélectrique à effet Peltier : -70°C;
    - refroidisseur "Stirling" à mini compresseur : -196°C.

  On utilise principalement les détecteurs quantiques dans les appareils de thermographie; ceux-là travaillent dans les bandes spectrales 2 à 5µm et 8 à 13µm (pour les raisons définies préalablement).

4.2 Les systèmes de mesure des caméras infrarouges :

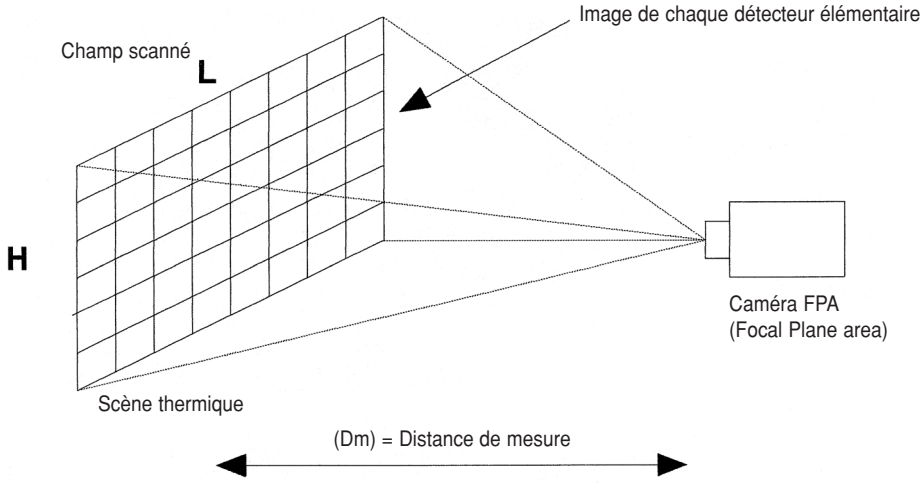
Il existe deux systèmes de mesure des flux électromagnétiques ou luminances :

- La caméra à monodétecteur ou système à balayage spatial : comme le nom l'indique, l'appareil est muni d'un détecteur unique couplé à un système optomécanique à balayage horizontal (ligne) et à balayage vertical (trame). L'addition des deux balayages à des fréquences spécifiques autorise l'analyse d'une scène thermique par l'image successive du détecteur ou de la surface élémentaire {dS}.



La taille du champ scanné (LxH) est fonction :
- du système de balayage optomécanique;
- de l'objectif de la caméra;
- de la distance de mesure.

- La caméra à plan focal : celle-ci est équipée d'une matrice de détecteurs. L'image de chaque détecteur couvre de façon permanente une surface élémentaire dans le champ scanné. La scène thermique est ainsi quadrillée et analysée simultanément en tout point par le "détecteur matriciel".
  On peut trouver sur le marché des caméras à plan focal avec une matrice de 240x320 éléments détecteurs.



La taille du champ scanné est fonction de :
- la taille de la matrice de détecteurs;
- l'objectif de la caméra;
- la distance de mesure.

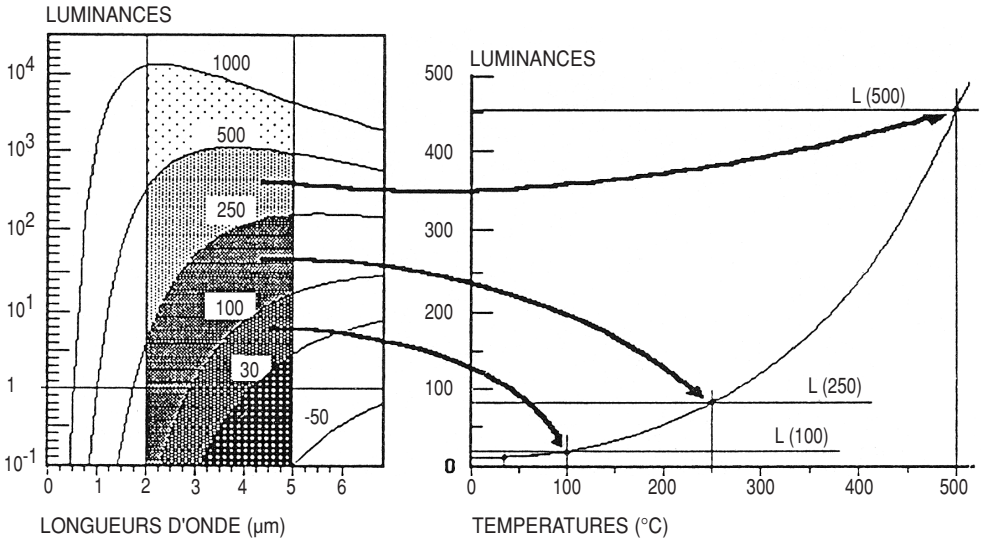
Dans chaque cas, les détecteurs influencés par les rayonnements émis par une scène thermique délivrent un "thermosignal" ou réponse thermique individuelle : celle-ci est amplifiée dans une unité de traitement et ensuite convertie en points lumineux sur un écran. Généralement, l'intensité lumineuse délivrée sur l'écran est en corrélation avec l'intensité des rayonnements infrarouges captés : la visualisation d'une scène thermique est donc réalisée par transcription des rayonnements électromagnétiques suivant une échelle de gris ou de couleurs dont les intensités lumineuses varient de manière proportionnelle avec les intensités du rayonnement infrarouge.

La quantification de l'intensité thermique en température est possible en chaque point de l'image grâce à l'étalonnage du système de détection et au calculateur intégrant les grandeurs d'influence.

L'étalonnage d'une caméra infrarouge est réalisée en laboratoire sur un corps noir référentiel (Emissivité égale à 1) : il consiste à établir la relation entre la température et la puissance de rayonnement ou luminance captée par le détecteur.
Qu'il s'agisse d'une caméra monodétecteur ou d'une caméra à plan focal, le principe d'étalonnage reste identique avec, dans le cas d'une matrice de détecteurs, l'étalonnage individuel de chaque élément.

> Compréhension des courbes d'étalonnage :
(Courbe d'étalonnage d'une caméra fonctionnant dans la bande 2 à 5 µm)

Courbes de Planck **Courbe d'étalonnage**



Pratiquement, la scène thermique observée est composée essentiellement de corps gris ou corps réels, ainsi, la transcription en température nécéssitera l'intégration des grandeurs d'influence et principalement la connaissance du coéfficient d'émissivité.
L'émissivité dans ce cas adapte la valeur de la luminance émise par le corps gris (luminance apparente) à la valeur qu'aurait émis un corps noir référentiel à la même température (luminance vraie) : ceci assimile la mesure de température d'un corps gris à la mesure de température d'un corps noir à partir duquel la caméra a été calibrée.
Les autres paramètres d'influence modifient ensuite la valeur de la luminance vraie avant de la transcrire correctement en température sur base de la courbe d'étalonnage (température vraie).

