

BTS MI

L'infrarouge au service de

JEAN-PIERRE SCHMITT^[1]

Avec les caméras thermiques, la chaleur devient visible. La thermographie infrarouge permet de détecter de nombreux problèmes, dans les réseaux électriques (surtensions), les bâtiments (isolation), les cartes électroniques (échauffement) ou encore en mécanique.

Pour répondre aux exigences des structures de production modernes, les services de maintenance ont dû faire évoluer leurs outils de diagnostic. Ainsi, les contrôles conditionnels prennent une place grandissante dans les stratégies mises en œuvre pour garantir une disponibilité optimale des systèmes de production. Il est donc normal de voir figurer au référentiel du BTS de maintenance industrielle (MI) l'apprentissage de ces techniques modernes et performantes que sont l'analyse des huiles, l'analyse vibratoire et la thermographie infrarouge (IR). D'autant que ces méthodes permettent d'assurer un suivi et un diagnostic sans démontage et ainsi de maintenir la sûreté de fonctionnement au niveau exigé.

La mesure thermographique permet la mise en évidence des points chauds qui sont soit à l'origine soit révélateurs de dysfonctionnements. Malgré les évolutions des caméras thermiques modernes (voir en encadré), le paramétrage, l'exploitation et l'interprétation des thermogrammes relèvent toujours de la compétence des opérateurs thermographistes. Il est

mots-clés
logiciel, maintenance, thermique

donc indispensable de former les futurs techniciens à cette technique moderne et performante.

C'est en 1999 que la section maintenance du lycée Jacquard (Paris 19^e) s'est équipée de sa première caméra thermique d'expertise, grâce à un cofinancement du lycée et du Greta Gita (Greta Industriel des Technologies Avancées). Nous nous sommes alors tournés vers la société Flir System, numéro un mondial en thermographie IR, pour l'acquisition de ce système, et avons par la même occasion développé avec cette société une convention de coformation unique à ce moment-là, afin d'accueillir les clients du centre de formation Flir ITC (Infrared Training Center) au lycée dans le cadre du Greta et d'assurer leurs formation dans le domaine de la thermographie industrielle.

Philippe Domenech (professeur de construction mécanique) et moi-même nous sommes donc investis, avec l'aide de Flir ITC, dans le montage de ces stages, qui durent de 1 à 3 jours. En dix ans, nous avons accueilli environ 500 professionnels, sommes devenus instructeurs licenciés ITC niveau II ISO en thermographie IR et avons deux fois mis à niveau notre matériel **1**.

La thermographie associant les techniques de la mesure thermique et de l'imagerie **2**, la formation de nos étudiants comporte :

- Des apports théoriques sur le domaine physique infrarouge et les techniques d'analyse
- La prise en main de la caméra et du logiciel au travers de TP portant sur des systèmes présentant des défauts
- Une synthèse sur les TP avec analyse des conclusions attendues dans les rapports et reprises des éléments non acquis



Thermacam 570 ondes longues à matrice microbolométrique 320 x 240



Thermacam P 60 ondes longues à matrice microbolométrique 320 x 240 et module visible



Thermacam T 400 ondes longues à matrice microbolométrique 320 x 240, module visible, écran tactile et mode fusion

1 L'évolution des caméras du lycée Jacquard

la maintenance

Les caméras infrarouges

Les caméras ont beaucoup évolué ces quinze dernières années. La miniaturisation, les progrès dans le refroidissement des capteurs et la puissance des calculateurs embarqués les ont rendues plus accessibles financièrement et plus faciles d'utilisation.

Les performances principales

La qualité des mesures est basée sur deux critères principaux :

- **La résolution thermique** : C'est l'aptitude de la caméra à discerner de faibles écarts de luminance ou de température. Elle est essentiellement limitée par le bruit électronique de l'ensemble détecteur et chaîne de traitement du signal (analogique et numérique). Ce qui explique le refroidissement extrême du détecteur et les très bonnes performances en bruit du préamplificateur ($< 0,6 \text{ nV/Hz}$).
- **La résolution spatiale** : C'est l'aptitude de la caméra à faire apparaître la distinction entre des valeurs de luminance spatialement très voisines. Elle est limitée par la qualité de l'optique et le temps de réponse de toute la chaîne électronique. D'où le choix de la bande passante de l'amplificateur et de la fréquence d'échantillonnage.

