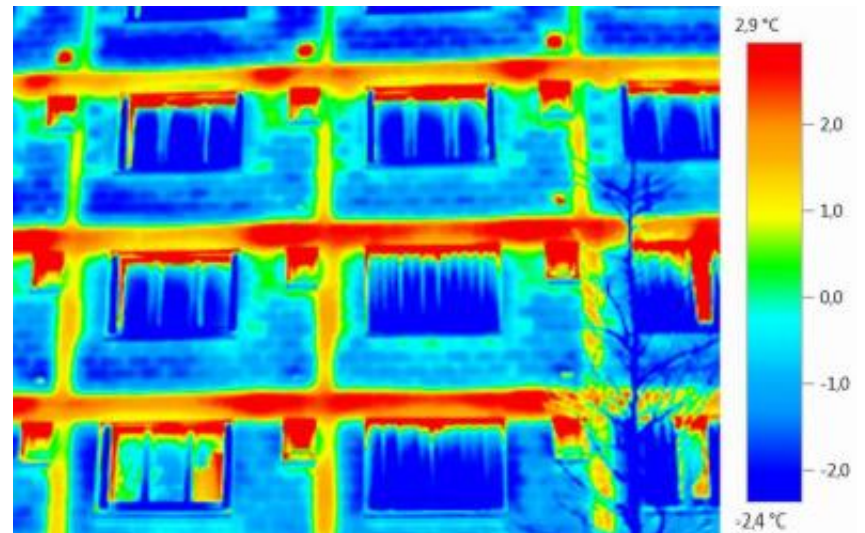
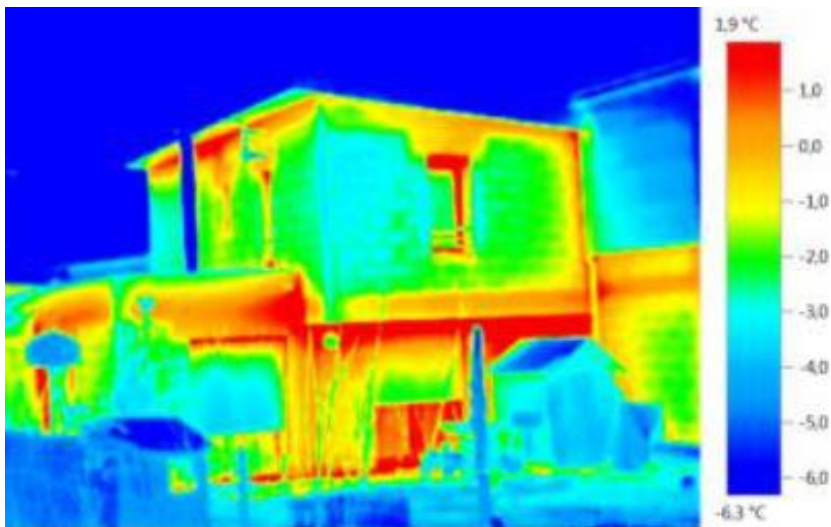


THERMOGRAPHIE

Appliquée au Bâtiment



Arnaud JACKYMSKI

Gérant SARL TEKNITYS

contact@teknitys.fr

1. Introduction à la thermographie
2. Base de la thermique
3. Technique de mesure
4. Analyse de thermogramme
5. Equipement
6. Exemples de clichés
7. Guide d'application
8. Norme NF EN 13187

• Définition

- L'AFNOR définit la thermographie comme la « technique permettant d'obtenir, au moyen d'un appareillage approprié, l'image thermique d'une scène observée dans un domaine spectral de l'infrarouge ». (*Norme applicative NF EN 13187*)
- La thermographie est la science de l'acquisition et de l'analyse d'une information thermique par un appareil d'imagerie sans contact.

- **Définition**

- La thermographie est la technique qui met en image thermique les rayonnements reçus de la scène observée par la camera thermique, par exemple un bâtiment. Ces rayonnements sont dits thermiques parce qu'ils sont émis par la matière et que leur puissance dépend de la température de cette matière.

Rayonnement émis:

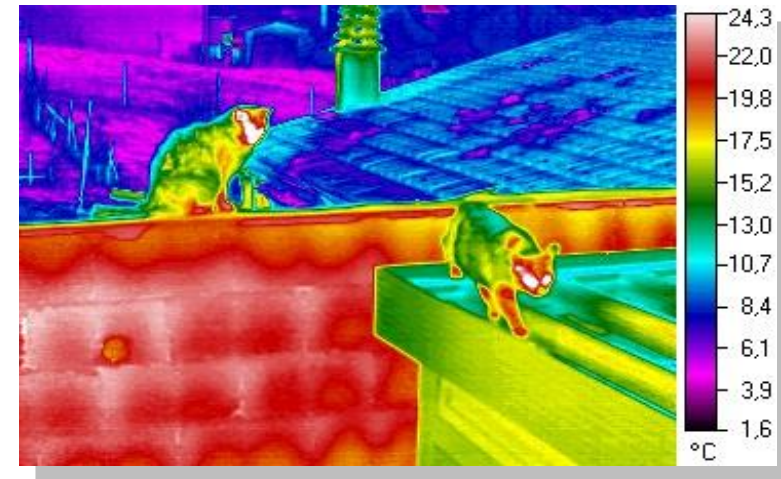
La matière émet, de façon naturelle, un rayonnement électromagnétique

lumière **visible**

= rayonnement émis

par un objet **chaud**

au dessus de $\approx 500^{\circ}\text{C}$!



lumière **invisible**

= rayonnement émis

par un objet **froid**

au dessous de $\approx 500^{\circ}\text{C}$!

• Quels sont les avantages ?

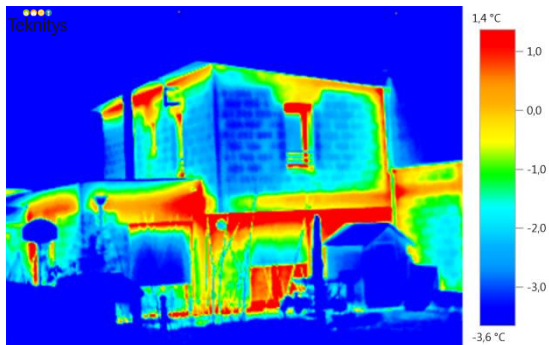
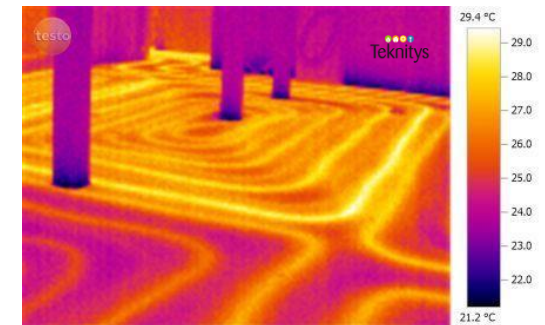
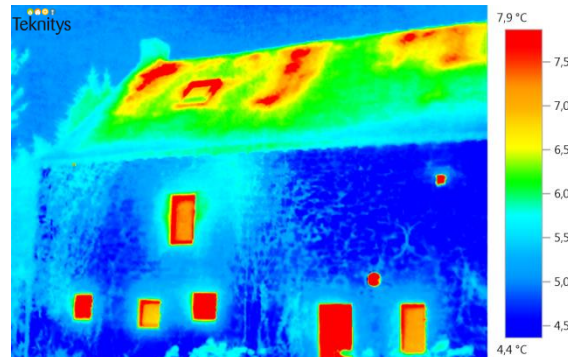
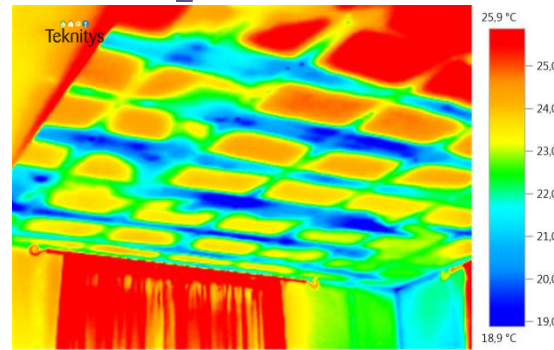
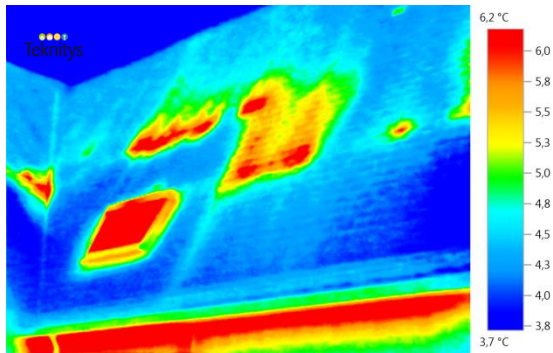
• Définition

- Sans contact - utilise la détection à distance
 - ⌘ Laisse l'utilisateur hors d'une zone dangereuse
 - ⌘ N'affecte pas la cible visée
 - ⌘ Permet des mesures sur une pièce en mouvement
- Une image bidimensionnelle
 - ⌘ Une localisation facile
- En temps réel
 - ⌘ Pour des visées rapides sur des cibles stationnaires
 - ⌘ Pour des captures de phénomènes rapides

• Quelles sont les applications ?

▫ Bâtiment

∞ Détection pont thermique, défaut d'isolation, humidité ...)



Dans l'ancien

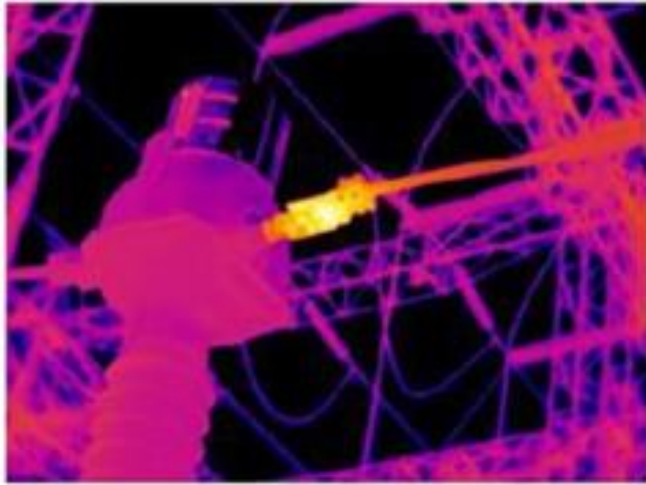
- ✓ Audit énergétique (isolation/infiltrations...)
- ✓ Diagnostic de Performance Energétique
- ✓ Recherche structure bâtiment (colombage par exemple).
- ✓ Analyse réseaux de chauffage (fuite/embouage ...)
- ✓ Détection humidité (condensation/recherche de fuite/toiture terrasse...)
- ✓ Contrôle après travaux
- ✓ Expertise

Dans le neuf

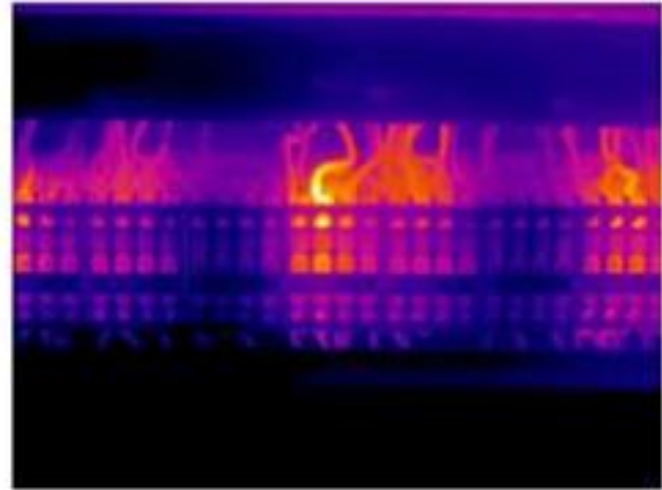
- ✓ Vérification de mise en œuvre de l'isolation.
- ✓ Vérification de mise en œuvre des rupteurs de pont thermique.
- ✓ Vérification des réseaux de chauffage/froid
- ✓ Vérification des vitrages et menuiseries
- ✓ Infiltration d'air parasite (+ Infiltrométrie)
- ✓ Expertise

Introduction

- Quelles sont les applications ?
 - Electricité

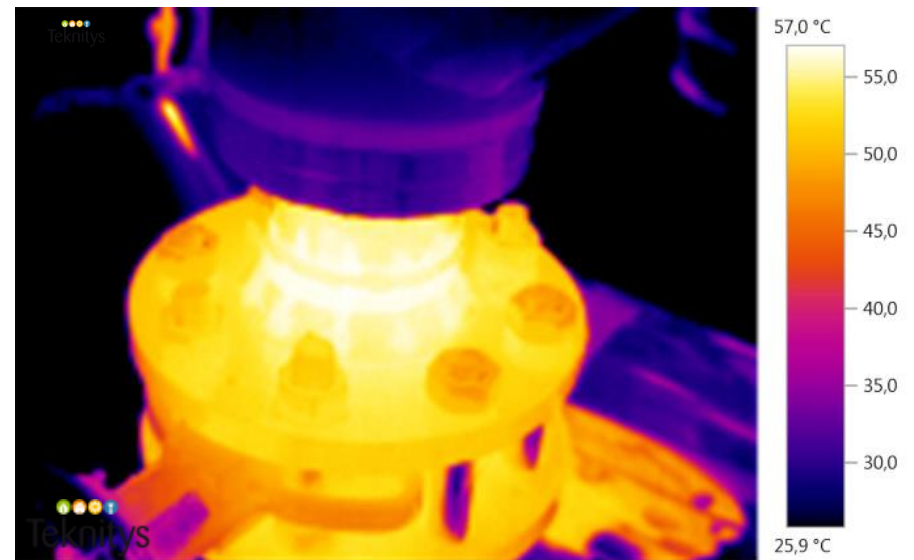
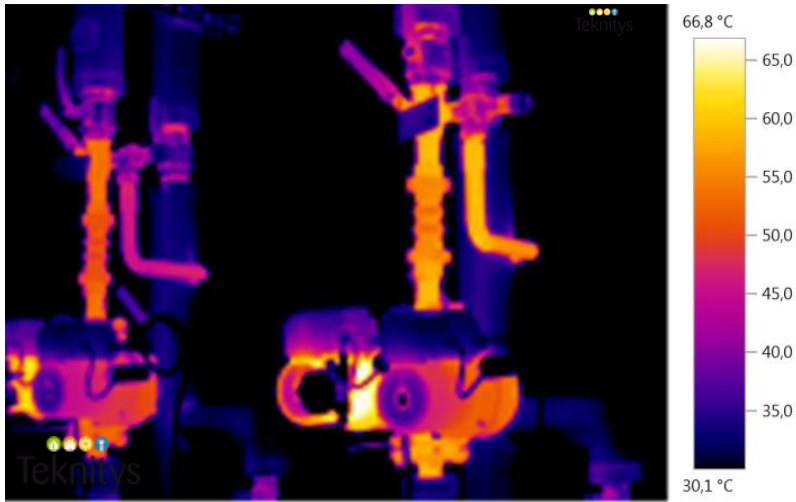