> Exemple :

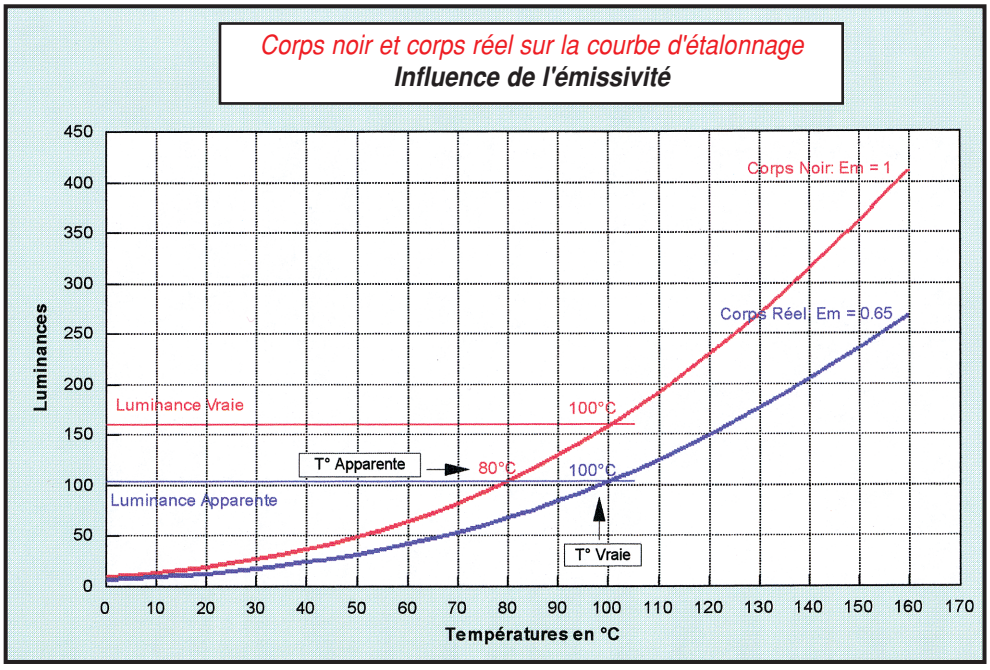
Considérons uniquement l'émissivité comme unique grandeur d'influence.

On veut mesurer par thermographie la température d'un corps reél chauffé à 100°C et dont l'émissivité est de 0,65.

La caméra a été étalonnée sur base d'un corps noir référentiel d'émissivité égale à 1.

1. Le détecteur mesure 105 luminances apparentes ce qui correspond à 80°C sur la courbe d'étalonnage de la caméra IR.
2. L'intégration du coéfficient d'émissivité du corps réel augmente la valeur de la luminance apparente : 105 / 0,65 = 160 luminances vraies, ce qui correspond à 100°C sur la courbe d'étalonnage de la caméra.

On a effectivement assimilé la mesure de température du corps réel à celle sur un corps noir référentiel afin de se situer dans les conditions d'étalonnage de l'appareil de mesure.



4.3 Caractéristiques d'appareillage actuellement sur le marché :

La dernière génération d'équipements infrarouges classiques disponibles actuellement sont très compacts, portatifs et autonomes.

Les caractéristiques typiques de ces appareillages sont :

• Etendue des mesures : -20°C à plus de 2000°C subdivisée en plusieurs gammes.

• Reponses spectrales : 3 à 5,0 µm & 8 à 12 µm (Fenêtres spectrales dans lesquelles fonctionne le détecteur IR).

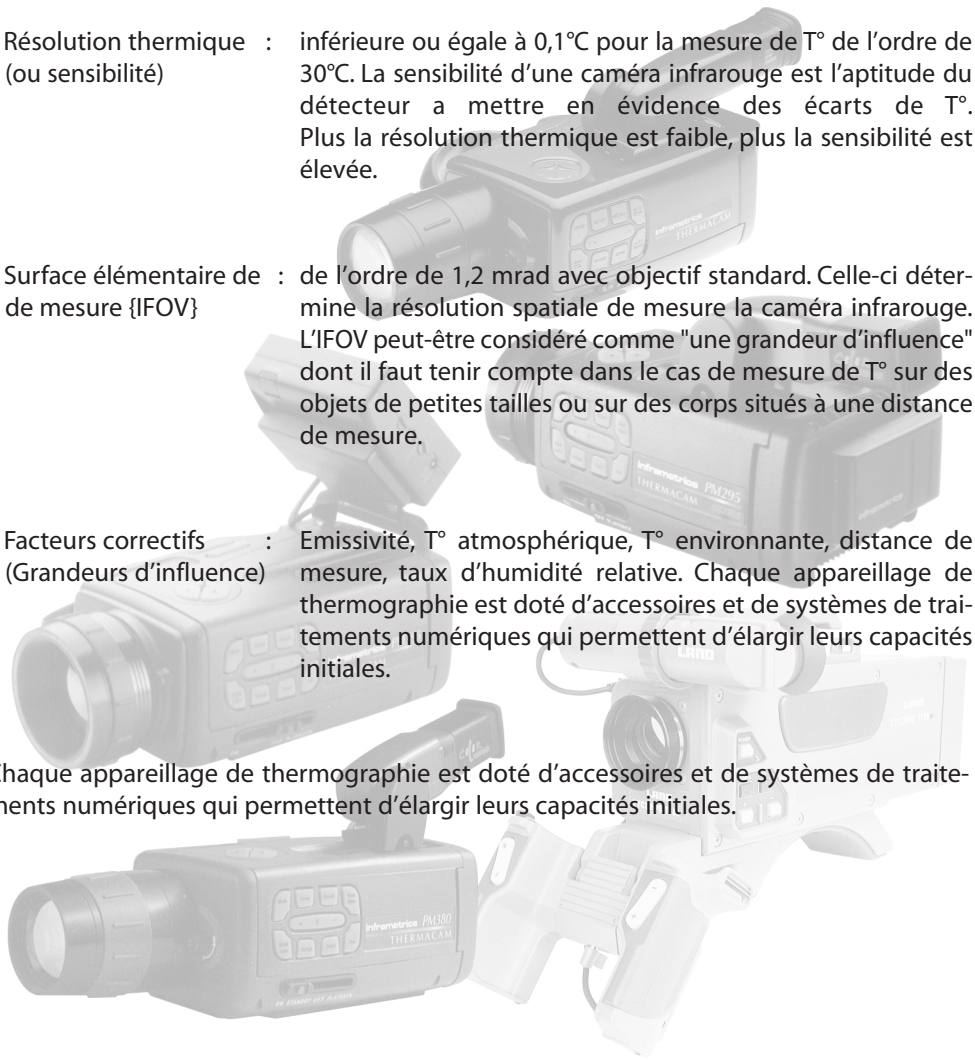
• Type de détecteur : Matrice à plan focal (FPA) pouvant contenir jusqu'à 76800 éléments détecteurs refroidis par un mini compresseur à-196°C.
NB : les récentes recherches technologiques en matière de détecteurs infrarouges ont permis d'élaborer des systèmes révolutionnaires ne nécessitant plus de refroidissement : il s'agit de détecteurs de type bolométrique dont le principe de fonctionnement est encore peu connu…

• Résolution thermique (ou sensibilité) : inférieure ou égale à 0,1°C pour la mesure de T° de l'ordre de 30°C. La sensibilité d'une caméra infrarouge est l'aptitude du détecteur a mettre en évidence des écarts de T°. Plus la résolution thermique est faible, plus la sensibilité est élevée.

