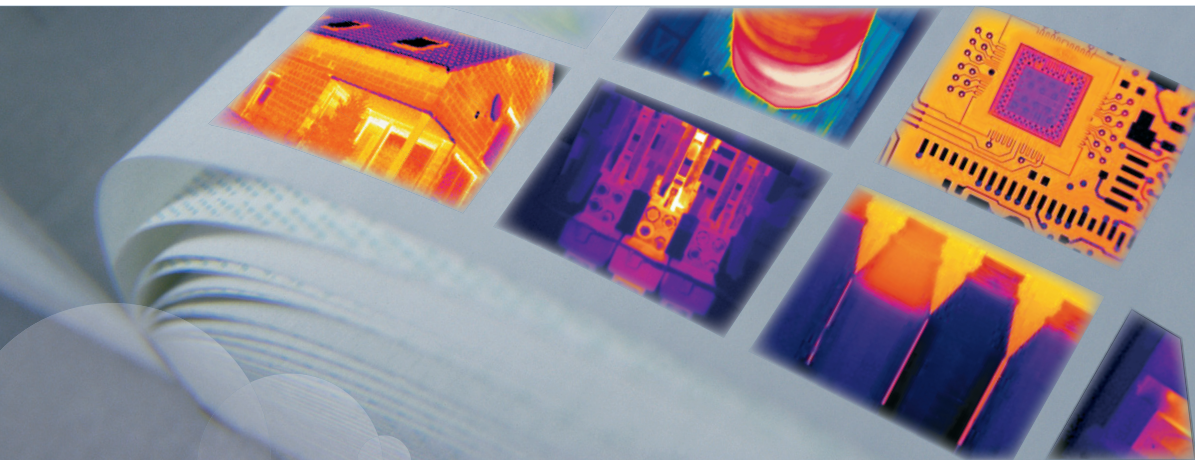




Manuel de l'utilisateur



FLIR bXX series
FLIR iXX series

Publ. No.	T559067
Revision	a459
Language	French (FR)
Issue date	May 26, 2010

Manuel de l'utilisateur



Clause légale

Tous les produits fabriqués par FLIR Systems sont garantis contre les vices de matériaux et de fabrication pour une période d'un an à compter de la date de livraison du produit original, à condition que ces produits fassent l'objet d'une utilisation, d'une maintenance et d'un conditionnement normaux, en accord avec les instructions de FLIR Systems.

Tous les produits qui ne sont pas fabriqués par FLIR Systems et qui sont inclus dans les systèmes fournis par FLIR Systems à l'acquéreur initial, sont soumis à la garantie du fournisseur de ces produits, le cas échéant. FLIR Systems décline toute responsabilité envers de tels produits.

La garantie ne s'applique qu'à l'acquéreur initial du produit et n'est pas transmissible. Elle ne s'applique pas aux produits ayant fait l'objet d'une utilisation incorrecte, de négligence, d'accident ou de conditions anormales d'exploitation. Les composants d'extension sont exclus de la garantie.

En cas de défaut d'un produit couvert par cette garantie, il convient d'interrompre son utilisation afin d'éviter tout dommage supplémentaire. L'acquéreur doit, dans les meilleurs délais, signaler à FLIR Systems tous les défauts, faute de quoi la présente garantie ne s'appliquera pas.

FLIR Systems s'engage à réparer ou à remplacer (selon son choix) le produit défectueux, sans frais supplémentaires, si lors de l'inspection il s'avère que le produit présente des vices de matériaux ou de fabrication et à condition qu'il soit retourné à FLIR Systems dans ladite période d'un an.

FLIR Systems refuse toute prise d'obligation ou de responsabilité pour les défauts autres que ceux indiqués ci-dessus.

Aucune autre garantie n'est exprimée ou implicite. FLIR Systems décline toute responsabilité quant aux garanties implicites de qualité marchande ou d'adéquation à un usage particulier.

FLIR Systems ne peut être tenu pour responsable des pertes ou dommages directs, indirects, spéciaux ou occasionnels, qu'ils soient basés sur un contrat, un délit civil ou toute autre théorie juridique.

Cette garantie est régie par la loi suédoise.

Tout litige, toute controverse ou réclamation découlant de ou lié à la garantie susmentionnée seront jugés définitivement en dernière instance suivant le règlement d'arbitrage du « Arbitration Institute » (tribunal d'arbitrage) de la Chambre de Commerce de Stockholm. L'arbitrage aura lieu à Stockholm. La langue de la procédure d'arbitrage est l'anglais.

Copyright

© 2010, FLIR Systems. Tous droits réservés dans le monde. Aucune partie du logiciel, notamment le code source, ne peut être reproduite, transmise, transcrite ou traduite dans aucune langue ou langage informatique sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, électronique, magnétique, optique, manuel ou autre, sans la permission expresse et écrite de FLIR Systems.

Il est formellement interdit de copier, photocopier, reproduire, traduire ou transmettre vers aucun support électronique ni sous aucun format lisible par une machine tout ou partie de ce document sans le consentement écrit préalable de FLIR Systems.

Les noms et les marques qui apparaissent sur les produits mentionnés dans ce document sont des marques déposées ou des marques de FLIR Systems et/ou de ses filiales. Les autres marques, noms commerciaux et noms de sociétés mentionnés dans ce document et appartenant à d'autres propriétaires, sont utilisés dans un but d'identification uniquement.

Assurance qualité

Le Système de gestion de la qualité utilisé lors du développement et de la fabrication de ces produits a été certifié ISO 9001.

FLIR Systems s'est engagé dans une politique de développement continu. Nous nous réservons par conséquent le droit de modifier et d'améliorer sans préavis les produits décrits dans ce manuel.

Brevets

Un ou plusieurs des brevets ou brevets de conception en instance suivants s'appliquent aux produits et/ou fonctions décrits dans le présent manuel :

0002258-2; 000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 000889290; 001106306-0001; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1263438; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 2106017; 235308; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 518836; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 75530; D540838; D549758; D579475; D584755; D599,392; D16702302-9; D16703574-4; DM/057692; DM/061609; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2;

EULA Terms

- You have acquired a device ("INFRARED CAMERA") that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates ("MS"). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and "online" or electronic documentation ("SOFTWARE") are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT ("EULA"), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).
- GRANT OF SOFTWARE LICENSE. This EULA grants you the following license:

-
- You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
 - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
 - **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
 - **No Liability for Certain Damages. EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.\$250.00).**
 - **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
 - **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
 - **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see <http://www.microsoft.com/exporting/>.

Tables des matières

1	Avertissements et mises en garde	1
2	Remarques à l'attention des utilisateurs	3
3	Aide clientèle	4
4	Mises à jour de la documentation	5
5	Remarque importante concernant ce manuel	6
6	Guide de démarrage rapide	7
7	Liste des pièces	8
7.1	Contenu de la mallette de transport	8
7.2	Liste des accessoires	9
8	Composants de la caméra et indicateurs	10
8.1	Composants de la caméra	10
8.2	Clavier et écran LCD	12
8.3	Indicateur d'alimentation	13
8.4	Indicateur de condition de la batterie	14
8.5	Pointeur laser	15
9	Éléments de l'écran	17
10	Connecteurs et supports de stockage	19
10.1	Prise d'alimentation	19
10.2	Connecteurs USB	20
10.3	Insertion et retrait de cartes mémoire MicroSD™	21
11	Association de périphériques Bluetooth®	22
12	Recherche les données des appareils de mesure externe Extech®	23
12.1	Procédures typiques de mesures d'humidité et de documentation	25
13	Choix des modes de caméra et ajustement des images	26
13.1	Choix du mode de caméra	26
13.2	Réglage de la mise au point de la caméra	27
13.3	Ajustement automatique de l'image	28
13.4	Réglage manuel d'une image	29
13.4.1	Augmentation ou réduction du niveau de température maximum	30
13.4.2	Augmentation ou réduction du niveau de température minimum	31
13.4.3	Modification simultanée des niveaux de température maximum et minimum	32
14	Traitement des mesures	33
14.1	Mesure de la température à l'aide d'un repère	33
14.2	Mesure d'une température à l'aide d'une zone	34
15	Utilisation des alarmes	35
15.1	Configuration d'une alarme couleur	35
15.2	Configuration d'une alarme point de rosée	36
15.3	Définition d'une alarme d'isolation	37

16	Utilisation de fichiers	38
16.1	Sauvegarde d'une image	38
16.2	Ouverture d'une image	40
16.3	Suppression d'une image	41
16.4	Suppression de toutes les images	42
16.5	Ajout d'une annotation vocale à une image	43
16.6	Lecture d'une annotation vocale	44
16.7	Suppression d'une annotation vocale	45
16.8	Transfert des images vers un ordinateur	46
16.9	Copie d'une image vers un lecteur USB externe	48
16.10	Copie de toutes les images vers un lecteur USB externe	49
17	Modification de la configuration de la caméra	50
17.1	Modification des couleurs	50
17.2	Modification de l'émissivité	51
17.3	Modification de la température apparente réfléchie	53
17.4	Modification de la correction de l'optique externe	55
17.5	Modification d'autres paramètres de caméra	56
18	Système d'alimentation	57
18.1	Installation de la batterie	57
18.2	Retrait de la batterie	58
18.3	Chargement de la batterie	59
18.3.1	Rechargement de la batterie à l'intérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie	60
18.3.2	Rechargement de la batterie à l'extérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie.	61
18.3.3	Charge de la batterie avec le chargeur de batterie à deux baies	62
18.4	Mise sous tension de la caméra	63
18.5	Mise hors tension de la caméra	64
19	Nettoyage de la caméra	65
19.1	Boîtier de caméra, câbles et autres pièces	65
19.2	Objectif infrarouge	66
20	Données techniques	67
21	Configuration des broches	68
22	Dimensions	69
22.1	Caméra	69
22.2	Batterie	73
22.3	Chargeur de batterie à deux baies	74
22.4	Chargeur de batterie à deux baies avec batterie	75
23	Exemples d'application	76
23.1	Dégâts causés par l'humidité et l'eau	76
23.2	Contact défectueux dans la prise	77
23.3	Prise oxydée	78
23.4	Défauts d'isolation	79
23.5	Courants d'air	80
24	Introduction à la thermographie appliquée au bâtiment	81
24.1	Remarque importante	81

24.2	Analyses de terrain typiques	81
24.2.1	Recommandations	81
24.2.1.1	Directives générales	81
24.2.1.2	Directives relatives à la détection de l'humidité, des moisissures et des dommages causés par l'eau	82
24.2.1.3	Directives relatives à la détection d'infiltrations d'air et de défauts d'isolation	82
24.2.2	A propos de la détection d'humidité	83
24.2.3	Détection de l'humidité (1) : Toits à faible pente	84
24.2.3.1	Informations générales	84
24.2.3.2	Précautions de sécurité	85
24.2.3.3	Observation de structures de bâtiments	85
24.2.3.4	Observation d'images infrarouges	87
24.2.4	Détection de l'humidité (2) : Façades de bâtiments commerciaux et résidentiels	89
24.2.4.1	Informations générales	89
24.2.4.2	Observation de structures de bâtiments	89
24.2.4.3	Observation d'images infrarouges	91
24.2.5	Détection de l'humidité (3) : Terrasses et balcons	92
24.2.5.1	Informations générales	92
24.2.5.2	Observation de structures de bâtiments	93
24.2.5.3	Observation d'images infrarouges	95
24.2.6	Détection de l'humidité (4) : Dégâts et fuites du système de plomberie	95
24.2.6.1	Informations générales	95
24.2.6.2	Observation d'images infrarouges	96
24.2.7	Infiltration d'air	98
24.2.7.1	Informations générales	98
24.2.7.2	Observation de structures de bâtiments	98
24.2.7.3	Observation d'images infrarouges	100
24.2.8	Défauts d'isolation	101
24.2.8.1	Informations générales	101
24.2.8.2	Observation de structures de bâtiments	101
24.2.8.3	Observation d'images infrarouges	103
24.3	Théorie en science du bâtiment	105
24.3.1	Informations générales	105
24.3.2	Répercussions des tests et des contrôles	106
24.3.3	Sources de perturbations en thermographie	108
24.3.4	Température de surface et fuites d'air	109
24.3.4.1	Conditions de pression d'un bâtiment	109
24.3.5	Conditions des mesures et environnement atmosphérique	115
24.3.6	Interprétation des images infrarouges	115
24.3.7	Humidité et point de rosée	117
24.3.7.1	Humidité relative et absolue	117
24.3.7.2	Définition du point de rosée	118
24.3.8	Extrait de la note technique 'Evaluation d'un pont thermique et de la continuité d'isolation' (exemple du Royaume-Uni)	118
24.3.8.1	Auteurs	118
24.3.8.2	Introduction	119
24.3.8.3	Informations préalables	119
24.3.8.4	Jugement quantitatif des anomalies thermiques	120
24.3.8.5	Conditions et équipement	124
24.3.8.6	Analyse	124
24.3.8.7	Rapport	126

24.4	Clause légale	128
24.4.1	Copyright	128
24.4.2	Formation et certification	128
24.4.3	Code national ou régional du bâtiment	128
25	Introduction à l'inspection thermographique des installations électriques	129
25.1	Remarque importante	129
25.2	Informations générales	129
25.2.1	Introduction	129
25.2.2	Généralités sur l'équipement	130
25.2.3	Inspection	131
25.2.4	Classification et rapport	131
25.2.5	Priorité	132
25.2.6	Réparation	132
25.2.7	Contrôle	133
25.3	Technique de mesure pour l'inspection thermographique des installations électriques	135
25.3.1	Configuration correcte de l'équipement	135
25.3.2	Mesure de la température	135
25.3.3	Mesure comparative	137
25.3.4	Température d'exploitation normale	138
25.3.5	Classification des défaillances	139
25.4	Rapport	141
25.5	Types de zones chaudes d'installations électriques	143
25.5.1	Réflexions	143
25.5.2	Chaleur solaire	143
25.5.3	Chaleur inductive	144
25.5.4	Variations de charge	144
25.5.5	Conditions variables de refroidissement	145
25.5.6	Variations de la résistance	146
25.5.7	Surchauffe d'une pièce résultant de la défaillance d'un autre composant	146
25.6	Facteurs parasites lors de l'inspection thermographique d'installations électriques	148
25.6.1	Vent	148
25.6.2	Pluie et neige	149
25.6.3	Distance de l'objet	149
25.6.4	Taille de l'objet	150
25.7	Conseils pratiques	152
25.7.1	Chaud et froid	152
25.7.2	Averses	152
25.7.3	Emissivité	152
25.7.4	Température apparente réfléchie	153
25.7.5	Objet trop éloigné	153
26	A propos de la société FLIR Systems	154
26.1	Bien plus qu'une simple caméra infrarouge	155
26.2	Communiquer notre savoir	155
26.3	L'assistance clientèle	156
26.4	Nos installations en image	156
27	Glossaire	158
28	Techniques de mesure thermographique	162
28.1	Introduction	162
28.2	Emissivité	162
28.2.1	Obtention de l'émissivité d'un échantillon	163

28.2.1.1	Etape 1 : Détermination de la température apparente réfléchie	163
28.2.1.2	Etape 2 : Détermination de l'émissivité	165
28.3	Température apparente réfléchie	166
28.4	Distance	166
28.5	Humidité relative	166
28.6	Autres paramètres	166
29	Historique de la technologie infrarouge	168
30	Théorie de la thermographie	173
30.1	Introduction	173
30.2	Spectre électromagnétique	173
30.3	Rayonnement d'un corps noir	174
30.3.1	Loi de Planck	175
30.3.2	Loi de déplacement de Wien	177
30.3.3	Loi de Stefan-Boltzmann	178
30.3.4	Emetteurs non noirs	179
30.4	Matériaux infrarouges semi-transparents	181
31	La formule de mesure	183
32	Tables des émissivités	189
32.1	Références	189
32.2	Remarque importante concernant les tables d'émissivité	189
32.3	Tables	190

Avertissements et mises en garde

AVERTISSEMENT

- Cet appareil génère, utilise et peut émettre des fréquences radio. S'il n'est pas installé et utilisé conformément aux instructions du manuel, il peut causer des interférences dans les communications radio. Cet équipement a été testé et déclaré conforme aux limites des appareils électriques de Classe A, décrites dans la sous-section J de la section 15 des règlements de la FCC, et qui ont été établies pour garantir une protection contre ce type d'interférence dans le cadre d'un fonctionnement dans un environnement commercial. L'utilisation de cet appareil dans une zone résidentielle est susceptible de causer des interférences. Le cas échéant, l'utilisateur devra prendre à sa propre charge les mesures nécessaires à la correction de ces interférences.
- (Concerne les caméras dotées d'un pointeur laser uniquement) Ne dirigez pas le faisceau laser vers les yeux. Il pourrait causer des irritations.
- Pour les modèles équipés d'une batterie uniquement :
 - Ne démontez pas la batterie et n'effectuez aucune modification. Elle est munie de dispositifs de sécurité et de protection qui, s'ils sont endommagés, peuvent provoquer une surchauffe, l'explosion ou l'inflammation de la batterie.
 - En cas de fuite provenant de la batterie, si le liquide entre en contact avec vos yeux, ne les frottez surtout pas. Rincez abondamment à l'eau claire et consultez votre médecin. Le liquide de la batterie peut provoquer des lésions.
 - Arrêtez la recharge de la batterie si le temps de chargement spécifié ne lui suffit pas pour se recharger. Si vous n'interrompez pas le processus, la batterie peut surchauffer et exploser ou prendre feu.
 - Utilisez l'équipement adéquat pour décharger la batterie. Sans quoi vous risquez d'en réduire les performances ou la durée de vie. Ne pas utiliser l'équipement approprié peut également générer une mauvaise circulation du courant dans la batterie. Elle est alors susceptible de surchauffer, d'exploser ou de blesser quelqu'un.
- Lisez toutes les FDS (Fiches de données de sécurité) et les mises en garde présentes sur les récipients avant d'utiliser un liquide. Ces liquides peuvent être dangereux.

ATTENTION

- N'orientez pas la caméra infrarouge (avec ou sans cache objectif) vers des sources d'énergie intenses, telles que des rayonnements laser ou des rayons solaires. Cela peut affecter la précision de la caméra. Le détecteur de la caméra pourrait également être endommagé.
- N'utilisez pas la caméra à une température dépassant +50 °C, sauf indications contraires figurant dans le manuel. Les températures élevées peuvent endommager la caméra.
- (Concerne les caméras dotées d'un pointeur laser uniquement) Protégez le pointeur laser avec le cache protecteur si vous ne l'utilisez pas.
- Pour les modèles équipés d'une batterie uniquement :

- Ne branchez pas les batteries directement sur la prise allume-cigare d'une voiture : utilisez l'adaptateur spécialement conçu pour raccorder les batteries à un allume-cigare fourni par FLIR Systems.
 - Evitez tout contact entre la borne positive et la borne négative de la batterie, en veillant à ne pas placer d'objet métallique entre elles (par exemple, un fil).
 - Evitez tout contact de la batterie avec de l'eau douce ou salée.
 - Ne percez pas la batterie. Ne frappez pas la batterie avec un marteau. Ne marchez pas sur la batterie et évitez tout impact ou choc violent.
 - Ne placez pas la batterie à proximité du feu ou au soleil. Lorsque la batterie chauffe, le dispositif de sécurité est activé et interrompt le processus de chargement. Lorsque la batterie chauffe, le dispositif de sécurité peut subir des dommages susceptibles de causer une surchauffe encore plus importante, des dommages ou l'inflammation de la batterie.
 - N'exposez pas la batterie à une flamme ou à une source de chaleur.
 - Ne placez pas la batterie en contact ou à proximité de flammes, d'une étuve ou de tout autre environnement à température élevée.
 - N'effectuez aucune soudure directement sur la batterie.
 - N'utilisez pas la batterie si elle dégage une odeur inhabituelle, si elle est chaude, si elle change de couleur ou de forme ou présente une anomalie alors que vous l'utilisez, la chargez ou la stockez. Si vous rencontrez l'un de ces problèmes, veuillez contacter votre fournisseur.
 - Lorsque vous rechargez la batterie, utilisez exclusivement le chargeur prévu à cet effet.
 - La batterie peut être chargée à une température comprise entre 0 et +45 °C sauf indications contraires dans le manuel. Si vous chargez la batterie à une température inférieure à 0°C ou supérieure à 45°C, la batterie peut chauffer ou se fissurer. Les performances ou la durée de vie de la batterie peuvent également s'en trouver réduites.
 - La batterie peut être déchargée à une température comprise entre 15 et +50 °C, sauf indications contraires dans le manuel. L'utilisation de la batterie à des températures se situant en dehors de cet intervalle peut réduire les performances ou la durée de vie de la batterie.
 - Lorsque la batterie est usée, isolez les bornes à l'aide de ruban adhésif ou d'un matériau similaire avant de la jeter.
 - Veillez à sécher l'eau ou les traces d'humidité sur la batterie avant de l'insérer.
 - N'appliquez pas de diluant ni tout autre liquide sur la caméra, les câbles ou autres éléments. Cela peut provoquer des dommages.
 - Nettoyez l'objectif infrarouge avec précaution. L'objectif est doté d'un revêtement anti-reflet fragile.
 - Ne nettoyez pas l'objectif infrarouge trop souvent. Cela peut endommager son revêtement anti-reflet.
 - Dans un four ou dans toute autre application à haute température, vous devez monter un bouclier thermique sur la caméra. Si vous utilisez la caméra dans un four ou dans toute autre application à haute température en l'absence de bouclier thermique, vous risquez d'endommager la caméra.
-

2 Remarques à l'attention des utilisateurs

Conventions typographiques

Le présent manuel utilise les conventions typographiques suivantes :

- Le noms des menus, des commandes, des désignations et des boutons des boîtes de dialogue sont indiqués en **demi-gras**.
 - Les informations importantes sont indiquées en *italique*.
 - Les exemples de codes sont indiqués par une police Monospace.
 - Les LETTRES MAJUSCULES sont utilisées pour les noms et les boutons.
-

Forums utilisateur à utilisateur

Partagez vos idées, problèmes et solutions infrarouges avec les thermographistes du monde entier via nos forums d'utilisateur à utilisateur. Pour accéder aux forums, rendez-vous sur ce site :

<http://www.infraredtraining.com/community/boards/>

Etalonnage

(Cette remarque ne concerne que les caméras dotées de fonctions de mesure.)

Nous vous recommandons de retourner vos caméras pour un étalonnage une fois par an. Contactez votre revendeur le plus proche pour connaître les modalités d'envoi.

Mise au rebut des déchets électroniques



Comme pour la plupart des appareils électroniques, cet équipement doit être mis au rebut de manière à préserver l'environnement et conformément aux réglementations existantes en matière de déchets électroniques.

Pour plus de détails, contactez votre représentant FLIR Systems.

3 Aide clientèle

Généralités

Pour obtenir de l'aide, accédez au site suivant :
<http://flir.custhelp.com>

Envoi d'une question

Pour envoyer une question à l'aide clientèle, vous devez posséder un compte. Vous pouvez vous inscrire en ligne en quelques minutes. Si vous souhaitez simplement effectuer une recherche dans la base de connaissances, votre inscription n'est pas obligatoire.

Si vous souhaitez envoyer une question, veuillez fournir les informations suivantes :

- Modèle de caméra
 - Numéro de série de la caméra
 - Protocole ou méthode de communication entre la caméra et l'ordinateur (par exemple Ethernet, USB™ ou FireWire™)
 - Système d'exploitation installé sur votre ordinateur
 - Version de Microsoft® Office
 - Nom complet, numéro de publication et numéro de révision du manuel
-

Téléchargements

Sur le site d'aide clientèle, les téléchargements suivants sont disponibles :

- Mises à jour du micrologiciel de la caméra infrarouge
 - Mises à jour du logiciel installé sur l'ordinateur
 - Documentation utilisateur
 - Exemples d'applications
 - Publications techniques
-

Généralités

Nos manuels sont mis à jour plusieurs fois par an et nous publions également régulièrement des notifications de produits essentielles à propos des modifications.

Pour accéder aux derniers manuels et notifications, allez dans l'onglet Download sur :

<http://flir.custhelp.com>

Vous pouvez vous inscrire en ligne en quelques minutes. Dans la zone de téléchargement, vous trouverez également les dernières publications des manuels pour nos autres produits, ainsi que les manuels de nos produits historiques et obsolètes.

Remarque importante concernant ce manuel

Généralités

FLIR Systems publie des manuels génériques adaptés pour plusieurs caméras d'une même gamme de modèles.

Cela signifie que ce manuel contient des descriptions et des explications susceptibles de ne pas concerner votre modèle de caméra.

REMARQUE

FLIR Systems se réserve le droit d'interrompre certains modèles, logiciels, accessoires, certaines pièces ou tout autre composant, ou d'en modifier les spécifications et/ou les fonctionnalités à tout moment et sans préavis.

6

Guide de démarrage rapide

Procédure

Procédez comme suit pour démarrer immédiatement :

1	<p>Chargez la batterie pendant quatre heures avant la toute première utilisation de la caméra.</p> <ul style="list-style-type: none">■ Vous pouvez charger la batterie dans le chargeur autonome ou en connectant directement le câble d'alimentation à la batterie.■ Lorsque le voyant vert de l'indicateur d'état de la batterie s'allume en continu, la batterie est entièrement chargée. <p>(Pour plus d'informations, reportez-vous à la section 18.3 – Chargement de la batterie à la page 59.)</p>
2	<p>Insérez la batterie dans son compartiment.</p> <p>(Pour plus d'informations, reportez-vous à la section 18.1 – Installation de la batterie à la page 57.)</p>
3	<p>Insérez une carte mémoire dans le logement de la carte mémoire.</p> <p>(Pour plus d'informations, reportez-vous à la section 10.3 – Insertion et retrait de cartes mémoire MicroSD™ à la page 21.)</p>
4	<p>Appuyez sur le bouton Marche/Arrêt pour allumer la caméra.</p> <p>(Pour plus d'informations, reportez-vous à la section 8.1 – Composants de la caméra à la page 10.)</p>
5	<p>Retirez le cache de l'objectif.</p>
6	<p>Orientez la caméra vers la cible.</p>
7	<p>Réglez la mise au point en tournant la bague de mise au point.</p> <p>(Pour plus d'informations, reportez-vous à la section 13.2 – Réglage de la mise au point de la caméra à la page 27.)</p>
8	<p>Actionnez le déclencheur pour enregistrer l'image.</p> <p>(Pour plus d'informations, reportez-vous à la section 16.1 – Sauvegarde d'une image à la page 38.)</p>
9	<p>Pour déplacer l'image vers un ordinateur, effectuez l'une des opérations suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">■ Retirez la carte mémoire et insérez-la dans un lecteur de carte branché à un ordinateur. La caméra est livrée avec un adaptateur.■ Branchez un ordinateur à la caméra à l'aide d'un câble USB mini-B. <p>(Pour plus d'informations, reportez-vous à la section 16.8 – Transfert des images vers un ordinateur à la page 46.)</p>
10	<p>Dans Windows® Explorer, déplacez l'image de la carte ou de la caméra en effectuant un glisser-déposer.</p>

7 Liste des pièces

7.1 *Contenu de la mallette de transport*

Contenu

-
- Batterie
 - Casque Bluetooth®
 - Micro adaptateur USB Bluetooth®
 - Certificat d'étalonnage
 - CD-ROM du logiciel FLIR QuickReport™™
 - Caméra infrarouge comprenant un objectif
 - Carte mémoire avec adaptateur
 - Câble d'alimentation (+ câbles secteur pour le marché japonais)
 - Guide de démarrage (version imprimée)
 - Câble USB
 - CD-ROM de la documentation utilisateur
 - Carte d'extension de garantie ou carte d'inscription
-

REMARQUE

- FLIR Systems se réserve le droit d'interrompre la fabrication de certains modèles de produits, de pièces, d'accessoires, ou de tout autre composant, ou d'en modifier les spécifications à tout moment et sans préavis.
 - Certains éléments varient selon le modèle de la caméra.
-

7.2 Liste des accessoires

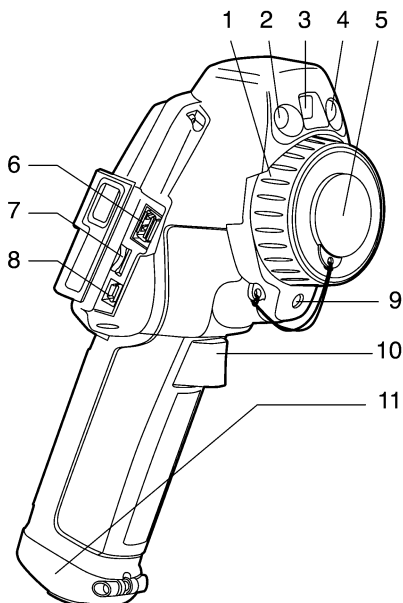
Généralités	Cette section contient une liste des accessoires pouvant être achetés pour votre caméra.
Accessoires	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1122000 Étui souple pour caméra de la série E, InfraCAM/BCAM, FLIR i/bXX ■ 1196398 Batterie ■ 1196497 Kit adaptateur allume-cigare, 12 VCC ; 1,2 m. ■ 1910399 Câble d'alimentation UE, multiprise UE incluse ■ T197209 FLIR Reporter Ver. 8.3 Professional (périphérique de sécurité) ■ T197210 FLIR Reporter Ver. 8.3 Professional ■ T197211 FLIR Reporter Ver. 8.3 Standard (périphérique de sécurité) ■ T197212 FLIR Reporter Ver. 8.3 Standard ■ T197247 Mallette de transport rigide pour i/b40-60 ■ T197613 FLIR BuildIR ■ T197650 Chargeur de batterie à deux rangées incluant le bloc d'alimentation avec multiprises ■ T197667 Pack batterie ■ T197716 FLIR Reporter Ver. 8.5 Standard ■ T197717 FLIR Reporter Ver. 8.5 Professional ■ T910737 Carte mémoire micro-SD avec adaptateurs ■ T910750 Câble d'alimentation, multiprises incluses
REMARQUE	FLIR Systems se réserve le droit d'interrompre la fabrication de certains modèles de produits, de pièces, d'accessoires, ou de tout autre composant, ou d'en modifier les spécifications à tout moment et sans préavis.

8 Composants de la caméra et indicateurs

8.1 Composants de la caméra

Figure

10782603.a2



Explication

Ce tableau explique la figure ci-dessus :

1	Bague de mise au point de l'objectif infrarouge.
2	Lampe caméra numérique.
3	Caméra numérique.
4	Lampe caméra numérique.
5	Cache d'objectif.
6	Connecteur USB-A (connecte une clé USB, un micro adaptateur USB Bluetooth® ou un autre périphérique USB à la caméra).
7	Logement de carte mémoire MicroSD™.

8	Connecteur USB-Mini-B (connecte la caméra à un ordinateur).
9	Pointeur laser.
10	Déclencheur pour enregistrer les images.
11	Couvercle du compartiment de la batterie, bouton de déverrouillage inclus.

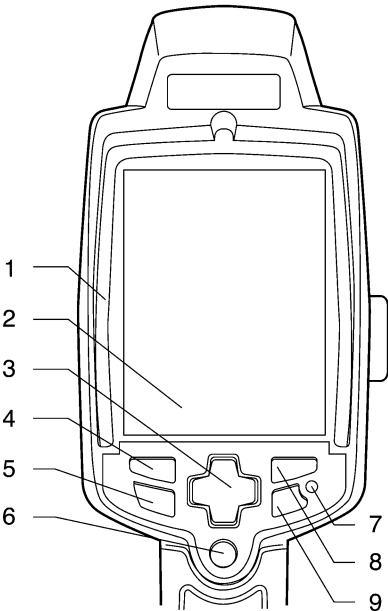
REMARQUE

Le pointeur laser n'est peut-être pas adapté pour tous les modèles de caméras.

8.2 *Clavier et écran LCD.*

Figure

10782703.a2



Explication

Ce tableau explique la figure ci-dessus :

1	Étui en caoutchouc de protection de l'écran LCD.
2	Écran LCD.
3	Pavé de navigation.
4	Bouton de sélection gauche. Il s'agit d'un bouton contextuel.
5	Bouton caméra/archive. Ce bouton vous permet de passer du mode caméra au mode archive.
6	Bouton d'activation du pointeur laser.
7	Indicateur d'alimentation.
8	Bouton de sélection droit. Il s'agit d'un bouton contextuel.
9	Bouton Marche/Arrêt.

REMARQUE

Le pointeur laser n'est peut-être pas adapté pour tous les modèles de caméras.

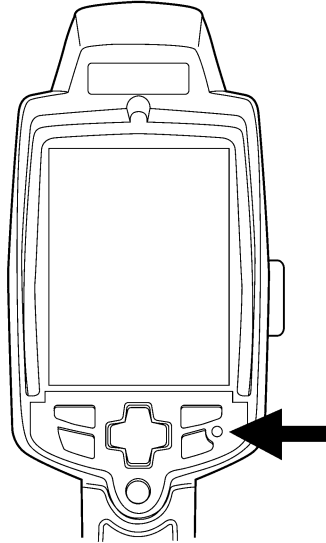
8.3

*Indicateur d'alimentation***Généralités**

La caméra comporte deux modes d'alimentation. Un témoin lumineux indique le mode actuel de la caméra.

Figure

10782203.a2

**Explication**

Ce tableau décrit l'indicateur :

Type de signal	Signification
Signal lumineux vert continu.	La caméra est allumée.
Indicateur éteint.	La caméra est éteinte.

REMARQUE

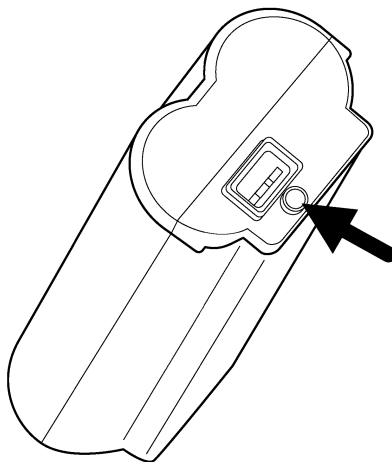
Si le voyant lumineux vert clignote dix fois par seconde, la caméra a un problème matériel. Pour savoir où faire réparer votre caméra, veuillez contacter votre revendeur local.

8.4 Indicateur de condition de la batterie

Généralités La caméra est équipée d'un indicateur de condition de la batterie.

Figure

10715703.a3



Explication

Ce tableau décrit le fonctionnement de l'indicateur de condition de la batterie :

Type de signal	Signification
Clignotement du signal lumineux 2 fois par seconde.	La batterie est en cours de chargement.
Signal lumineux vert continu.	La batterie est chargée.
Indicateur éteint.	La caméra fonctionne sur la batterie (au lieu de fonctionner sur l'alimentation).

8.5 *Pointeur laser*

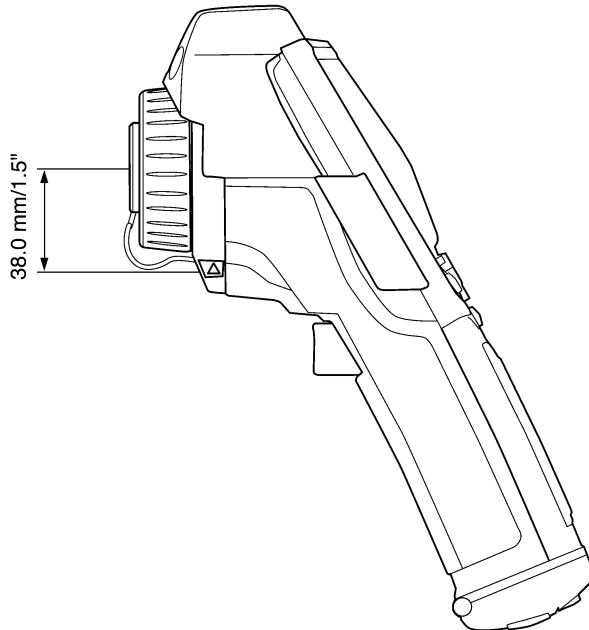
Généralités

La caméra est équipée d'un pointeur laser. Lorsque le pointeur laser est activé, un point laser est visible environ 37 mm au-dessus de la cible. Sur certains modèles de caméras, la position de ce point laser est indiquée à l'écran.

Figure

Cette figure indique la différence de position du pointeur laser et du centre optique de l'objectif infrarouge :


10781703.a1



AVERTISSEMENT

Ne dirigez pas le faisceau laser vers les yeux, car il peut provoquer des irritations.

REMARQUE

- Le pointeur laser n'est peut-être pas adapté pour tous les modèles de caméras.
- Le symbole  s'affiche à l'écran lorsque le pointeur laser est activé.
- La distance de la cible modifie la distance entre le rayon laser et le centre de l'image. Regardez l'écran pour vous assurer qu'il affiche la cible désirée.

Vignette de mise en garde (laser)

Une vignette de mise en garde laser contenant les informations suivantes est fixée à la caméra :



Réglementations laser

Longueur d'onde : 635 nm. Puissance de sortie max. : 1 mW.

Ce produit est conforme aux normes 21 CFR 1040.10 et 1040.11 à l'exception des écarts décrits dans Laser Notice N°50, du 24 juin 2007.

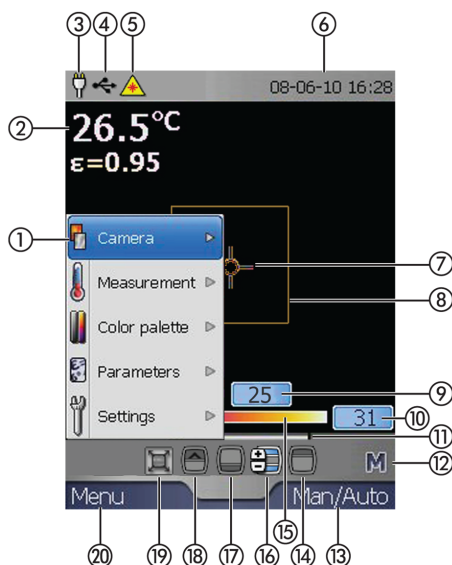
9 Éléments de l'écran

Généralités

Les outils, les menus et les boîtes de dialogue de l'écran vous permettent de contrôler le programme de la caméra. Cette section décrit les objets les plus courants de l'écran.

Figure

10782803.a1



Explication

Ce tableau explique la figure ci-dessus :

1	Système de menus.
2	Tableau des résultats de la mesure, avec informations sur la valeur d'émissivité.
3	Indicateur d'alimentation. Lorsque la caméra est alimentée par une batterie, un indicateur de niveau de batterie s'affiche.
4	Indicateur USB. Cet indicateur s'affiche lorsque la caméra est connectée à un ordinateur via un câble USB.
5	Indicateur de pointeur laser. Cet indicateur s'affiche lorsque le pointeur laser est activé.
6	Date et heure.
7	Point de mesure.

8	Zone de mesure.
9	Valeur limite d'un isotherme dans l'échelle de température.
10	Valeur limite de l'échelle de température.
11	Indicateur d'intervalle de températures.
12	Indicateur du mode automatique ou manuel (A/M).
13	Fonction actuelle du bouton de sélection droit.
14	Outil permettant de modifier la température maximum de l'échelle.
15	Échelle de température.
16	Outil permettant de modifier simultanément les niveaux de température maximum et minimum de l'échelle.
17	Outil permettant de modifier la température minimum de l'échelle.
18	Outil de définition d'un isotherme.
19	Outil de redimensionnement de la zone Picture-in-Picture.
20	Fonction actuelle du bouton de sélection gauche.

REMARQUE

Certains de ces éléments de l'écran s'excluent mutuellement.

10 Connecteurs et supports de stockage

10.1 *Prise d'alimentation*

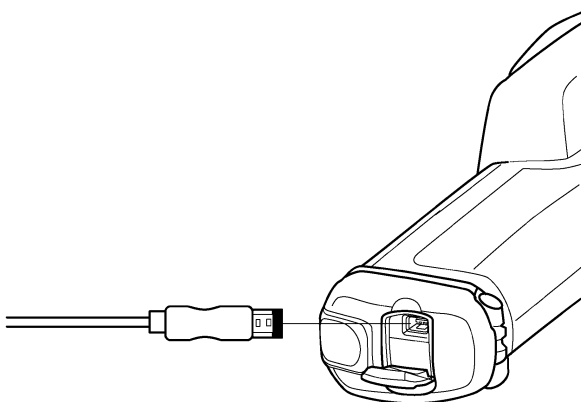
Généralités

On connecte un câble d'alimentation à la caméra

- pour charger la batterie
 - pour faire fonctionner la caméra sur l'alimentation secteur.
-

Figure

10601403.a2



VOIR AUSSI

Pour obtenir des informations sur la configuration des broches, reportez-vous à la section 21 – Configuration des broches à la page 68.

10.2 Connecteurs USB

Généralités

Les connecteurs USB s'utilisent dans l'une des situations suivantes :

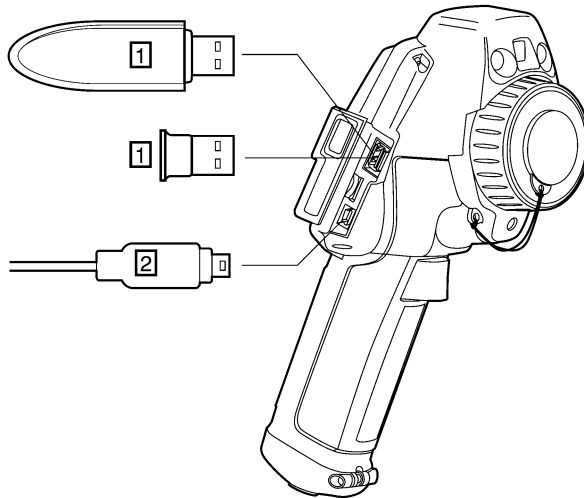
- Pour déplacer des images de la mémoire de la caméra vers un ordinateur. Dans ce cas, utilisez le petit connecteur (USB Mini-B).
- Pour brancher une clé USB à la caméra. Dans ce cas, utilisez le grand connecteur (USB-A).
- Utilisez le grand connecteur (USB-A) pour brancher un micro adaptateur USB Bluetooth® à la caméra, permettant de détecter les résultats de mesure de l'appareil de mesure Exttech®.

Appareils de mesure Exttech® supporté

- Exttech® Moisture Meter MO297
- Exttech® Clamp Meter EX845

Figure

10782503.a2



Signification

Ce tableau décrit les figures ci-dessus :

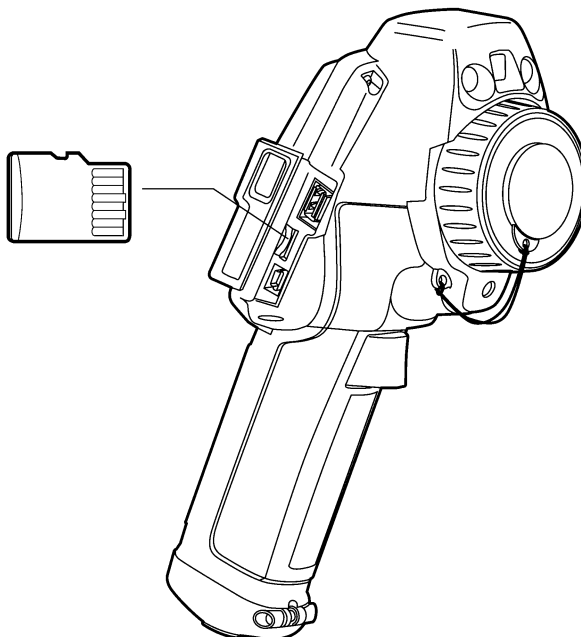
1	<p>L'un des éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Clé USB. ■ Micro adaptateur USB Bluetooth®
2	<p>Câble USB avec connecteur USB-Mini-B (connecte la caméra à un ordinateur).</p>

10.3

Insertion et retrait de cartes mémoire MicroSD™

Figure

10782303.a4

**Procédure**

Pour insérer et retirer une carte mémoire MicroSD™, procédez comme suit :

1	Ouvrez le capot en caoutchouc protégeant la prise de la carte.
2	Insérez fermement la carte mémoire MicroSD™ dans son emplacement jusqu'à ce qu'un clic se produise.
3	Pour retirer la carte mémoire MicroSD™, appuyez de nouveau dessus.

