

# GUIDE DE L'IMAGERIE THERMIQUE POUR LES APPLICATIONS DU BATIMENT ET DES ENERGIES RENOUVELABLES

Informations sur l'utilisation des caméras thermiques dans l'inspection des bâtiments, des panneaux solaires et des éoliennes.



# SOMMAIRE

	1. La caméra thermique et son fonctionnement	8
	2. Pourquoi l'imagerie thermique ?	10
	3. Inspection thermique des bâtiments	14
	4. Notions thermiques pour les applications du bâtiment	26
	5. Inspection thermique des panneaux solaires	32
	6. Inspection thermique des éoliennes	44
	7. Comment choisir le bon fournisseur de caméra thermique?	48
	8. Trouver la meilleure solution	50
	9. Comment effectuer les inspections thermiques?	62

Ce guide est le produit d'une collaboration étroite avec l'ITC (Infrared Training Center, centre de formation à la thermographie).  
Les images servent uniquement d'illustrations.

LES SPÉCIFICATIONS PEUVENT ÊTRE MODIFIÉES SANS PRÉAVIS. © 2012, FLIR Systems AB.  
Toutes les autres marques et noms de produits sont des marques déposées de leurs propriétaires respectifs.

## Introduction

En 1965, une entité commerciale qui ne s'appelait pas encore FLIR Systems vendait sa première caméra thermique, pour l'inspection de lignes à haute tension.

Depuis lors, la technologie de l'imagerie thermique a évolué. Les caméras thermiques sont devenues des systèmes compacts qui ressemblent à un caméscope ou à un appareil photo numérique. Elles sont faciles à utiliser et produisent en temps réel de belles images de haute résolution.

Le secteur du bâtiment est l'un de ceux qui ont rapidement découvert que l'imagerie thermique peut fournir des informations précieuses et pratiquement impossibles à obtenir avec les autres outils. Partiellement de cette utilisation limitée, les caméras thermiques sont devenues de façon toujours plus croissante un outil très répandu, utilisé par de nombreux inspecteurs du bâtiment dans tout le monde entier.

Une caméra thermique est le seul outil capable de produire une image des pertes énergétiques d'un bâtiment. La méthode est rapide, et les images thermiques produites sont précises et convaincantes.

L'utilisation d'une caméra thermique – seule ou avec d'autres méthodes telles que l'essai de pressurisation – accélère considérablement le travail. L'imagerie thermique indique exactement où sont les déperditions d'énergie, avec les avantages du contrôle non destructif.



*Les caméras thermiques ont fortement évolué au cours des 50 dernières années. FLIR Systems a toujours été un pionnier de l'imagerie thermique, mettant sur le marché les caméras thermiques les plus perfectionnées.*

Une caméra thermique est un instrument fiable travaillant sans contact, capable de détecter et de visualiser la répartition des températures sur les surfaces, avec rapidité et exactitude. L'utilisation des caméras thermiques permet aux entreprises de réaliser d'importantes économies.

### **L'imagerie thermique pour le secteur du bâtiment**

Depuis les années 70, l'humanité prend conscience que les ressources énergétiques sont précieuses et limitées.

Le secteur du bâtiment représente 40 % de la consommation d'énergie de l'UE, donc aussi le plus grand potentiel de progrès en termes d'efficacité énergétique. C'est pourquoi la commission européenne a émis une directive réglementant la performance énergétique des bâtiments, déjà transposée dans la législation de nombreux pays.

Des milliers de sociétés européennes sont déjà concernées ; le certificat de performance énergétique est devenu obligatoire dans de nombreux pays de l'UE pour les bâtiments neufs et anciens.

Ce contexte et les incitations économiques créées par plusieurs gouvernements vont alimenter la demande pour les essais d'étanchéité à l'air et les autres méthodes d'évaluation de l'efficacité énergétique.

De plus, on peut s'attendre à un durcissement des directives européennes pour les économies d'énergie dans le bâtiment. Cela aura un effet considérable sur de nombreux professionnels de ce secteur.

Une caméra thermique est le seul outil capable de produire une image des pertes énergétiques d'un bâtiment. La méthode est rapide, et les images thermiques produites sont précises et convaincantes.



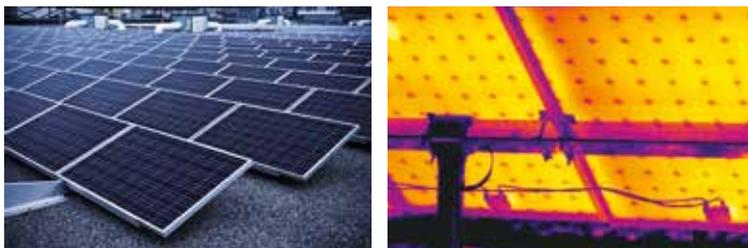
*Les caméras thermiques modernes sont petites, légères et faciles d'emploi.*

## Énergies renouvelables

La raréfaction des sources d'énergie traditionnelles tels que le charbon, le gaz, le pétrole a conduit à l'augmentation des prix. Par ailleurs, la sensibilisation a réveillé les consciences sur les risques de pollution que court notre planète quand l'on utilise ces fossiles combustibles.

### Le soleil

Les panneaux solaires peuvent convertir l'énergie du soleil en électricité et en source de revenus non négligeable. Pour maximiser la production et les revenus pendant des décennies, il faut cependant miser sur la qualité. Le panneau solaire, élément clé de ces installations, doit être fiable et produire continuellement de l'électricité pendant des années. Pour garantir au panneau solaire une qualité élevée pendant toute sa durée de vie, les caméras thermiques peuvent jouer un rôle important.



*L'utilisation des caméras thermiques pour le contrôle des panneaux solaires présente plusieurs avantages. Les anomalies sont clairement visibles sur l'excellente image thermique et, contrairement à la plupart des autres méthodes, l'examen des panneaux installés est possible au cours de leur fonctionnement normal.*

Les réserves de fossiles combustibles diminuent, le prix du charbon et du gaz s'envolent et de nombreuses personnes souhaitent utiliser le soleil comme source d'énergie renouvelable. Mais les panneaux solaires se dégradent avec le temps. C'est pourquoi les professionnels du bâtiment du monde entier utilisent les caméras thermiques pour inspecter les panneaux solaires des toits et des centrales.

## Le vent

Le vent est une autre source d'énergie renouvelable. Dans le monde entier, les éoliennes sont de plus en plus employées pour produire de l'électricité. Des parcs éoliens sont installés sur terre et en mer.

Une éolienne comporte de nombreux composants mécaniques et électriques qu'il est facile de contrôler avec une caméra thermique. Un bon programme d'inspection et de maintenance de toutes les pièces garantit que l'éolienne produira de l'électricité pendant de nombreuses années.



*Image thermique d'une éolienne, prise au niveau du sol*

Ce document est un guide détaillé pour l'inspection des bâtiments, des panneaux solaires et des éoliennes au moyen d'une caméra thermique. Lors d'une inspection thermique, de nombreux points sont importants. Il est important de savoir comment la caméra fonctionne et comment prendre des images, mais il faut aussi maîtriser les notions de physique qui expliquent les motifs thermiques, et connaître la construction du bâtiment, du panneau solaire ou de l'éolienne. Tout cela doit être pris en considération pour comprendre, interpréter et évaluer correctement les images thermiques.

Cependant, ce guide ne peut pas couvrir tous les principes d'analyse et toutes les utilisations dans le cadre de ces applications. C'est pourquoi FLIR Systems propose, en coopération avec l'ITC (Infrared Training Center), des formations centrées sur les applications du bâtiment.

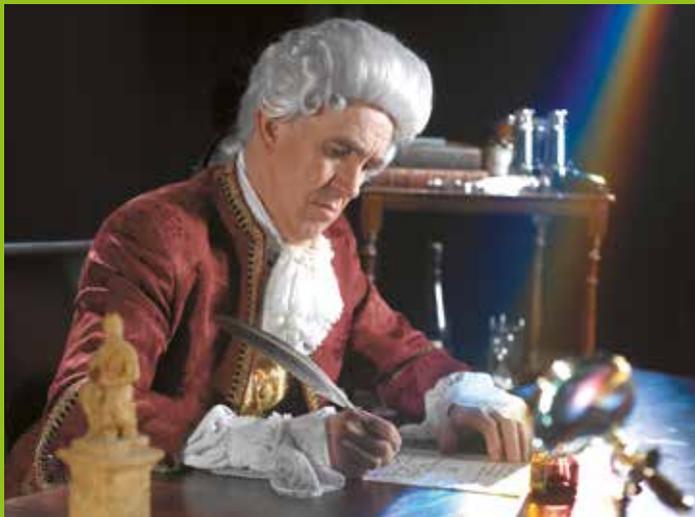
### **Ce guide présente**

- Les applications de l'imagerie thermique
- Le fonctionnement d'une caméra thermique et les critères d'achat
- Des conseils complets pour les inspections thermographiques

# 1

## La caméra thermique et son fonctionnement

Une caméra thermique enregistre l'intensité du rayonnement dans la partie infrarouge du spectre électromagnétique, et la convertit en image visible.



*William Herschel a découvert le rayonnement infrarouge en 1800.*

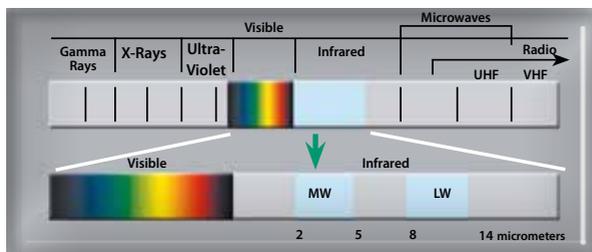
### **Qu'est-ce que l'infrarouge ?**

Nos yeux sont des détecteurs destinés à capter la lumière visible, c'est-à-dire la partie visible du spectre électromagnétique. Toutes les autres formes de rayonnement électromagnétique, par exemple l'infrarouge, sont invisibles à nos yeux.

L'existence de l'infrarouge est découverte en 1800 par l'astronome Frederick William Herschel. Voulant savoir si la lumière produit des températures différentes selon sa couleur, il utilise un prisme pour diviser un rayon de soleil. Il mesure la température de chaque couleur du spectre, et constate que les températures augmentent du violet au rouge.

Herschel décide alors de mesurer la température juste après la portion rouge du spectre, dans une zone où aucune lumière n'est visible. À sa surprise, il y trouve une température plus élevée encore.

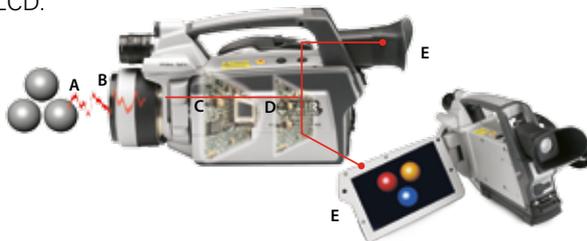
Dans le spectre électromagnétique, l'infrarouge se situe entre le visible et les micro-ondes. La source principale de rayonnement infrarouge est la chaleur, ou rayonnement thermique. Tout objet dont la température est supérieure au zéro absolu ( $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ou  $0\text{ kelvin}$ ) émet un rayonnement dans la plage infrarouge. Même les objets que nous percevons comme très froids, des glaçons par exemple, émettent ce rayonnement.



Ce rayonnement infrarouge fait partie de la vie de tous les jours. Nous le ressentons sous forme de chaleur en provenance du soleil, du feu ou d'un radiateur. Bien qu'il soit invisible à nos yeux, les nerfs de notre peau le détectent comme de la chaleur. Plus un objet est chaud, plus il émet de rayonnement infrarouge.

### La caméra thermique

L'énergie infrarouge (A) provenant d'un objet est focalisée par l'optique (B) sur un détecteur infrarouge (C). Ce détecteur envoie les informations à la partie électronique du capteur (D) chargée du traitement d'image. Cette partie électronique convertit les données du détecteur en une image (E) qui peut être observée dans le viseur, ou sur un écran vidéo ou LCD.



L'imagerie thermique consiste à transformer des mesures du rayonnement infrarouge en une image radiométrique, qui permet la lecture des valeurs de température. Ainsi, chaque pixel de l'image radiométrique est une mesure de température. Pour cela, la caméra thermique comporte des algorithmes complexes.

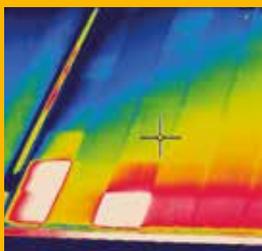
# 2

## Pourquoi l'imagerie thermique ?

Les caméras thermiques sont des outils puissants et non invasifs pour la surveillance et le diagnostic de l'état des bâtiments, des panneaux solaires et des éoliennes. Une caméra thermique vous permet d'identifier les problèmes très tôt, autrement dit, les documenter et de les corriger avant qu'ils s'aggravent et entraînent des réparations coûteuses.

Les caméras thermiques FLIR :

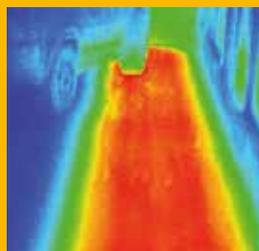
- sont aussi faciles à utiliser qu'un caméscope ou un appareil photo numérique
- vous donnent une image globale de la situation
- identifient et localisent le problème
- mesurent les températures
- enregistrent les informations
- vous indiquent exactement ce qui doit être réparé
- vous aident à détecter les défaillances avant que les vrais problèmes n'apparaissent.
- vous permettent d'économiser du temps précieux et de l'argent.



*Cellules photovoltaïques défectueuses.*



*Inspection thermique d'une façade vitrée.*



*Seule une partie de ce revêtement chauffant fonctionne.*

FLIR Systems offre une large gamme de caméras thermiques. Que vous l'utilisiez pour les inspections des grands bâtiments ou pour des maisons privées, FLIR dispose de la meilleure caméra thermique pour votre application.



### **Pourquoi utiliser une caméra thermique ?**

Pourquoi choisir une caméra thermique FLIR ? Il existe d'autres technologies pour vous aider à mesurer les températures sans contact. Les thermomètres infrarouges, par exemple.