• Surface élémentaire de de mesure {IFOV} : de l'ordre de 1,2 mrad avec objectif standard. Celle-ci détermine la résolution spatiale de mesure la caméra infrarouge. L'IFOV peut-être considéré comme "une grandeur d'influence" dont il faut tenir compte dans le cas de mesure de T° sur des objets de petites tailles ou sur des corps situés à une distance de mesure.

• Facteurs correctifs (Grandeurs d'influence) : Emissivité, T° atmosphérique, T° environnante, distance de mesure, taux d'humidité relative. Chaque appareillage de thermographie est doté d'accessoires et de systèmes de traitements numériques qui permettent d'élargir leurs capacités initiales.

Chaque appareillage de thermographie est doté d'accessoires et de systèmes de traitements numériques qui permettent d'élargir leurs capacités initiales.



5. Principe et méthode, cas des équipements électriques

5.1 Principe de détection :

Tout équipement conducteur parcouru par un courant électrique s'échauffe : c'est l'effet Joule (Physicien anglais (1818-1889) qui étudia la chaleur dégagée par les courants électriques dans les conducteurs) :

Formule de Joule :

$$W = R.I^2.t$$

avec :
- **W** Energie calorifique dissipée en Joule(s);
- **R** Résistance électrique de l'équipement en ohm(s);
- **I** Courant électrique en ampère(s);
- **t** Temps de passage du courant en seconde(s).

Loi de Joule :
Dans un équipement conducteur parcouru par un courant, la quantité d'énergie calorifique dissipée par échauffement est proportionnelle à la résistance électrique de l'équipement au carré du courant et au temps pendant lequel passe ce courant.

L'appareillage électrique en charge (parcouru par des courants) s'échauffe donc jusqu'à ce que l'énergie calorifique produite par les courants soit égale à l'énergie dissipée dans l'espace environnant : il y a dans ce cas équilibre thermodynamique.

Une installation électrique est composée de nombreux appareillages par lesquels transitent des courants. Ces appareils sont reliés entre-eux par des éléments conducteurs : l'ensemble des liaisons génère des milliers de connexions.

- Dans des conditions identiques de fonctionnement, les équipements et connexions similaires doivent avoir le même comportement thermique.
- Dans des conditions spécifiques de fonctionnement, l'appareillage électrique doit se comporter thermiquement dans des limites nominales déterminées.

Dans chaque cas, la thermographie infrarouge met en évidence des anomalies de comportement thermique par des mesures de températures relatives ou absolues.
Ces anomalies plus communément appelées "points chauds" identifient des défauts ou dégradations locales par des élévations anormales de température.

Les points chauds trouvent généralement leur origine suite à la variation de la résistance de passage du courant.

Les défauts thermiques les plus souvent détectés sont (par ordre décroissant) :

1) Problème de serrage.
2) Usure, oxydation ou corrosion de contacts.
3) Positionnement incorrect de contacts mobiles.
4) Problème de calibration de l'appareillage.
5) Déséquilibre des charges entre phases.
6) Ventilation insuffisante de tableaux ou locaux électriques.
7) Problème de conception des installations (Problèmes d'induction).

5.2 Méthode d'inspection :

L'opérateur est muni d'une caméra infrarouge classique, portable, avec une résolution thermique faible afin de mettre en évidence de faibles écarts de température.
Les installations électriques doivent impérativement fonctionner en régime permanent sans nécessairement disposer de la pleine charge : tout le système doit-être en équilibre thermodynamique.
Les équipements uniquement sous tension sont incontrôlables par thermographie : seuls les courants génèrent les échauffements à analyser.

L'inspecteur analyse les composants des cellules haute-tension (HT), basse-tension (BT), coffrets et tableaux électriques divers.

Le contrôle par infrarouge est réalisé en trois temps :

1) La visualisation du comportement thermique global des éléments d'un même tableau : celle-ci met en évidence des points dont les températures sont plus élevées.

2) L'opérateur doit interpréter la scène thermique afin de différencier les échauffements normaux (bobines de contacteurs, résistances, selfs, transformateurs) des échauffements anormaux : ces derniers sont facilement identifiables par comparaison entre composants identiques fonctionnant dans des conditions similaires (mêmes charges transitantes).

   Cette opération implique une connaissance "certaine" de l'appareillage électrique ainsi que de bonnes notions pratiques dans l'application de la thermographie infrarouge : beaucoup de composants électriques ont une émissivité faible (cuivre, alumunium, ...), donc un pouvoir réfléchissant très élevé. L'opérateur ne doit pas confondre un point anormalement chaud avec "un point chaud fantôme" résultant de la réflexion d'une source de chaleu environnante, voir l'image thermique de l'analyste sur le composant. Le technicien doit assurer constamment son interprétation en éliminant au maximum les phénomènes de réflexion par modification de l'angle d'observation de la caméra infrarouge ou par masquage des sources de chaleur environnantes.

3) La quantification des températures des points chauds. L'opérateur cherchera toujours à réaliser la mesure des points chauds sur des parties de bonne émissivité (boulons oxydés, isolant conducteurs, ...) afin d'éliminer la prise en compte des rayonnements perturbateurs réfléchis et ainsi diminuer les temps d'analyse. Les mesures dans ce cas sont dites "relatives" : la mise en évidence d'un point chaud se fera par comparaison des températures mesurées sur l'élément défectueux et sur un élément similaire fonctionnant dans des conditions identiques (élément de référence). **C'est la différence de température ou dT° qui caractérise le défaut thermique :** si l'émissivité intégrée n'est pas tout à fait correcte, l'erreur de mesure se vérifie à la fois pour le point chaud et pour le point référentiel, leur différence reste sensiblement la même. Dans le cas ou le technicien analyste ne peut comparer deux éléments, il doit réaliser des mesures dites "absolues" : cette technique nécessite la prise en compte de toutes les grandeurs d'influence en vue de la quantification des températures réelles ou vraies. Cette méthode s'applique généralement sur des équipements fonctionnant au-dessus de leurs limites nominales définies par les fabricants d'équipements électriques (appareillage sous-calibré, installation non ventilée, ...).

