

Formation Thermographie Industrielle – Caméra Thermique pour Maintenance Électrique, Mécanique et Énergétique



📖 Chapitre 1 : Introduction à la Thermographie Infrarouge



◆ 1.1 Objectif : Comprendre le Rôle de la Température dans la Surveillance des Équipements

✦ Qu'est-ce que la thermographie infrarouge ?

La thermographie infrarouge est une technologie permettant de visualiser les températures de surface d'un objet grâce aux rayonnements infrarouges qu'il émet. Cette méthode est largement utilisée en maintenance préventive pour détecter des anomalies thermiques invisibles à l'œil nu.

✦ Pourquoi surveiller la température des équipements ?

- ✓ Un échauffement anormal peut être le signe avant-coureur d'un problème mécanique ou électrique.
- ✓ La température est un indicateur clé de la santé des équipements, et son suivi permet d'éviter les pannes coûteuses.
- ✓ Certains défauts (mauvais serrages, surcharges, désalignements, dégradations d'isolants, etc.) génèrent une surchauffe bien avant qu'une panne ne survienne.

💡 Exemple : Un tableau électrique présentant une connexion mal serrée peut entraîner une élévation de température, qui sera détectable grâce à une caméra thermique avant qu'un arc électrique ou un incendie ne se produise.

◆ 1.2 Importance de la Température en Maintenance Préventive

✦ Le rôle de la thermographie dans la maintenance industrielle

La maintenance préventive consiste à anticiper les défaillances des équipements pour éviter les arrêts de production et prolonger la durée de vie des machines.

✦ Pourquoi la température est un indicateur clé ?

✓ Une température excessive peut détériorer les matériaux et réduire la fiabilité d'un équipement.

✓ La montée en température est souvent un symptôme précoce d'un problème : surcharge, friction excessive, court-circuit...

✓ Un suivi régulier permet d'intervenir avant que le problème ne devienne critique, limitant ainsi les coûts de maintenance.

📊 Comparaison entre types de maintenance :

Type de maintenance	Principe	Impact sur la production
Corrective	Réparation après panne	Arrêt imprévu, coût élevé
Préventive	Inspections régulières	Réduction des risques de panne
Prédictive (avec thermographie)	Surveillance en temps réel	Optimisation des interventions

💡 Exemple : Une thermographie régulière d'un moteur électrique permet de détecter une surchauffe anormale due à un déséquilibre de phase ou un roulement usé, évitant ainsi une panne imprévue.

◆ 1.3 Avantages de la Thermographie Infrarouge

✦ Pourquoi utiliser la thermographie en maintenance ?

✦ Principaux avantages :

✓ Technique non destructive : Pas besoin de démonter ou toucher l'équipement.

✓ Diagnostic en temps réel : Permet de surveiller les équipements en fonctionnement.

✓ Intervention sans arrêt de production : Évite les interruptions coûteuses.

✓ Identification précoce des anomalies : Permet de planifier les réparations avant qu'une panne ne survienne.

💡 Exemple : Dans un site industriel, la thermographie peut identifier des points chauds sur un tableau électrique sans interrompre l'alimentation, permettant une intervention ciblée lors d'un arrêt programmé.

◆ 1.4 Applications Industrielles de la Thermographie

✦ La thermographie infrarouge est utilisée dans plusieurs domaines industriels pour détecter les défauts thermiques avant qu'ils ne causent des pannes.

🔦 1.4.1 Application en Électricité

✦ Surveillance des équipements électriques :

✅ Tableaux électriques : Détection des connexions surchauffées (mauvais serrage, surcharge, défaut d'isolement).

✅ Transformateurs : Repérage des pertes thermiques anormales.

✅ Connexions et câbles : Détection des points de surchauffe avant un éventuel arc électrique.

💡 Exemple : Une caméra thermique permet de détecter un disjoncteur surchauffé avant qu'il ne déclenche intempestivement ou ne provoque un incendie.

🔦 1.4.2 Application en Mécanique

✦ Surveillance des équipements mécaniques :

✅ Moteurs électriques : Détection de surchauffes dues à une surcharge ou un déséquilibre de phases.

✅ Roulements et engrenages : Identification d'une usure prématurée ou d'un problème de lubrification.

✅ Systèmes de transmission : Repérage de frottements excessifs ou de mauvais alignements.

💡 Exemple : Une caméra thermique détecte une élévation anormale de température sur un roulement, indiquant un défaut de lubrification qui pourrait provoquer une casse mécanique.

🔥 1.4.3 Application en Énergétique

✦ Surveillance des infrastructures énergétiques :

✅ Isolation thermique des bâtiments : Identification des ponts thermiques et des pertes énergétiques.

✅ Fours et chaudières : Détection des zones à mauvaise combustion ou d'une perte de chaleur excessive.

✅ Panneaux solaires et équipements thermiques : Détection de cellules photovoltaïques défectueuses ou d'une mauvaise répartition de la chaleur.

💡 Exemple : Une inspection thermique d'un four industriel permet de détecter des fuites de chaleur et d'améliorer le rendement énergétique.

🚩 Conclusion du Chapitre 1

✅ La thermographie infrarouge est un outil essentiel en maintenance préventive et prédictive.