### **Les thermomètres infrarouges et les caméras thermiques**

Les thermomètres infrarouges (IR) sont fiables et très utiles pour effectuer des relevés ponctuels de température. Mais lorsqu'il faut examiner de grandes étendues, des phénomènes critiques comme un passage d'air, un défaut d'isolation ou une fuite d'eau risquent de passer inaperçus. Une caméra thermique FLIR permet de scruter des bâtiments entiers, y compris les installations de chauffage, de ventilation et de climatisation. Aucun problème potentiel ne lui échappe, quelle que soit la dimension de la zone concernée.



*Thermomètre IR, mesure de température en un point*



*FLIR i3, mesure de température en 3,600 points*

### **Détectez les problèmes plus vite et plus facilement, avec une extrême précision**

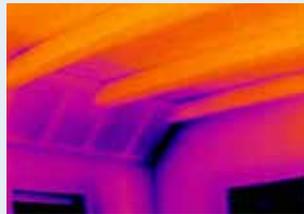
Avec un thermomètre IR ponctuel, un problème critique de construction passe facilement inaperçu. Une caméra thermique FLIR vous donne une image globale de la situation et permet de poser immédiatement un diagnostic. Non seulement elle localise le problème de construction, mais elle montre la totalité de son étendue.

## Comme des milliers de thermomètres IR utilisés simultanément

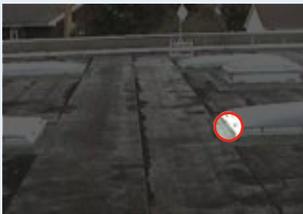
Avec un thermomètre IR, vous pouvez mesurer la température en un point. Les caméras thermiques FLIR permettent de mesurer les températures sur toute l'image. L'image de la FLIR i3 possède une résolution de  $60 \times 60$  pixels. Cela signifie qu'elle joue le rôle de 3.600 thermomètres IR utilisés simultanément. La FLIR P660, modèle haut de gamme, possède une résolution de  $640 \times 480 = 307.200$  pixels. Elle remplace 307.200 thermomètres IR.



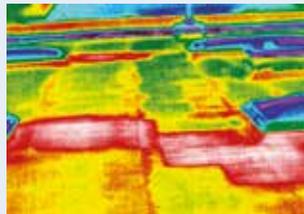
*Ce que voit un thermomètre IR.*



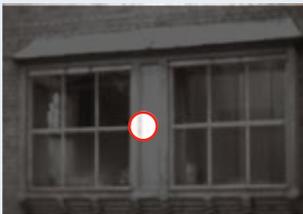
*Ce que voit une caméra thermique.*



*Ce que voit un thermomètre IR.*



*Ce que voit une caméra thermique.*



*Ce que voit un thermomètre IR.*



*Ce que voit une caméra thermique.*



# 3

## Applications de l'imagerie thermique dans le bâtiment

L'inspection au moyen d'une caméra thermique est un moyen puissant et non invasif qui permet de surveiller et de diagnostiquer l'état des bâtiments. L'imagerie thermique est devenue l'un des outils de diagnostic les plus précieux pour leur inspection. Une caméra thermique permet d'identifier les problèmes très tôt, donc de les documenter et de les corriger avant qu'ils s'aggravent et entraînent des réparations coûteuses.

L'inspection d'un bâtiment à l'aide d'une caméra thermique permet :

- de visualiser les déperditions d'énergie
- de détecter les défauts ou l'absence d'isolation
- de trouver les fuites d'air
- de trouver l'humidité dans l'isolation, les toits et les murs, dans la structure intérieure et extérieure
- de détecter la moisissure et les zones mal isolées
- d'identifier les ponts thermiques
- de repérer l'infiltration de l'eau dans les toits en terrasse
- de détecter les ruptures de canalisation d'eau chaude
- de voir les erreurs de construction
- de surveiller le séchage de la construction
- de trouver les défauts dans les canalisations d'alimentation et le réseau de chauffage urbain
- d'identifier les problèmes électriques

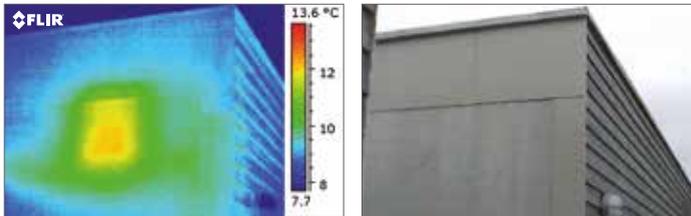
Les caméras thermiques sont l'outil idéal pour localiser et identifier les défaillances du bâtiment car elles montrent ce qui est invisible. Sur une image thermique, les problèmes sautent aux yeux. Une caméra thermique est l'outil qui vous permet réellement de VOIR tout cela.

Une image thermique comportant des données exactes de température fournit aux experts du bâtiment des informations importantes sur l'état de l'isolation, la pénétration de l'humidité, l'apparition de la moisissure, les défauts électriques, la présence de ponts thermiques et le fonctionnement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation.

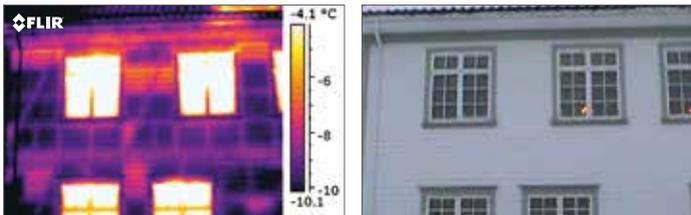
Les caméras thermiques sont des outils tellement précieux et polyvalents qu'il est impossible d'énumérer toutes leurs applications. Tous les jours apparaissent de nouvelles utilisations innovantes de cette technologie. Ce chapitre décrit quelques-unes de ces nombreuses utilisations dans le secteur du bâtiment.

## Défauts d'isolation et fuites d'air

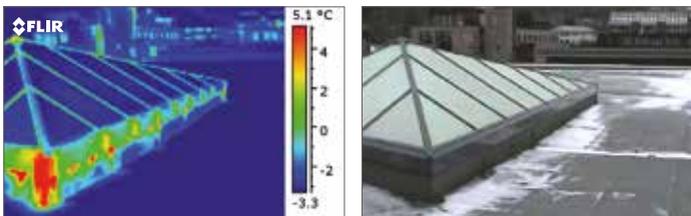
L'imagerie thermique est un outil exceptionnel pour localiser les défauts des bâtiments tels que l'absence d'isolation, le décollement d'enduit et les problèmes de condensation.



Cet immeuble est chauffé. Il est construit en sandwich : béton, isolant, béton. Il manque une partie de l'isolant, et c'est parfaitement invisible de l'intérieur comme de l'extérieur. L'imagerie thermique montre ici ce que l'œil humain ne peut voir.

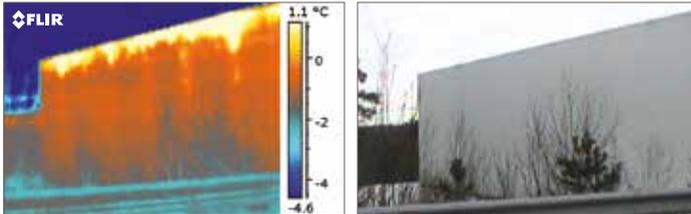


Construction à ossature. De nombreuses sections ne sont pas isolées, comme indiqué par les couleurs plus chaudes.



Toit en verre sur atrium. Il est étanche à l'eau, mais pas à l'air. La surpression fait sortir de l'air chaud. La solution est de rendre le toit étanche à l'air.

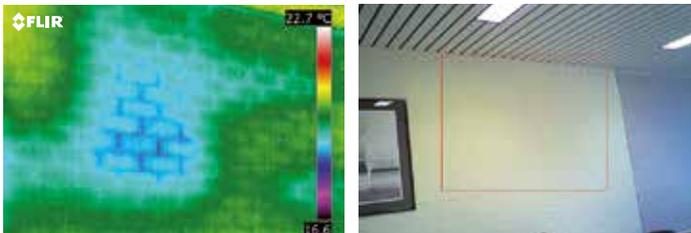
Le toit et les murs de certains entrepôts sont assemblés à partir d'éléments préfabriqués bien isolés. Mais l'énergie peut s'échapper par les joints entre ces éléments.



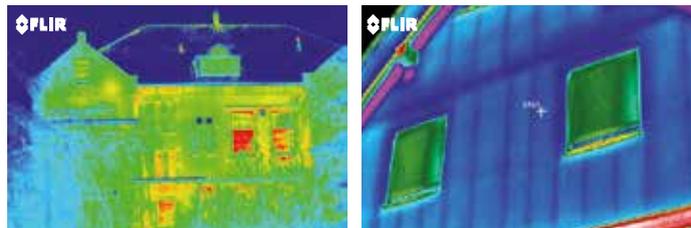
*Cet entrepôt laisse échapper beaucoup d'air chaud entre le mur et le toit. Il faut étanchéifier cette zone pour stopper la déperdition d'énergie.*

Lors de la recherche de défaut d'isolation ou de perte d'énergie au moyen d'une caméra thermique, il est préférable que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment soit au moins de 10 °C. Il est possible de travailler avec une différence de température moins importante si la caméra thermique possède une résolution et une sensibilité thermique élevées.

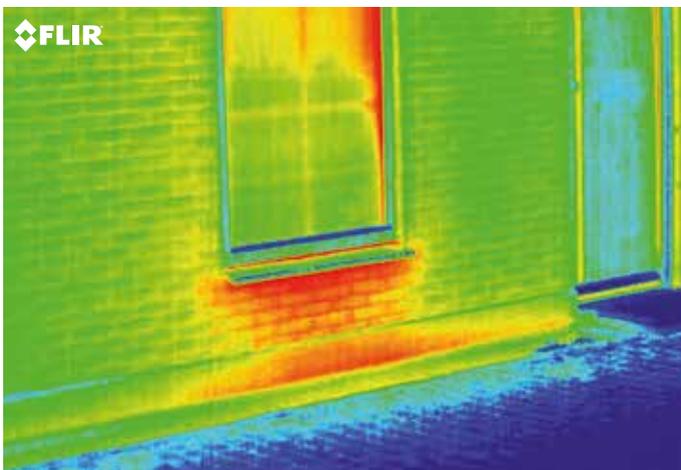
Dans les pays froids, les bâtiments sont généralement inspectés en hiver. Dans les pays chauds, où l'isolation est importante pour garder l'air frais généré par le système de climatisation, les inspections sont conduites pendant l'été.



*L'isolation est absente dans certaines parties du mur.*



*Analyse thermique de l'extérieur : les images thermiques indiquent clairement l'insuffisance ou l'absence d'isolation.*



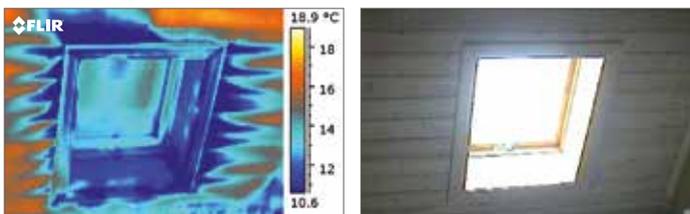
*L'image thermique montre clairement que le mur sous la fenêtre est insuffisamment isolé.*

### **Détection des fuites d'air**

Les fuites d'air font augmenter la consommation de l'énergie et perturbent souvent le système de ventilation. Elles peuvent aussi provoquer de la condensation dans la construction, ce qui détériore le climat intérieur.

Pour pouvoir détecter une fuite d'air avec une caméra thermique, il faut à la fois une différence de température et de pression.

L'image fait alors apparaître les "taches" caractéristiques d'un passage d'air froid, car cet air refroidit les surfaces sur son passage. Par conséquent, il convient de toujours mener l'inspection thermique du côté où la pression est moins élevée. Pour détecter les fuites d'air, on recourt souvent à la méthode de pressurisation nommée BLOWER DOOR. Vous trouverez plus d'informations sur cette méthode plus bas dans ce guide.

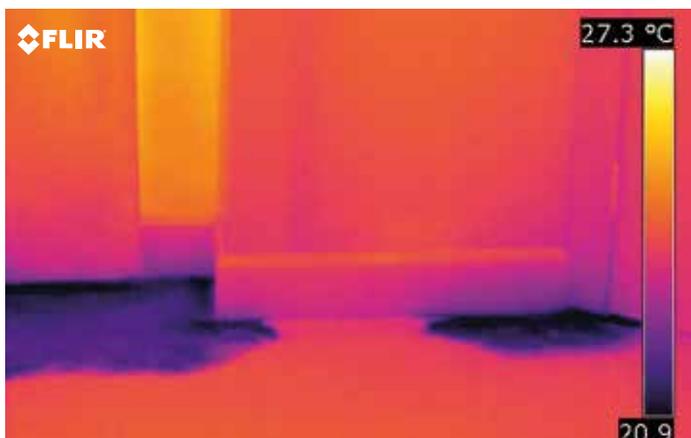


*Fuites d'air entre le plafond et la fenêtre.*

## Détection d'humidité

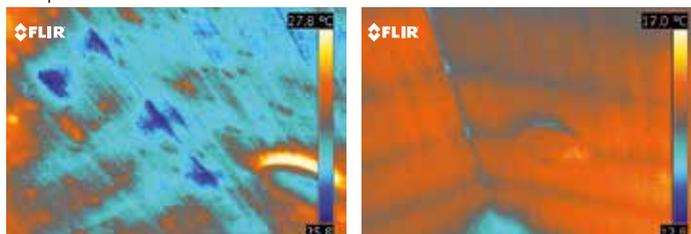
L'humidité est la cause la plus fréquente de détérioration d'un bâtiment. Les fuites d'air peuvent provoquer de la condensation dans les murs, les sols et les plafonds. Un isolant mouillé met longtemps à sécher et favorise l'apparition de la moisissure et des champignons.

L'examen à l'aide d'une caméra thermique permet de localiser l'humidité, elle-même source de moisissure. On peut en détecter l'odeur, mais pas la localiser. Une inspection thermique indique l'emplacement des zones humides, où peut apparaître une moisissure éventuellement nocive.