5.3 Le rapport d'analyse :

Le dossier synthèse doit contenir la liste des installations diagnostiquées avec leur mode de fonctionnement. Les équipements présentant des anomalies thermiques sont identifiés textuellement et visuellement par une photo classique et un thermogramme de la scène thermique où se situe le point chaud. Ceux-ci sont complétés par les conditions et les résultats des mesures, les causes probables des défaillances et les interventions correctives recommandées. Ces interventions sont suggérées dans certains délais établis sur base de la gravité des anomalies thermiques. La gravité d'un défaut dépend principalement pour l'opérateur des différences de températures mises en évidence.
Néanmoins, de faibles écarts de températures peuvent-être très significatifs : ceux-ci dépendent du type d'équipement, de ses conditions d'exploitation et de sa "hiérarchie technique" au sein des installations. Dans ce contexte, l'ultime décision de réparer les équipements défectueux doit-être prise par le personnel responsable des installations.

5.4 Avantages de l'analyse infrarouge des installations électriques :

- Contrôle Non Destructif (CND).

- Technique de contrôle "on stream" : les installations fonctionnent normalement pour la réalisation de la thermographie.

- Analyse sans contact sur des équipements soumis à des contraintes non maximales.

- Rapidité & Précision du diagnostic des installations.

- Mesures fiables de par la précision des scanners IR modernes : sensibilités accrues.

- Sécurité d'analyse : visualisation et quantification des températures avec respect des distances de sécurité.

- Maintenance prédictive : interventions uniquement sur les éléments défectueux repérés par l'analyse infrarouge.
  Conséquences :

    - diminution des frais directs d'entretien;
    - augmentation de la fiabilité des installations.

- Maintenance préventive : prévention d'anomalie potentielle avec optimalisation de l'évaluation de la gravité des défauts par adaptation de la fréquence d'analyse (suivis évolutifs, préventions des dégradations, ...).

- Coût peu élevé (proportionnellement aux coûts d'entretien classique et aux coûts d'arrêt de production).

5.5 L'analyse infrarouge : gain de temps et d'argent :

Il suffit parfois d'un grain de sable ...
... pour enrayer tout un système, un petit incident qui, hors contexte, peut paraître insignifiant mais dont les effets peuvent s'avérer économiquement ou humainement désastreux !
Malgré l'accroissement constant du facteur "fiabilité", il subsiste toujours le risque de pannes indétectables à l'oeil nu.

Pourtant les technologies évoluent et de nouveaux types de spécialistes sont apparus: "les professionnels de la "MAINTENANCE PREDICTIVE".

Leurs compétences alliées à un matériel thermographique High-Tech garantissent un résultat précis :

- L'anticipation de la panne et de l'arrêt des équipements
  - une réduction des coûts d'immobilisation;
- L'optimisation du temps presté par le personnel d'entretien
  - la diminution des coûts de maintenance;
- L'augmentation de la fiabilité et de la longévité des équipements
  - l'accroissement de la rentabilité des investissements;
- Une sécurité accrue
  - l'occasion de mieux négocier le volet de primes auprès des assureurs "Incendies".

5.6 Compétences requises, agréments, règlements : Qui peut pratiquer ces mesures?

L'achat du matériel (matériel de prise de vue et logiciels) reste logiquement réservé à des sociétés spécialisées qui, par le nombre des examens pratiqués, parviennent à amortir l'investissement.
De plus, il ne s'agit pas seulement de réaliser des prises de vue mais bien de pouvoir interpréter des situations pour lesquelles un écolage spécifique et une expérience régulière en thermographie IR s'avèrent indispensables.
Pour le responsable d'un service technique, l'achat de ce matériel et l'acquisition des compétences ad hoc relève davantage d'une approche superficielle ou d'une attitude ludique.

Comme dans toute sous-traitance, l'appel à un partenaire extérieur demande quelques garanties.
La qualité des prestations peut varier entre différentes sociétés spécialisées. Ces différences ne tiennent certainement pas dans le fait d'avoir ou non le statut d'organisme de contrôle. Il y a des organismes de contrôle qui en complément des examens réglementés par le R.G.I.E., pratiquent des contrôles thermographiques. Il y a aussi des sociétés de renom qui pratiquent des services hautement spécialisés en thermographie sans être reprises dans le répertoire des organismes de contrôle. Quant à l'Union Professionnelle des Entreprises d'Assurances (UPEA), elle a édité un document intitulé "Réglementation des assureurs pour les installations électriques".
Cet ouvrage a pour objectif de promouvoir la prévention des risques d'incendies d'origine électrique. Le recours aux techniques de thermographie y est bien évidemment et logiquement stimulé.
Toutefois, on pourrait s'interroger sur les raisons pour lesquelles ce texte extra-légal est présenté sous forme de règlement ce qui ouvre la porte à bon nombre de confusions entre ce qui est obligatoire et ce qui ne l'est pas.
Le titre "Cahier de recommandations des assureurs pour les installations électriques" ne serait-il pas plus adéquat ?

Quoi qu'il en soit, ce texte, édité en 1986 et mis à jour en 1991, présente un éventail d'examens à réaliser, ainsi qu'un accroissement très important de certains cycles de contrôle, en complément des obligations légales imposées par le Règlement Général pour la Protection du Travail (R.G.P.T.), le Règlement Technique (R.T.) et/ou le Règlement Général pour les Installations Electriques (R.G.I.E. / A.R.E.I.).

Certains assureurs ou organismes tentent d'imposer l'application intégrale de ce programme extra-légal édité par l'U.P.E.A. D'autres, par contre, cherchent davantage à étudier, avec le gestionnaire, un programme personnalisé d'examens préventifs, considérant les particularités de sa situation technique, de son risque et de son budget.

De ce fait, ils se montrent généralement plus ouverts à négocier le montant des primes d'assurances en relation directe avec la qualité de gestion observée sur le terrain.

Contrairement à ce qu'on peut lire dans certaines littératures, seuls les contrôles légiférés sont obligatoires et doivent impérativement être réalisés par un organisme de contrôle.

Concernant les autres examens, analyses, essais ou vérifications, et notamment la thermographie, aucun organisme de contrôle ou prestataire de services spécialisés ne peut disposer légalement d'agréments dans ce cadre, puisque pour ces types de prestations, aucun ministère ne délivre d'agrément bien spécifique.