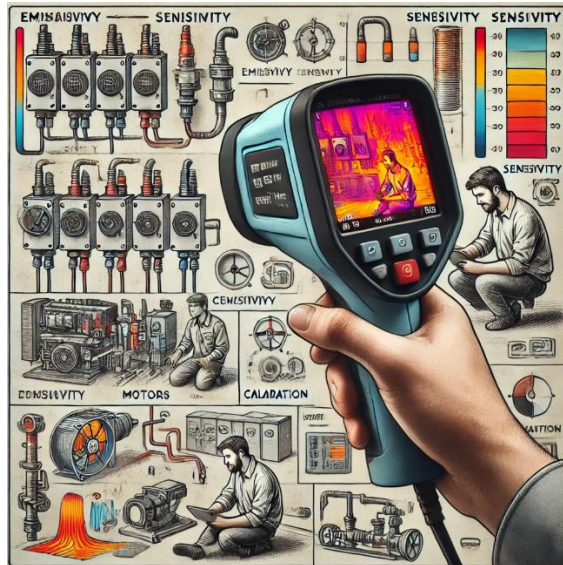
✅ Elle permet d'identifier rapidement les anomalies thermiques sans contact ni arrêt de production.

✅ Elle est utilisée dans plusieurs secteurs : électricité, mécanique et énergétique.

✅ Elle permet de prolonger la durée de vie des équipements et d'éviter des pannes coûteuses.

💡 Prochain chapitre : Les principes physiques de la thermographie et le fonctionnement des caméras infrarouges. 🚀 🔥

📖 Chapitre 2 : Prise en Main et Réglages d'une Caméra Thermique



◆ 2.1 Objectif : Apprendre à Manipuler une Caméra Thermique et Paramétrer les Réglages Essentiels

L'utilisation efficace d'une caméra thermique repose sur la bonne maîtrise des réglages et des techniques de capture d'image infrarouge.

Dans ce chapitre, nous allons explorer les principes de base de l'utilisation d'une caméra thermique, en mettant l'accent sur :

- ✓ Les types de caméras utilisées en industrie.
- ✓ Les réglages essentiels pour obtenir des mesures précises.
- ✓ Les bonnes pratiques de capture et de stockage des images thermiques.

💡 Pourquoi ces réglages sont-ils importants ?

Une mauvaise configuration de la caméra peut entraîner des erreurs d'interprétation et fausser les résultats d'analyse.

✦ Exemple : Un mauvais réglage de l'émissivité peut afficher une température erronée et faire croire à une anomalie thermique inexistante.

◆ 2.2 Matériel Utilisé : Présentation des Marques et Modèles

✦ Différents types de caméras thermiques

Il existe plusieurs fabricants de caméras thermiques professionnelles, adaptés aux applications industrielles, électriques et mécaniques.

✦ Principales marques et modèles utilisés dans l'industrie :

Marque	Modèle / Série	Application principale
FLUKE	TiS75+, Ti480 Pro	Inspection électrique et mécanique
FLIR	E6-XT, T640, One Pro	Maintenance industrielle et thermique
Testoon	ThermoPro 50	Surveillance énergétique et bâtiment
Testo	Testo 865, Testo 890	Industrie, CVC (Chauffage, Ventilation, Climatisation)
Dynae	SmartIR	Thermographie industrielle avancée
Bosch	GTC 400 C	Diagnostic rapide et généraliste

💡 Exemple : Une caméra FLIR E6-XT est idéale pour l'analyse thermique des tableaux électriques, tandis qu'une Testo 890 est plus adaptée à l'analyse des systèmes de chauffage et d'isolation thermique.

◆ 2.3 Réglages Fondamentaux d'une Caméra Thermique

✦ 1. Calibration de la Caméra

Définition : La calibration consiste à étalonner la caméra pour garantir des mesures de température précises.

✦ Pourquoi est-ce important ?

- ✓ Une caméra mal calibrée peut afficher des écarts de température non conformes.
- ✓ Une calibration régulière permet d'optimiser la précision des images thermiques.

💡 Exemple : Une caméra utilisée dans une usine métallurgique devra être calibrée pour des températures élevées, tandis qu'une caméra pour des installations frigorifiques nécessitera une calibration en basses températures.

✦ 2. Sensibilité Thermique et Plages de Mesure

✦ Définition : La sensibilité thermique définit la capacité de la caméra à détecter des variations de température faibles.

- ✓ Exprimée en mK (millikelvin), une faible valeur indique une meilleure sensibilité.

Exemples de sensibilité thermique par gamme de caméras :

Caméra	Sensibilité thermique	Application
FLIR E6-XT	60 mK	Inspection générale
FLUKE Ti480 Pro	30 mK	Analyse de précision
Testo 890	40 mK	Thermographie avancée

✦ Plage de mesure de température :

✓ La plage de mesure définit les températures maximales et minimales que la caméra peut analyser.

✓ Certaines caméras couvrent de -20°C à $+1500^{\circ}\text{C}$ (idéal pour les hauts fourneaux), tandis que d'autres sont limitées à -10°C à $+250^{\circ}\text{C}$ (idéal pour la maintenance électrique).

💡 Exemple : Une caméra avec une sensibilité de 30 mK pourra détecter une surchauffe légère dans un tableau électrique, tandis qu'une caméra à 60 mK sera moins précise sur de petits écarts thermiques.

✦ 3. Émissivité et Température Réfléchie

✦ L'émissivité influence directement la mesure thermique et doit être réglée en fonction du matériau observé.

Matériau	Émissivité
Métaux polis (aluminium, cuivre)	0.1 - 0.3
Acier oxydé	0.7 - 0.9
Plastique	0.9 - 1.0
Béton / Brique	0.85 - 0.95

✓ Plus l'émissivité est élevée, plus la mesure thermique est fiable.

✓ Les métaux réfléchissants faussent les mesures, il est recommandé d'utiliser du ruban adhésif à haute émissivité pour obtenir des valeurs correctes.

💡 Exemple : Lors de l'analyse d'un tableau électrique en aluminium, la caméra peut surestimer ou sous-estimer la température si l'émissivité n'est pas ajustée.

◆ 2.4 Capture et Stockage des Images Thermiques

📌 Méthode de Capture d'Images

- ✅ Positionner la caméra à la bonne distance pour éviter les erreurs de focalisation.
- ✅ Ajuster les réglages de palette de couleurs (Noir/Blanc, Fer, Arc-en-ciel).
- ✅ Capturer plusieurs angles pour une analyse précise.