*Diffusion d'humidité dans le sol, invisible à l'œil nu mais clairement visible sur l'image thermique.*

L'humidité peut être difficile à localiser. Pour y parvenir, on modifie la température du bâtiment. Les matériaux humides étant plus lents à changer de température, ils deviennent clairement visibles. Alors que les autres méthodes mesurent la température en un seul point, les caméras thermiques scrutent toute une zone en peu de temps.



*Deux images thermiques du même plafond. Sur l'image de gauche, l'humidité apparaît nettement car la pièce a été chauffée rapidement.*

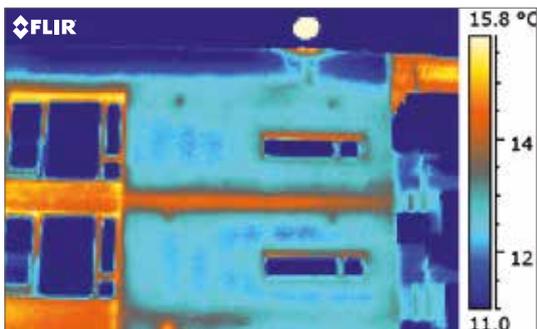
## Ponts thermiques

L'imagerie thermique permet également de localiser les ponts thermiques des bâtiments, sources de gaspillage d'énergie.

Un pont thermique est une zone de l'enveloppe du bâtiment présentant une conduction thermique plus élevée. Son existence est liée aux contraintes de construction. Or la chaleur s'échappe de la zone chauffée vers l'extérieur par les matériaux offrant la meilleure conductivité thermique.

Les effets d'un pont thermique sont :

- une baisse de température des surfaces intérieures ; dans les cas extrêmes, cela peut provoquer des problèmes de condensation, en particulier dans les coins
- des déperditions de chaleur importantes
- des zones froides dans le bâtiment.



*Pont thermique à l'un des étages.*



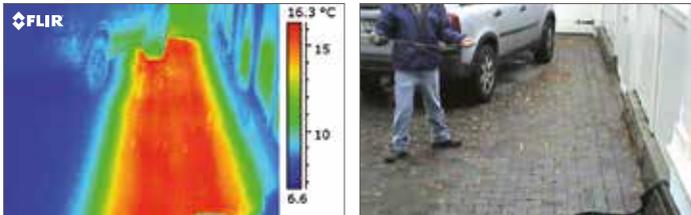
*Ponts thermiques entre les poutres du toit et les murs.*

## Canalisations d'alimentation et chauffage urbain

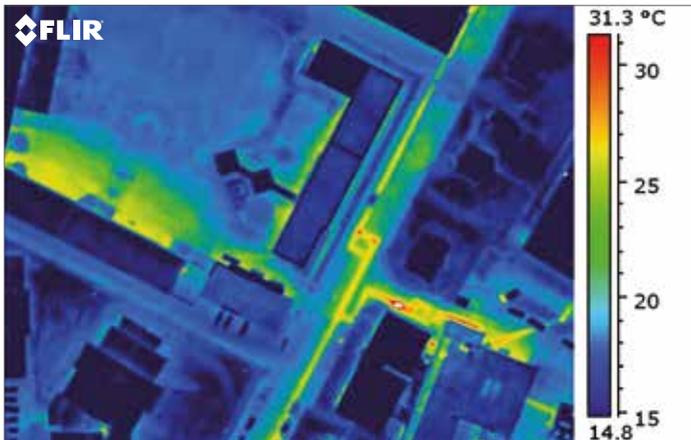
Dans les pays froids, la chaussée et les aires de parking sont parfois chauffées.

Les systèmes de chauffage urbain distribuent de la chaleur, souvent sous forme de vapeur. Celle-ci est produite de manière centralisée pour couvrir les besoins des bâtiments résidentiels et commerciaux.

Une étude thermographique permet de détecter facilement les défaillances des canalisations de tout système de chauffage souterrain. Une caméra thermique peut aider à identifier l'emplacement exact du défaut, afin de minimiser les travaux de réparation.



*Une caméra thermique permet de localiser facilement les défaillances des systèmes de chauffage urbain.*



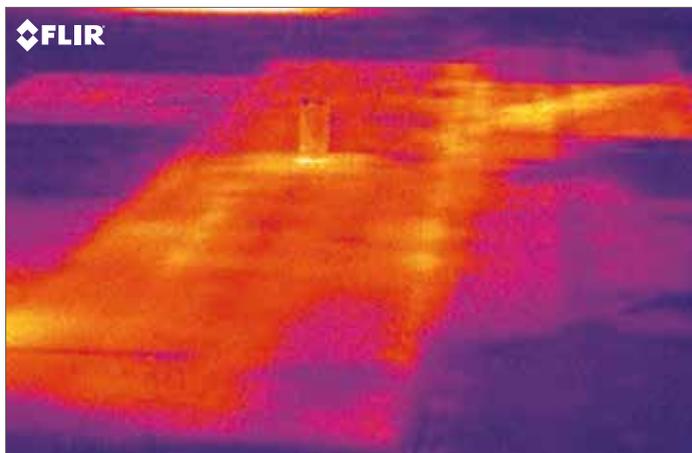
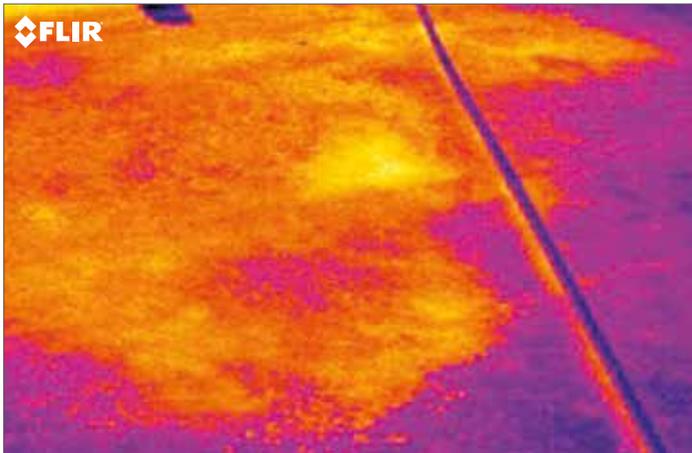
*une image thermique prise à partir du haut identifie les fuites d'énergie dans un système de chauffage urbain.*

### **Détecter l'infiltration de l'eau dans les toits en terrasse**

L'imagerie thermique permet aussi de détecter l'infiltration de l'eau dans les toits en terrasse.

L'eau retenant la chaleur plus longtemps que les matériaux du toit, est parfaitement visible en fin de soirée ou la nuit, lorsque le toit lui-même est refroidi.

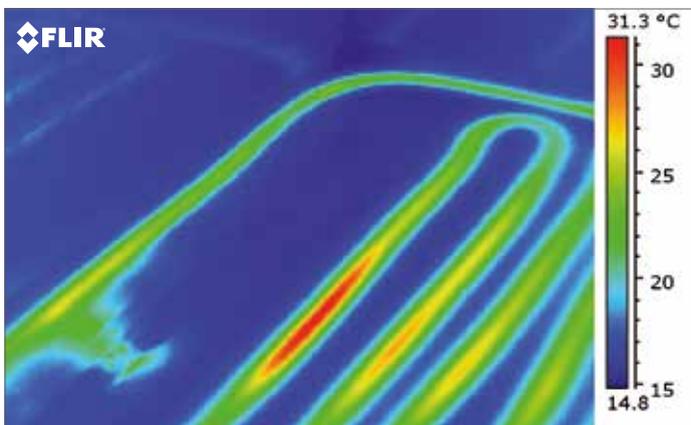
La réparation des zones humides est beaucoup moins chère que le remplacement du toit entier.



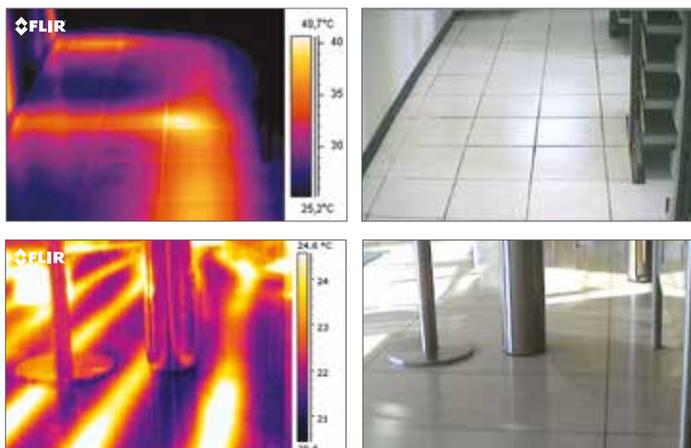
*Infiltration de l'eau dans les toits en terrasse.*

## Localiser les fuites du chauffage par le sol

L'imagerie thermique est un outil facile d'emploi pour rechercher les fuites dans les canalisations, même lorsque les conduites d'eau passent dans le sol ou sous l'enduit. La chaleur des conduites rayonne au travers de la surface, ce qui permet de suivre facilement leur parcours avec la caméra.



*Fuite dans un système de chauffage par le sol.*



*Une caméra thermique permet de détecter facilement les problèmes de chauffage par le sol.*

## Assurance qualité

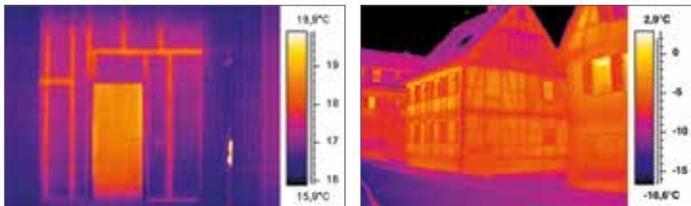
La technologie de l'imagerie thermique est aussi utilisée pour l'assurance qualité et l'inspection des nouveaux bâtiments.

Le séchage d'une construction peut être surveillé au moyen des images thermiques, et donc accéléré par des mesures appropriées.

Un bâtiment à peine construit peut être livré au client dès que la caméra thermique confirme que son séchage est complet.

## Rénovation

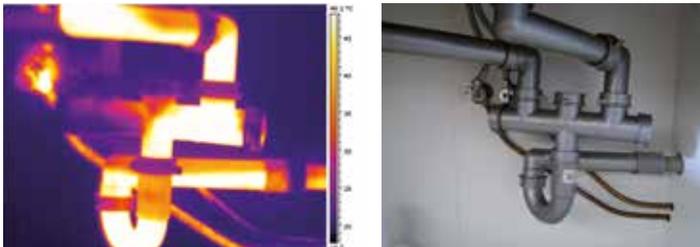
L'imagerie thermique fournit des informations précieuses lors de la rénovation des bâtiments et des monuments. Les ossatures masquées par l'enduit minéral apparaissent clairement sur les images thermiques. Il est alors possible de décider s'il est pertinent de les exposer. Le décollement du plâtre mural est également détecté très tôt, ce qui permet de prendre des mesures de conservation.



*La structure est clairement visible sur les images thermiques.*

## Plomberie

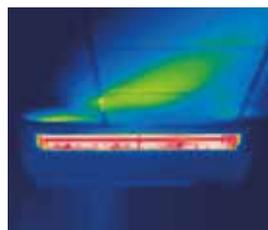
L'imagerie thermique est l'outil idéal pour détecter les obstructions et les autres problèmes de plomberie. Même si les conduites sont placées sous le plancher ou dans un mur, il est possible de déterminer l'emplacement exact du problème en y faisant circuler de l'eau chaude. La chaleur atteint la surface et la zone du problème devient clairement visible sur l'image thermique.



*Détection des problèmes de plomberie par imagerie thermique.*

## Chauffage, ventilation, climatisation

Les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation doivent être correctement entretenus. Ils doivent filtrer les polluants intérieurs et produire de l'air à la température voulue et à une humidité correcte. L'imagerie thermique peut contribuer au contrôle du bon fonctionnement de ces systèmes. Un mauvais fonctionnement peut dégrader la qualité de l'air intérieur.

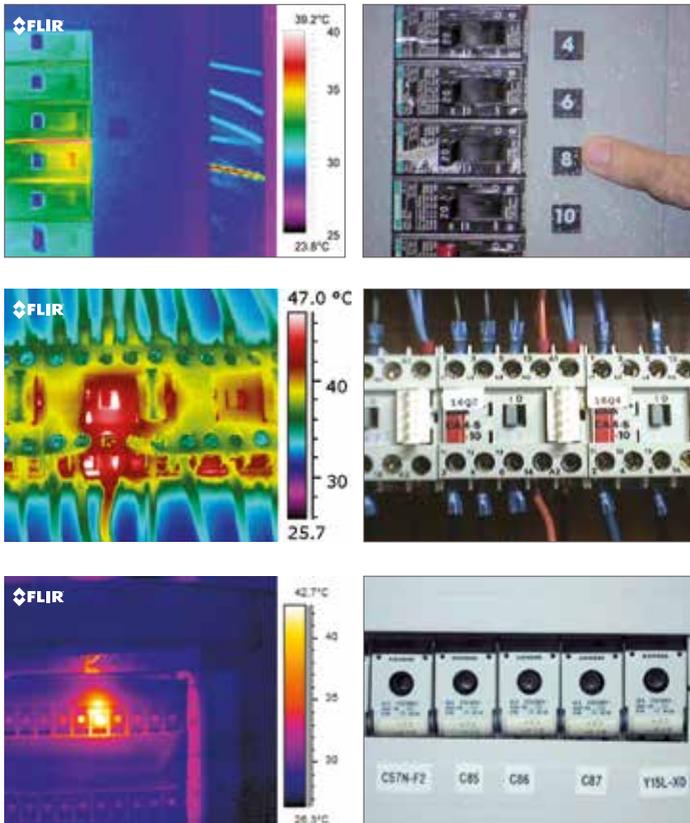


## Défaillances électriques

Tous les bâtiments comportent aussi de nombreuses installations électriques. L'imagerie thermique permet d'examiner les armoires électriques, les fusibles, les connexions et bien d'autres éléments.

Elle détecte des problèmes invisibles à l'œil nu, qui peuvent alors être réparés. Les problèmes électriques peuvent provoquer une élévation importante de la température. De plus, ils peuvent générer des étincelles et déclencher un incendie.