Dès lors, l'organisme de contrôle et le prestataire de services spécialisés sont statutairement, mis sur un pied d'égalité pour ces types de prestations et, seule, la loi du Libre Marché permet de déceler les réelles compétences de chacun.

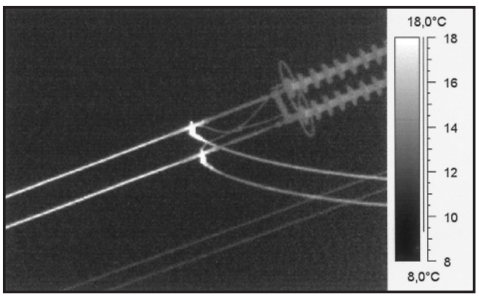
En fait, la qualité du service réside, à notre sens, dans la performance du matériel de prise de vue, dans la qualité de son entretien et de l'étalonnage, la rigueur scientifique dans le travail, la bonne connaissance de la "normalité" dans les équipements inspectés et la déontologie observée dans une technologie où l'objectivation des résultats passe par une maîtrise parfaite des paramètres de la prise de vue.
Enfin, on considère que le niveau de qualité du rapport de visite établi par le partenaire devra constituer un véritable outil d'aide à la décision.

6. Applications de la thermographie infrarouge

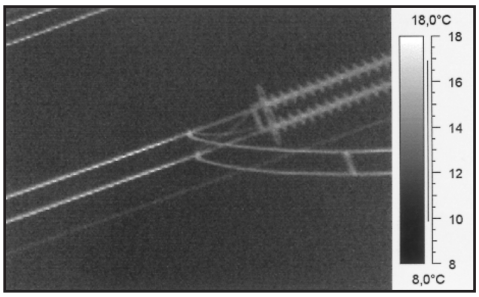
La thermographie infrarouge classique est principalement utilisée dans l'industrie en tant que maintenance. Son avantage décisif est de permettre l'estimation de la qualité d'un équipement ou d'une installation en exploitation normale, et de prévenir les irrégularités de fonctionnement bien avant les pannes effectives.
La thermographie infrarouge peut-être également utilisée dans des applications R&D (recherche et développement), pour le contrôle de procédés de fabrication, pour la surveillance continue de systèmes. Dans ces applications, la thermographie n'est plus classique mais bien spécifique : celle-ci conduit à la mise en oeuvre d'appareillages plus adaptés aux conditions d'analyse, donc requière des connaissances bien plus approfondies sur le sujet. Chaque utilisateur de caméra infrarouge ou autres systèmes radiométriques de mesure de températures doit connaître impérativement les limites physiques de son matériel ainsi que les limites de ses connaissances afin de préserver au mieux sa crédibilité à l'égard d'une clientèle de plus en plus avertie. Il n'est pas honteux de reconnaître une "certaine incompétence" face à une demande spécifique qui nécéssitera l'intervention d'un spécialiste garanti.

6.1 Contrôle des équipements électriques haute et basse-tension :

a) Ligne 380kV : conducteurs pour le transport d'énergie :



Thermogramme 1



Thermogramme 2

Les thermogrammes 1 & 2 identifient des composants électriques haute-tension soumis à des conditions d'exploitation similaires : il s'agit de conducteurs raccordés à un support (pylône) par un encrage isolant. Ce type de fixation est identique en amont et en aval du support : les conducteurs sont reliés entre-eux par une "bretelle" de raccordement, fixée par boulonnage sur des raccords "T" de descente.

L'ensemble des raccords en série avec chaque conducteur est étudié de manière à uniformiser le comportement thermique de la ligne : normalement, tous ces composants fonctionnant dans de mêmes conditions doivent s'échauffer quasi uniformément.

Dans notre exemple, on distingue par comparaison entre éléments des échauffements sur le thermogramme 1. Ces points chauds se situent au niveau des plages de contact sur des raccords "T" de descente : il s'agit de problèmes liés à des pressions insuffisantes de contact ou à une oxydation des contacts: cet état est anormal à l'égard de la conception initiale de l'installation.

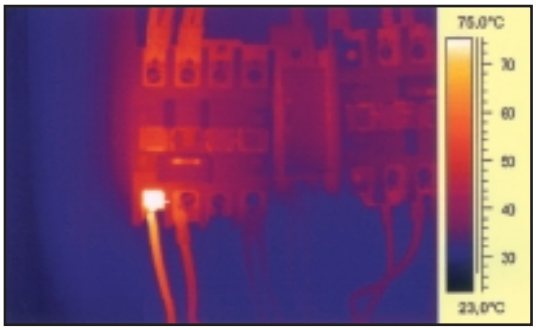
b) Circuits BT 380V :



Thermogramme 3

Fusibles BT :
Échauffement anormal au niveau d'une cosse de raccordement entre le conducteur et la borne du fusible.

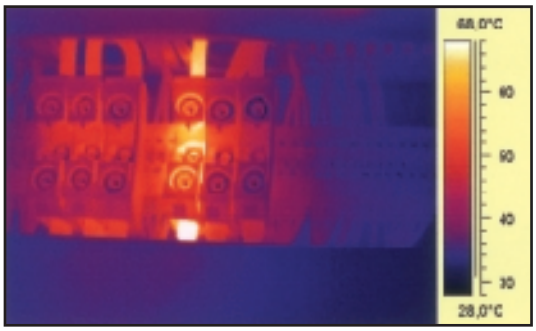
Cause :
Sertissage défectueux de la cosse.



Thermogramme 4

Contacteur BT :
Échauffement anormal au niveau d'une borne.

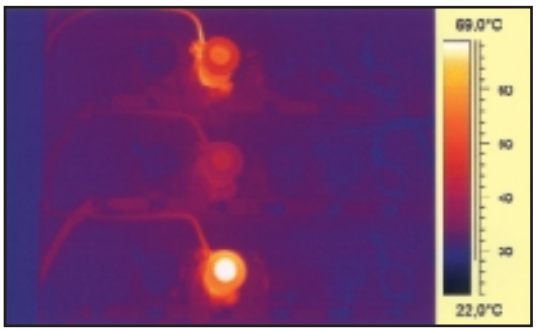
Cause :
Pression de serrage insuffisante.



Thermogramme 5

Borniers BT :
Échauffements anormaux au niveau de conducteurs.

Cause :
Pression de serrage insuffisante.



Thermogramme 6

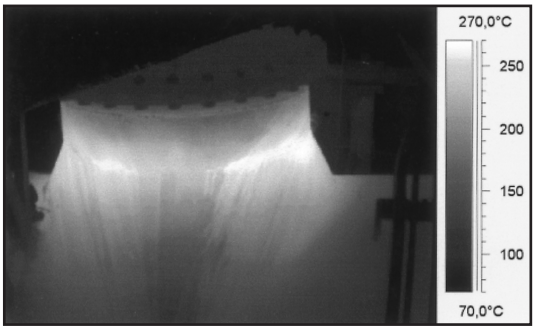
Fusibles de type DZ :
Échauffements anormaux au niveau des cartouches fusibles.