💡 Exemple : Un point chaud observé sur un disjoncteur HTB peut sembler critique sous une palette Rouge-Chaud, mais être moins alarmant en palette Arc-en-ciel.

📌 Formats et Stockage des Images

📌 Les caméras thermiques permettent d'enregistrer les images sous plusieurs formats :

Format	Caractéristiques
JPEG standard	Facile à partager mais peu d'infos thermiques
Radiométrique (FLIR .FFF, FLUKE .IS2, etc.)	Contient toutes les données thermiques pour analyse approfondie
Vidéo thermographique (MP4, AVI)	Permet d'enregistrer les variations thermiques en temps réel

💡 Exemple : Un fichier radiométrique FLIR permet de modifier les palettes de couleurs et l'échelle de température après capture, contrairement à une simple image JPEG.

🔧 2.5 Exercice Pratique : Prise d'Images sur Différents Matériaux et Réglages de la Caméra

📌 Objectif : Tester les différents réglages et analyser les écarts thermiques sur divers matériaux.


Expérience à réaliser :

1. Prendre une image thermique d'un objet métallique brillant (ex : plaque d'aluminium).
2. Modifier l'émissivité et observer les écarts de température affichés.
3. Tester différentes palettes de couleurs et analyser l'impact sur l'interprétation.
4. Capturer une image sur un moteur électrique et comparer les températures des roulements et du stator.

💡 Résultats attendus : Une meilleure compréhension des réglages d'émissivité, de plage de mesure et de sensibilité thermique.

Conclusion du Chapitre 2

- ✅ La manipulation d'une caméra thermique repose sur des réglages précis : calibration, émissivité, plage de température.
- ✅ Les erreurs de configuration peuvent fausser les diagnostics et entraîner des mauvaises décisions.
- ✅ L'exercice pratique permet d'acquérir une maîtrise des réglages et de l'interprétation thermique.

 Prochain chapitre : Analyse et interprétation des images thermiques.   

📖 Chapitre 3 : Principes des Transferts Thermiques et Interprétation des Températures



◆ 3.1 Objectif : Comprendre Comment la Chaleur se Propage et Influence la Thermographie

La thermographie infrarouge repose sur la mesure des températures de surface des objets, mais ces températures sont influencées par les modes de transfert thermique.

✦ Pourquoi est-il important de comprendre ces phénomènes ?

✓ Une mauvaise interprétation des transferts thermiques peut fausser l'analyse des images thermiques.

✓ Les différents matériaux et environnements influencent la propagation de la chaleur, affectant les résultats thermographiques.

✓ La thermographie ne mesure que la température de surface, il faut donc tenir compte des transferts thermiques internes pour bien analyser une anomalie.

💡 Exemple : Un point chaud sur un tableau électrique peut être dû à une surchauffe interne (conduction), à un défaut de ventilation (convection) ou à un équipement rayonnant de la chaleur (rayonnement).

◆ 3.2 Différence entre Chaleur et Température

✦ Chaleur et température sont deux notions différentes mais liées :

Concept	Définition	Unité de mesure
Température (T)	Mesure de l'agitation moléculaire d'un corps	°C, °F, K
Chaleur (Q)	Quantité d'énergie thermique transférée	Joules (J), Calories (cal)

✦ Relations fondamentales :

✓ Un matériau peut avoir une température élevée mais contenir peu de chaleur (ex : un clou chauffé à 100°C).

✓ Un matériau avec une forte capacité thermique peut stocker beaucoup de chaleur sans monter en température rapidement (ex : un réservoir d'eau chauffé lentement).

💡 Exemple : Un tableau électrique chauffé à 60°C ne contient pas autant de chaleur qu'un moteur industriel chauffé à 60°C, car les masses et les matériaux diffèrent.

◆ 3.3 Modes de Transfert Thermique

✦ 1. Conduction : Transmission de Chaleur à Travers un Matériau

✦ Définition : La conduction thermique est le transfert de chaleur d'une zone chaude vers une zone froide à travers un matériau solide.

Elle dépend de la conductivité thermique (λ) du matériau :

Matériau	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Capacité de transfert thermique
Cuivre	390	Très bon conducteur
Aluminium	235	Bon conducteur
Acier	50	Conducteur moyen
Béton	1,5	Faible conducteur
Bois	0,12	Isolant thermique

💡 Exemple : Une connexion électrique mal serrée chauffe par effet Joule, puis transmet cette chaleur par conduction aux composants voisins.

Impact en thermographie :

✓ La conduction peut répartir une chaleur localisée sur une plus grande surface.

✓ Un défaut détecté sur une surface peut provenir d'une surchauffe interne transmise par conduction.

✦ 2. Convection : Mouvement Thermique dans un Fluide

✦ Définition : La convection thermique est le transfert de chaleur par le mouvement d'un fluide (gaz ou liquide).

- ✓ L'air chaud monte, l'air froid descend → Formation de courants de convection.
- ✓ La convection est influencée par la température, la pression et la vitesse du fluide.

💡 Exemple : Dans un armoire électrique mal ventilée, la chaleur générée par les composants s'accumule par convection, entraînant une élévation progressive de température.

Impact en thermographie :

- ✓ Un point chaud sans gradient thermique net peut indiquer une accumulation thermique par convection.
- ✓ Un défaut de ventilation peut être identifié en observant les flux thermiques sur l'image.

✦ 3. Rayonnement : Propagation d'Énergie Thermique sans Support Matériel

✦ Définition : Le rayonnement thermique est la transmission de chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques (infrarouges), sans contact entre les objets.