Haute tension



Basse tension

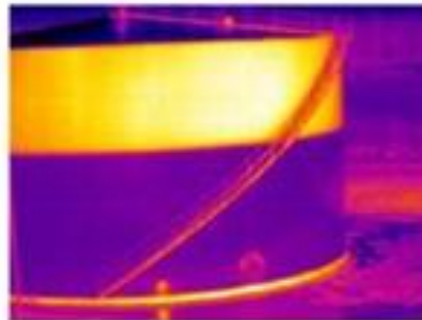
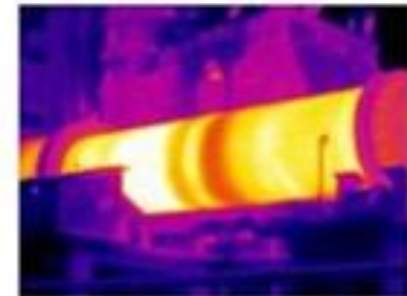
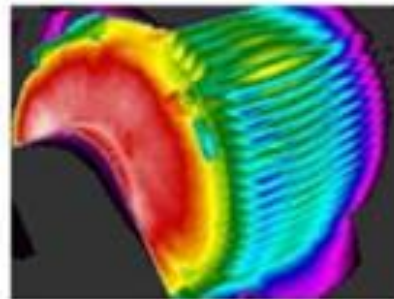
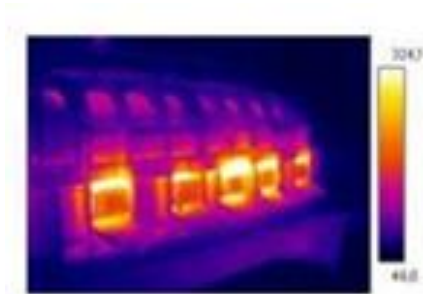
- Quelles sont les applications ?
 - Fluides



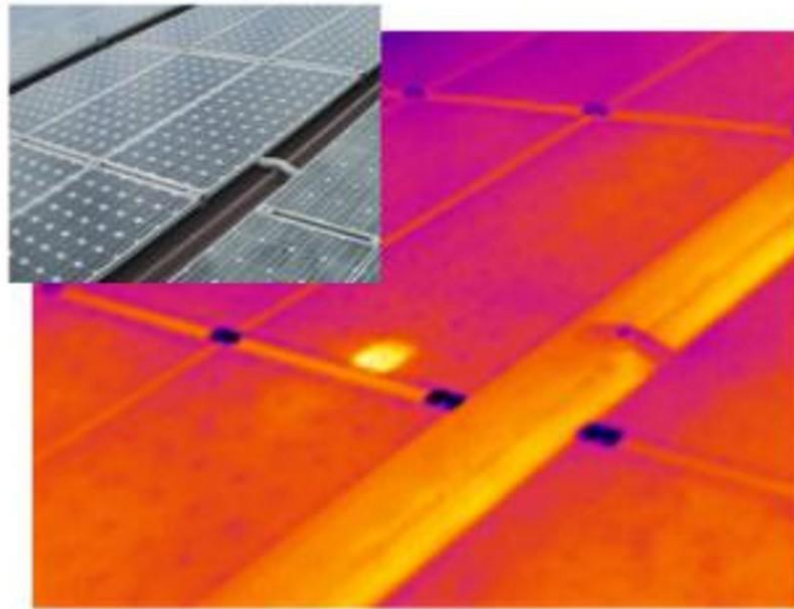
• Quelles sont les applications ?

▫ Industries

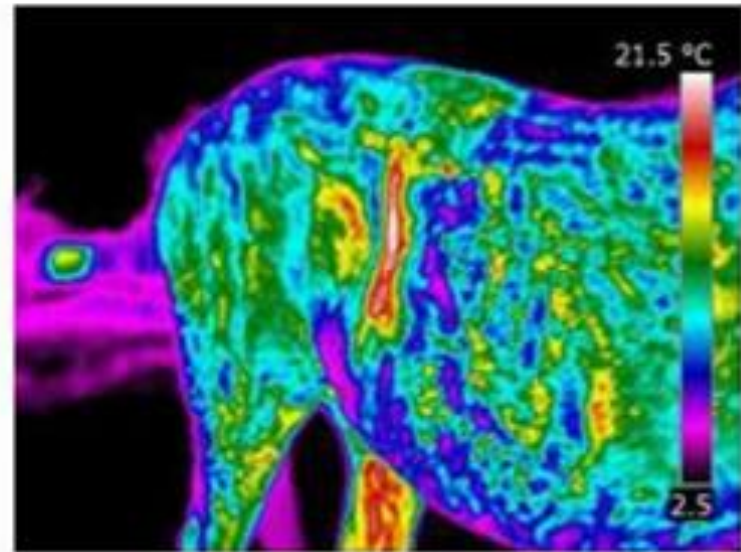
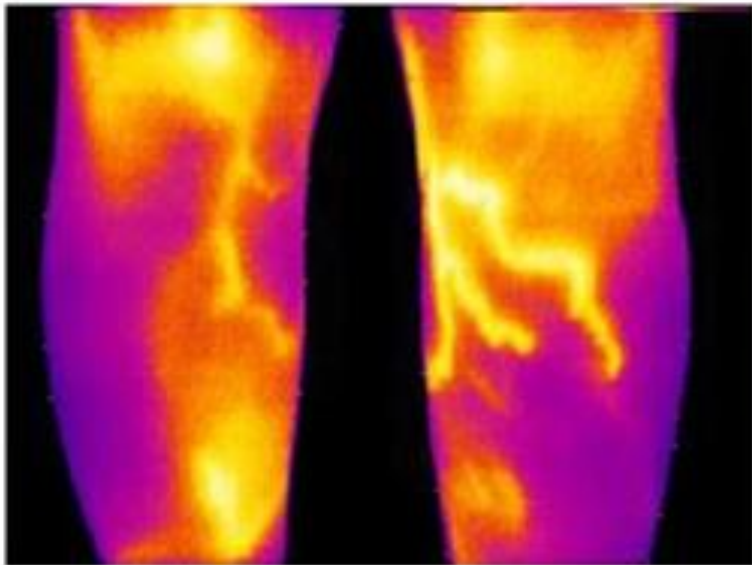
∞ Contrôle, mise au point, surveillance ...



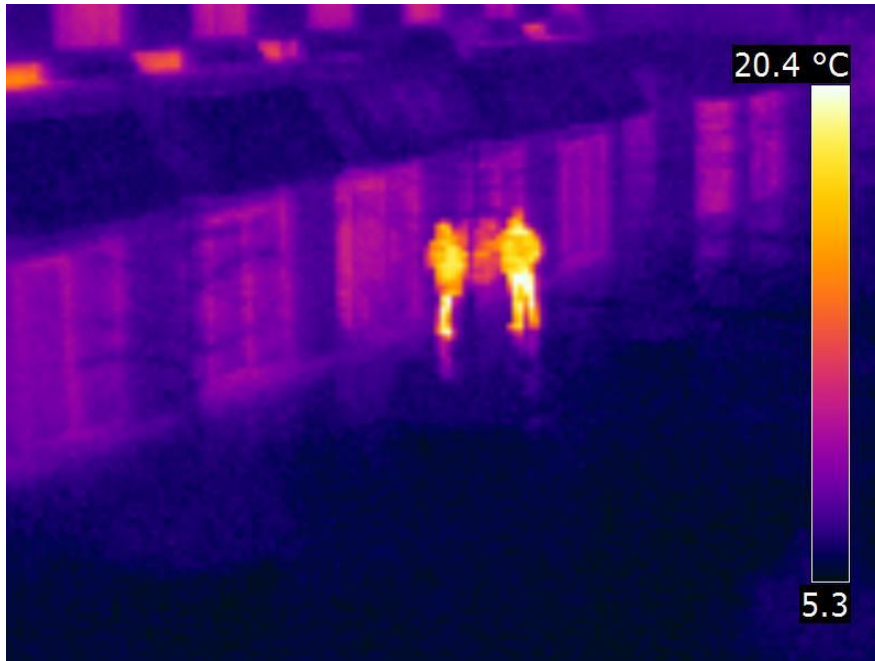
- Quelles sont les applications ?
 - Industries
 - ∞ Contrôle et maintenance PV...



- Quelles sont les applications ?
 - Médicale et vétérinaire

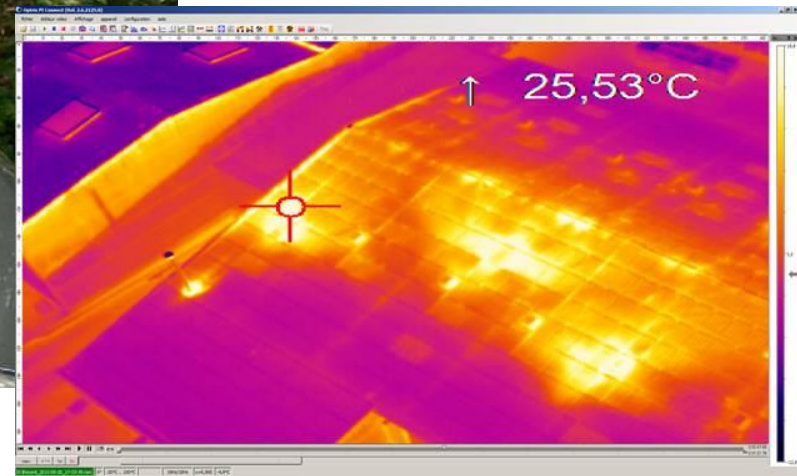


- Quelles sont les applications ?
 - Militaire/sécurité

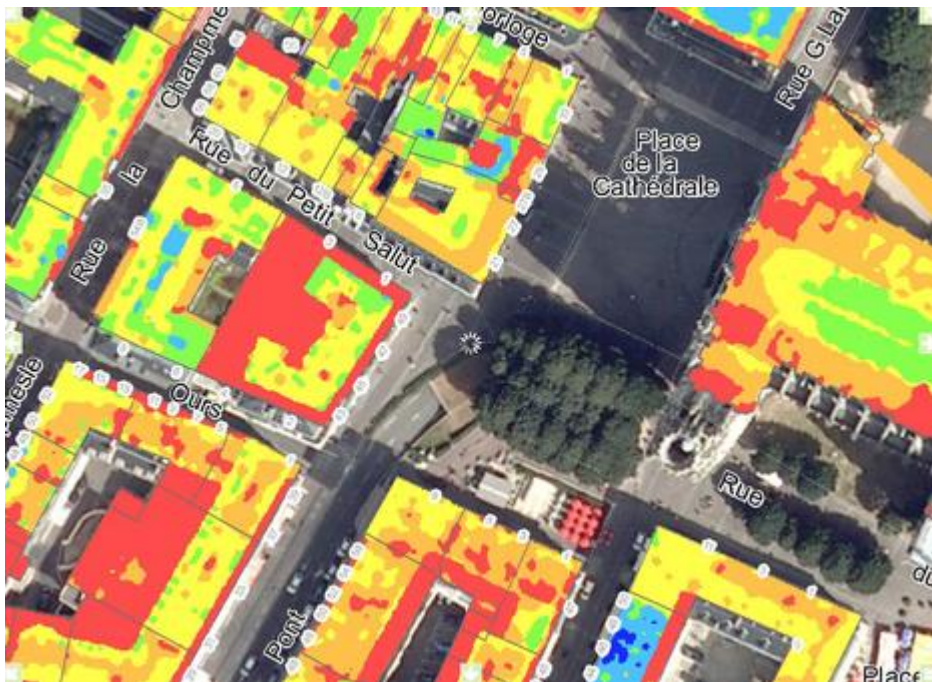


• Quelles sont les applications ?

↳ Semi aérienne...



- Quelles sont les applications ?
 - Thermographie aérienne



• Quelles sont les limites ? Les difficultés ?

RAYONNEMENT...

TEMPERATURE APPARENTE ...

CONFINEMENT RADIATIF...

EMISSIVITE ...

TEMPERATURE VRAIE ...

REFLEXION ...

CONFINEMENT CONVECTIF...

BILAN THERMIQUE ...

MESURE DU U PAROI ...

1. Introduction à la thermographie
2. Bases de la thermique
3. Technique de mesure
4. Analyse de thermogramme
5. Equipement
6. Exemples de clichés
7. Guide d'application
8. Norme NF EN 13187

Les bases de la thermique

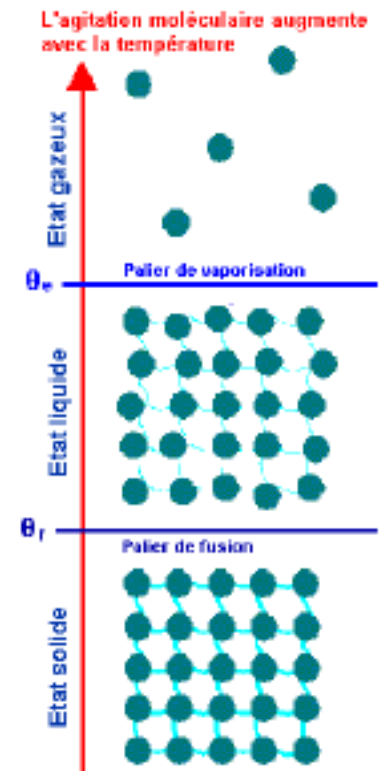
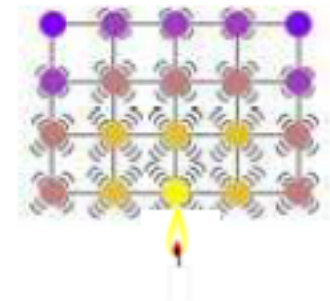
- A quoi est sensible une caméra thermographique ?

A une chaleur rayonnée

Et non à la température ...

• La température

- Définit le degré, l'état d'agitation des atomes et des molécules qui composent système.
- Unité : K (Kelvin) / Celsius

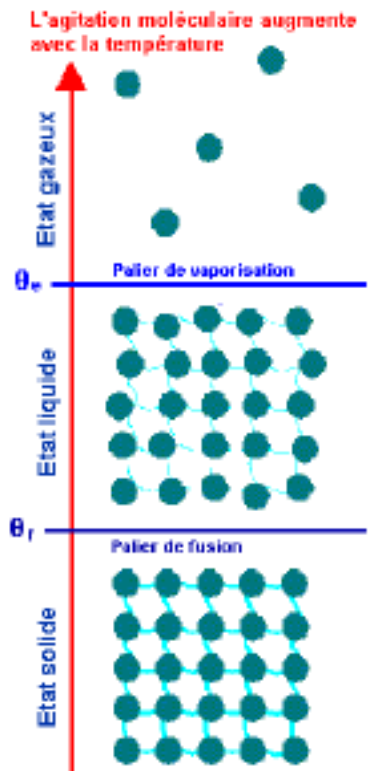
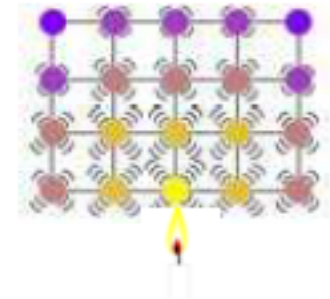


• La chaleur

▫ La chaleur représente la QUANTITE de molécules et d'atomes affectée dans le système.

▫ Unité : J (Joule) / Calorie - Wh

= L'ENERGIE



• L'ENERGIE

- L'énergie s'échange, s'additionne et se soustrait
- Principe de conservation de l'énergie :

La somme algébrique du travail et de l'énergie est une constante dans un système physique clos

$$E \text{ entrante} = \mathbf{E \text{ stockée}} + E \text{ sortante}$$

• L'ENERGIE

- L'énergie s'échange, s'additionne et se soustrait

100

+

100

=

200

• L'énergie

- L'énergie ne peut pas être créée ou détruite, simplement, elle est convertie sous une autre forme ou en travail
- L'énergie qui rentre dans un système ne peut que :
 - ∞ Y rester
 - ∞ Ou en sortir pour aller dans un autre système



Transformation de l'énergie électrique en énergie thermique :
- effet joules (four, radiateur ...)



Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique :
- générateur électriques - éolienne

Les bases de la thermique

- A la différence de l'énergie, on ne peut pas échanger, soustraire ou additionner, des températures

$$80^{\circ} + 80^{\circ} = 80^{\circ}$$

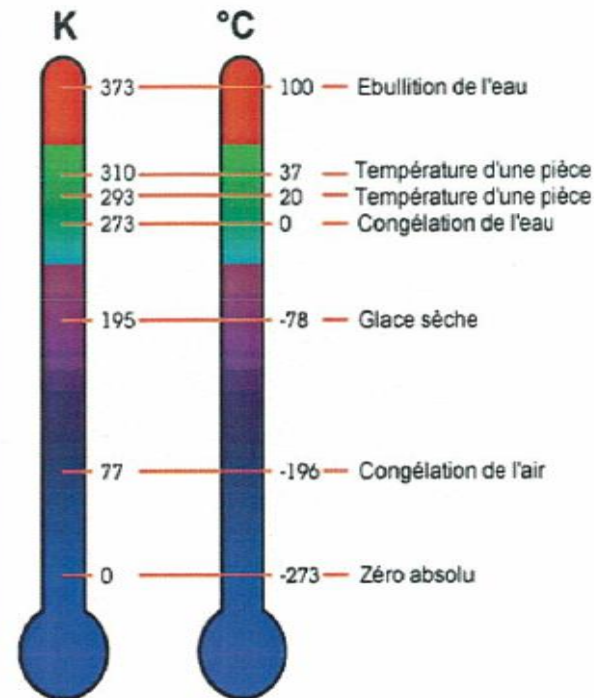
• L'échelle des températures

- Le degré Celsius :
0 °C : fusion de la glace
100 °C : évaporation de l'eau

- Le Kelvin :
0 K : Zéro absolu
0 K = - 273 °C
0 °C = 273 K

D'où, pour une différence de température équivalente :

$$\begin{aligned} (20\text{ °C} - 10\text{ °C}) &= (293\text{ K} - 283\text{ K}) \\ &= 10\text{ °C ou } 10\text{ K} \end{aligned}$$



Kelvin = unité de température thermodynamique.

- Echange des températures

- Lorsque 2 corps sont à des températures différentes, il y a échange de l'énergie thermique (flux de chaleur)

Direction du flux



La chaleur se déplace spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid

- Le transfert thermique

- Définition

Les transferts thermiques font partie d'un domaine de la thermodynamique appelé thermodynamique irréversible, c'est-à-dire, pour simplifier, que le phénomène ne peut pas revenir en arrière.

L'énergie transférée se présente essentiellement sous forme de chaleur qui va spontanément d'une zone chaude vers une zone froide (Second principe de la thermodynamique).

• Le transfert thermique

▫ Définition

Ce phénomène se présente sous trois formes différentes :

conduction ;
convection ;
rayonnement.

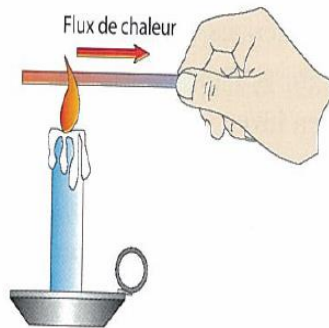
Chacun de ces trois modes est prépondérant dans son univers de prédilection : la conduction dans les solides, la convection dans les fluides en mouvement (liquides, gaz), le rayonnement dans le vide.

• Le transfert thermique

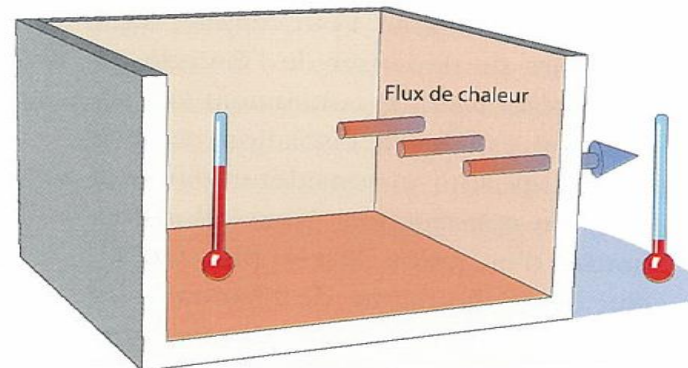
▫ Conduction

La conduction thermique est le phénomène par lequel la température d'un milieu s'homogénéise. Il correspond à la transmission de l'agitation thermique entre molécules et se produit dans un solide, un liquide ou un gaz.

Exemple : la température d'un barreau chauffé à une extrémité a tendance à s'uniformiser par conduction thermique.



Au niveau d'une paroi



Flux de chaleur à travers une paroi d'un local chauffé vers l'extérieur

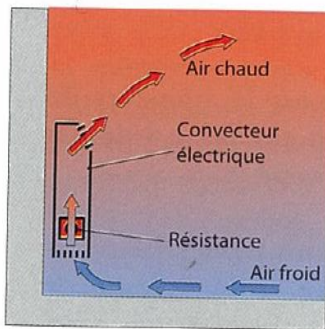
• Le transfert thermique

▫ Convection

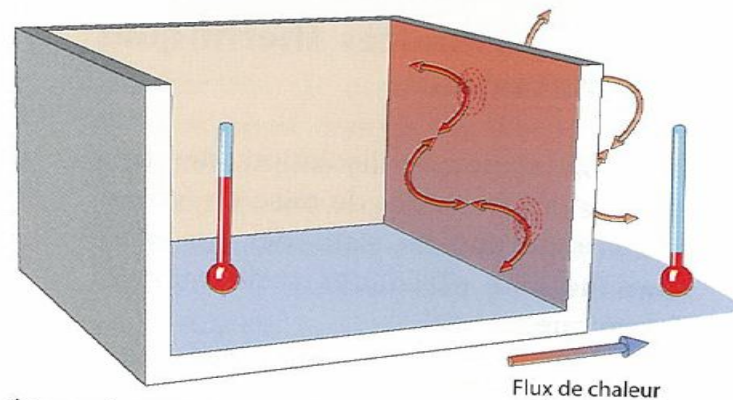
La convection est le transfert de chaleur provoqué par le mouvement des particules d'un fluide. Il se produit dans un fluide en mouvement.

Exemple : l'air chaud, moins dense, monte, transportant la chaleur du bas vers le haut.

La convection
Principe



Au niveau d'une paroi



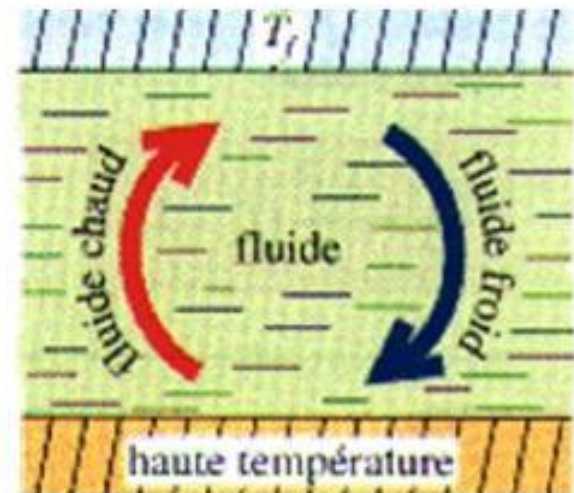
Échange thermique au niveau d'une paroi de température différente de celle de la pièce

V7 - 2022

• Le transfert thermique

▫ Convection

La **convection naturelle** est un phénomène de la mécanique des fluides, qui se produit lorsqu'une zone change de température et qu'elle se déplace alors verticalement sous l'effet de la poussée d'Archimède. Le changement de température d'un fluide influe en effet sur sa masse volumique, qui se trouve modifiée par rapport à la masse volumique du fluide environnant. De tels déplacements s'appellent des **mouvements de convection**.



• Le transfert thermique

▫ Rayonnement

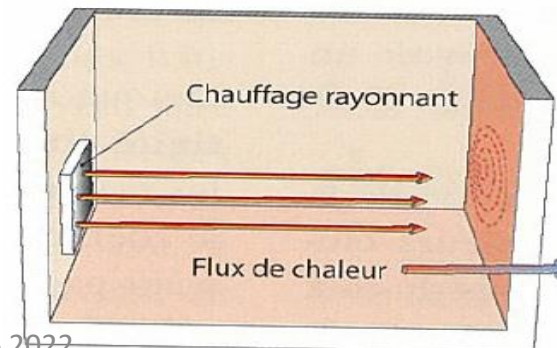
Le rayonnement est le transfert de chaleur par propagation d'ondes électromagnétiques ou par désintégration radioactive. Il peut se produire dans tous les milieux, vide y compris.

Exemple : la Terre est chauffée par le rayonnement du soleil.

Le rayonnement
Principe



Au niveau d'une paroi



- Le transfert thermique

- Le Rayonnement

Le rayonnement est un transfert de chaleur d'un corps à un autre par ondes électromagnétiques.

Il s'agit du rayonnement **infrarouge**.

On réchauffe les masses indépendamment de la température de l'air.

Tout corps chauffé émet un rayonnement infrarouge.

o Kelvin => -273°C => pas d'énergie => pas de rayonnement

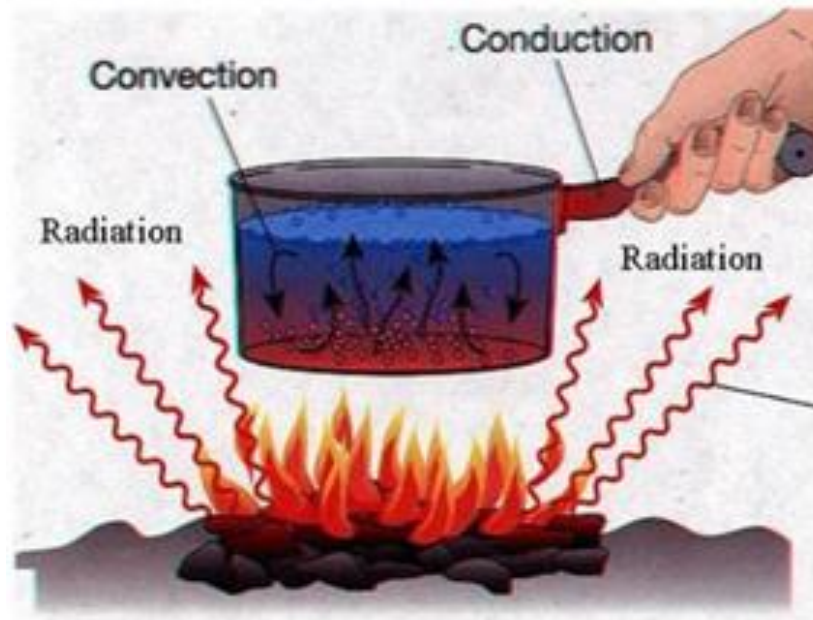
• Le transfert thermique

▫ Rayonnement

- Tous les corps émettent de l'énergie sous forme de rayons infrarouges.
- Cette énergie rayonnante se transfère du corps le plus chaud au corps le plus froid.

• Le transfert thermique

▫ Synthèse



Les bases de la thermique

• Le transfert thermique

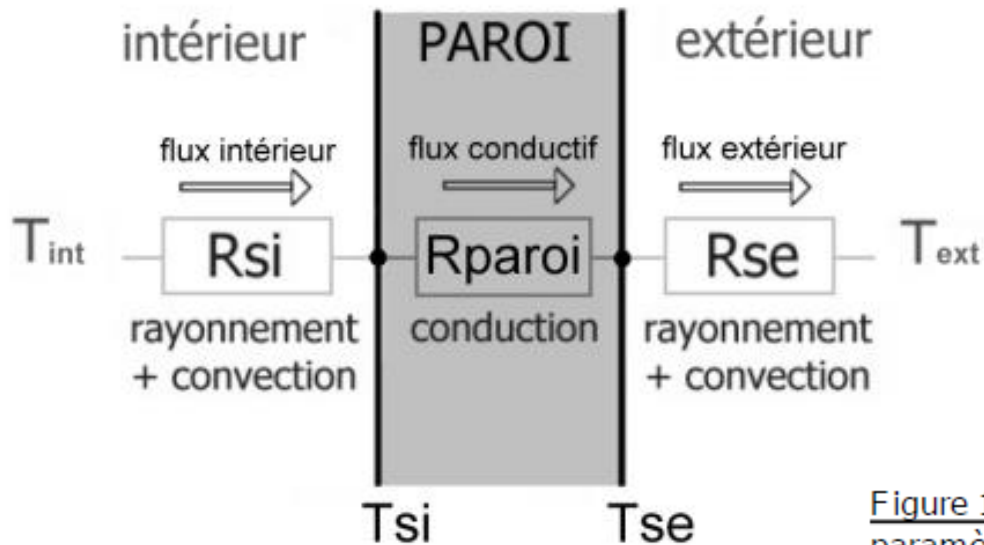


Figure 1 - thermique statique simplifiée usuelle - paramètres intervenant sur les températures de surface T_{si} et T_{se}

- résistance de la paroi R
- température intérieure T_{int}
- température extérieure T_{ext}
- résistance aux transferts thermiques en surface R_{si} , R_{se}

• Le transfert thermique

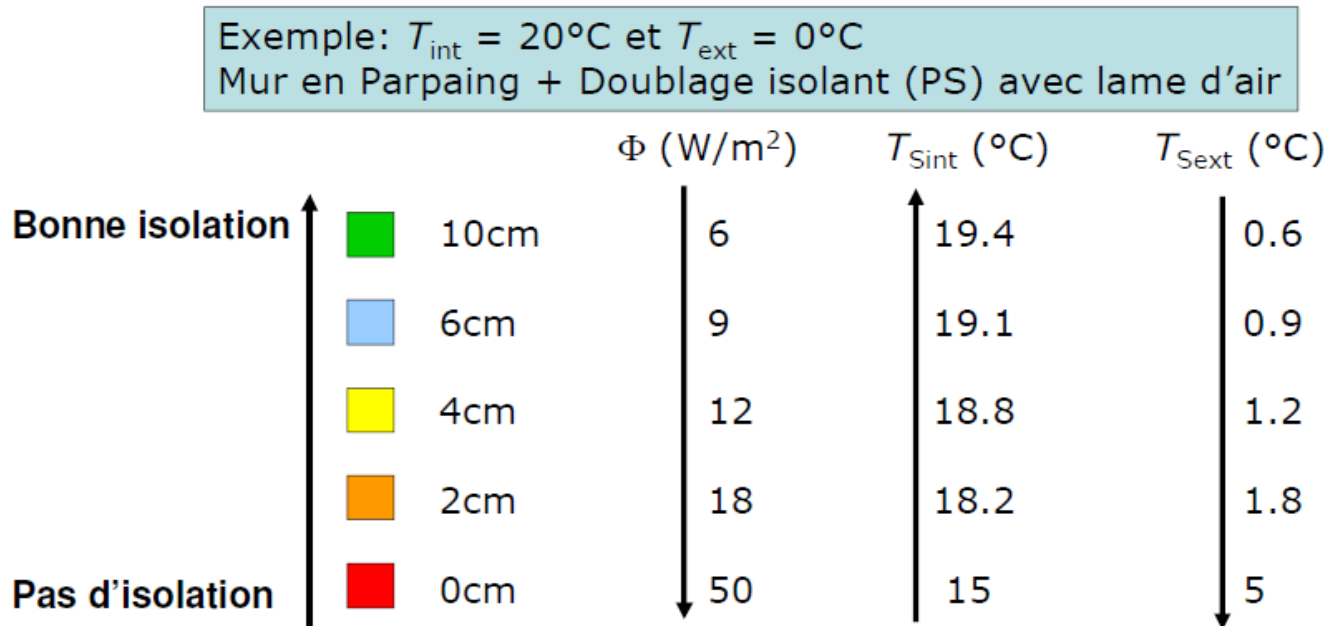


Figure 2 - Ordres de grandeur des températures de surface d'une paroi de bâtiment en fonction du niveau d'isolation

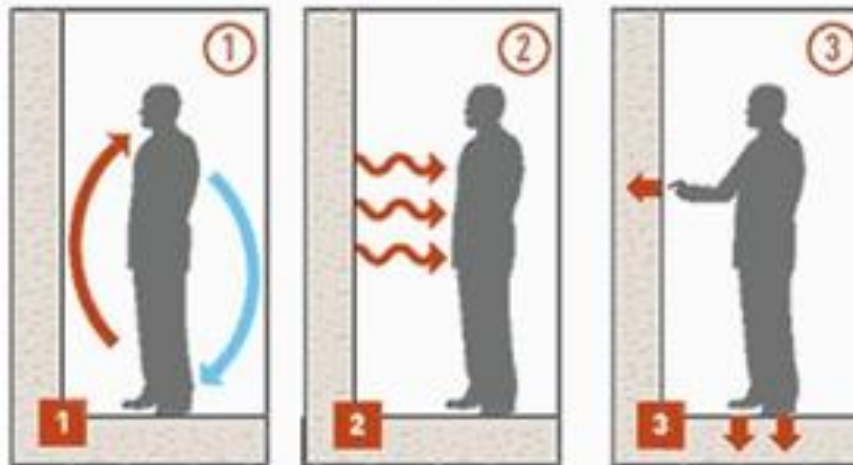
• Le transfert thermique

▫ Synthèse

Votre confort thermique se mesure en fonction des échanges qui se produisent entre votre corps et son environnement. Ces échanges se font au niveau de la peau .