Cause :
Contacts internes perlés ou oxydés.

6.2 Contrôle de réfractaire :

Les réfractaires sont utilisés comme isolants thermiques : ceux-ci canalisent des fluides gazeux ou liquides à très hautes températures. Le briquetage réfractaire est généralement assemblé sur une structure métallique. Des problèmes d'usure de refractaire ou de jointure provoquent des échauffements importants sur la structure portante : ceux-ci engendrent des contraintes thermiques anormales qui conduisent à la dégradations voire au perçage des éléments métalliques.
La thermographie infrarouge permet de localiser ces zones chaudes et surveiller leur évolution en vue de la planification de leur maintenance.

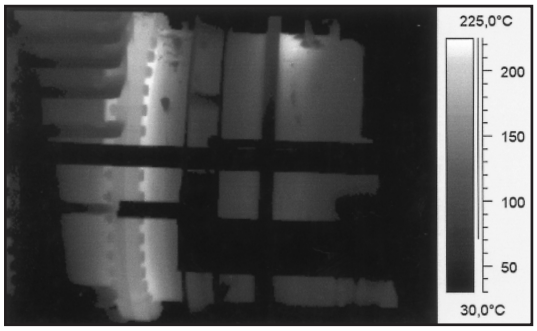
Les exemples ci-après émanent du secteur industriel, mais sont comparables à certaines scènes sur des équipements thermiques plus communs.



Thermogramme 7

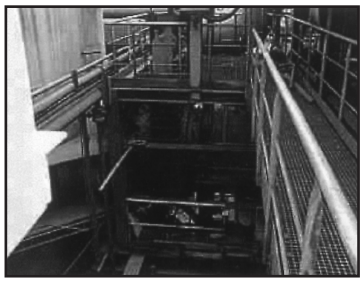
Circulaire à vent chaud :
Réfractaire défectueux dans une chambre de visite.

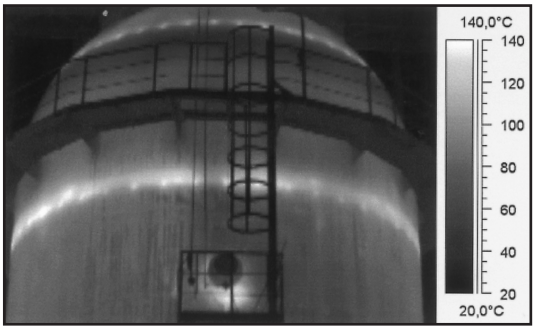




Thermogramme 8

Collecteur sur cowper :
Réfractaire défectueux au niveau d'une bride et de la conduite.





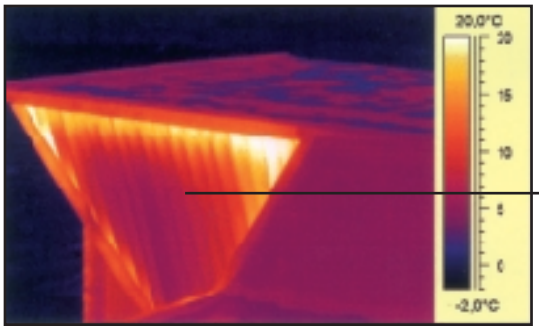
Thermogramme 9

Coupole de cowper :
Contrôle de la jointure entre la coupole et la virole.



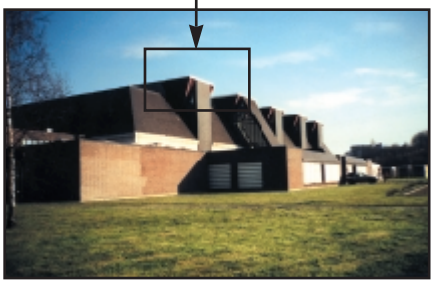
6.3 Contrôle de la qualité d'isolation des bâtiments

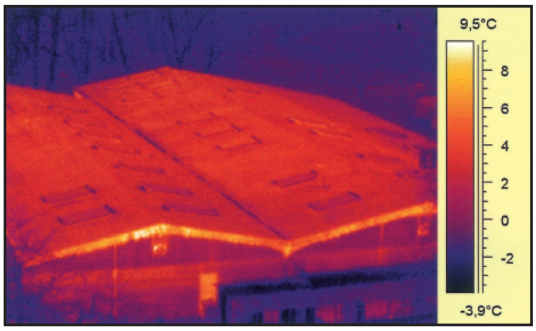
La thermographie infrarouge permet de déceler la mise en oeuvre défectueuse de l'isolation, une dégradation ou une absence locale d'isolant.
La technique autorise une évaluation qualitative de l'isolation mais ne permet pas de déterminer quantitativement avec précision les pertes énergétiques.



Thermogramme 10

Bardage sur une paroi latérale d'un bâtiment :
Déperditions thermiques apparentes du fait d' une isolation défectueuse.





Thermogramme 11

Toiture d'un bâtiment :
Déperditions thermiques apparentes au niveau des rives : isolation défectueuse.



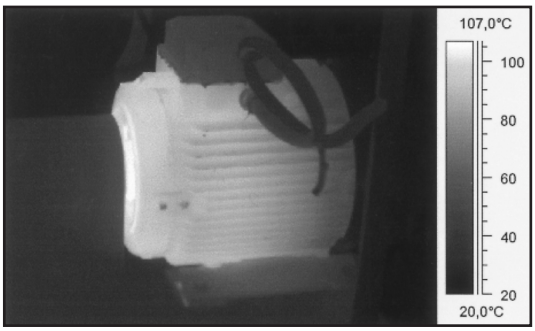
Thermogramme 12

Déperditions thermiques d'une habitation ancienne (vue de la façade arrière et du pignon droit).
L'image thermique nous renseigne clairement quant au mode de chauffage de la maison : cette habitation dispose de deux sources de chaleur implantées au rez-de-chaussée, sur chaque pignon du bâtiment.
On constate d'importantes déperditions thermiques par les conduits de cheminées ainsi que par les murs du rez-de chaussées où sont installés les éléments chauffants.

NB : on peut apercevoir le tracé de l'égout situé dans la rue bordant l'habitation en façade.