- ✓ Tout objet émet un rayonnement thermique en fonction de sa température (loi de Stefan-Boltzmann).
- ✓ Plus un objet est chaud, plus il émet d'énergie infrarouge.

Température (°C) Longueur d'onde du rayonnement (µm)

100	9,3
200	7,9
400	5,8
1000	2,9

💡 Exemple : Un radiateur transmet sa chaleur principalement par rayonnement, ce qui peut fausser une mesure thermique si l'émissivité n'est pas correctement réglée.

Impact en thermographie :

- ✓ Un objet chaud peut affecter un autre objet à distance, sans contact direct.
 - ✓ La température affichée dépend du réglage de l'émissivité et de la température réfléchie.
-

◆ 3.4 Exercice : Étude de Cas sur la Propagation Thermique et ses Effets en Thermographie

✦ Objectif : Observer comment chaque mode de transfert thermique influence une image thermique.

🔧 Expérience pratique :

1️⃣ Prendre une image thermique d'une plaque métallique chauffée à une extrémité.

→ Observer la propagation de la chaleur par conduction.

2️⃣ Placer une main près d'un mur et capturer une image thermique.

→ Observer comment la chaleur se transfère par rayonnement au mur.

3️⃣ Diriger un ventilateur sur un moteur électrique chaud et observer la caméra thermique.

→ Observer l'effet de la convection sur la dissipation thermique.

✦ Résultats attendus :

✅ Conduction : La chaleur se propage progressivement dans le matériau.

✅ Rayonnement : Un objet chauffé peut influencer son environnement sans contact direct.

✅ Convection : L'air en mouvement modifie les températures de surface des objets observés.

✦ Conclusion du Chapitre 3

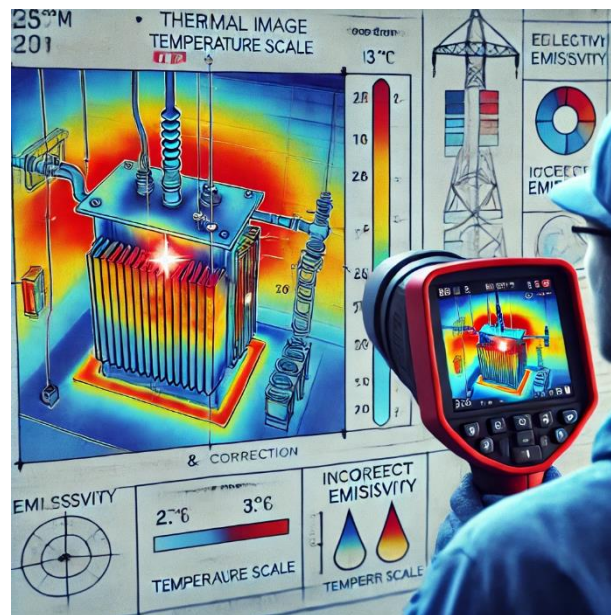
✅ Les transferts thermiques influencent directement les mesures en thermographie.

✅ Il est essentiel de bien différencier conduction, convection et rayonnement pour une bonne analyse des images.

✅ Une erreur d'interprétation peut fausser un diagnostic thermique, entraînant des décisions incorrectes en maintenance.

💡 Prochain chapitre : Méthodologie d'analyse des images thermiques et identification des anomalies. 🚀 🔥 📷

📖 Chapitre 4 : Analyse et Correction des Images Thermiques



◆ 4.1 Objectif : Savoir Interpréter Correctement une Image Thermique en Évitant les Erreurs Courantes

L'analyse thermique ne consiste pas simplement à regarder une image colorée, mais à comprendre et interpréter les températures relevées pour détecter des anomalies.

✦ Pourquoi l'analyse et la correction des images thermiques sont essentielles ?

✅ Une mauvaise interprétation peut conduire à des faux diagnostics (surchauffe apparente alors qu'il s'agit d'un problème d'émissivité, par exemple).

✅ Des facteurs externes (humidité, distance, température ambiante) peuvent influencer la précision des mesures.

✅ L'ajustement des paramètres de la caméra est souvent nécessaire pour affiner la lecture des températures et détecter les défauts réels.

💡 Exemple : Un point chaud détecté sur un transformateur peut être dû à un problème de contact, mais aussi à une mauvaise configuration de la caméra thermique (émissivité incorrecte, reflet thermique, etc.).

◆ 4.2 Différences Entre l'Image Visible et l'Image Infrarouge

✦ L'œil humain et une caméra thermique ne voient pas la même chose.

Caractéristique	Image visible	Image thermique
Détection	Couleurs visibles	Rayonnement infrarouge
Mode de captation	Lumière réfléchie	Température de surface
Informations affichées	Forme, texture	Différences de chaleur

💡 Exemple : Un disjoncteur peut sembler normal à l'œil nu, mais une caméra thermique révélera une élévation anormale de température sur une connexion.

✦ Faux Diagnostics Liés à une Mauvaise Interprétation

✦ Erreurs courantes à éviter :

- ✗ Confondre un reflet thermique avec une surchauffe.
- ✗ Interpréter une zone plus chaude comme un défaut alors qu'il s'agit d'un matériau à faible émissivité.
- ✗ Ne pas tenir compte de l'influence des conditions environnementales.

💡 Exemple : Un objet métallique brillant peut apparaître froid sur une image thermique, alors qu'il est en réalité chaud mais réfléchit l'environnement.

◆ 4.3 Effets de l'Émissivité et Comment la Corriger

✦ L'émissivité est un facteur clé pour obtenir des mesures précises en thermographie.

- ✅ L'émissivité d'un matériau définit sa capacité à émettre de l'énergie thermique.
- ✅ Un matériau à faible émissivité réfléchit davantage la chaleur de son environnement, ce qui peut fausser les mesures.