11 Association de périphériques Bluetooth®

Généralités

Avant de pouvoir utiliser un périphérique Bluetooth® avec la caméra, vous devez associer les deux périphériques.

Procédure

Procédez comme suit :

1	Insérez un micro adaptateur USB Bluetooth® dans le grand connecteur USB (USB-A).
2	Allumez la caméra.
3	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
4	Pour sélectionner Configuration , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
6	Pour sélectionner Bluetooth , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
7	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
8	Pour sélectionner Ajouter le périphérique , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
9	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner . Reportez-vous alors au manuel de votre périphérique Bluetooth®. Durant la phase d'association, vous devrez actualiser la boîte de dialogue en cliquant sur Actualiser

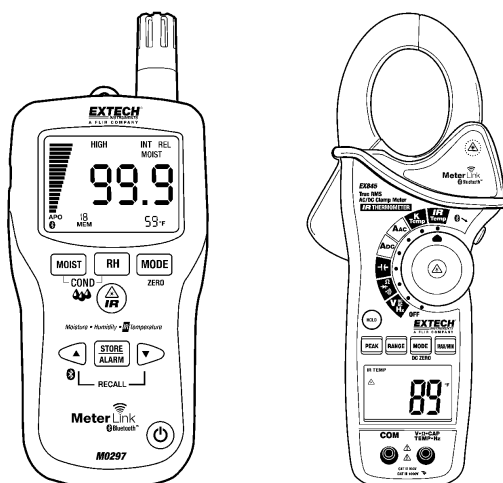
12 Recherche les données des appareils de mesure externe Extech®

Généralités

Vous pouvez rechercher les données d'un appareil de mesure externe Extech® et les fusionner avec le tableau de résultats de l'image infrarouge.

Figure

T638370.a1



Appareils de mesure Extech® supporté

- Extech® Moisture Meter MO297
- Extech® Clamp Meter EX845

Appareils de mesure Extech® pris en charge

support@extech.com

Ce support technique traite uniquement les demandes relatives aux appareils de mesure Extech®. Si vous souhaitez obtenir de l'assistance technique pour les caméras infrarouges, consultez le site Web <http://flir.custhelp.com>.

REMARQUE

- Pour effectuer cette procédure, vous devez avoir associé les périphériques Bluetooth®. Pour plus d'informations sur cette association, reportez-vous à la section 11 – Association de périphériques Bluetooth® à la page 22
- Pour plus d'informations sur les produits Extech Instruments, reportez-vous au site Web <http://www.extech.com/instruments/>

Procédure

Procédez comme suit :

1	Allumez la caméra.
2	Allumez l'appareil de mesure Extech®.
3	Dans l'appareil de mesure, activez le mode Bluetooth®. Reportez-vous au manuel de l'appareil de mesure pour obtenir plus d'informations sur cette procédure.
4	Dans l'appareil de mesure, sélectionnez les unités de mesure que vous souhaitez utiliser (tension, courant, résistance, etc.). Reportez-vous au manuel du capteur pour obtenir plus d'informations sur cette procédure. Les résultats de l'appareil de mesure s'afficheront désormais automatiquement dans le tableau de résultats situé dans le coin supérieur gauche de l'écran de la caméra infrarouge.
5	Pour enregistrer l'image avec le résultat de l'appareil de mesure affiché, actionnez le déclencheur.
6	(Étape facultative) Pour ajouter une autre mesure à partir de l'appareil de mesure, procédez comme suit : <ol style="list-style-type: none"> 1 Sélectionnez à nouveau l'image infrarouge dans les images archivées. 2 Dans l'appareil de mesure, sélectionnez les unités de mesure que vous souhaitez utiliser (tension, courant, résistance, etc.). 3 Prenez une nouvelle mesure à l'aide de l'appareil de mesure. 4 Sur la caméra infrarouge, actionnez le déclencheur pour ajouter la nouvelle valeur mesurée à l'image. 5 Confirmez l'enregistrement de l'image modifiée.

12.1 Procédures typiques de mesures d'humidité et de documentation

Généralités

La procédure suivante peut servir de référence pour les autres procédures utilisant les appareils de mesure Extech® et les caméras infrarouges.

Procédure

Procédez comme suit :

1	La caméra infrarouge vous permet de détecter les zones humides derrière les murs et les plafonds.
2	L'humidimètre vous permet de déterminer le niveau d'humidité selon les différents emplacements suspects qui ont été découverts.
3	Lorsque vous avez repéré un endroit particulièrement intéressant, enregistrez le relevé d'humidité dans la mémoire de l'hydromètre. Puis, identifiez l'endroit à l'aide d'une empreinte manuelle ou d'un autre marqueur d'identification thermique.
4	Sélectionnez à nouveau le relevé dans la mémoire de l'appareil de mesure. L'hydromètre transmet désormais en continu ce relevé à la caméra infrarouge.
5	La caméra vous permet de prendre une image thermique de la zone avec le marqueur d'identification. Les données stockées dans l'hydromètre seront également enregistrées sur l'image.

13 Choix des modes de caméra et ajustement des images

13.1 *Choix du mode de caméra*

Généralités

Vous pouvez utiliser la caméra dans trois modes différents :

- En tant que caméra infrarouge. Dans ce mode, la caméra fonctionne comme une caméra infrarouge ordinaire et ne peut afficher et enregistrer que des images infrarouge.
- En tant que caméra numérique. Dans ce mode, la caméra fonctionne comme une caméra numérique, similaire à une caméra numérique grand public.
- Avec le mode Picture-in-Picture. Dans ce mode, une partie centrale de l'image numérique s'affiche en infrarouge.

Vous pouvez changer de mode de caméra à tout moment.

Procédure

Suivez cette procédure pour changer de mode de caméra :

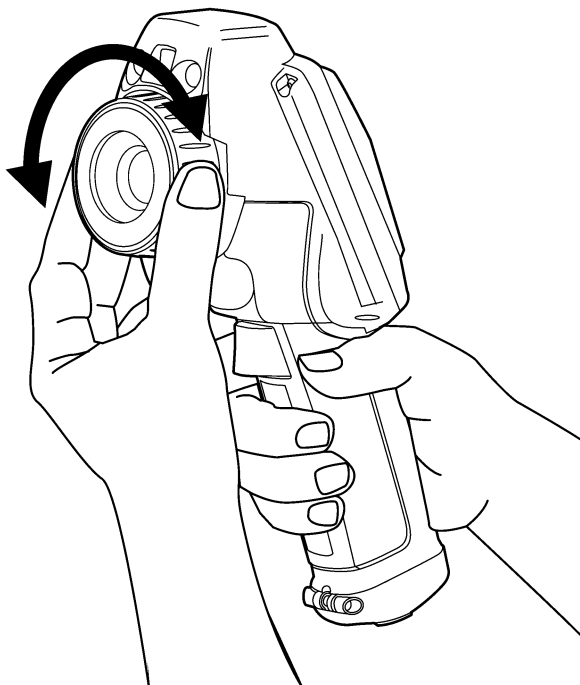
1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Caméra , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Effectuez l'un des choix suivants à l'aide du pavé de navigation : <ul style="list-style-type: none">■ Infrarouge■ Caméra numérique■ PiP (Picture in Picture)
5	Appuyez sur Sélectionner .

13.2

Réglage de la mise au point de la caméra

Figure

10782103.a1



Procédure

Suivez cette procédure pour régler la mise au point de la caméra :

1	Tenez fermement la caméra.
2	Manipulez la bague de mise au point de votre main libre.
3	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ Tourner la bague de mise au point dans le sens inverse des aiguilles d'une montre pour une cible éloignée. ■ Tournez la bague de mise au point dans le sens des aiguilles d'une montre pour une cible proche.

13.3 *Ajustement automatique de l'image*

Généralités	Pour améliorer la luminosité et le contraste des images, procédez au réglage automatique de la caméra avant de mesurer une température et d'enregistrer une image.
Procédure	Si la lettre M s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, appuyez une fois sur Man/Auto pour régler automatiquement l'image.
REMARQUE	Si la lettre A s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, la caméra est déjà en mode réglage automatique pour une luminosité et un contraste optimum.

13.4 Réglage manuel d'une image

Généralités

Pour analyser un objet comportant une vaste plage de températures, vous pouvez utiliser les couleurs de l'échelle sur différentes parties de l'objet.

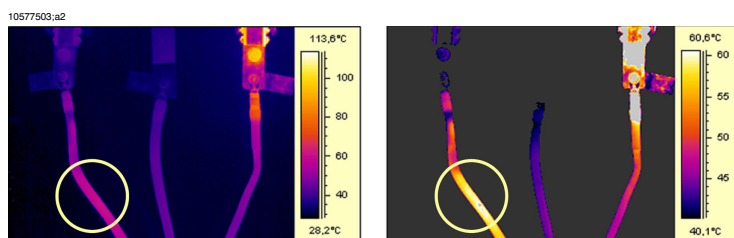
Sur l'image de gauche ci-dessous, le câble entouré d'un cercle est difficile à analyser correctement en réglage automatique. En revanche, l'analyse sera plus détaillée si vous augmentez ou diminuez

- le niveau de température **maximum** ;
- le niveau de température **minimum** ;
- les niveaux de température **maximum et minimum** simultanément.

Figure

Cette figure comprends deux images infrarouges des points de branchement de câbles.

L'image de gauche a été réglée automatiquement. Les niveaux de température minimum et maximum de l'image de droite ont été redéfinis sur des niveaux proches des températures de l'objet en question. Vous pouvez constater les modifications des niveaux de température en observant l'échelle de température située à droite de chaque image.



A (automatic)

M (manual)

VOIR AUSSI


Pour les procédures de réglage manuel des images, reportez-vous aux sections suivantes :

- Section 13.4.1 – Augmentation ou réduction du niveau de température maximum à la page 30
- Section 13.4.2 – Augmentation ou réduction du niveau de température minimum à la page 31
- Section 13.4.3 – Modification simultanée des niveaux de température maximum et minimum à la page 32

13.4.1 Augmentation ou réduction du niveau de température maximum

Procédure


Suivez la procédure suivante pour augmenter ou diminuer le niveau de température **maximum** :

1	<p>Effectuez l'une des actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Si la lettre A s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, appuyez une fois sur Man/Auto. ■ Si la lettre M s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, passez à l'étape 2 ci-dessous.
2	<p>Pour sélectionner , utilisez les boutons droite/gauche du pavé de navigation.</p>
3	<p>Pour modifier la valeur, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.</p>

13.4.2 Augmentation ou réduction du niveau de température minimum

Procédure


Suivez la procédure suivante pour augmenter ou diminuer le niveau de température **minimum** :

1	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none">■ Si la lettre A s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, appuyez une fois sur Man/Auto.■ Si la lettre M s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, passez à l'étape 2 ci-dessous.
2	Pour sélectionner  , utilisez les boutons droite/gauche du pavé de navigation.
3	Pour modifier la valeur, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.

13.4.3 Modification simultanée des niveaux de température maximum et minimum

Procédure

Suivez cette procédure pour modifier simultanément les températures minimum et maximum :

1	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none">■ Si la lettre A s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, appuyez une fois sur Man/Auto.■ Si la lettre M s'affiche dans le coin inférieur droit de l'écran, passez à l'étape 2 ci-dessous.
2	Pour sélectionner  , utilisez les boutons droite/gauche du pavé de navigation.
3	Pour modifier la valeur, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.

14 Traitement des mesures

14.1 *Mesure de la température à l'aide d'un repère*

Généralités Vous pouvez mesurer la température à l'aide d'un repère fixe situé au centre de l'écran.

Procédure Pour mesurer la température à l'aide d'un repère fixe, procédez comme suit :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Mesure , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Pour sélectionner Température , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour enregistrer les modifications et fermer le menu, appuyez sur Sélectionner .
6	Orientez la caméra en direction de l'objet que vous souhaitez analyser. La température s'affiche dans le coin supérieur gauche de l'écran.

REMARQUE Pour que la température s'affiche correctement, l'objet doit complètement remplir le cercle situé au milieu du repère.

14.2 Mesure d'une température à l'aide d'une zone

Généralités Vous pouvez mesurer la température minimale ou maximale à l'aide d'une zone fixe située au centre de l'écran.

Procédure Pour mesurer la température minimale et maximale à l'aide d'une zone fixe, procédez comme suit :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Mesure , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none">■ Pour créer une zone dont la température minimale est indiquée dans le coin supérieur gauche de l'écran, utilisez les boutons haut et bas du pavé de navigation pour sélectionner Min. zone, puis appuyez sur Sélectionner.■ Pour créer une zone dont la température maximale est indiquée dans le coin supérieur gauche de l'écran, utilisez les boutons haut et bas du pavé de navigation pour sélectionner Max. zone, puis appuyez sur Sélectionner.
5	Pointez la caméra sur l'objet que vous souhaitez mesurer.

15 Utilisation des alarmes

15.1 Configuration d'une alarme couleur

Généralités

L'alarme couleur applique une couleur spécifique à toutes les températures supérieures ou inférieures à un niveau défini.

Procédure

Suivez cette procédure pour définir une alarme couleur :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Mesure , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none">■ Pour configurer une alarme couleur signalant les températures inférieures à un niveau défini, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation et sélectionnez Inférieur.■ Pour configurer une alarme couleur signalant les températures supérieures à un niveau défini, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation et sélectionnez Supérieur.
5	Appuyez sur Sélectionner .
6	Pour modifier le niveau de la température, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.

REMARQUE

Vous pouvez configurer une alarme couleur lorsque le niveau n'appartient pas à la plage de températures actuelle. Cela signifie que l'image sera complètement recouverte par la couleur alarme ou, au contraire, que cette dernière ne sera pas visible.

Si cela vous arrive par erreur, vous pouvez :

- Modifier à nouveau le niveau de température de l'alarme couleur.
- Modifier l'intervalle de températures (reportez-vous à la section 13.4 – Réglage manuel d'une image à la page 29).

15.2 Configuration d'une alarme point de rosée

Généralités

Le point de rosée peut être défini comme la température à laquelle, dans un certain volume d'air, l'humidité se condense en eau. À ce stade, l'humidité relative est de 100 %.

Lorsque vous disposez d'un certain nombre de paramètres environnementaux, l'alarme **Point de rosée** est capable de détecter ce type de zones présentant un risque de condensation et de vous signaler un risque de défaillance dans la structure du bâtiment.

Procédure

Suivez cette procédure pour définir une alarme point de rosée :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Mesure , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Appuyez sur les touches haut/bas du pavé de navigation pour sélectionner Point de rosée .
5	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
6	Le pavé de navigation et les boutons de sélection gauche et droit vous permettent de définir l'humidité relative et la température atmosphérique. Lorsque vous modifiez ces paramètres et appuyez sur Sélectionner , le point de rosée est modifié en conséquence.
7	Pour enregistrer les modifications et fermer le menu, appuyez sur Fermer .
8	Pointez la caméra vers la zone à mesurer. Les zones en vert sont les plus critiques.

VOIR AUSSI

Pour plus d'informations sur les alarmes point de rosée, reportez-vous à la section 24.3.7 – Humidité et point de rosée à la page 117.

15.3 Définition d'une alarme d'isolation

Généralités

L'alarme **Isolation** détecte les zones risquant de présenter un défaut d'isolation dans le bâtiment. L'alarme se déclenche lorsque le niveau d'isolation descend en dessous de la valeur prédéfinie de perte d'énergie à travers un mur.

Chaque code de bâtiment recommande des valeurs différentes pour le niveau d'isolation. Toutefois, les valeurs les plus courantes sont comprises entre 0,6 et 0,8 pour les bâtiments neufs. Reportez-vous à votre code national pour plus de précisions.

Procédure

Pour définir une alarme d'isolation, procédez comme suit :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Mesure , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Appuyez sur les touches haut/bas du pavé de navigation pour sélectionner Isolation .
5	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
6	Le pavé de navigation et les boutons de sélection gauche et droit vous permettent de définir les paramètres suivants : <ul style="list-style-type: none"> ■ Temp. extérieure ■ Temp. intérieure ■ Niveau d'isolation (en %) Lorsque vous modifiez ces paramètres et appuyez sur Sélectionner , la température d'isolation (Temp. d'isol.) est automatiquement modifiée.
7	Pour enregistrer les modifications et fermer le menu, appuyez sur Fermer .
8	Pointez la caméra vers la zone à mesurer. Les zones en vert sont les plus critiques.

VOIR AUSSI

Pour plus d'informations sur les alarmes d'isolation, reportez-vous à la section 24.3.8 – Extrait de la note technique 'Evaluation d'un pont thermique et de la continuité d'isolation' (exemple du Royaume-Uni) à la page 118.

16 Utilisation de fichiers

16.1 Sauvegarde d'une image

Généralités

Vous pouvez enregistrer une ou plusieurs images sur la carte mémoire MicroSD™.

Formatage de cartes mémoire

Pour optimiser les performances, formatez les cartes mémoire au format de système de fichiers FAT (FAT16). L'utilisation de cartes mémoire au format FAT32 peut affecter les performances. Pour formater une carte mémoire au format FAT (FAT16), procédez comme suit :

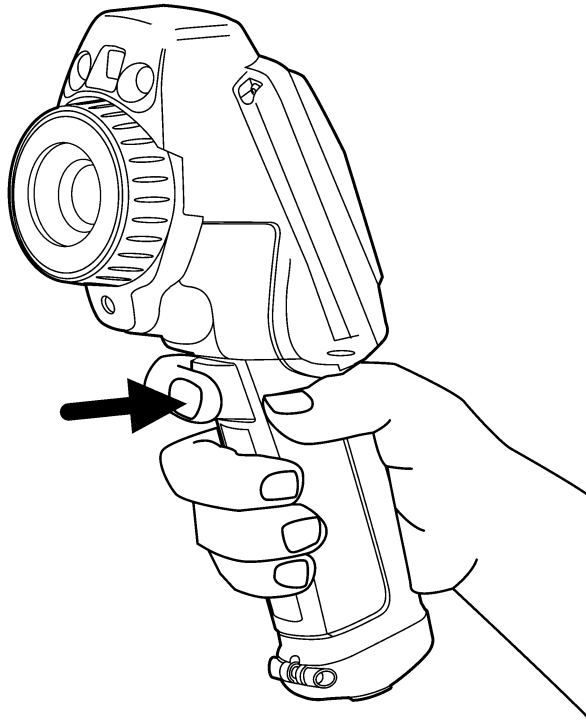
1	Insérez la carte mémoire dans un lecteur de carte connecté à l'ordinateur.
2	Dans l'explorateur Windows®, sélectionnez Poste de travail et cliquez avec le bouton droit de la souris sur la carte mémoire.
3	Sélectionnez Format .
4	Dans Système de fichiers , sélectionnez FAT .
5	Cliquez sur Démarrer .

Conventions de nom

Les images sont nommées selon les conventions suivantes : **IR_xxxx.jpg**, xxxx étant un compteur unique. Lorsque vous sélectionnez **Restaurer valeur par défaut** la caméra réinitialise le compteur et attribue au nouveau fichier le premier nom de fichier disponible.

Figure

10782403.a1

**Procédure**

Actionnez et relâchez le déclencheur pour enregistrer une image sur la carte mémoire MicroSD™.

REMARQUE

- En enregistrant une image dans la mémoire de la caméra, vous enregistrez également la valeur mesurée.
- Vous pouvez enregistrer plus de 1 000 images sur la carte mémoire MicroSD™.
- Le format du fichier de l'image est compatible avec FLIR Reporter 8.3 et supérieure.

16.2 Ouverture d'une image

Généralités

Lorsque vous enregistrez une image, elle est stockée sur la carte mémoire MicroSD™. Pour afficher à nouveau l'image, ouvrez-la à partir de la caméra ou de la carte mémoire MicroSD™.

Procédure

Pour ouvrir une image, procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none">■ Utilisez les boutons droite/gauche du pavé de navigation pour retrouver l'image que vous souhaitez ouvrir.■ Pour afficher des miniatures de toutes les images, utilisez les boutons haut du pavé de navigation et suivez cette procédure :<ol style="list-style-type: none">1 Utilisez les boutons droite/gauche ou haut/bas du pavé de navigation pour sélectionner l'image que vous souhaitez ouvrir.2 Pour ouvrir l'image, appuyez sur Ouvrir.
3	Pour revenir à l'image infrarouge en mode direct, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.

16.3 *Suppression d'une image*

Généralités

Vous pouvez supprimer des images de la carte mémoire MicroSD™.

Procédure

Pour supprimer une image, procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ Pour supprimer l'image affichée, appuyez sur Options. Puis, sélectionnez Supprimer et confirmez la suppression de l'image. ■ Pour supprimer une autre image, reportez-vous à l'étape 3.
3	Pour afficher des miniatures de toutes les images, utilisez les boutons haut du pavé de navigation.
4	Pour sélectionner l'image que vous souhaitez supprimer, utilisez les boutons droite/gauche ou haut/bas du pavé de navigation.
5	Appuyez sur Options .
6	Appuyez sur Supprimer .
7	Confirmez l'opération en appuyant sur Supprimer .

16.4 *Suppression de toutes les images*

Généralités Vous pouvez supprimer toutes les images de la carte mémoire MicroSD™.

Procédure Pour supprimer toutes les images, procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	Pour afficher des miniatures de toutes les images, utilisez les boutons haut du pavé de navigation.
3	Appuyez sur Options .
4	Appuyez sur Supprimer toutes les images .
5	Confirmez l'opération en appuyant sur Supprimer toutes les images .

16.5 Ajout d'une annotation vocale à une image

Généralités

Une annotation vocale est un enregistrement audio enregistré dans une image infrarouge.

L'annotation vocale est enregistrée à l'aide d'un casque microphone Bluetooth® raccordé à la caméra. L'enregistrement peut être lu sur la caméra ainsi que dans le logiciel d'analyse et de rapport d'images de FLIR Systems.

Les annotations sont utilisées pour accroître les performances de la création de rapports et du traitement en fournissant des informations importantes sur l'image.

REMARQUE

Pour effectuer cette procédure, vous devez avoir associé les périphériques Bluetooth®. Pour plus d'informations sur cette association, reportez-vous à la section 11 – Association de périphériques Bluetooth® à la page 22

Procédure

Procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	<p>Effectuez l'une des actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Utilisez les boutons droite/gauche du pavé de navigation pour trouver l'image à laquelle vous souhaitez ajouter une annotation vocale. ■ Pour afficher des miniatures de toutes les images, utilisez les boutons haut du pavé de navigation et suivez cette procédure : <ol style="list-style-type: none"> 1 Utilisez les boutons haut/bas et droite/gauche du pavé de navigation pour sélectionner l'image à laquelle vous souhaitez ajouter une annotation vocale. 2 Pour ouvrir l'image, appuyez sur Ouvrir.
3	Appuyez sur Options .
4	Pour sélectionner Annotation vocale , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation, puis appuyez sur Sélectionner .
5	Pour sélectionner Ajouter le périphérique , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation, puis appuyez sur Sélectionner .
6	<p>Procédez comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Pour démarrer un enregistrement, appuyez sur Enregistrer. ■ Pour arrêter un enregistrement, appuyez sur Arrêter.
7	Pour revenir à l'image infrarouge en mode direct, appuyez sur Fermer et confirmez l'enregistrement de l'annotation vocale.

16.6 *Lecture d'une annotation vocale*

Généralités Vous pouvez lire l'annotation vocale que vous avez ajoutée à une image.

REMARQUE La caméra ne comporte pas de haut-parleur. Pour lire une annotation vocale, vous devez utiliser le casque.

Procédure Procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	<p>Effectuez l'une des actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Utilisez les boutons droite/gauche du pavé de navigation pour trouver l'image contenant l'annotation vocale que vous souhaitez lire. ■ Pour afficher des miniatures de toutes les images, utilisez les boutons haut du pavé de navigation et suivez cette procédure : <ul style="list-style-type: none"> 1 Utilisez les boutons haut/bas et droite/gauche du pavé de navigation pour sélectionner l'image contenant l'annotation vocale que vous souhaitez lire. 2 Pour ouvrir l'image, appuyez sur Ouvrir.
3	Appuyez sur Options .
4	Pour sélectionner Annotation vocale , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation, puis appuyez sur Sélectionner .
5	Pour sélectionner Lire , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation, puis appuyez sur Sélectionner .
6	<p>Procédez comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Pour démarrer la lecture de l'annotation vocale, appuyez sur Lire. ■ Pour arrêter la lecture de l'annotation vocale, appuyez sur Pause.
7	Pour revenir à l'image infrarouge en mode direct, appuyez sur Fermer .

16.7 *Suppression d'une annotation vocale*

Généralités

Vous pouvez supprimer l'annotation vocale que vous avez ajoutée à une image.

Procédure

Procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	<p>Effectuez l'une des actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Utilisez les boutons droite/gauche du pavé de navigation pour trouver l'image contenant l'annotation vocale que vous souhaitez supprimer. ■ Pour afficher des miniatures de toutes les images, utilisez les boutons haut du pavé de navigation et suivez cette procédure : <ol style="list-style-type: none"> 1 Utilisez les boutons haut/bas et droite/gauche du pavé de navigation pour sélectionner l'image contenant l'annotation vocale que vous souhaitez lire. 2 Pour ouvrir l'image, appuyez sur Ouvrir.
3	Appuyez sur Options .
4	Pour sélectionner Annotation vocale , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation, puis appuyez sur Sélectionner .
5	Pour sélectionner Effacer , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation, puis appuyez sur Sélectionner .
6	Confirmez la suppression de l'annotation vocale.
7	Pour revenir à l'image infrarouge en mode direct, appuyez sur Fermer .

16.8 Transfert des images vers un ordinateur

Généralités Vous pouvez transférer une ou plusieurs images de la caméra vers un ordinateur.

Présentation des méthodes Vous avez le choix entre trois méthodes pour transférer des images de la caméra vers un ordinateur :

- **Méthode 1** : Déplacer les images lorsque la caméra fonctionne en tant que disque USB. Avec cette méthode, vous n'êtes pas obligé d'installer FLIR QuickReport sur votre ordinateur.
- **Méthode 2** : Déplacer les images lorsque la caméra est connectée à un ordinateur équipé de FLIR QuickReport. FLIR QuickReport comprend des fonctionnalités de traitement de l'image et de création de rapports PDF.
- **Méthode 3** : Déplacer les images de la caméra vers l'ordinateur à l'aide de la carte mémoire MicroSD™.

Equipement Vous avez besoin de l'équipement suivant pour déplacer les images de la caméra :

- Ordinateur muni du système d'exploitation Windows
- Le logiciel FLIR QuickReport installé sur l'ordinateur (**méthode 2** uniquement)
- Un câble USB

Méthode 1 Suivez cette procédure pour déplacer des images lorsque la caméra fonctionne en tant que disque USB :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Configuration , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu Configuration , appuyez sur Sélectionner .
4	Pour sélectionner Câble USB , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour sélectionner Standard , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
6	Cliquez sur Ok .
7	Connectez la caméra et faites glisser-déplacez des images de la caméra vers l'ordinateur avec l'Explorateur Windows®.

REMARQUE

- Lorsque vous sélectionnez **Standard**, la caméra affiche un écran d'aide. Lisez-le texte affiché avec attention.
- Si le mode USB est défini sur **Standard**, la caméra s'éteint si **Arrêt automatique** est activé.

Méthode 2

Suivez cette procédure pour déplacer vos images vers un ordinateur équipé de FLIR QuickReport :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Configuration , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu Configuration , appuyez sur Sélectionner .
4	Pour sélectionner Câble USB , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour sélectionner Disque réseau , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
6	Cliquez sur Ok .
7	Connectez la caméra à l'ordinateur en procédant comme indiqué dans le manuel d'utilisation FLIR QuickReport.
8	Reportez-vous au manuel d'utilisation FLIR QuickReport pour plus d'instructions.

REMARQUE

Lorsque vous sélectionnez **Disque réseau**, la caméra affiche un écran d'aide. Lisez-le texte affiché avec attention.

16.9 *Copie d'une image vers un lecteur USB externe*

Généralités Vous pouvez copier une image à partir de la carte mémoire micro-SD vers un lecteur USB externe.

Procédure Procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	Pour afficher des miniatures de toutes les images, utilisez les boutons haut du pavé de navigation.
3	Le pavé de navigation vous permet de sélectionner l'image que vous souhaitez modifier.
4	Appuyez sur Options .
5	Sélectionnez Copier vers un lecteur USB .

16.10 *Copie de toutes les images vers un lecteur USB externe*

Généralités Vous pouvez copier toutes les images à partir de la carte mémoire micro-SD vers un lecteur USB externe.

Procédure Procédez comme suit :

1	Pour ouvrir l'image archivée, poussez vers le bas le bouton caméra/archive.
2	Appuyez sur Options .
3	Sélectionnez Tout copier vers un lecteur USB .

17 Modification de la configuration de la caméra

17.1 *Modification des couleurs*

Généralités

Vous pouvez modifier les couleurs que la caméra utilise pour indiquer les différentes températures. D'autres couleurs peuvent rendre l'analyse de l'image plus facile.

Procédure

Suivez cette procédure pour modifier la couleur :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Palette de couleurs , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Pour sélectionner une autre couleur, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour fermer le menu, appuyez sur Sélectionner .

17.2 Modification de l'émissivité

Généralités

L'émissivité correspond à une propriété spécifiant la quantité de rayonnement qu'émet un objet par rapport au rayonnement d'un objet de référence théorique ayant la même température (un « corps noir »). Le rayonnement d'un objet est la somme de ce qu'il émet et de ce qu'il réfléchit.

Pour la plupart des applications, une valeur de 0,96 est acceptable (sauf pour les métaux brillants).

Valeurs exemple

Asphalte	0,96
Bande	0,96
Béton	0,97
Bois	0,85
Brique	0,75
Caoutchouc	0,95
Cuir	0,98
Eau	0,96
Peinture	0,90
Rouille	0,80
Stuc	0,91

Procédure

Suivez cette procédure pour modifier l'émissivité :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Paramètres , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Pour sélectionner Emissivité , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour activer le menu Emissivité , appuyez sur Sélectionner .

6	<p>Effectuez l'une des actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">■ Procédez comme suit :<ol style="list-style-type: none">1 A l'aide du joystick, sélectionnez Emissivité.2 Appuyez sur Sélectionner.3 Utilisez le joystick pour modifier la valeur.4 Appuyez sur Sélectionner pour confirmer.■ Procédez comme suit :<ol style="list-style-type: none">1 A l'aide du joystick, sélectionnez Matériaux.2 Appuyez sur Sélectionner.3 Utilisez le joystick pour sélectionner un matériau.4 Appuyez sur Sélectionner pour confirmer.
----------	---

REMARQUE

Si vous définissez l'émissivité sur une valeur inférieure à 0,5, un avertissement s'affiche à l'écran. Il vous rappelle que la valeur est inhabituellement basse.

17.3 Modification de la température apparente réfléchie

Généralités Pour les mesures très précises, vous devez définir la température apparente réfléchie. La température apparente réfléchie permet de compenser le rayonnement de l'environnement, réfléchi par l'objet vers la caméra.

Quand l'émissivité est faible et que la différence entre la température de l'objet et la température apparente réfléchie est significative, il est particulièrement important que cette dernière soit configurée correctement.

Exemples types Il est, par exemple, essentiel de définir la température apparente réfléchie dans les cas suivants :

- Lorsque vous utilisez la caméra pour analyser un élément chaud en extérieur et en plein hiver.
- Lorsque vous utilisez la caméra pour analyser un élément se trouvant dans la même pièce que des fours chauds ou des armoires électriques.

Procédure Suivez cette procédure pour modifier la température apparente réfléchie :

1	Effectuez l'une des actions suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ Si vous connaissez déjà la valeur de la température apparente réfléchie, reportez-vous à l'étape 7 ci-dessous. ■ Si vous ne connaissez pas la valeur de la température apparente réfléchie, reportez-vous à l'étape 2 ci-dessous.
2	Froissez un grand morceau de papier aluminium.
3	Défroissez-le et fixez-le à un morceau de carton de même taille.
4	Placez ce morceau de carton en face de l'objet dont vous souhaitez mesurer la température. Assurez-vous que le côté couvert d'aluminium est bien orienté vers la caméra.
5	Définissez l'émissivité à 1,0 (reportez-vous à la section 17.2 – Modification de l'émissivité à la page 51).
6	Prenez la mesure de la température apparente de la feuille d'aluminium et inscrivez-la. Cette valeur vous sera utile lors de la définition de Temp. réfléchie au cours de l'étape 12 ci-dessous.
7	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
8	Pour sélectionner Paramètres , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
9	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
10	Pour sélectionner Temp. réfléchie , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
11	Pour activer la boîte de dialogue Temp. réfléchie , appuyez sur Sélectionner .

12	Pour sélectionner une autre valeur, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
13	Pour fermer le menu, appuyez sur Sélectionner .

VOIR AUSSI

Pour plus d'informations sur la méthode de mesure de la température apparente réfléchie, reportez-vous à la norme ISO DIS 18434-1 et à la norme ASTM ASTM E1862-97.

17.4 Modification de la correction de l'optique externe

Généralités

Pour des mesures extrêmement exactes, vous devez définir les éléments suivants :

- **Température optique externe** : température des fenêtres de protection, etc. installées entre la caméra et l'objet observé. Si aucune fenêtre de protection ou cache protecteur n'est utilisé, cette valeur n'est pas valide.
- **Transmission optique externe**, c.-à.-d. la transmission optique de toutes les fenêtres de protection, etc. situées entre la caméra et l'objet qui vous intéresse.

Procédure

Procédez comme suit :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Paramètres , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu, appuyez sur Sélectionner .
4	Pour sélectionner Correction de l'optique externe , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour activer le menu Correction de l'optique externe , appuyez sur Sélectionner .
6	<p>Effectuez l'une des actions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Procédez comme suit : <ol style="list-style-type: none"> 1 A l'aide du joystick, sélectionnez Température opt. ext.. 2 Appuyez sur Sélectionner. 3 Utilisez le joystick pour modifier la valeur. 4 Appuyez sur Sélectionner pour confirmer. ■ Procédez comme suit : <ol style="list-style-type: none"> 1 A l'aide du joystick, sélectionnez Transmission opt. ext.. 2 Appuyez sur Sélectionner. 3 Utilisez le joystick pour modifier la valeur. 4 Appuyez sur Sélectionner pour confirmer.

17.5 Modification d'autres paramètres de caméra

Généralités La configuration de la caméra influe sur les images et le fonctionnement de la caméra.

Champ d'application La procédure qui suit est applicable aux paramètres ci-dessous :

- **Lampe caméra num.** (active ou désactive la lampe utilisée pour la caméra numérique et dans le mode Picture-in-Picture)
- **Régional** (change le format langue, unités et heure)
- **Heure / Date** (définit l'heure et la date)
- **Arrêt automatique** (définit la période d'inactivité après laquelle la caméra s'éteint automatiquement)
- **Intensité de l'écran** (définit l'intensité de l'affichage)
- **Plage de température** (change la plage de températures de la caméra)
- **Câble USB** (définit le mode USB)
- **Micrologiciel** (met à niveau le micrologiciel de la caméra avec une nouvelle version figurant sur une carte mémoire MicroSD™ .)
- **Restaurer valeur par défaut** (restaure les valeurs par défaut)

Procédure Suivez cette procédure pour modifier la configuration de la caméra ci-dessus :

1	Pour afficher le menu, appuyez sur Menu .
2	Pour sélectionner Configuration , utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
3	Pour activer le menu Configuration , appuyez sur Sélectionner .
4	Pour sélectionner le paramètre que vous souhaitez modifier, utilisez les boutons haut/bas du pavé de navigation.
5	Pour modifier le paramètre, utilisez le pavé de navigation et les boutons contextuels.

REMARQUE Si le mode USB est défini sur **Standard**, la caméra s'éteint si **Arrêt automatique** est activé et si elle est laissée connectée à un ordinateur sans être utilisée.

18 Système d'alimentation

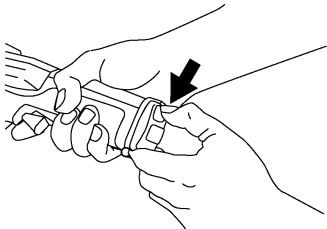
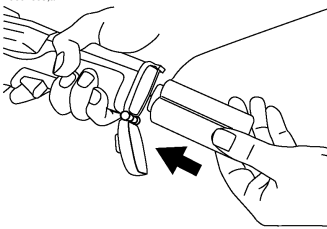
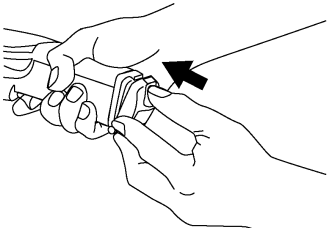
18.1 Installation de la batterie

REMARQUE

Utilisez un tissu propre et sec pour essuyer l'eau ou les traces d'humidité sur la batterie avant de l'insérer.

Procédure

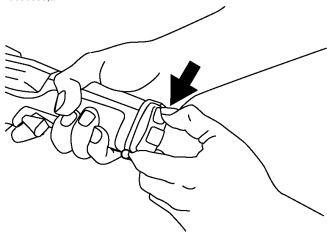
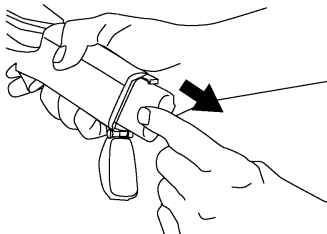
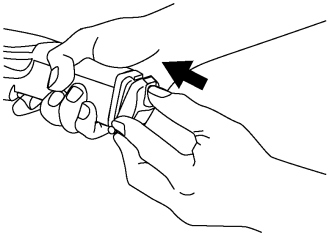
Suivez cette procédure pour installer la batterie :

1	<p>Pour ouvrir le couvercle du compartiment réservé à la batterie, poussez vers le bas le dispositif de verrouillage.</p> <p>10600803,a1</p> 
2	<p>Introduisez la batterie dans le compartiment.</p> <p>10601603,a1</p> 
3	<p>Remplacez le couvercle du compartiment.</p> <p>10601103,a1</p> 

18.2 Retrait de la batterie

Procédure

Suivez cette procédure pour retirer la batterie :

1	<p>Pour ouvrir le couvercle du compartiment réservé à la batterie, poussez vers le bas le dispositif de verrouillage.</p> <p>10600803,a1</p> 
2	<p>Retirez la batterie de son compartiment.</p> <p>10601003,a1</p> 
3	<p>Remplacez le couvercle du compartiment.</p> <p>10601103,a1</p> 

18.3 *Chargement de la batterie*

REMARQUE Chargez la batterie pendant quatre heures avant la toute première utilisation de la caméra.

Généralités Lorsque le message **Batterie faible !** s'affiche à l'écran, vous devez recharger la batterie.

Effectuez l'une des procédures suivantes pour charger la batterie :

- Rechargez la batterie à l'intérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie.
 - Rechargez la batterie à l'extérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie.
 - Chargez la batterie à l'aide du chargeur à deux baies (cette pièce ne fait pas partie des accessoires fournis avec la caméra).
-

VOIR AUSSI Pour plus d'informations sur le rechargement de la batterie, reportez-vous aux sections suivantes :

- Section 18.3.1 – Rechargement de la batterie à l'intérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie à la page 60
 - Section 18.3.2 – Rechargement de la batterie à l'extérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie. à la page 61
 - Section 18.3.3 – Charge de la batterie avec le chargeur de batterie à deux baies à la page 62
-

18.3.1 Rechargement de la batterie à l'intérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie

REMARQUE Pour plus de clarté, le « chargeur combiné alimentation secteur et batterie » sera simplement appelé « alimentation secteur » ci-dessous.

Procédure Suivez cette procédure pour recharger la batterie à l'intérieur de la caméra à l'aide de l'alimentation secteur.

1	Pour ouvrir le couvercle du compartiment réservé à la batterie, poussez vers le bas le dispositif de verrouillage.
2	Introduisez la batterie dans le compartiment.
3	Remplacez le couvercle du compartiment.
4	Sur le couvercle du compartiment de la batterie, soulevez le couvercle en caoutchouc pour accéder au connecteur de la batterie.
5	Branchez le câble d'alimentation à la prise de la batterie.
6	Branchez la prise secteur de l'alimentation secteur sur une prise de courant.
7	Quand le signal lumineux vert de l'indicateur de condition de la batterie est continu, débranchez le câble de l'alimentation secteur.

REMARQUE La caméra est équipée d'un indicateur de condition de la batterie. Le signal lumineux vert continu indique que la batterie est chargée.

VOIR AUSSI

- Pour obtenir des informations sur l'indicateur de condition de la batterie, reportez-vous à la section 8.4 – Indicateur de condition de la batterie à la page 14.
- Pour des informations sur l'installation et le retrait de la batterie, reportez-vous à la section 18.1 – Installation de la batterie à la page 57 et à la section 18.2 – Retrait de la batterie à la page 58.

18.3.2 Rechargement de la batterie à l'extérieur de la caméra à l'aide du chargeur combiné alimentation secteur et batterie.

REMARQUE Pour plus de clarté, le « chargeur combiné alimentation secteur et batterie » sera simplement appelé « alimentation secteur » ci-dessous.

Procédure Suivez cette procédure pour recharger la batterie à l'extérieur de la caméra à l'aide de l'alimentation secteur :

1	Posez la batterie sur une surface plane.
2	Branchez le câble d'alimentation à la prise de la batterie.
3	Branchez la prise secteur de l'alimentation secteur sur une prise de courant.
4	Quand le signal lumineux vert de l'indicateur de condition de la batterie est continu, débranchez le câble de l'alimentation secteur.

REMARQUE La caméra est équipée d'un indicateur de condition de la batterie. Le signal lumineux vert continu indique que la batterie est chargée.

VOIR AUSSI Pour obtenir des informations sur l'indicateur de condition de la batterie, reportez-vous à la section 8.4 – Indicateur de condition de la batterie à la page 14.

18.3.3 Charge de la batterie avec le chargeur de batterie à deux baies

Généralités Le chargeur de batterie à deux baies permet de charger deux batteries en même temps.

Procédure Suivez cette procédure pour charger la batterie avec le chargeur de batterie à deux baies :

1	Placez la batterie dans le chargeur de batterie à deux baies.
2	Branchez le câble d'alimentation à la fiche du chargeur de batterie à deux baies.
3	Branchez la prise secteur de l'alimentation secteur sur une prise de courant.
4	Quand le signal lumineux vert de l'indicateur de condition de la batterie est continu, débranchez le câble de l'alimentation secteur.

REMARQUE

- Le chargeur de batterie à deux baies ne fait pas partie des accessoires fournis avec la caméra.
- La caméra est équipée d'un indicateur de condition de la batterie. Le signal lumineux vert continu indique que la batterie est chargée.

VOIR AUSSI

- Pour obtenir des informations sur l'indicateur de condition de la batterie, reportez-vous à la section 8.4 – Indicateur de condition de la batterie à la page 14.
- Pour des illustrations et les dimensions du chargeur de batterie à deux baies, reportez-vous à la section 22.3 – Chargeur de batterie à deux baies à la page 74 et à la section 22.4 – Chargeur de batterie à deux baies avec batterie à la page 75.

