NOTE TECHNIQUE

PYROMÈTRE OU CAMÉRA THERMIQUE ?

Un pyromètre mesure la température d'un seul point.

La caméra thermique FLIR E40 mesure la température sur 19 200 points.

Les caméras thermiques sont utilisées pour les mesures de température sans contact dans les entreprises du monde entier. On utilise également couramment les pyromètres pour les mesures de température sans contact dans les applications industrielles. Les pyromètres et les caméras thermiques fonctionnent selon le même principe : ils détectent le rayonnement infrarouge et le convertissent en mesure de température. Les caméras thermiques ont toutefois plusieurs avantages par rapport aux pyromètres.

- *Un pyromètre indique seulement une valeur, alors que les caméras infrarouges produisent une image.*
- *Un pyromètre mesure la température d'un seul point, alors qu'une caméra de thermographie la mesure pour chaque pixel de l'image thermique.*
- *Grâce à leurs objectifs évolués, les caméras thermiques peuvent mesurer les températures à une distance supérieure. Vous pouvez ainsi inspecter rapidement des surfaces plus importantes.*

Le pyromètre est également appelé pistolet infrarouge ou thermomètre infrarouge. Fonctionnant selon le même principe physique qu'une caméra thermique, le pyromètre peut être considéré comme une caméra thermique à un seul pixel. Ce type d'outil peut être utile dans de nombreuses tâches, mais il ne mesure la température qu'en un seul point. De ce fait, l'opérateur risque facilement de passer à côté d'une information cruciale. La température élevée de certains composants critiques près de tomber en panne et nécessitant une réparation peut ainsi passer inaperçue.

DES MILLIERS DE PYROMÈTRES EN MÊME TEMPS

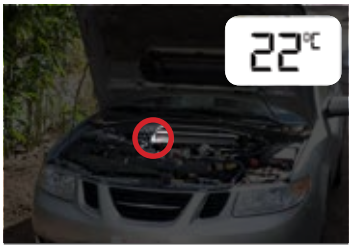
Une caméra thermique fournit également des mesures de température sans contact, à l'instar d'un pyromètre. À la différence de celui-ci, elles effectuent non pas une, mais des milliers de mesures de la température à la fois, une par pixel de l'image thermique. Une mesure au moyen d'une caméra de thermographie correspond ainsi à des milliers de mesures avec un pyromètre.

La caméra infrarouge FLIR E40 a une résolution de 160 x 120 pixels, ce qui correspond à 19 200 mesures de température simultanées. La camera FLIR T1030sc, l'un des modèles haut de gamme utilisés dans les applications de R&D et scientifiques, offre une résolution de 1024 x 768 pixels, soit 786 432 mesures de température à la fois.

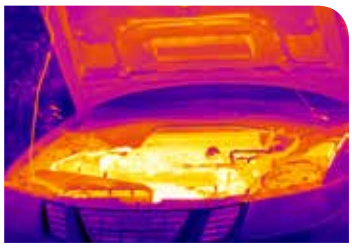
GAGNEZ DU TEMPS EN « VOYANT » LA CHALEUR

Une caméra de thermographie effectue non seulement des milliers de mesures de la température, mais les convertit en une image thermique. Cette conversion donne une vue d'ensemble complète de l'équipement inspecté, permettant à l'opérateur de repérer immédiatement les petits points chauds qui passeraient facilement inaperçus avec un pyromètre. L'utilisation d'une caméra de thermographie fait également gagner du temps. L'examen de surfaces importantes comprenant de nombreux composants au moyen d'un pyromètre peut être très fastidieux, car vous devez examiner chacun d'eux individuellement. Il est possible d'utiliser une caméra de thermographie pour contrôler la dissipation thermique sur les circuits imprimés, procéder à des contrôles de qualité ou inspecter les effets de la chaleur dans l'industrie automobile, ou encore pour analyser les comportements thermiques de différents produits en phase de recherche.