Ils sont de trois natures:

Convection, conduction, rayonnement



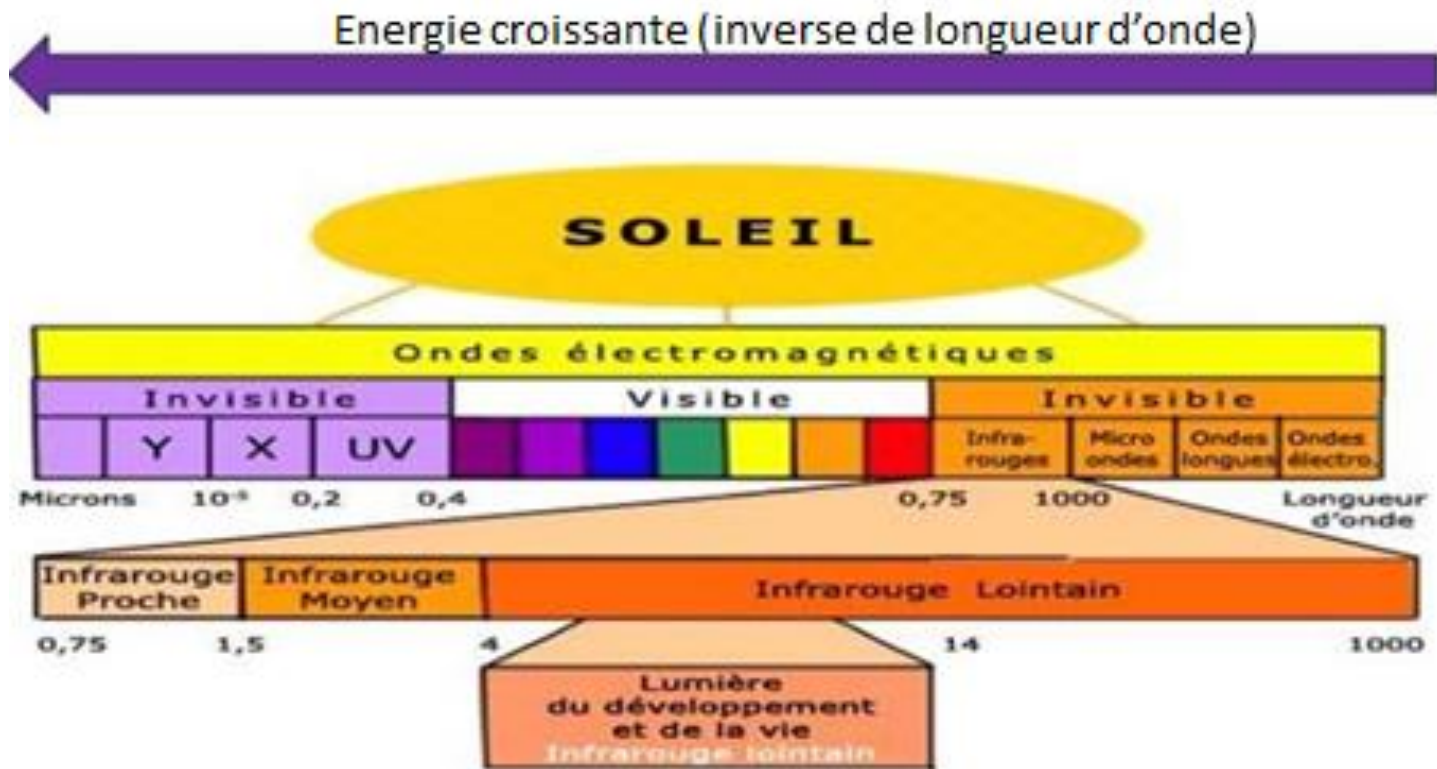
1 Le phénomène de convection entre la peau et l'air. 2 La conduction par contact direct entre la peau et les objets. 3 Le rayonnement.

• Rayonnement

- Mode de transfert thermique faisant intervenir l'absorption et l'émission d'ondes électromagnétiques
- Le rayonnement thermique est un rayonnement électromagnétique
- Tout objet à une T° supérieure à 0 K émet un rayonnement thermique.
- C'est une onde qui passe bien à travers les gaz et moins bien à travers les liquides et solides
- La chaleur résulte de l'absorption et l'émission d'ondes électromagnétiques.

• Ondes électromagnétiques

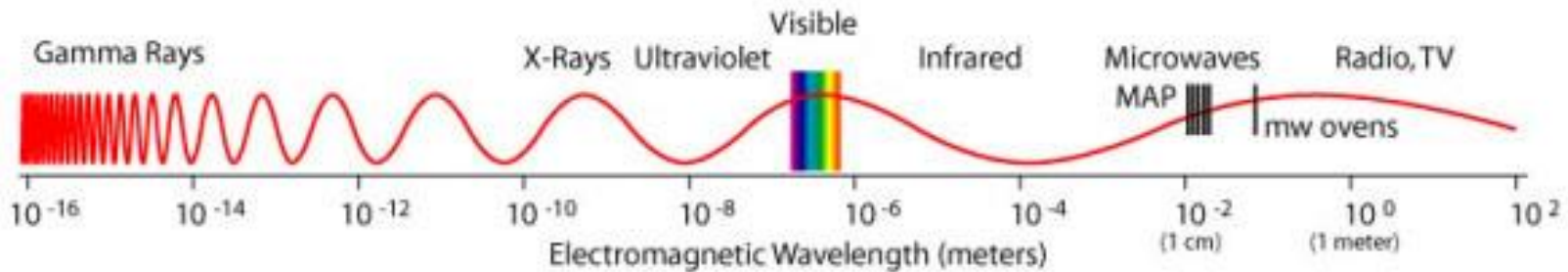
- Les ondes sont caractérisées par l'énergie qu'elles transportent, selon leur LONGUEUR D'ONDE ou leur FREQUENCE



• Ondes électromagnétiques

▫ Rayonnement

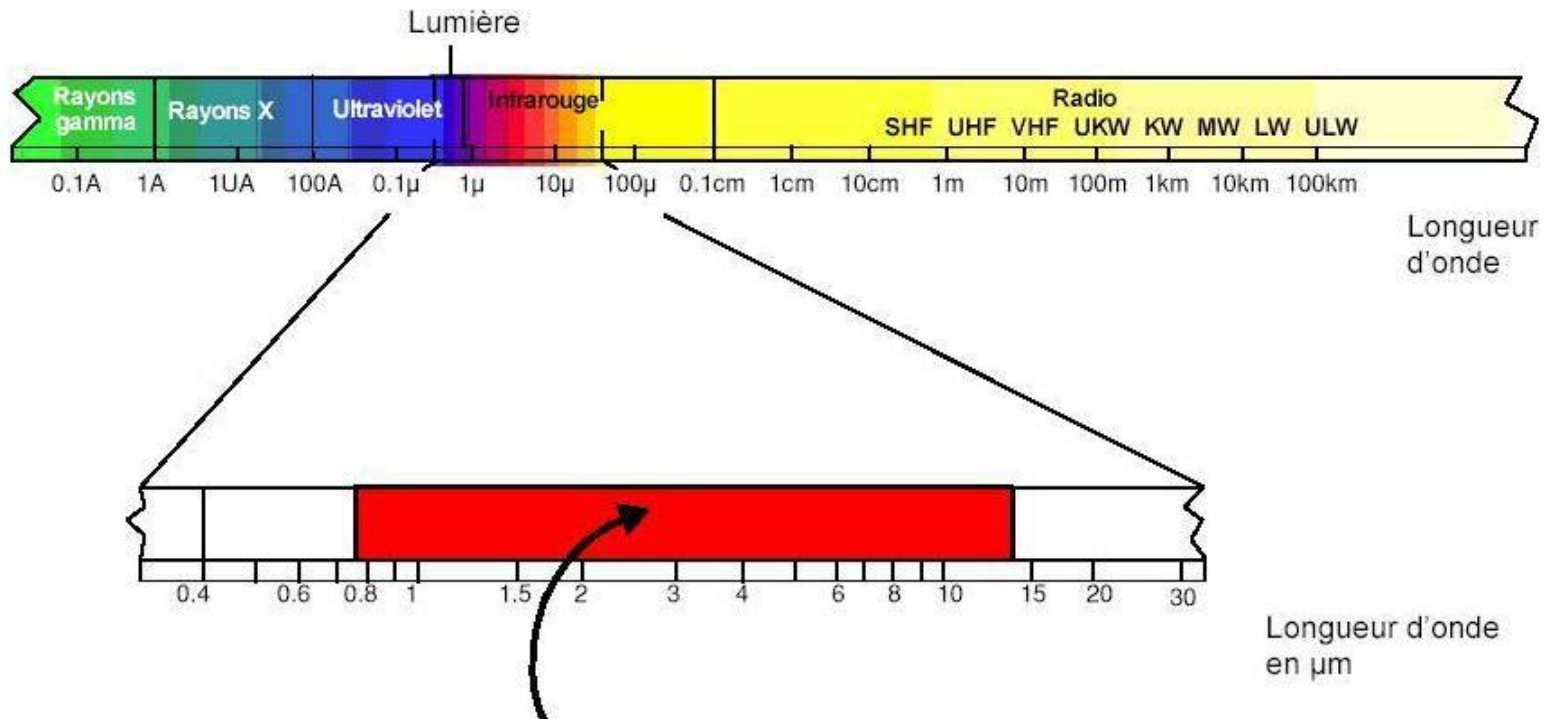
Le rayonnement de chaleur se traduit par des ondes électromagnétiques d'une certaine fréquence.



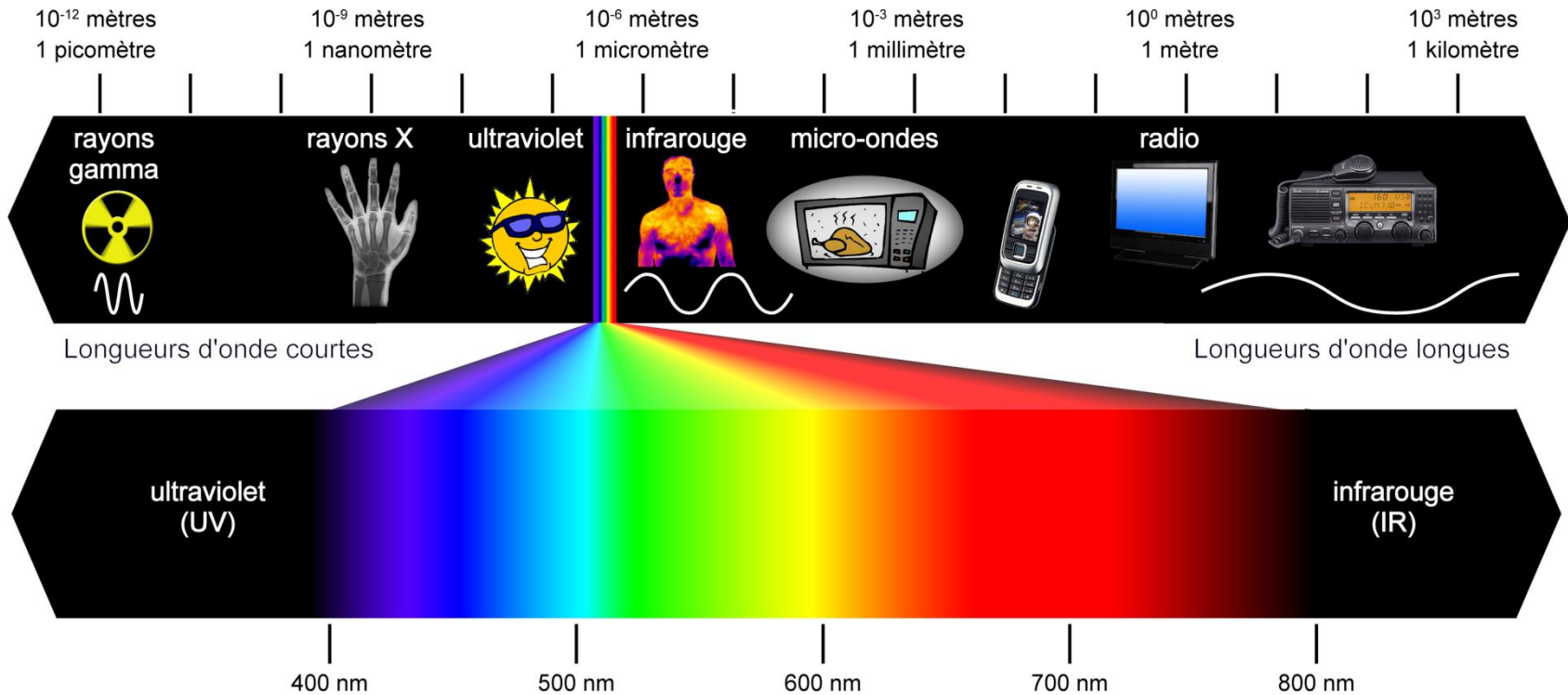
Toutes les longueurs d'onde de la lumière ...

• Ondes électromagnétiques

▫ Rayonnement

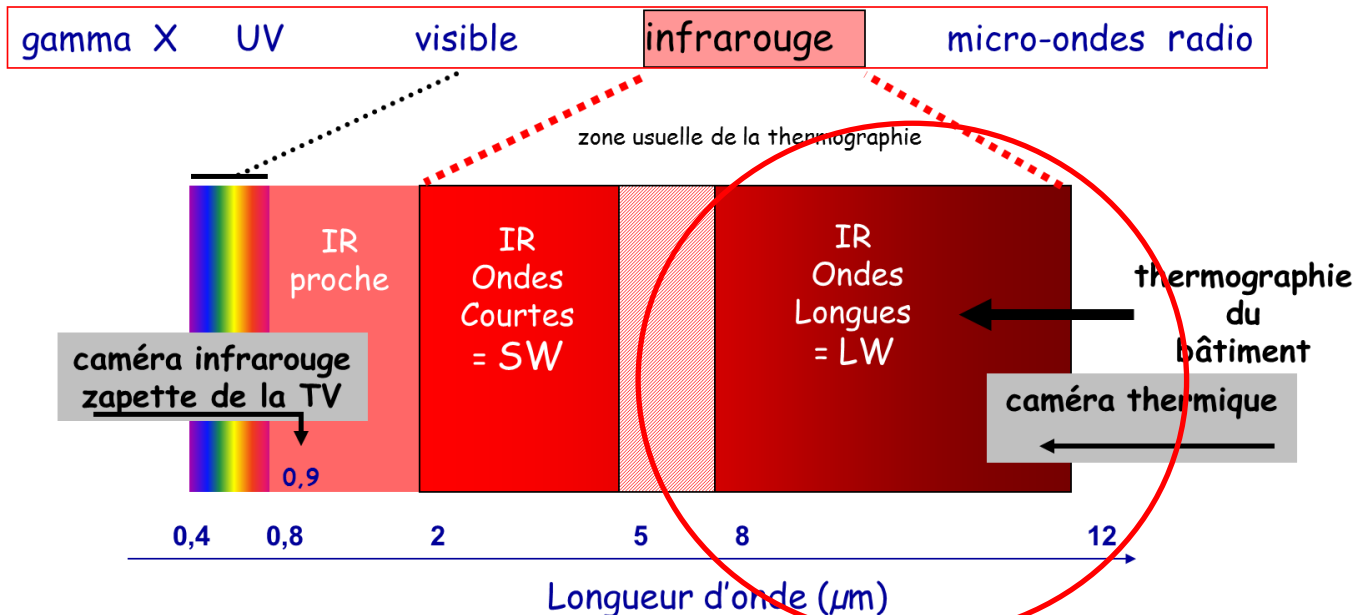


- Ondes électromagnétiques
 - Rayonnement



• Rayonnement IR

- Pour des niveaux de température courants sur terre (-50° à 2000°), les ondes émises naturellement pour les matériaux le sont dans un domaine qui s'appelle INFRAROUGE THERMIQUE



**THERMOGRAPHIE
BATIMENT:
entre 8 et 12 μm**

• Rayonnement IR

- La caméra thermographique est un appareil qui capte le rayonnement invisible pour le restituer sous forme d'image « thermique » avec une palette de couleur.