18.4 *Mise sous tension de la caméra*

Procédure Appuyez sur le bouton Marche/Arrêt pour allumer la caméra.

18.5 *Mise hors tension de la caméra*

Procédure Maintenez le bouton Marche/Arrêt enfoncé pendant plus de 0,5 seconde pour désactiver la caméra.

REMARQUE lorsque vous n'utilisez pas la caméra, elle s'arrête automatiquement au bout de la période définie dans le menu (reportez-vous à la section 17.5 – Modification d'autres paramètres de caméra à la page 56).

19 Nettoyage de la caméra

19.1 *Boîtier de caméra, câbles et autres pièces*

Liquides

Utilisez un de ces liquides :

- Eau chaude
 - Détergent doux
-

Equipement

Tissu doux

Procédure

Procédez comme suit :

1	Trempez le tissu dans le liquide.
2	Essorez-le pour en éliminer l'excédent de liquide.
3	Nettoyez la pièce à l'aide du tissu.

ATTENTION

N'appliquez pas de diluant ni tout autre liquide sur la caméra, les câbles ou autres éléments. Cela peut provoquer des dommages.

19.2 *Objectif infrarouge*

Liquides Utilisez un de ces liquides :

- alcool isopropylique (96 %).
- Liquide de nettoyage d'objectifs vendu dans le commerce et contenant plus de 30 % d'alcool isopropylique.

Equipement Ouate

Procédure Procédez comme suit :

1	Imbibez le coton de liquide.
2	Essorez le coton pour en éliminer l'excédent de liquide.
3	Nettoyez l'objectif une seule fois et jetez le coton.

AVERTISSEMENT Lisez toutes les FDS (Fiches de données de sécurité) et les mises en garde présentes sur les récipients avant d'utiliser un liquide. Ces liquides peuvent être dangereux.

ATTENTION ■ Nettoyez l'objectif infrarouge avec précaution. L'objectif est doté d'un revêtement anti-reflet fragile.

■ Ne nettoyez pas l'objectif infrarouge trop souvent. Cela peut endommager son revêtement anti-reflet.

20 Données techniques

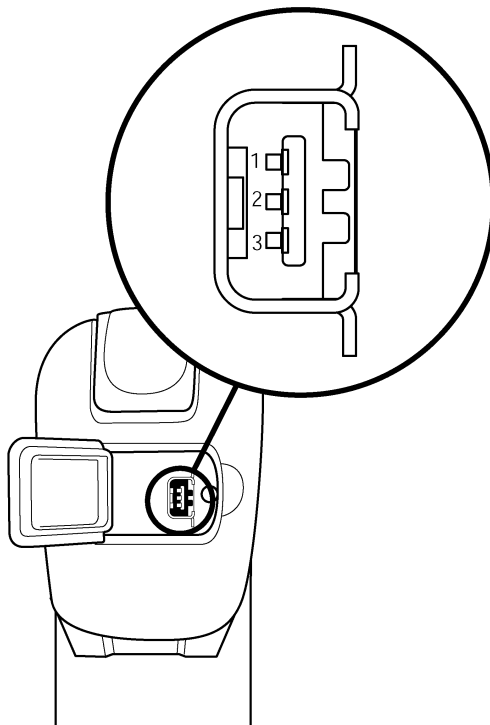
Pour les données techniques, reportez-vous aux fiches techniques du manuel du CD-ROM livré avec la caméra.

21

Configuration des broches

Prise
d'alimentation

10601903.a1



Broche	Nom du signal
1	+ 12 V
2	GND
3	GND

22

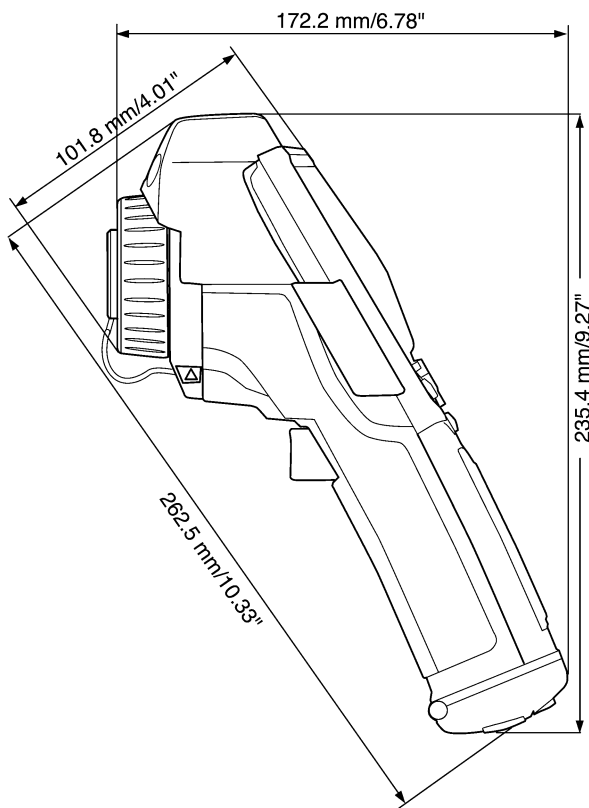
Dimensions

22.1

Caméra

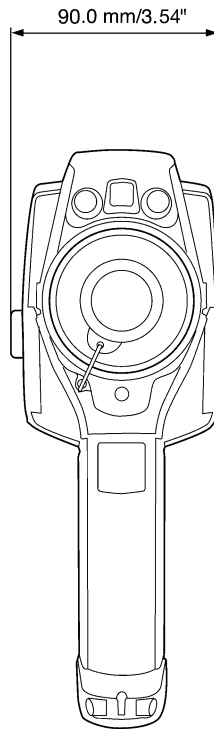
Figure

10781603.a1



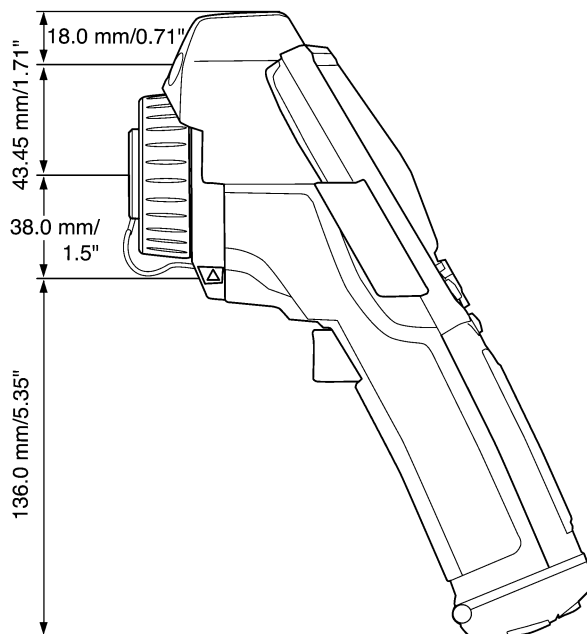
Figure

10781803.a2



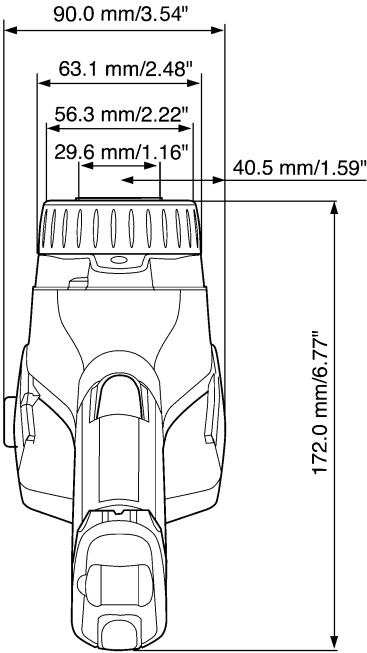
Figure

10781903.a1



Figure

10782003.a2

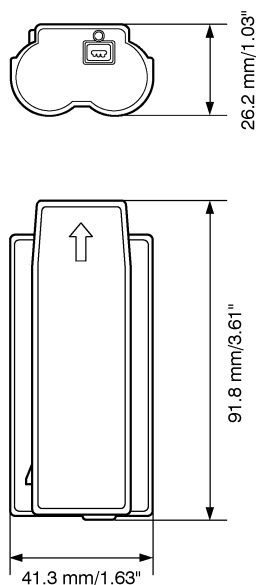


22.2

Batterie

Figure

10602103.a2

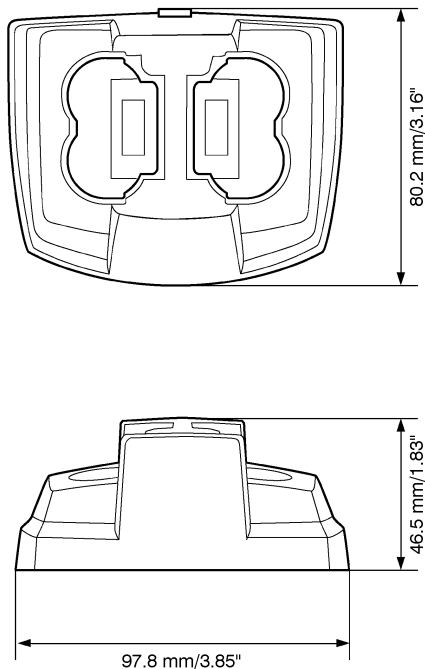
**REMARQUE**

Utilisez un tissu propre et sec pour essuyer l'eau ou les traces d'humidité sur la batterie avant de l'insérer.

22.3 Chargeur de batterie à deux baies

Figure

10602203.a3



REMARQUE

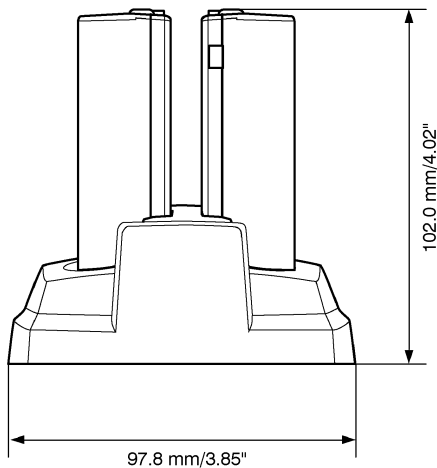
- Utilisez un tissu propre et sec pour essuyer l'eau ou les traces d'humidité sur la batterie avant de l'installer dans le chargeur.
- Le chargeur de batterie à deux baies ne fait pas partie des accessoires fournis avec la caméra.

22.4

Chargeur de batterie à deux baies avec batterie

Figure

10602303.a3

**REMARQUE**

- Utilisez un tissu propre et sec pour essuyer l'eau ou les traces d'humidité sur la batterie avant de l'installer dans le chargeur.
- Le chargeur de batterie à deux baies ne fait pas partie des accessoires fournis avec la caméra.

23

Exemples d'application

23.1

Dégâts causés par l'humidité et l'eau

Généralités

Il est souvent possible de détecter des dégâts dus à l'humidité et à l'infiltration d'eau dans une maison à l'aide d'une caméra infrarouge. Ceci est d'une partie dû au fait que la zone endommagée possède des propriétés de conduction thermique différentes et d'autre part, au fait qu'elle présente une capacité thermique distincte pour stocker la chaleur par rapport aux matériaux environnants.

REMARQUE

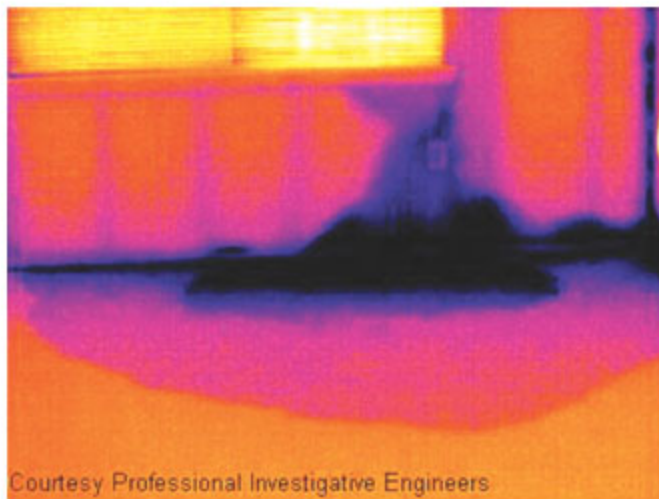
De nombreux facteurs entrent en ligne de compte pour déterminer l'apparence des dégâts causés par l'humidité ou l'eau sur une caméra infrarouge.

Par exemple, le réchauffement et le refroidissement de ces composants s'effectuent à différentes vitesses selon le matériau et l'heure de la journée. Pour cette raison, il est important d'employer d'autres méthodes pour vérifier la présence de dégâts dus à l'humidité ou l'eau.

Figure

L'image ci-dessous illustre des dégâts des eaux étendus sur un mur externe où l'eau s'est infiltrée dans la façade extérieure en raison d'une mauvaise installation d'un rebord de fenêtre.

10739503.a1



23.2 Contact défectueux dans la prise

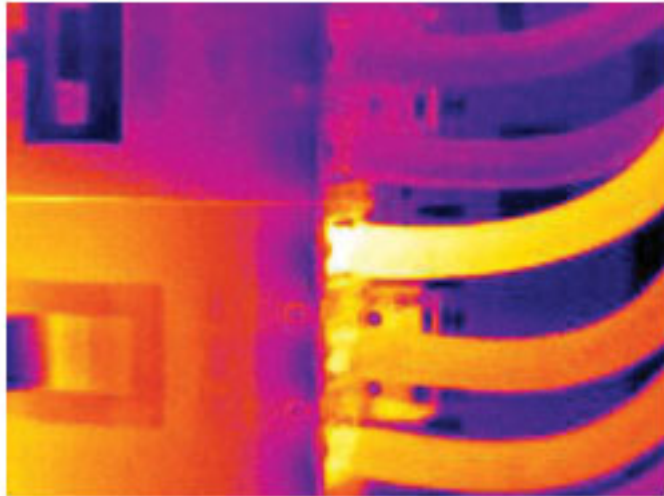
Généralités Selon le type de raccord d'une prise, un fil mal branché peut provoquer une augmentation de la température locale. Cette augmentation de température est causée par la réduction de la zone de contact entre le point de raccord du fil entrant et la prise, et peut provoquer un feu électrique.

REMARQUE La structure d'une prise peut varier considérablement d'un fabricant à un autre. Pour cette raison, différents défauts d'une prise peuvent engendrer la même apparence type dans une image infrarouge.

Une augmentation de la température locale peut également provenir d'un mauvais contact entre le fil et la prise, ou d'une différence de charge.

Figure L'image ci-dessous illustre le raccordement d'un câble à une prise où un mauvais contact a provoqué une augmentation de la température locale.

10739603.a1



23.3 *Prise oxydée*

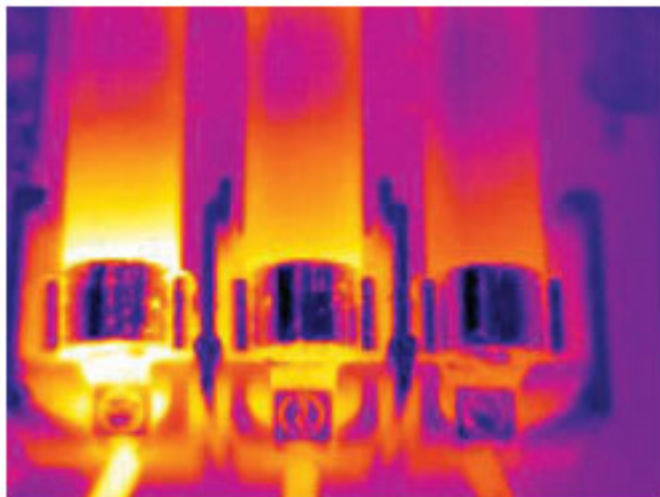
Généralités Selon le type de prise utilisé et l'environnement dans lequel cette dernière est installée, une oxydation peut se produire au niveau des surfaces de contact de la prise. Cette oxydation peut engendrer une augmentation de la résistance locale lors du chargement de la prise, visible dans une image infrarouge à mesure que la température locale augmente.

REMARQUE La structure d'une prise peut varier considérablement d'un fabricant à un autre. Pour cette raison, différents défauts d'une prise peuvent engendrer la même apparence type dans une image infrarouge.

Une augmentation de la température locale peut également provenir d'un mauvais contact entre un fil et la prise, ou d'une différence de charge.

Figure L'image ci-dessus illustre une série de fusibles dont un présente une température élevée sur les surfaces de contact avec le porte-fusible. En raison du métal blanc du porte-fusible, l'augmentation de la température n'est pas visible sur ce dernier, contrairement au matériau en céramique du fusible.

10739703,a1



23.4 Défauts d'isolation

Généralités

Des défauts d'isolation peuvent résulter d'une perte du volume d'isolation au fil du temps, laissant ainsi la cavité d'un mur à ossature partiellement vide.

Une caméra infrarouge vous permet de repérer ces défauts d'isolation car ils possèdent des propriétés de conduction thermique différentes par rapport aux parties correctement isolées, et/ou montrent clairement la zone d'infiltration de l'air dans l'ossature du bâtiment.

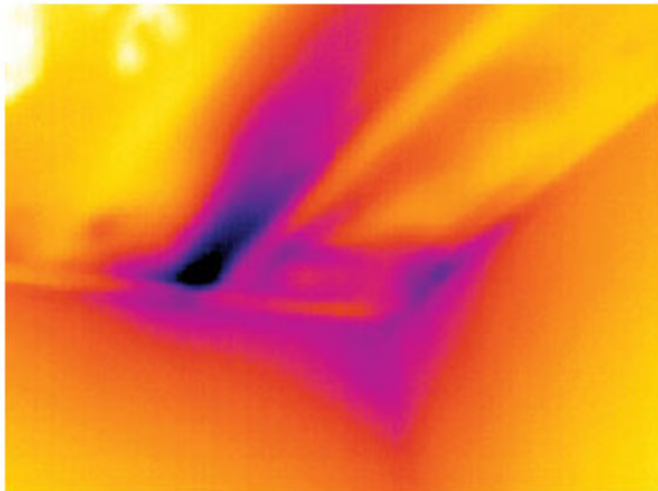
REMARQUE

Lorsque vous inspectez un bâtiment, l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur doit être d'au moins 10 °C. Les poteaux, les canalisations d'eau, les poteaux en béton et autres composants similaires peuvent s'apparenter à un défaut d'isolation dans une image infrarouge. Des différences d'ordre mineur peuvent également se produire naturellement.

Figure

Dans l'image ci-dessous, l'isolation de la charpente du toit est manquante. Dû à l'absence d'isolation, de l'air a pénétré dans la structure du toit, prenant ainsi une apparence caractéristique différente dans l'image infrarouge.

10739803.a1



23.5 Courants d'air

Généralités Des courants d'air peuvent être observés sous les plinthes, autour des encadrements de portes et de fenêtres et au-dessus de la garniture du toit. Ce type de courant d'air est souvent visible avec une caméra infrarouge lorsqu'un flux d'air frais refroidit la surface environnante.

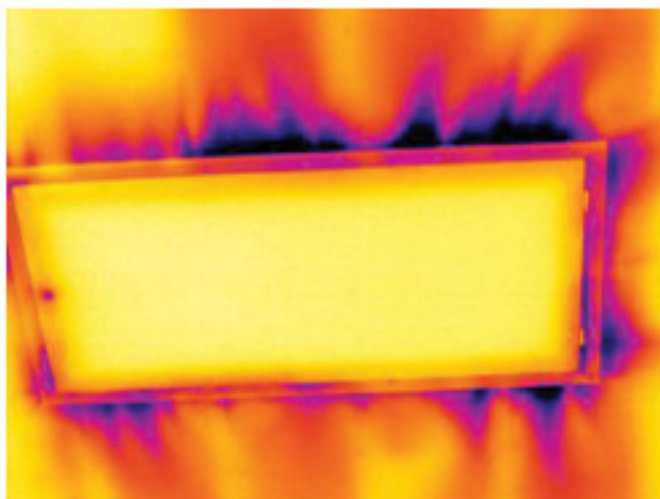
REMARQUE Lorsque vous recherchez des courants d'air dans une maison, une dépression doit exister dans cette dernière. Fermez l'ensemble des portes, des fenêtres et des conduits de ventilation, et actionnez le ventilateur de la cuisine pendant quelques instants avant de capturer les images infrarouges.

L'image infrarouge d'un courant d'air révèle souvent un motif de courant d'air type. Ce dernier apparaît clairement dans l'image ci-dessous.

En outre, rappelez-vous que les courants d'air peuvent être masqués par la chaleur émanant des circuits de chauffage du sol.

Figure L'image ci-dessous illustre une trappe d'accès dont la mauvaise installation a engendré un fort courant d'air.

10739903.a1



24 Introduction à la thermographie appliquée au bâtiment

24.1 Remarque importante

Certaines fonctions et fonctionnalités de la caméra décrites dans cette section peuvent ne pas être prises en charge par la configuration de votre caméra.

24.2 Analyses de terrain typiques

24.2.1 Recommandations

Les sections ci-dessous contiennent des directives générales. Nous recommandons à l'utilisateur d'en tenir compte pour effectuer des analyses et des captures thermographiques dans le domaine du bâtiment. La présente section récapitule ces directives.

24.2.1.1 Directives générales

- L'émissivité de la plupart des matériaux de construction se situe entre 0,85 et 0,95. La définition de la valeur d'émissivité de la caméra sur 0,90 peut être considérée comme un bon point de départ.
- Une seule analyse infrarouge ne permet pas de prendre une décision pertinente pour la suite des opérations. Vérifiez toujours les hypothèses et les conclusions à l'aide d'autres méthodes, par exemple des plans d'exécution, un humidimètre, un appareil d'enregistrement de l'humidité et de la température, des tests par gaz traqueur, etc.
- Modifiez le niveau et le gain pour ajuster l'image infrarouge thermiquement et révéler davantage de détails. La figure ci-dessous montre la différence entre une image infrarouge non ajustée thermiquement et une image ajustée thermiquement.

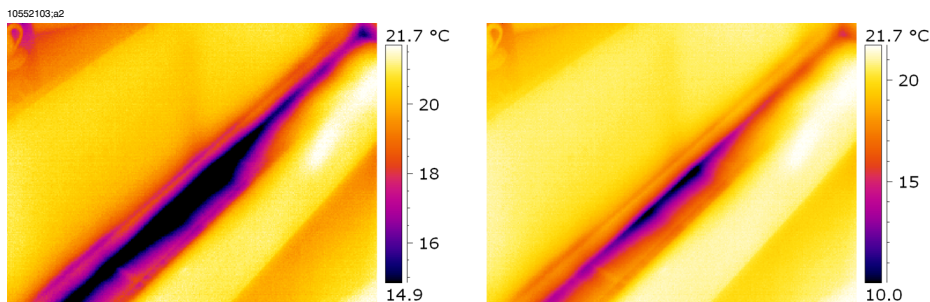


Figure 24.1 A GAUCHE : Image non ajustée thermiquement ; A DROITE : Image ajustée thermiquement ; après modification de la luminosité et du contraste.

24.2.1.2 *Directives relatives à la détection de l'humidité, des moisissures et des dommages causés par l'eau*

- Il est possible que les défauts des bâtiments liés à l'humidité et aux dégâts des eaux apparaissent uniquement lorsque la surface est exposée à une source de chaleur (par ex. la chaleur du soleil).
- La présence d'eau modifie la conductivité thermique et la masse thermique des matériaux du bâtiment. De plus, l'évaporation de l'eau peut faire baisser la température en surface des matériaux de construction. La conductivité thermique est la capacité d'un matériau à conduire la chaleur, tandis que la masse thermique est la capacité à stocker la chaleur.
- L'inspection infrarouge ne permet pas de détecter directement la présence de moisissure, mais elle peut être utilisée pour rechercher de l'humidité dans les endroits où la moisissure est susceptible de se développer ou s'est déjà développée. Pour se développer la moisissure requiert un environnement humide dont la température oscille entre +4 et +38 °C et dans lequel elle peut trouver des substances nutritives. Un niveau d'humidité supérieur à 50 % est suffisant pour permettre le développement de moisissures.

10556003.a1

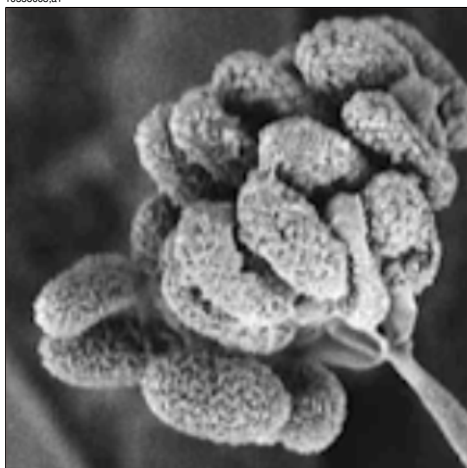


Figure 24.2 Vue au microscope d'un spore de moisissure

24.2.1.3 *Directives relatives à la détection d'infiltrations d'air et de défauts d'isolation*

- Pour obtenir des mesures très précises avec la caméra, relevez la température et entrez cette valeur dans la caméra.
- Une différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment est préférable. Cela facilite l'analyse des images infrarouges et révèle les défauts qui autrement ne sont pas visibles. Nous recommandons une pression négative comprise entre

10 et 50 Pa, mais des analyses sous une pression négative inférieure sont possibles. Pour cela, fermez toutes les fenêtres, les portes et les conduits d'aération, puis faites tourner le ventilateur d'extraction de la cuisine durant le temps nécessaire à atteindre une pression négative de 5 à 10 Pa (applicable aux maisons résidentielles uniquement).

- Une différence de température de 10 à 15 °C entre l'intérieur et l'extérieur est recommandée. Les inspections peuvent être effectuées dans des conditions présentant une différence de température moindre, mais l'analyse des images infrarouges peut s'avérer plus délicate.
- Evitez la lumière solaire directe sur une partie du bâtiment à analyser de l'intérieur, par exemple, une façade. Si la façade est chauffée par le soleil, elle peut atteindre la même température que l'intérieur, ce qui peut masquer les défauts de la structure du bâtiment. Ce risque d'erreur est plus élevé au printemps, lorsque la différence de température est importante entre la nuit (± 0 °C) et la journée (+ 14 °C).

24.2.2 A propos de la détection d'humidité

L'apparition de moisissure dans un bâtiment peut être causée par différents facteurs, par ex. :

- Les fuites externes, notamment des inondations, des fuites au niveau des bouches à incendie, etc.
- Fuites internes provenant de canalisations de distribution ou d'évacuation d'eau, etc.
- La condensation, qui correspond à l'humidité présente dans l'air se transformant en eau au contact de surfaces froides.
- L'humidité du bâtiment, formée par l'humidité présente dans le matériau avant la construction du bâtiment.
- La présence d'eau suite à une intervention des pompiers.

La détection par caméra infrarouge est une méthode non-destructrice qui présente de nombreux avantages sur les autres méthodes mais aussi quelques inconvénients :

Avantage	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> ■ C'est une méthode rapide. ■ Cette méthode constitue un moyen d'investigation non-intrusif. ■ Elle ne requiert pas l'évacuation des occupants du bâtiment. ■ Elle permet d'obtenir une représentation visuelle claire des informations détectées. ■ Elle confirme les failles et la progression de l'humidité. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cette méthode permet de détecter les variations de température de surface, mais ne permet pas de voir à travers les murs. ■ Elle ne permet pas de détecter les dégâts se trouvant sous la surface, par exemple la moisissure ou l'état de la structure.

24.2.3 Détection de l'humidité (1) : Toits à faible pente

24.2.3.1 Informations générales

Les toits à faible pente sont très répandus dans les bâtiments industriels, comme les entrepôts, les usines, les ateliers de construction, etc. Leur principal avantage par rapport aux toits en pente réside dans leur faible coût de fabrication et d'assemblage. Cependant, leur conception ne permet pas à la neige ou à la glace de s'évacuer par elle-même (comme c'est le cas pour la plupart des toits en pente). Par conséquent, les toits à faible pente doivent être construits de façon robuste pour supporter à la fois le poids de la structure même du toit et de la neige, de la glace ou de la pluie qui s'y accumule.

Même si des connaissances de base en matière de construction de toits à faible pente est souhaitable pour effectuer l'inspection thermographique d'un toit, il n'est pas nécessaire d'acquérir des connaissances approfondies dans ce domaine. Il existe différents principes de conception de toits à faible pente, aussi bien en ce qui concerne les matériaux utilisés que le design. Il paraît évident qu'une personne effectuant une inspection infrarouge ne peut pas tous les connaître. Si des informations supplémentaires sont requises sur un certain type de toit, contactez l'architecte ou l'entrepreneur ayant réalisé le bâtiment.

Le tableau ci-dessous répertorie les causes courantes des défauts des toitures (repris et adapté de l'ouvrage SPIE Thermosense Proceedings Vol. 371 (1982), p. 177).

Cause	%
Malfaçon	47,6
Circulation sur la toiture	2,6
Conception de mauvaise qualité	16,7
Humidité piégée	7,8
Matériaux	8,0
Ancienneté et intempéries	8,4

Les fuites peuvent se trouver aux endroits suivants :

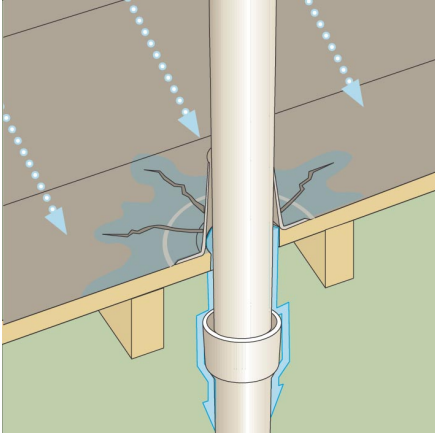
- Solin
- Avaloirs
- Ouvertures
- Joints
- Boursouflures

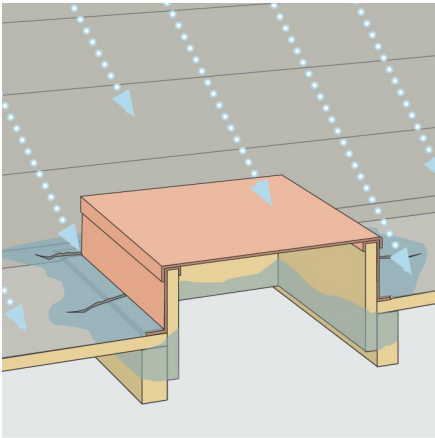
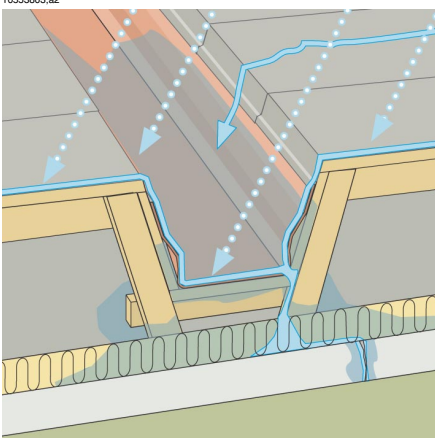
24.2.3.2 Précautions de sécurité

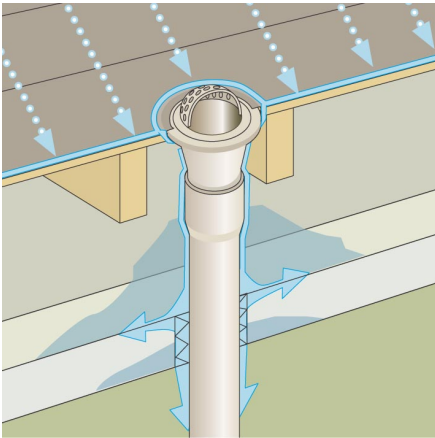
- Nous vous conseillons d'effectuer les inspections sur les toits par équipe de deux, trois ou plus.
- Inspectez au préalable la structure du toit pour contrôler son intégrité avant de marcher dessus.
- Evitez de marcher sur les coupoles, fréquentes sur les toits fabriqués en bitume et en gravier.
- Munissez-vous d'un téléphone portable ou d'une radio CB pour prévenir les secours en cas d'urgence.
- Informez la police locale et le service de sécurité de l'usine avant d'effectuer une inspection du toit de nuit.

24.2.3.3 Observation de structures de bâtiments

Cette section comprend quelques exemples courants de problèmes d'humidité des toits à faible pente.

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10553603.a2</p> 	<p>Etanchéité inadéquate de la toiture autour des canalisations ou des conduits de ventilation, entraînant une fuite locale autour de la canalisation ou du conduit.</p>

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10553703;a2</p>  <p>This technical drawing shows a cross-section of a roof access hatch. The hatch is represented by an orange rectangular block. It is installed on a roof structure with wooden rafters and a grey waterproofing membrane. Blue dashed arrows indicate the direction of water flow. A significant leak is shown at the joint between the hatch and the roof membrane, with water dripping down into the interior space below the hatch.</p>	<p>Jointure non étanche entre la membrane de la toiture et la trappe d'accès.</p>
<p>10553803;a2</p>  <p>This technical drawing shows a cross-section of a roof gutter. The gutter is installed on a roof with wooden rafters and a grey waterproofing membrane. Blue dashed arrows indicate the direction of water flow. The gutter is shown to be installed at an incorrect height and slope, causing water to pool inside the gutter instead of flowing away. This pooling of water is shown dripping down the side of the roof structure, indicating a local leak.</p>	<p>Chéneaux placés trop haut et insuffisamment inclinés. De l'eau reste dans le chéneau après la pluie, ce qui peut provoquer une fuite locale autour du chéneau.</p>

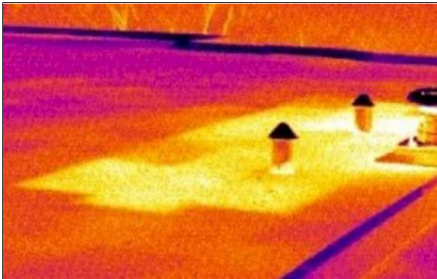
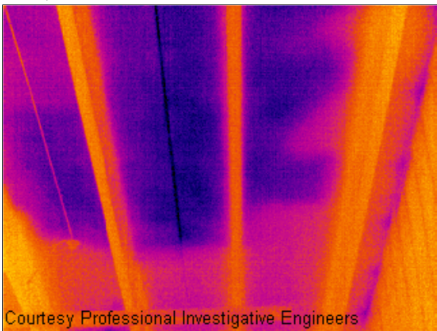

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
	<p>Etanchéité incorrecte entre la membrane et l'exutoire de toiture, entraînant une fuite locale autour de l'exutoire.</p>

24.2.3.4 Observation d'images infrarouges

Comment détecter une isolation humide sous la surface du toit ? Lorsque la surface est sèche, y compris les graviers ou le ballast, une journée ensoleillée permet de réchauffer l'ensemble du toit. En début de soirée, si le ciel est dégagé, le toit commence à refroidir par rayonnement. En raison de sa capacité thermique supérieure, l'isolation humide restera chaude plus longtemps que les parties sèches et apparaîtra sur la caméra infrarouge (voir photos ci-dessous). Cette technique est particulièrement efficace sur les toits dont l'isolation est absorbante—comme la fibre de bois, la fibre de verre et la perlite—et pour lesquels le profil thermique est en corrélation quasi-parfaite avec l'humidité.

Les analyses infrarouges de toitures munies d'isolants non absorbants (très courantes dans les constructions unicouche) sont plus difficiles à analyser car les motifs sont plus diffus.

Cette section présente des images infrarouges de problèmes d'humidité caractéristiques sur les toitures commerciales à faible pente :

Images infrarouges	Commentaire
<p>10554003.a1</p> 	<p>Détection d'humidité sur une toiture, enregistré le soir.</p> <p>Comme le matériau de construction affecté par l'humidité présente une masse thermique plus élevée, sa température décroît plus lentement que celle des zones environnantes.</p>
<p>10554103.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Composants et isolants de la toiture endommagés par l'eau : détection par analyse infrarouge effectuée depuis la partie interne de la toiture multi-couche d'une terrasse en béton.</p> <p>Les zones affectées sont plus froides que les zones saines environnantes, à cause de l'effet capacitif thermique et/ou conducteur.</p>
<p>10554203.a1</p> 	<p>Analyse de jour d'une toiture commerciale à faible pente.</p> <p>Les zones affectées sont plus froides que les zones sèches environnantes, à cause de l'effet capacitif thermique et/ou conducteur.</p>

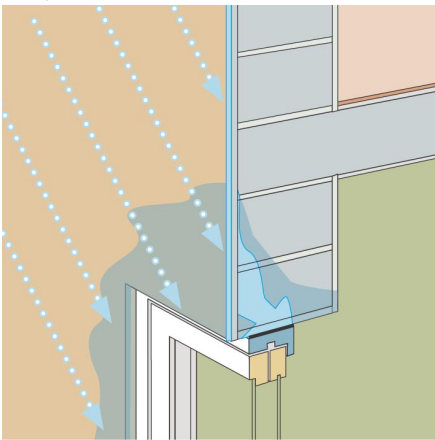
24.2.4 Détection de l'humidité (2) : Façades de bâtiments commerciaux et résidentiels

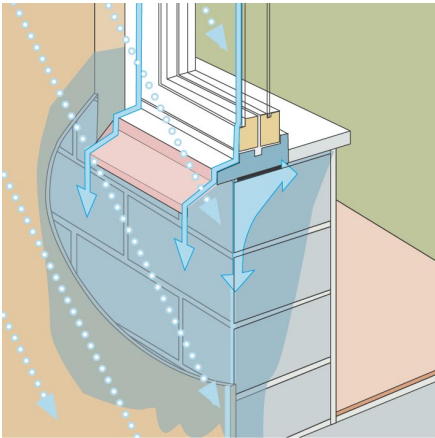
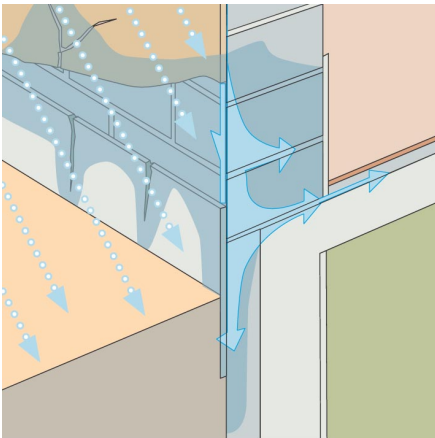
24.2.4.1 Informations générales

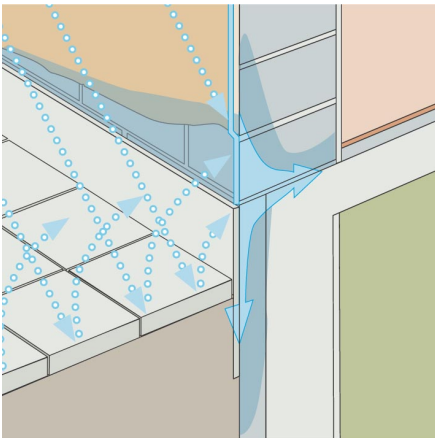
La thermographie s'est avérée être un élément primordial dans l'évaluation de l'infiltration d'humidité dans les façades commerciales et résidentielles. Le fait de fournir une illustration physique de l'évolution de l'humidité est plus parlant que de prélever des échantillons à l'aide d'un humidimètre et moins onéreux que des tests intrusifs plus importants.

24.2.4.2 Observation de structures de bâtiments

Cette section comprend quelques exemples de problèmes d'humidité sur des façades de bâtiments commerciaux et résidentiels.

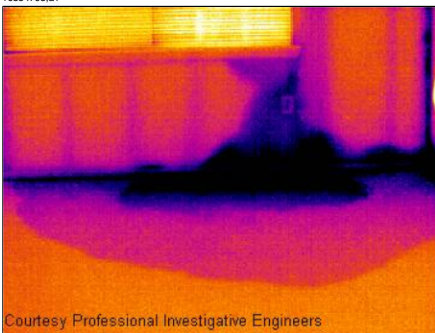
Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10554303.a2</p> 	<p>La pluie battante pénètre dans la façade à cause de joints horizontaux mal réalisés. L'humidité s'accumule dans la maçonnerie au-dessus de la fenêtre.</p>

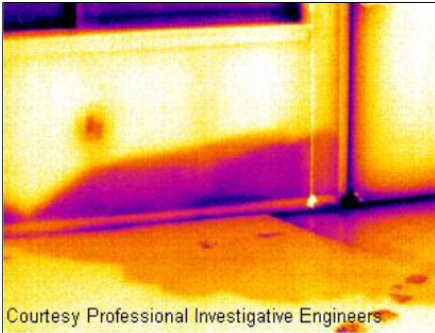
Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10554403;a2</p> 	<p>La pluie battante s'abat sur un angle de la fenêtre. La majorité de la pluie est évacuée du solin de la fenêtre, mais une partie s'introduit dans la maçonnerie au niveau de la jonction entre le plâtre et la partie inférieure du solin.</p>
<p>10554503;a2</p> 	<p>La pluie s'abat sur un angle de la façade et pénètre dans le plâtre par les fissures. L'eau s'introduit dans le plâtre et le gel provoque ensuite l'érosion.</p>

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10554603.a2</p> 	<p>La pluie éclabousse la façade et pénètre dans le plâtre et la maçonnerie par absorption, puis le gel finit par provoquer l'érosion.</p>

24.2.4.3 Observation d'images infrarouges

Cette section comprend quelques images infrarouges typiques de problèmes d'humidité sur des façades de bâtiments commerciaux et résidentiels.

Images infrarouges	Commentaire
<p>10554703.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>L'étanchéité incorrecte de la pierre plaquée sur le cadre en bois de la fenêtre et l'absence de solin a entraîné l'infiltration d'humidité dans la cavité murale et à l'intérieur de la pièce.</p>

Images infrarouges	Commentaire
<p>10554803.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Migration de l'humidité dans la cloison sèche par capillarité ainsi que dans les éléments de finition intérieurs à cause d'un espacement inadéquat et d'un terrain en pente, sur la façade en vinyle d'un complexe d'appartements.</p>

24.2.5 Détection de l'humidité (3) : Terrasses et balcons

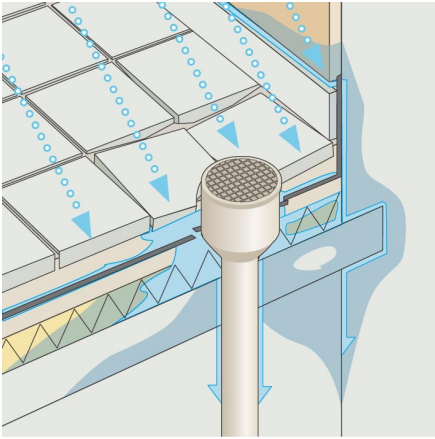
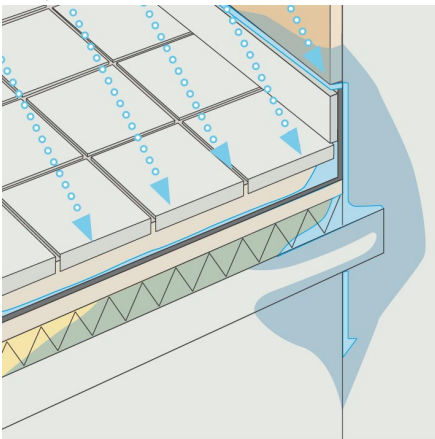
24.2.5.1 Informations générales

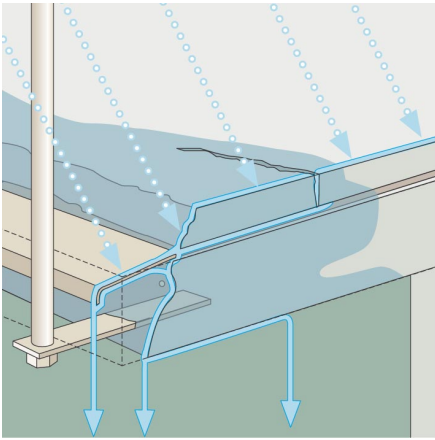
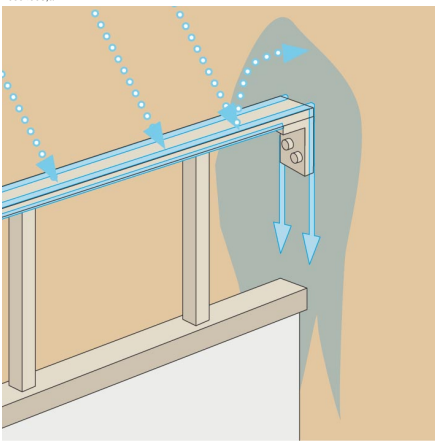
Bien qu'il existe des différences au niveau de la conception, des matériaux et de la construction, les terrasses et terrasses couvertes, les cours, etc., connaissent les mêmes problèmes d'humidité et de fuites que les toits à pente faible. Des problèmes d'étanchéité, des membranes incorrectement scellées et un drainage insuffisant peuvent entraîner des dégâts importants des structures inférieures du bâtiment.