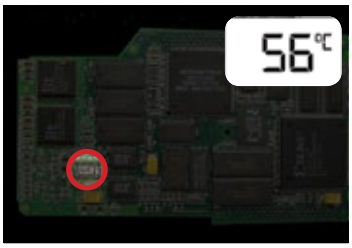
L'autre avantage des caméras thermiques sur les pyromètres réside dans le fait qu'elles mesurent les températures avec précision à des distances plus grandes.



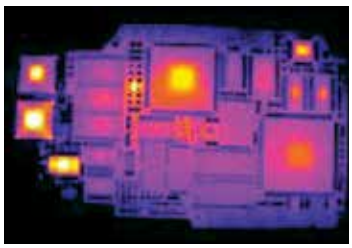
Ce que « voit » un pyromètre.



Ce que « voit » une caméra thermique.

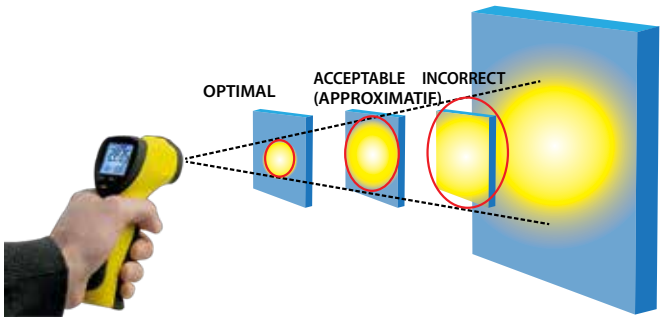


Ce que « voit » un pyromètre.



Ce que « voit » une caméra thermique.

NOTE TECHNIQUE



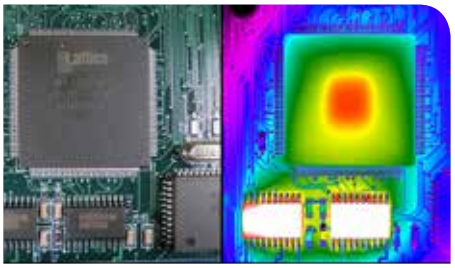
Pour mesurer exactement la température d'un objet avec un pyromètre, l'objet doit couvrir entièrement le point de mesure. Cela limite la distance à laquelle il est possible de mesurer les températures avec précision.

La distance à laquelle un pyromètre peut effectuer une mesure d'une taille donnée est souvent indiquée par l'abréviation D:S (Distance to spot size, rapport entre la distance et la taille du point) ou SSR (Spot Size Ratio, rapport avec la taille du point). Cependant, d'où vient cette valeur et que représente-t-elle ?

La « taille de point » d'un pyromètre désigne la plus petite surface que l'appareil permet de mesurer avec précision. Cela implique que l'objet dont vous souhaitez mesurer la température, également appelé la cible, doit couvrir toute la surface du point. Le rayonnement infrarouge émis par la cible traverse l'optique du pyromètre et est projeté sur le détecteur. Si l'objet est plus petit que le point, le détecteur est également frappé par les parties du rayonnement provenant du voisinage de l'objet. De ce fait, l'appareil ne mesure pas la température de l'objet, mais une combinaison des températures de l'objet et de son voisinage.

Compte tenu de la nature du système optique, plus vous tenez le pyromètre éloigné de l'objet, plus la surface de mesure grossit. En conséquence, plus la cible est réduite, plus vous devez tenir le pyromètre près pour mesurer sa température avec précision. Il est donc très important d'être attentif à la taille du point et de se tenir suffisamment près pour que la cible le couvre entièrement, de préférence même un peu plus près pour disposer d'une marge de sécurité.

Le rapport avec la taille du point définit la taille du point de mesure d'un pyromètre pour une distance donnée par rapport à la cible. Si le SSR d'un pyromètre est de 1:30, par exemple, cela signifie que la température d'un point de 1 cm de diamètre peut être mesurée avec précision à une distance de 30 cm. La température d'un point de 4 cm peut ainsi être mesurée à une distance de 120 cm (1,2 mètres). La plupart des pyromètres



Les caméras IR permettent de visualiser la dissipation thermique à la surface des objets.

ont un SSR compris entre 1:5 et 1:50. Cela signifie que la plupart peuvent mesurer la température d'une cible de 1 cm de diamètre à une distance de 5-50 cm.