Pour en savoir plus sur les méthodes d'inspection des systèmes électriques avec une caméra thermique, veuillez consulter le "Guide de l'imagerie thermique pour les applications industrielles".



*Surchauffe de l'un des fusibles, entraînant un risque d'incendie.*

# 4

## Notions thermiques pour les applications du bâtiment

Pour interpréter correctement les images thermiques, l'opérateur a besoin de savoir comment les matériaux et des circonstances différentes influencent la lecture de la température sur la caméra thermique. Les températures produites dépendent principalement des facteurs suivants :

### 1. Conductivité thermique

Chaque matériau possède des propriétés thermiques. Les matériaux isolants se réchauffent lentement, alors que les métaux chauffent rapidement. Il s'agit là de conductivité thermique. Des matériaux possédant des propriétés thermiques différentes peuvent présenter des différences de température importantes dans certaines situations.

### 2. Émissivité

Pour que les températures obtenues soient correctes, il est important de prendre en considération le facteur nommé émissivité. L'émissivité est l'efficacité avec laquelle un objet émet dans l'infrarouge. Elle dépend fortement des propriétés des matériaux.



*L'image thermique pourrait laisser croire que la peinture dorée est plus froide que le reste de la surface de la tasse. En réalité, elle est exactement à la même température. La différence d'intensité du rayonnement thermique provient de la différence d'émissivité.*

Il est extrêmement important de bien régler l'émissivité sur la caméra thermique, au cas contraire, les températures mesurées seront incorrectes. Les caméras de FLIR Systems ont des valeurs d'émissivité prédéfinies pour de nombreux matériaux. Les valeurs applicables aux autres matériaux peuvent être trouvées dans le tableau d'émissivité.



Sur l'image thermique de gauche, l'émissivité est réglée sur la valeur de la peau humaine (0,97). Le relevé de température est correct : 36,7 °C. Sur l'image de droite, une émissivité incorrecte (0,15) produit un relevé de température fantaisiste : 98,3 °C.

### 3. Réflexion

Certains matériaux, tels la plupart des métaux, reflètent le rayonnement thermique comme un miroir reflète la lumière visible. Les reflets peuvent fausser l'interprétation de l'image thermique : le reflet du rayonnement thermique de l'opérateur ou d'une ampoule électrique peut conduire à un relevé de température erroné. L'opérateur doit donc choisir soigneusement l'angle d'observation de l'objet pour éviter ces reflets.



La fenêtre reflète le rayonnement thermique ; elle agit comme un miroir pour la caméra thermique.

Si le matériau en surface de l'objet possède une faible émissivité et que sa température est très différente de la température ambiante, la réflexion du rayonnement incident a un effet sur la température relevée par la caméra thermique. Pour résoudre ce problème, une option des caméras FLIR Systems permet de régler la température apparente réfléchie.

#### **4. Températures intérieure et extérieure**

Pour détecter les défauts ou l'absence d'isolation au moyen d'une caméra thermique, il doit exister une différence entre les températures intérieure et extérieure. Une différence d'au moins 10 °C est généralement conseillée, même s'il est souvent possible de travailler avec une valeur plus faible.

L'inspection est habituellement effectuée de l'intérieur et de l'extérieur. L'absence d'isolation, un isolant détérioré ou inefficace apparaît clairement si la différence de température est suffisante.

L'utilisateur doit connaître la température intérieure et extérieure, et aussi savoir si une variation importante de température a eu lieu dans les dernières 24 heures.

#### **5. Facteurs extérieurs au bâtiment**

Il va sans dire que l'ensoleillement direct influe sur les relevés thermiques. Mais il a d'autres effets à long terme. L'ensoleillement direct et le contour des ombres peuvent avoir un effet sur le motif thermique d'une surface plusieurs heures après avoir disparu. Les différences de conductivité thermique peuvent aussi influencer sur les motifs thermiques. La brique change de température beaucoup plus lentement que le bois, par exemple. Enfin, le vent joue également un rôle. Le déplacement d'air refroidit le matériau en surface et atténue les différences entre les zones chaudes et froides.

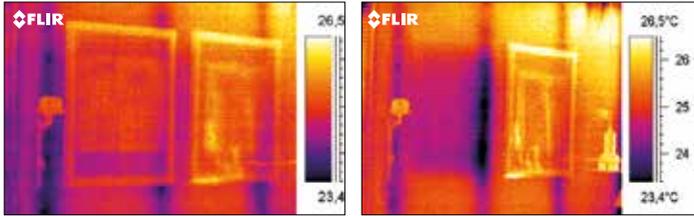
De manière évidente, la pluie peut enlever toute efficacité à l'inspection thermique en refroidissant les surfaces. Même lorsque la pluie s'arrête, l'évaporation de l'eau refroidit encore les surfaces. Cela peut conduire à une mauvaise interprétation des motifs thermiques observés.

#### **6. Systèmes de chauffage et de ventilation**

À l'intérieur des bâtiments, les températures de surface peuvent aussi subir l'influence de la température ambiante, mais aussi du chauffage et de la climatisation. Les systèmes de chauffage créent des différences de température qui peuvent se traduire par des motifs trompeurs. L'air froid provenant des ventilateurs et des systèmes de climatisation peut avoir l'effet inverse en refroidissant les surfaces.

## 7. Facteurs intérieurs au bâtiment

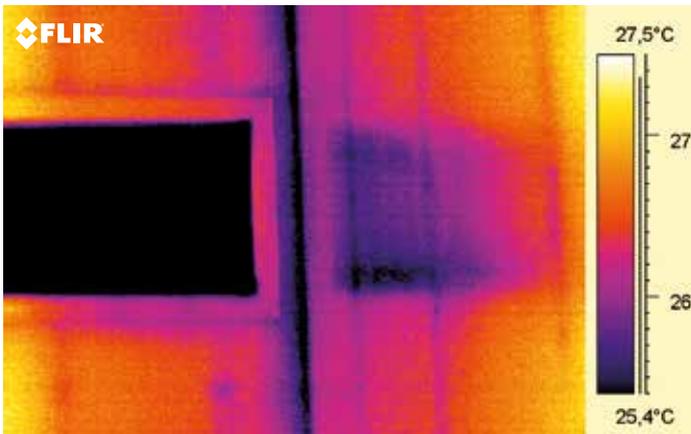
Les étagères, les armoires et les tableaux peuvent modifier le motif thermique du mur. Ce mobilier et ces éléments de décoration ont un effet isolant. Lorsqu'on les retire du mur, ils laissent une zone plus froide qui apparaît sur l'image thermique, et qui peut être prise pour un défaut d'isolation. Pour cette raison, il est conseillé de retirer les objets du mur au moins 6 heures avant l'inspection.



Voici deux images thermiques du même mur. La température est plus élevée à l'intérieur qu'à l'extérieur. Sur l'image de droite, un des tableaux a été décroché du mur, laissant apparaître une empreinte froide. Comme la largeur de ce tableau correspond à l'écart entre les montants internes, un panneau d'isolant semble manquer dans le mur.

## 8. Réflexion du rayonnement environnant

Lorsque la cible est réfléchissante, il faut veiller à changer d'angle pour minimiser les reflets dans l'image. Le reflet peut être celui de la chaleur corporelle de l'opérateur, ou d'autres sources de chaleur environnantes : une machine, une ampoule ou un appareil électrique. Les reflets créent des données incorrectes dans l'image thermique. Si elles ne sont pas comprises, elles introduisent une erreur.



La fenêtre, sur la gauche, se reflète sur le mur intérieur, à droite.

## 9. Matériaux utilisés dans la construction

Certains matériaux comme le béton sont lents à changer de température. D'autres, comme la plupart des métaux, sont rapides. Pour interpréter correctement les résultats, l'opérateur doit savoir si une variation importante de température s'est produite avant l'inspection, à l'intérieur ou à l'extérieur, car cela affecte les relevés de température.

## 10. Type de construction

Un mur extérieur peut comporter une lame d'air entre la façade et le reste de ses composants. Dans ce cas, une inspection extérieure est inappropriée. Dans un mur, une ossature semble plus froide lorsqu'elle est vue de l'intérieur (supposé chauffé). Lorsqu'elle est observée de l'extérieur (froid), la situation est inverse. Ce phénomène est normal.



*Image thermique prise de l'intérieur. L'ossature est visible, de même que les vis de fixation du revêtement à l'ossature. Le coin est nettement plus froid. Cet « effet de coin » est normal.*



# 5

## Inspection thermique des panneaux solaires

### Énergies renouvelables

La raréfaction des sources d'énergie traditionnelles – charbon, gaz, pétrole – conduit à une augmentation de leur prix. De plus, nous avons maintenant conscience que les fossiles combustibles polluent la planète.

Les panneaux solaires en toiture convertissent l'énergie du soleil en électricité et en source de revenus non négligeable. Les installations solaires peuvent être un investissement lucratif. Pour maximiser la production et les revenus pendant des décennies, il faut cependant miser sur la qualité. Le module solaire, élément clé de ces installations, doit être fiable et produire continuellement de l'électricité pendant des années. Pour garantir au module solaire un fonctionnement fiable pendant toute sa durée de vie, les caméras thermiques peuvent jouer un rôle important.

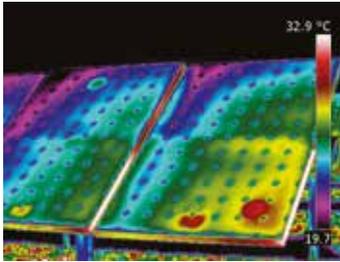
Les réserves de fossiles combustibles diminuent, le prix du charbon et du gaz s'envolent et de nombreuses personnes souhaitent utiliser le soleil comme source d'énergie renouvelable. Mais les panneaux solaires se dégradent avec le temps. C'est pourquoi les professionnels du bâtiment du monde entier utilisent les caméras thermiques pour inspecter les panneaux solaires des toits.

### Inspection des panneaux solaires

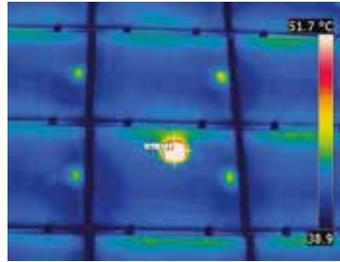
L'utilisation des caméras thermiques pour l'évaluation des panneaux solaires présente plusieurs avantages. Les anomalies sont clairement visibles sur l'excellente image thermique et, contrairement à la plupart des autres méthodes, l'examen des panneaux installés est possible au cours de leur fonctionnement normal. Enfin, les caméras thermiques permettent d'observer de grandes surfaces en peu de temps.



Avec une caméra thermique, les zones pouvant poser problème sont détectées et réparées avant tout incident ou défaillance. Mais seules certaines caméras thermiques conviennent à ces inspections, et il faut suivre certaines règles pour mener des inspections efficaces et tirer des conclusions correctes.



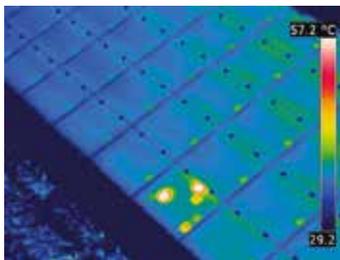
*Ces points rouges signalent des modules nettement plus chauds que le reste, ce qui indique des connexions incorrectes.*



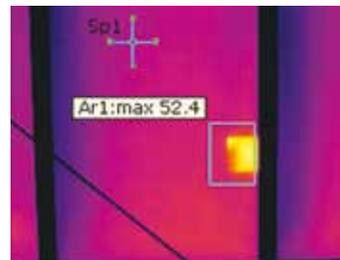
*Ce point chaud dans une cellule photovoltaïque indique une détérioration physique interne.*

### **Comment inspecter des panneaux solaires avec une caméra thermique ?**

Pour un contraste thermique suffisant, l'éclairement énergétique du rayonnement solaire doit être d'au moins  $500 \text{ W/m}^2$ . Pour un résultat satisfaisant, un éclairement de  $700 \text{ W/m}^2$  est conseillé. L'éclairement énergétique est la puissance instantanée reçue par une surface, exprimée en  $\text{kW/m}^2$ . Il est mesuré par un pyranomètre (pour l'éclairement du rayonnement solaire global) ou un pyréliomètre (pour le rayonnement solaire direct). Il dépend fortement de l'endroit et des conditions climatiques locales. Des températures extérieures basses peuvent aussi améliorer le contraste thermique.



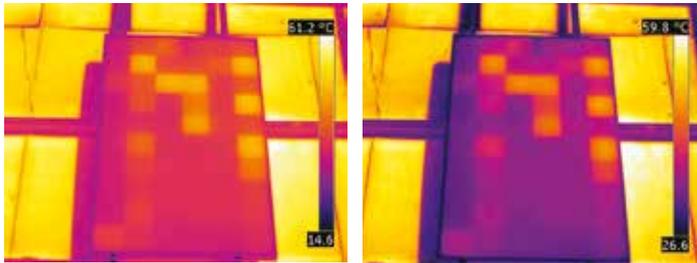
*Cette image thermique montre un exemple de "taches chaudes" indiquant que le panneau comporte une diode bypass défectueuse.*



*Cette image thermique montre un point chaud dû à une rupture de cellule dans un module standard de 60 cellules.*

### Quel type de caméra utiliser ?

Les caméras thermiques portables pour l'inspection des bâtiments possèdent généralement un détecteur microbolomètre non refroidi, sensible à la bande de 8 à 14  $\mu\text{m}$ . Mais dans cette bande, le verre n'est pas transparent. L'inspection de la face exposée des cellules photovoltaïques fait donc apparaître la répartition de la chaleur à la surface du verre. C'est une indication indirecte de la température des cellules sous le verre. Par conséquent, les différences de température visibles et mesurables à la surface du verre sont faibles. Pour que ces différences soient visibles, il faut une caméra thermique de sensibilité inférieure ou égale à 0,08 K. Pour pouvoir les distinguer clairement sur l'image, la caméra doit aussi permettre un réglage du niveau et de la plage.