Matériau	Émissivité typique	Effet sur l'image thermique
Métal poli (aluminium, cuivre)	0.1 - 0.3	Reflet thermique, risque d'erreur de mesure
Acier oxydé	0.7 - 0.9	Bonne précision de mesure
Peinture mate	0.9 - 1.0	Excellente précision thermique
Plastique	0.9 - 1.0	Excellente précision thermique

💡 Correction d'une mauvaise émissivité :

✅ Appliquer un ruban adhésif à haute émissivité (0.95) sur les surfaces métalliques avant mesure.

✅ Régler l'émissivité de la caméra en fonction du matériau observé.

◆ 4.4 Facteurs Influençant la Mesure : Distance, Humidité, Température Ambiante

✦ Influence de la Distance

✅ Plus l'objet est éloigné, plus la précision de mesure diminue.

✅ L'atmosphère absorbe une partie des rayonnements infrarouges, entraînant des erreurs.

💡 Solution :

◆ Se rapprocher de l'objet ou utiliser une caméra avec une meilleure résolution thermique.

✦ Influence de l'Humidité

✅ Une forte humidité peut modifier la transmission des infrarouges et altérer les mesures.

✅ L'eau absorbe une partie du rayonnement thermique, réduisant la lisibilité des images.

💡 Solution :

◆ Effectuer des mesures dans un environnement sec ou appliquer des corrections logicielles sur certaines caméras avancées.

✦ Influence de la Température Ambiante

✅ Un objet peut sembler plus chaud ou plus froid selon la température du milieu environnant.

✅ Un chauffage ou une source de chaleur proche peut influencer l'interprétation des images.

💡 Solution :

◆ Éliminer les influences thermiques parasites en prenant plusieurs mesures sous différents angles.

✂ 4.5 Étude de Cas : Détection d'Anomalies sur un Équipement Électrique (Transformateur) et Ajustement des Paramètres

✂ Objectif : Diagnostiquer une surchauffe suspecte sur un transformateur HTA/HTB.

📄 Observation initiale :

- ◆ Un point chaud est détecté sur un bornier du transformateur.

🔍 Vérifications :

- ✅ Test de l'émissivité → Ajustement pour le matériau du transformateur.
- ✅ Prise de plusieurs images sous différents angles pour vérifier si c'est un reflet thermique.
- ✅ Contrôle de la température ambiante et de la distance de mesure.

📄 Résultat final :

- ◆ Confirmation d'un mauvais contact électrique générant un échauffement par effet Joule.
- ✅ Planification d'une intervention de maintenance pour resserrer et vérifier la connexion.

💡 Ce que cet exercice enseigne :

- ✅ L'importance d'un bon réglage de la caméra thermique pour éviter les erreurs.
- ✅ L'analyse d'une anomalie thermique doit toujours être complétée par des vérifications physiques.

✂ Conclusion du Chapitre 4

- ✅ Une image thermique seule ne suffit pas, elle doit être correctement interprétée et corrigée.
- ✅ L'émissivité influence fortement la mesure et doit être ajustée en fonction du matériau.
- ✅ Les facteurs environnementaux comme l'humidité et la distance peuvent fausser les résultats.
- ✅ L'analyse thermique doit être complétée par des observations physiques et électriques.

💡 Prochain chapitre : Applications avancées de la thermographie en maintenance industrielle. 🚀 🔥 📷

Chapitre 5 : Diagnostic Thermique des Équipements Électriques et Mécaniques



◆ 5.1 Objectif : Identifier les Pannes Électriques et Mécaniques Grâce à la Thermographie

La thermographie infrarouge est un outil essentiel en maintenance prédictive, permettant de détecter les anomalies thermiques bien avant qu'une panne ne survienne.

- ✦ Pourquoi utiliser la thermographie pour le diagnostic ?
 - ✓ Permet une détection précoce des défauts avant une défaillance critique.
 - ✓ Évite les arrêts de production imprévus grâce à une maintenance proactive.
 - ✓ Technique non intrusive : Analyse des équipements en fonctionnement sans démontage.
 - ✓ Optimisation des coûts de maintenance en réduisant les interventions inutiles.

💡 Exemple : Un échauffement anormal sur une connexion électrique peut révéler un mauvais serrage, détectable grâce à une caméra thermique avant qu'un court-circuit ne survienne.

◆ 5.2 Diagnostic Thermique des Équipements Électriques

- ✦ Les composants électriques génèrent naturellement de la chaleur, mais une élévation excessive indique souvent un problème électrique sous-jacent.

✦ 1. Surchauffe des Tableaux Électriques

✦ Problème détecté :

- ✓ Points chauds visibles sur les disjoncteurs, fusibles et connexions.
- ✓ Risque accru de court-circuit ou d'incendie si non traité.

✦ Causes possibles :

- ✗ Surcharge électrique.
- ✗ Connexion défectueuse ou oxydée.
- ✗ Vieillesse des composants.

💡 Solution :

- ✓ Vérifier les serrages et resserrer les connexions si nécessaire.
- ✓ Répartir la charge électrique sur d'autres circuits.

✦ 2. Mauvais Serrage des Connexions Électriques

✦ Problème détecté :

- ✓ Une connexion mal serrée génère une résistance électrique élevée, provoquant une montée en température.

✦ Conséquences :

- ✗ Risque de fusion des câbles.
- ✗ Possible interruption de service.

💡 Solution :

- ✓ Contrôle et resserrage des connexions suspectes.
- ✓ Vérification des bornes et cosses avec un testeur de résistance.

✦ 3. Détection des Déséquilibres de Phases

✦ Problème détecté :

- ✓ Une phase plus chaude que les autres indique un déséquilibre du réseau triphasé.

✦ Causes possibles :

- ✗ Charge inégale entre les phases.
- ✗ Défaut sur un composant du circuit (transformateur, moteur).