. Un rayonnement IR

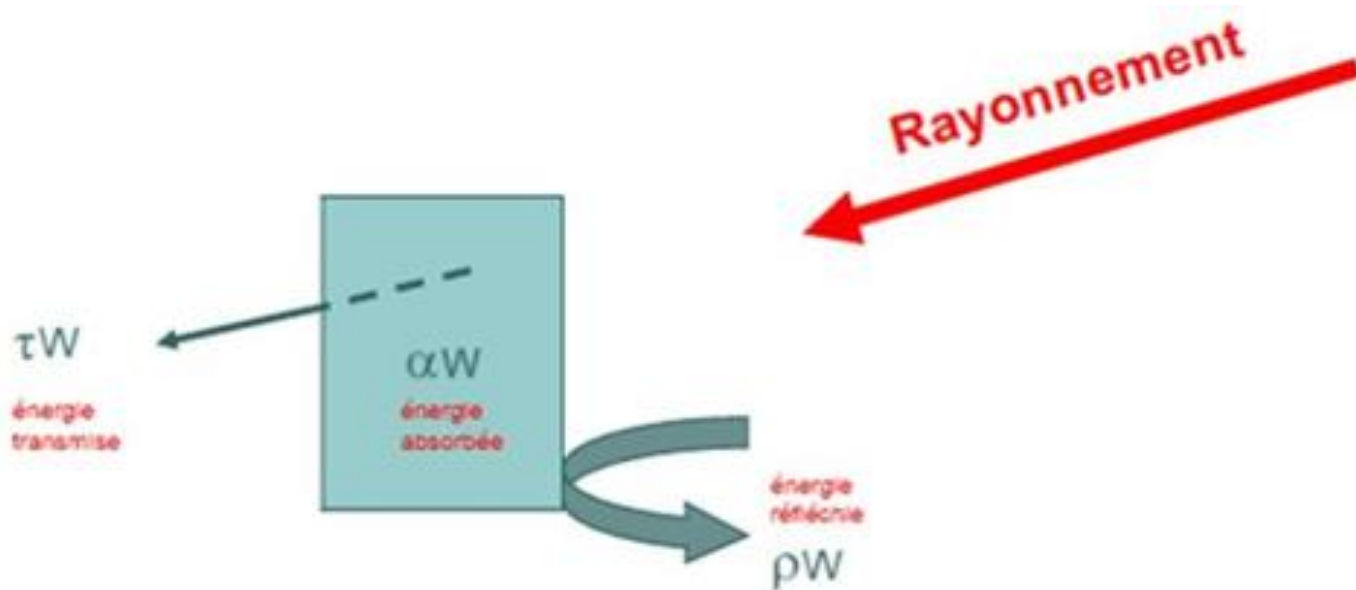
Principe de la thermodynamique

=

Conservation de l'énergie

- Un objet à une température T reçoit un rayonnement
 - ∞ L'énergie incidente peut être :
 - ∞ Absorbée
 - ∞ Transmise
 - ∞ Réfléchie

- Rayonnement IR
Bilan radiatif:



• Rayonnement IR

- Absorption, réflexion et transmission existent pour tous les matériaux
- Tous les matériaux absorbent

cependant ils ne font pas qu'absorber,

sinon leur température ne cesserait de croître !!!

Ils perdent donc de l'énergie pour rester stable.

Ce processus s'appelle EMISSION

Les bases de la thermique

• Rayonnement IR Bilan radiatif

- Principe de conservation de l'énergie - Loi de KIRCHHOFF



Les bases de la thermique

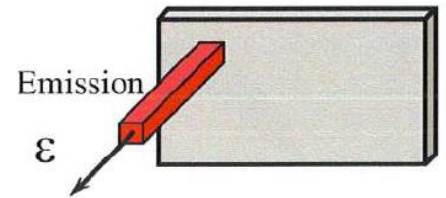
- Rayonnement IR Bilan radiatif:
 - Principe de conservation de l'énergie - Loi de KIRCHHOFF



• De l'énergie à la température de surface

- L'aptitude d'un matériau à émettre son énergie s'appelle :

∞ **EMISSIVITE (ϵ)**



- C'est une valeur relative comprise entre 0

(réflecteur parfait) et 1 (émetteur parfait - corps noir)

Emissivité: rapport entre la luminance émise par le corps réel et celle émise par le corps noir (pour la même température)

- Ce qui se réfléchit sur le matériau vers la caméra s'appelle :

**TEMPERATURE APPARENTE REFLECHIE (TAR) ou
TEMPERATURE D'ENVIRONNEMENT RADIATIF (TER)**

• De l'énergie à la température de surface

Rayonnement réfléchi:

Nos yeux voient **les corps par le rayonnement qu'ils réfléchissent** (dans le spectre visible).

Les corps réels ont donc une aptitude à réfléchir les rayonnements qui leur parviennent:

facteur de réflexion (de 0 à 1)

Type de réflexion (spéculaire ou diffus isotrope)

Les rayonnements émis et réfléchis se superposent !!!

Suppression du rayonnement réfléchi:

Dans le visible: on éteint la lumière !

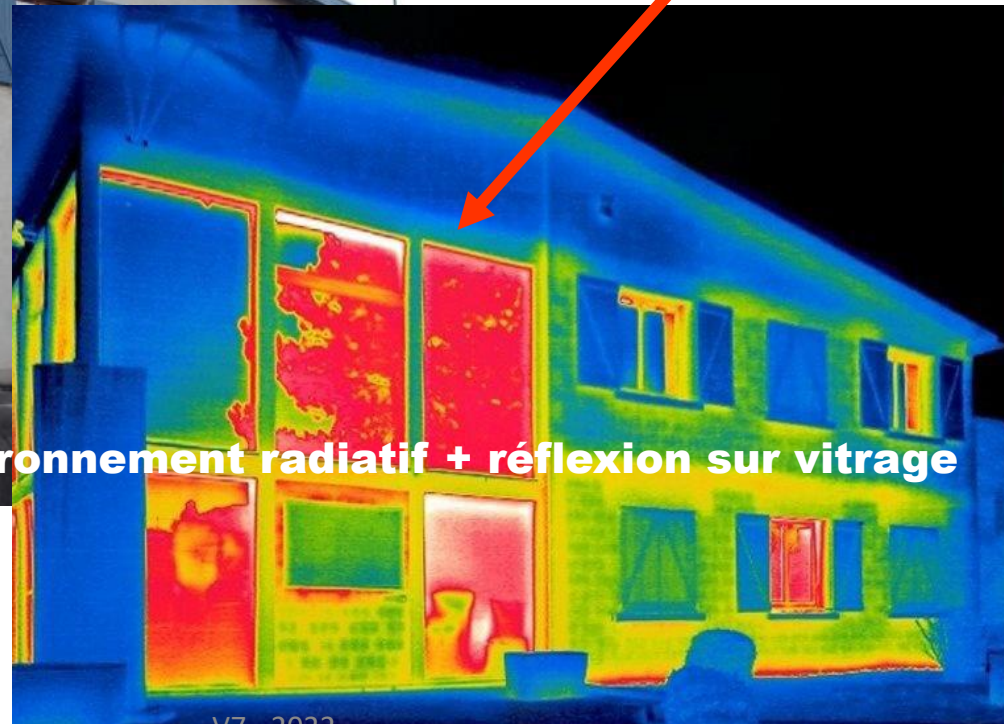
Et dans l'infrarouge ?

Les bases de la thermique

- De l'énergie à la température de surface



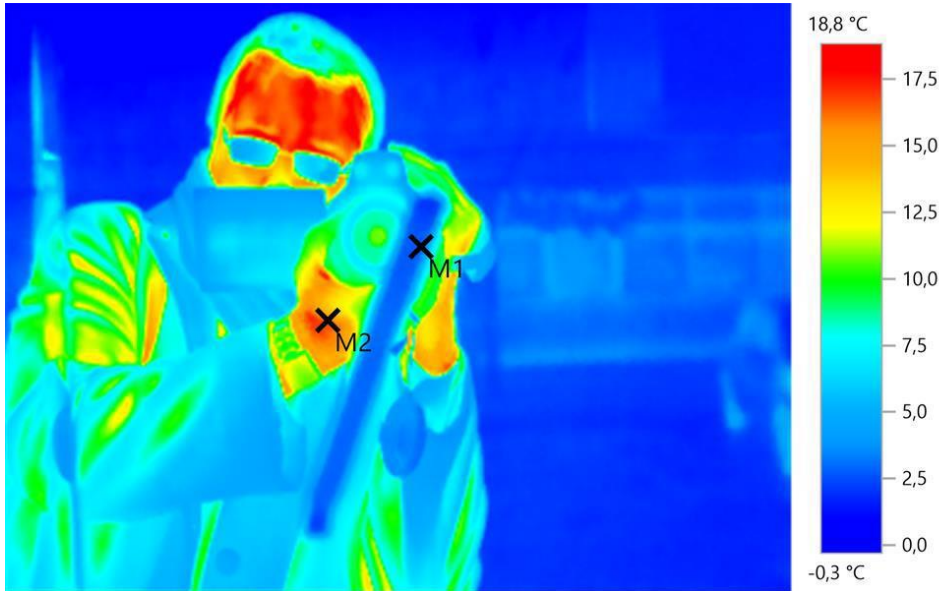
Pas de défaut !!!



Les bases de la thermique

. De l'énergie à la température de surface

Réflexion sur bardage inox ...



Température apparente M2: 16 °C
Température apparente M1: 1,5 °C

Laquelle est la température vraie ?

. De l'énergie à la température de surface

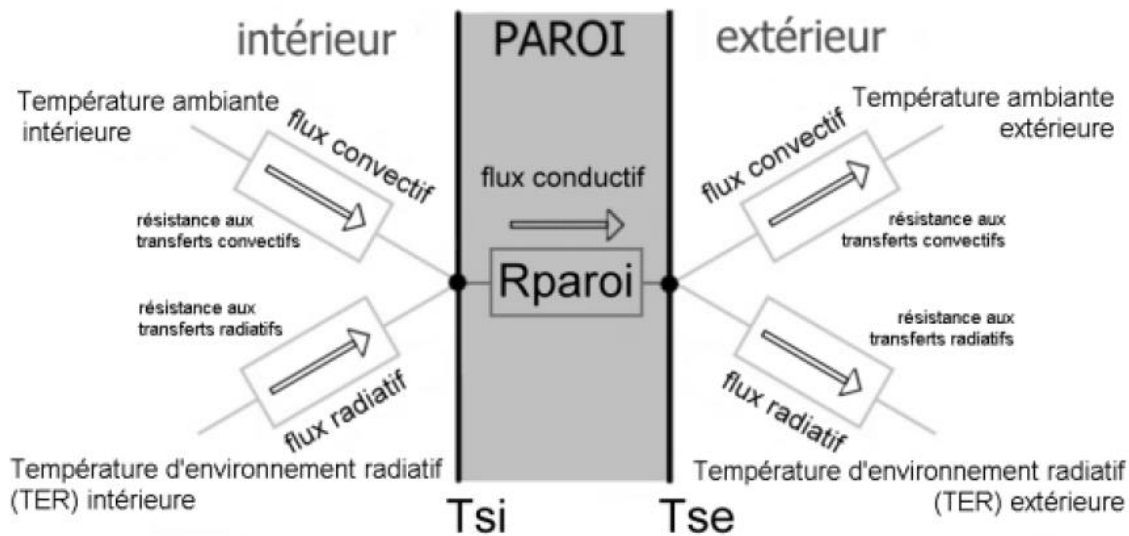
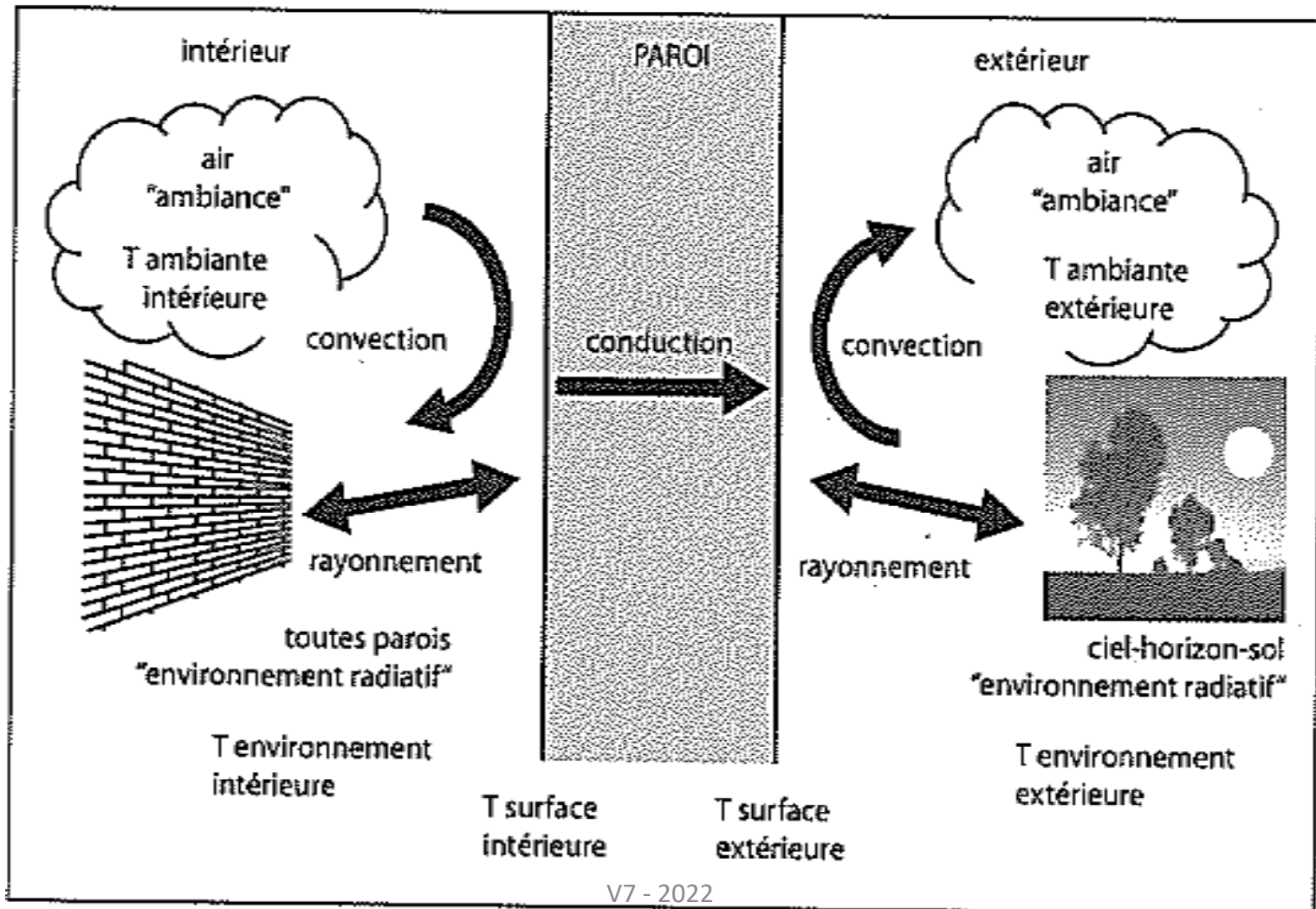