*Image thermique avec niveau et plage automatiques (à gauche) et manuels (à droite).*

Les modules photovoltaïques sont généralement montés dans un cadre en aluminium très réfléchissant, qui apparaît à l'écran comme une zone froide car il reflète le rayonnement thermique du ciel. En pratique, cela signifie que la caméra thermique affiche une température largement négative pour le cadre. Etant donné que son programme de calcul de l'image tient compte des températures extrêmes mesurées, de nombreuses petites anomalies thermiques ne sont pas visibles immédiatement. Pour améliorer le contraste thermique de l'image, il faudrait corriger continuellement le niveau et la plage.

La fonction DDE (Digital Detail Enhancement, amélioration numérique de l'image) apporte la solution. Elle optimise automatiquement le contraste dans les scènes dont la plage de températures est étendue, et dispense l'opérateur du réglage manuel. Une caméra thermique dotée de la fonction DDE permet donc d'inspecter les panneaux solaires de manière rapide et précise.

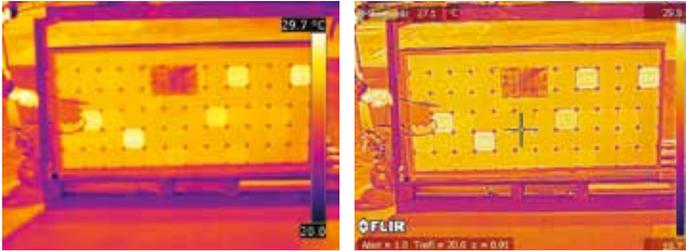
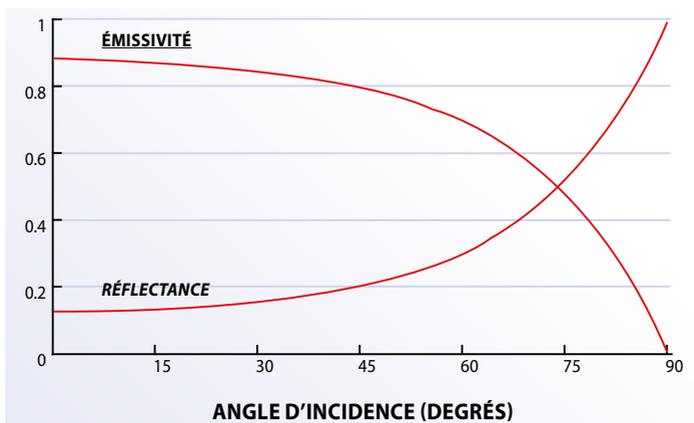


Image thermique sans DDE (à gauche) et avec DDE (à droite).

### Positionner la caméra en fonction des reflets et de l'émissivité

Bien que le verre ait une émissivité entre 0,85 et 0,90 dans la bande de 8 à 14  $\mu\text{m}$ , il n'est pas facile de réaliser des mesures thermiques sur des surfaces en verre. La réflexion sur le verre étant spéculaire, les objets environnants de toutes températures peuvent être clairement vus sur l'image thermique. Dans le pire des cas, cela peut conduire à des erreurs d'interprétation (faux points chauds) et de mesure.



Relation entre l'émissivité du verre et l'angle d'incidence

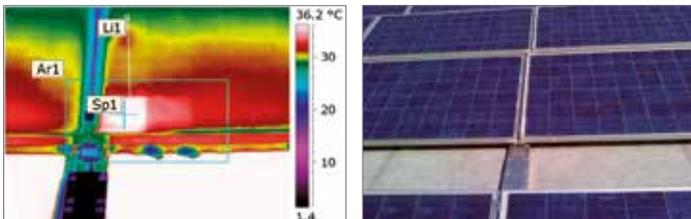


Valeurs recommandées (en vert) et à éviter (en rouge) pour l'angle d'observation avec une caméra thermique.

Pour éviter que la caméra et l'opérateur se reflètent dans le verre, ils ne doivent pas se placer face au module inspecté. Cependant, l'émissivité est maximale lorsque l'axe de la caméra est perpendiculaire à la surface. Un angle de 5° à 60° avec la normale constitue un bon compromis.

### Observations à grande distance

Il n'est pas toujours facile d'adopter un angle d'observation approprié pendant la préparation du mesurage. Dans la plupart des cas, un trépied se révèle utile. Dans certains cas difficiles, il peut être nécessaire de recourir à une plate-forme mobile, ou même de survoler les cellules photovoltaïques en hélicoptère. Dans ce cas, la grande distance de la cible peut être un avantage, car l'opérateur voit une zone plus grande en une seule passe. Pour garantir la qualité de l'image thermique à grande distance, la caméra doit présenter une résolution d'au moins 320 × 240 pixels, de préférence 640 × 480 pixels.

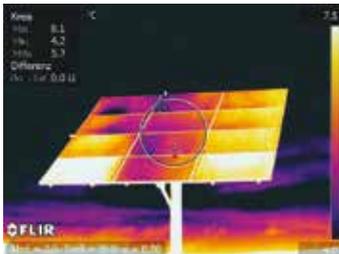


Les cellules solaires défectueuses produisent un excès de chaleur; ce qui les rend faciles à repérer grâce l'imagerie thermique.

Il convient aussi que la caméra possède un objectif interchangeable, pour que l'opérateur puisse le remplacer par un téléobjectif lorsqu'il effectue des observations à grande distance, par exemple à partir d'un hélicoptère. Il est toutefois conseillé d'utiliser un téléobjectif uniquement avec une caméra thermique de haute résolution. Les caméras thermiques de faible résolution ne détectent pas les petits détails révélateurs des défauts des panneaux solaires, lors d'un mesurage à grande distance à l'aide d'un téléobjectif.

### Un point de vue différent

Dans la plupart des cas, l'inspection thermique des modules photovoltaïques installés peut aussi être effectuée par l'arrière. Cette méthode minimise les reflets du soleil et des nuages. De plus, les températures obtenues à l'arrière peuvent être plus élevées, car la cellule est mesurée directement et non à travers le verre.



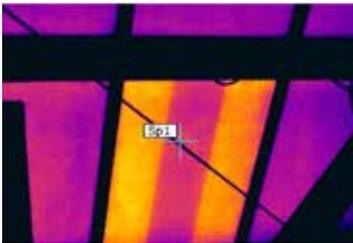
*Les points chauds de cette image thermique prise à l'avant du panneau solaire semblent indiquer que de nombreuses cellules sont inefficaces.*



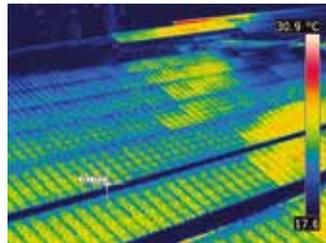
*Mais l'inspection par l'arrière n'indique aucun point chaud. Les points chauds sur l'autre face sont causés par la réflexion des nuages.*

## Conditions ambiantes de mesure

Il est préférable que le ciel soit clair lors des inspections thermographiques, car les nuages réduisent l'éclairement solaire et produisent des interférences par réflexion. Il est toutefois possible d'obtenir des images informatives en temps nuageux, à condition que la caméra thermique soit suffisamment sensible. L'absence du vent est souhaitable, car tout courant d'air sur la surface du module solaire provoque un refroidissement par convection et donc une réduction du gradient thermique. Plus l'air est frais, plus le contraste thermique peut être élevé. Tôt le matin, les conditions peuvent être favorables aux inspections thermographiques.



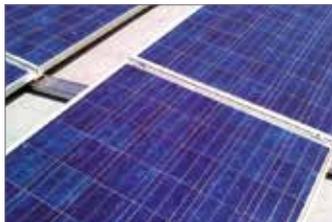
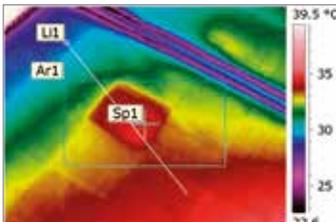
Deux séries de cellules apparaissent chaudes sur l'image thermique, ce qui indique une défaillance des diodes bypass.



Cette image thermique montre de grandes zones de température élevée. Sans informations complémentaires, il n'est pas évident de distinguer une anomalie thermique d'un ombrage ou des reflets.

Un autre moyen permettant d'améliorer le contraste thermique est de déconnecter les cellules de la charge, pour qu'aucun courant ne circule et que l'éclairement solaire soit l'unique source de chaleur. La charge est ensuite connectée, et les cellules sont observées pendant l'augmentation de la température.

Dans les circonstances normales, le système doit cependant être inspecté dans les conditions d'exploitation habituelles, c'est-à-dire avec une charge. Selon le type de cellule et le genre de défaut, des mesures sans charge ou en court-circuit peuvent apporter des informations supplémentaires.



Une caméra thermique permet de localiser rapidement les problèmes tels que cette cellule endommagée, et donc de les résoudre à bref délai.

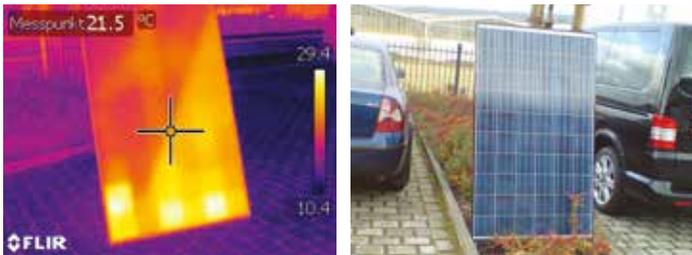
## Erreurs de mesure

Les erreurs de mesure se produisent essentiellement à cause d'un mauvais positionnement de la caméra et des conditions peu favorables. Les causes fréquentes sont :

- angle de vision trop faible,
- changement de l'éclairage solaire pendant le mesurage (en raison des changements dans la couverture nuageuse par exemple),
- reflets (par exemple du soleil, des nuages, des bâtiments environnants, du dispositif de mesure),
- ombrage partiel (par exemple par les bâtiments environnants ou d'autres structures).

## Que voit-on dans l'image thermique ?

Si certaines parties du panneau solaire sont plus chaudes que d'autres, elles seront immédiatement visibles sur l'image thermique. Selon leur forme et leur emplacement, ces points chauds peuvent indiquer différentes défaillances. Si l'ensemble du module est plus chaud que d'habitude, cela peut indiquer un problème d'interconnexion. Si certaines cellules ou séries de cellules présentent un point chaud ou des taches chaudes, c'est généralement dû à un défaut des diodes bypass, à un court-circuit interne ou à une disparité de cellules.



*Les points chauds sont ici facilement visibles sur l'image thermique, même de face.*

L'ombrage et les cellules fissurées apparaissent à l'écran sous forme de points chauds ou de taches polygonales. L'échauffement d'une cellule ou d'une partie de la cellule indique un défaut ou un ombrage. Il convient de comparer les images thermiques obtenues sous charge, hors charge et en court-circuit. La comparaison des images thermiques de l'avant et de l'arrière du module peut aussi apporter des informations précieuses. Bien sûr, l'identification correcte de la défaillance demande de tester électriquement et d'inspecter visuellement les modules suspects.

## Conclusion

L'inspection thermographique des systèmes photovoltaïques permet de localiser rapidement les défauts possibles au niveau des cellules et des modules, ainsi que les éventuels problèmes d'interconnexion. Elle est menée dans les conditions normales de fonctionnement et ne nécessite pas la mise à l'arrêt.

Pour obtenir des images thermiques correctes et pertinentes, il faut que certaines conditions soient réunies :

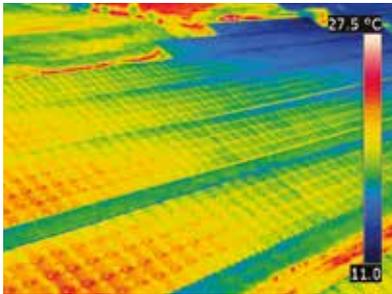
- il faut utiliser une caméra thermique appropriée, dotée des accessoires nécessaires,
- l'éclairement solaire doit être suffisant (au moins  $500 \text{ W/m}^2$ , de préférence plus de  $700 \text{ W/m}^2$ ),
- l'angle d'observation doit être dans l'intervalle favorable (entre  $5^\circ$  et  $60^\circ$ ),
- il faut prévenir l'ombrage et les reflets.

Les caméras thermiques sont surtout utilisées pour localiser les défauts. La classification et l'évaluation des anomalies détectées nécessitent une bonne compréhension de la technologie solaire, une connaissance du système inspecté et des mesures électriques complémentaires. Il est évidemment indispensable de documenter l'inspection de manière appropriée ; il faut indiquer toutes les conditions ambiantes, les mesures complémentaires et toutes les informations utiles.

De l'assurance qualité lors de l'installation aux vérifications périodiques, les inspections réalisées avec une caméra thermique contribuent à une surveillance simple et complète de l'état du système. Cela aide à maintenir les panneaux solaires en fonctionnement et à allonger leur durée de vie. L'utilisation de caméras thermiques pour l'inspection des panneaux solaires améliore donc considérablement le retour sur investissement.



*Ces images de l'arrière du même panneau solaire comportent beaucoup moins de reflets qu'à l'avant ; les mesures de température gagnent donc en exactitude.*



Pour ne pas tirer de conclusion erronée, il faut orienter la caméra vers un angle correct.

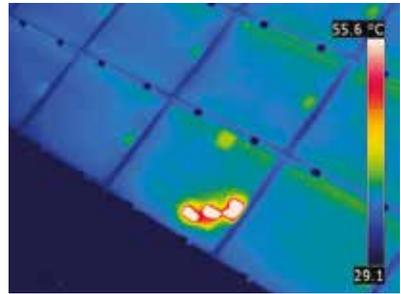
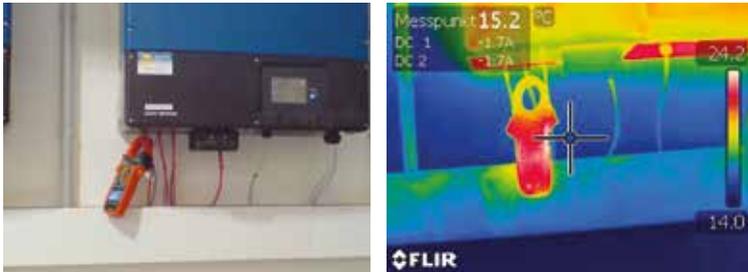


Image thermique aérienne d'une centrale solaire, obtenue avec une caméra FLIR P660. (Avec l'aimable autorisation de Evi Müllers, IMM.)