💡 Solution :

- ✓ Vérification des tensions et intensités sur chaque phase.
 - ✓ Redistribution des charges pour équilibrer les phases.
-

◆ 5.3 Diagnostic Thermique des Équipements Mécaniques

✦ Les équipements mécaniques génèrent de la chaleur par friction et mouvement. Une élévation excessive de température peut signaler un défaut nécessitant une intervention rapide.

✦ 1. Surchauffe des Roulements et Engrenages

✦ Problème détecté :

- ✓ Une élévation anormale de température sur les roulements et engrenages.
- ✓ Risque de blocage mécanique ou de casse prématurée.

✦ Causes possibles :

- ✗ Usure des roulements.
- ✗ Mauvaise lubrification.
- ✗ Désalignement mécanique.

💡 Solution :

- ✓ Vérification et remplacement des roulements usés.
 - ✓ Vérification du graissage et réajustement si nécessaire.
-

✦ 2. Mauvaise Lubrification

✦ Problème détecté :

✓ Une pièce mal lubrifiée présente des températures anormalement élevées sur l'image thermique.

✦ Conséquences :

- ✗ Usure prématurée des composants.
- ✗ Risque de panne mécanique complète.

💡 Solution :

- ✓ Vérification du niveau d'huile et de graisse.
 - ✓ Ajout de lubrifiant adapté selon les préconisations du fabricant.
-

✦ 3. Alignement et Déséquilibre des Moteurs

✦ Problème détecté :

✓ Un moteur désaligné génère une surconsommation d'énergie et une élévation thermique anormale.

✦ Causes possibles :

✗ Mauvais alignement entre le moteur et l'arbre de transmission.

✗ Déséquilibre des charges appliquées sur le moteur.

💡 Solution :

✓ Vérification de l'alignement avec un laser.

✓ Ajustement des supports et équilibrage de l'installation.

✦ 5.4 Cas Pratique : Inspection d'un Moteur en Charge et Analyse des Anomalies Thermiques

✦ Objectif : Vérifier le bon fonctionnement d'un moteur en utilisant une caméra thermique.

📄 Observation thermique du moteur

✓ Prise d'une image thermique en fonctionnement.

✓ Vérification des températures sur le stator, les roulements et l'arbre de transmission.

📄 Analyse des résultats

✓ Roulements plus chauds que la normale → Problème de lubrification ou usure.

✓ Surchauffe asymétrique → Déséquilibre électrique ou alignement défectueux.

✓ Zone anormalement froide → Défaut d'alimentation électrique du moteur.

📄 Interprétation et actions correctives

✓ Si un roulement surchauffe, une lubrification ou un remplacement est nécessaire.

✓ En cas de déséquilibre thermique, vérifier la distribution des phases électriques.

💡 Ce que cet exercice enseigne :

✓ L'importance d'une bonne prise d'image thermique (sous charge et en fonctionnement).

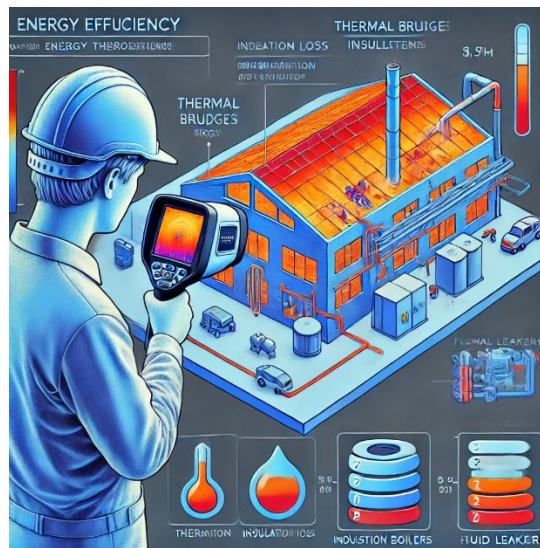
✓ L'interprétation des températures pour identifier les anomalies réelles.

✦ Conclusion du Chapitre 5

- ✅ La thermographie est un outil essentiel pour la maintenance des équipements électriques et mécaniques.
- ✅ Les surchauffes anormales doivent être analysées avec précision pour éviter les fausses alertes.
- ✅ Un bon diagnostic thermique permet d'anticiper les pannes et d'optimiser la maintenance.

💡 Prochain chapitre : Techniques avancées en thermographie et exploitation des données. 🚀 🔥 📷

📖 Chapitre 6 : Thermographie pour l'Industrie Énergétique et le Bâtiment



◆ 6.1 Objectif : Utiliser la Thermographie pour Améliorer la Performance Énergétique

La thermographie infrarouge est un outil puissant pour l'industrie énergétique et le bâtiment, permettant d'optimiser la consommation d'énergie, de détecter les défaillances thermiques et d'améliorer l'efficacité énergétique.

✦ Pourquoi la thermographie est essentielle dans l'industrie énergétique et le bâtiment ?

- ✓ Détecter les pertes thermiques et optimiser l'isolation.
- ✓ Surveiller les équipements énergétiques comme les fours, chaudières et réseaux de fluides.
- ✓ Identifier les fuites d'air comprimé et les défauts des systèmes de ventilation.
- ✓ Réduire la consommation énergétique et améliorer le rendement des installations.

💡 Exemple : Une mauvaise isolation thermique dans un bâtiment industriel peut générer une perte de chaleur excessive, détectable grâce à une caméra thermique.

◆ 6.2 Détection des Défauts d'Isolation Thermique

✦ Une mauvaise isolation peut entraîner des pertes énergétiques importantes et une augmentation des coûts de chauffage et de climatisation.

