



Les caméras thermiques : un outil rapide et fiable pour tester les panneaux solaires

L'assurance qualité est d'une importance fondamentale pour les panneaux photovoltaïques. Ces panneaux doivent fonctionner sans défaillance pour être efficaces dans la production d'électricité, atteindre une grande durée de vie et apporter un retour sur investissement élevé. Pour écarter les défaillances, il faut évaluer les performances des panneaux par une méthode rapide, simple et fiable, à la fois pendant la production et après l'installation.

L'utilisation des caméras thermiques pour l'évaluation des panneaux photovoltaïques 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 de visualiser de grandes surfaces en peu de temps.

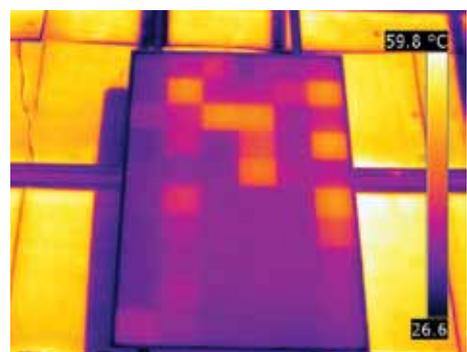
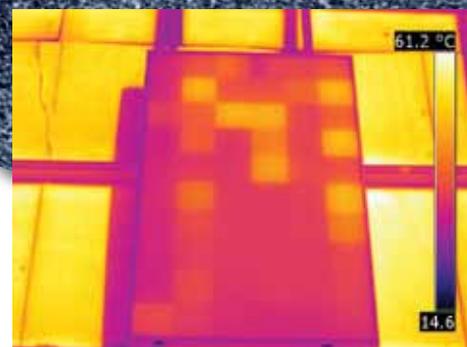
Dans le domaine de la recherche et développement (R&D), les caméras thermiques sont déjà utilisées en tant qu'outil d'évaluation des cellules et panneaux photovoltaïques. Pour ces mesures sophistiquées, les laboratoires utilisent généralement des caméras très performantes, avec détecteur refroidi, dans des conditions contrôlées.

Mais la recherche n'est pas le seul domaine évaluant les panneaux solaires au moyen de caméras thermiques. Les caméras thermiques non refroidies sont de plus en plus utilisées pour contrôler la qualité de ces panneaux avant installation, et pour des vérifications périodiques de maintenance après installation. L'aspect portable et la légèreté de ces caméras économiques apportent une grande souplesse d'utilisation sur le terrain. Avec une caméra thermique, les zones

pouvant poser un 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. Les exemples donnés dans cet article concernent des modules photovoltaïques composés de cellules cristallines. Cependant, les règles s'appliquent aussi à l'inspection thermographique des modules à couche mince, car elles découlent des mêmes notions de thermographie.

Comment inspecter des panneaux solaires avec une caméra thermique ?

Pendant la mise au point et la production, les cellules photovoltaïques sont activées électriquement ou au moyen de projecteurs de lumière. Cela procure un contraste thermique suffisant pour que les mesures



Thermogramme avec niveau et plage automatiques (en haut) et manuels (en bas).

thermographiques soient exactes. Cette méthode ne pouvant pas être employée lorsque les panneaux solaires sont testés sur le terrain, l'opérateur doit s'assurer que l'énergie solaire est suffisante.

Pour un contraste thermique suffisant, l'éclairement énergétique du rayonnement solaire doit être d'au moins 500 W/m². Pour un résultat satisfaisant, un éclairement de 700 W/m² est conseillé. L'éclairement énergétique est la puissance instantanée reçue par une surface, exprimée en kW/m². 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.

Quel type de caméra utiliser ?

Les caméras thermiques portables pour les inspections de maintenance préventive possèdent généralement un détecteur microbolomètre non refroidi, sensible à la bande de 8 à 14 μm . 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.

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 enregistre aussi une température largement négative pour le cadre. Comme la caméra thermique procède à une égalisation des histogrammes, basée sur les températures extrêmes mesurées, de nombreuses petites anomalies thermiques ne sont pas visibles immédiatement. Pour améliorer le contraste

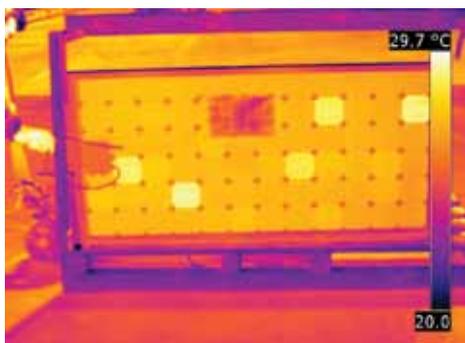
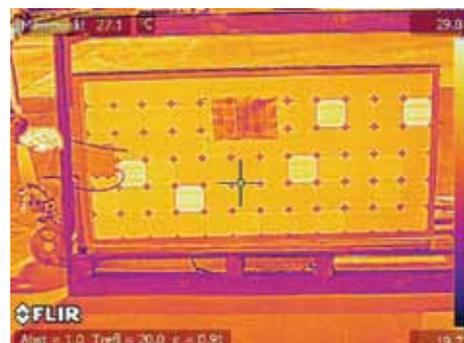


Image thermique sans DDE (à gauche) et avec DDE (à droite).