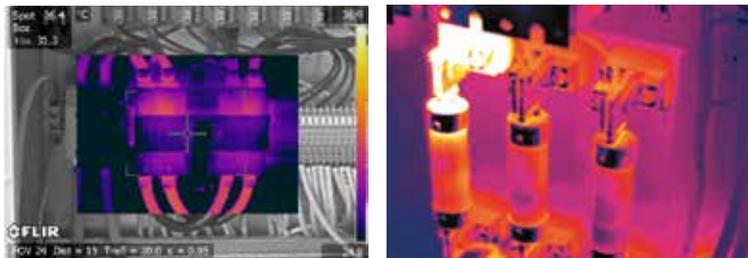
Type d'erreur	Exemple	Apparence dans l'image thermique
Défaut de fabrication	Impuretés et poches de gaz	Point chaud ou point froid
	Cellules fissurées	Échauffement selon une forme allongée
Déterioration	Fissures	Échauffement selon une forme allongée
	Cellules fissurées	Une partie de la cellule est plus chaude
Ombrage temporaire	Pollution	Points chauds
	Crottes d'oiseaux	
	Humidité	
Diode bypass défectueuse (court-circuit et circuit moins protégé)	-	"Taches chaudes"
Défaut d'interconnexion	Module ou série de modules non connectés	Un module ou une série de modules sont nettement plus chauds

Tableau 1 : Liste des erreurs fréquentes dans les modules (source : ZAE Bayern e.V., "Überprüfung der Qualität von Photovoltaik-Modulen mittels Infrarot-Aufnahmen" ["Vérification de la qualité des modules photovoltaïques au moyen de l'imagerie infrarouge"], 2007)

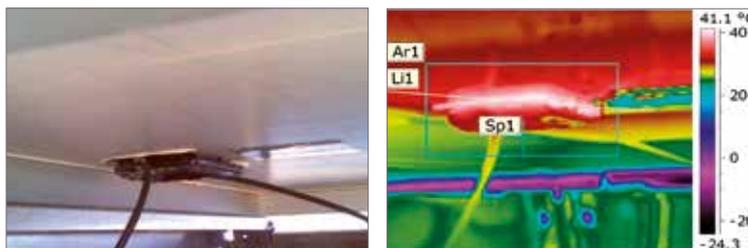
Les caméras thermiques peuvent faire bien plus qu'inspecter les panneaux solaires. Elles sont aussi très utiles pour la maintenance de l'ensemble du circuit électrique, y compris les connecteurs, les câbles, les onduleurs, etc.



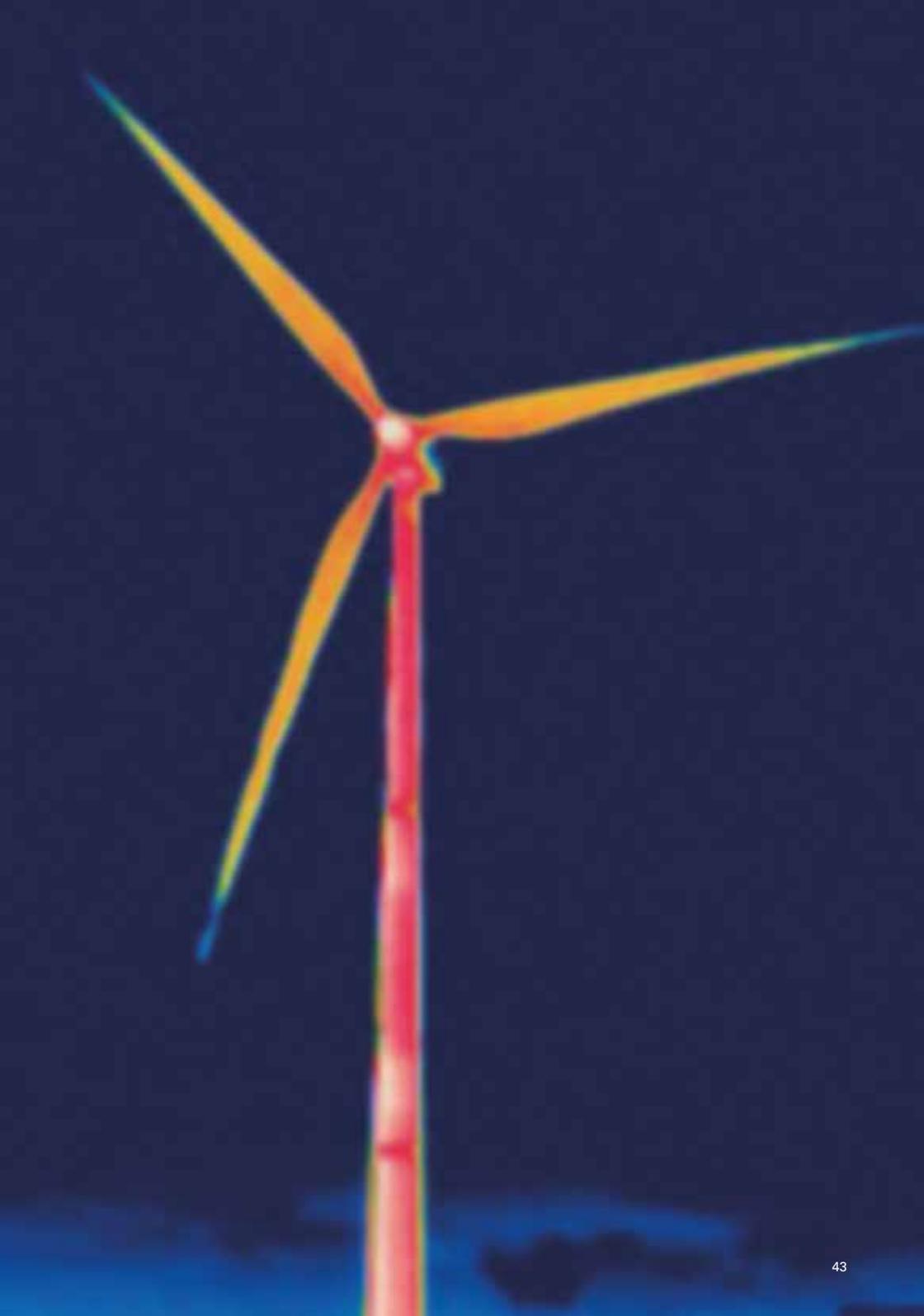
Cet onduleur convertit en courant alternatif le courant continu produit par les panneaux solaires. Ce matériel peut être inspecté avec une caméra thermique. Une pince de courant Exttech peut fournir les informations complémentaires.



Les caméras thermiques FLIR sont utilisées pour inspecter l'ensemble de l'installation solaire, y compris les câbles, les connecteurs, les boîtiers de fusibles, les onduleurs.



Les caméras thermiques FLIR peuvent aussi être utilisées pour examiner les autres composants de l'installation solaire, comme ce connecteur défectueux.



# 6

## Inspection thermique des éoliennes

L'énergie éolienne est l'une des énergies renouvelables les plus répandues. De nouvelles éoliennes sont installées tous les ans, dans toute l'Europe et dans le monde entier. Elles doivent être surveillées et entretenues. Les caméras thermiques FLIR peuvent jouer un rôle important dans les programmes de maintenance préventive.



Les caméras thermiques de FLIR Systems sont utilisées pour inspecter des installations électriques et mécaniques dans le monde entier. Les données thermiques collectées contribuent à prévenir les accidents dangereux et les pannes coûteuses. Tous les composants critiques d'une éolienne peuvent être surveillés au moyen d'une caméra thermique FLIR Systems.

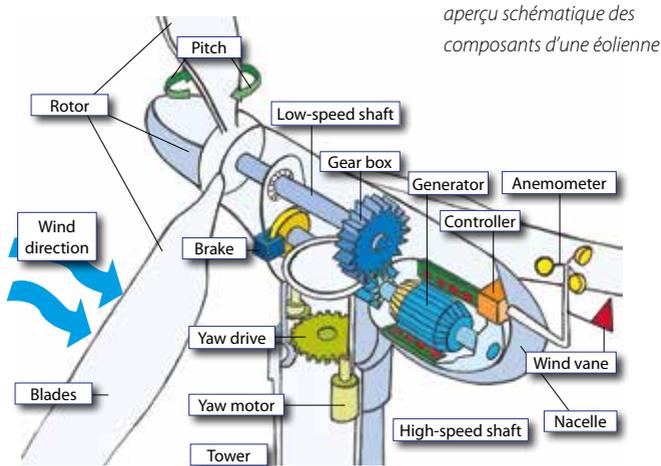


Image thermique d'une éolienne, prise au niveau du sol

## Accidents

Les éoliennes comportent de nombreux composants électriques et mécaniques différents. Comme tout matériel, ces composants peuvent s'user et tomber en panne. Cela peut provoquer non seulement des arrêts de production coûteux, mais aussi des accidents dangereux.

La défaillance du mécanisme de frein ou de la boîte de vitesses est une cause fréquente d'accident. La boîte de vitesses et les freins évitent aux pales de tourner trop vite. Si l'un de ces composants est défaillant, la vitesse de rotation de l'éolienne peut atteindre des valeurs beaucoup plus élevées que la normale, ce qui exerce sur les pales des charges bien supérieures à celles pour lesquelles elles sont conçues.



## Danger de mort

Dans ce cas, la vitesse d'extrémité d'une pale peut atteindre plusieurs centaines de kilomètres par heure. Si une pale (ou un morceau de pale) se détache soudainement du rotor, elle est donc éjectée au loin avec une énergie cinétique et une quantité de mouvement considérables. Cela peut provoquer des accidents mortels. Il existe de nombreux exemples de projection de gros débris à plusieurs centaines de mètres du mât.

Les inspections au moyen de caméras thermiques peuvent contribuer à prévenir de tels accidents. Généralement, qu'ils soient électriques ou mécaniques, les composants chauffent avant de tomber en panne. Les caméras thermiques permettent de repérer ces échauffements avant l'incident. Ils apparaissent clairement sur l'image thermique, sous la forme de points chauds.

### **L'imagerie thermique vous aide à voir le problème**

Alors que les autres technologies vous indiquent s'il y a un problème avec la machine dans son ensemble, les caméras thermiques vous montrent exactement le composant en cause. Fiabilité, rapidité, efficacité : l'imagerie thermique peut être utilisée pour repérer les signes d'usure des roulements, des arbres, des engrenages et des freins. Vous pouvez alors réparer ou remplacer les composants avant qu'une panne se produise.

### **Vérifier l'ensemble du système**

Les caméras thermiques permettent d'inspecter les composants électriques tels que les transformateurs, les connecteurs, les contrôleurs, les moteurs d'orientation. L'imagerie thermique est la seule technologie qui permet d'inspecter tous les composants électriques et mécaniques de l'éolienne et de son système électrique.

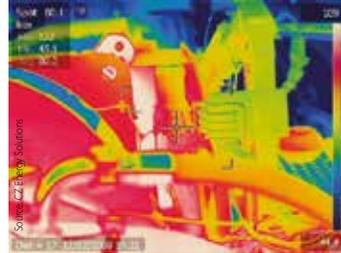
### **Une caméra thermique FLIR : l'outil idéal**

Dans le monde entier, les équipes de maintenance des éoliennes font confiance aux caméras thermiques. La forme de la caméra est importante pour son utilisabilité sur le terrain. Toutes les caméras FLIR sont aussi compactes que possible, ergonomiques et facile d'emploi, autant de caractéristiques cruciales si vous devez grimper à plusieurs dizaines de mètres du sol pour atteindre l'objet à inspecter.

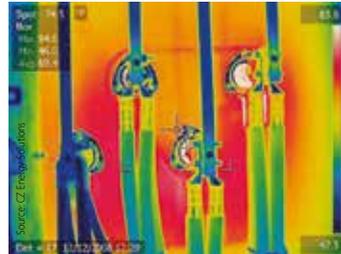


*Cet énorme assemblage d'une boîte de vitesses et d'un frein à disque, de 12 tonnes, est levé à la grue à une hauteur de 60 mètres, puis installé dans cette nacelle d'éolienne.*

Source: Paul Anderson (CC SA 2.0)



*Images visible et thermique de la transmission d'une éolienne. Cette inspection a été effectuée à une hauteur d'environ 50 mètres.*



*Les caméras thermiques permettent d'examiner tout le système d'installation, y compris les systèmes annexes de l'éolienne. Le connecteur de phase de droite est beaucoup plus chaud que les deux autres. Ce défaut a été identifié et réparé avant que la panne se produise.*

Autre élément important : l'objectif. FLIR Systems propose en option des objectifs grand angle de 45° et 90°. Cela permet de prendre des images des grandes pièces en une seule fois, même à courte distance. Cela importe beaucoup lors de l'inspection d'une éolienne, puisqu'il est impossible de prendre du recul.

FLIR Systems propose une gamme complète de caméras thermiques pour les inspections de maintenance préventive. De l'entrée de gamme i3, compacte, à la B660, perfectionnée, en passant par les séries Ebx et B, pratiques, FLIR Systems dispose de la caméra qui convient exactement à chaque application.



## Choisir le bon fournisseur de caméra thermique

Une caméra thermique représente un investissement à long terme. Par conséquent, il faut non seulement choisir la caméra thermique qui répond le mieux à vos besoins, mais aussi un fournisseur capable de vous assister pendant une longue période.