Les caméras thermiques sont très similaires aux pyromètres, en ce sens que le rayonnement infrarouge est projeté sur un détecteur matriciel, chaque pixel de l'image correspondant à une mesure de la température. Les fabricants de caméras thermiques ne spécifient habituellement pas les valeurs SSR pour décrire la résolution spatiale de leurs produits ; à la place, ils se réfèrent à l'IFOV (champ de visée instantané). L'IFOV se définit comme le champ de visée d'un élément du détecteur matriciel de la caméra.

Théoriquement, l'IFOV détermine directement le rapport avec la taille de point d'une caméra thermographique. Le rayonnement infrarouge émis par la cible traverse l'optique du pyromètre et est projeté sur le détecteur. Le rayonnement infrarouge projeté doit couvrir intégralement au moins un élément du détecteur, ce qui correspond à un pixel de l'image thermique. Ainsi, couvrir un pixel de l'image thermique doit théoriquement suffire pour obtenir des mesures de température correctes.

L'IFOV est habituellement exprimé en milliradians (un millième de radian). Le terme de radian désigne le rapport entre la longueur d'un arc et son rayon. Un radian est défini mathématiquement comme étant l'angle formé lorsque la longueur d'un arc circulaire égale le rayon du cercle. Sachant que la circonférence égale 2 π fois le rayon, un radian égale 1/(2 π) du cercle, soit environ 57,296 degrés angulaires et un degré angulaire de 0,057 mrad.

Dans le cas où une caméra thermique est utilisée pour mesurer la température d'une cible donnée, nous partons de l'hypothèse que la distance jusqu'à celle-ci égale le rayon du cercle, et nous considérons également que la cible est relativement plate. Sachant que l'angle de visée d'un élément de détecteur est réduit, nous pouvons postuler que la tangente de cet angle est approximativement égale à sa valeur en radians.

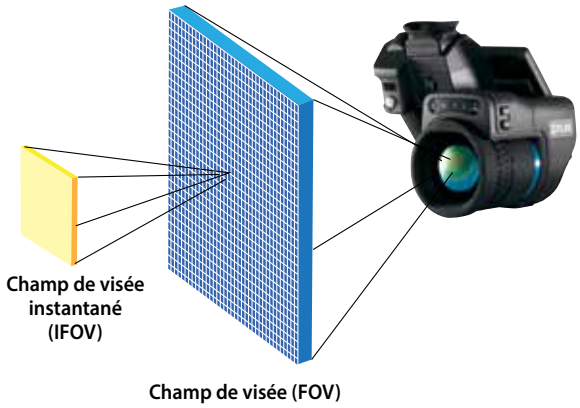
Ainsi, la taille du point est calculée comme IFOV (en mrad), divisée par 1000 et multipliée par la distance de la cible :

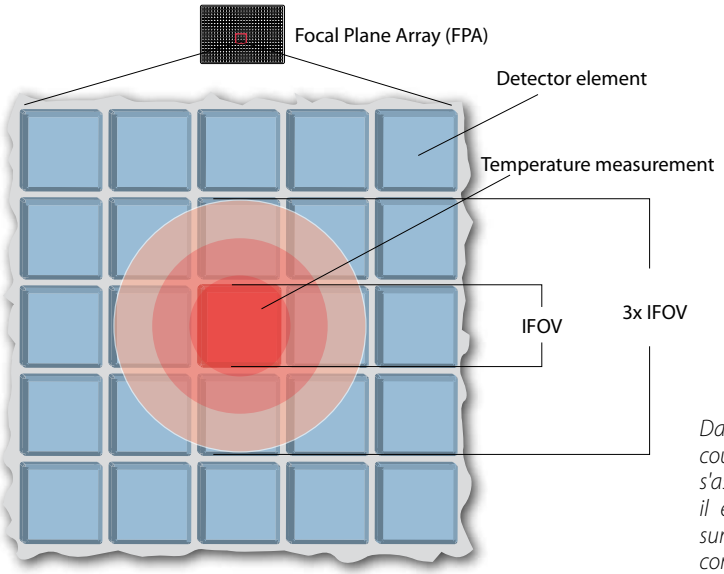
$$\text{Spot Size} = \left[\frac{\text{IFoV}}{1000}\right] \text{ x Distance to target}$$

où la taille du point et la distance de la cible sont exprimées en cm, et l'IFOV en mrad.