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.

Des fonctions utiles

Autre fonction utile de la caméra thermique : la géolocalisation GPS des images. Cela permet de localiser facilement les modules défectueux dans des zones étendues, par exemple les centrales solaires, et de relier les images thermiques à l'équipement, par exemple dans les rapports.

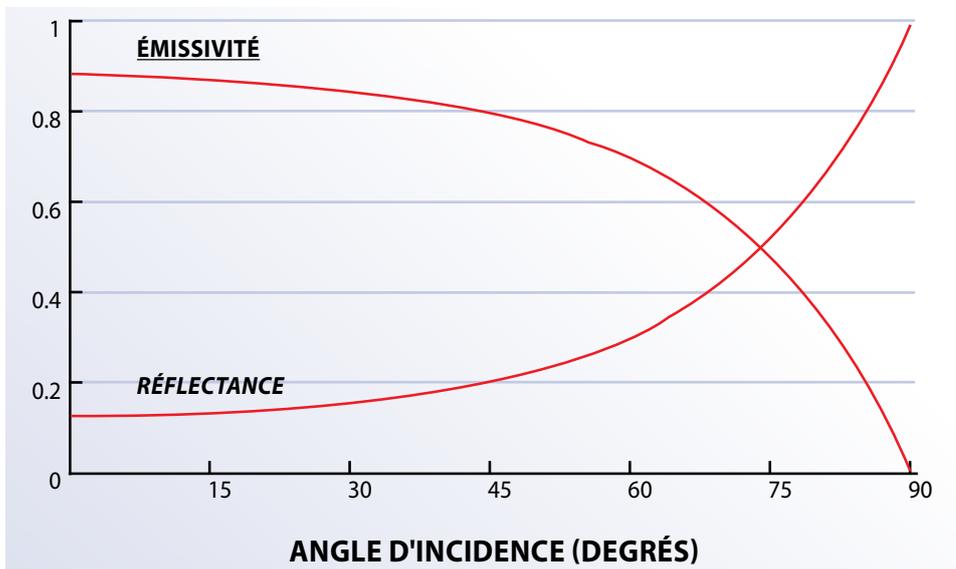
Il est préférable que la caméra thermique

comporte un appareil photo numérique intégré, afin de pouvoir enregistrer une image du visible avec l'image thermique. Une fonction fusion, qui superpose l'image thermique et l'image visible, est également très utile. Lors de la rédaction du rapport, il est bon de disposer de commentaires vocaux et textuels enregistrés dans la caméra avec l'image thermique.

Positionner la caméra en fonction des réflexions et de l'émissivité

Bien que le verre ait une émissivité entre 0,85 et 0,90 dans la bande de 8 à 14 μm , 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.

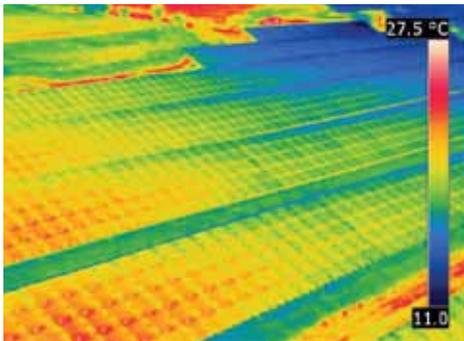
Pour éviter que la caméra et l'opérateur se reflètent dans le verre, ils ne doivent pas se placer face au module inspecté. Cependant,



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 ne pas tirer de conclusion erronée, il faut orienter la caméra selon un angle correct pour inspecter les panneaux solaires.

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 mesure. 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.

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

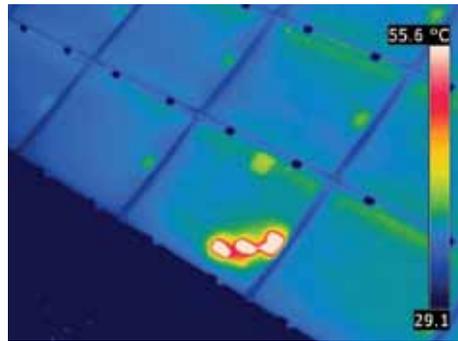


Image thermique aérienne d'une centrale solaire, obtenue avec une caméra FLIR P660. (Avec l'aimable autorisation de Evi Müllers, IMM.)

haute résolution. Les caméras thermiques de faible résolution ne détectent pas les petits détails révélateurs des défauts des panneaux solaires, lors d'une mesure à grande distance à l'aide d'un téléobjectif.