D'autres caractéristiques sont également importantes :

- **La plage de fonctionnement** : La gamme de température couverte est généralement divisée en sous-gammes. La limite basse est assez mal connue (entre -50 et -30 °C suivant les longueurs d'ondes).
- **La dynamique** : Elle est égale au rapport signal / bruit maximal que la caméra peut présenter.
- **La dérive** à court et à long terme

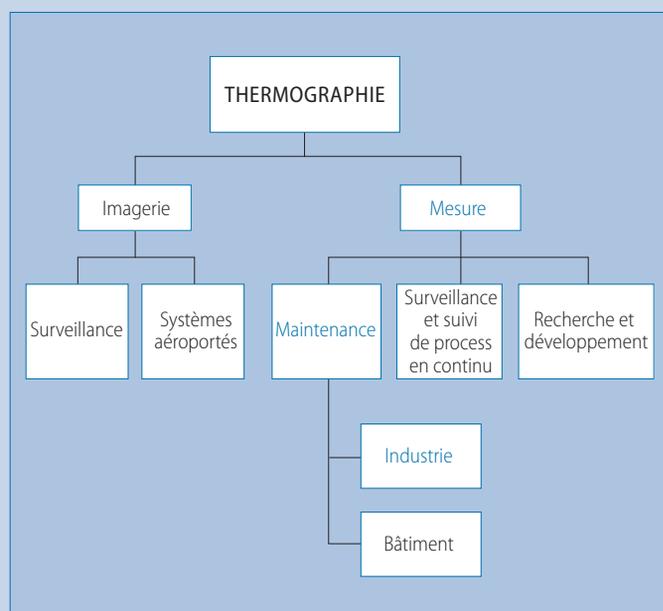
Chaque machine est calibrée individuellement de façon à obtenir une correspondance entre la valeur du signal électrique issu du capteur et la température ou la luminance de la cible (corps noir). Cette courbe est d'autant plus importante qu'il ne s'agit pas d'une simple droite. L'information est conservée sous forme de table en mémoire ou en fichier (courbe d'étalonnage).

Quelques chiffres

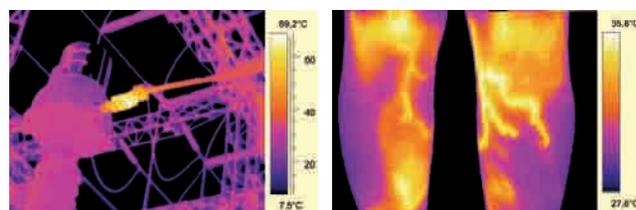
- **L'écran** de visualisation peut mesurer de 2,8 à 5,6 pouces.
- **La résolution** de l'écran varie de 6 400 à 307 000 pixels.
- **Le poids** de la caméra peut aller de 350 à 1 200 g.
- **La sensibilité** du capteur infrarouge (NETD, *Noise Equivalent Temperature Difference*) varie de 100 à 45 mK (millikelvins). Les éléments sensibles sont à base de platine et silicium (PtSi), ou plus récemment d'indium et d'antimoine (InSb). Le domaine spectral utile est de 2,2 à 4,6 μm . Ces capteurs peuvent mesurer des températures de -40 °C à $+300$ °C, avec une résolution thermique de $0,025$ °C à 30 °C.
- **Le prix** est souvent délicat à décrypter pour le néophyte, allant d'environ 3 000 à plus de 25 000 euros. La difficulté est de trouver les fonctions que l'on souhaite pouvoir utiliser alors que l'on n'a pas encore défini son cahier des charges. Le *ne plus ultra* sera toujours à un tarif inabordable pour la plupart des utilisateurs, mais une baisse notable des prix du marché se constate depuis le début de cette année, rendant les caméras de milieu de gamme enfin accessibles.

Les domaines d'application

La thermographie IR est divisée en deux grands domaines, l'imagerie et la mesure, qui englobent des sous-domaines **a**. Quelques exemples d'utilisation sont donnés en **b**.