✦ 1. Types de Défauts d'Isolation Détectables en Thermographie

- ✓ Ponts thermiques : Zones où la chaleur s'échappe à travers un matériau conducteur.
- ✓ Fuites d'air : Pertes d'énergie à travers les portes, fenêtres et toitures mal isolées.
- ✓ Humidité et infiltrations : Zones où l'eau modifie la conductivité thermique, créant des pertes de chaleur.

💡 Exemple : Un mauvais joint de fenêtre peut être repéré en thermographie par une différence de température visible sous forme de zones bleues et rouges.

✦ 2. Analyse Thermographique des Façades et Toitures

- ✓ Façades mal isolées : Détection des variations de température sur les murs extérieurs.
- ✓ Ponts thermiques au niveau des structures métalliques : Transmission excessive de chaleur.
- ✓ Fuites d'air dans les portes et fenêtres : Localisation des infiltrations d'air froid ou chaud.

💡 Exemple : Un toit mal isolé apparaîtra rouge ou jaune sur une image thermique, indiquant une perte de chaleur excessive.

◆ 6.3 Surveillance des Fours et Chaudières

✦ Les équipements de chauffage industriel nécessitent une surveillance thermique pour garantir leur rendement et leur sécurité.

- ✓ Fours industriels : Vérification des pertes thermiques à travers l'isolation réfractaire.
- ✓ Chaudières : Détection des points chauds anormaux et contrôle de l'efficacité du brûleur.
- ✓ Tuyauteries de vapeur : Vérification des fuites thermiques et de l'efficacité de l'isolation.

💡 Exemple : Une chaudière industrielle mal entretenue peut présenter des pertes thermiques localisées, visibles sous forme de zones de chaleur intenses en thermographie.

◆ 6.4 Identification des Pertes Énergétiques

✦ L'efficacité énergétique repose sur la minimisation des pertes de chaleur dans les installations industrielles.

✅ Réseaux de chauffage et de climatisation : Analyse des zones de surconsommation énergétique.

✅ Systèmes de ventilation et de récupération de chaleur : Vérification des déperditions.

✅ Contrôle des échangeurs thermiques : Identification des zones de surchauffe ou de refroidissement excessif.

💡 Exemple : Une caméra thermique peut identifier une fuite thermique dans un échangeur de chaleur, indiquant un encrassement ou un dysfonctionnement.

◆ 6.5 Analyse des Réseaux de Fluides et des Fuites d'Air Comprimé

✦ Les systèmes de distribution de fluides (vapeur, eau, air comprimé) doivent être surveillés pour éviter les pertes d'énergie.

✅ Réseaux de vapeur : Détection des fuites thermiques et des purges défectueuses.

✅ Réseaux d'eau chaude et de refroidissement : Localisation des pertes de chaleur et des fuites.

✅ Fuites d'air comprimé : Identification des pertes d'énergie dans les réseaux pneumatiques.

💡 Exemple : Une fuite sur un réseau d'air comprimé peut être invisible à l'œil nu mais détectable en thermographie grâce aux variations de température générées par l'air s'échappant sous pression.

✦ 6.6 Étude de Cas : Détection d'un Pont Thermique dans un Bâtiment Industriel

✦ Objectif : Identifier un pont thermique et proposer des solutions d'amélioration énergétique.

1 Observation Thermographique du Bâtiment

✅ Prise d'images thermiques en extérieur pour analyser la répartition thermique sur les murs et la toiture.

✅ Détection des différences de température révélant des fuites de chaleur.

2 Analyse des Résultats

✅ Un pont thermique est identifié sur une structure métallique traversant la façade.

✅ Une perte de chaleur importante est visible sur les jonctions mur-plafond.

3 Interprétation et Actions Correctives

- ✅ Amélioration de l'isolation thermique (ajout de matériaux isolants).
- ✅ Réduction des pertes énergétiques grâce à des barrières thermiques.

💡 Ce que cet exercice enseigne :

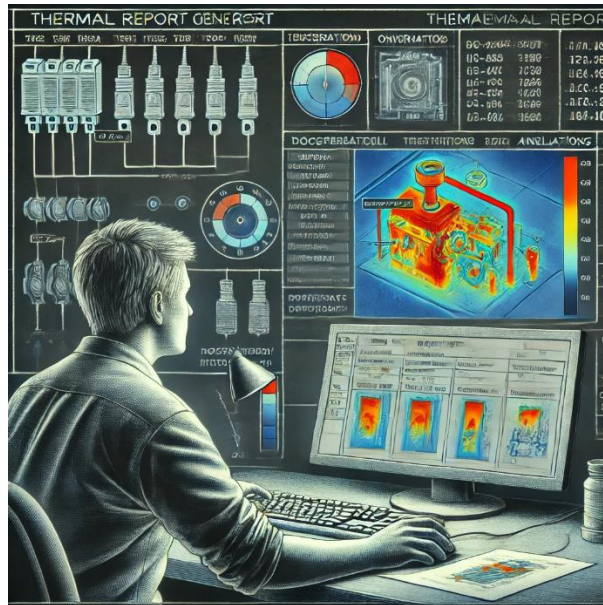
- ✅ L'importance d'un diagnostic thermique précis pour optimiser la performance énergétique.
 - ✅ Les actions correctives possibles après détection d'un défaut thermique.
-

🚩 Conclusion du Chapitre 6

- ✅ La thermographie est un outil clé pour améliorer l'efficacité énergétique dans l'industrie et le bâtiment.
- ✅ Elle permet de détecter les défauts d'isolation, les pertes thermiques et les fuites de fluide.
- ✅ Les interventions basées sur la thermographie permettent des économies d'énergie significatives.