Les balcons, bien que de taille inférieure, requièrent le même soin au niveau de la conception, du choix des matériaux et de la construction, que tout autre élément de structure de bâtiment. Comme les balcons sont en général soutenus par un seul côté, l'humidité qui entraîne la corrosion des supports et de l'armature en béton peut entraîner des problèmes et conduire à des situations dangereuses.

24.2.5.2 Observation de structures de bâtiments

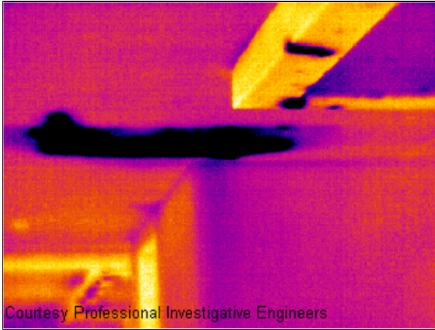
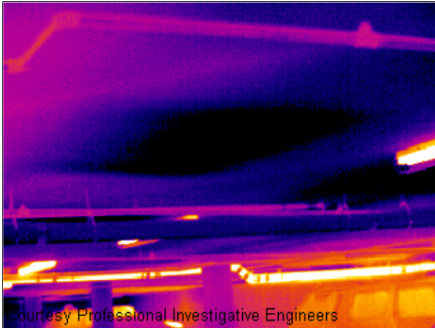
Cette section comprend quelques exemples de problèmes d'humidité sur des terrasses et balcons.

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10555203.a2</p> 	<p>Etanchéité incorrecte entre l'évent et le revêtement de la toiture et la membrane de la toiture, ce qui entraîne des fuites lors des averses.</p>
<p>10555103.a2</p> 	<p>Absence de solin entre la terrasse et le mur, ce qui entraîne la pénétration de la pluie dans le béton et l'isolant.</p>

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>1055003;a2</p> 	<p>L'eau a pénétré dans le béton à cause d'un dimensionnement incorrect du tablier, ce qui a entraîné la désintégration du béton et la corrosion de l'armature.</p> <p>DANGER</p>
<p>10554903;a2</p> 	<p>L'eau a pénétré dans le plâtre et dans la maçonnerie sous-jacente à l'endroit où la main courante est fixée au mur.</p> <p>DANGER</p>

24.2.5.3 Observation d'images infrarouges

Cette section comprend quelques exemples d'images infrarouges de problèmes d'humidité sur des terrasses et balcons.

Images infrarouges	Commentaire
<p>10555303.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Solin inadéquat entre le balcon et le mur et absence de système de drainage périmétrique, entraînant l'intrusion de l'humidité dans la structure porteuse de l'ossature de bois sur un balcon d'un complexe de lofts.</p>
<p>10555403.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Absence de plan ou de support de drainage composite dans la structure d'une terrasse de parking sous-terrain de centre commercial, entraînant le blocage d'eau entre la terrasse en béton et la couche de surface du centre commercial.</p>

24.2.6 Détection de l'humidité (4) : Dégâts et fuites du système de plomberie

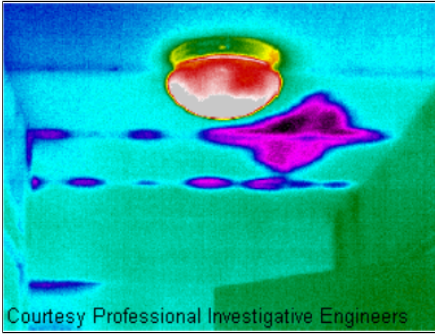
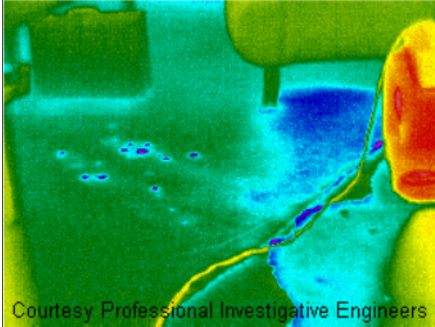
24.2.6.1 Informations générales

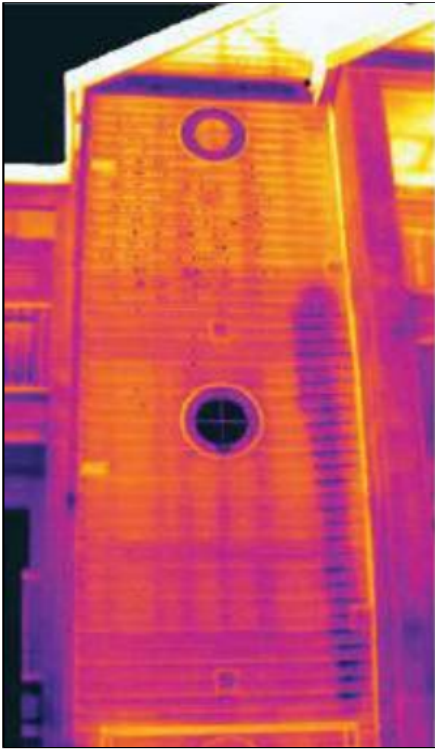
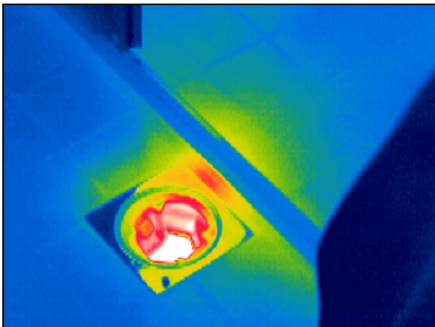
L'eau issue de fuites du système de plomberie peut souvent entraîner des dégâts importants de la structure du bâtiment. Les petites fuites peuvent être difficiles à détecter, mais peuvent, au long des années, pénétrer les murs et les fondations au point de rendre la structure du bâtiment irréparable.

L'utilisation de la thermographie de bâtiment dès la constatation de dégâts et de fuites de systèmes de plomberie permet de réaliser d'importantes économies en matériel et en main-d'oeuvre.

24.2.6.2 Observation d'images infrarouges

Cette section comprend quelques images infrarouges typiques de fuites ou de dégâts de plomberie.

Images infrarouges	Commentaire
<p>10555503.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Localisation de la migration de l'humidité le long des poutrelles en acier d'un plafond de maison individuelle, où la canalisation de plomberie a été rompue.</p>
<p>10555603.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Lors des travaux d'assainissement, par découpe de la moquette et installation de déshumidificateurs, il s'est avéré que la migration de l'eau provenant de la fuite de plomberie s'était étendue au-delà des prévisions de l'entrepreneur.</p>

Images infrarouges	Commentaire
<p>10555703.a1</p> 	<p>L'image infrarouge de cette maison à trois étages avec revêtement en vinyl montre clairement que le cheminement d'une fuite sérieuse entre une machine à laver et le troisième étage est complètement masqué dans les murs.</p>
<p>10555803.a1</p> 	<p>Fuite d'eau causée par une étanchéité incorrecte entre les drains et les dalles d'un sol.</p>

24.2.7 Infiltration d'air

24.2.7.1 Informations générales

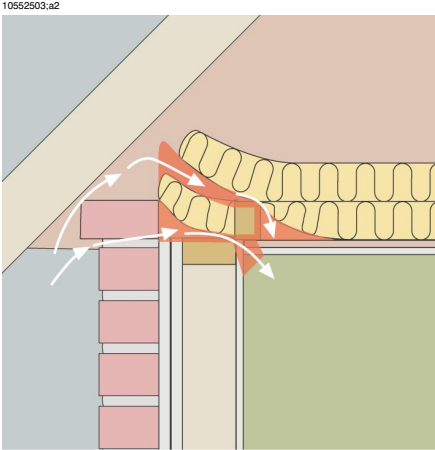
En raison de la poussée du vent sur un bâtiment, des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment et du fait que la plupart des bâtiments utilisent des bouches d'évacuation pour extraire l'air vicié, une pression négative de 2 à 5 Pa peut survenir. Lorsque cette pression négative laisse de l'air froid pénétrer le bâtiment en raison de déficiences d'isolation et ou de calfeutrement, nous avons ce que l'on appelle une *infiltration d'air*. Une infiltration d'air peut survenir au niveau des joints et jonctions du bâtiment.

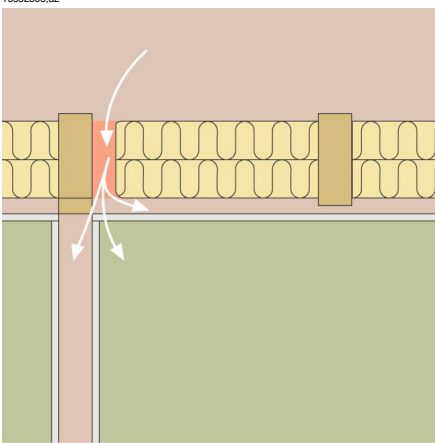
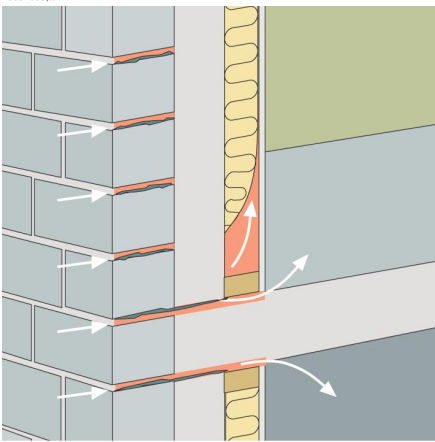
L'infiltration d'air créant un courant d'air frais dans une pièce par exemple, une détérioration sensible du climat intérieur peut survenir. Les habitants remarquent généralement les petits courants d'air d'une taille de 0,15 m/s, alors que ces derniers sont difficiles à détecter à l'aide d'instruments de mesure classiques.

Sur une image infrarouge, une infiltration d'air peut être identifiée grâce à la forme caractéristiques de ses rayons émanant d'un point de fuite dans le bâtiment, par exemple au niveau de la plinthe. En outre, les zones sujettes aux infiltrations d'air affichent généralement une température inférieure aux zones mal isolées. Cela est dû à l'effet courant d'air.

24.2.7.2 Observation de structures de bâtiments

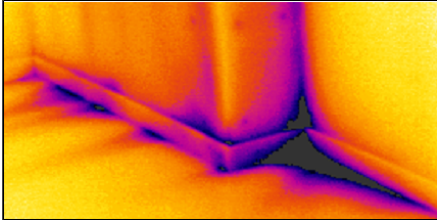
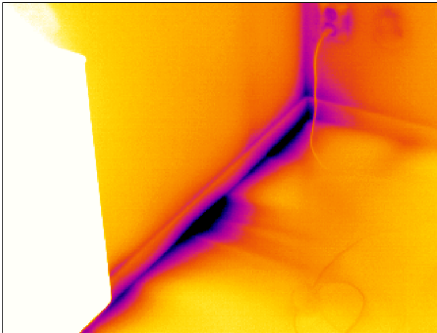
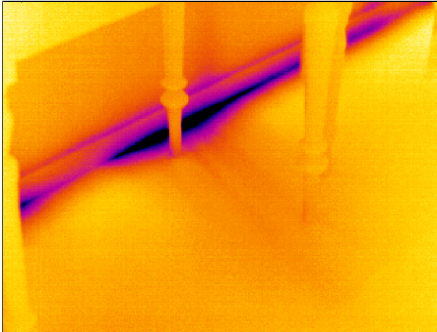
Cette section comprend quelques exemples de détails de bâtiments où des infiltrations d'air peuvent survenir.

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
	<p>Défauts d'isolation au niveau de l'avant-toit d'une maison aux murs de briques, dus à une installation incorrecte des panneaux isolants de fibres de verre.</p> <p>L'infiltration d'air entre dans la pièce au niveau de la corniche.</p>

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10552303;a2</p>  <p>The drawing shows a cross-section of a wall and ceiling. A layer of yellow insulation (fiberglass) is installed between two horizontal concrete slabs. A vertical gap is shown where the insulation is not properly sealed at the cornice. Red arrows indicate air flowing from the upper space, through the gap, and into the lower room.</p>	<p>Isolation insuffisante au niveau d'un étage intermédiaire due à des isolants en fibre de verre mal installés.</p> <p>L'infiltration d'air entre dans la pièce au niveau de la corniche.</p>
<p>10552603;a2</p>  <p>The drawing shows a cross-section of a brick wall and a concrete floor. Above the floor is a sanitary void. The brick wall has several horizontal cracks. Red arrows indicate air flowing from the void, through the cracks in the brickwork, and into the room below. A vertical gap is also shown at the base of the wall where the floor meets the wall.</p>	<p>Infiltration d'air dans un sol en béton situé au-dessus d'un vide sanitaire, due aux fissures dans le mur de briques de la façade.</p> <p>L'infiltration d'air s'introduit dans la pièce à l'arrière d'une plinthe.</p>

24.2.7.3 Observation d'images infrarouges

Cette section comprend quelques exemples d'images infrarouges de détails de bâtiments sujets à des infiltrations d'air.

Images infrarouges	Commentaire
<div>10552703.a1</div> 	Infiltration d'air à l'arrière d'une plinthe. Notez le motif caractéristique en forme de rayon.
<div>10552803.a1</div> 	Infiltration d'air à l'arrière d'une plinthe. Notez le motif caractéristique en forme de rayon. La zone blanche à gauche est un radiateur.
<div>10552903.a1</div> 	Infiltration d'air à l'arrière d'une plinthe. Notez le motif caractéristique en forme de rayon.

24.2.8 Défauts d'isolation

24.2.8.1 Informations générales

Une mauvaise isolation n'entraîne pas forcément des infiltrations d'air. Si les isolants en fibre de verre sont incorrectement installés, des poches d'air vont se former dans la structure du bâtiment. Ces poches d'air ayant une conductivité thermique différente, elles peuvent être détectées lors d'une inspection thermographique du bâtiment.

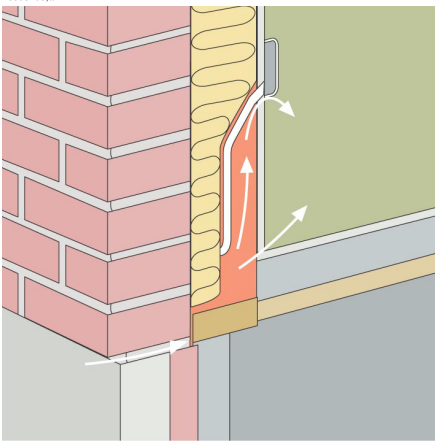
En règle générale, la température des zones présentant des défauts d'isolation est supérieure à celle des zones présentant seulement des infiltrations d'air.

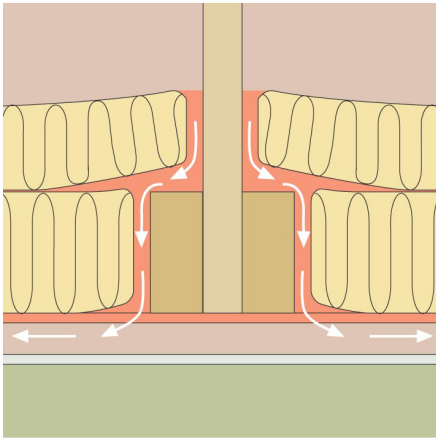
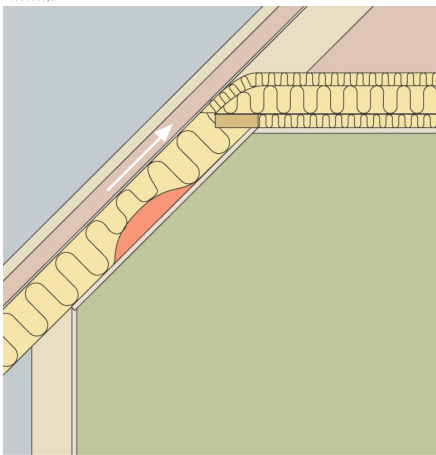
Lorsque vous effectuez une analyse thermographique sur un bâtiment dans le but de détecter des défauts d'insolation, veillez à identifier les éléments de structure ci-dessous qui peuvent ressembler à des défauts d'isolation sur les images infrarouge :

- poutres en bois, poteaux et chevrons
- poutres en acier
- tuyauterie dans les murs, plafonds et sols
- installations électriques dans les murs, plafonds et sols tels que les conduits d'air, les tuyauteries, etc.
- colonnes en béton dans des pans de bois
- conduits de ventilation et d'air

24.2.8.2 Observation de structures de bâtiments

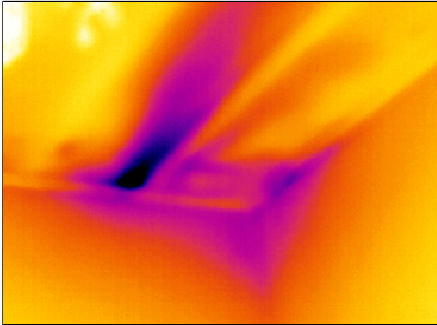
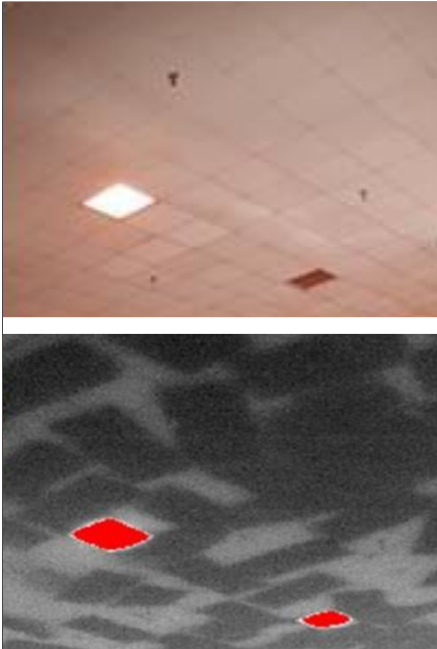
Cette section comprend quelques exemples de détails de bâtiments mal isolés :

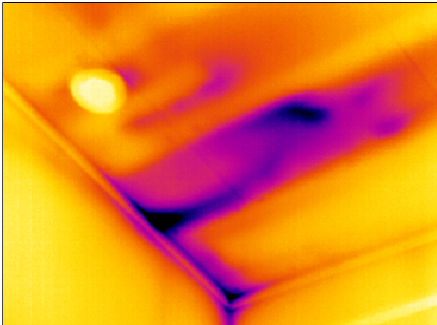
Dessin technique de bâtiment	Commentaire
 <p>10553203.a2</p> <p>The drawing shows a cross-section of a building corner. On the left is a brick wall. To its right is a layer of yellow insulation. Further right is a green wall. A red arrow indicates air leakage from the interior (right) through a gap in the insulation and into the brick wall. Another red arrow points to a gap between the insulation and the green wall. A white arrow points to the base of the brick wall where it meets the ground.</p>	<p>Défauts d'isolation (et infiltrations d'air) dus à une installation incorrecte de panneaux isolants autour d'une prise d'alimentation secteur.</p> <p>Sur une image infrarouge, ce type de défaut d'isolation apparaît sous forme de zone sombre.</p>

Dessin technique de bâtiment	Commentaire
<p>10553103;a2</p> 	<p>Défauts d'isolation dus à une installation incorrecte de panneaux isolants autour d'une poutre de faux plancher. L'air froid s'infiltre dans la structure et refroidit la partie interne du plafond.</p> <p>Sur une image infrarouge, ce type de défaut d'isolation apparaît sous forme de zone sombre.</p>
<p>10553003;a2</p> 	<p>Défauts d'isolation dus à une installation incorrecte des panneaux isolants, créant une poche d'air dans la partie externe d'un plafond incliné.</p> <p>Sur une image infrarouge, ce type de défaut d'isolation apparaît sous forme de zone sombre.</p>

24.2.8.3 Observation d'images infrarouges

Cette section comprend quelques images infrarouges typiques d'une mauvaise isolation.

Images infrarouges	Commentaire
<p>10553303.a1</p> 	<p>Défauts d'isolation dans une structure de plancher intermédiaire. Le défaut peut provenir de l'absence de panneau isolant ou de panneaux isolants incorrectement installés (poches d'air).</p>
<p>10553403.a1</p> 	<p>Panneaux de fibres de verre incorrectement installés dans un plafond suspendu.</p>

Images infrarouges	Commentaire
<p>10553503.a1</p> 	<p>Défauts d'isolation dans une structure de plancher intermédiaire. Le défaut peut provenir de l'absence de panneau isolant ou de panneaux isolants incorrectement installés (poches d'air).</p>

24.3 *Théorie en science du bâtiment*

24.3.1 Informations générales

La demande pour des constructions écologiques n'a cessé de croître ces dernières années. Les progrès effectués dans les domaines de l'énergie, associés à une demande croissante pour un intérieur chaleureux, ont montré l'importance conjuguée d'une étanchéité et d'une isolation thermique et d'un système de chauffage et de ventilation efficace.

Une isolation et une étanchéité défectueuses dans les structures où l'isolation et l'étanchéité à l'air est importante peut entraîner de grandes pertes d'énergie. Les défauts dans l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air d'un bâtiment n'impliquent pas seulement des coûts élevés de chauffage et de maintenance : ils affectent également les conditions atmosphériques à l'intérieur des locaux.

Le degré d'isolation d'un bâtiment est en général exprimé par la résistance thermique ou le coefficient de transmission thermique (valeur U) des différentes parties du bâtiment. Cependant, les valeurs de résistance thermique indiquées représentent rarement la valeur réelle des pertes d'énergie d'un bâtiment. Les fuites d'air au niveau des joints et des raccords non étanches à l'air et insuffisamment équipés d'isolant engendrent souvent des écarts considérables entre les valeurs théoriques et les valeurs réelles.

Pour vérifier que les propriétés des différents matériaux et éléments d'un bâtiment sont conformes aux propriétés prévues, des tests en laboratoire sont effectués. Une fois terminés, les bâtiments doivent être contrôlés et inspectés afin de vérifier que leur isolation et leur étanchéité à l'air sont conformes aux objectifs.

Appliquée à l'ingénierie des structures, la thermographie permet d'étudier les variations de température à la surface d'une structure. Les variations de la résistance thermique d'une structure peut, sous certaines conditions, générer des variations de température en surface. Les fuites d'air froid (ou chaud) à travers la structure peuvent également entraîner des variations de température en surface. Cela signifie qu'il est possible de repérer et d'étudier les défauts d'isolation, les ponts thermiques et les fuites d'air dans les éléments porteurs de la structure d'un bâtiment.

La thermographie ne permet pas d'obtenir directement la résistance thermique ou l'étanchéité à l'air d'une structure. Pour quantifier la résistance thermique et l'étanchéité à l'air, des mesures complémentaires sont nécessaires. L'analyse thermographique des bâtiments repose sur un certain nombre de pré-requis liés à la température et à la pression de la structure.

Les détails, les formes et le contraste de l'image thermique peuvent varier avec la modification de ces paramètres. Par conséquent, l'analyse détaillée et l'interprétation des images thermiques requièrent des connaissances approfondies sur les propriétés des structures et des matériaux, les effets de l'environnement et les techniques de mesure récentes. Pour effectuer les mesures et évaluer les résultats, certaines conditions sont requises en termes de compétences et d'expérience, par exemple l'autorisation d'un organisme de normalisation national ou régional.

24.3.2 Répercussions des tests et des contrôles

L'efficacité de l'isolation thermique et de l'étanchéité d'un bâtiment peut être difficile à anticiper. Certains des facteurs nécessaires lors de l'assemblage des différents composants et éléments du bâtiment peuvent avoir un impact considérable sur le résultat final. Les effets du transport, de la manipulation et du stockage sur site ainsi que la manière dont le travail est effectué ne peuvent être calculés à l'avance. Pour garantir que la fonction souhaitée est bien obtenue, des vérifications du bâtiment terminé doivent être effectuées sous forme de tests et de contrôles.

La technologie d'isolation moderne a permis de réduire les besoins théoriques en chaleur. Cela signifie toutefois que des défauts relativement petits, mais situés à des emplacements stratégiques, par exemple des joints non étanches ou une isolation mal installée, peuvent avoir des répercussions considérables sur la chaleur et le confort. Les tests de contrôle, par exemple la thermographie, ont montré leur utilité du point de vue du concepteur, de l'entrepreneur, du développeur, du gestionnaire du bâtiment et de l'utilisateur.

- Pour le concepteur, le plus important est de déterminer la fonction de différents types de structures, afin de concevoir ces structures de façon à prendre en compte les méthodes de travail et les besoins fonctionnels. Le concepteur doit également savoir comment les différents matériaux et les combinaisons de matériaux fonctionnent en pratique. Les essais et les vérifications, ainsi que l'expérience, permettent de réaliser le développement nécessaire dans ce domaine.
- L'entrepreneur doit effectuer davantage de tests et de vérifications afin de garantir que les structures remplissent les fonctions prévues et soient conformes aux exigences définies dans les réglementations établies par les autorités et dans les documents contractuels. L'entrepreneur doit chercher à connaître dès les premières étapes de la construction les modifications qui peuvent être nécessaires pour prévenir les défauts systématiques. Durant la construction d'un projet de construction en série, un contrôle doit donc être effectué sur les premiers appartements achevés. D'autres contrôles similaires doivent être effectués au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Cela permet d'éviter les défauts systématiques, les coûts inutiles ainsi que les problèmes ultérieurs. Ce contrôle est bénéfique à la fois pour les constructeurs et pour les usagers.

- Pour le développeur et le gestionnaire de la propriété, il est essentiel que les bâtiments soient contrôlés en tenant compte de l'économie de chaleur, de la maintenance (dommages causés par l'humidité ou l'infiltration d'humidité) et du confort des occupants (par exemple, surfaces refroidies et mouvements de l'air dans les zones occupées).
- Pour l'usager, le plus important est la conformité du produit fini avec les spécifications définies en termes d'isolation thermique et d'étanchéité à l'air des bâtiments. Pour un particulier, l'achat d'une maison représente un engagement financier considérable, par conséquent il souhaite savoir si des défauts de construction risquent d'entraîner des conséquences financières et des problèmes d'hygiène.

Les tests d'isolation et d'étanchéité d'un bâtiment ont des effets à la fois physiologiques et financiers.

L'évaluation physiologique du climat ambiant au sein d'un bâtiment est très subjective. Elle dépend de l'équilibre de chaleur individuel et de la perception de la température par un individu. Le climat ambiant dépend de la température de l'air dans les locaux et des surfaces environnantes. La vitesse de mouvement et le taux d'humidité de l'air ambiant jouent également un rôle. D'un point de vue physiologique, un courant d'air produit une sensation locale de froid sur un corps. La cause du courant d'air pouvant être :

- un mouvement d'air excessif dans une zone habitée à température normale ;
- un mouvement d'air normal dans une zone habitée à température trop basse ;
- un échange thermique important par rayonnement avec une surface froide.

Il est difficile d'évaluer les effets quantitatifs des tests et contrôles de l'isolation thermique d'un bâtiment.

Les enquêtes ont montré que les problèmes détectés au niveau de l'isolation thermique et de l'étanchéité d'un bâtiment créent des pertes de chaleur 20 à 30 % supérieures à ce qui était prévu. Le contrôle de la consommation d'énergie avant et après la mise en place de mesures correctives dans de vastes lotissements pavillonnaires et dans des résidences l'a également prouvé. Les chiffres cités ne sont probablement pas représentatifs des bâtiments en général, car les données ne sont pas applicables à tous les lotissements. Néanmoins, une analyse méticuleuse de l'isolation thermique et de l'étanchéité d'un bâtiment peut réduire la consommation d'énergie de 10 %.

La recherche a également démontré qu'une augmentation de la consommation d'énergie associée aux défauts pousse souvent les occupants à augmenter la température de l'habitation d'un ou plusieurs degrés au-dessus de la température normale, afin de compenser les effets désagréables du rayonnement thermique vers les surfaces refroidies et la sensation de mouvements d'air dans une pièce.

24.3.3 Sources de perturbations en thermographie

Lors d'une analyse thermographique, il est peu probable de confondre, en conditions normales, les variations de température causées par des problèmes d'isolation avec celles associées à des variations naturelles des coefficients U opérant sur les surfaces chaudes d'une structure.

Les variations de la température associées aux variations de la valeur U sont en général graduelles et symétriquement réparties sur la surface. Bien entendu, les variations de ce type peuvent se produire aux angles formés par les toitures et les planchers ainsi que dans les coins des murs.

Dans la plupart des cas, les variations de la température liées aux fuites d'air et aux défauts d'isolation sont représentées avec des contours aux formes caractéristiques et sont donc facilement repérables. Le motif de la température est en général asymétrique.

Lors d'une analyse thermographique, la comparaison des images obtenues avec d'autres images infrarouges peut faciliter l'interprétation.

Les principaux effets parasites pouvant survenir au cours de la thermographie sont :

- l'effet du soleil sur la surface thermographiée (rayon du soleil à travers une fenêtre) ;
- les radiateurs chauds tuyautés ;
- les lumières dirigées vers, ou placées à proximité d'une surface en cours de mesure ;
- les courants d'air (par exemple entrées d'air) dirigés vers la surface ;
- l'effet de la moisissure sur la surface.

Aucune thermographie ne doit être entreprise sur des surfaces ayant été exposées aux rayons du soleil. Pour éviter qu'une surface ne soit exposée aux rayons du soleil, couvrez les fenêtres en fermant les stores. Toutefois, les défauts des bâtiments liés à l'humidité ou les problèmes (généralement de moisissure) n'apparaissent que lorsqu'une source de chaleur est appliquée sur la surface (par ex. du soleil).

Pour obtenir des informations sur la détection de la moisissure, reportez-vous à la section 24.2.2 – A propos de la détection d'humidité à la page 83.

Sur une image infrarouge, un radiateur chaud apparaît sous forme de surface claire et brillante. Le radiateur fait monter la température de la surface du mur sur lequel il est installé, ce qui peut masquer certains défauts.

Pour éviter au maximum les effets parasites dus aux radiateurs chauds, éteignez-les un peu avant d'effectuer les mesures. Cependant, selon le type de construction (masse faible ou élevée), il peut être nécessaire de les éteindre quelques heures avant l'analyse thermographique. La température de l'air ambiant doit rester plus ou

moins constante pour ne pas affecter la température répartie sur la surface des structures. La temporisation des radiateurs électriques étant très courte, ils refroidissent assez rapidement une fois éteints (20 à 30 minutes).

Eteignez les lumières placées contre un mur avant de capturer une image infrarouge.

Durant une analyse thermographique, évitez la présence de courants d'air susceptibles d'affecter les surfaces analysées (par exemple, fenêtre ouverte, robinet ouvert ou ventilateur directement dirigé vers la surface mesurée).

Toute surface humide, par exemple suite à une condensation, provoque un effet important sur le transfert de chaleur à la surface et sur la température en surface. Lorsque l'humidité est présente sur une surface, il se produit une évaporation qui évacue la chaleur et fait baisser la température de la surface de plusieurs degrés. La plupart des ponts thermiques et des défauts d'isolation présentent un risque de condensation en surface.

Les types de perturbation décrits ici peuvent en principe être détectés et éliminés avant la mesure.

Si au cours de l'analyse thermographique, vous ne pouvez pas éliminer les facteurs de perturbation des surfaces mesurées, vous devez tenir compte de ces facteurs lors de l'interprétation et l'évaluation des résultats. Pour chaque mesure effectuée, notez en détail les conditions de l'analyse thermographique.

24.3.4 Température de surface et fuites d'air

Les défauts d'étanchéité à l'air dus à la présence de petits interstices dans la structure peuvent être détectés en mesurant la température de surface. En cas de pression négative dans le bâtiment en cours d'analyse, l'air s'introduit dans les locaux par ces interstices. La circulation d'air froid par les interstices d'un mur fait en général baisser la température des zones adjacentes. Il en résulte la formation d'une zone refroidie à la surface interne du mur, présentant une forme caractéristique. La thermographie peut permettre de détecter les zones refroidies. Les mouvements d'air à la surface des murs sont mesurables à l'aide d'un anémomètre (instrument de mesure de la vitesse de l'air). Si la pression est positive à l'intérieur du bâtiment, l'air chaud de la pièce est évacué par les interstices du mur, ce qui génère des zones chaudes en surface autour des fuites.

L'importance de la fuite d'air dépend en partie des interstices et en partie de la différence de pression créée par la structure.

24.3.4.1 Conditions de pression d'un bâtiment

Les causes principales de différence de pression dans la structure d'un bâtiment sont

- les conditions de vent autour d'un bâtiment ;

- les effets du système de ventilation ;
- les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur (différence de pression thermique).

Les conditions réelles de pression à l'intérieur d'un bâtiment sont en général constituées par la combinaison de ces deux facteurs.

Le gradient de pression résultant à travers les différents éléments structurels est illustré par la figure de la page 111. Les effets irréguliers du vent sur un bâtiment font qu'en pratique, les conditions de pression peuvent être relativement variables et complexes.

Pour un vent constant, la loi de Bernoulli est appliquée :

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

où :

ρ	Densité de l'air en kg/m ³
v	Vitesse du vent en m/s
p	Pression statique en Pa

et où :

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

désigne la pression dynamique et p la pression statique. Le total de ces pressions donne la pression totale.

La charge du vent contre une surface, soit une pression dynamique à la base, devient une pression statique au contact de la surface. L'amplitude de cette pression statique est notamment déterminée par la forme de la surface et son angle par rapport à la direction du vent.

La proportion de pression dynamique transformée en pression statique sur la surface (p_{stat}) est déterminée par ce que l'on appelle le facteur de concentration de contraintes :

$$C = \frac{p_{\text{stat}}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

Si $\rho = 1,23 \text{ kg/m}^3$ (densité de l'air à $+15 \text{ °C}$), il en résulte les pressions locales du vent suivantes :

$$p_{stat} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Pa}$$

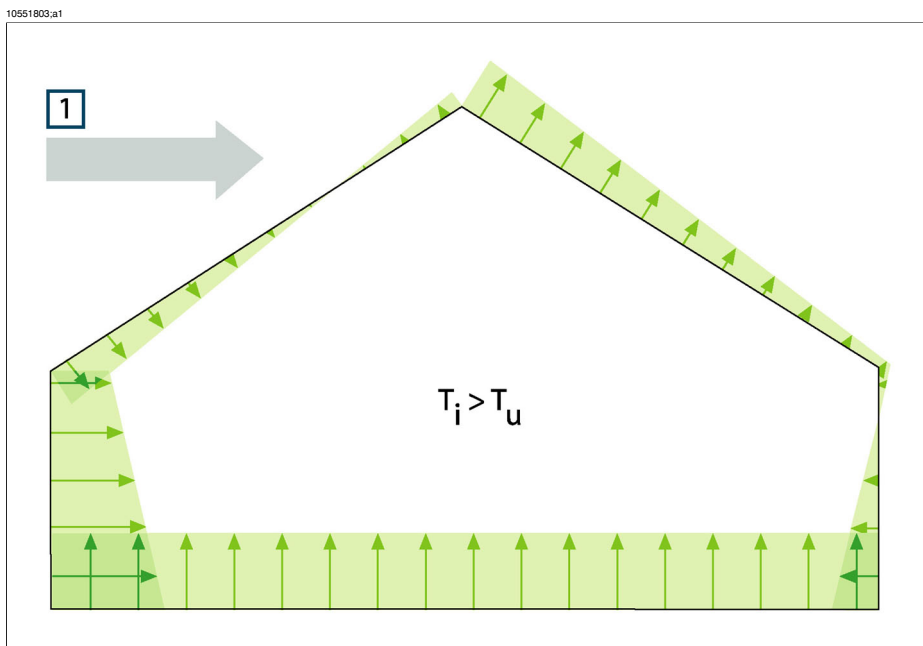


Figure 24.3 La répartition des pressions résultantes sur les surfaces porteuses d'un bâtiment dépend des effets du vent, de la ventilation et de la différence entre les températures internes et externes. 1: direction du vent ; T_u : température thermodynamique de l'air à l'extérieur, en K ; T_i : température thermodynamique de l'air à l'intérieur, en K.

Si la pression dynamique devient statique, alors $C = 1$. Vous trouverez des exemples de répartitions de facteurs de concentration des contraintes pour un établissement avec plusieurs directions de vent à la page 112.

Le vent provoque une pression négative interne sur le côté exposé au vent et une pression positive interne sur le côté à l'abri du vent. La pression de l'air à l'intérieur du bâtiment dépend des conditions de vent, des fuites du bâtiment et de leur répartition en fonction de la direction du vent. Si les fuites du bâtiment sont régulièrement réparties, la pression interne peut varier de $\pm 0.2 p_{stat}$. Si la plupart des fuites se trouvent sur le côté exposé au vent, la pression interne augmente un peu. Dans le cas contraire, si la plupart des fuites se trouvent sur le côté à l'abri du vent, la pression interne diminue.

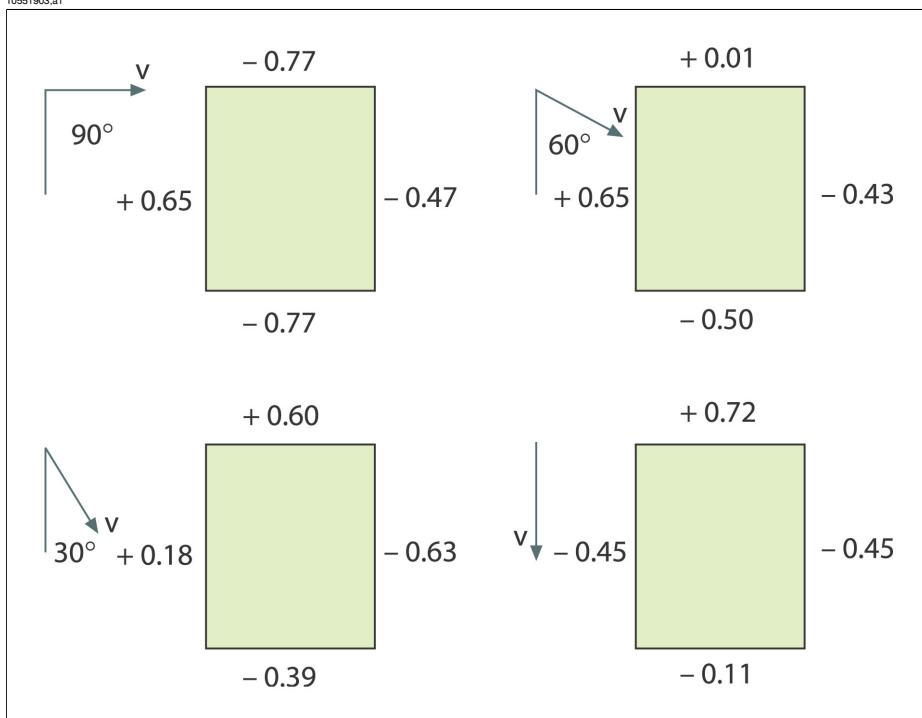


Figure 24.4 Répartition des valeurs du facteur de concentration des contraintes (C) sur un bâtiment, en fonction de la direction du vent et de la vitesse du vent (v).

Les conditions de vent peuvent considérablement varier au cours du temps ainsi qu'entre deux emplacements assez proches. Ce type de variations peut avoir des conséquences importantes sur les résultats des mesures thermographiques.

Des essais ont montré que la différence de pression sur une façade exposée à un vent de force moyenne d'environ 5 m/s est de 10 Pa.

La ventilation mécanique génère une pression positive ou négative constante à l'intérieur du bâtiment (selon la direction de la ventilation). Des recherches ont démontré que la pression négative générée par l'extraction mécanique (ventilateurs de cuisine) dans les petites maisons est généralement comprise entre 5 et 10 Pa. Au cours d'une extraction mécanique de l'air de ventilation, par exemple dans les blocs de plusieurs habitations, la pression négative est un peu plus élevée (10 à 50 Pa). Lorsque la ventilation est équilibrée (par contrôle mécanique de l'apport et de l'extraction d'air), le dispositif est en principe réglé de façon à générer une pression légèrement négative à l'intérieur du bâtiment (3 à 5 Pa).

La différence de pression provoquée par des différences de températures, appelée effet cheminé (différences d'étanchéité de l'air à des températures différentes), signifie qu'il existe une pression négative dans la partie la plus basse du bâtiment et une pression positive dans la partie la plus haute. En atteignant une certaine hauteur, une zone neutre contient des pressions identiques à l'intérieur et à l'extérieur. Reportez-vous à la figure page 114. Cette différence de pressions peut être décrite par le rapport suivant :

$$\Delta p = g \times \rho_u \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right) \text{ Pa}$$

Δp	Différence de la pression de l'air au sein du bâtiment en Pa.
g	9,81 m/s ²
ρ_u	Densité de l'air en kg/m ³
T_u	Température thermodynamique de l'air à l'extérieur, en K.
T_i	Température thermodynamique de l'air à l'intérieur, en K
h	Distance depuis la zone neutre en mètres

Si $\rho_u = 1,29 \text{ kg/m}^3$ (densité de l'air à une température de 273 K et ~100 kPa), il en résulte :

$$\Delta p \approx 13 \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right)$$

Une différence de +25 °C entre les températures ambiantes intérieures et extérieures, génère une différence de pression à l'intérieur de la structure d'environ 1 Pa par mètre en hauteur.