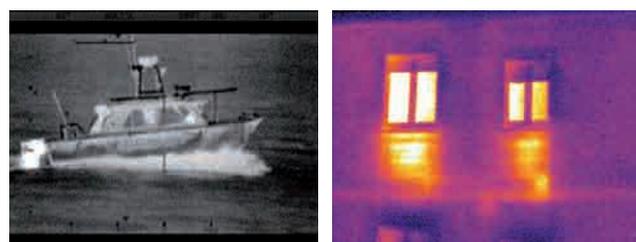


a Les domaines de la thermographie IR



Mesure de la température

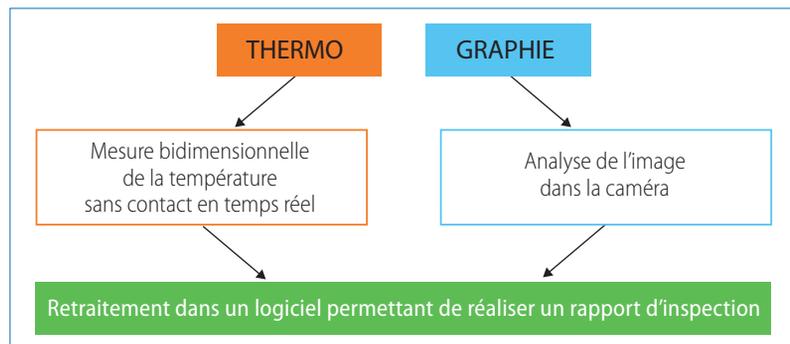
Imagerie médicale



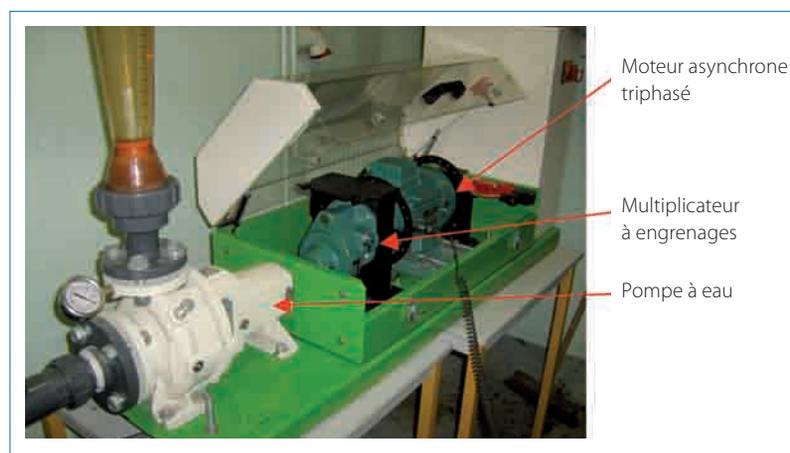
Surveillance maritime

Détection et mesure d'un pont thermique

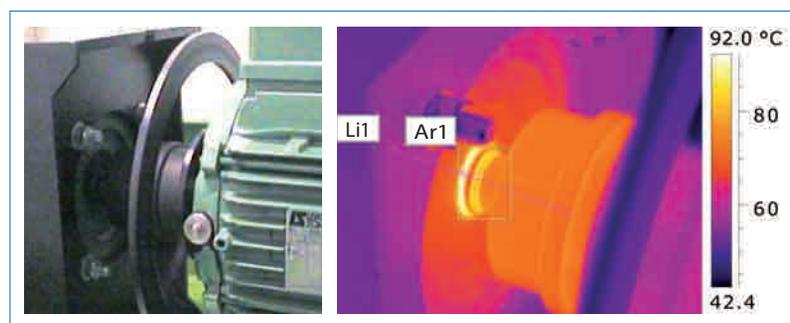
b Quelques exemples d'utilisation



2 La thermographie, association de la mesure thermique et de l'imagerie



3 Le système de pompage



4 L'entrée du multiplicateur et l'image donnée par la caméra

Un exemple d'application

Si le domaine principal et historique de la thermographie IR en maintenance reste l'électricité, avec la mise en évidence des défauts induisant des échauffements par effet Joule, d'autres, tels que l'hydraulique, le réfractaire, la mécanique, sont concernés.

Prenons pour exemple la transmission mécanique d'un banc d'étude des vibrations qui nous sert aussi de support d'étude en thermographie IR. Le système de pompage analysé est constitué des éléments suivants 3 :

- Un moteur asynchrone triphasé de 1,5 kW, 1 500 tr/min
- Un multiplicateur à engrenages à denture hélicoïdale de rapport 2,06
- Une pompe à eau montée en circuit fermé avec un réservoir

Des accouplements élastiques assurent la liaison moteur-multiplicateur et multiplicateur-pompe.

L'analyse thermique

● **En entrée du multiplicateur de vitesse**

L'image donnée par la caméra infrarouge de la partie du système analysée, le palier d'entrée du multiplicateur de vitesse 4, fait apparaître clairement une zone chaude sur la bague extérieure du roulement. On définit une zone de mesure avec le segment Ar1 et on cible le point chaud à l'aide du curseur Li1. Les données quantitatives fournies sont les suivantes :

- Émissivité : 0,95 de type circulaire
- Température réfléchie apparente : 22,0 °C
- Li1 température curseur : 91,5 °C
- Ar1 température maximale : 91,5 °C
- Ar1 température minimale : 58,3 °C

La caméra fournit également un graphique thermique 5 donnant les températures sur l'ensemble du segment Ar1 ainsi que sur la cible choisie à l'aide du curseur Li1.