Pour une distance de 100 cm et un IFOV de 1 mrad, la taille du point sera de 0,1 cm. S'il est possible de mesurer un point de 0,1 cm à une distance de 100 cm, la distance à laquelle un point de 1 cm peut être mesuré sera de 1000 cm. Cela signifie que le rapport à la taille de point est de 1:1000.

Si nous représentons les calculs ci-dessus par une formule exprimant le SSR comme 1:x, où 1 représente la taille de point et x la distance, la formule pour x sera la





Dans l'idéal, la cible projetée doit couvrir au moins un pixel. Pour s'assurer de mesures précises, il est conseillé de couvrir une surface plus large, afin de tenir compte de la dispersion optique de la projection.

suivante :

$$x = \frac{1}{\left(\frac{\text{IFoV}}{1000}\right)}$$

où l'IFOV est exprimé en mrad.

DONNÉS OPTIQUES IDÉALES ET RÉELLES

À partir de cette formule, vous pouvez calculer qu'une caméra ayant un IFOV de 1,4 mrad aura un SSR théorique de 1:174 ; ainsi, en théorie, vous pouvez mesurer un objet de 1 cm de diamètre à une distance de plus de 7 mètres. Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, cette valeur théorique ne correspond pas à la réalité, car elle ne tient pas compte du fait que les optiques ne sont jamais parfaites. L'objectif qui projette le rayonnement infrarouge sur le détecteur peut entraîner de la dispersion et d'autres formes d'aberration optique. Vous ne pouvez jamais être sûr que la cible est projetée exactement sur un élément de détecteur donné. Le rayonnement infrarouge projeté peut également « déborder » des éléments de détecteur voisins. Autrement dit, la température des surfaces avoisinant la cible peut influencer les mesures.

À l'instar d'un pyromètre, où la cible ne doit pas seulement couvrir entièrement la taille du point, mais également disposer d'une marge de sécurité autour, il est conseillé de prévoir une marge lors de l'utilisation d'une caméra thermique microbolomètre pour les mesures de température. Cette marge de sécurité est incluse dans l'expression champ de mesure (MFOV). Le MFOV décrit la taille réelle des points de mesure d'une caméra thermique, c'est-à-dire la plus petite surface mesurable pour obtenir des mesures de température correctes. Il est habituellement exprimé comme un multiple de l'IFOV, le champ de visée d'un seul pixel.
Dans le cas des caméras infrarouges, on considère couramment que la cible doit couvrir une surface au moins 3 fois supérieure à l'IFOV pour tenir compte des aberrations optiques. Cela implique que, sur l'image thermique, la cible ne doit pas seulement couvrir un pixel, suffisant dans l'idéal pour la mesure, mais également les pixels qui l'entourent.

Lorsque ce principe est respecté, la formule pour déterminer le rapport avec la taille de point peut être adaptée pour tenir compte du facteur des données optiques réelles. Au lieu de 1 x IFOV, on peut utiliser le principe de 3 x IFOV, ce qui donne la formule suivante, plus réaliste :

$$x = \frac{1}{\left(\frac{3 \text{ x IFoV}}{1000}\right)}$$

où l'IFOV est exprimé en mrad.