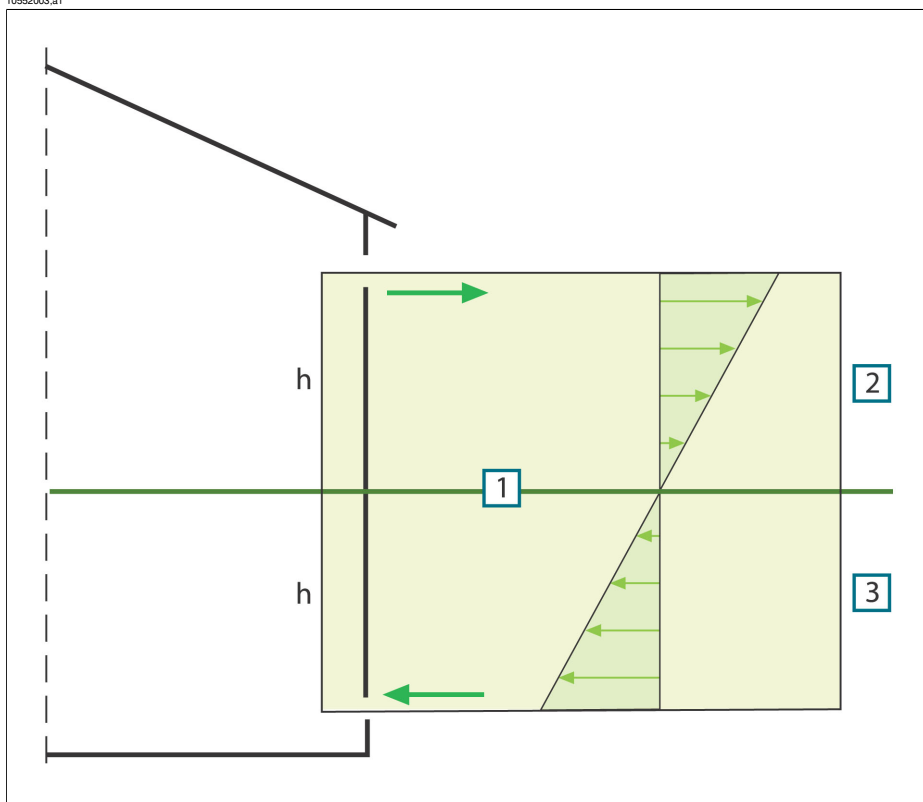


Figure 24.5 Répartition des pressions sur un bâtiment avec deux ouvertures et où la température extérieure est inférieure à la température intérieure. 1: Zone neutre ; 2: Pression positive ; 3: Pression négative ; **h**: Distance de la zone neutre en mètres.

La position de la zone neutre peut varier en fonction des fuites du bâtiment. Si les fuites sont régulièrement réparties verticalement, cette zone sera située à mi hauteur environ du bâtiment. Si la plupart des fuites se trouvent dans la partie inférieure du bâtiment, la zone neutre sera située plus bas. Si la plupart des fuites se trouvent dans la partie supérieure, la zone neutre sera située plus haut. La présence d'une cheminée sur le toit modifie considérablement la position de la zone neutre et peut même entraîner une pression négative sur l'ensemble du bâtiment. Cette situation se produit plutôt dans les petites structures.

Dans une construction de grande taille, par exemple de type industriel, étant donné les fuites au niveau des portes et des fenêtres dans la partie inférieure du bâtiment, la zone neutre est située à environ un tiers de la hauteur du bâtiment.

24.3.5 Conditions des mesures et environnement atmosphérique

Résumé des conditions de mesure lors de la prise de thermogrammes dans le domaine du bâtiment.

L'imagerie thermographique doit être réalisée de façon à réduire au maximum les effets des perturbations des facteurs climatiques externes. L'imagerie doit donc être réalisée à l'intérieur du bâtiment, c'est-à-dire à l'endroit où le bâtiment est chaud, afin d'analyser les surfaces chaudes de la structure.

La thermographie en extérieur permet d'obtenir des mesures de référence de la surface des grandes façades. Dans certains cas, par exemple lorsque l'isolation est de très mauvaise qualité ou lorsque la pression interne est positive, les mesures en extérieur peuvent être utiles. Même lorsque l'analyse concerne des installations situées à l'intérieur de l'enveloppe atmosphérique d'un bâtiment, l'imagerie thermographique à l'extérieur du bâtiment peut s'avérer utile.

Les conditions d'analyse recommandées sont les suivantes :

- La différence de température de l'air dans la partie souhaité du bâtiment doit atteindre au moins $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant plusieurs heures avant la prise d'images thermographiques et doit durer pendant toute la durée de procédure. Pendant la même période, la différence de température ambiante ne doit pas varier de plus de $\pm 30\%$ de la différence relevée lorsque l'imagerie thermographique commence. Lors de l'imagerie thermographique, la température ambiante intérieure ne doit pas varier de plus de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Durant plusieurs heures avant l'imagerie thermographique et durant celle-ci, évitez toute lumière solaire sur la partie du bâtiment à analyser.
- Pression négative au sein du bâtiment entre 10 et 50 Pa environ.
- Lorsque vous effectuez des images thermographiques pour situer des fuites d'air dans l'enceinte du bâtiment, les exigences en terme de conditions de mesure peuvent être moins strictes. Une différence de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre les températures ambiantes intérieures et extérieures est suffisante pour détecter de tels défauts. Pour détecter des fuites d'air, certaines conditions doivent pourtant être respectées en matière de pression différentielle. Une différence de 10 Pa environ devrait être suffisante.

24.3.6 Interprétation des images infrarouges

L'objectif principal de la thermographie est de localiser les erreurs et défauts d'isolation thermique dans les murs extérieurs et les sols pour déterminer leur nature et leur étendue. Le but de la thermographie est de confirmer si le mur examiné dispose bien des caractéristiques d'isolation et d'étanchéité promises. Les caractéristiques escomptées d'isolation thermique du mur, déterminées par sa conception, peuvent être converties en une répartition probable de la température de surface pour la surface analysée si les conditions de mesure au moment de l'analyse sont connues.

Dans la pratique, la méthode repose sur les éléments suivants :

Les essais en laboratoire ou sur le terrain permettent de définir la répartition des températures attendues des structures de murs courantes, sous forme d'images infrarouges caractéristiques de comparaison incluant à la fois des structures sans défaut et des structures présentant des défauts.

Vous trouverez des exemples d'images infrarouges caractéristiques dans la section 24.2 – Analyses de terrain typiques à la page 81.

Si les images infrarouges d'éléments de structure capturées lors de mesures sur le terrain sont destinées à servir de support de comparaison, il est indispensable de décrire en détail la composition de la structure, la manière dont elle a été construite et les conditions de mesure au moment de la capture des images infrarouges.

Au cours de l'analyse thermographique, afin de pouvoir établir des observations sur les causes des écarts par rapport aux résultats attendus, des pré-requis en physique, métrologie et ingénierie des structures sont également indispensables.

Voici très brièvement les principes de l'interprétation des images infrarouges capturées au cours de mesures sur le terrain :

Sélectionnez une image infrarouge de comparaison représentant une structure exempte de défaut, en fonction de la structure du mur analysé et des conditions de la mesure effectuée. Comparez ensuite cette image à une image infrarouge capturée sur le bâtiment analysé. Notez tout écart (qui ne puisse pas être justifié par la conception ou la structure ou par les conditions des mesures) comme défaut d'isolation possible. La nature et l'étendue des défauts peuvent en général être déterminés à l'aide des images infrarouges de comparaison présentant plusieurs défauts.

Si aucune image infrarouge de comparaison n'est appropriée, vous devrez effectuer l'évaluation et l'interprétation à partir de votre expérience. Cette méthode d'analyse requiert davantage de précision de raisonnement.

Lors de l'interprétation d'une image infrarouge, vous devez rechercher les éléments suivants :

- Uniformité de la luminosité sur les images infrarouges des surfaces exemptes de pont thermique
- Régularité et occurrences des surfaces froides, par exemples poteaux et coins
- Contours et formes caractéristiques de la surface froide
- Différences de température mesurées entre la température normale de la surface de la structure et la zone refroidie sélectionnée
- Continuité et uniformité de la courbe isotherme à la surface de la structure. Dans le logiciel de la caméra, la fonction isotherme est appelée **Isotherme** ou **Alarme couleur**, selon le modèle de caméra.

Les écarts et les irrégularités dans l'apparence de l'image infrarouge indiquent souvent des défauts d'isolation. L'apparence des images infrarouges de structures contenant des défauts d'isolation peut varier énormément. Certains types de défaut d'isolation présentent une forme caractéristique sur l'image infrarouge.

La section 24.2 – Analyses de terrain typiques à la page 81 montre des exemples d'interprétations d'images infrarouges.

Lorsque vous capturez des images infrarouges dans le même bâtiment, conservez les mêmes paramètres de la caméra infrarouge pour toutes les images réalisées dans les différentes zones, car cela facilite la comparaison des différentes zones.

24.3.7 Humidité et point de rosée

24.3.7.1 Humidité relative et absolue

L'humidité peut être exprimée de deux façons différentes, soit en tant qu'*humidité relative*, soit en tant qu'*humidité absolue*. L'humidité relative est exprimée en pourcentage et représente la quantité d'eau qu'un certain volume d'air peut contenir à une certaine température. L'humidité absolue, quant à elle, est exprimée en pourcentage et représente la quantité d'eau par unité de volume du matériau. La deuxième façon d'exprimer l'humidité est généralement utilisée pour mesurer le degré d'humidité du bois ou des autres matériaux de construction.

Plus la température de l'air est élevée, plus la quantité d'eau que peut contenir un certain volume d'air est élevée. Le tableau suivant définit les quantités maximales d'eau dans l'air à différentes températures.

Figure 24.6 A : Température en degrés Celsius ; **B** : Quantité maximale d'eau exprimée en g/m³ (au niveau de la mer)

A	B	A	B	A	B	A	B
30,0	30,44	20,0	17,33	10,0	9,42	0,0	4,86
29,0	28,83	19,0	16,34	9,0	8,84	-1,0	4,49
28,0	27,29	18,0	15,40	8,0	8,29	-2,0	4,15
27,0	25,83	17,0	14,51	7,0	7,77	-3,0	3,83
26,0	24,43	16,0	13,66	6,0	7,28	-4,0	3,53
25,0	23,10	15,0	12,86	5,0	6,81	-5,0	3,26
24,0	21,83	14,0	12,09	4,0	6,38	-6,0	3,00
23,0	20,62	13,0	11,37	3,0	5,96	-7,0	2,76
22,0	19,47	12,0	10,69	2,0	5,57	-8,0	2,54
21,0	18,38	11,0	10,04	1,0	5,21	-9,0	2,34

Figure 24.7 A : Température en degrés Fahrenheit ; **B** : Quantité maximale d'eau en grains/pieds³ (au niveau de la mer)

A	B	A	B	A	B	A	B
86,0	13,30	68,0	7,58	50,0	4,12	32,0	2,12
84,2	12,60	66,2	7,14	48,2	3,86	30,2	1,96
82,4	11,93	64,4	6,73	46,4	3,62	28,4	1,81
80,6	11,29	62,6	6,34	44,6	3,40	26,6	1,67
78,8	10,68	60,8	5,97	42,8	3,18	24,8	1,54
77,0	10,10	59,0	5,62	41,0	2,98	23,0	1,42
75,2	9,54	57,2	5,29	39,2	2,79	21,2	1,31
73,4	9,01	55,4	4,97	37,4	2,61	19,4	1,21
71,6	8,51	53,6	4,67	35,6	2,44	17,6	1,11
69,8	8,03	51,8	4,39	33,8	2,28	15,8	1,02

Exemple :

L'humidité relative d'un certain volume d'air à une température de 30 °C est de 40 % d'humidité relative. La quantité d'eau dans 1 m³ d'air à 30 °C = 30,44 × humidité relative = 30,44 × 0,40 = 12,18 g.

24.3.7.2 Définition du point de rosée

Le point de rosée correspond à la température à laquelle se produit la condensation de l'humidité contenue dans un certain volume d'air.

Exemple :

L'humidité relative d'un certain volume d'air à une température de 30 °C est de 40 % d'humidité relative. La quantité d'eau dans 1 m³ d'air à 30 °C = 30,44 × humidité relative = 30,44 × 0,40 = 12,18 g. Dans le tableau ci-dessus, recherchez la température à laquelle la quantité d'eau dans l'air est la plus proche de 12,18 g. La réponse est +14 °C ce qui correspond à peu près au point de rosée.

24.3.8 Extrait de la note technique 'Evaluation d'un pont thermique et de la continuité d'isolation' (exemple du Royaume-Uni)

24.3.8.1 Auteurs

La présente note technique a été rédigée par un groupe de travail, composé de thermographistes spécialistes et de consultants en recherche, qui ont pu bénéficier de conseils de tiers. Le présent document a ainsi pu recevoir un accueil très favorable de l'ensemble des secteurs industriels.

La reproduction du contenu de la présente note technique a été réalisée avec l'aimable autorisation de UKTA (United Kingdom Thermography Association).

UK Thermography Association
c/o British Institute of Nondestructive Testing
1 Spencer Parade
Northampton NN1 5AA
Royaume-Uni

Tél. : +44 (0)1604 630124
Télécopie : +44 (0)1604 231489

24.3.8.2 *Introduction*

Au cours de ces dernières années, les équipements, les applications, les logiciels et les connaissances liés à la thermographie se sont considérablement développés. La technologie a progressivement été intégrée aux pratiques courantes, ce qui a entraîné des demandes plus importantes dans la constitution de manuels d'application, l'établissement de normes et les besoins de formation.

L'UKTA publie la présente note pour quantifier de manière cohérente les résultats de l'étude « Continuité de l'isolation thermique ». Le présent document doit pouvoir servir de guide de référence pour répondre aux exigences de la réglementation en matière de construction et permettre au thermographe de créer un rapport de validation ou de refus.

24.3.8.3 *Informations préalables*

La thermographie permet de détecter les variations de température en surface à 0,1 K près. Des images graphiques peuvent ensuite illustrer la répartition de la température sur la surface d'un bâtiment.

Les variations des propriétés thermiques des bâtiments, défaut ou absence d'isolation par exemple, entraînent des variations de température de surface des deux côtés de la structure. Ces écarts sont ainsi visibles pour le thermographe. Cependant, d'autres facteurs (sources locales de chaleur, réflexions ou fuite d'air) peuvent être à l'origine de ces variations.

Le jugement d'un professionnel est souvent nécessaire afin de déterminer si la variation de température est due à de réelles défaillances d'isolation ou à d'autres facteurs. Les thermographes sont de plus en plus sollicités. Pourtant, sans soutien adéquat, la définition de niveaux de variations acceptables ou non peut se révéler difficile.

La norme actuelle concernant l'imagerie thermique de bâtiment au Royaume-Uni est BS EN 13187:1999 (BS EN 13187:1999, Thermal Performance of Buildings—Qualitative detection of thermal properties in building envelopes—Infrared method (ISO 6781:1983 modifiée)). Toutefois, le thermographe doit interpréter l'image et la frontière entre

les variations acceptables ou non est plutôt floue. Vous trouverez des conseils sur certaines anomalies thermiques dans les manuels du BINDT à la section Imagerie thermique (Infrared Thermography Handbook; Volume 1, Principles and Practise, Norman Walker, ISBN 0903132338, Volume 2, Applications, A. N. Nowicki, ISBN 090313232X, BINDT, 2005).

24.3.8.3.1 Conditions préalables

Une analyse thermographique visant à démontrer la continuité de l'isolation, les zones de ponts thermiques et la conformité aux réglementations en matière de construction doit comporter les éléments suivants :

- Anomalies thermiques.
- Différencier les anomalies thermiques effectives, où les différences de température sont causées par des défauts d'isolation thermique, de celles causées par différents facteurs (courant d'air localisé, réflexion et émissivité).
- Dénombrer les zones affectées par rapport au nombre de zones isolées.
- Juger si les anomalies et l'isolation thermique générale du bâtiment sont acceptables.

24.3.8.4 Jugement quantitatif des anomalies thermiques

Une analyse thermographique peut montrer des différences de températures apparentes pour les zones contenues dans le champ de vision. Cependant, pour qu'une analyse soit exploitable, toutes les défaillances apparentes doivent être systématiquement détectées. Vous devez les évaluer en fonction d'un ensemble de critères pré-établis et résoudre les anomalies qui ne proviennent pas de défaillances réelles. Évaluez les réelles défaillances et communiquez les résultats au client sous forme de rapport.

24.3.8.4.1 Sélection du paramètre de température critique

La feuille d'informations du BRE (British Research Establishment) IP17/01 (Information Paper IP17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001) aborde la question des températures minimales internes de surface de niveau acceptable, ainsi que les valeurs du facteur de température de surface critique, f_{CRsi} . L'utilisation d'un facteur de température de surface permet d'effectuer des analyses dans n'importe quelle condition thermique et de montrer les zones qui présentent un risque de condensation ou de moisissure dans certaines circonstances.

La température de surface dépend en grande partie des températures intérieures et extérieures au moment de l'analyse, mais un « Facteur de température de surface » (f_{Rsi}) permet de ne pas dépendre des conditions absolues. Ce facteur correspond au rapport de la baisse de température dans le matériau du bâtiment par la baisse totale de la température entre l'air intérieur et extérieur.

Pour des analyses internes : $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$

T_{si} = température de surface interne

T_i = température de l'air interne

T_e = température de l'air externe

Pour f_{CRsi} , 0,75 est la valeur de référence pour les nouveaux bâtiments. En effet, l'utilisation optimale n'entre pas en ligne de compte lors des tests de « continuité d'isolation » ou de « pont thermique ». Toutefois, pour les bâtiments rénovés ou prolongés, des piscines par exemple, les analyses internes peuvent être utiles dans des circonstances exceptionnelles.

24.3.8.4.2 Méthode alternative : utilisation des températures de surface uniquement

De nombreuses raisons portent à croire que les analyses basées uniquement sur les températures de surface, c'est-à-dire sans prendre en compte la température de l'air, peuvent être tout à fait fiables.

- Les différentes couches de matériaux contenues dans un bâtiment rendent difficile la mesure des températures de l'air interne : est-ce la température moyenne de l'air, un niveau faible, un niveau élevé ou la température du niveau de l'anomalie ? A quelle distance d'un mur la mesure doit-elle être effectuée ?
- Les effets des rayonnements, comme ceux du ciel en pleine nuit, rendent difficile l'exploitation de la température de l'air externe. Il est courant que la température de surface extérieure d'un bâtiment soit inférieure à celle de la température de l'air. Ce phénomène est causé par les faibles rayonnements qui peuvent descendre jusqu'à -50 °C (-58 °F). Ces résultats peuvent être constatés à l'oeil nu : il est fréquent de voir de la rosée ou du givre sur les surfaces de bâtiments, même lorsque la température de l'air ne descend pas en dessous du point de rosée.
- Le concept des valeurs U repose sur les « températures environnementales » de chaque côté de la structure. Beaucoup d'analystes ont tendance à négliger cet aspect.
- Les deux températures associées au transfert de chaleur à travers le matériau du bâtiment (et tout autre solide) sont les températures de surface de chaque côté d'un bâtiment.
- Par conséquent, les températures de surface permettent plus facilement d'effectuer plusieurs fois l'analyse.
- Les températures de surface utilisées sont les températures de surface moyennes relevées sur le même type de matériau, à l'intérieur et à l'extérieur, et à proximité de l'anomalie. La température de l'anomalie, ainsi qu'un niveau seuil sont définis en fonction de ces températures avec le facteur de température de surface critique.
- Toutefois, le thermographe doit faire attention aux réflexions d'objets à des températures inhabituelles provenant d'éléments faisant face aux surfaces du bâtiment.

- Le thermographiste doit également comparer les différentes façades extérieures dirigées vers différentes directions pour savoir si une chaleur résiduelle due aux rayonnements solaires pourrait jouer sur les températures des surfaces extérieures.
- Les analyses en extérieur ne doivent pas être effectuées sur une surface dont la valeur du $T_{si} - T_{so}$ est supérieure de plus de 10 % à la valeur du $T_{si} - T_{so}$ du côté nord ou du côté le plus proche du Nord.
- Pour une défaillance entraînant une valeur inférieure à 0,75, valeur de référence du IP17/01, les facteurs de surface critiques seront de 0,78 pour la surface interne et de 0,93 pour la surface externe.

Le tableau ci-dessous répertorie les températures de surface externes et internes au niveau d'une anomalie qui entraînerait une défaillance selon IP17/01. Le tableau rend également compte du niveau de détérioration de l'isolation thermique nécessaire pour causer ce type d'anomalie.

Exemple de revêtement léger mal isolé	Zone bien isolée	Zone mal isolée
Température extérieure en °C	0	0
Température de surface intérieure en °C	19,1	15,0
Température de surface extérieure en °C	0,3	1,5
Facteur de surface selon IP17/01	0,95	0,75
Facteur de température de surface extérieure critique, d'après IP17/01		0,92
Epaisseur du matériau d'isolation à fournir pour atteindre ce résultat, en mm	80	5,1
Valeur U locale W/m ² K	0,35	1,92
Facteur de surface UKTA TN1		0,78
Facteur de surface UKTA TN1 en extérieur		0,93

Remarques à propos du tableau

1 Valeurs des résistances de surface prises à partir de ADL2 2001 :

- Surface interne 0,13 m²K/W
- Surface externe 0,04 m²K/W

Source : BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method).

2 L'isolation thermique utilisée dans ce cas précis possède une conductivité de 0,03 W/m K.

3 La différence de température entre une anomalie et les zones bien isolées est de 1,2 degrés à l'extérieur et de 4,1 degrés à l'intérieur.

- 4 Le facteur de température de surface UKTA TN1 pour les analyses internes est de :

$$F_{si} = (T_{sia} - T_{so}) / (T_{si} - T_{so})$$

où :

T_{sia} = température de surface interne sur une anomalie

T_{so} = température de surface externe (zone bien isolée)

T_{si} = température de surface interne (zone bien isolée)

- 5 Le facteur de température de surface UKTA TN1 pour les analyses externes est de :

$$F_{so} = (T_{soa} - T_{si}) / (T_{so} - T_{si})$$

avec T_{soa} = température de surface externe au niveau de l'anomalie

24.3.8.4.3 Sélection d'une zone maximale de défaillance

La zone maximale de défaillance est une question relevant du contrôle de qualité. On peut avancer qu'aucune zone présentant un fort risque de condensation, de moisissure ou une isolation défaillante ne devrait être tolérée et que toute anomalie de ce type devrait être signalée dans un rapport. Cependant, on tolère généralement une marge de 0,1 % pour les surfaces exposées. Cette valeur correspond à la zone maximale de défaillance acceptée ; elle reste conforme à la réglementation en matière de construction et représente un mètre carré pour mille.

24.3.8.4.4 Mesure d'une température de surface

La mesure d'une température de surface est la fonction même du système d'imagerie infrarouge. Une fois formé, le thermographiste saura reconnaître, argumenter et créer un rapport sur la variation d'émissivité et le pouvoir de réflexion des surfaces étudiées.

24.3.8.4.5 Mesure d'une zone de défaillances

La mesure d'une zone de défaillance peut être effectuée de deux manières : par un comptage des pixels grâce au logiciel d'analyse thermique ou à la plupart des logiciels de feuilles de calculs. Conditions requises :

- la distance entre la caméra et l'objet doit être précisément mesurée à l'aide d'un outil de mesure laser,
- la distance de la cible doit être mesurée en prenant en compte le champ de vision instantané du système d'imagerie,
- la modification de l'angle perpendiculaire entre la caméra et la surface de l'objet doit être justifiée.

Les bâtiments sont constitués de multiples caractéristiques de construction (fenêtres, baies vitrées, luminaires, émetteurs de chaleur, équipement de refroidissement, canalisations et conducteurs électriques), peu propices à la conduite d'une série d'analyses. Toutefois, il est important de considérer les joints et les connexions utilisés pour ces types de construction au cours d'une analyse.

24.3.8.5 Conditions et équipement

Pour conduire la meilleure analyse d'isolation thermique qui soit, il est important de prendre également en compte les conditions ambiantes et d'opter pour la technique thermographique la plus adaptée.

Les anomalies thermiques ne seront détectables qu'aux endroits subissant effectivement des différences de température et où les phénomènes environnementaux sont pris en compte. Voici les conditions minimales pour répondre à ces exigences :

- Les différences de température au sein du bâtiment doivent être supérieures à 10 °C.
- La différence de température entre l'air à l'intérieur et l'air ambiant doit être supérieure à 5 °C durant les dernières vingt-quatre heures précédant l'analyse.
- La température de l'air externe doit être d'environ ± 3 °C le temps de l'analyse, ainsi qu'une heure avant l'analyse.
- La température de l'air externe doit être d'environ ± 10 °C durant les dernières vingt-quatre heures qui précèdent l'analyse.

De plus, les analyses externes doivent être conformes aux critères suivants :

- Les surfaces ne doivent pas être exposées au rayonnement solaire ni aux effets résiduels d'un rayonnement solaire. Pour s'en assurer, le thermographiste doit comparer les températures de surface des côtés opposés d'un bâtiment.
- L'analyse ne doit pas être effectuée lorsqu'il pleut ou lorsqu'il vient de pleuvoir.
- Les surfaces du bâtiment à inspecter doivent être parfaitement sèches.
- La vitesse du vent ne doit pas dépasser 10 mètres par seconde.

La température n'est pas la seule condition à prendre en compte lors de la planification de l'analyse thermographique d'un bâtiment. Par exemple, des inspections externes peuvent être influencées par des émissions et des réflexions de rayonnements provenant de bâtiments adjacents ou d'un ciel sans nuage. La chaleur directe du soleil est un facteur encore plus significatif.

En outre, lorsque les températures d'arrière-plan diffèrent de plus de 5 K par rapport à celles de l'air, qu'elles soient relevées en intérieur ou en extérieur, elles doivent être mesurées sur toutes les surfaces affectées afin de permettre une parfaite exactitude du résultat de la température de surface à mesurer.

24.3.8.6 Analyse

Voici quelques conseils destinés au thermographiste.

L'analyse doit pouvoir rassembler assez d'informations sur les conditions thermiques et démontrer que toutes les surfaces ont été inspectées et s'assurer ainsi que toutes les anomalies thermiques ont fait l'objet d'un rapport et d'une évaluation.

Avant de commencer une analyse thermique, toutes les données environnementales doivent d'abord être collectées :

- Température interne dans la zone de l'anomalie.
- Température externe dans la zone de l'anomalie.
- Emissivité de la surface.
- Température de l'arrière-plan.
- Distance de la surface.

Par interpolation, déterminez la température seuil à utiliser.

- Pour les analyses internes, la température de surface seuil (T_{sia}) est de $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$. Vous devrez alors localiser les zones où la température de surface est inférieure à ce seuil.
- Pour les analyses externes, la température seuil (T_{soa}) est de $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$. Vous devrez alors localiser les zones où la température de surface est supérieure à ce seuil.

Les images des anomalies doivent être exploitables :

- L'image doit respecter la géométrie du mur ou du toit.
- L'angle de vision doit être pratiquement perpendiculaire à la surface photographiée. Les sources d'interférence d'origine infrarouge (lumières, émetteurs de chaleur, conducteurs électriques, éléments réfléchissants) sont ainsi minimisées.

La méthode d'analyse dépend, il est vrai, du logiciel utilisé, mais les étapes principales sont les suivantes :

Obtenir une image de chaque anomalie ou groupe d'anomalies.

- Utiliser un logiciel d'analyse pour insérer la zone d'anomalie dans l'image, en prenant garde de ne pas inclure de détails de construction qui ne concernent pas l'étude.
- Calculer la zone inférieure à la température seuil (pour les analyses internes) ou supérieure à la température seuil (pour les analyses externes). Cette zone constituera la zone de défaillance. Certaines anomalies qui apparaissent lors de l'analyse peuvent ne pas s'afficher à ce stade de l'étude.
- Ajouter les zones de défaillance de toutes les images ΣA_d .
- Calculer la surface totale exposée du bâtiment. Cette surface correspond à tous les murs et au toit. On utilise généralement la surface externe. Pour un bâtiment conventionnel, on calcule cette surface à partir de la largeur, de la longueur et de la hauteur totales.

$$A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$$
- Identifier la zone de défaillance critique A_c . Dans un premier temps, cette valeur est définie à un millième (soit 0,1 %) de la surface totale.

$$A_c = A_t/1000$$

- Si $\sum A_d < A_c$, on considère que l'intégralité du bâtiment possède une isolation « raisonnablement continue ».

24.3.8.7 Rapport

Les rapports doivent certifier une acceptation ou un refus, être conformes aux exigences du client et inclure au minimum les informations requises et édictées par la norme BEN 13187. Les données suivantes sont obligatoires et permettent de réitérer l'analyse en cas de besoin.

- Énoncé de l'objectif et des principes du test.
- Emplacement, orientation, date et heure de l'analyse.
- Référence d'identification unique.
- Nom et qualifications du thermographe.
- Type de construction.
- Conditions météorologiques, vitesse et direction du vent, date de la dernière précipitation, ensoleillement, degré de nébulosité.
- Températures ambiantes à l'intérieur et à l'extérieur avant l'analyse, au début de l'analyse et à chaque capture d'image. La température de l'air, ainsi que la température énergétique doivent également être relevées.
- Signalement de toute modification par rapport aux critères du test.
- Équipement utilisé, date du dernier étalonnage, défaillances connues.
- Nom, affiliation et qualifications de l'opérateur.
- Type, ampleur et situation de chaque défaillance observée.
- Résultats des mesures et recherches complémentaires, le cas échéant.
- Indexation et archivage des rapports par le thermographe.

24.3.8.7.1 Considérations et limites

Le choix d'effectuer des analyses internes ou externes repose sur plusieurs facteurs :

- Rendez-vous sur les lieux. Les bâtiments dont les surfaces internes et externes sont peu exposées (faux plafonds, matériels superposés sur les murs, etc.) peuvent ne pas être adaptés à ce type d'analyse.
- Emplacement de l'isolation thermique. Les analyses donnent généralement de meilleurs résultats sur le côté le plus proche de l'isolation thermique.
- Emplacement de matériels lourds. Les analyses donnent généralement de moins bons résultats sur le côté le plus proche du matériel lourd.
- Objectif de l'analyse. Si l'analyse est effectuée dans le but de montrer des risques de condensation et de moisissure, elle doit être interne.
- Emplacement de verre, métal brut et autres matériels hautement réfléchissants. Les analyses donnent généralement de moins bons résultats sur des surfaces hautement réfléchissantes.

- Les défaillances produisent généralement une différence de température moins importante sur la face extérieure d'un mur, exposé aux courants d'air. En revanche, une isolation défailante ou totalement absente au niveau d'une surface externe sera plus facilement détectable depuis l'extérieur.

24.4 *Clause légale*

24.4.1 **Copyright**

Certaines sections et/ou images qui apparaissent dans ce chapitre sont protégées par des droits d'auteur des sociétés ou entreprises suivantes :

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

24.4.2 **Formation et certification**

Les inspections thermographiques des bâtiments nécessitent une formation et une expérience importantes et éventuellement une certification d'un comité national ou régional de normalisation. Cette section est constituée uniquement une introduction à la thermographie du bâtiment. Nous recommandons fortement à l'utilisateur de suivre les formations appropriées.

Pour obtenir des informations sur une formation à la technique infrarouge, veuillez accéder au site Web suivant :

<http://www.infraredtraining.com>

24.4.3 **Code national ou régional du bâtiment**

Les structures des bâtiments commentées dans ce chapitre peuvent différer d'un pays à l'autre du point de vue de la construction. Pour de plus amples informations sur les détails de construction et les procédures normalisées, consultez toujours les codes de bâtiment nationaux ou régionaux.

25 Introduction à l'inspection thermographique des installations électriques

25.1 *Remarque importante*

Certaines fonctions et fonctionnalités de la caméra décrites dans cette section peuvent ne pas être prises en charge par la configuration de votre caméra.

Les réglementations électriques varient d'un pays à un autre. Pour cette raison, il est possible que les procédures électriques contenues dans cette section ne soient pas applicables à votre pays spécifique. En outre, dans de nombreux pays, la réalisation de vérifications électriques requiert des qualifications particulières. Consultez toujours les réglementations électriques nationales ou locales.

25.2 *Informations générales*

25.2.1 Introduction

La thermographie est aujourd'hui une technique courante permettant d'inspecter les installations électriques. Ce type d'inspection demeure le domaine d'application principal de la thermographie. Les caméras infrarouges ont connu un développement extrêmement rapide et les systèmes thermographiques disponibles en sont aujourd'hui à la 8ème génération. Les débuts de la thermographie datent de 1964. La technique a fait ses preuves dans le monde entier. En effet, aussi bien les pays industrialisés que les pays en voie de développement l'ont adoptée.

La thermographie, associée à l'analyse des vibrations, est devenue en quelques décennies la méthode principale utilisée pour détecter les défauts d'une zone d'activité et prévenir ainsi les accidents potentiels. Ces techniques ont en effet l'avantage de ne pas perturber le processus de production puisque les inspections doivent se dérouler dans les conditions de travail normal pour qu'un résultat correct soit garanti. Trois secteurs principaux ont recourt à la thermographie pour l'inspection de leurs installations électriques :

- La production d'énergie
- Le transport d'énergie
- La distribution d'énergie (c'est-à-dire l'utilisation de l'énergie électrique à des fins industrielles).

Les contrôles devant avoir lieu dans des conditions d'activité normales, les tests interviennent naturellement à des périodes différentes pour chaque secteur. Dans les centrales électriques, les mesures sont prises lorsque la charge est élevée. Ces périodes varient selon les pays et les zones climatiques. Elles dépendent également du type d'usine à inspecter (usines hydroélectriques, nucléaires ou produisant des dérivés de charbon ou d'huile).

Dans l'industrie, les inspections ont lieu au printemps ou à l'automne, notamment dans les pays nordiques soumis à des saisons très marquées, ou avant des arrêts prolongés de l'activité. Les réparations se déroulent donc lorsque l'activité est interrompue. Ces tendances semblent cependant s'estomper, des inspections ayant été menées avec des charges et des conditions d'activité variables.

25.2.2 Généralités sur l'équipement

L'équipement à inspecter est doté d'un comportement thermique particulier que le thermographiste doit connaître avant de réaliser l'inspection. Lorsqu'il s'agit de matériel électrique, le principe physique expliquant pourquoi les anomalies présentent des températures différentes de la normale est parfaitement connu (en général une résistance ou un courant électrique accru).

Il faut cependant garder à l'esprit que, dans certains cas (les solénoïdes par exemple), la 'surchauffe' est normale et n'est pas un signe de défaillance. Il arrive également, comme pour les connexions au sein d'un moteur électrique, que la pièce saine, en prenant toute la charge, finisse par surchauffer.

Pour consulter un exemple similaire, reportez-vous à la section 25.5.7 – Surchauffe d'une pièce résultant de la défaillance d'un autre composant à la page 146.

Les pièces défectueuses de l'équipement électrique peuvent ainsi signaler une surchauffe tout en étant moins chaudes que les composants « sains ». Il est nécessaire de connaître au préalable les défauts susceptibles de se manifester lors de l'inspection en rassemblant autant d'informations que possible sur l'installation.

En règle général, néanmoins, les zones chaudes résultent d'une défaillance. La température et la charge du composant concerné lors de l'inspection donnent des indices sur la gravité actuelle et future du défaut.

Pour une évaluation correcte en toute situation, il est impératif de connaître dans les détails le comportement thermique des composants, c'est-à-dire la température maximum autorisée des matériaux concernés et le rôle du composant dans le système.

Les isolations des câbles, par exemple, perdent leurs propriétés isolantes au-delà d'une certaine température, augmentant ainsi le risque d'incendie.

Avec des disjoncteurs, les pièces exposées à une chaleur trop élevée peuvent fondre et rendre impossible l'ouverture du disjoncteur. Il perd alors toute utilité.

La qualité de l'inspection est directement liée aux connaissances de l'opérateur de la caméra infrarouge quant à l'équipement à analyser. Un thermographiste infrarouge ne peut cependant pas connaître en détails chaque type d'équipement. Une personne responsable de l'équipement assiste donc généralement à l'inspection.

25.2.3 Inspection

La préparation de l'inspection comprend le choix du type de support approprié. Des appareils supplémentaires s'avèrent souvent nécessaires (ex. : ampèremètres) pour mesurer le courant présent dans les circuits présentant des défaillances. Si vous voulez mesurer la vitesse du vent lors de l'inspection d'équipements en extérieur, il vous faudra un anémomètre.

Les fonctions automatiques aident l'opérateur à visualiser une image infrarouge des composants en appliquant le contraste adéquat et en permettant ainsi l'identification d'un défaut ou d'une zone chaude. Il est quasiment impossible de rater une zone chaude sur un composant analysé. En outre, une fonction de mesure permet d'afficher le point le plus chaud ou la différence entre les températures maximum et minimum d'une zone définie de l'image, ainsi qu'une température de référence choisie par l'opérateur (la température ambiante par exemple).

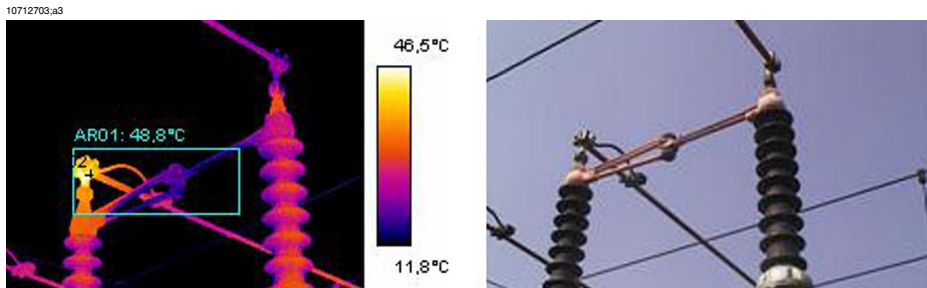


Figure 25.1 Image infrarouge et image normale d'un isolateur de ligne électrique

Lorsque le défaut est clairement identifié et que le thermographiste infrarouge s'est assuré qu'il ne s'agit pas d'une réflexion ou d'une zone chaude normale, la collecte de données commence afin d'effectuer un rapport sur le défaut. En plus de la température mesurée, l'émissivité, l'identification du composant et les conditions de travail sont prises en compte dans le rapport. Pour faciliter l'identification du composant, on prend souvent une photo de la zone présentant une défaillance.

25.2.4 Classification et rapport

Sur l'ensemble de l'analyse infrarouge, la rédaction du rapport est généralement la phase la plus longue. En effet, une inspection réalisée en une journée se traduit souvent par un ou deux jours de travail pour relater et classer les défaillances trouvées.

C'est toujours le cas pour les thermographistes qui n'ont pas mis à profit les progrès qu'ont apportés l'informatique et les logiciels de rapport aux contrôles d'environnement par infrarouge.

La classification des défaillances permet une interprétation plus détaillée, non seulement en prenant en compte la situation au moment de l'inspection (certes essentielle), mais également en offrant la possibilité de normaliser la température posant problème selon les conditions de charge de référence et de température ambiante.

Une surtempérature de +30 °C représente une anomalie importante. Cependant, si deux composants présentent cette surtempérature, l'un doté d'une charge de 100 % l'autre d'une charge de 50 %, il devient alors évident que le second atteindra une température encore plus élevée si sa charge passe de 50 % à 100 %. Ce type de référence dépend des conditions présentes sur le site concerné. En général, les températures sont cependant calculées pour des charges de 100 %. Etablir une référence permet de comparer plus facilement les défauts dans le temps et d'élaborer ainsi une classification plus complète.

25.2.5 Priorité

En se basant sur la classification des défaillances, le responsable de l'entretien attribue ensuite une priorité de réparation aux anomalies relevées. Aux informations rassemblées pendant l'analyse infrarouge viennent s'ajouter des informations complémentaires sur l'équipement, obtenues par d'autres biais (contrôle des vibrations, ultrasons ou maintenance préventive par exemple).

Si l'inspection par infrarouge tend à se généraliser en terme de collecte d'informations sur les composants électriques (rappelons que ces analyses s'effectuent en toute sécurité alors que les installations fonctionnent normalement), il existe néanmoins d'autres sources d'informations dont les responsables entretien ou production doivent tenir compte.

Déterminer le degré de priorité de la réparation n'incombe donc pas à l'opérateur de la caméra infrarouge. Si une situation critique est détectée au cours de l'inspection ou de la classification des défaillances, le responsable entretien doit bien entendu en être averti. Il doit ensuite évaluer l'urgence de la réparation.

25.2.6 Réparation

La fonction principale de la maintenance préventive consiste à réparer les défaillances connus. Mais pour l'équipe chargée de la maintenance, assurer la production dans les temps et au coût approprié représentent également des objectifs importants. Les informations obtenues grâce à l'analyse infrarouge peuvent contribuer à améliorer l'efficacité de la réparation et à atteindre les autres objectifs avec un risque calculé.

Mesurer la température d'une zone présentant une défaillance mais ne pouvant pas être réparée immédiatement (par exemple parce que des pièces détachées ne sont pas disponibles) compense parfois au centuple le coût d'une inspection et parfois même celui de la caméra. Les informations issues d'une analyse infrarouge peuvent également permettre de décider de ne pas réparer des défaillances connues afin d'économiser des coûts d'entretien et d'éviter des périodes d'inactivité inutiles.

Toutefois, lorsqu'un défaut est identifié et classifié, la recommandation la plus courante consiste à le réparer immédiatement ou aussi vite que possible. L'équipe de réparation doit impérativement connaître les principes physiques permettant d'identifier les défaillances. Lorsqu'une zone défaillante présente une température élevée et se trouve dans une situation critique, le personnel chargé de la réparation s'attend souvent à trouver un composant présentant un état de rouille avancé. Or, cette équipe ne devrait pas être surprise qu'une connexion, habituellement saine, puisse présenter, en se desserrant, les même températures élevées qu'une connexion rouillée. De telles erreurs d'appréciation sont assez courantes et risquent de faire douter de la fiabilité de l'analyse infrarouge.

25.2.7 Contrôle

Les composants réparés doivent rapidement faire l'objet d'un contrôle après la réparation. Il ne faut pas attendre la prochaine analyse infrarouge prévue pour la combiner à l'inspection de contrôle des défaillances réparées. Les statistiques disponibles sur les suites des réparations indiquent que jusqu'à un tiers des défaillances réparées présente toujours une surtempérature. Autant dire qu'elles demeurent potentiellement dangereuses.

Attendre la prochaine analyse infrarouge prévue constitue donc un risque inutile pour le site de production.

En plus d'accroître l'efficacité du cycle d'entretien (mesurée en terme de réduction des risques sur le site), le contrôle immédiat des réparations présente d'autres avantages quant à la performance de l'équipe de réparation.

Lorsqu'une zone défectueuse présente toujours une surtempérature après la réparation, le fait d'en déterminer la cause permet d'améliorer le processus de réparation, de choisir les meilleurs fournisseurs et de détecter les défauts de conception de l'installation électrique. L'équipe constate rapidement les résultats de son travail et tire des enseignements aussi bien des réparations réussies que des erreurs commises.

Il est d'autant plus intéressant de doter l'équipe de réparation d'une caméra infrarouge, que la plupart des défaillances détectées au cours des analyses infrarouges présentent une faible gravité. Elles permettent donc de décider de garder ces défaillances

sous surveillance au lieu de les réparer et de perdre du temps prévu pour l'entretien et la production. Voilà pourquoi le personnel d'entretien doit disposer de son propre équipement infrarouge.

On note généralement sur le rapport le type de défaillance observé lors de réparation ainsi que l'action de correction entreprise. Ces observations constituent une source empirique importante qui peut permettre de réduire le stock, de choisir les meilleurs fournisseurs ou de former de nouveaux employés.

25.3 *Technique de mesure pour l'inspection thermographique des installations électriques*

25.3.1 Configuration correcte de l'équipement

Une image thermique peut révéler des variations de température importantes :

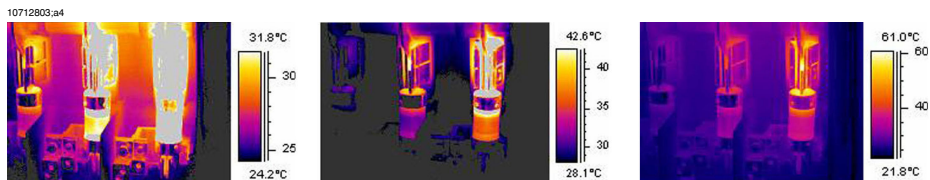


Figure 25.2 Variations de température dans une boîte à fusibles

Dans les images ci-dessus, le fusible de droite atteint une température maximale de 61 °C, celui de gauche de 32 °C et celui du milieu atteint une température maximum comprise entre 32 °C et 61 °C. Ces trois images sont différentes dans la mesure où l'échelle de température ne met en évidence qu'un seul fusible sur chaque image. Il s'agit pourtant toujours de la même image donnant toutes les informations sur les trois fusibles. C'est simplement une question de configuration des valeurs de l'échelle de température.