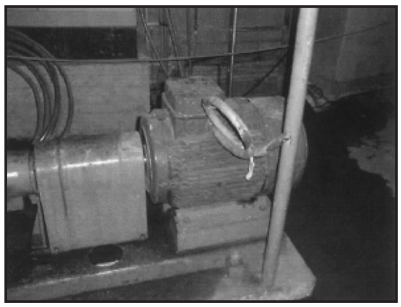
6.4 Contrôle sur des équipements mécaniques :

Les pièces mécaniques en mouvement peuvent s'échauffer anormalement par manque de lubrification, usure ou encore déformation dynamique des pièces (alignement incorrect par exemple).



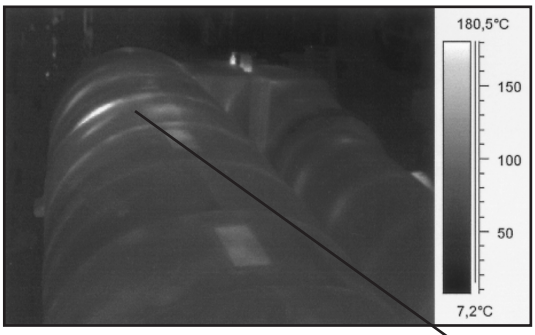
Thermogramme 13

Moteur entraînant une pompe hydraulique :
Echauffement anormal au niveau du roulement côté attaque. L'analyse vibratoire indiquera s'il s'agit d'un problème d'usure ou d'alignement.



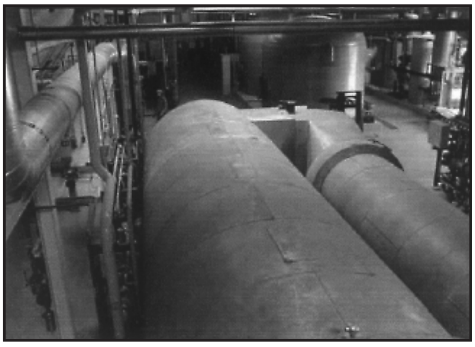
6.5 Contrôle sur des équipements thermiques :

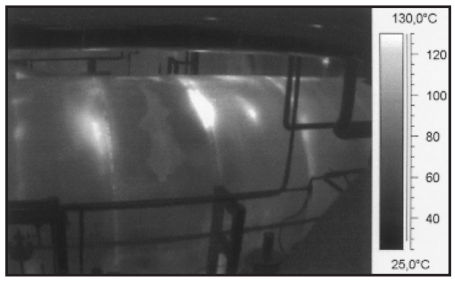
Principe identique à la surveillance des réfractaires dans la sidérurgie.
Analyse qui permet de mettre en évidence des dégradations ou déperditions thermiques sur des équipements tels que chaudières, fours, incinérateurs, ...

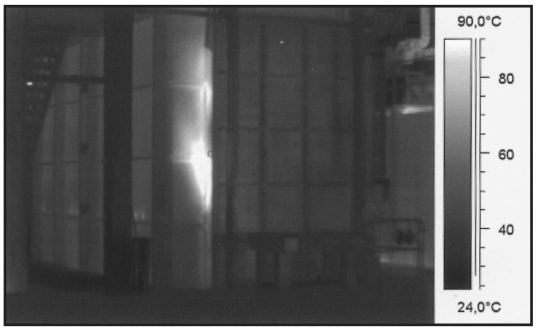


Thermogramme 14

Incinérateur de fumées :
Echauffements anormaux au niveau de l'enveloppe extérieure.
L'ouverture de la cuve après l'inspection thermographique indiquera une dégradation importante de la structure interne de par des réglages inadéquats du brûleur (intensité de la flamme).







Thermogramme 15

Four de recuit :
Déperditions thermiques importantes au niveau d'un joint latéral de porte.

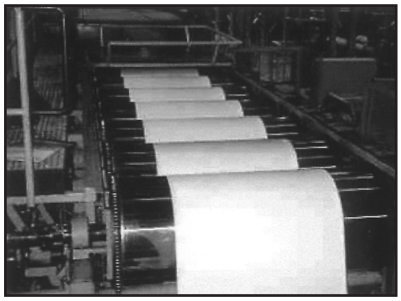
6.6 Contrôles qualitatifs et quantitatifs des échanges thermiques :

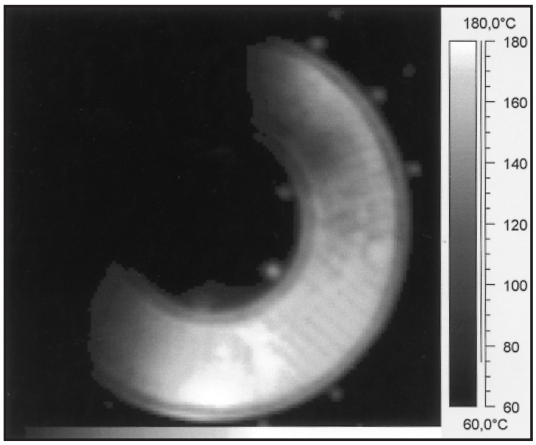
Visualisation et quantification d'échanges thermiques dans des procédés de fabrication.



Thermogramme 16

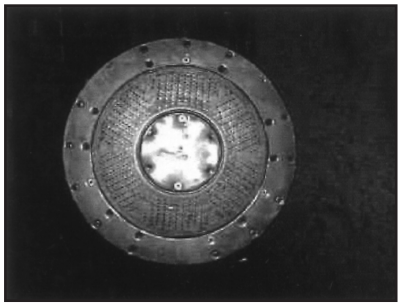
Cylindres réchauffeurs dans la plasturgie :
Analyse des uniformités latérales des T° des rouleaux ainsi que la quantification des températures croissantes des cylindres entre l'entrée et la sortie du système.





Thermogramme 17

Filière dans la plasturgie :
Analyse de l'homogénéité des T° de surface d'une filière à serpentins réchauffée par un liquide caloriporteur.
Le thermogramme met en évidence l'inégalité de repartition des T° donc identifie des zones "froides" qui résultent de l'obturation de serpentins par divers résidus.



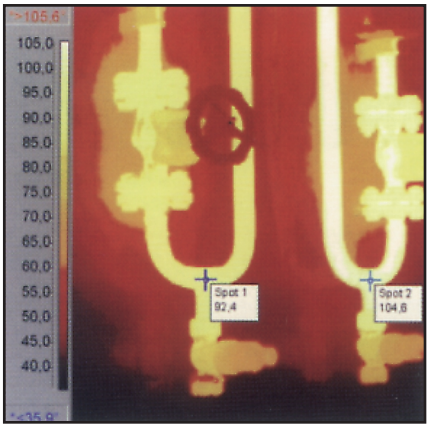


Thermogramme 18

Plafonds réfrigérants dans un immeuble :
Analyse de l'homogénéité des zones réfroidies et mise en évidence de dysfonctionnement de panneaux réfrigérants (thermogramme 20 : panneau refroidi à 50%).