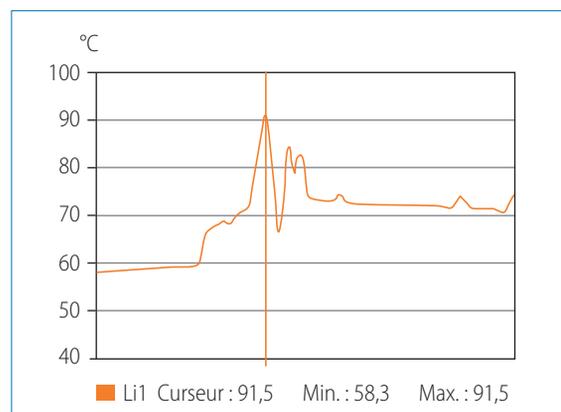
● **En sortie du multiplicateur de vitesse**

L'image donnée par la caméra infrarouge de la sortie du multiplicateur de vitesse 6 fait apparaître que l'échauffement n'est pas localisé sur le roulement. On définit à nouveau une zone de mesure avec le segment Ar1 et on cible le point chaud à l'aide du curseur Li1. Les données quantitatives fournies sont les suivantes :

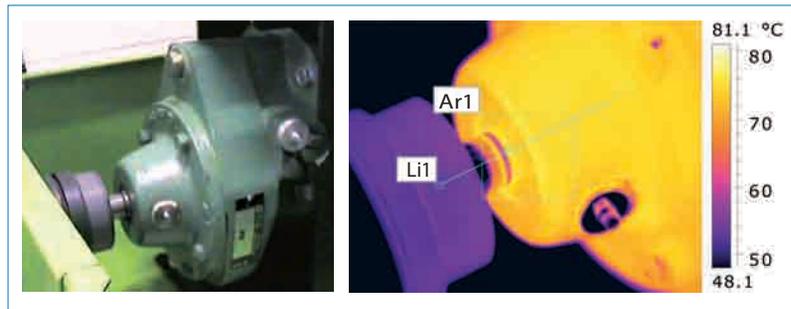
- Émissivité : 0,95 de type ovoïde
- Température réfléchie apparente : 22,0 °C
- Li1 température curseur : 72,0 °C
- Ar1 température maximale : 76,2 °C

Dans les images relatives au roulement d'entrée du multiplicateur de vitesse, l'arbre tournant à 1 500 tr/min, la température maximale sur le profil de température est proche de 92 °C, alors que sur les images relatives à la sortie l'arbre tourne à 3 000 tr/min et la température est de 76 °C 7.

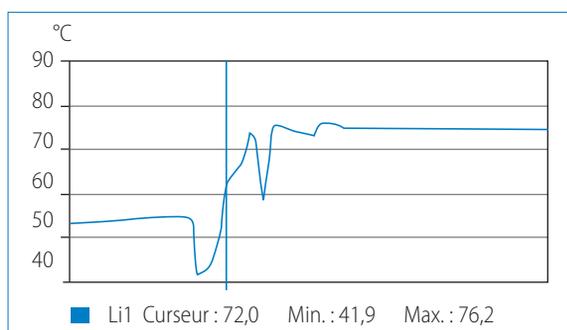
Le delta de température est donc de 16 °C pour un roulement tournant deux fois moins vite. C'est un défaut avéré, qui nécessite une intervention corrective. De plus, les images montrent clairement une différence



5 Le graphique thermique ou thermogramme de l'entrée du multiplicateur



6 La sortie du multiplicateur et l'image donnée par la caméra



7 Le graphique thermique ou thermogramme de la sortie du multiplicateur

d'aspect, hétérogène sur le roulement d'entrée et homogène sur le roulement de sortie.

L'origine de l'échauffement peut être un défaut de lubrification, le désalignement du multiplicateur par rapport au moteur, une usure du roulement.

Dans le cas d'une application industrielle identique, la détection précoce du défaut de roulement permettra une action préventive, programmée de manière à gêner le moins possible la production, qui évitera d'éventuelles conséquences désastreuses : casse connexe d'autres composants, voire du multiplicateur, temps d'attente des pièces détachées, temps de réparation plus long, éventuelles répercussions sur la sécurité dans certaines applications.

Les perspectives

La thermographie IR permet donc un contrôle rapide et performant des installations. La décision d'intervention revient au responsable maintenance, qui doit prendre en compte le niveau de sûreté du système et le coût de son indisponibilité.

Aujourd'hui, les contrôles de fiabilité, qu'ils soient préventifs conditionnels ou réglementaires, font partie intégrante des outils d'un service maintenance. La formation des techniciens reste cependant un passage obligatoire, c'est pourquoi nous ouvrirons en septembre 2010 en collaboration avec le CFA du Cnam IdF une licence générale « contrôle et fiabilité » ou seront développées ces techniques. ■

[PUBLICITÉ]

5000
RÉFÉRENCES DISPONIBLES SUR
www.sceren.com