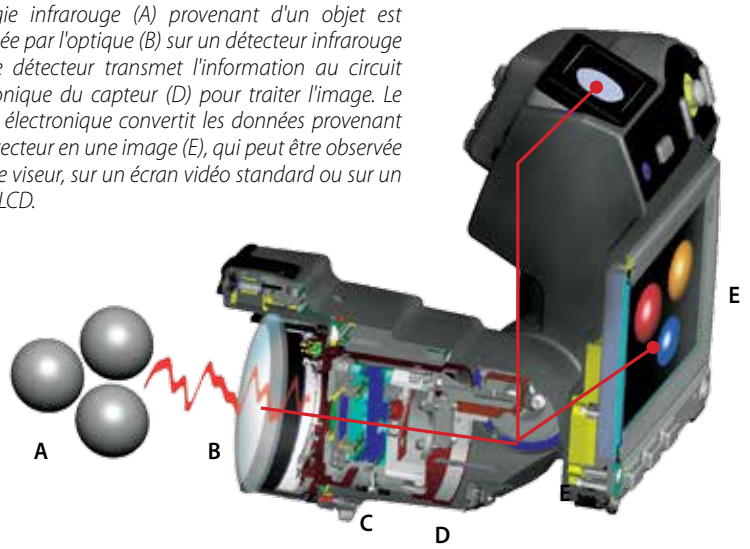
Sur la base de cette formule, une caméra ayant un IFOV de 1,4 mrad aura un SSR théorique de 1:238 ; ainsi, en théorie, vous pourrez mesurer un objet de 1 cm de diamètre à une distance de plus de 2,4 mètres. Cette valeur théorique est probablement prudente, du fait de la marge de sécurité appliquée. En conséquence, le SSR réel peut être supérieur, mais l'application de ces valeurs SSR prudentes préserve la précision des mesures de température.

Les pyromètres ont un SSR compris habituellement entre 1:5 et 1:50. La plupart des modèles abordables ont un SSR de 1:5 à 1:10, tandis que les plus évolués, également plus coûteux, affichent des valeurs de SSR atteignant 1:40, voire 1:50. Notez cependant que les pyromètres ont le même problème que les caméras thermiques avec la qualité des optiques. Lorsque vous comparez les spécifications de pyromètres, vous devez savoir si le SSR désigne la valeur théorique ou s'il tient compte des imperfections de l'objectif.

DÉTECTER LES TEMPÉRATURES À DISTANCE

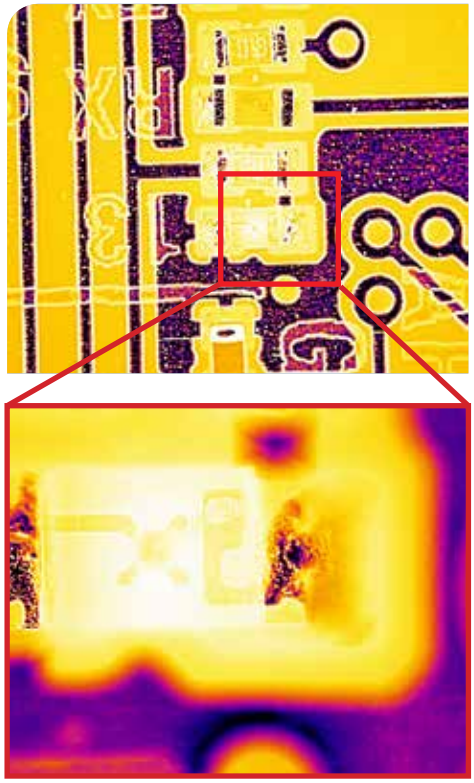
Même en tenant compte de l'écart entre données optiques réelles et réalistes, la différence de distance de mesure entre les caméras thermiques et les pyromètres

L'énergie infrarouge (A) provenant d'un objet est focalisée par l'optique (B) sur un détecteur infrarouge (C). Le détecteur transmet l'information au circuit électronique du capteur (D) pour traiter l'image. Le circuit électronique convertit les données provenant du détecteur en une image (E), qui peut être observée dans le viseur, sur un écran vidéo standard ou sur un écran LCD.



est énorme. La plupart des pyromètres ne peuvent pas être tenus à une distance de plus de 10 à 50 cm pour une cible de 1 cm. La plupart des caméras thermographiques peuvent en revanche mesurer exactement la température d'une cible de cette taille (1 cm) à plusieurs mètres de distance. Même la caméra thermique FLIR E40, qui a un IFOV de 2,72 mrad, peut mesurer exactement la température d'un point de cette taille (1 cm) à plus de 120 cm de distance. La caméra thermique FLIR T1030sc, qui est l'un des modèles les plus évolués pour les inspections industrielles, peut mesurer la température d'une cible de cette taille à une distance de plus de sept mètres avec un objectif standard de 28°.