25.3.2 Mesure de la température

Certaines caméras peuvent trouver automatiquement la température la plus élevée de l'image. L'image ci-dessous montre l'affichage que voit l'opérateur.

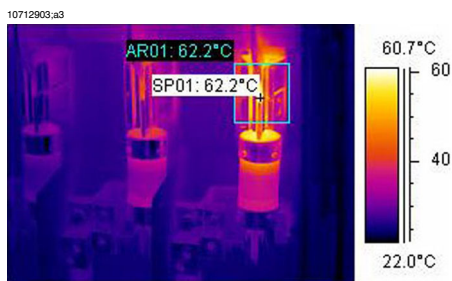


Figure 25.3 Image infrarouge d'une boîte à fusibles sur laquelle est affichée la température maximum

La température maximum atteint +62,2 °C. Le repère indique l'emplacement exact de la zone chaude. L'image peut facilement être stockée dans la mémoire de la caméra.

Mais la mesure correcte de la température ne dépend pas uniquement du logiciel ou de la caméra. Il arrive que la défaillance se trouve au niveau d'une connexion, par exemple, inaccessible à la caméra dans sa position actuelle. Vous pouvez être amené à mesurer une chaleur qui a parcouru une certaine distance, tandis que la « véritable » zone chaude est dissimulée. L'image ci-dessous illustre ce cas de figure.

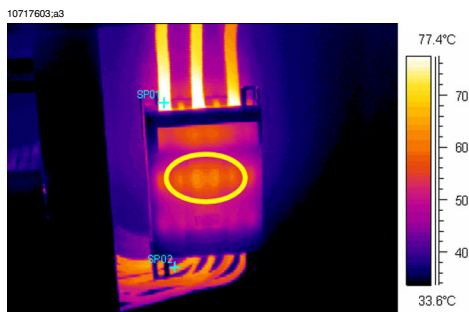


Figure 25.4 Zone chaude dissimulée dans un boîtier

Essayez de filmer sous différents angles et assurez-vous que la zone chaude est bien visible, c'est-à-dire qu'aucun obstacle ne cache le point le plus chaud. Dans cette image, le point le plus chaud accessible à « l'oeil » de la caméra atteint +83 °C tandis que la température d'exploitation des câbles situés en dessous du boîtier est de +60 °C. Cependant, la véritable zone chaude se trouve probablement à l'intérieur du boîtier, au niveau du cercle jaune. Cette défaillance est indiquée comme présentant une température dépassant de plus de 23 °C la température normale, mais en réalité la zone chaude atteint probablement une température beaucoup plus élevée.

La température d'un objet peut également être sous-estimée à cause d'une mauvaise mise au point. La zone chaude détectée doit impérativement être filmée avec une bonne mise au point. Voir exemple ci-dessous.

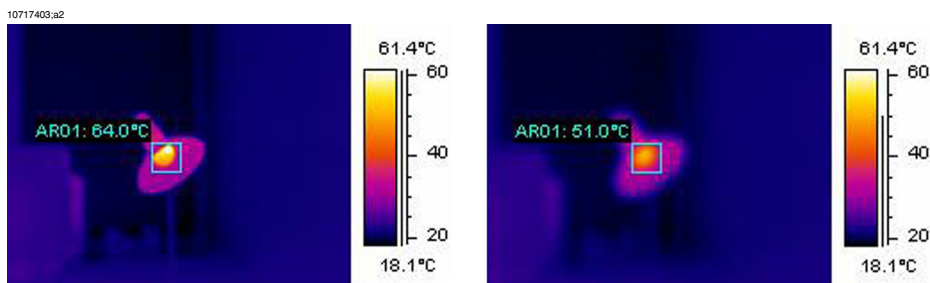


Figure 25.5 A GAUCHE : Une bonne mise au point de la zone chaude ; **A DROITE** : Une mauvaise mise au point de la zone chaude

L'image de gauche présente une bonne mise au point de la lampe. Sa température moyenne atteint $+64\text{ }^{\circ}\text{C}$. L'image de droite présente une mauvaise mise au point de la lampe. La température moyenne indiquée n'est plus que de $+51\text{ }^{\circ}\text{C}$.

25.3.3 Mesure comparative

Une méthode particulière, reposant sur la comparaison de différents objets (la *mesure par comparaison*), est également employée pour l'inspection thermographique des installations électriques. Cette méthode consiste tout simplement à comparer les trois phases entre elles. Les trois phases doivent être analysées en parallèle afin de déterminer si un point diffère du modèle normal de températures.

Un modèle normal de température signifie que la température de service des composants conducteurs actuels apparaît dans une certaine couleur (ou en gris) à l'écran, généralement identique pour les trois phases avec des charges symétriques. Des variations mineures de couleur peuvent se manifester sur l'itinéraire du courant, par exemple à la jonction entre deux matériaux différents, à proximité des conducteurs ou au niveau des disjoncteurs du circuit, là où le circuit est sous boîtier.

L'image ci-dessous comporte trois fusibles présentant des températures très proches les unes des autres. L'isotherme inséré indique une différence de température de $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre les phases.

On obtient généralement des couleurs différentes quand les phases ont une charge asymétrique. Ces différences ne correspondent pas à une surchauffe étant donné qu'elles ne se manifestent pas localement mais sur l'ensemble de la phase.

10713203.a3

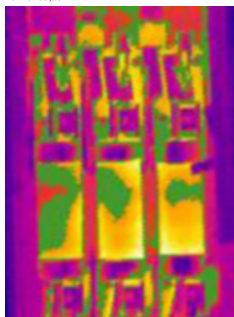


Figure 25.6 Isotherme sur l'image infrarouge d'une boîte à fusibles

En revanche, une « véritable » zone chaude indique une température croissante quand on s'approche de la source de chaleur. Reportez-vous à l'image ci-dessous. La ligne indique une croissance continue de la température, qui atteint $+93\text{ }^{\circ}\text{C}$ au point le plus chaud.

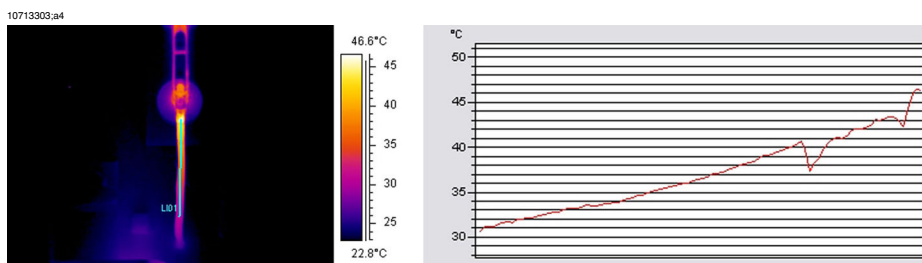


Figure 25.7 Ligne sur une image infrarouge et graphique montrant l'augmentation de la température

25.3.4 Température d'exploitation normale

La mesure de la température par thermographie donne généralement la température absolue de l'objet. Pour évaluer si le composant est trop chaud, il faut connaître sa température d'exploitation, c'est-à-dire sa température normale en tenant compte de la charge et de la température de son environnement.

Etant donné que la mesure directe indique la température absolue devant également être prise en compte (la température de la plupart des composants à une limite supérieure), il est nécessaire de calculer la température d'exploitation escomptée en fonction de la charge et de la température ambiante. Définitions :

- Température d'exploitation : température absolue du composant. Elle dépend de la charge actuelle et de la température ambiante. Elle est toujours supérieure à la température ambiante.
- Température excessive (surchauffe) : différence de température entre un composant fonctionnant correctement et un composant défectueux.

La température excessive correspond à la différence entre la température d'un composant « normal » et celle de son voisin. Il est important de comparer les mêmes points des différentes phases.

Voir à titre d'exemple l'image suivante d'une installation intérieure :



Figure 25.8 Image infrarouge d'une installation électrique intérieure (1).

Les deux phases de gauche sont considérées comme normales, tandis que celle de droite indique clairement une température excessive. La température d'exploitation de la phase de gauche est de +68 °C, soit une température déjà élevée, tandis que la phase défectueuse affiche une température de +86 °C. On constate donc une température excessive de +18 °C, une défaillance à réparer rapidement.

Pour des raisons pratiques, la température d'exploitation (normale, escomptée) d'un composant correspond à la température des composants d'au moins deux des trois phases, dans la mesure où vous estimez qu'elles fonctionnent normalement. Dans la plupart des cas, les trois phases présentent la même température ou des températures très proches. La température d'exploitation des composants situés à l'extérieur (postes électriques ou lignes électriques) dépasse rarement de plus de 1 °C ou 2 °C la température de l'air. Les températures d'exploitation des postes électriques situés en intérieur varient bien plus.

L'image du bas indique clairement cette variation. Dans ce cas, c'est la phase de gauche qui présente une température excessive. La température d'exploitation obtenue à partir des deux phases 'froides' est de 66 °C. La phase défectueuse présente une température de 127 °C dont il faut s'occuper très rapidement.

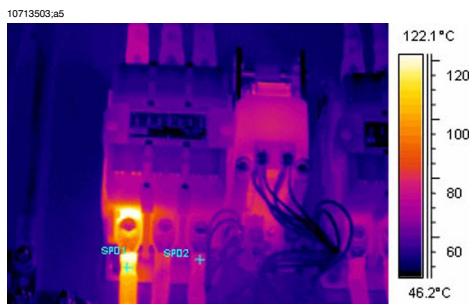


Figure 25.9 Image infrarouge d'une installation électrique intérieure (2)

25.3.5 Classification des défaillances

Lorsqu'une connexion défectueuse est détectée, des mesures de correction peuvent s'avérer nécessaires (pas systématiquement). Les points suivants doivent être étudiés pour déterminer l'action la plus appropriée :

- Charge lors de la mesure
- Charge stable ou variable
- Emplacement de la pièce défectueuse dans l'installation électrique
- Charge future attendue
- La température excessive est-elle mesurée directement au niveau du point défectueux ou indirectement, par le biais de la chaleur propagée par une défaillance à l'intérieur de l'appareil ?

On divise généralement en trois catégories (100 % de la charge maximum) les températures excessives mesurées sur la pièce défectueuse.

I	< 5 °C	Prémices de la surchauffe. A surveiller avec attention.
II	de 5 à 30 °C	Surchauffe évidente. A réparer dans les plus brefs délais (tenez compte de la situation de charge avant de prendre une décision).
III	>30 °C	Surchauffe grave. A réparer immédiatement (tenez compte de la situation de charge avant de prendre une décision).

25.4 *Rapport*


A l'heure actuelle, les inspections par thermographie d'installations électriques sont pratiquement toutes documentées et rapportées à l'aide d'un programme de rapport. Ces logiciels, qui varient d'un fabricant à l'autre, sont généralement directement adaptés aux caméras et permettent ainsi de réaliser facilement et rapidement des rapports.

La page de rapport ci-dessous a été créée à l'aide du programme FLIR Reporter. Il est adapté à plusieurs types de caméras infrarouges FLIR Systems.

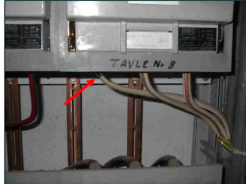
Les rapports professionnels se divisent souvent en deux sections :

- Les premières pages rapportant certains faits sur l'inspection, tels que :
 - L'identité du client (par exemple, le nom de l'entreprise cliente et le contact)
 - Le lieu de l'inspection : adresse du site, ville, etc.
 - La date de l'inspection
 - La date du rapport
 - Le nom du thermographiste
 - La signature du thermographiste
 - Sommaire ou table des matières
- Pages sur l'inspection comportant les images infrarouges permettant d'illustrer et d'analyser les propriétés ou les anomalies thermiques.
 - Identification de l'objet inspecté :
 - Nature de l'objet : désignation, nom, numéro, etc.
 - Photo
 - Image infrarouge. Certains détails doivent être pris en compte lors de la prise d'images infrarouge :
 - Mise au point optique
 - Ajustement thermique de la scène ou du problème (niveau et intervalle)
 - Composition : distance d'observation adéquate et champ de visée.
 - Commentaire
 - Y a-t-il une anomalie ou non ?
 - Y a-t-il réflexion ou non ?
 - Utilisez un outil de mesure (point, zone ou isotherme) pour quantifier le problème. Utilisez l'outil le plus simple. Dans la plupart des cas, un graphique du profil n'est pas nécessaire dans les rapports sur l'électricité.

10713603.a3

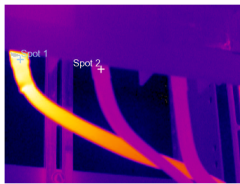
	THERMOGRAPHY INSPECTION for FLIR Systems AB	Date: 2005-10-10 Sign: _____ Contract. : 1708
---	---	---

Photograph



Place	Building 1
Localization	Right panel, group 2
Equipment	Fuse
Model / type	BBC LHBN 250
Phase / ID	Supply for Panel 8
Room temperature °C	15
Status Over heated	

Thermogram



Temp. Spot 1	34 °C
Temp. Spot 2	17 °C
TEMPERATURE DIFF 17 °C	
Phase	L1 L2 L3
Load (A)	45 47 47
Rated load	250
Fault class	2

Comment

Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead.
 Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.

Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C.
 $[T50 = (T1 - T2) * (125/45)^{1.6} + T2]$

Corrected

Measure taken: _____	Date: _____
Sign: _____	Sign.: _____

Side 1

Figure 25.10 Exemple de rapport

25.5 Types de zones chaudes d'installations électriques

25.5.1 Réflexions

La caméra thermographique perçoit tous les rayonnements qui pénètrent l'objectif, non seulement ceux provenant de l'objet que vous observez, mais également les rayonnements qui émanent d'autres sources et qui sont réfléchis par la cible. En règle générale, et bien qu'invisibles à l'oeil nu, les composants électriques se comportent comme des miroirs vis-à-vis du rayonnement infrarouges. Les pièces en métal sont très brillantes, à l'inverse des pièces peintes ou isolées au plastique ou au caoutchouc, qui le sont très rarement. L'image ci-dessous montre clairement une réflexion du thermographiste. Il ne s'agit en aucun cas d'une zone chaude au niveau de l'objet. Le meilleur moyen pour déterminer s'il s'agit d'une réflexion ou non consiste à se déplacer. Regardez la cible depuis un autre angle et observez la « zone chaude ». Si elle se déplace en même temps que vous, il s'agit d'une réflexion.

Mesure de la température des zones de réflexion est impossible. L'objet des images ci-dessous comprend des zones peintes adaptées à la mesure de température. Il s'agit d'un objet en cuivre, un très bon conducteur de chaleur. Cela signifie que la variation de température à la surface est peu importante.

10717503.a2

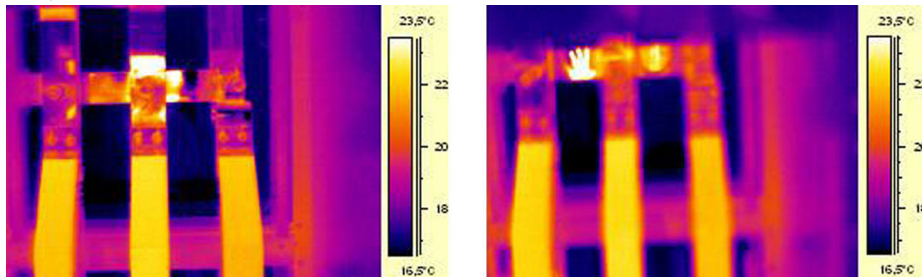


Figure 25.11 Réflexions sur un objet

25.5.2 Chaleur solaire

Un jour d'été particulièrement chaud, la surface d'un composant doté d'une émissivité élevée, par exemple un disjoncteur, peut atteindre des températures considérables du simple fait du rayonnement solaire. L'image présente un disjoncteur qui a chauffé au soleil.

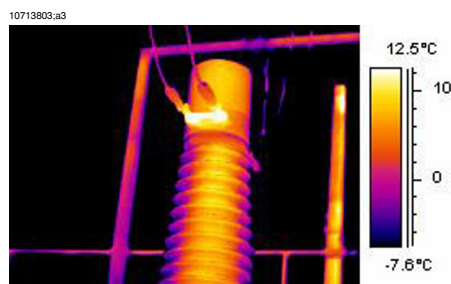


Figure 25.12 Image infrarouge d'un disjoncteur

25.5.3 Chaleur inductive

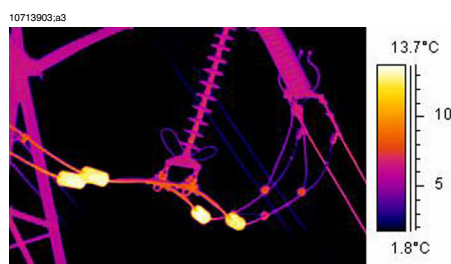


Figure 25.13 Image infrarouge de poids stabilisateurs chauds

Le courant de Foucault peut générer une zone chaude dans le circuit. Avec des courants de haute intensité et la présence d'autres métaux à proximité, ce type d'incident a déjà causé de graves incendies. De telles hausses de la chaleur touchent les matériaux magnétiques situés autour du circuit, tels que les bases métalliques des isolateurs de traversée. L'image ci-dessus présente des poids stabilisateurs traversés par un courant de haute intensité. Ces poids en métal, fabriqués à partir d'un matériau légèrement magnétique, ne conduisent pas le courant mais sont exposés à des champs magnétiques alternatifs susceptibles de les faire chauffer. La surchauffe qui apparaît à l'image est inférieure à +5 °C. Elle peut cependant être bien plus importante.

25.5.4 Variations de charge

Les appareils électriques sont généralement dotés de systèmes triphasés. Lorsque vous recherchez les emplacements victimes de surchauffes, il est facile de comparer directement les trois phases entre elles, par exemple câbles, disjoncteurs et isolateurs. Une charge stable par phase doit engendrer un modèle de température uniforme pour les trois phases. On peut soupçonner la présence d'une défaillance lorsqu'une phase présente une température très différente de celles des deux autres. Assurez-vous toujours que la charge est uniformément répartie. Pour cela, vous pouvez utiliser un ampèremètre fixe ou une pince ampèremétrique (jusqu'à 600 A).

10714003.a3

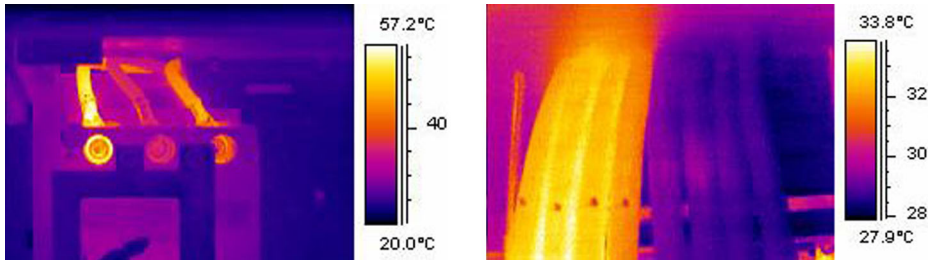


Figure 25.14 Exemples d'images infrarouges de variations de charge

L'image de gauche est composée de trois câbles les uns à côté des autres. Ils sont si éloignés qu'ils peuvent être considérés comme isolés les uns des autres. Le câble du milieu est moins chaud que les autres. A moins que deux phases ne soient défectueuses, il s'agit là d'un exemple typique de charge asymétrique. La température est répartie uniformément le long des câbles, ce qui indique que la hausse de la température est davantage liée à la charge qu'à une connexion défectueuse.

L'image de droite est composée de deux faisceaux présentant des charges très différentes. Le faisceau de droite supporte une charge infime. Le faisceau supportant une charge considérable fait presque 4 °C de plus que son voisin. Ces exemples ne présentent aucune défaillance.

25.5.5 Conditions variables de refroidissement

10714103.a3

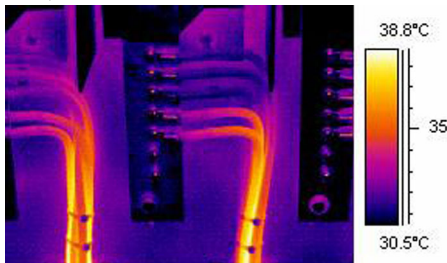


Figure 25.15 Image infrarouge de câbles en faisceau

Lorsque des câbles sont rassemblés en faisceau, les câbles situés au centre refroidissent mal et peuvent atteindre des températures très importantes. Voir images ci-dessus.

Aucune surchauffe n'affecte les câbles situés sur la droite de l'image, au niveau des fixations. En revanche, au niveau de la partie verticale du faisceau, les câbles sont maintenus fermement ensemble et refroidissent donc mal. La convection ne permet pas de dissiper la chaleur et les câbles sont soumis à une chaleur beaucoup plus importante : environ 5 °C de plus que la partie des câbles la mieux refroidie.

25.5.6 Variations de la résistance

Les surchauffes ont des causes multiples. Les plus courantes sont présentées ci-dessous.

Une pression faible peut être induite par diverses causes. Elle peut se manifester lors de la mise en place du joint, en raison de l'usure de l'équipement (diminuant la tension du ressort), de l'usure des fils au niveau des écrous et des boulons ou même de l'application d'une trop grande force au moment de la mise en place. En étant soumis à des températures et des charges toujours plus importantes, les matériaux atteignent leur limite d'élasticité. Une fois ce point dépassé, la tension s'affaiblit.

L'image de gauche, ci-dessous, montre un mauvais contact dû à une fixation desserrée. Ce mauvais contact étant très localisé, seule une zone limitée subit une surchauffe, à partir de laquelle la chaleur se diffuse régulièrement le long du câble. Notez la faible émissivité de la vis qui paraît légèrement moins chaude que l'isolation du câble dotée d'une forte émissivité.

L'image de droite présente une autre situation de surchauffe, également due à une connexion desserrée. Il s'agit d'une connexion en extérieur. Elle est donc exposée aux effets refroidissants du vent et la surchauffe aurait probablement atteint une température plus élevée si le dispositif s'était trouvé dans un bâtiment.

10714203.a3

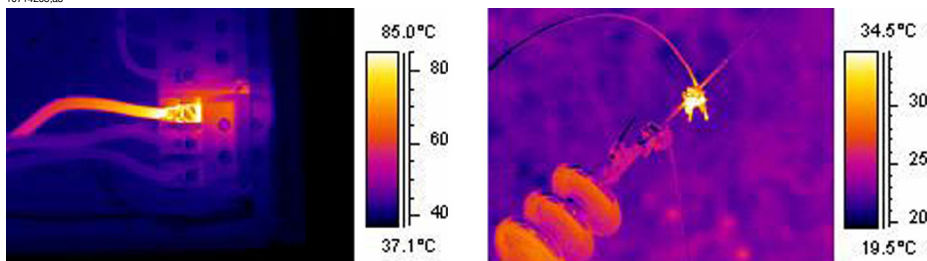


Figure 25.16 A GAUCHE : Image infrarouge montrant un mauvais contact dû à une fixation desserrée ; **A DROITE :** Connexion extérieure desserrée, exposée à l'effet refroidissant du vent.

25.5.7 Surchauffe d'une pièce résultant de la défaillance d'un autre composant

Une pièce peut parfois subir une surchauffe alors que son état est normal. En effet, deux conducteurs peuvent partager la charge. L'un des conducteurs a une résistance accrue, tandis que l'autre est normal. Le composant défaillant transporte donc une charge moindre et l'autre doit supporter une charge plus importante, potentiellement excessive, qui est responsable de l'augmentation de la température. Voir l'image.

10714303.a3

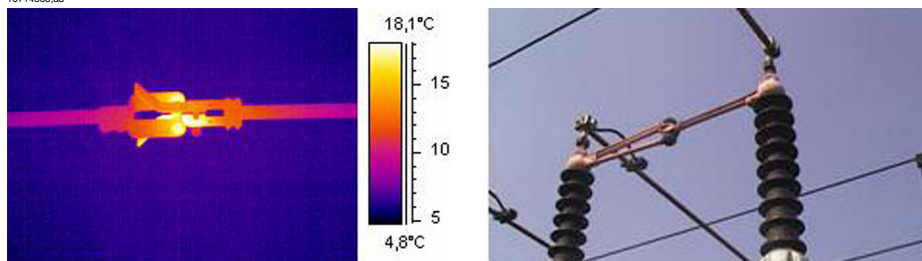


Figure 25.17 Surchauffe d'un disjoncteur

La surchauffe de ce disjoncteur est probablement due à un mauvais contact de la patte la plus proche du contacteur. La patte éloignée supporte plus de courant et chauffe. Il ne s'agit pas du même composant sur les deux images (ils sont cependant similaires).

25.6 *Facteurs parasites lors de l'inspection thermographique d'installations électriques*

Dans le cadre de l'inspection par thermographie de divers types d'installations électriques, les résultats de l'analyse sont souvent influencés par des facteurs parasites tels que le vent, la distance de l'objet, la pluie ou la neige.

25.6.1 **Vent**

Lors d'inspections en extérieur, l'effet refroidissant du vent doit être pris en compte. Une surchauffe mesurée alors que la vitesse du vent est de 5 m/s (10 nœuds) sera environ deux fois plus importante si la vitesse du vent est de 1 m/s (2 nœuds). Une température excessive mesurée alors que la vitesse du vent est de 8 m/s (16 nœuds) sera environ deux fois et demies plus importante si la vitesse du vent est de 1 m/s (2 nœuds). Ce coefficient de correction, basé sur des mesures empiriques, n'est généralement applicable que jusqu'à 8 m/s (16 nœuds).

Il est cependant parfois nécessaire de procéder à des inspections même si le vent est supérieur à 8 m/s (16 nœuds). La planète regorge d'endroits exposés au vent (îles, montagnes, etc.). Mais il est important de savoir que les composants victimes d'une surchauffe indiqueraient une température largement supérieure si le vent soufflait moins fort. Il est possible d'établir une liste de ce coefficient de correction empirique.

Vitesse du vent (m/s)	Vitesse du vent (nœuds)	Coefficient de correction
1	2	1
2	4	1,36
3	6	1,64
4	8	1,86
5	10	2,06
6	12	2,23
7	14	2,40
8	16	2,54

La surchauffe multipliée par le coefficient de correction donne la température excessive en l'absence de vent, c'est à dire à 1 m/s (2 nœuds).

25.6.2 Pluie et neige

La pluie et la neige exercent également un effet refroidissant sur les équipements électriques. Les mesures par thermographie fournissent néanmoins des résultats satisfaisants dans le cas de chutes de neige légères (neige sèche) ou de bruine. En revanche, dans le cas de chutes de neige ou de pluie importantes, la qualité de l'image est détériorée et des mesures fiables ne sont plus possibles. En effet, le rayonnement infrarouge ne peut pas atteindre sa cible en cas de chutes de neige ou de pluie importantes. On mesurera alors davantage la température des flocons ou des gouttes de pluie que celle de l'élément visé.

25.6.3 Distance de l'objet

Cette image a été prise depuis un hélicoptère, à une distance de 20 mètres de la connexion défaillante. Par erreur, la distance a été configurée sur 1 mètre et la température mesurée est de 37,9 °C. L'image de droite indique la valeur mesurée après que la distance a été définie sur 20 mètres. La température corrigée est de 38,8 °C. Si la différence n'est pas très importante, elle peut néanmoins faire varier la classe de gravité de la défaillance. Le paramètre de distance ne doit en aucun cas être négligé.

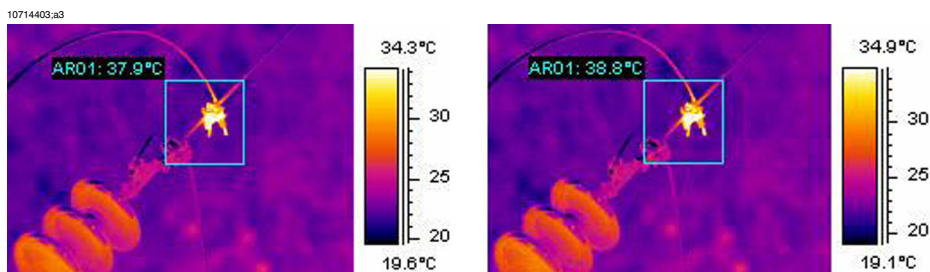


Figure 25.18 A GAUCHE : Paramètre de distance incorrect ; **A DROITE :** Paramètre de distance correct

Les images ci-dessous montrent les relevés de température d'un corps noir à +85 °C, à différentes distances.

10714503.a3

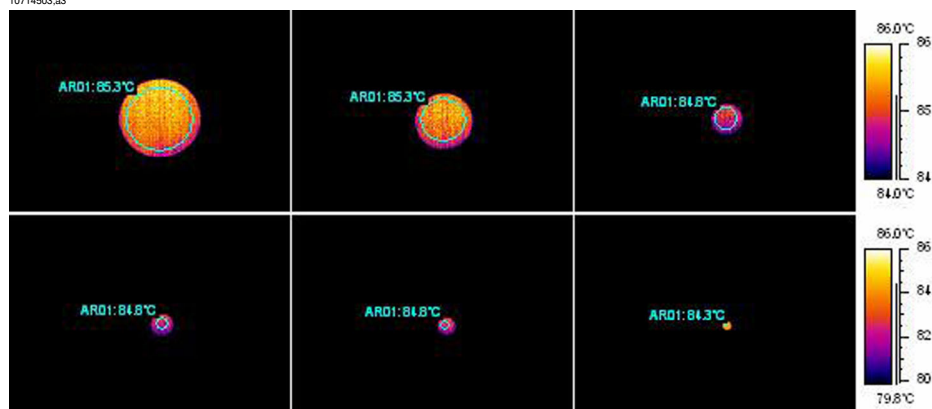


Figure 25.19 Relevés de température d'un corps noir à +85 °C, à différentes distances.

Les températures moyennes mesurées sont de gauche à droite, +85,3 °C, +84,8 °C, +84,8 °C, +84,8 °C et +84,3 °C, pour un corps noir à +85 °C. Les thermogrammes sont pris avec un objectif de 12 mm. Les distances sont respectivement de 1, 2, 3, 4, 5 et 10 mètres. La correction de la distance a été correctement définie et donne de bons résultats parce que l'objet est de taille suffisante.

25.6.4 Taille de l'objet

La seconde série d'image ci-dessous, montre le même processus, mais avec un objectif normal de 24 mm. Les températures moyennes mesurées du corps noir de 85 °C correspondent à : +84,2 °C, +83,7 °C, +83,3 °C, +83,3 °C, +83,4 °C et +78,4 °C.

La dernière valeur (+78,4 °C) correspond à la température maximum, car il n'était plus possible de placer un cercle dans l'image du corps noir, désormais réduite au maximum. Il n'est pas possible de mesurer des valeurs correctes quand l'objet est trop petit. La distance a bien été définie à 10 mètres.

10714603.a3

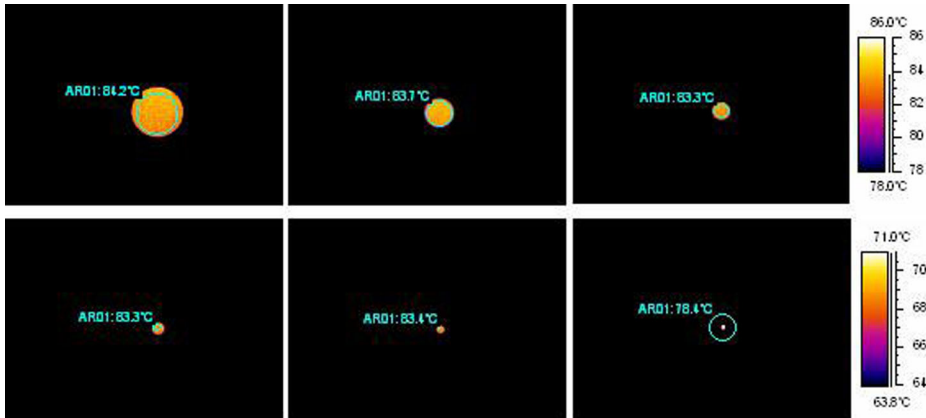


Figure 25.20 Relevés de température d'un corps noir à +85 °C, à une distance croissante (objectif de 24 mm).

Pour obtenir une mesure correcte de la température, l'objet ne doit pas être inférieur à la taille minimum spécifiée. Toutes les caméras FLIR Systems indiquent cette taille minimum à l'intention de l'utilisateur. Ci-dessous, l'illustration de ce que vous verrez dans le viseur de la caméra 695. Le repère comporte une ouverture en son milieu (détails sur l'image de droite). La taille de l'objet doit être supérieure à cette ouverture, sans quoi le rayonnement émis par les objets avoisinants (qui sont bien plus froids) seront pris en compte lors de la mesure et réduiront la température relevée. Dans le cas présenté ci-dessus, l'objet a une forme de point et est bien plus chaud que son environnement. Le relevé de température sera trop bas.

10714703.a3

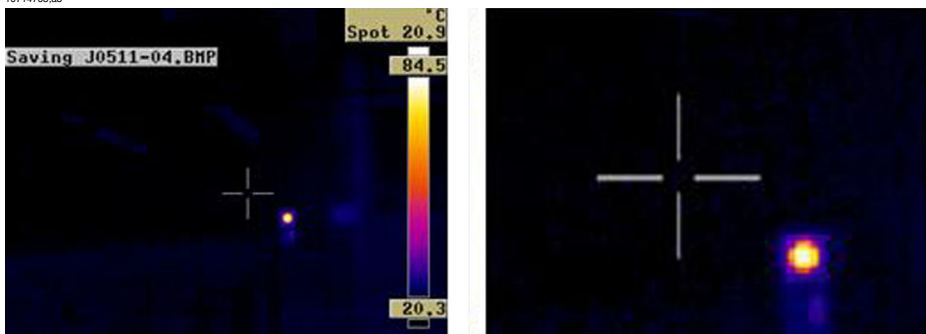


Figure 25.21 Image du viseur d'une ThermoCAM 695

Ce résultat est dû à des imperfections optiques et à la taille des éléments du détecteur. C'est un inconvénient que présentent toutes les caméras infrarouges et qui ne peut être évité.

25.7 *Conseils pratiques*

En utilisant votre caméra, vous découvrirez des détails qui faciliteront votre travail. En voici cinq pour commencer.

25.7.1 **Chaud et froid**

Vous avez utilisé la caméra en extérieur par +5 °C. Vous devez maintenant poursuivre l'inspection à l'intérieur. Si vous portez des lunettes, vous avez l'habitude d'en essuyer la condensation lorsque vous passez d'un endroit froid à un endroit chaud. C'est exactement la même chose pour la caméra. Pour une mesure correcte, vous devez attendre que la caméra se réchauffe suffisamment pour que la condensation s'évapore. Cela permet également au système interne de compensation de la température de s'adapter aux nouvelles conditions de travail.

25.7.2 **Averses**

S'il commence à pleuvoir, ne procédez pas à l'inspection. L'eau modifie largement la température de surface de l'objet que vous analysez. Cependant, on est parfois contraint d'utiliser la caméra malgré les averses ou les projections d'eau. Dans ce cas, protégez votre caméra à l'aide d'un simple sac polyéthylène transparent. Vous pouvez corriger l'atténuation que provoque le sac en plastique en ajustant la distance de l'objet jusqu'à ce que le relevé de température soit identique à celui obtenu sans le sac. Certains modèles de caméra sont dotés d'une **Transmission optique externe**.

25.7.3 **Emissivité**

Vous devez déterminer l'émissivité du matériau que vous mesurez. Vous ne trouverez pas les valeurs correspondantes sous forme de tableau. Utilisez de la peinture noire optique, de la Nextel Black Velvet. Recouvrez en une petite partie du matériau qui vous intéresse. L'émissivité de la peinture optique est normalement de 0,94. Rappelez-vous que la température de l'objet doit être différente (en générale supérieure) de la température ambiante. Plus cette différence est importante, plus l'émissivité pourra être calculée avec précision. Elle doit être d'au moins 20 °C. Il existe d'autres peintures qui supportent des températures très élevées (jusqu'à 800 °C). Cependant, leur émissivité est susceptible d'être inférieure à celle de la peinture noire optique.

Il n'est pas toujours possible de peindre l'objet à mesurer. Dans ce cas, vous pouvez utiliser du ruban adhésif. Un morceau de ruban adhésif fin dont vous avez déterminé l'émissivité au préalable fonctionne en général très bien. Vous pouvez ensuite le retirer sans endommager l'objet de votre analyse. Attention, certains rubans adhésifs sont semi-transparents et donc peu adaptés à ce type d'utilisation. Nous vous conseillons d'utiliser le ruban adhésif Scotch pour extérieur et températures inférieures à 0 °C.

25.7.4 Température apparente réfléchie

Plusieurs sources de chaleurs ont une influence sur votre mesure. Il vous faut la valeur correcte de la température apparente réfléchie, afin de configurer la caméra et d'obtenir la meilleure correction possible. Pour ce faire : définissez l'émissivité à 1,0. Réglez l'objectif de la caméra pour effectuer la mise au point, puis sauvegardez une image en tournant le dos à l'objet. A l'aide de la zone ou de l'isotherme, déterminez la valeur la plus probable correspondant à la moyenne de l'image et entrez cette valeur sur la caméra pour la température apparente réfléchie.

25.7.5 Objet trop éloigné

Vous vous demandez si votre caméra mesure correctement à la distance actuelle. La méthode empirique consiste à multiplier le champ de vision instantané (IFOV) par 3. Le champ de vision instantané correspond au détail de l'objet vu par un seul élément du détecteur. Par exemple : 25 degrés correspondent à environ 437 mrad. Si votre caméra a une image de 120×120 pixels, le champ de vision instantané devient $437/120 = 3,6$ mrad (3,6 mm/m) et le rapport de taille du repère est d'environ $1000/(3 \times 3,6) = 92,1$. Cela signifie qu'à une distance de 9,2 mètres, votre cible doit mesurer au moins 0,1 mètre ou 100 mm de large. Mieux vaut alors être prudent et se placer à moins de 9 mètres de l'objet. A 7 ou 8 mètres, votre mesure devrait être correcte.

26 A propos de la société FLIR Systems

FLIR Systems a été fondée en 1978 comme pionnier du développement de systèmes d'imagerie infrarouge haute performance et est aujourd'hui leader mondial dans le domaine de la conception, de la fabrication et de la commercialisation de systèmes d'imagerie thermique destinés à un vaste champ d'applications commerciales, industrielles et gouvernementales. Aujourd'hui, FLIR Systems inclut l'historique de cinq grandes sociétés jalonné de réalisations exceptionnelles dans le domaine de la technologie infrarouge depuis 1958—la société suédoise AGEMA Infrared Systems (auparavant nommée AGA Infrared Systems), et les trois sociétés américaines Indigo Systems, FSI et Inframetrics ainsi que la société française Cedip. En novembre 2007, Exttech Instruments a été achetée par FLIR Systems.

107222703.a2

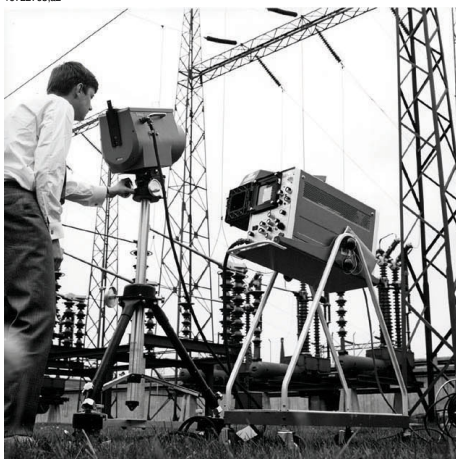


Figure 26.1 A GAUCHE : Thermovision® modèle 661 de 1969. La caméra pesait environ 25 kg, l'oscilloscope 20 kg et le trépied 15 kg. L'opérateur a également utilisé un groupe électrogène de 220 V CA et un récipient de 10 l d'azote liquide. A gauche de l'oscilloscope, on distingue le Polaroid (6 kg). **A DROITE :** FLIR i7 de 2009. Poids : 0,34 kg, batterie comprise.

La société a vendu plus de 100 000 caméras infrarouges dans le monde, destinées à des applications telles que la maintenance conditionnelle, la recherche et le développement, les essais non destructifs, la surveillance et l'automatisation, la vision industrielle, etc.

FLIR Systems possède trois sites de fabrication implantés aux Etats-Unis (Portland, OR, Boston, MA, Santa Barbara, CA) et un en Suède (Stockholm). Depuis 2007, un site de fabrication est également implanté à Tallinn, en Estonie. La société possède

également des antennes commerciales en Allemagne, en Belgique, au Brésil, en Chine, en Corée, aux Etats-Unis, en France, en Grande-Bretagne, à Hong Kong, en Italie, au Japon et en Suède,— dotées d'un réseau mondial d'agents et de distributeurs, qui permettent—de servir nos clients partout dans le monde.

FLIR Systems fait preuve d'une innovation leader dans le secteur des caméras infrarouges. Nous anticipons la demande du marché en améliorant les caméras déjà proposées et en développant de nouveaux modèles. La société fut la première à développer une caméra portable fonctionnant sur batterie et destinée aux inspections industrielles, ainsi qu'une caméra infrarouge non refroidie, pour ne mentionner qu'elles.

FLIR Systems gère elle-même la fabrication de tous les composants électroniques et mécaniques de ses caméras. De la conception et de la fabrication du détecteur jusqu'au tests finaux et à l'étalonnage, en passant par les objectifs et les systèmes électroniques, toutes les étapes de la production s'effectuent sur site et sont supervisées par nos propres ingénieurs. Nos spécialistes ont une parfaite maîtrise de la technologie infrarouge, ce qui permet de garantir une précision et une fiabilité totales de tous les principaux composants qu'abrite une caméra infrarouge.

26.1 *Bien plus qu'une simple caméra infrarouge*

Chez FLIR Systems, nous savons que notre travail ne s'arrête pas à la fabrication de systèmes de caméras infrarouges, aussi performants soient-ils. L'intégration d'un logiciel au système de caméra infrarouge permet de stimuler la productivité de leurs détenteurs. Des logiciels spécialement conçus pour la maintenance conditionnelle, la recherche et le développement et la surveillance ont été développés par nos ingénieurs. La plupart des logiciels sont disponibles en plusieurs langues.

Nos caméras infrarouges sont fournies avec des accessoires pour que votre équipement puisse s'adapter aux applications infrarouges les plus pointues.

26.2 *Communiquer notre savoir*

Nos caméras sont conçues pour offrir un maximum de convivialité à leurs utilisateurs. Malgré tout, la thermographie est plus complexe que la simple manipulation d'une caméra. C'est pourquoi, FLIR Systems a créé l'ITC (Infrared Training Center), un service de l'entreprise qui dispense une formation certifiée. En participant à nos cours de formation, vous pourrez réellement améliorer vos connaissances.

L'équipe de l'ITC se met également à votre disposition pour vous assister lorsque vous passez de la théorie à la pratique.

26.3 L'assistance clientèle

FLIR Systems gère un réseau international de services pour garantir le fonctionnement de votre caméra. En cas de problème, le centre de services le plus proche mobilisera toutes ses ressources matérielles et intellectuelles pour résoudre l'incident le plus vite possible. Nul besoin de renvoyer votre caméra à l'autre bout du monde ou d'essayer de résoudre votre problème avec quelqu'un qui ne parle pas votre langue.