Une marque bien établie peut vous proposer ceci :

- **Matériel**  
Les besoins sont différents selon les utilisateurs. Il est donc très important que le fabricant puisse proposer une gamme complète de caméras thermiques, allant des modèles économiques aux modèles perfectionnés, pour que vous puissiez choisir celui qui répond le mieux à vos besoins.
- **Logiciels**  
Quelle que soit votre application, vous avez besoin des logiciels pour analyser les images thermiques et pour les intégrer à un rapport pour vos clients ou votre hiérarchie. Choisissez une caméra thermique pouvant être combinée avec le logiciel nécessaire pour votre application.
- **Accessoires**  
Une fois que vous aurez commencé à utiliser une caméra thermique et découvert tous ses avantages, il est possible que vos besoins évoluent. Assurez-vous que votre système peut suivre cette évolution. Le fabricant doit proposer différents types d'objectifs, d'écrans, etc.
- **Services**  
Bien que la plupart des caméras thermiques utilisées dans le bâtiment se passent quasiment de la maintenance, il faut être certain qu'il existe un centre de services près de chez vous, au cas où il arriverait quelque chose à la caméra. Les caméras thermiques doivent aussi être ré-étalonnées de temps en temps. Dans les deux cas, plutôt que d'envoyer votre caméra à l'autre bout du monde, il serait préférable de vous adresser à un réparateur local, pour qu'elle vous soit rendue le plus rapidement possible.
- **Formation**  
Le monde de l'imagerie thermique ne se limite pas à la manipulation d'une caméra. Choisissez un fournisseur pouvant assurer une bonne formation et, lorsque c'est nécessaire, une assistance pour votre application.



# 8

## Trouver la meilleure solution

Six paramètres sont importants dans la recherche d'une caméra thermique, d'un logiciel et d'une formation appropriés :

1. La qualité de l'image
2. La sensibilité thermique
3. L'exactitude
4. Les fonctions de la caméra
5. Les logiciels
6. Les offres de formation

### 1. Qualité de l'image

La qualité de l'image ou la résolution de la caméra est un facteur important. Les modèles les plus économiques possèdent une résolution de  $60 \times 60$  pixels, les plus perfectionnés de  $640 \times 480$  pixels.

Les caméras thermiques de  $320 \times 240$  ou  $640 \times 480$  pixels produisent une image d'excellente qualité. Pour les inspections avancées des thermographes professionnels, la résolution de  $640 \times 480$  pixels devient un standard.

Une caméra de  $640 \times 480$  pixels fournit 307.200 points de mesure par image, soit quatre fois plus qu'une caméra de  $320 \times 240$  pixels (76.800 points de mesure). Non seulement la mesure est plus précise, mais cela fait une énorme différence sur la qualité de l'image.

Une résolution élevée permet de voir, de mesurer et de comprendre plus précisément.

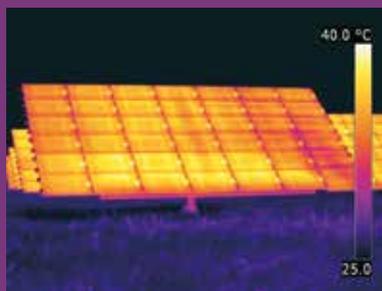


image thermique: 640 x 480 pixels

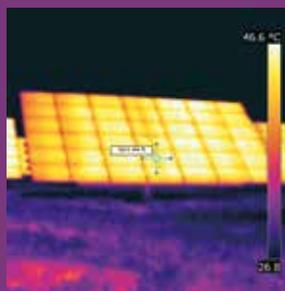
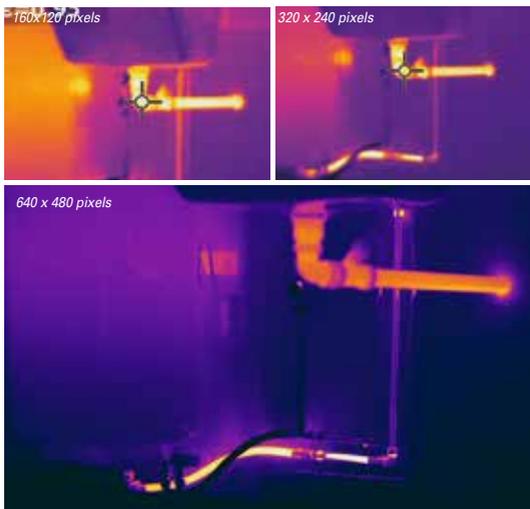


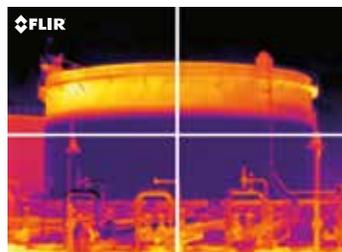
image thermique: 180 x 180 pixels

L'image est plus détaillée, même quand l'on est placé à une longue distance. On peut voir une zone plus grande sans perdre les informations thermiques.

Avec une caméra de  $640 \times 480$  pixels dotée d'un objectif de  $45^\circ$ , une seule image suffit pour inspecter une zone de  $4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$  à 5 mètres de distance. Pour le même résultat avec une caméra de  $320 \times 240$  pixels dotée du même objectif de  $45^\circ$ , il faut se placer deux fois plus près et prendre quatre images. Une résolution élevée améliore l'efficacité sur le terrain, permet de prendre moins d'images et fait gagner du temps lors de la rédaction du rapport.



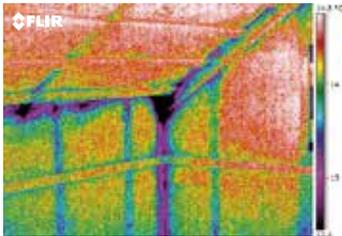
*640 x 480 pixels  
Une image IR suffit*



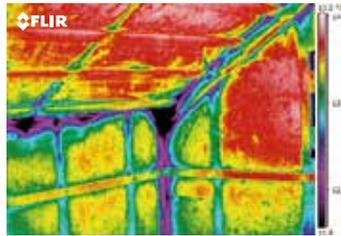
*320 x 240 pixels  
Quatre images sont nécessaires, prises à mi-distance*

## 2. Sensibilité thermique

La sensibilité thermique est la plus petite différence de température détectée et visualisée par la caméra. Une meilleure sensibilité thermique est donc représentée par une valeur plus petite. Elle est habituellement exprimée en °C ou en mK. Pour les applications du bâtiment, les caméras thermiques les plus perfectionnées présentent une sensibilité thermique de 0,03 °C (30 mK).



Sensibilité de 65 mK



Sensibilité de 45 mK

La capacité à détecter ces infimes différences de température est importante dans la plupart des applications d'imagerie thermique. La sensibilité de la caméra est particulièrement importante lorsque les différences de température sont faibles. Il faut une sensibilité élevée pour prendre des images plus détaillées, menant à un meilleur diagnostic et à des actions plus appropriées. Plus la sensibilité est élevée, mieux la caméra peut détecter d'infimes détails, même si les différences de température sont faibles.

## 3. Exactitude

Toutes les mesures comportent une incertitude, et les mesures de température par imagerie thermique ne font malheureusement pas l'exception. Mais l'exactitude est quantifiable.

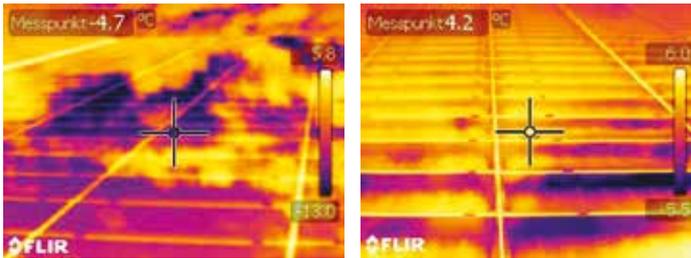
Dans les fiches techniques, elle est exprimée à la fois en pourcentage et en degrés Celsius. C'est la marge d'erreur de la caméra. L'écart entre la mesure et la température réelle reste inférieur soit à ce pourcentage, soit à la valeur mentionnée.

Les valeurs en cours actuellement dans le secteur sont  $\pm 2\%$  /  $\pm 2\text{ °C}$ . Les caméras thermiques les plus perfectionnées de FLIR Systems font encore mieux, avec  $\pm 1\%$  /  $\pm 1\text{ °C}$ .

#### 4. Fonctions de la caméra

##### *Émissivité et température apparente réfléchie*

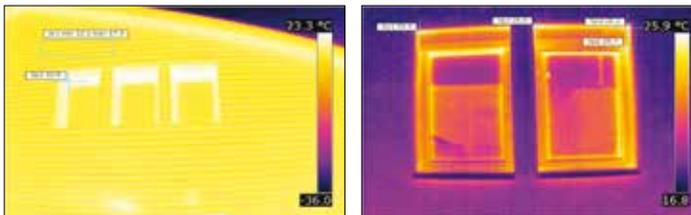
Comme cela est expliqué dans le chapitre précédent, l'émissivité de l'objet est un paramètre très important qui doit être pris en compte. Toutes les caméras thermiques FLIR pour le bâtiment permettent à l'opérateur de régler l'émissivité et la température apparente réfléchie. Ces réglages font une différence considérable. Lorsque vous achetez une caméra thermique, assurez-vous qu'elle possède ces fonctions.



*Ces images thermiques montrent clairement le problème de la réflexion. On voit les nuages se refléter sur la surface inspectée. La température mesurée est donc une combinaison de celle du panneau solaire et de la température apparente réfléchie.*

##### *Correction manuelle du niveau et de la plage*

La correction manuelle de la plage et du niveau des images thermiques est une autre fonction importante de la caméra. Sans elle, la caméra utilise une échelle de température allant de la valeur minimale à la valeur maximale de la scène. Or l'opérateur s'intéresse parfois uniquement à une petite partie de cette échelle de température.



*Sur l'image de gauche, la plage calculée automatiquement est trop grande. Sur celle de droite, la plage ayant été réglée, la perte de chaleur devient clairement visible.*

## Alarme de point de rosée, d'humidité relative et d'isolation

### - Alarme de point de rosée :

Le point de rosée peut être considéré comme la température à laquelle l'humidité d'un certain volume d'air se condense. C'est le point où l'humidité relative est de 100 %. Après réglage approprié de la caméra, l'alarme de point de rosée détecte automatiquement les zones où cela peut se produire à cause des défauts dans la structure du bâtiment.

### - Alarme d'humidité relative :

Dans certaines situations, la moisissure apparaît là où l'humidité relative est inférieure à 100 %. L'alarme de point de rosée ne détecte pas ces zones puisqu'elle se déclenche lorsque l'humidité relative atteint 100 %.

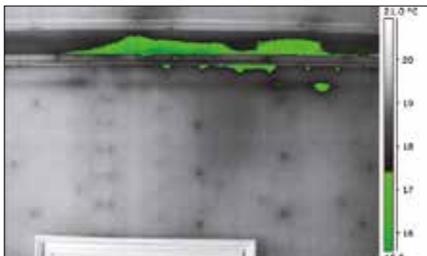
Il faut donc utiliser l'alarme d'humidité relative, dont la valeur seuil est réglable.

### - Alarme d'isolation :

L'alarme d'isolation détecte les zones du bâtiment où l'isolation peut être déficiente. Elle se déclenche lorsque la déperdition d'énergie par les murs devient supérieure à une valeur prédéfinie.



*L'alarme d'humidité relative vous signale les zones où la condensation risque d'apparaître. Dans l'image ci-contre, c'est le cas de la zone en bleu.*



*L'alarme d'isolation colore les zones dont la température est inférieure ou supérieure à une valeur donnée.*

### Appareil photo numérique

Il est parfois très difficile de reconnaître les objets sur l'image thermique. Dans ce cas, il est utile de prendre une photo de la cible en lumière visible. La plupart des caméras thermiques FLIR comportent un appareil photo numérique. De nombreux professionnels du bâtiment utilisant les caméras thermiques déclarent prendre aussi une image visible de chaque zone inspectée, pour pouvoir ensuite reconnaître les détails de l'image thermique.

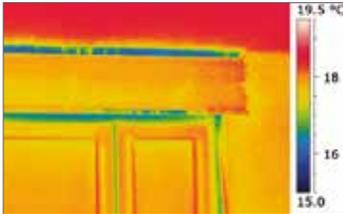


Image thermique



Image visible

### Éclairage par LED

L'éclairage intégré à la caméra permet à l'appareil photo numérique de prendre des images claires quel que soit l'éclairage ambiant. De plus, il permet d'utiliser au mieux les fonctions Image dans l'image et Fusion.

### Image dans l'image

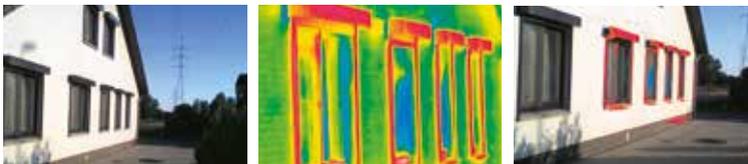
Cette fonction combine les images de la caméra thermique et de l'appareil photo numérique. Une partie de l'image thermique est placée sur l'image visible, dans un cadre positionnable et redimensionnable. Cela aide à mieux localiser les problèmes.



Ce cas de dégât des eaux montre clairement les avantages de la fonction Image dans l'image. Le client comprend facilement où l'image a été prise, alors que ce serait plus difficile avec une image thermique seule.

### *Fonction Fusion*

Elle combine les deux images en remplaçant l'image visible par l'image thermique uniquement dans les zones où la température est comprise entre deux valeurs paramétrées. Cela aide à identifier les problèmes et augmente l'efficacité des réparations.



*Image visible*

*Image thermique*

*Image obtenue par la fonction Fusion*

### *Pointeur laser*

Certaines caméras thermiques comportent un pointeur laser. C'est un avantage important pour plusieurs raisons.

Le pointeur laser vous permet de voir précisément sur quel objet la caméra est dirigée. Par simple pression d'un bouton, le laser vous indique la cible avec exactitude : vous identifiez l'objet de la mesure sans devoir le deviner.

L'autre raison est la sécurité. Le pointeur laser neutralise la tendance à pointer les objets du doigt, ce qui peut être dangereux dans certains environnements.

### *Objectifs interchangeable*

Une fois que vous aurez commencé à utiliser une caméra thermique et découvert tous ses avantages, il est possible que vos besoins évoluent. Des objectifs interchangeables permettent d'adapter votre caméra thermique à toutes les situations. L'objectif standard convient à la plupart d'entre elles, mais vous pouvez parfois avoir besoin d'un champ de vision différent.

Dans certains cas, l'espace manque pour reculer d'un pas et pouvoir cadrer l'ensemble. Un objectif grand angle peut être la solution appropriée. Il permet à l'opérateur de voir l'ensemble d'une maison à quelques mètres de distance.

Lorsque la cible est à une certaine distance, un téléobjectif peut être utile. C'est l'idéal pour les cibles petites ou distantes.