💡 Prochain chapitre : Optimisation des diagnostics thermiques et utilisation des rapports d'analyse. 🚀 🔥 🏢

📖 Chapitre 7 : Génération et Exploitation des Rapports Thermographiques



◆ 7.1 Objectif : Savoir Analyser et Structurer un Rapport Thermographique Professionnel

L'analyse thermographique ne s'arrête pas à la capture des images. Il est essentiel de documenter les observations, de structurer un rapport clair et détaillé, et d'exploiter les résultats pour prendre des décisions de maintenance et d'optimisation énergétique.

✦ Pourquoi un rapport thermographique est-il indispensable ?

- ✓ Fournit une preuve visuelle des anomalies détectées.
- ✓ Permet une prise de décision rapide et efficace en maintenance préventive.
- ✓ Assure une traçabilité des inspections pour suivre l'évolution des défauts thermiques.
- ✓ Facilite la communication entre les techniciens, responsables de maintenance et décideurs.

💡 Exemple : Un rapport thermographique détaillé sur un transformateur HTB permettra aux équipes de maintenance d'anticiper les réparations avant qu'une panne ne survienne.

◆ 7.2 Collecte des Images et Annotation des Points Critiques

✦ 1. Sélection des Images à Insérer dans le Rapport

- ✓ Prendre des images sous plusieurs angles pour obtenir une vue complète de l'équipement.
- ✓ Capturer l'environnement autour de l'anomalie pour mieux interpréter la cause du problème.
- ✓ Utiliser des palettes de couleurs adaptées (ex : Noir/Blanc pour des écarts subtils, Arc-en-ciel pour les surchauffes).

💡 Exemple : Pour un diagnostic sur un tableau électrique, il est recommandé de prendre des images :

- Avant l'ouverture du coffret.
 - De chaque rangée de connexions et de disjoncteurs.
 - En zoomant sur les zones suspectes.
-

✦ 2. Annotation et Identification des Points Chauds

✦ Pourquoi annoter les images thermiques ?

- ✓ Mettre en évidence les écarts thermiques anormaux.
- ✓ Associer des valeurs de température précises aux zones critiques.
- ✓ Aider les équipes techniques à interpréter rapidement les défauts.

✦ Méthodes d'annotation :

- ✓ Ajout de curseurs de température pour afficher les valeurs maximales et minimales.
- ✓ Utilisation d'ellipses ou de rectangles pour entourer les zones à problème.
- ✓ Ajout de commentaires textuels expliquant la cause probable du défaut.

💡 Exemple : Une annotation sur une connexion électrique défectueuse pourrait indiquer :

📄 *Point chaud détecté à 92°C. Risque de court-circuit si la connexion n'est pas resserrée rapidement.*

◆ 7.3 Utilisation de Logiciels d'Analyse Thermographique

✦ Les logiciels thermographiques permettent d'affiner l'analyse et de générer des rapports détaillés.

- ✓ FLIR Tools / FLIR Thermal Studio : Analyse avancée des images radiométriques (FLIR).
- ✓ FLUKE SmartView : Édition et annotation des images prises avec des caméras FLUKE.

✔ Testo IRSOFT : Diagnostic thermique appliqué aux bâtiments et équipements industriels.

✔ Thermview / InfraTec IRBIS : Logiciels spécialisés pour les applications énergétiques et industrielles.

💡 Fonctionnalités essentielles d'un logiciel d'analyse :

✔ Réglage de l'émissivité et de la température réfléchie pour une précision accrue.

✔ Comparaison des températures entre différentes inspections pour détecter les évolutions.

✔ Génération automatique de graphiques et d'histogrammes pour illustrer les variations thermiques.

♦ 7.4 Élaboration d'un Rapport d'Audit Thermique avec Recommandations

✦ Un rapport thermographique doit être structuré et compréhensible pour les décideurs.

✦ 1. Structure d'un Rapport Thermographique Professionnel

Section	Contenu
Introduction	Contexte de l'intervention, objectifs du diagnostic
Méthodologie	Caméra utilisée, paramètres de prise de vue, conditions d'inspection
Analyse des Images Thermiques	Présentation des images avec annotations et interprétation
Synthèse des Défauts Détectés	Liste des anomalies classées par gravité
Recommandations	Actions correctives à réaliser et priorisation des interventions

💡 Exemple :

Un rapport d'audit thermique sur un réseau de vapeur industrielle inclura :

- Images des tuyauteries et des vannes.
- Comparaison des températures avant et après intervention.
- Graphique illustrant les pertes thermiques et leur impact énergétique.
- Tableau des recommandations avec estimation des économies potentielles.

✂ 7.5 Exercice Final : Rédaction d'un Rapport à Partir d'un Diagnostic Thermique Réel

✦ Objectif : Mettre en pratique les compétences acquises et rédiger un rapport professionnel.

Scénario : Un technicien effectue une inspection thermographique sur un transformateur HTB et observe une surchauffe anormale sur une borne de connexion.

1 Collecte des images et annotation des anomalies.

2 Utilisation d'un logiciel thermographique pour affiner l'analyse.

3 Rédaction d'un rapport structuré comprenant les recommandations d'intervention.

✦ Exemple de synthèse du rapport :

📄 *Une élévation thermique de 110°C a été détectée sur la borne haute tension du transformateur T225.*

📄 *L'analyse indique un probable défaut de serrage ou d'oxydation de la connexion.*

📄 *Recommandation : Intervention immédiate pour resserrage et contrôle des connexions, sous consignation HTB.*

✦ Conclusion du Chapitre 7

✅ La rédaction d'un rapport thermographique structuré est essentielle pour exploiter efficacement les données collectées.

✅ L'utilisation de logiciels spécialisés permet d'améliorer l'analyse et la précision des mesures.

✅ Un bon rapport facilite la prise de décision et l'optimisation des interventions de maintenance.

💡 Prochain chapitre : Techniques avancées en thermographie et exploitation des données pour la maintenance prédictive. 🚀 🔥 📷