26.4 Nos installations en image

10401303.a1

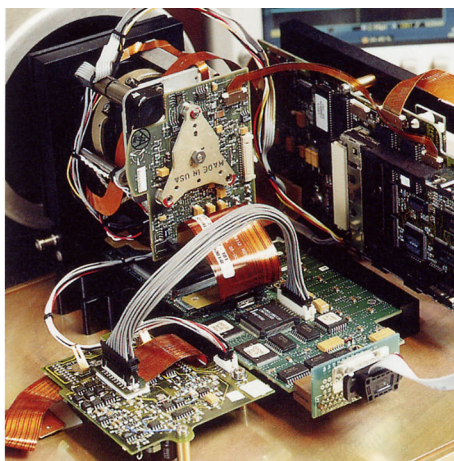
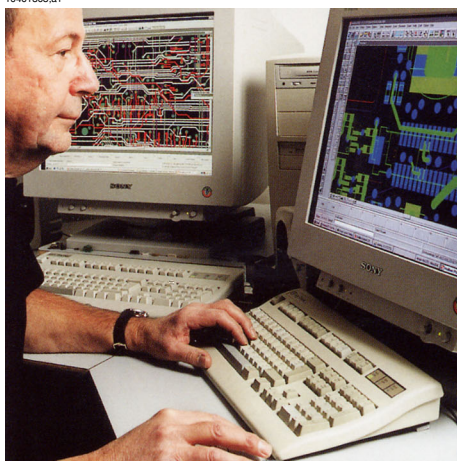


Figure 26.2 GAUCHE : Développement de systèmes électroniques ; **DROITE :** Test d'un détecteur FPA

10401403.a1

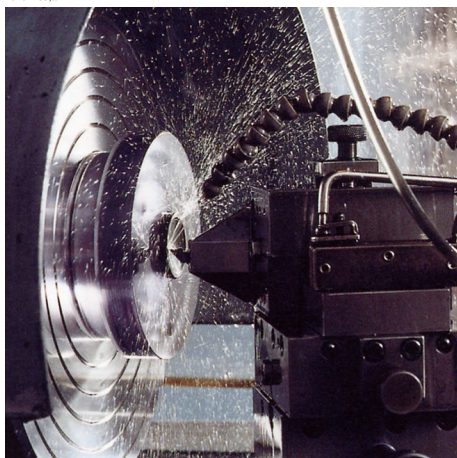


Figure 26.3 GAUCHE : Machine avec outil diamanté ; **DROITE :** Polissage de lentilles

10401503.a1



Figure 26.4 GAUCHE : Test de caméras infrarouge en chambre climatique ; DROITE : Robot utilisé pour le test et l'étalonnage des caméras

Terme ou expression	Signification
Absorption (facteur d'absorption)	Quantité de rayonnement absorbé par un objet par rapport à la quantité de rayonnement reçu. La valeur est comprise entre 0 et 1.
Atmosphère	Gaz situés entre l'objet mesuré et la caméra, en principe de l'air.
Bruit	Petite perturbation non désirée dans l'image infrarouge.
Cavité isotherme	Radiateur en forme de bouteille avec une température uniforme vue par un goulot.
Cavité rayonnante	Radiateur en forme de bouteille dont l'intérieur, accessible par un goulot, est absorbant.
Champ de vision horizontal	Champ de vision (Field Of View) : angle horizontal pouvant être visualisé à travers un objectif infrarouge.
Conduction	Processus permettant à la chaleur de se diffuser dans la matière.
Convection	La convection est un mode de transfert de chaleur pour lequel un fluide est mis en mouvement, par le biais de la gravité ou d'une autre force, transférant ainsi la chaleur d'un lieu à un autre.
Corps gris	Objet émettant une fraction fixe de la quantité d'énergie d'un corps noir pour chaque longueur d'onde.
Corps noir	Objet non réfléchissant. Tout le rayonnement qu'il émet provient de sa propre température.
Correction de l'image (interne ou externe)	Moyen permettant de compenser les différences de sensibilité dans différentes parties d'images en direct et permettant également de stabiliser la caméra.
Couleur de saturation	Les zones dont la température est située en dehors des paramètres de niveau/de sensibilité sont colorées avec les couleurs de saturation. Les couleurs de saturation contiennent une couleur 'excédentaire' et une couleur 'déficiente'. Il existe également une troisième couleur de saturation rouge qui marque tout ce qui est saturé par le détecteur, ce qui signifie que la plage doit probablement être modifiée.
différence de température.	Valeur résultant de la soustraction de deux valeurs de température.
Echelle de température	Façon dont une image infrarouge est actuellement affichée. Exprimée par deux valeurs de température délimitant les couleurs.

Terme ou expression	Signification
Emissivité (facteur d'émissivité)	Quantité de rayonnement provenant d'un objet, comparé à celui d'un corps noir. La valeur est comprise entre 0 et 1.
environnement	Objets et gaz émettant des rayonnements vers l'objet mesuré.
Exitance	Quantité d'énergie émise par un objet par unité de temps et de surface (W/m^2).
Exitance énergétique (spectrale)	Quantité d'énergie émise par un objet par unité de temps, de surface et de longueur d'onde ($W/m^2/\mu m$).
Facteur de transmission	Les gaz et les matériaux peuvent être plus ou moins transparents. La transmission est la quantité de rayonnement Infrarouge les traversant. La valeur est comprise entre 0 et 1.
Filtre	Matériau qui est transparent pour certaines longueurs d'ondes infrarouges.
FPA	Matrice à plan focal : type de détecteur infrarouge.
Gain	Intervalle de l'échelle de température, généralement exprimée comme valeur de signal.
Humidité relative	L'humidité relative représente le rapport entre la masse actuelle de la vapeur d'eau dans l'air et la valeur maximale pouvant être contenue dans l'air en cas de saturation.
IFOV	Champ de vision instantané : mesure de la résolution géométrique d'une caméra infrarouge.
Infrarouge	Rayonnement invisible, ayant une longueur d'onde comprise entre 2 et 13 μm .
IR	Infrarouge
Isotherme	Fonction permettant de mettre en valeur des parties de l'image se situant au-dessus, en dessous d'un ou entre plusieurs intervalles de température.
Isotherme double	Isotherme possédant deux bandes de couleur au lieu d'une.
Isotherme transparent	Isotherme indiquant une répartition linéaire des couleurs au lieu de couvrir les parties mises en valeur de l'image.
Laser LocatIR	Source lumineuse alimentée électriquement sur la caméra émettant un rayonnement laser sous forme de faisceau fin et concentré pour pointer sur certaines parties de l'objet se trouvant devant la caméra.
Luminance énergétique	Quantité d'énergie émise par un objet par unité de temps, de surface et d'angle ($W/m^2/sr$).

Terme ou expression	Signification
NETD (résolution thermique)	Résolution thermique de mesure (Noise equivalent temperature difference). Mesure de la résolution thermique de mesure d'une caméra infrarouge.
Niveau	Valeur centrale de l'échelle de température, généralement exprimée comme valeur de signal.
Optique externe	Lentilles, filtres, écrans thermiques supplémentaires pouvant être placés entre la caméra et l'objet mesuré.
Palette	Palette de couleurs utilisée pour afficher une image infrarouge.
Palette automatique	L'image infrarouge est affichée avec une répartition non linéaire des couleurs permettant de faire mieux ressortir simultanément les objets froids et chauds.
Paramètres objet	Ensemble de valeurs décrivant les conditions dans lesquelles un objet a été mesuré et décrivant l'objet lui-même (telles que l'émissivité, la température apparente réfléchie, la distance, etc.).
Pixel	Signifie <i>élément d'image (pictural élément)</i> . Point sur une image.
Plage	Limites de la mesure de température générale d'une caméra de thermographie infrarouge. Les caméras disposent de plusieurs plages. Exprimée par deux valeurs de température de corps noir délimitant l'étalonnage en cours.
Plage de températures	Limites de la mesure de température générale d'une caméra de thermographie infrarouge. Les caméras disposent de plusieurs plages. Exprimée par deux valeurs de température de corps noir délimitant l'étalonnage en cours.
Pointeur laser	Source lumineuse alimentée électriquement sur la caméra émettant un rayonnement laser sous forme de faisceau fin et concentré pour pointer sur certaines parties de l'objet se trouvant devant la caméra.
Puissance rayonnante	Quantité d'énergie émise par un objet par unité de temps (W).
Radiateur	Équipement infrarouge rayonnant.
Radiateur (corps noir)	Équipement de rayonnement infrarouge avec les propriétés d'un corps noir, permettant d'étalonner les caméras de thermographie infrarouge.
Rayonnement	Processus par lequel de l'énergie électromagnétique est émise par un objet ou un gaz.
Réflexion	Quantité de rayonnement reflété par un objet par rapport à la quantité de rayonnement reçu. La valeur est comprise entre 0 et 1.

Terme ou expression	Signification
Réglage automatique	Fonction permettant à la caméra d'effectuer une correction interne de l'image.
Réglage continu	Fonction réglant l'image. Cette fonction est toujours activée et règle en continu le contraste et la luminosité selon le contenu de l'image.
Réglage manuel	Moyen permettant de régler l'image en modifiant certains paramètres manuellement.
Signal d'un objet	Valeur non étalonnée se rapportant à la quantité de rayonnement émis par l'objet et reçu par la caméra.
Température de couleur	Température à laquelle la couleur d'un corps noir correspond à une couleur spécifique.
Température de référence	Température à laquelle les valeurs normalement mesurées peuvent être comparées.
Thermogramme	Image infrarouge
Transmission atmosphérique calculée	Valeur de transmission calculée en fonction de la température, de l'humidité relative de l'air et de la distance jusqu'à l'objet.
Transmission atmosphérique estimée	Valeur de transmission fournie par un utilisateur, remplaçant une valeur calculée.
TV	Relatif au mode vidéo d'une caméra de thermographie infrarouge, par opposition au mode thermographique normal. Lorsque la caméra est en mode TV, elle capture des images vidéo, au lieu des images thermographiques capturées en mode IR (infrarouge).

28 Techniques de mesure thermographique

28.1 *Introduction*

La caméra infrarouge mesure et visualise le rayonnement infrarouge d'un objet. La caméra peut calculer et afficher cette température, car le rayonnement est une fonction de la température de surface des objets.

Cependant, le rayonnement mesuré par la caméra dépend non seulement de la température de l'objet, mais également de l'émissivité. Le rayonnement provenant du milieu environnant est également réfléchi dans l'objet. Le rayonnement émanant de l'objet et le rayonnement réfléchi sont également influencés par l'absorption de l'atmosphère.

Pour mesurer la température avec précision, il est donc nécessaire de compenser les effets des différentes sources de rayonnement. Cela est effectué automatiquement en ligne par la caméra. Les paramètres suivants relatifs à l'objet doivent cependant être fournis à la caméra :

- Emissivité de l'objet
- Température apparente réfléchie
- Distance entre l'objet et la caméra
- Humidité relative
- Température de l'atmosphère

28.2 *Emissivité*

L'émissivité étant le paramètre le plus important, elle doit être définie avec précision. Elle représente la mesure du rayonnement émis par un objet par rapport à celui émis par un corps noir parfait de même température.

Normalement, l'émissivité des matériaux des objets et des traitements de surface est comprise approximativement entre 0,1 et 0,95. Une surface très polie (miroir) a une émissivité inférieure à 0,1, alors qu'une surface oxydée ou peinte a une émissivité plus élevée. Les peintures à base d'huile, quelle que soit leur couleur dans le spectre visible, ont une émissivité supérieure à 0,9 dans l'infrarouge. La peau humaine a une émissivité comprise entre 0,97 et 0,98.

Les métaux non oxydés représentent un cas extrême d'opacité parfaite et de réflectivité élevée qui ne varient pas beaucoup avec la longueur d'onde. Par conséquent, l'émissivité des métaux est faible : elle n'augmente qu'avec la température. L'émissivité des objets non métalliques tend à être élevée et diminue avec la température.

28.2.1 Obtention de l'émissivité d'un échantillon

28.2.1.1 Etape 1 : Détermination de la température apparente réfléchie

L'une des deux méthodes suivantes permet de déterminer la température apparente réfléchie :

28.2.1.1.1 Méthode 1 : Méthode directe

- 1 Rechercher des sources de réflexion possibles en tenant compte du fait que angle d'incidence = angle de réflexion ($a = b$).

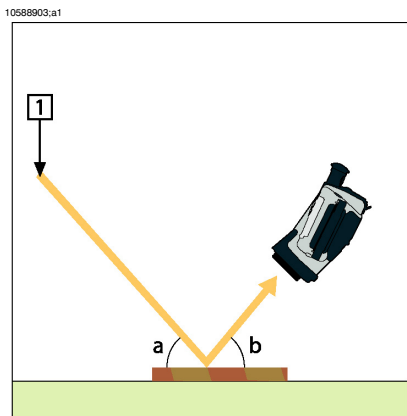


Figure 28.1 1 = Source de réflexion

- 2 Si la source de réflexion est un point, modifiez la source en l'obstruant avec une pièce de carton.

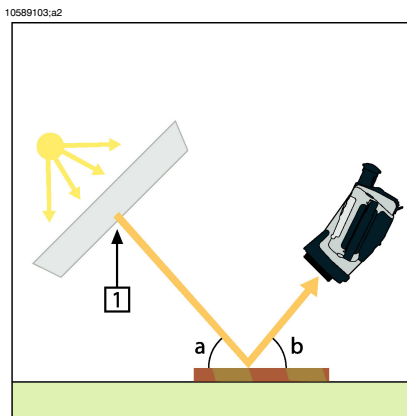


Figure 28.2 1 = Source de réflexion

3 Mesurez l'intensité de radiation (= température apparente) à partir de la source de réflexion en utilisant les paramètres suivants :

- Emissivité : 1,0
- D_{obj} : 0

Vous pouvez mesurer l'intensité de radiation à l'aide d'une des deux méthodes suivantes :

10589003;a2

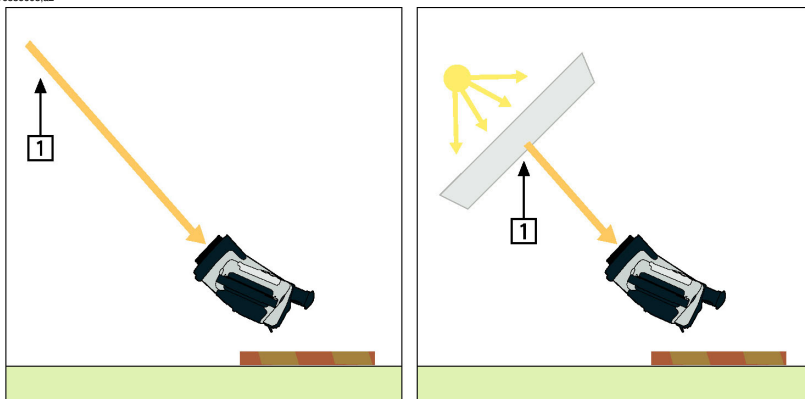


Figure 28.3 1 = Source de réflexion

Remarque : l'utilisation d'un thermocouple pour mesurer la température apparente réfléchie n'est pas recommandée pour deux raisons :

- Un thermocouple ne mesure pas l'intensité de radiation.
- Un thermocouple nécessite un excellent contact thermique avec la surface, souvent par collage ou couverture du capteur avec un isolant thermique.

28.2.1.1.2 *Méthode 2 : Méthode par réflexion*

1	Froissez un grand morceau de papier aluminium.
2	Défroissez-le et fixez-le à un morceau de carton de même taille.
3	Placez ce morceau de carton en face de l'objet dont vous souhaitez mesurer la température. Assurez-vous que le côté couvert d'aluminium est bien orienté vers la caméra.
4	Définissez l'émissivité à 1,0.

- 5 Mesurez la température apparente de la feuille d'aluminium et consignez-la.

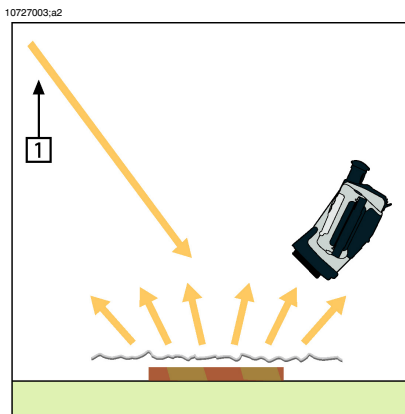


Figure 28.4 Mesure de la température apparente de la feuille d'aluminium

28.2.1.2 Etape 2 : Détermination de l'émissivité

1	Sélectionnez un emplacement pour l'échantillon.
2	Déterminez et définissez la température apparente réfléchie en fonction de la procédure précédente.
3	Fixez de la bande adhésive isolante à haute émissivité sur l'échantillon.
4	Chauffez l'échantillon à au moins 20 K au dessus de la température ambiante. Le chauffage doit être relativement homogène.
5	Effectuez la mise au point et ajustez automatiquement la caméra, puis figez l'image.
6	Ajustez le niveau et le gain pour une meilleure luminosité et un meilleur contraste au niveau des images.
7	Définissez l'émissivité de façon à ce qu'elle soit identique à celle de la bande adhésive (généralement 0,97).
8	Mesurez la température de la bande adhésive en utilisant l'une des fonctions de mesures suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ Isotherme (vous permet de déterminer la température et l'homogénéité du chauffage de l'échantillon) ■ Point (plus simple) ■ Boîte Moy (adapté aux surfaces ayant une émissivité variable)
9	Notez la température.
10	Déplacez votre fonction de mesure vers la surface de l'échantillon.
11	Modifiez le paramètre d'émissivité jusqu'à ce que la température soit la même que celle obtenue lors de la précédente mesure.

Remarque :

- Il faut éviter la convection forcée.
- Recherchez un environnement thermiquement stable qui ne génère pas de réflexion de points.
- Utilisez de la bande adhésive de haute qualité non transparent et à haute émissivité.
- Cette méthode part du principe que la température de votre bande adhésive et de la surface de l'échantillon sont identiques. Dans le cas contraire, vos mesures d'émissivité seront faussées.

28.3 *Température apparente réfléchie*

Ce paramètre permet de compenser le rayonnement réfléchi dans l'objet. Si l'émissivité est faible et la température de l'objet relativement éloignée de la température réfléchie, il est important de définir et de compenser correctement la température apparente réfléchie.

28.4 *Distance*

La distance correspond à la distance entre l'objet et l'objectif avant de la caméra. Ce paramètre permet de compenser les deux faits suivants :

- Le rayonnement de la cible est absorbé par l'atmosphère entre l'objet et la caméra.
- Le rayonnement de l'atmosphère elle-même vient s'ajouter aux rayonnements détectés par la caméra.

28.5 *Humidité relative*

La caméra peut également compenser la légère variation du facteur de transmission résultant de l'humidité relative de l'atmosphère. Pour permettre cette compensation, attribuez une valeur correcte à l'humidité relative. Pour les courtes distances et l'humidité normale, la valeur par défaut de l'humidité relative peut être conservée, soit 50 %.

28.6 *Autres paramètres*

En outre, certaines caméras et programmes d'analyse de FLIR Systems permettent de compenser les paramètres suivants :

- Température atmosphérique (température moyenne de l'atmosphère entre la caméra et la cible).
- Température optique externe, *c'est-à-dire* la température des objectifs ou fenêtres externes utilisé(e)s devant la caméra.

- Transmission d'optique externe – *c'est-à-dire* la transmission des objectifs ou fenêtres externes utilisé(e)s devant la caméra

29 Historique de la technologie infrarouge

Avant l'année 1800, l'existence de la partie infrarouge du spectre électromagnétique était totalement inconnue. Le spectre infrarouge, ou plus simplement « l'infrarouge », défini à l'origine comme une forme de rayonnement thermique est certainement moins abstrait aujourd'hui qu'à l'époque de sa découverte par Herschel en 1800.

10398703.a1

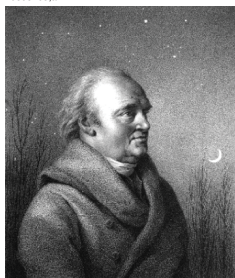


Figure 29.1 Sir William Herschel (1738–1822)

Cette découverte a été faite par hasard lors de recherches sur un nouveau matériel optique. Sir William Herschel (astronome auprès du Roi d'Angleterre Georges III et également célèbre pour avoir découvert la planète Uranus) était à la recherche d'un filtre optique permettant de réduire la luminosité produite par le soleil dans les télescopes lors d'observations solaires. Alors qu'il procédait à divers essais avec des échantillons de verre permettant d'obtenir une réduction de luminosité similaire, il fut intrigué par le fait que certains échantillons laissaient passer peu de chaleur solaire tandis que d'autres en laissaient passer tellement que des dommages oculaires pouvaient se produire après seulement quelques secondes d'observation.

Herschel fut rapidement convaincu de la nécessité de mettre en place une expérience méthodique, susceptible de mettre en évidence le matériau permettant d'obtenir la réduction de luminosité voulue ainsi qu'une réduction maximale de la chaleur. Il basa d'abord son expérience sur celle du prisme de Newton, mais en se concentrant plus sur l'effet de la chaleur que sur la diffusion visuelle de l'intensité au sein du spectre. Il noircit le tube d'un thermomètre au mercure avec de l'encre pour l'utiliser en tant que détecteur de rayonnement et procéda ainsi à des tests sur les effets de la chaleur produits sur une table par les diverses couleurs du spectre en laissant passer les rayons du soleil par un prisme de verre. D'autres thermomètres placés en dehors des rayons du soleil servaient de contrôle.

Lorsqu'il déplaçait lentement le thermomètre noirci le long des couleurs du spectre, la température indiquait une augmentation constante de l'extrémité violette à l'extrémité rouge. Ce qui n'était pas totalement inattendu puisque le chercheur italien, Landriani observa le même effet lors d'une expérience similaire en 1777. Ce fut pourtant Herschel qui mit le premier en évidence l'existence supposée d'un point auquel la production de chaleur est au maximum, mais les mesures confinées à la partie visible du spectre ne permettaient pas de localiser celui-ci.

10398903.a1



Figure 29.2 Marsilio Landriani (1746–1815)

En déplaçant le thermomètre dans la région sombre située après l'extrémité rouge, Herschel constata encore une augmentation de chaleur. Le point maximum, une fois découvert, se situait bien après l'extrémité rouge : dans ce qui est aujourd'hui connu sous le nom de « longueur d'onde infrarouge ».

Lorsque Herschel révéla cette découverte, il fit mention de « spectre thermométrique » pour parler de cette nouvelle portion du spectre électromagnétique. Il se référait au rayonnement en lui-même en l'appelant parfois « chaleur noire », ou plus simplement « rayons invisibles ». Ironiquement, et contrairement à la croyance populaire, ce n'est pas Herschel qui est à l'origine du terme « infrarouge ». Ce terme n'est apparu dans les écrits que 75 ans plus tard, et son auteur n'est toujours pas clairement déterminé aujourd'hui.

Le fait qu'Herschel utilise du verre dans le prisme souleva rapidement des controverses chez ses contemporains qui mirent en doute la réelle existence de la longueur d'onde infrarouge. Divers experts utilisèrent plusieurs types de verre pour tenter de confirmer le travail d'Herschel et obtenaient d'autres transparences dans l'infrarouge. Grâce à ses anciennes expériences, Herschel connaissait la transparence limitée du verre par rapport au rayonnement thermique fraîchement découvert, et fut bien obligé d'en conclure que les dispositifs optiques pour l'infrarouge seraient probablement réservés exclusivement aux éléments réfléchissants (par exemple, miroirs plan ou courbe). Fort heureusement, cela ne s'avéra vrai que jusqu'en 1830. C'est à cette époque que le chercheur italien découvrit que le chlorure de sodium naturel (NaCl), présent dans

un nombre suffisant de cristaux naturels pour pouvoir en faire des lentilles et des prismes, était remarquablement transparent à l'infrarouge. Le chlorure de sodium devint de ce fait le principal matériau utilisé dans l'optique infrarouge durant tout le siècle qui suivit et ne fut détrôné que dans les années 30 par les cristaux synthétiques dont on maîtrisait de mieux en mieux la croissance.

10389103.a1



Figure 29.3 Macedonio Melloni (1798–1854)

Les thermomètres restèrent l'instrument de détection du rayonnement par excellence jusqu'en 1829, année lors de laquelle Nobili inventa le thermocouple. Le thermomètre de Herschel pouvait indiquer des variations de température allant jusqu'à 0,2 °C (0,036 °F), et les modèles ultérieurs pouvaient indiquer des variations allant jusqu'à 0,05 °C (0,09 °F). Un palier majeur fut franchi lorsque Melloni brancha plusieurs thermocouples en série pour former la première pile thermoélectrique. Ce nouvel appareil était au moins 40 fois plus sensible que les meilleurs thermomètres de l'époque destinés à la détection du rayonnement calorifique et était en mesure de détecter la chaleur émise par une personne dans un rayon de trois mètres.

La première image thermique a pu être prise en 1840, suite aux recherches de Sir John Herschel, fils de l'inventeur de l'infrarouge et lui-même célèbre astronome. Basé sur l'évaporation différentielle d'une fine pellicule d'huile exposée à une forme de chaleur concentrée sur celle-ci, l'image thermique est rendue visible par la réflexion de la lumière à l'endroit où les effets d'interférence de la pellicule d'huile permettent à l'œil humain de distinguer une image. Sir John tenta également d'obtenir le premier enregistrement d'une image thermique sur papier, ce qu'il appela un « thermographe ».

10399003.a2



Figure 29.4 Samuel P. Langley (1834–1906)

Peu d'améliorations furent apportées à la sensibilité des détecteurs infrarouges. Un autre palier décisif fut franchi par Langley en 1880, avec l'invention du bolomètre. Celui-ci est formé par un mince ruban de platine noirci branché au connecteur d'un pont de Wheatstone sur lequel le rayonnement infrarouge est concentré et un galvanomètre sensible branché sur l'autre connecteur. Cet instrument était sensé détecter le rayonnement émis par une vache dans un rayon de 400 mètres.

Un scientifique anglais, Sir James Dewar, fut le premier à utiliser les gaz liquéfiés comme agents refroidissant (comme par exemple, l'azote liquide avec une température de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320,8\text{ }^{\circ}\text{F}$)) dans le domaine de la recherche sur les basses températures. En 1892, il inventa un récipient isolant unique dans lequel il était possible de stocker des gaz liquéfiés pendant des jours. Notre « bouteille thermos », utilisée pour stocker des boissons chaudes ou froides, est fondée sur le principe de cette invention.

Entre 1900 et 1920, les inventeurs du monde entier « découvrent » l'infrarouge. De nombreux brevets furent déposés pour des appareils permettant de détecter les personnes, l'artillerie, les avions, les bateaux et même les icebergs. Les premiers systèmes opérationnels, au sens moderne du terme, furent développés durant la guerre 1914–18, lorsque les programmes de recherche des belligérants étaient concentrés sur l'exploitation militaire de l'infrarouge. Ces programmes comprenaient des systèmes expérimentaux pour la détection d'intrusions ennemies, l'analyse de la température à distance, la protection des transmissions et le guidage de roquettes. Un système de recherche infrarouge testé durant cette période était en mesure de détecter un avion à une distance de 1,5 km (0,94 miles) et une personne à plus de 300 mètres (984 pieds).

Les systèmes les plus sensibles de l'époque étaient tous basés sur diverses variantes du bolomètre, mais la période de l'entre-deux-guerres vit le développement de deux nouveaux détecteurs infrarouges révolutionnaires : le convertisseur d'images et le détecteur photoélectrique. Dans un premier temps, le convertisseur d'images retint

l'attention des militaires car il permettait pour la première fois à un observateur de voir littéralement dans le noir. Cependant, la sensibilité du convertisseur d'images était limitée aux ondes infrarouges proches, et les cibles militaires les plus intéressantes (par exemple, des soldats ennemis) devaient être éclairées par des faisceaux de recherche infrarouges. Cette dernière opération induisant le risque de donner la position de l'observateur à un poste d'observation ennemi équipé de façon similaire, il est fort compréhensible que l'intérêt des militaires pour le convertisseur d'images ait pu fléchir.

Les désavantages militaires tactiques liés à l'utilisation des systèmes d'imagerie thermique dits « actifs » (notamment équipés de faisceaux de recherche) donnèrent naissance après la guerre 1939–45 à un élan d'intensifs programmes de recherche militaires secrets autour de l'infrarouge afin de développer des systèmes « passifs » (sans faisceaux de recherche) autour du détecteur photoélectrique extrêmement sensible. Durant cette période les prescriptions en matière de secret militaire empêchèrent totalement la divulgation de l'état de développement de la technologie d'imagerie infrarouge. Ce secret ne fut levé qu'au milieu des années 50. A partir de cette époque, les appareils d'imagerie thermique appropriés purent enfin être exploités par la science et l'industrie civile.

30 Théorie de la thermographie

30.1 Introduction

Le domaine du rayonnement infrarouge et les techniques de thermographie associées sont souvent méconnus des nouveaux utilisateurs de caméra infrarouge. Cette section aborde la théorie de la thermographie.

30.2 Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique est divisé arbitrairement en plusieurs zones de longueurs d'onde, appelées *bandes*, identifiées par les méthodes utilisées pour produire et détecter le rayonnement. Il n'existe aucune différence fondamentale entre le rayonnement des différentes bandes du spectre électromagnétique. Elles sont toutes régies par les mêmes lois et la seule différence réside dans la longueur d'onde.

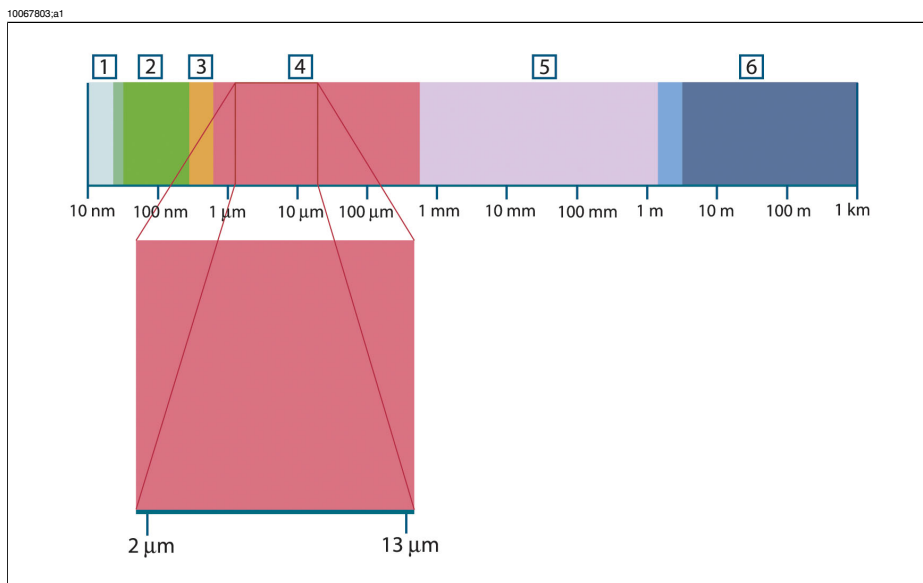


Figure 30.1 Spectre électromagnétique. 1 : rayons X ; 2 : UV ; 3 : Visible ; 4 : IR ; 5 : Micro-ondes ; 6 : Ondes radio.

La thermographie utilise la bande spectrale infrarouge. A l'extrémité gauche de la longueur d'onde courte, la limite correspond à celle de la perception visuelle, dans le rouge intense. A l'extrémité droite de la longueur d'onde longue, cette limite fusionne avec les longueurs d'onde radio à micro-ondes, dans la plage des millimètres.

La bande infrarouge est elle-même divisée en quatre petites bandes, également délimitées de façon arbitraire. Elle inclut : le *proche infrarouge* (0,75 - 3 μm), l'*infrarouge central* (3 - 6 μm), l'*infrarouge lointain* (6 - 15 μm) et l'*infrarouge extrême* (15 - 100 μm). Bien que les longueurs d'onde soient indiquées en μm (micromètres), d'autres unités sont souvent utilisées pour mesurer la longueur d'onde dans cette zone spectrale, *par exemple* le nanomètre (nm) et l'Ångström (Å).

Voici la correspondance entre les différentes mesures de longueur d'onde :

$$10\,000\text{ Å} = 1\,000\text{ nm} = 1\text{ }\mu = 1\text{ }\mu\text{m}$$

30.3 Rayonnement d'un corps noir

Un corps noir désigne un objet qui absorbe le rayonnement qu'il reçoit, quelle que soit la longueur d'onde et l'angle d'incidence. L'appellation *noir* associée à un objet qui émet un rayonnement est expliqué par la loi de Kirchhoff (de *Gustav Robert Kirchhoff*, 1824–1887), selon laquelle un corps capable d'absorber le rayonnement à n'importe quelle longueur d'onde est également capable d'émettre un rayonnement de la même façon.

10398803.a1

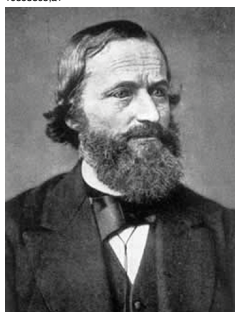


Figure 30.2 Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

La conception d'une source de corps noir est en principe très simple. Les caractéristiques du rayonnement d'un trou dans une cavité isotherme constituée d'un matériau absorbant opaque représentent presque exactement les propriétés d'un corps noir. Une application pratique du principe de construction d'un absorbeur parfait de rayonnement est une boîte étanche à la lumière qui comporte une petite ouverture sur l'un des côtés. Le rayonnement qui passe par cette ouverture est alors diffusé et absorbé par des réflexions répétées. Par conséquent, seule une fraction infinitésimale peut éventuellement s'échapper. La « noirceur » obtenue à l'ouverture est presque identique à celle d'un corps noir et quasiment parfaite pour toutes les longueurs d'onde.

En chauffant cette boîte isotherme de manière adéquate, celle-ci devient alors une *cavité rayonnante*. Une cavité isotherme chauffée avec une température uniforme génère un rayonnement de corps noir, dont les caractéristiques sont déterminées uniquement par sa température. Ce type de cavité rayonnante est couramment utilisé comme source de rayonnement de référence dans les laboratoires d'étalonnage des instruments de thermographie, tels que les caméras FLIR Systems.

Si la température du rayonnement d'un corps noir dépasse 525 °C, la source commence à être visible de telle sorte qu'elle n'apparaît plus noire à l'œil. Il s'agit de la couleur rouge correspondant à la chaleur initiale du radiateur, qui devient ensuite orange ou jaune au fur et à mesure que la température augmente. En fait, la définition de la *température de couleur* d'un objet est la température à laquelle un corps noir devrait être chauffé pour avoir la même apparence dans le spectre visible.

Considérons maintenant trois expressions qui décrivent le rayonnement émis par un corps noir.

30.3.1 Loi de Planck

10399203.a1



Figure 30.3 Max Planck (1858–1947)

Max Planck (1858–1947) a déterminé la distribution spectrale du rayonnement d'un corps noir à l'aide de la formule suivante :

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)} \times 10^{-6} [\text{Watt} / \text{m}^2, \mu\text{m}]$$

où :

$W_{\lambda b}$	Exitance énergétique spectrale du corps noir à la longueur d'onde λ .
-----------------	---

c	Vitesse de la lumière = 3×10^8 m/s
h	Constante de Planck = $6,6 \times 10^{-34}$ Joule s
k	Constante de Boltzmann = $1,4 \times 10^{-23}$ Joule/K
T	Température absolue (K) d'un corps noir
λ	Longueur d'onde (μm)

☛ Le facteur 10^{-6} est utilisé car l'émissivité spectrale dans les courbes est exprimé en Watt/m², μm .

La formule de Planck, lorsqu'elle est représentée sous forme graphique pour différentes températures, génère une famille de courbes. Suivant une courbe de Planck particulière, l'exitance spectrale est égale à zéro à $\lambda = 0$, puis elle atteint rapidement un maximum à une longueur d'onde λ_{max} et après l'avoir dépassée, elle s'approche à nouveau de zéro sur les longueurs d'onde très longues. Plus la température est élevée, plus la longueur d'onde où le maximum sera atteint est courte.

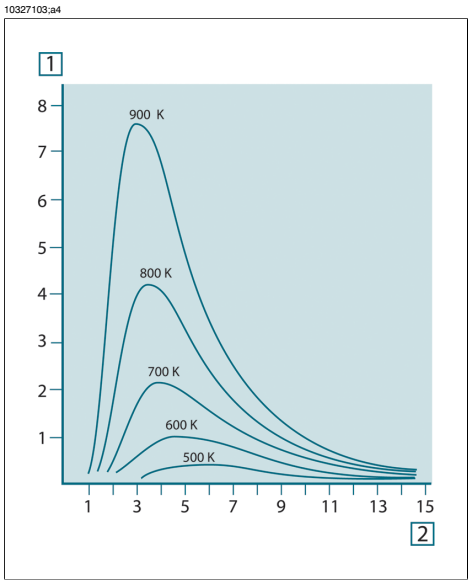


Figure 30.4 Exitance énergétique spectrale du corps noir selon la loi de Planck, représentée pour différentes températures absolues. **1** : Exitance énergétique spectrale ($\text{W/cm}^2 \times 10^3(\mu\text{m})$) ; **2** : Longueur d'onde (μm)

30.3.2 Loi de déplacement de Wien

En différenciant la formule de Planck par rapport à λ et en cherchant le maximum, nous obtenons :

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} [\mu\text{m}]$$

Il s'agit de la formule de Wien (*Wilhelm Wien*, 1864–1928). Elle exprime sous forme mathématique l'observation courante selon laquelle la couleur visible d'un corps rayonnant passe du rouge à l'orange ou au jaune au fur et à mesure que sa température augmente. La longueur d'onde de la couleur est identique à celle calculée pour λ_{\max} . Une bonne approximation de la valeur de λ_{\max} pour la température d'un corps noir est obtenue en appliquant la méthode empirique de $3\,000/T \mu\text{m}$. Ainsi, une étoile très chaude telle que Sirius (11 000 K), qui émet une lumière blanc-argenté, rayonne avec le pic de l'exitance énergétique dans le spectre ultraviolet invisible, à une longueur d'onde de $0,27 \mu\text{m}$.

10399403.a1

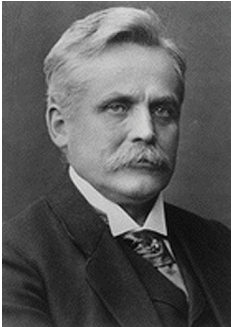


Figure 30.5 Wilhelm Wien (1864–1928)

Le soleil (environ 6000 K) émet une lumière jaune, dont le pic est d'environ $0,5 \mu\text{m}$ au milieu du spectre de lumière visible.

A la température ambiante (300 K), le pic de l'exitance énergétique est de $9,7 \mu\text{m}$, dans l'infrarouge lointain, alors qu'à la température de l'azote liquide (77 K) le maximum de la quantité presque insignifiante de l'exitance énergétique se produit à $38 \mu\text{m}$ dans l'infrarouge extrême.

10327203.a4

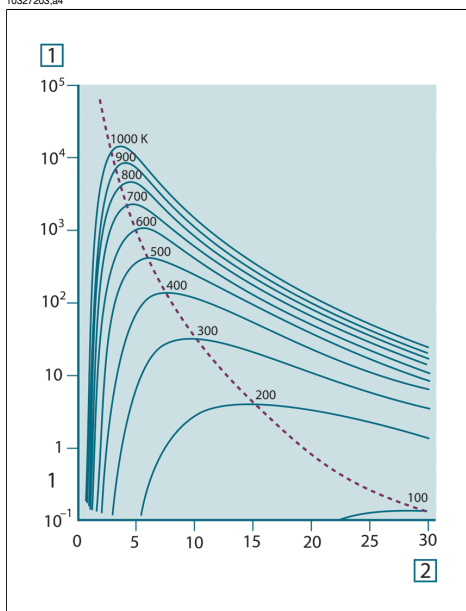


Figure 30.6 Courbes de Planck représentées sur des échelles semi-logarithmiques de 100 K à 1000 K. La ligne en pointillés relie les maxima des courbes comme l'indique la loi de déplacement de Wien. **1** : Exitance énergétique spectrale ($\text{W}/\text{cm}^2 (\mu\text{m})$) ; **2** : Longueur d'onde (μm).

30.3.3 Loi de Stefan-Boltzmann

En intégrant la formule de Planck de $\lambda = 0$ à $\lambda = \infty$, nous obtenons l'exitance énergétique totale (W_b) d'un corps noir :

$$W_b = \sigma T^4 \quad [\text{Watt}/\text{m}^2]$$

Il s'agit de la formule de Stefan-Boltzmann (*Josef Stefan*, 1835–1893 et *Ludwig Boltzmann*, 1844–1906). Elle indique que le pouvoir émissif total d'un corps noir est proportionnel à sa température absolue à la puissance quatre. Du point de vue graphique, W_b représente la zone située en dessous de la courbe de Planck pour une température particulière. Il est possible de démontrer que l'exitance énergétique de l'intervalle $\lambda = 0$ à λ_{max} n'est égale qu'à 25 % du total, ce qui représente le rayonnement solaire qui se trouve dans le spectre de la lumière visible.

10399303.a1



Figure 30.7 Josef Stefan (1835–1893) et Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Si nous calculons la puissance rayonnée par le corps humain à l'aide de la formule de Stefan-Boltzmann, à une température de 300 K et sur une surface externe d'environ 2 m², nous obtenons 1 kW. Cette perte de puissance ne pourrait pas être supportée par un humain si elle n'était pas compensée a) par l'absorption de rayonnement des surfaces environnantes, à des températures ambiantes qui ne sont pas trop différentes de la température du corps, b) par l'ajout de vêtement.

30.3.4 Emetteurs non noirs

Jusqu'à présent, nous avons abordé uniquement le rayonnement des corps noirs. Cependant, dans la plupart des cas, les objets réels ne sont pas compatibles avec ces concepts dans une région de longueur d'onde étendue, même s'ils peuvent s'en approcher dans certains intervalles spectraux réduits. Par exemple, la peinture blanche semble parfaitement *blanche* dans le spectre de la lumière visible, mais elle devient distinctement *grise* à environ 2 μm, et au-delà de 3 μm, elle est presque *noire*.

Trois processus peuvent empêcher un objet réel d'agir comme un corps noir : une fraction du rayonnement incident α peut être absorbée, une fraction ρ peut être réfléchie et une fraction τ peut être transmise. Etant donné que tous ces facteurs dépendent plus ou moins de la longueur d'onde, l'indice λ est utilisé pour impliquer la dépendance spectrale de leur définition. Par conséquent :

- Le facteur spectral d'absorption α_λ = le rapport de la puissance énergétique spectrale absorbée par un objet par rapport à son incident.
- Le facteur spectral de réflexion ρ_λ = le rapport de la puissance énergétique réfléchie par un objet par rapport à son incident.
- Le facteur spectral de transmission τ_λ = le rapport de la puissance énergétique transmise par un objet par rapport à son incident.

La somme de ces trois facteurs est toujours égale à 1, quelle que soit la longueur d'onde. Ainsi, nous obtenons la relation :

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Pour les matériaux opaques $\tau_\lambda = 0$ et la relation est simplifiée à :

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Un autre facteur, appelé émissivité, est requis pour décrire la fraction ε de l'exitance énergétique d'un corps noir produit par un objet à une température spécifique. Par conséquent, nous avons la définition :

Le facteur spectral d'émissivité ε_λ = le rapport de la puissance énergétique d'un objet à la même température et la même longueur d'onde.

Exprimé sous forme mathématique, ce rapport peut être écrit comme celui du facteur spectral d'émissivité de l'objet sur celui d'un corps noir comme suit :

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

Généralement, il existe trois types de source de rayonnement, distingués par les façons dont le facteur spectral d'émissivité de chacun varie avec la longueur d'onde.