Figure 2 - thermique statique détricotée - paramètres intervenant sur les températures de surface T_{si} et T_{se}

- résistance de la paroi R
- températures ambiantes intérieure, extérieure
- températures d'environnement radiatif intérieure, extérieure
- résistances aux transferts convectif intérieure, extérieure
- résistances aux transferts radiatif intérieure, extérieure

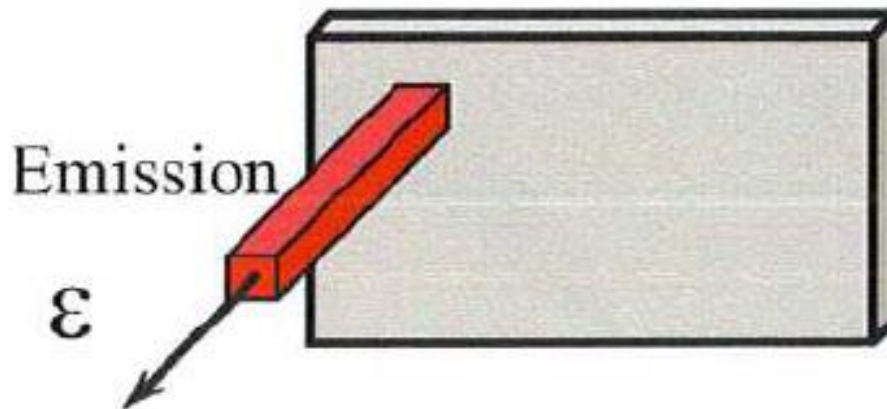
Les bases de la thermique

• De l'énergie à la température de surface



• Notion de corps Noir

- Un corps noir est un objet théorique absorbant tous les rayonnements
- Il ne transmet rien, ne réfléchit rien
- Il est donc considéré comme un émetteur parfait $\epsilon = 1$



Les bases de la thermique

- Notion de corps Noir = Emetteur parfait: $\epsilon = 1$

- $P = A \sigma T$

- Notion de corps Gris $0 < \epsilon < 1$

- $P = \epsilon A \sigma T$

- Avec P : Puissance en W
- σ = constante de Stephan Boltzmann
- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- A : Surface m^2 , T: température en K

Les bases de la thermique

EMISSIVITE (ϵ) = aptitude d'un corps à émettre (diff émission)

Corps noir => pas de réflexion => Emission maximum => $\epsilon = 1$

idéal mais théorique !!! N'existe pas !!!

Tous les corps ont une émissivité entre 0 et 1:

Quelques exemples:

Peau humaine: 0.98

Béton sec: 0.95

Plâtre : 0.91

Verre : 0.87

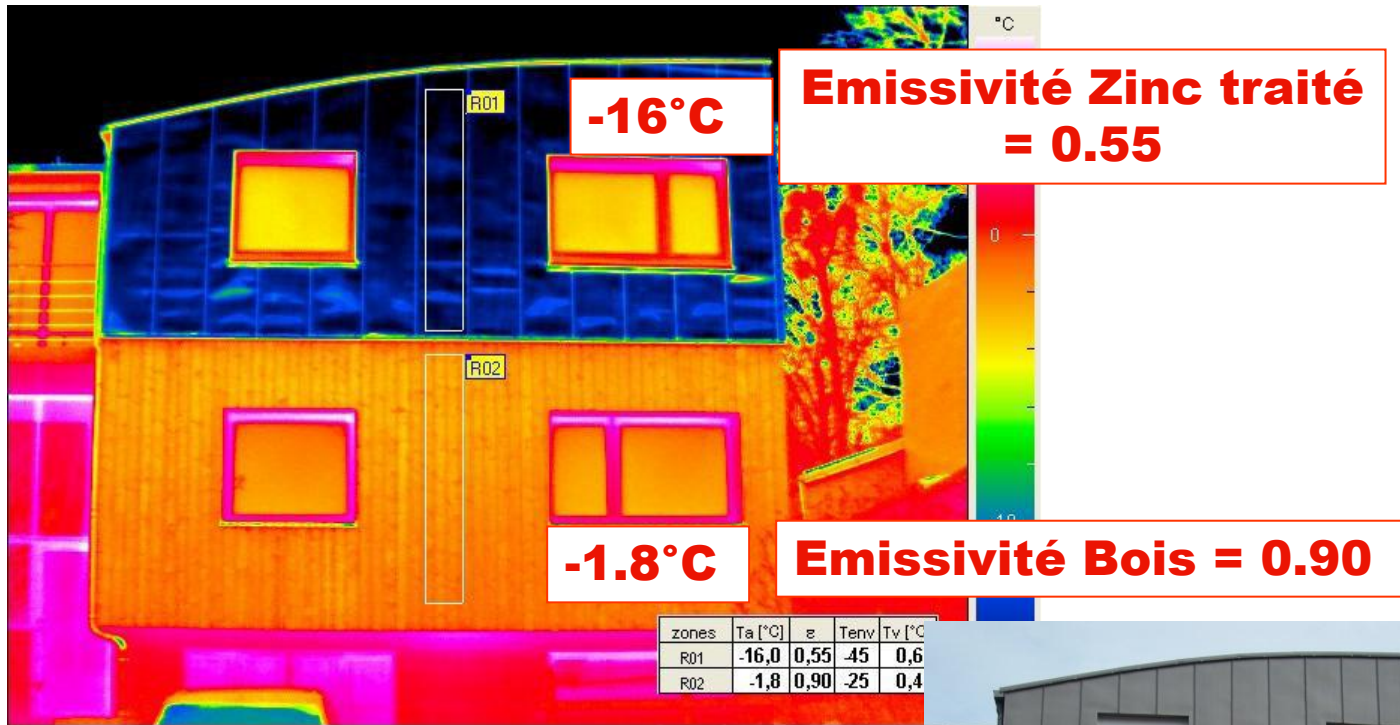
Zinc oxydé : 0.60

Zinc poli : 0.04



Plus l'émissivité est forte, plus la mesure est possible et juste.

Les bases de la thermique



Températures apparentes

Plus l'émissivité est forte, plus la mesure est possible et juste, plus on se rapproche de la température vraie !



• Ce que mesure la camera

Ce n'est pas une TEMPERATURE mais une **LUMINANCE** !!!!!

LUMINANCE:

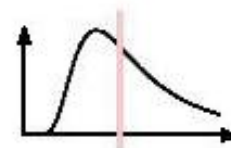
Rayonnement émis par

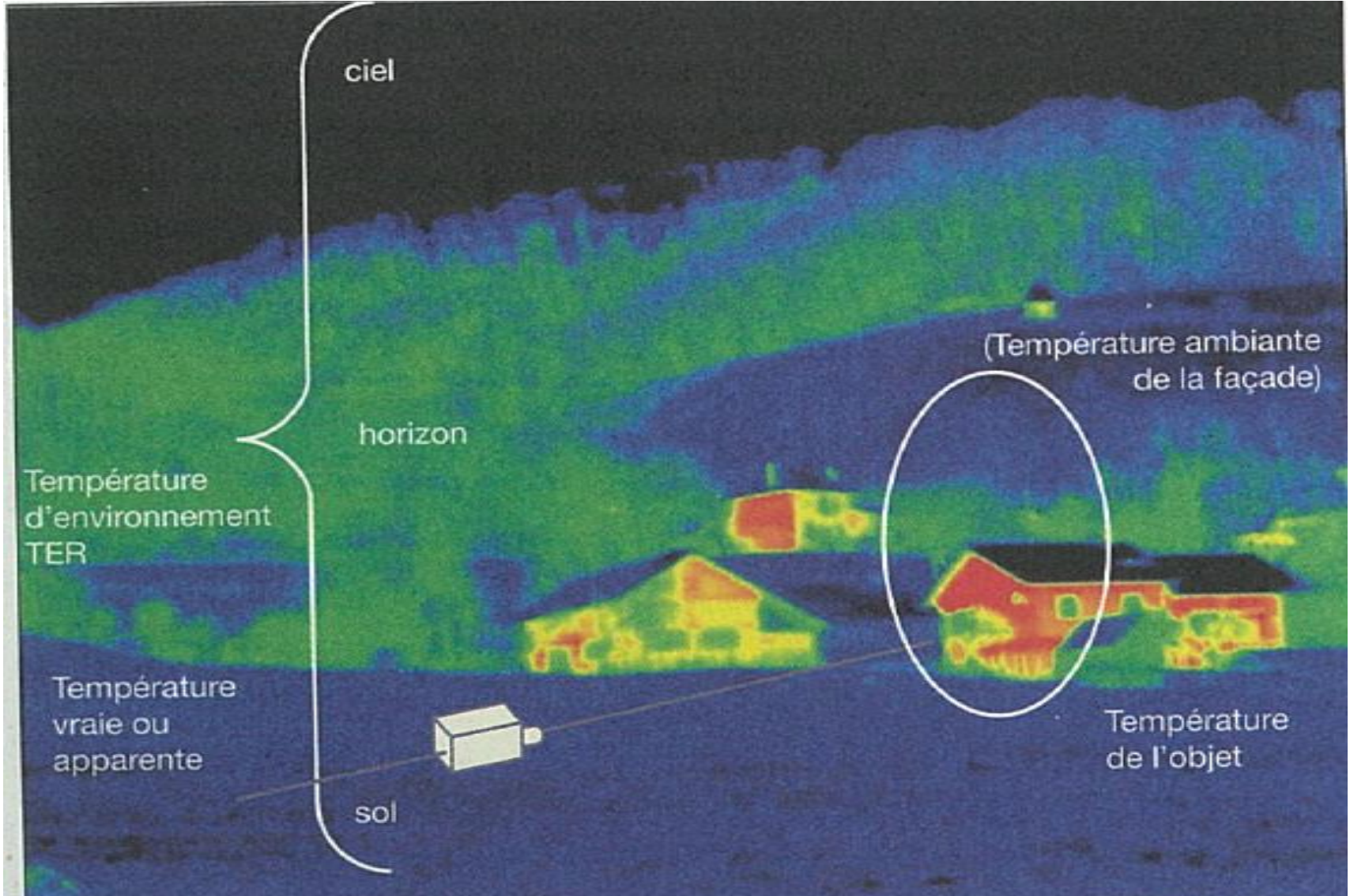
- ✓ une surface unité
- ✓ dans une direction
- ✓ à une longueur d'onde

luminance, $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$
spectrique



- 1 m²
- 1 direction
- 1 longueur d'onde



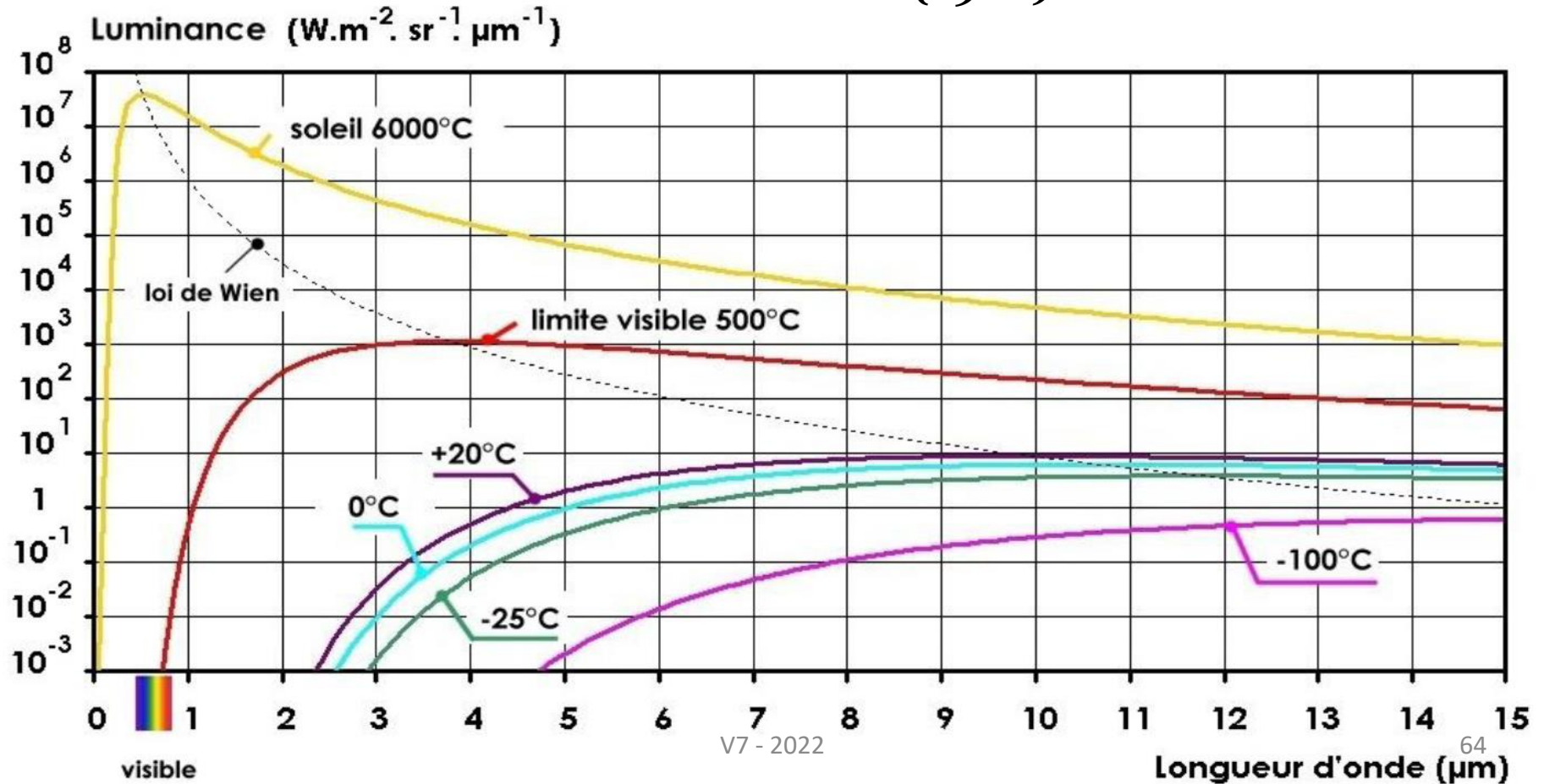


Les bases de la thermique

La matière émet, de façon naturelle, un rayonnement électromagnétique dont la puissance est une fonction de la température.

A -273°C , le corps est énergétiquement inerte, il n'émet aucun rayonnement.