Un point de vue différent

Dans la plupart des cas, l'inspection thermographique 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.

Conditions ambiantes de mesure

Il est préférable que le ciel soit clair lors des inspections thermographiques, car les nuages réduisent l'éclairage solaire et produisent des interférences par réflexion. Il est toutefois possible d'obtenir des images intéressantes par temps couvert, à condition que la caméra thermique soit suffisamment sensible. L'absence de 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.

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

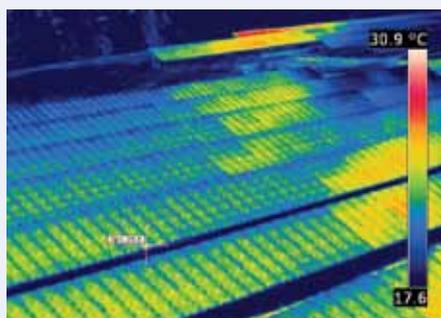
Erreurs de mesure

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

- angle avec la normale trop faible,
- modification de l'éclairage solaire pendant la mesure (parce que la couverture nuageuse a changé, 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



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 de reflets.

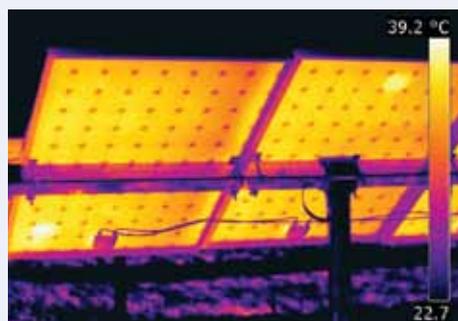
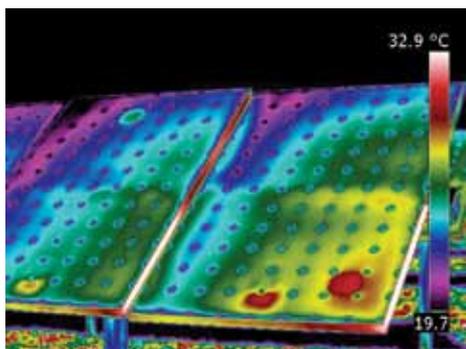
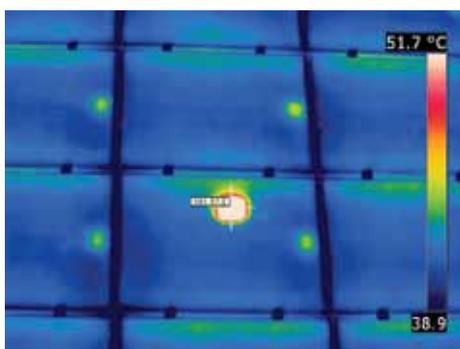


Image thermique de l'arrière d'un module solaire, obtenue avec une caméra FLIR P660. L'image visible correspondante est à droite.

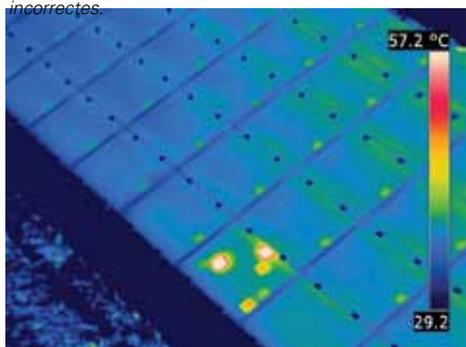




Ces points rouges indiquent des modules nettement plus chauds que le reste, ce qui indique des connexions incorrectes.



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



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

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 un des taches chaudes, c'est généralement dû à un défaut des diodes, à un court-circuit interne ou à une disparité de cellules.

L'ombrage et les cellules fissurées apparaissent à l'écran sous la forme de points chauds ou de taches polygonales. L'échauffement d'une cellule ou d'une partie de 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 de connexion. 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'éclairage solaire doit être suffisant (au moins 500 W/m^2 , de préférence plus de 700 W/m^2),
- l'angle d'observation doit être dans l'intervalle favorable (entre 5° et 60°),
- 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.

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
Détérioration	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)	N.a.	"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)

Pour plus d'informations, veuillez visiter www.flir.com ou contacter :

FLIR Commercial Systems B.V.
 Charles Petitweg 21
 4847 NW Breda - Netherlands
 Phone : +31 (0) 765 79 41 94
 Fax : +31 (0) 765 79 41 99
 e-mail : flir@flir.com
www.flir.com