- Un corps noir, pour lequel $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- Un corps gris, pour lequel $\varepsilon_\lambda = \varepsilon =$ constante inférieure à 1
- Un radiateur sélectif, pour lequel ε varie avec la longueur d'onde

Selon la loi de Kirchhoff, pour n'importe quel matériau, les facteurs d'émissivité et d'absorption spectrales d'un corps sont égaux aux températures et longueurs d'onde définies. C'est-à-dire :

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

Nous obtenons pour un matériau opaque (puisque $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$) :

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Pour les matériaux très polis ε_λ est proche de zéro, de sorte que pour un matériau parfaitement réfléchissant (*par exemple* un miroir parfait) nous obtenons :

$$\rho_\lambda = 1$$

Pour un corps gris, la formule de Stefan-Boltzmann devient :

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

Cela signifie que la puissance émissive totale d'un corps gris est identique à celle d'un corps noir à la même température réduite proportionnellement à la valeur ε du corps gris.

10401203.a2

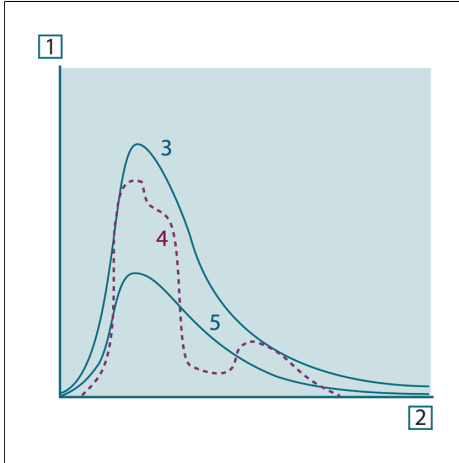


Figure 30.8 Exitance énergétique et facteur spectral d'émissivité de trois types de radiateur. 1 : Exitance énergétique spectrale ; 2 : Longueur d'onde ; 3 : Corps noir ; 4 : Radiateur sélectif ; 5 : Corps gris.

10327303.a4

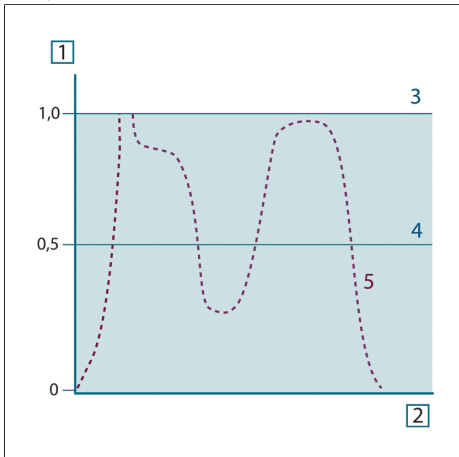


Figure 30.9 Facteur spectral d'émissivité de trois types de radiateur. 1 : Facteur spectral d'émissivité ; 2 : Longueur d'onde ; 3 : Corps noir ; 4 : Corps gris ; 5 : Radiateur sélectif.

30.4 Matériaux infrarouges semi-transparents

Considérons maintenant un corps non métallique et semi-transparent, par exemple une plaque en plastique épaisse. Lorsque la plaque est chauffée, le rayonnement généré dans son volume doit se diriger vers les surfaces par l'intermédiaire du matériau dans lequel il est partiellement absorbé. De plus, lorsqu'il arrive à la surface, une partie est réfléchi à l'intérieur. Le rayonnement réfléchi à l'intérieur est de nouveau

partiellement absorbé, mais une partie arrive à l'autre surface, par laquelle la plus grande partie s'échappe ; une partie du rayonnement est de nouveau réfléchi. Bien que les réflexions progressives soient de plus en plus faibles, elles doivent être additionnées lorsque l'existance totale de la plaque est calculée. Lorsque la série géométrique résultante est obtenue, le facteur d'émissivité réel d'un matériau semi-transparent est obtenu par la formule suivante :

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Lorsque la plaque devient opaque, la formule est réduite à :

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

Cette dernière relation est particulièrement utile car il est souvent plus facile de mesurer la réflexion que de mesurer directement l'émissivité.

31 La formule de mesure

Comme cela a été dit précédemment, lorsque la caméra visualise un objet, elle reçoit également des rayonnements autres que ceux propres à l'objet. Elle perçoit également des rayonnements provenant du milieu environnant réfléchis par la surface de l'objet. Ces deux types de rayonnements sont quelque peu atténués par l'atmosphère du chemin de mesure. Un troisième type de rayonnement vient s'ajouter aux deux précédents : celui de l'atmosphère elle-même.

La description de la situation de mesure illustrée dans la figure ci-dessous, constitue une description des conditions réelles relativement fidèle. Ne sont pas pris en considération, par exemple, la lumière du soleil pénétrant dans l'atmosphère ou les rayonnements parasites provenant de sources de rayonnement intenses extérieures au champ de vision. Il est difficile de quantifier de telles interférences ; toutefois, elles sont généralement suffisamment faibles pour pouvoir être ignorées. Dans le cas où elles seraient trop importantes, la configuration de la mesure serait telle que le risque d'interférence serait manifeste, pour un spécialiste en tout cas. Il lui incombe donc de modifier la situation de la mesure de façon à supprimer toute interférence, par exemple en modifiant la direction du champ de vision, en faisant écran aux sources de rayonnement trop intenses, etc.

En partant de la description ci-dessus, il est possible d'utiliser la figure ci-dessous pour en dériver une formule de calcul de la température de l'objet à partir de la sortie de la caméra étalonnée.

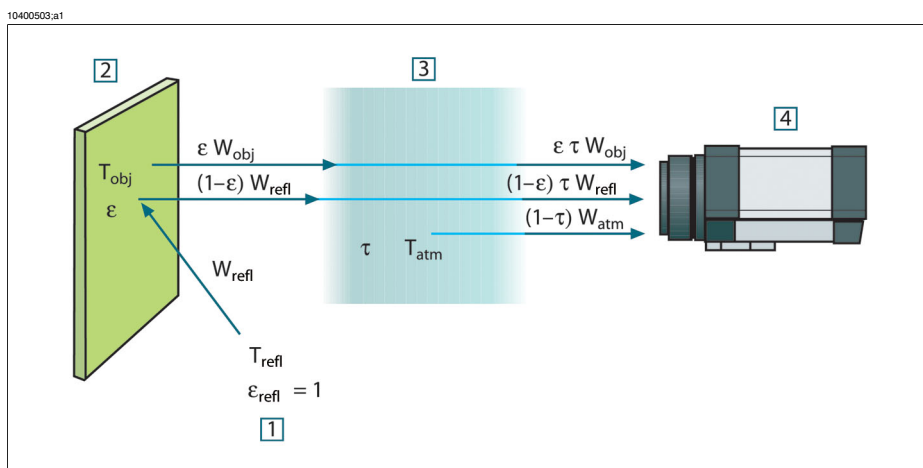


Figure 31.1 Une représentation schématique de la situation de mesure thermographique générale. 1 : Milieu environnant ; 2 : Objet ; 3 : Atmosphère ; 4 : Caméra

Si l'on part du principe que la puissance du rayonnement perçu W provenant de la source d'un corps noir d'une température T_{source} génère sur une courte distance un signal de sortie de caméra U_{source} qui est proportionnel à la puissance d'entrée (caméra à puissance linéaire). On peut alors écrire (Equation 1) :

$$U_{\text{source}} = CW(T_{\text{source}})$$

ou, en notation simplifiée :

$$U_{\text{source}} = CW_{\text{source}}$$

C étant une constante.

Si la source doit être un corps gris avec exitance ε , le rayonnement reçu sera donc la $\varepsilon W_{\text{source}}$.

Nous sommes maintenant en mesure d'énoncer les trois formules de puissance de rayonnement obtenues :

1. – *Emission provenant de l'objet* = $\varepsilon \tau W_{\text{obj}}$, ε l'exitance de l'objet et τ étant le facteur de transmission de l'atmosphère. La température de l'objet est T_{obj} .

2. – *Emission réfléchie provenant de sources ambiantes* = $(1 - \varepsilon) \tau W_{\text{refl}}$, $(1 - \varepsilon)$ étant le facteur de réflexion de l'objet. Les sources ambiantes ont la température T_{refl} .

Nous sommes partis du principe que la température T_{refl} est identique pour toutes les surfaces qui émettent un rayonnement dans une demi-sphère à partir d'un point de la surface de l'objet. Bien sûr, cela correspond parfois une simplification de la réalité. Toutefois, il s'agit d'une simplification nécessaire pour dériver une formule exploitable, et T_{refl} peut, du moins en théorie, se voir attribuer une valeur représentant une température efficace dans un milieu environnant complexe.

Notez également que nous sommes partis du principe que l'exitance du milieu environnant = 1. Ce qui, selon la loi de Kirchhoff est correct : tout rayonnement venant frapper les surfaces des milieux environnants peut être absorbé par ces mêmes surfaces. Ainsi l'exitance = 1. (Notez également que la dernière discussion requiert la prise en compte de la totalité de la sphère autour de l'objet.)

3. – *Emission provenant de l'atmosphère* = $(1 - \tau) \tau W_{\text{atm}}$ $(1 - \tau)$ étant l'exitance de l'atmosphère. La température de l'atmosphère est T_{atm} .

Le total de la puissance de rayonnement reçu peut alors être énoncé comme suit (Equation 2) :

$$W_{\text{tot}} = \varepsilon \tau W_{\text{obj}} + (1 - \varepsilon) \tau W_{\text{refl}} + (1 - \tau) W_{\text{atm}}$$

On multiplie chaque terme par la constante C de l'Equation 1 et on remplace les produits CW par la valeur U correspondante selon la même équation, et on obtient (Equation 3) :

$$U_{tot} = \varepsilon \tau U_{obj} + (1 - \varepsilon) \tau U_{refl} + (1 - \tau) U_{atm}$$

Résoudre l'Equation 3 pour U_{obj} (Equation 4) :

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon \tau} U_{tot} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} U_{refl} - \frac{1 - \tau}{\varepsilon \tau} U_{atm}$$

Ceci est la formule de mesure générale utilisée dans tout équipement thermographique de FLIR Systems. Les voltages de la formule sont :

Figure 31.2 Voltages

U_{obj}	Voltage de sortie de la caméra calculé pour un corps noir d'une température T_{obj} , par ex. un voltage pouvant être directement converti en une température d'objet réelle.
U_{tot}	Voltage de sortie de caméra mesuré pour le cas présent.
U_{refl}	En théorie, le voltage de sortie de caméra pour un corps noir d'une température T_{refl} selon l'étalonnage.
U_{atm}	En théorie, le voltage de sortie de caméra pour un corps noir d'une température T_{atm} selon l'étalonnage.

L'utilisateur doit fournir un certain nombre de valeurs de paramètres pour le calcul :

- exitance de l'objet ε ,
- humidité relative,
- T_{atm}
- distance de l'objet (D_{obj}),
- température (réelle) du milieu environnant de l'objet, ou la température ambiante réfléchie T_{refl} , et
- température de l'atmosphère T_{atm} .

Cette tâche peut parfois s'avérer difficile pour l'utilisateur étant donné qu'il n'existe aucun moyen d'obtenir facilement des valeurs précises de l'exitance et du facteur de transmission pour le cas présent. Les deux températures sont normalement moins difficiles à établir, à condition que le milieu environnant ne contienne pas de sources de rayonnement trop intenses ni trop importantes.

Une question se pose alors : Est-il primordial de connaître les valeurs exactes de ces paramètres ? A ce stade, il est intéressant de se pencher sur le problème en se référant aux différents cas de figure et de comparer les magnitudes relatives de trois termes de rayonnement. Vous verrez alors dans quels cas il est important d'utiliser des valeurs correctes pour ces paramètres.

Les figures ci-dessous illustrent les magnitudes relatives dans trois exemples de rayonnement pour trois températures d'objet différentes, deux exitances et deux gammes spectrales : SW et LW. Les autres paramètres ont les valeurs suivantes, lesquelles restent inchangées :

- $\tau = 0,88$
- $T_{\text{refl}} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{atm}} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Il est évident que les mesures de températures d'objet basses posent plus problèmes que les mesures de températures élevées étant donné que les sources de rayonnement « perturbatrices » sont plus importantes dans le premier cas. Si l'exitance de l'objet est basse, la situation s'en trouvera encore plus compliquée.

Il ne nous reste plus qu'à répondre à la question de l'importance d'autoriser la courbe d'étalonnage au delà du point maximum d'étalonnage, ce que nous appelons extrapolation. Supposons que dans un cas de mesure nous obtenions $U_{\text{tot}} = 4,5$ volts. Le point d'étalonnage maximal pour la caméra était de l'ordre de 4,1 volts, une valeur inconnue de l'utilisateur. Ainsi, même si l'objet devait être un corps noir, par ex. $U_{\text{obj}} = U_{\text{tot}}$, en convertissant les 4,5 volts en température, nous procédons en réalité à l'extrapolation de la courbe de l'étalonnage.

Supposons à présent que l'objet ne soit pas noir, mais qu'il ait une exitance de 0,75 et un facteur de transmission de 0,92. Supposons également que les deux seconds termes de l'Equation 4 atteignent environ 0,5 volts à eux-deux. En calculant U_{obj} à l'aide de l'Equation 4, on obtient alors $U_{\text{obj}} = 4,5 / 0,75 / 0,92 - 0,5 = 6,0$. Il s'agit là d'une extrapolation extrême, si l'on considère que l'amplificateur vidéo limite probablement la sortie à 5 volts ! Notez, cependant, que l'application de la courbe d'étalonnage reste un procédé théorique, qui ne fait pas état de limitations électroniques ou autres. Nous pensons que si la caméra ne présente aucune limitation de signal, et si l'étalonnage est largement supérieur à 5 volts, la courbe résultante serait identique à la courbe réelle extrapolée supérieure à 4,1volts, à condition que l'algorithme d'étalonnage soit basé sur la radiophysique, comme l'algorithme de FLIR Systems. Naturellement il doit y avoir une limite à de telles extrapolations.

10400603.a2

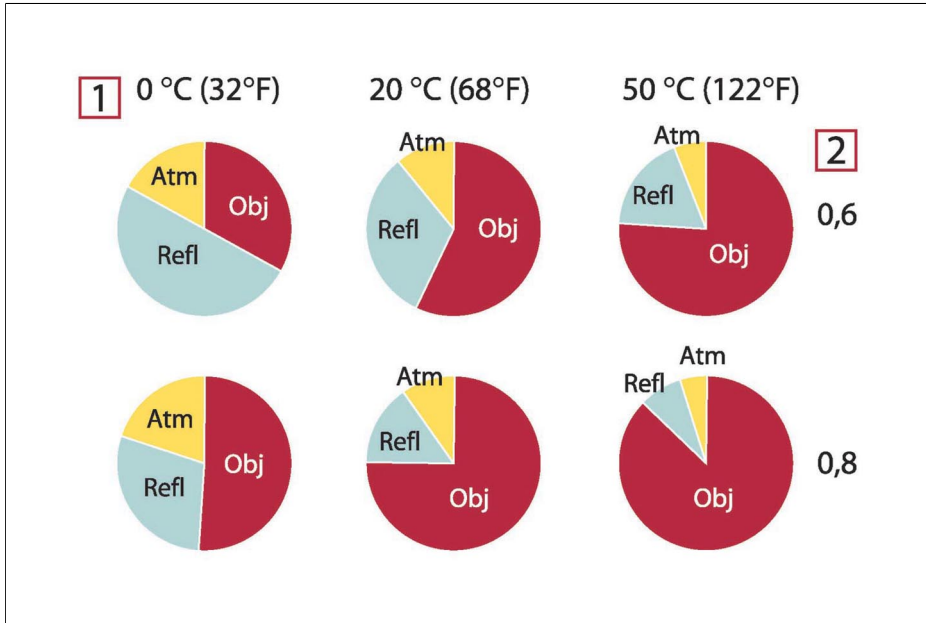


Figure 31.3 Magnitudes relatives de sources de rayonnement sous différentes conditions de mesure (caméra SW). **1** : Température de l'objet ; **2** : Exitance ; **Obj** : Rayonnement d'objet ; **Refl** : Rayonnement réfléchi ; **Atm** : rayonnement de l'atmosphère. Paramètres fixes : $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20 \text{ °C}$; $T_{\text{atm}} = 20 \text{ °C}$.

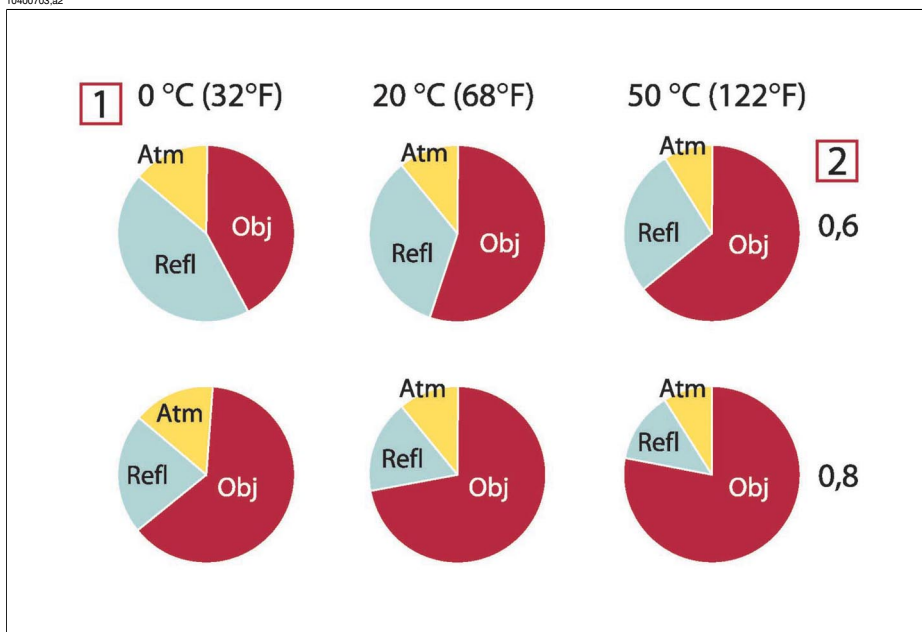


Figure 31.4 Magnitudes relatives de sources de rayonnement sous différentes conditions de mesure (caméra LW). **1** : Température de l'objet ; **2** : Exitance ; **Obj** : Rayonnement d'objet ; **Refl** : Rayonnement réfléchi ; **Atm** : rayonnement de l'atmosphère. Paramètres fixes : $\tau = 0,88$; $T_{\text{refl}} = 20 \text{ °C}$; $T_{\text{atm}} = 20 \text{ °C}$.

32 Tables des émissivités

Cette section rassemble les données d'émissivité issues des publications relatives à l'infrarouge et des mesures issues des systèmes FLIR Systems.

32.1 Références

1	Mikaël A. Bramson : <i>Infrared Radiation, A Handbook for Applications</i> . Plenum press, N.Y.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis : <i>The Infrared Handbook</i> , Office of Naval Research, Department of Navy. Washington, D.C.
3	Madding, R. P. : <i>Thermographic Instruments and systems</i> . Madison, Wisconsin : University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe : <i>Handbook of Military Infrared Technology</i> , Office of Naval Research, Department of Navy. Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert : <i>External thermography of buildings...</i> Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol. 110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology. London, June 1977.
6	Paljak, Pettersson : <i>Thermography of Buildings</i> . Swedish Building Research Institute. Stockholm, 1972.
7	Vlcek, J : <i>Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at $\lambda = 5 \mu\text{m}$</i> . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern : <i>Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites</i> . Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes : <i>Emittansmätningar med AGEMA E-Box</i> . Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)
10	Matteï, S., Tang-Kwor, E : <i>Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between -36°C AND 82°C</i> .
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	ITC Technical publication 32.
13	ITC Technical publication 29.

32.2 Remarque importante concernant les tables d'émissivité

Les valeurs d'émissivité du tableau ci-dessous sont enregistrées à l'aide d'une caméra ondes courtes (SW). Ces valeurs ne sont que des recommandations et sont à utiliser avec précaution.

32.3 Tables

Figure 32.1 T : Spectre total ; SW : 2–5 μm ; LW : 8–14 μm ; LLW : 6,5–20 μm ; 1 : Matériau ; 2 : Caractéristiques ; 3 : Température en $^{\circ}\text{C}$; 4 : Spectre ; 5 : Emissivité ; 6 : Référence

1	2	3	4	5	6
3M type 35	Ruban adhésif isolant vinyle (plusieurs couleurs)	< 80	LW	Environ 0,96	13
3M type 88	Ruban adhésif isolant vinyle noir	< 105	LW	Environ 0,96	13
3M type 88	Ruban adhésif isolant vinyle noir	< 105	MW	< 0,96	13
3M type Super 33+	Ruban adhésif isolant vinyle noir	< 80	LW	Environ 0,96	13
Acier inoxydable	alliage, 8 % Ni, 18 % Cr	500	T	0,35	1
Acier inoxydable	feuille, polie	70	LW	0,14	9
Acier inoxydable	feuille, polie	70	SW	0,18	9
Acier inoxydable	feuille non traitée, légèrement grattée	70	LW	0,28	9
Acier inoxydable	feuille non traitée, légèrement grattée	70	SW	0,30	9
Acier inoxydable	laminé	700	T	0,45	1
Acier inoxydable	sablé	700	T	0,70	1
Acier inoxydable	type 18–8, poncé	20	T	0,16	2
Acier inoxydable	type 18-8, oxydé à 800 $^{\circ}\text{C}$	60	T	0,85	2
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	LW	0,97	9
Aluminium	anodisé, gris clair, mat	70	SW	0,61	9
Aluminium	anodisé, noir, mat	70	LW	0,95	9
Aluminium	anodisé, noir, mat	70	SW	0,67	9
Aluminium	déposé sous vide	20	T	0,04	2

1	2	3	4	5	6
Aluminium	feuille	27	3 μm	0,09	3
Aluminium	feuille	27	10 μm	0,04	3
Aluminium	feuille, 4 échantillons grattés de façons différentes	70	LW	0,03–0,06	9
Aluminium	feuille, 4 échantillons grattés de façons différentes	70	SW	0,05–0,08	9
Aluminium	feuille anodisée	100	T	0,55	2
Aluminium	fonte, nettoyée sous pression	70	LW	0,46	9
Aluminium	fonte, nettoyée sous pression	70	SW	0,47	9
Aluminium	fortement patiné	17	SW	0,83–0,94	5
Aluminium	oxydé, fortement	50–500	T	0,2–0,3	1
Aluminium	plaque polie	100	T	0,05	4
Aluminium	poli	50–100	T	0,04–0,06	1
Aluminium	poli, feuille	100	T	0,05	2
Aluminium	rugosifié	27	3 μm	0,28	3
Aluminium	rugosifié	27	10 μm	0,18	3
Aluminium	surface brute	20–50	T	0,06–0,07	1
Aluminium	tel quel, feuille	100	T	0,09	2
Aluminium	tel quel, plaque	100	T	0,09	4
Aluminium	trempe dans du HNO_3 , plaque	100	T	0,05	4
Amiante	ardoise	20	T	0,96	1
Amiante	Carrelage pour sol	35	SW	0,94	7
Amiante	panneau	20	T	0,96	1
Amiante	papier	40–400	T	0,93–0,95	1
Amiante	poudre		T	0,40–0,60	1
Amiante	toile		T	0,78	1

1	2	3	4	5	6
Argent	poli	100	T	0,03	2
Argent	pur, poli	200–600	T	0,02–0,03	1
Argile	cuite	70	T	0,91	1
Asphalte routier		4	LLW	0,967	8
Béton		20	T	0,92	2
Béton	allée	5	LLW	0,974	8
Béton	brut	17	SW	0,97	5
Béton	sec	36	SW	0,95	7
Bois		17	SW	0,98	5
Bois		19	LLW	0,962	8
Bois	blanc, humide	20	T	0,7–0,8	1
Bois	chêne raboté	20	T	0,90	2
Bois	chêne raboté	70	LW	0,88	9
Bois	chêne raboté	70	SW	0,77	9
Bois	contreplaqué, finition lisse, sec	36	SW	0,82	7
Bois	contreplaqué, non traité	20	SW	0,83	6
Bois	pin, 4 échantillons différents	70	LW	0,81–0,89	9
Bois	pin, 4 échantillons différents	70	SW	0,67–0,75	9
Bois	poli		T	0,5–0,7	1
Bois	raboté	20	T	0,8–0,9	1
Brique	alumine	17	SW	0,68	5
Brique	argile réfractaire	20	T	0,85	1
Brique	argile réfractaire	1000	T	0,75	1
Brique	argile réfractaire	1200	T	0,59	1
Brique	brique réfractaire	17	SW	0,68	5
Brique	commune	17	SW	0,86–0,81	5

1	2	3	4	5	6
Brique	hydrofuge	17	SW	0,87	5
Brique	maçonnerie	35	SW	0,94	7
Brique	maçonnerie, plâtrée	20	T	0,94	1
Brique	réfractaire, corindon	1000	T	0,46	1
Brique	réfractaire, faiblement rayonnante	500–1000	T	0,65–0,75	1
Brique	réfractaire, fortement rayonnante	500–1000	T	0,8–0,9	1
Brique	réfractaire, magnésite	1000–1300	T	0,38	1
Brique	rouge, brut	20	T	0,88–0,93	1
Brique	rouge, commune	20	T	0,93	2
Brique	silice, 95 % SiO ₂	1230	T	0,66	1
Brique	silice de dinas, émaillée, brute	1100	T	0,85	1
Brique	silice de dinas, non émaillée, brute	1000	T	0,80	1
Brique	silice de dinas, réfractaire	1000	T	0,66	1
Brique	sillimanite, 33 % SiO ₂ , 64 % Al ₂ O ₃	1500	T	0,29	1
Bronze	bronze de phosphore	70	LW	0,06	9
Bronze	bronze de phosphore	70	SW	0,08	9
Bronze	poli	50	T	0,1	1
Bronze	poreux, brut	50–150	T	0,55	1
Bronze	poudre		T	0,76–0,80	1
Bronze d'aluminium		20	T	0,60	1

1	2	3	4	5	6
Caoutchouc	dur	20	T	0,95	1
Caoutchouc	souple, gris, brut	20	T	0,95	1
Carbone	noir de fumée	20–400	T	0,95–0,97	1
Carbone	poudre de char- bon de bois		T	0,96	1
Carbone	poudre de gra- phite		T	0,97	1
Carbone	suie de bougie	20	T	0,95	2
Carbone	surface graphite, limée	20	T	0,98	2
Chaux			T	0,3–0,4	1
Chrome	poli	50	T	0,10	1
Chrome	poli	500–1000	T	0,28–0,38	1
Ciment		17	SW	0,87	5
Ciment	sec	36	SW	0,94	7
Cuir	tanné		T	0,75–0,80	1
Cuivre	commercial, lustré	20	T	0,07	1
Cuivre	électrolytique, poli	–34	T	0,006	4
Cuivre	électrolytique, soi- gneusement poli	80	T	0,018	1
Cuivre	en fusion	1100–1300	T	0,13–0,15	1
Cuivre	oxydé	50	T	0,6–0,7	1
Cuivre	oxydé, fortement	20	T	0,78	2
Cuivre	oxydé, noir	27	T	0,78	4
Cuivre	oxydé en noir		T	0,88	1
Cuivre	poli	50–100	T	0,02	1
Cuivre	poli	100	T	0,03	2
Cuivre	poli, commercial	27	T	0,03	4
Cuivre	poli, par moyen mécanique	22	T	0,015	4

1	2	3	4	5	6
Cuivre	pur, surface soigneusement préparée	22	T	0,008	4
Cuivre	raclé	27	T	0,07	4
Cuivre jaune	feuille, laminée	20	T	0,06	1
Cuivre jaune	feuille, poncée avec de la toile émeri	20	T	0,2	1
Cuivre jaune	mat, terni	20–350	T	0,22	1
Cuivre jaune	oxydé	70	SW	0,04–0,09	9
Cuivre jaune	oxydé	70	LW	0,03–0,07	9
Cuivre jaune	oxydé	100	T	0,61	2
Cuivre jaune	oxydé à 600 °C	200–600	T	0,59–0,61	1
Cuivre jaune	poli	200	T	0,03	1
Cuivre jaune	poli, fortement	100	T	0,03	2
Cuivre jaune	poncé avec de la toile émeri grain 80	20	T	0,20	2
Dioxyde de cuivre	poudre		T	0,84	1
Eau	couche de > 0,1 mm d'épaisseur	0–100	T	0,95–0,98	1
Eau	cristaux gelés	–10	T	0,98	2
Eau	distillée	20	T	0,96	2
Eau	glace, lisse	–10	T	0,96	2
Eau	glace, lisse	0	T	0,97	1
Eau	glace, recouverte de givre épais	0	T	0,98	1
Eau	neige		T	0,8	1
Eau	neige	–10	T	0,85	2
Ebonite			T	0,89	1
Email		20	T	0,9	1

1	2	3	4	5	6
Email	vernis	20	T	0,85–0,95	1
Eméri	gros grain	80	T	0,85	1
Étain	acier en feuille plaqué d'étain	100	T	0,07	2
Étain	lustré	20–50	T	0,04–0,06	1
Fer, fonte	fonte	50	T	0,81	1
Fer, fonte	lingots	1000	T	0,95	1
Fer, fonte	liquide	1300	T	0,28	1
Fer, fonte	non corroyé	900–1100	T	0,87–0,95	1
Fer, fonte	oxydé	38	T	0,63	4
Fer, fonte	oxydé	100	T	0,64	2
Fer, fonte	oxydé	260	T	0,66	4
Fer, fonte	oxydé	538	T	0,76	4
Fer, fonte	oxydé à 600 °C	200–600	T	0,64–0,78	1
Fer, fonte	poli	38	T	0,21	4
Fer, fonte	poli	40	T	0,21	2
Fer, fonte	poli	200	T	0,21	1
Fer, fonte	usiné	800–1000	T	0,60–0,70	1
Fer et acier	brillant, gravé	150	T	0,16	1
Fer et acier	brut, surface plane	50	T	0,95–0,98	1
Fer et acier	corroyé, poli avec soin	40–250	T	0,28	1
Fer et acier	couche d'oxyde brillante, feuille	20	T	0,82	1
Fer et acier	couvert de rouille rouge	20	T	0,61–0,85	1
Fer et acier	électrolytique	22	T	0,05	4
Fer et acier	électrolytique	100	T	0,05	4
Fer et acier	électrolytique	260	T	0,07	4
Fer et acier	électrolytique, so- gneusement poli	175–225	T	0,05–0,06	1

1	2	3	4	5	6
Fer et acier	feuille laminée	50	T	0,56	1
Fer et acier	feuille polie	750–1050	T	0,52–0,56	1
Fer et acier	feuille polie	950–1100	T	0,55–0,61	1
Fer et acier	feuille très rouillée	20	T	0,69	2
Fer et acier	fortement oxydé	50	T	0,88	1
Fer et acier	fortement oxydé	500	T	0,98	1
Fer et acier	juste laminé	20	T	0,24	1
Fer et acier	juste poncé avec de la toile émeri	20	T	0,24	1
Fer et acier	laminé à chaud	20	T	0,77	1
Fer et acier	laminé à chaud	130	T	0,60	1
Fer et acier	laminé à froid	70	LW	0,09	9
Fer et acier	laminé à froid	70	SW	0,20	9
Fer et acier	oxydé	100	T	0,74	1
Fer et acier	oxydé	100	T	0,74	4
Fer et acier	oxydé	125–525	T	0,78–0,82	1
Fer et acier	oxydé	200	T	0,79	2
Fer et acier	oxydé	200–600	T	0,80	1
Fer et acier	oxydé	1227	T	0,89	4
Fer et acier	poli	100	T	0,07	2
Fer et acier	poli	400–1000	T	0,14–0,38	1
Fer et acier	rouillé, rouge	20	T	0,69	1
Fer et acier	rouillé (couleur rouge), feuille	22	T	0,69	4
Fer et acier	très rouillé	17	SW	0,96	5
Fer étamé	feuille	24	T	0,064	4
Fer galvanisé	feuille	92	T	0,07	4
Fer galvanisé	feuille, oxydée	20	T	0,28	1
Fer galvanisé	feuille lustrée	30	T	0,23	1

1	2	3	4	5	6
Fer galvanisé	très oxydé	70	LW	0,85	9
Fer galvanisé	très oxydé	70	SW	0,64	9
Glace : voir Eau					
Goudron			T	0,79–0,84	1
Goudron	papier	20	T	0,91–0,93	1
Granite	brut	21	LLW	0,879	8
Granite	brut, 4 échantillons différents	70	LW	0,77–0,87	9
Granite	brut, 4 échantillons différents	70	SW	0,95–0,97	9
Granite	poli	20	LLW	0,849	8
Grès	brut	19	LLW	0,935	8
Grès	poli	19	LLW	0,909	8
Gypse		20	T	0,8–0,9	1
Huile, lubrifiante	film de 0,025 mm	20	T	0,27	2
Huile, lubrifiante	film de 0,050 mm	20	T	0,46	2
Huile, lubrifiante	film de 0,125 mm	20	T	0,72	2
Huile, lubrifiante	film sur base Ni : base Ni uniquement	20	T	0,05	2
Huile, lubrifiante	revêtement épais	20	T	0,82	2
Hydroxyde d'aluminium	poudre		T	0,28	1
Krylon Ultra-flat black 1602	Noire mate	Température ambiante jusqu'à 175	LW	Environ 0,96	12
Krylon Ultra-flat black 1602	Noire mate	Température ambiante jusqu'à 175	MW	Environ 0,97	12
Magnésium		22	T	0,07	4
Magnésium		260	T	0,13	4
Magnésium		538	T	0,18	4
Magnésium	poli	20	T	0,07	2

1	2	3	4	5	6
Magnésium en poudre			T	0,86	1
Minium de plomb		100	T	0,93	4
Minium de plomb, poudre		100	T	0,93	1
Molybdène		600–1000	T	0,08–0,13	1
Molybdène		1500–2200	T	0,19–0,26	1
Molybdène	filament	700–2500	T	0,1–0,3	1
Mosaïque	émaillée	17	SW	0,94	5
Neige : voir Eau					
Nextel Velvet 811-21 Black	Noire mate	–60–150	LW	> 0.97	10 et 11
Nichrome	fil, nettoyé	50	T	0,65	1
Nichrome	fil, nettoyé	500–1000	T	0,71–0,79	1
Nichrome	fil, oxydé	50–500	T	0,95–0,98	1
Nichrome	laminé	700	T	0,25	1
Nichrome	sablé	700	T	0,70	1
Nickel	déposé électrolytiquement, poli	20	T	0,05	2
Nickel	déposé électrolytiquement sur fer, non poli	20	T	0,11–0,40	1
Nickel	déposé électrolytiquement sur fer, non poli	22	T	0,11	4
Nickel	déposé électrolytiquement sur fer, poli	22	T	0,045	4
Nickel	électrolytique	22	T	0,04	4
Nickel	électrolytique	38	T	0,06	4
Nickel	électrolytique	260	T	0,07	4
Nickel	électrolytique	538	T	0,10	4
Nickel	fil	200–1000	T	0,1–0,2	1

1	2	3	4	5	6
Nickel	mat clair	122	T	0,041	4
Nickel	oxydé	200	T	0,37	2
Nickel	oxydé	227	T	0,37	4
Nickel	oxydé	1227	T	0,85	4
Nickel	oxydé à 600 °C	200–600	T	0,37–0,48	1
Nickel	poli	122	T	0,045	4
Nickel	pur (commercial), poli	100	T	0,045	1
Nickel	pur (commercial), poli	200–400	T	0,07–0,09	1
Or	poli	130	T	0,018	1
Or	poli, fortement	100	T	0,02	2
Or	poli, soigneusement	200–600	T	0,02–0,03	1
Oxyde d'aluminium	activé, poudre		T	0,46	1
Oxyde d'aluminium	pur, poudre		T	0,16	1
Oxyde de cuivre	rouge, poudre		T	0,70	1
Oxyde de nickel		500–650	T	0,52–0,59	1
Oxyde de nickel		1000–1250	T	0,75–0,86	1
Panneau de particules	non traité	20	SW	0,90	6
Papier	4 couleurs différentes	70	LW	0,92–0,94	9
Papier	4 couleurs différentes	70	SW	0,68–0,74	9
Papier	à lettres de luxe blanc	20	T	0,93	2
Papier	blanc	20	T	0,7–0,9	1
Papier	blanc, 3 éclats différents	70	LW	0,88–0,90	9

1	2	3	4	5	6
Papier	blanc, 3 éclats différents	70	SW	0,76–0,78	9
Papier	bleu, foncé		T	0,84	1
Papier	jaune		T	0,72	1
Papier	noir		T	0,90	1
Papier	noir, mat		T	0,94	1
Papier	noir, mat	70	LW	0,89	9
Papier	noir, mat	70	SW	0,86	9
Papier	recouvert de vernis noir		T	0,93	1
Papier	rouge		T	0,76	1
Papier	vert		T	0,85	1
Papier peint	motif léger, gris clair	20	SW	0,85	6
Papier peint	motif léger, rouge	20	SW	0,90	6
Peau	humaine	32	T	0,98	2
Peinture	8 différentes couleurs et qualités	70	LW	0,92–0,94	9
Peinture	8 différentes couleurs et qualités	70	SW	0,88–0,96	9
Peinture	à l'huile	17	SW	0,87	5
Peinture	à l'huile, différentes couleurs	100	T	0,92–0,96	1
Peinture	à l'huile, grise, brillante	20	SW	0,96	6
Peinture	à l'huile, grise, mate	20	SW	0,97	6
Peinture	à l'huile, moyenne de 16 couleurs	100	T	0,94	2
Peinture	à l'huile, noire, brillante	20	SW	0,92	6
Peinture	à l'huile, noire, mate	20	SW	0,94	6

1	2	3	4	5	6
Peinture	Aluminium, de différents âges	50–100	T	0,27–0,67	1
Peinture	cadmium jaune		T	0,28–0,33	1
Peinture	chrome vert		T	0,65–0,70	1
Peinture	cobalt bleu		T	0,7–0,8	1
Peinture	plastique, blanche	20	SW	0,84	6
Peinture	plastique, noire	20	SW	0,95	6
Plaque de fibres	aggloméré	70	LW	0,88	9
Plaque de fibres	aggloméré	70	SW	0,75	9
Plaque de fibres	dure, non traitée	20	SW	0,85	6
Plaque de fibres	panneau de particules	70	LW	0,89	9
Plaque de fibres	panneau de particules	70	SW	0,77	9
Plaque de fibres	poreuse, non traitée	20	SW	0,85	6
Plastique	plaque d'isolation en polyuréthane	70	LW	0,55	9
Plastique	plaque d'isolation en polyuréthane	70	SW	0,29	9
Plastique	PVC, sol plastique, mat, structuré	70	LW	0,93	9
Plastique	PVC, sol plastique, mat, structuré	70	SW	0,94	9
Plastique	stratifié en fibre de verre (carte de circuit imprimé)	70	LW	0,91	9
Plastique	stratifié en fibre de verre (carte de circuit imprimé)	70	SW	0,94	9
Platine		17	T	0,016	4
Platine		22	T	0,03	4

1	2	3	4	5	6
Platine		100	T	0,05	4
Platine		260	T	0,06	4
Platine		538	T	0,10	4
Platine		1000–1500	T	0,14–0,18	1
Platine		1094	T	0,18	4
Platine	fil	50–200	T	0,06–0,07	1
Platine	fil	500–1000	T	0,10–0,16	1
Platine	fil	1400	T	0,18	1
Platine	pur, poli	200–600	T	0,05–0,10	1
Platine	ruban	900–1100	T	0,12–0,17	1
Plâtre		17	SW	0,86	5
Plâtre	panneau de plâtre, non traité	20	SW	0,90	6
Plâtre	revêtement brut	20	T	0,91	2
Plomb	brillant	250	T	0,08	1
Plomb	non oxydé, poli	100	T	0,05	4
Plomb	oxydé, gris	20	T	0,28	1
Plomb	oxydé, gris	22	T	0,28	4
Plomb	oxydé à 200 °C	200	T	0,63	1
Polystyrène expansé	isolation	37	SW	0,60	7
Porcelaine	blanche, brillante		T	0,70–0,75	1
Porcelaine	émaillée	20	T	0,92	1
Sable			T	0,60	1
Sable		20	T	0,90	2
Scories	chaudière	0–100	T	0,97–0,93	1
Scories	chaudière	200–500	T	0,89–0,78	1
Scories	chaudière	600–1200	T	0,76–0,70	1
Scories	chaudière	1400–1800	T	0,69–0,67	1

1	2	3	4	5	6
Sol	saturé d'eau	20	T	0,95	2
Sol	sec	20	T	0,92	2
Stuc	brut, chaulé	10–90	T	0,91	1
Tissus	noir	20	T	0,98	1
Titane	oxydé à 540 °C	200	T	0,40	1
Titane	oxydé à 540 °C	500	T	0,50	1
Titane	oxydé à 540 °C	1000	T	0,60	1
Titane	poli	200	T	0,15	1
Titane	poli	500	T	0,20	1
Titane	poli	1000	T	0,36	1
Tungstène		200	T	0,05	1
Tungstène		600–1000	T	0,1–0,16	1
Tungstène		1500–2200	T	0,24–0,31	1
Tungstène	filament	3300	T	0,39	1
Vernis	3 couleurs pulvérisées sur aluminium	70	LW	0,92–0,94	9
Vernis	3 couleurs pulvérisées sur aluminium	70	SW	0,50–0,53	9
Vernis	Aluminium sur une surface brute	20	T	0,4	1
Vernis	bakélite	80	T	0,83	1
Vernis	blanc	40–100	T	0,8–0,95	1
Vernis	blanc	100	T	0,92	2
Vernis	mat	20	SW	0,93	6
Vernis	noir, brillant, pulvérisé sur fer	20	T	0,87	1
Vernis	noir, mat	40–100	T	0,96–0,98	1
Vernis	noir, mat	100	T	0,97	2

1	2	3	4	5	6
Vernis	résistant à la chaleur	100	T	0,92	1
Vernis	sur sol recouvert de parquet en chêne	70	LW	0,90–0,93	9
Vernis	sur sol recouvert de parquet en chêne	70	SW	0,90	9
Zinc	feuille	50	T	0,20	1
Zinc	oxydé à 400 °C	400	T	0,11	1
Zinc	poli	200–300	T	0,04–0,05	1
Zinc	surface oxydée	1000–1200	T	0,50–0,60	1

A note on the technical production of this publication

This publication was produced using XML—the *eXtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit <http://www.w3.org/XML/>

A note on the typeface used in this publication

This publication was typeset using Swiss 721, which is Bitstream's pan-European version of the Helvetica™ typeface. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980).

List of effective files

20235106.xml b18
20235206.xml b10
20235306.xml b12
20236706.xml b24
20237106.xml b12
20238506.xml a8
20238706.xml a9
20250406.xml a16
20254903.xml a62
20257006.xml a22
20257106.xml a6
20257306.xml a12
20273206.xml a11
20275206.xml a13
20279806.xml a5
20281006.xml a3
20287306.xml a4
20289006.xml a2
20289106.xml a1
20289206.xml a2
20289306.xml a3
20289406.xml a1
20289506.xml a3
20289706.xml a2
20289806.xml a1
20289906.xml a2
20290006.xml a1
20290106.xml a2
20290206.xml a3
20290306.xml a1
20290406.xml a1
20292406.xml a1
20294806.xml a2
20295106.xml a2
20295206.xml a1
R115.rcp a4
config.xml a5



Corporate Headquarters

FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA

Telephone: +1-800-727-3547
Website: <http://www.flir.com>