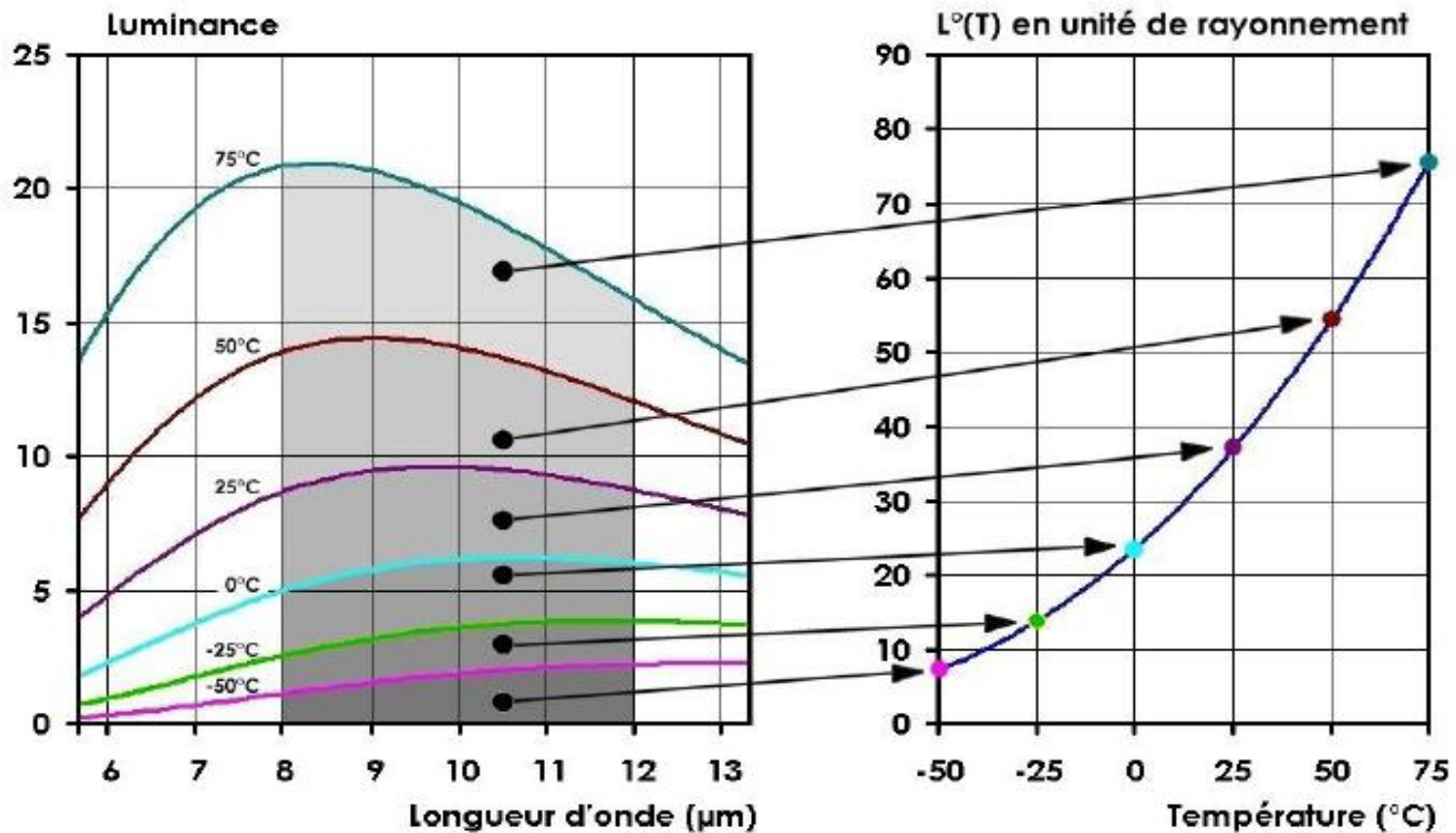
Courbes de PLANCK (1900):



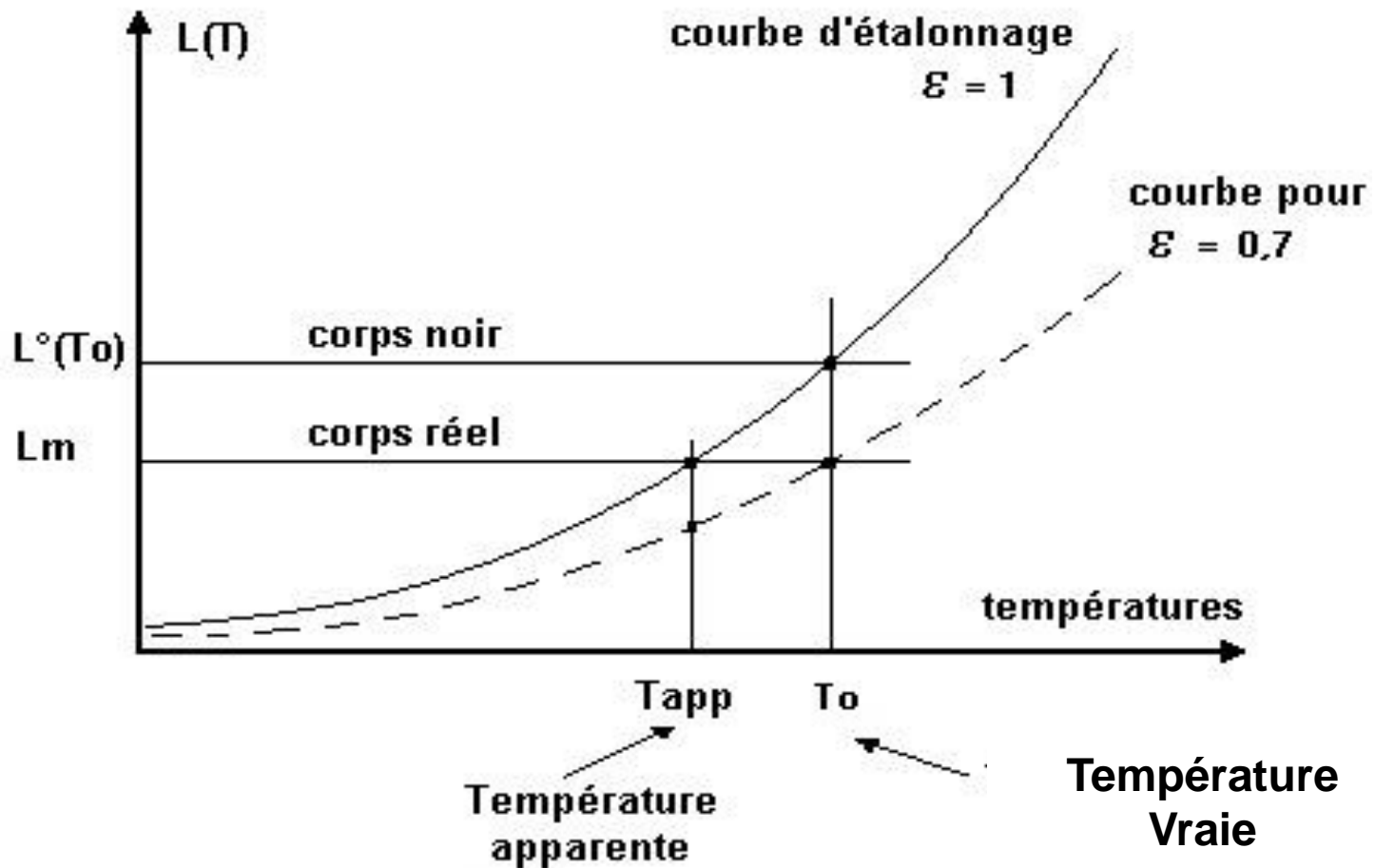
Les bases de la thermique

La caméra mesure une luminance transcrite en température ...

Courbe d'étalonnage de la caméra: températures « apparentes »



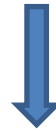
Température vraie \neq Température apparente



Les bases de la thermique

- Ce que mesure la camera

Luminance émise + luminance réfléchie
Température apparente



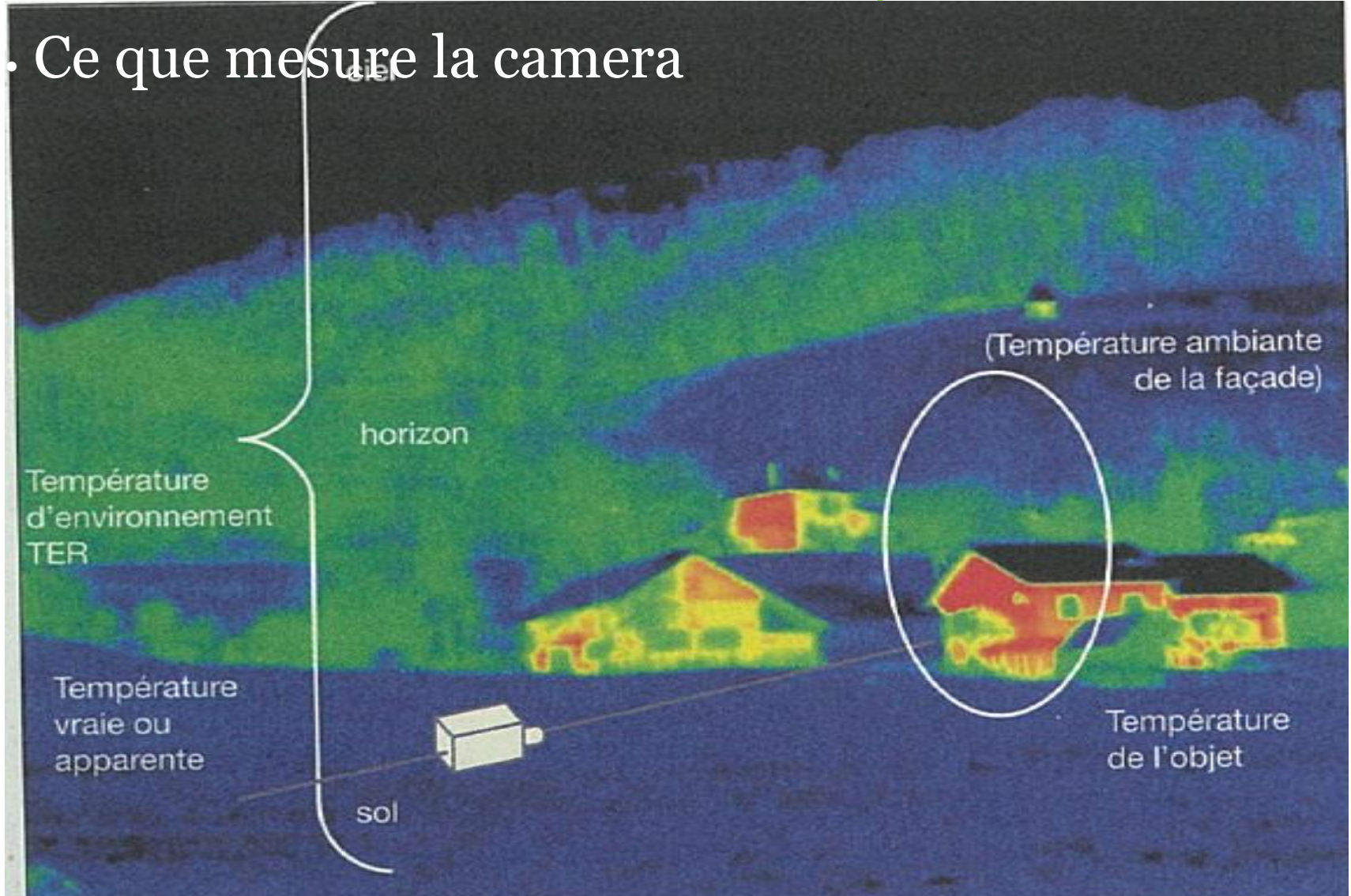
Emissivité du matériaux + Rayonnement réfléchi



Température vraie

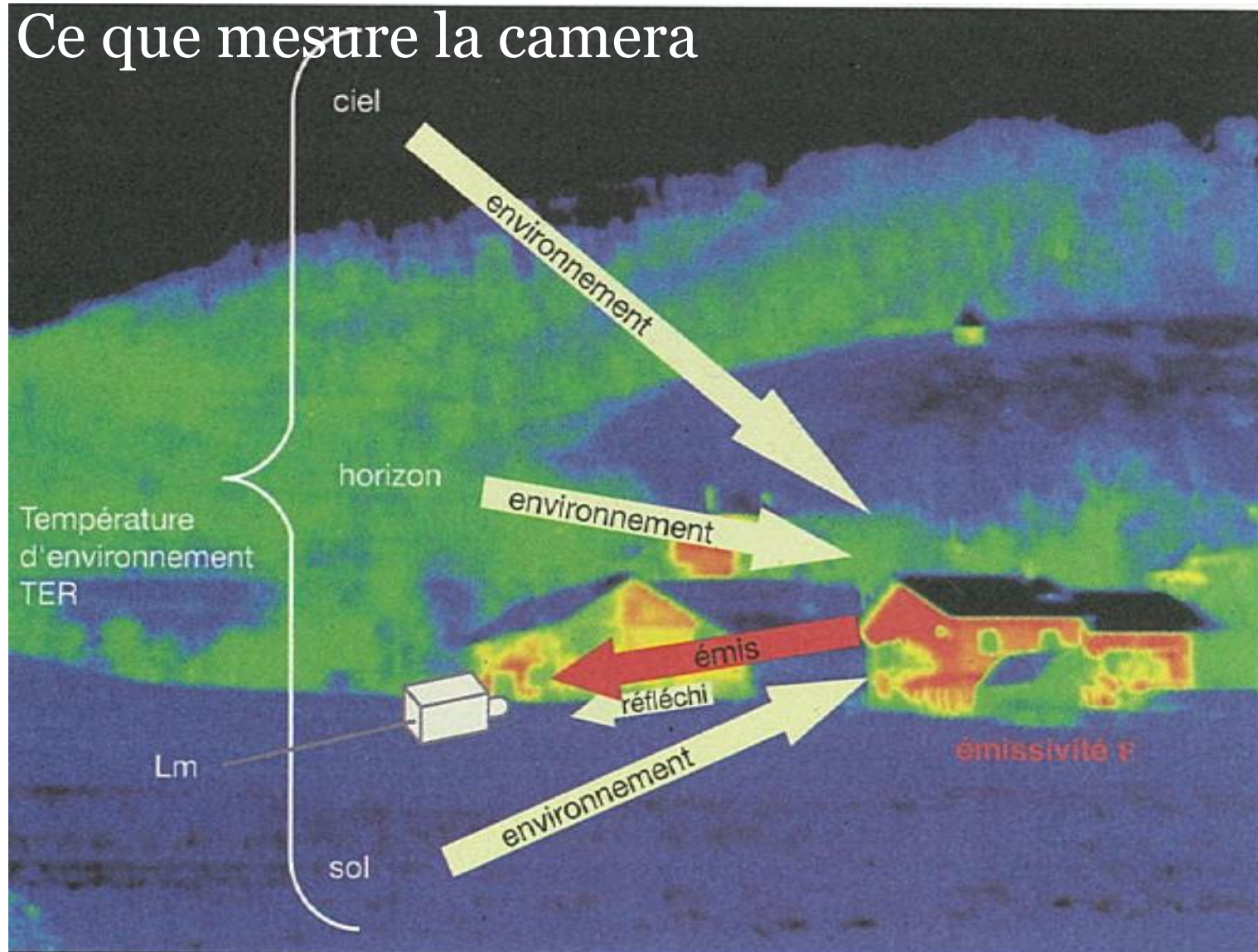
Difficulté de la thermographie / incompréhension
et erreurs d'interprétation
Possible mais complexe et grande incertitude !!