Ces valeurs sont calculées pour l'objectif standard. De nombreuses caméras thermiques évoluées sont équipées d'objectifs interchangeables. Lorsqu'on utilise un objectif différent, cela modifie l'IFOV, ce qui affecte alors le rapport avec la taille de point. Dans le cas de la caméra thermique FLIR T1030sc, par exemple, FLIR propose non seulement l'objectif standard de 28°, mais également le téléobjectif de 12°. Avec ce modèle, mis au point spécialement pour offrir des images infrarouges HD, le rapport avec la taille de point est notablement plus élevé. Avec le téléobjectif de 12°, l'IFOV d'une caméra thermique FLIR T1030sc est de 0,20 milliradian. Avec cet objectif, la même caméra thermique peut mesurer avec précision la température d'une cible de même taille à une distance de près de 17 mètres.



Les objectifs macro ou de microscope offrent une image extrêmement détaillée, permettant ainsi de mesurer des points minuscules. Cette opération serait extrêmement difficile avec un pyromètre. L'image du haut a été prise avec un grossissement de 4x, l'image du bas avec un objectif d'une résolution de 15 microns.

SE RAPPROCHER OU PAS ?

Les caméras thermiques sont clairement plus performantes que les pyromètres en ce qui concerne les valeurs SSR. Cependant, celles-ci concernent uniquement la distance à laquelle il est possible de mesurer la température avec exactitude. Dans la pratique, détecter un point chaud ne nécessite pas toujours une mesure de température précise. Ce point chaud peut être discernable dans l'image thermique, même si la cible ne couvre qu'un pixel. La mesure de température peut être imparfaite, mais le point chaud est détecté et l'opérateur peut se rapprocher pour s'assurer que la cible couvre d'autres pixels de l'image thermique, afin de s'assurer que la mesure est correcte.

Les pyromètres sont d'un maniement plus difficile lorsqu'il s'agit de mesurer la température sur de petits objets. Cet aspect est de plus en plus important dans l'inspection de modules électroniques. À mesure qu'ils gagnent en vitesse de traitement, tout en devant tenir dans des conditionnements miniaturisés, il est nécessaire de trouver de nouveaux moyens de dissiper la chaleur. Aussi l'identification des points chauds est-elle un problème bien réel. Un pyromètre peut effectivement détecter et mesurer la température, mais la taille des points est tout simplement trop grande. Cependant, les caméras thermiques équipées d'un objectif macro permettent de faire la mise au point avec une précision de moins de 5µm (micromètres) par pixel. Les ingénieurs et les techniciens peuvent ainsi effectuer des mesures sur de très petites surfaces.

NE DEVINEZ PLUS, REGARDEZ

Un pyromètre indique seulement une valeur. Elle peut être inexacte, ce qui vous contraint à deviner. Une caméra thermique vous permet de « voir la chaleur ». Elle indique non seulement la température exacte, mais donne une image instantanée de la répartition de la chaleur. Cette combinaison d'informations visuelles et de mesures exactes de la température vous permet de déceler les pannes rapidement et avec précision. Ne vous contentez plus d'estimations approximatives. Optez pour une caméra infrarouge FLIR Systems et gagnez en efficacité dans vos anlayses thermiques.

Pour plus d'informations sur les caméras infrarouges ou sur cette application, rendez-vous sur :

www.flir.com/research

ou contactez l'un de nos spécialistes via research@flir.com

Les images affichées ne sont pas nécessairement représentatives de la résolution réelle de la caméra présentée. Images non contractuelles.