### *Ergonomie et facilité d'emploi*

Tous les outils d'usage fréquent doivent être légers, compacts et faciles d'emploi. Comme la plupart des opérateurs utilisent leur caméra thermique souvent et de manière prolongée, l'ergonomie est très importante. Pour une utilisation efficace, la structure des menus et les boutons doivent être très intuitifs et faciles d'utilisation.

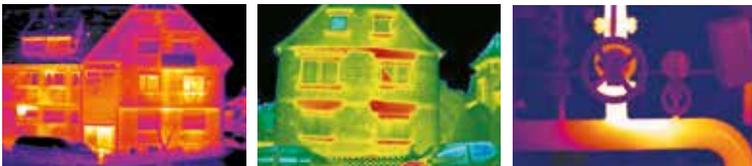


Pour chacune de ses caméras thermiques, FLIR Systems optimise le poids, les fonctionnalités et la facilité d'emploi. Cette politique a été récompensée par plusieurs prix du design.

### *Format des images*

La vitesse de préparation du rapport dépend en partie du format des images enregistrées par la caméra thermique. Certaines caméras enregistrent les données dans un format propriétaire, ce qui vous oblige à utiliser un logiciel supplémentaire pour convertir les images au format JPG standard.

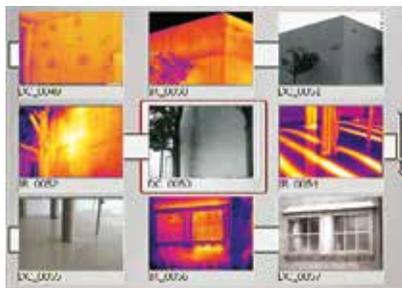
Une caméra FLIR produit des images JPG radiométriques. Cela signifie que toutes les données de température sont incluses dans l'image, et qu'il est facile d'intégrer les images dans un logiciel standard.



*Toutes les caméras thermiques FLIR enregistrent les images au format JPEG.*

### *Galerie de vignettes*

Lorsque vous enregistrez des images thermiques sur site, il peut être important de les comparer à des images déjà en mémoire. Toutes les caméras thermiques FLIR possèdent une galerie de vignettes facile d'accès, qui vous aide à revoir les images enregistrées et à retrouver celle que vous cherchez. C'est très pratique et cela fait gagner du temps!



### *Des commentaires vocaux et textuels*

Pour raccourcir encore les phases d'inspection et de documentation, certaines caméras thermiques permettent d'enregistrer des commentaires textuels à l'aide d'un clavier sur l'écran tactile. Cela facilite et accélère la rédaction du rapport. Certaines caméras thermiques permettent même d'enregistrer des commentaires vocaux pendant l'inspection, ce qui vous dispense totalement de prendre des notes à ce stade.



### *Localisation GPS*

Vous est-il arrivé d'oublier où une image thermique a été prise ? Et les notes correspondantes, qui vous auraient aidé à vous en souvenir, étaient introuvables ? Les caméras les plus perfectionnées possèdent une fonction GPS pour géolocaliser les images thermiques. La technologie GPS permet d'enregistrer les informations géographiques de chaque image thermique.



### *Compatibilité avec d'autres outils d'essai et de mesure*

Parfois, la température n'est pas une information suffisante. Pour être entièrement renseignés sur le bâtiment inspecté, de nombreux opérateurs utilisent des capteurs externes, comme des hygromètres. Ils notent les mesures de cet instrument pour ensuite les recopier dans leur rapport. Cette méthode est inefficace et sujette aux erreurs humaines.

Pour améliorer la fiabilité et l'efficacité des inspections, FLIR Systems propose des caméras thermiques capables d'enregistrer automatiquement dans l'image thermique les valeurs relevées par un hygromètre, via une connectivité Bluetooth nommée MeterLink. Il devient inutile de prendre des notes, puisque les mesures des hygromètres multifonctions Extech sont transférées automatiquement, sans fil, à la caméra, et enregistrées dans l'image thermique correspondante.



*MeterLink établit une connexion sans fil entre un hygromètre Extech et une caméra thermique FLIR.*

### *Connectivité sans fil*

La technologie Wi-Fi permet de communiquer sans fil avec la caméra, par exemple pour l'envoi direct des images de la caméra à un ordiphone ou à une tablette électronique.



## 5. Logiciels

Après l'inspection, vous devez probablement présenter les résultats à vos collègues ou à vos clients. L'analyse des images thermiques et la création d'un rapport d'inspection complet sont des tâches importantes. Vous devez vous assurer que votre caméra thermique est livrée avec un logiciel permettant de faire cela.



La plupart des caméras thermiques comportent un logiciel avec des fonctions de base d'analyse et de création des rapport. Elles possèdent des outils de mesure élémentaires comme la mesure en un point. Si vous avez besoin d'un plus grand nombre d'outils d'analyse et de documentation, le fabricant doit vous proposer un pack logiciel plus étendu. Par exemple, ce pack doit :

- permettre une libre conception et présentation des rapports, pour une véritable personnalisation,
- comporter de puissantes fonctions d'analyse des températures : en plusieurs points, sur des zones, calcul de différences,
- posséder une fonction TripleFusion, Image dans l'image (positionnable, dimensionnable, zoomable),
- être capable de suivre les tendances,
- effectuer des calculs sur les mesures à l'aide de formules personnalisées,
- lire des séquences radiométriques dans le rapport,
- pouvoir trouver rapidement les images à placer dans le rapport,
- permettre de composer un panorama à partir de plusieurs images.

Armé de bons résultats d'analyse et d'un bon rapport d'inspection, vous pourrez montrer clairement à votre hiérarchie ou à votre client l'emplacement des problèmes potentiels, et les convaincre d'entreprendre des actions préventives.



## 6. Offres de formation

FLIR Systems coopère avec l'ITC (Infrared Training Center), un organisme de formation de niveau international. L'ITC propose toutes sortes de cours, de la brève introduction à la formation de certification. Pour plus d'informations, veuillez visiter [www.infraredtraining.com](http://www.infraredtraining.com) ou [www.irtraining.eu](http://www.irtraining.eu).



# 9

## Comment effectuer les inspections thermiques?

Votre caméra thermique a été livrée, et vous pouvez commencer les inspections. Par où commencer? Ce chapitre du guide présente quelques méthodes d'imagerie thermique pour vous aider à démarrer.

### 1. Définir les tâches

Commencez par vous entretenir avec le client sur son expérience du bâtiment à inspecter. Par exemple, la consommation énergétique a-t-elle récemment augmenté? Fait-il froid à l'intérieur? Y a-t-il des courants d'air? Ensuite, mesurez la température intérieure et extérieure, et vérifiez que la différence est suffisante pour mener l'inspection – on conseille au moins 10 °C.

### 2. Commencer par l'extérieur

Commencez l'inspection thermographique par l'extérieur. Cela permet de repérer rapidement l'absence d'isolation et les ponts thermiques. Il est important de prendre aussi des images thermiques des zones apparemment dénuées de problème. Elles pourront être comparées avec les images des défauts, pour évaluer l'étendue des problèmes identifiés.

### 3. Continuer à l'intérieur

L'étape suivante consiste à examiner l'intérieur. Elle nécessite une préparation soigneuse pour produire des résultats exacts. Par exemple déplacer les meubles disposés contre un mur extérieur et enlever les rideaux. Il est conseillé de procéder à cette préparation au moins six heures avant l'inspection, afin que l'effet isolant du mobilier ait disparu et n'influe pas sur les relevés de la caméra thermique. Comme indiqué plus haut, pour produire des résultats exacts, l'inspection thermographique nécessite une différence de température importante (au moins 10 °C) entre l'air intérieur et l'extérieur.

Dans ces conditions, vous pouvez examiner chaque pièce au moyen de la caméra thermique. Il convient de noter précisément le lieu de chaque image thermique. Mieux encore, l'annotation d'un plan du bâtiment avec des flèches permet d'indiquer l'angle de chaque prise de vue.

#### 4. Effectuer un essai d'étanchéité à l'air

Les petites fissures et crevasses peuvent créer un courant d'air. Ce n'est pas seulement ennuyeux ; cela peut provoquer des déperditions importantes. Une fuite d'air peut représenter la moitié de l'énergie consommée pour le chauffage. Un essai d'étanchéité par pressurisation (BLOWER DOOR) peut mettre en évidence les plus petites fissures.

Cet essai accentue les fuites en forçant le passage d'air au travers des défauts de l'enveloppe du bâtiment.

Il nécessite le matériel suivant : un ventilateur étalonné, un panneau de porte spécial et un instrument de mesure du débit et de la pression. Le panneau de porte est raccordé au ventilateur et installé dans l'ouverture d'une porte extérieure. Le ventilateur extrait de l'air du bâtiment (ou en introduit à l'intérieur), ce qui crée une petite différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur.



*Le matériel d'essai de pressurisation est généralement installé sur la porte d'entrée.*

Lorsque l'air est plus froid à l'extérieur, on aspire généralement l'air intérieur pour créer une dépression d'environ 50 Pa.

L'air extérieur se glisse alors à l'intérieur par toutes les fissures, refroidissant les zones environnantes. Cette différence de température apparaît clairement sur l'image thermique, sous forme de point froid. Vous pouvez alors localiser les fuites et déterminer comment l'air traverse l'enveloppe.

## **5. Effectuer l'analyse et générer le rapport**

Lorsque toutes les pièces ont été inspectées, il est temps de retourner au bureau pour analyser les images et documenter les résultats dans un rapport.

Les logiciels exclusifs de FLIR comme QuickReport, QuickPlot, BuildIR et Reporter vous permettent de créer rapidement des rapports d'inspection complets, à destination de vos collègues ou de vos clients.



### *FLIR BuildIR*

Le logiciel FLIR BuildIR aide à analyser les images thermiques et permet de présenter dans un rapport professionnel, de manière quantitative, les problèmes de construction comme les infiltrations d'air, les défauts d'isolation, les ponts thermiques et l'humidité. Doté de nouvelles fonctions exclusives, il permet de quantifier les déperditions énergétiques et d'en estimer le coût.

Ce logiciel comporte un éditeur d'image pour l'analyse avancée de l'image thermique, une fonction panorama et un outil "capteur" pour enregistrer la courbe des conditions ambiantes de l'inspection. La fonction panorama permet de composer une grande image à partir de plusieurs. Elle permet aussi de la recadrer et d'en corriger la perspective. Autres fonctions remarquables : la quantification sur grille/zone, un calculateur pour estimer les coûts énergétiques, et la personnalisation des modèles fournis pour vos rapports d'inspection des bâtiments.

### *FLIR Reporter*

Étant basé sur le traitement de texte Microsoft Office Word, d'usage courant, FLIR Reporter est intuitif et facile d'emploi. Comme l'utilisation de Word est largement connue, une formation minimale vous suffira pour produire des rapports professionnels à l'aide des fonctions du traitement de texte, y compris le correcteur orthographique et grammatical.

FLIR Reporter comporte aussi de nombreuses fonctions perfectionnées, comme : l'image dans l'image, la Fusion, l'accès aux données de localisation GPS, le zoom numérique, la modification de la palette des couleurs, la lecture des commentaires vocaux enregistrés sur le terrain et la conversion automatique des rapports au format pdf d'Adobe.

Voici les coordonnées de nos experts en caméras thermiques :







FLIR i3 / i5 / i7



FLIR Série Ebx



FLIR Série B



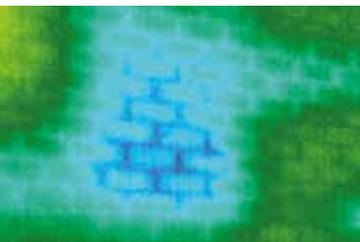
FLIR T640bx



FLIR B620/B660



\* Après enregistrement du produit sur notre site [www.flir.com](http://www.flir.com)



Voici les coordonnées de nos experts en caméras infrarouges :

**FLIR Commercial Systems B.V.**

Luxemburgstraat 2  
2321 Meer  
Belgium  
Tel. : +32 (0) 3665 5100  
Fax : +32 (0) 3303 5624  
e-mail: flir@flir.com

**FLIR Systems Germany**

Berner Strasse 81  
D-60437 Frankfurt am Main  
Germany  
Tel.: +49 (0)69 95 00 900  
Fax: +49 (0)69 95 00 9040  
e-mail: flir@flir.com

**FLIR Systems Spain**

Avenida de Bruselas, 15- 3º  
28108 Alcobendas (Madrid)  
Spain  
Tel. : +34 91 573 48 27  
Fax.: +34 91 662 97 48  
e-mail: flir@flir.com

**FLIR Systems Sweden**

Rinkebyvägen 19  
PO Box 3  
SE-182 11 Danderyd  
Sweden  
Tel.: +46 (0)8 753 25 00  
Fax: +46 (0)8 753 23 64  
e-mail: flir@flir.com

**FLIR Systems France**

19, bld Bidault  
77183 Croissy-Beaubourg  
France  
Tel.: +33 (0)1 60 37 01 00  
Fax: +33 (0)1 64 11 37 55  
e-mail : flir@flir.com

**FLIR Systems, Middle East FZE**

Dubai Airport Free Zone  
P.O. Box 54262  
Office B-22, Street WB-21  
Dubai - United Arab Emirates  
Tel.: +971 4 299 6898  
Fax: +971 4 299 6895  
e-mail: flir@flir.com

**FLIR Systems UK**

2 Kings Hill Avenue - Kings Hill  
West Malling  
Kent  
ME19 4AQ  
United Kingdom  
Tel.: +44 (0)1732 220 011  
Fax: +44 (0)1732 843 707  
e-mail: flir@flir.com

**FLIR Systems Italy**

Via Luciano Manara, 2  
I-20812 Limbiate (MB)  
Italy  
Tel.: +39 (0)2 99 45 10 01  
Fax: +39 (0)2 99 69 24 08  
e-mail: flir@flir.com

**FLIR Systems Russia**

6 bld.1, 1st Kozjevnickesky lane  
115114 Moscow  
Russia  
Tel.: + 7 495 669 70 72  
Fax: + 7 495 669 70 72  
e-mail: flir@flir.com