Thermogramme 19

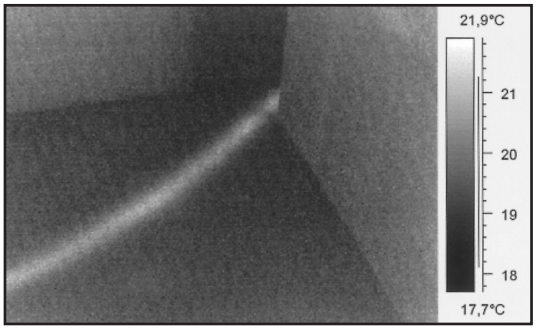


Thermogramme 20

Image thermique d'un échangeur de chaleur :
Cette image était prise pour des raisons entièrement préventives, pour contrôler son efficacité. L'entrée et la sortie sont visibles et l'écart de température entre les deux conduits peut être mesuré. La température dans les deux conduits est répartie uniformément, ce qui indique que l'échange de chaleur fonctionne correctement.

6.7 Localisation d'une canalisation d'eau chaude dans une chape :

(Principe identique pour la détection de fuite dans des canalisation dans le sol).



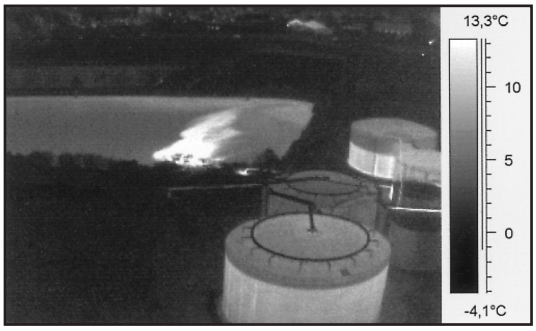
Thermogramme 21



Vision réelle avec l'implantation supposée de la conduite

6.8 Rejet d'eau chargée dans un bassin de décantation

(Peut-être assimilé à une pollution industrielle de nos cours d'eau).



Dans ce cas, l'eau de lavage est chargée d'impuretés et sort de l'usine avec une température supérieure à celle de l'eau du bassin de décantation : on peut aisément localiser le rejet ainsi que le mode de diffusion de l'eau sale dans le bassin.

Thermogramme 22

7. Etude de cas : la thermographie infrarouge aux cliniques Saint-Joseph de Liège



Aux Cliniques Saint-Joseph de Liège, on procède à intervalles plus ou moins réguliers à un contrôle thermographique des installations électriques. Des raccordements haute tension aux tableaux d'étages en passant par les tableaux généraux basse tension, ce contrôle est effectué en fonction de l'évolution des charges sur les circuits. Il n'y a donc pas de périodicité fixe, même si dans la pratique, on peut retrouver une certaine régularité dans l'appel à la société qui procède à ce type d'investigation sur les divers sites de l'institution hospitalière.

Pour Monsieur DELHAXHE, Directeur technique aux cliniques Saint-Joseph à Liège, la première démarche à effectuer consiste à faire un état des lieux des installations existantes. Il s'agit de vérifier le bon état général des installations, prioritairement, celui des anciennes installations bien sûr. Par la suite, un contrôle thermographique d'installations récentes, voire neuves se justifie également. Pour les unes, cette justification provient des modifications continuelles qui sont opérées sur les divers circuits. Pour les nouvelles lignes, il s'agit davantage d'un contrôle qualité. A ce titre, il serait même envisageable de demander le contrôle thermographique des nouvelles installations lors des réceptions provisoires. Jusqu'à ce jour, cependant, Monsieur Delhaxhe n'a jamais retranscrit cette éventualité dans ses cahiers des charges.

Clinique Notre-Dame
Waremme



Aux Cliniques Saint-Joseph de Liège, le contrôle thermographique entre bien dans les gestes qui sont posés en matière de sécurité incendie, à tel point qu'une renégociation des primes d'assurances incendie pourrait être entamée. Certes cette négociation n'est pas facile dans la mesure où en milieu hospitalier, il n'existe pas de critères de risques objectifs comme cela existe auprès de l'UAP pour le secteur industriel. Mais, de l'aveu même de Monsieur Delhaxhe, qui a travaillé dans le secteur de la Prévention Incendie, cela pourrait avoir lieu, en concertation avec d'autres départements de la gestion de l'hôpital...à suivre.

En terme d'économie d'énergie, dans cette institution, le recours à la thermographie n'a pas permis d'économiser le moindre francs, quoique ... Monsieur Delhaxhe se souvient d'une opération de prise de vues infrarouges des façades du site de l'Espérance à Montegnée : les thermogrammes ont été déterminants pour décider d'investir dans le renouvellement des menuiseries extérieures. Face à la lourdeur de pareil investissement, les images infrarouges ont convaincu les plus hésitants.

Actuellement, la prise de vue infrarouge et l'analyse des thermogrammes par le spécialiste correspond à 2 jours d'intervention par an, soit un budget de 30.000 Bef par an et par site . A la suite de ces interventions, on ne découvre plus, aujourd'hui, de problème de surchauffe ou de déséquilibres électriques. Mais ce genre d'analyse reste intéressant parce que complémentaire au suivi permanent des équipes d'électriciens.



Clinique Notre-Dame
Hermalle sous Argenteau

Clinique de l'Espérance
Montegnée



8. Bibliographie

OUVRAGES DE REFERENCE :

1. MESURE PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE de Dominique PAJANI.
   ADD Editeur, 72/74 rue B. Iské - F92350 LE PLESSIS ROBINSON.

2. THERMOGRAPHIE INFRAROUGE APPLIQUEE A LA MAINTENANCE INDUSTRIELLE de Dominique PAJANI & Pierre BREMOND.
   ADD Editeur, 72/74 rue B. Iské - F92350 LE PLESSIS ROBINSON.

ARTICLES DIVERS :

1. LA THERMOGRAPHIE par Jean-Pierre de MAGNEE, chargé de cours à l'UCL, FSA-MECA-PRM, Méca 2711/1992.

2. LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE 2ème partie. Revue "Technica" N°441 - Novembre - Décembre 1984.

3. THERMOGRAPHIC INSPECTION OF ELECTRICAL INSTALLATIONS.
   Agema Infrared Systems AB, Box 3, 182 11 Danderyd.

4. INFRA-NEWS.
   European Headquarters V.B.R. Inframetrics.
   Mechelse Steenweg 277, B-1800 Vilvoorde - BELGIUM.

Réalisation :
Institut wallon asbl
Boulevard Frère Orban, 4
5000 Namur
Tél. : 081/ 25 04 80

Éditeur responsable :
Ministère de la Région wallonne
DGTRE – Service de l'Energie
Avenue Prince de Liège, 7
5100 Jambes
Tél. : 081/ 32 12 11