• Ce que mesure la camera



Les bases de la thermique

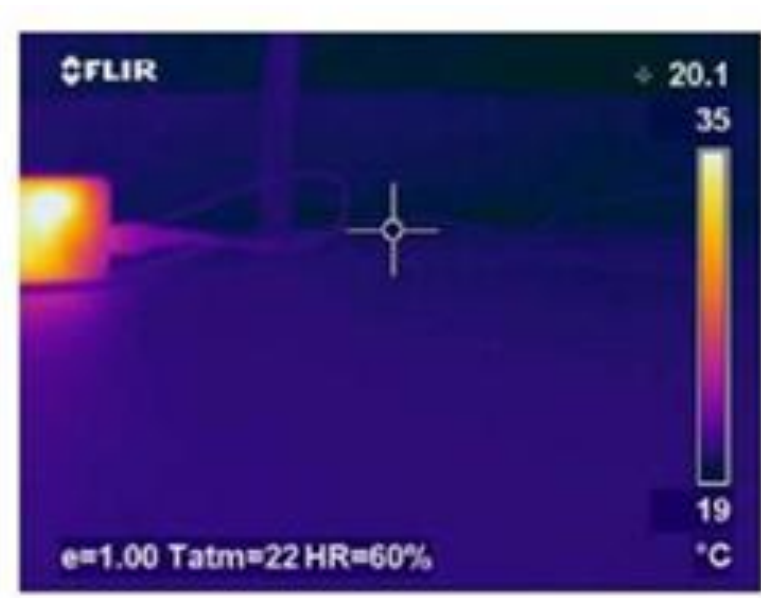
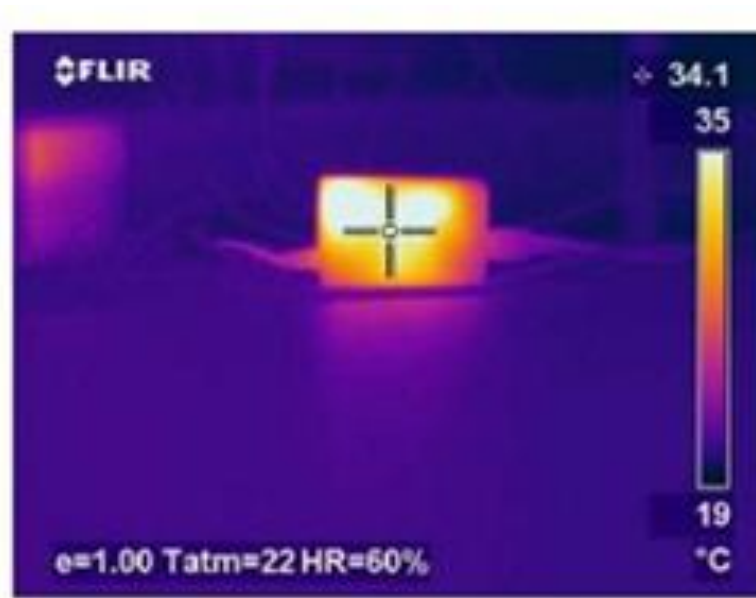
Ce que mesure la camera



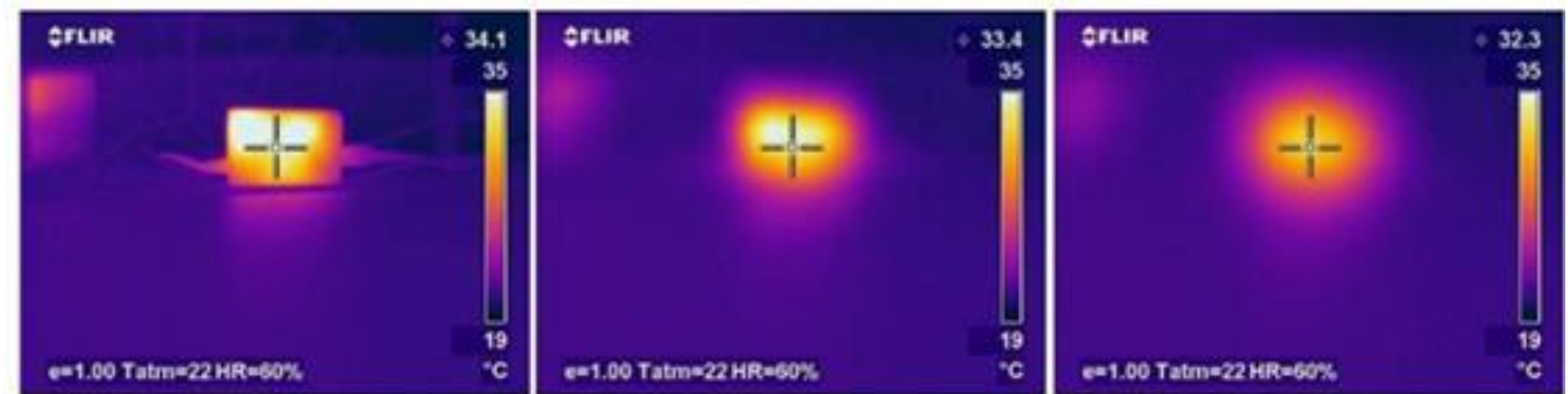
1. Introduction à la thermographie
2. Thermique de base
3. **Technique de mesure**
4. Analyse de thermogramme
5. Equipement
6. Exemple de clichés
7. Guide d'application
8. Norme NF EN 13187

- Quels sont les 3 paramètres qui ne sont pas modifiables ultérieurement
 - Le cadrage
 - La mise au point
 - La Gamme / le calibre

- Le cadrage



- La mise au point



- La gamme de mesure (ou calibre)

- Réglage de la gamme de mesure en référence à la cible

- -20°C à 120°C

- 120°C à 1200°C

Pour la thermographie du bâtiment choisir la plus Basse soit **-20°C à 120°C**

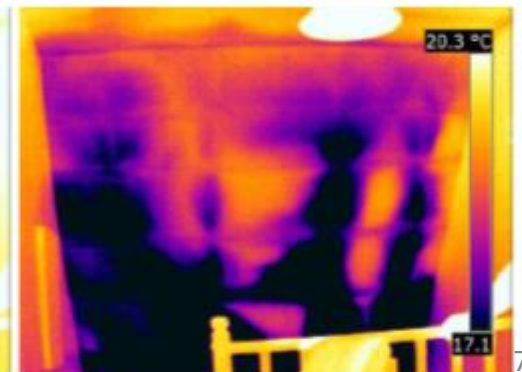
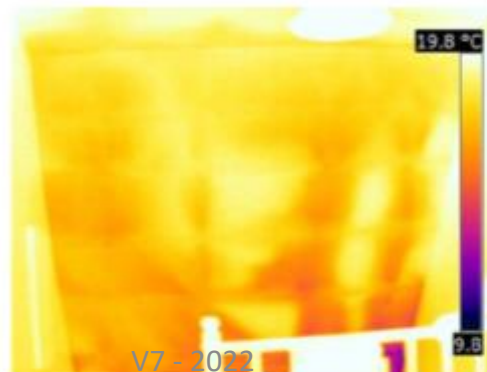
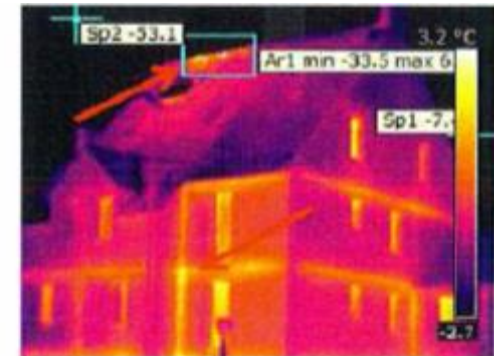
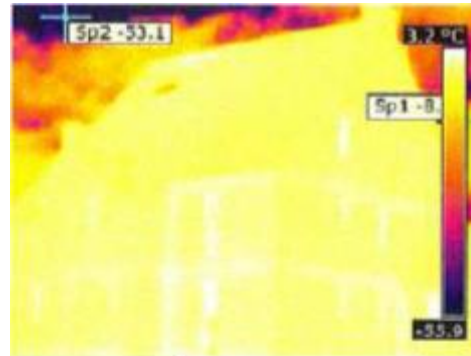
Technique de mesure

Lorsque l'on utilise une échelle automatique, la caméra fixe cette échelle en fonction des températures observées, de la plus basse à la plus haute.
Les détails importants disparaissent.

Exemples

Régler à :

- 20 / 120 °C ou 0 / 350 °C



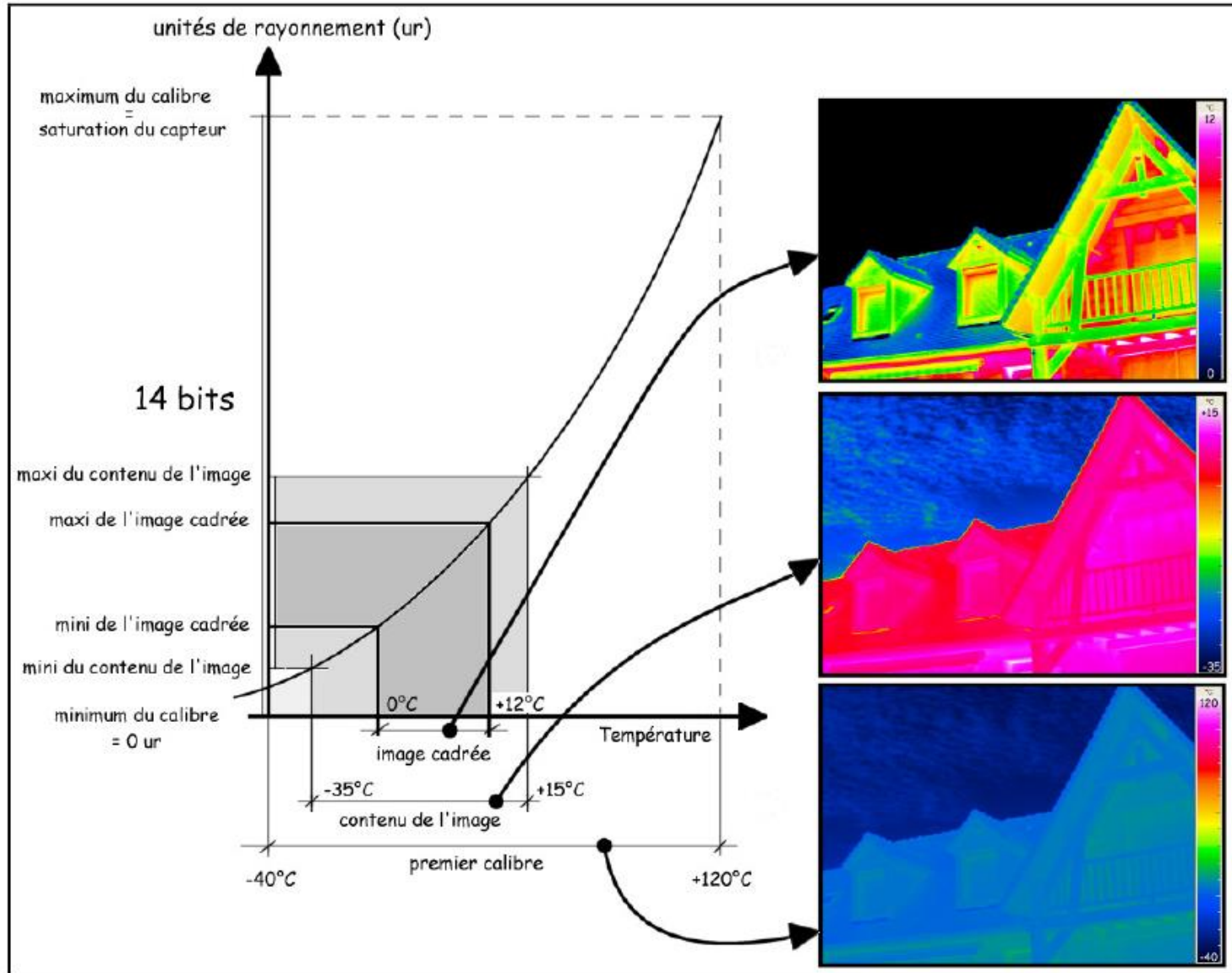
- Les paramètres qui sont modifiables ultérieurement

- Le cadrage thermique

- La palette

- Emissivité/ TER / humidité ...

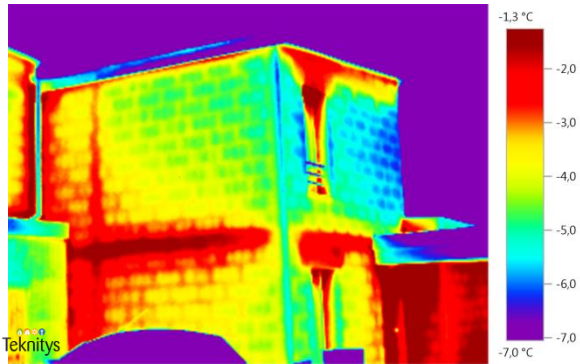
Le cadrage thermique



▫ La palette

Quelques exemples :

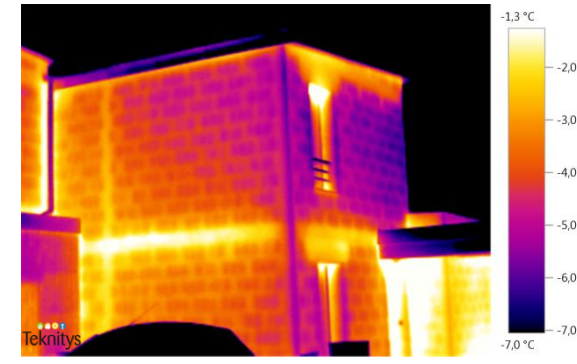
Arc en ciel



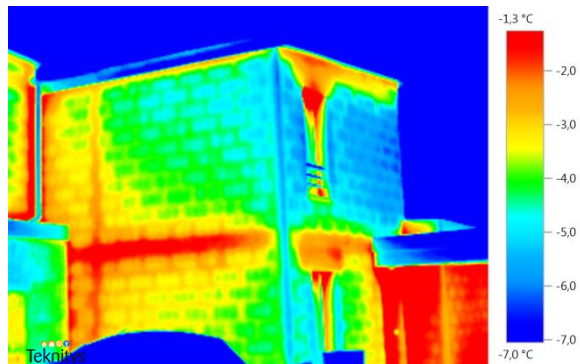
Echelle de gris



Fer



Froid/chaud



Sépia ...



Le THERMOGRAMME

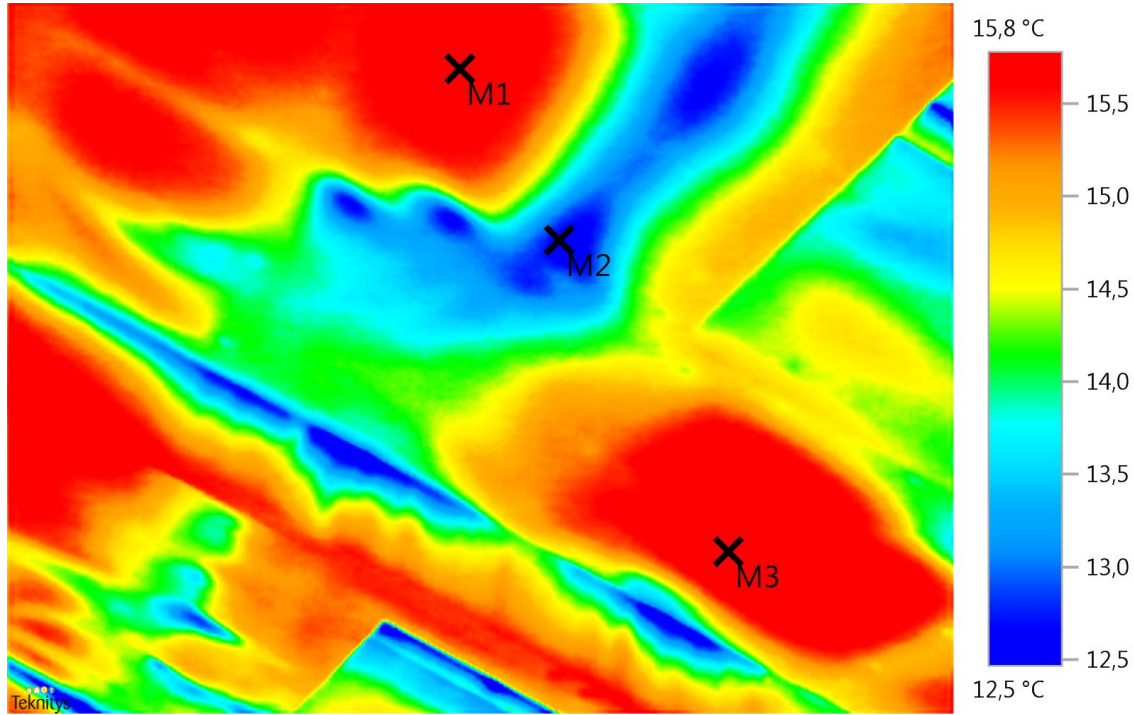


IMAGE
THERMIQUE

+

CADRAGE
THERMIQUE

=

THERMOGRAMME

V7 - 2022

Deux typologies de THERMOGRAPHIE

- Caméra en « roue libre »  **Températures Apparentes**
Thermographie **COMPARATIVE (relative)**

(ΔT , classement des défauts, facteur de température, surface équivalente de défaut ...)

- Caméra « réglée » (émissivité, température d'environnement ...)
 **Températures Vraies**
Thermographie **QUANTITATIVE (absolue)**

(Impossible sur certains matériaux ou dans certaines conditions pour l'application bâtiment – INCERTITUDE DE MESURE IMPORTANTE - laboratoire ...)

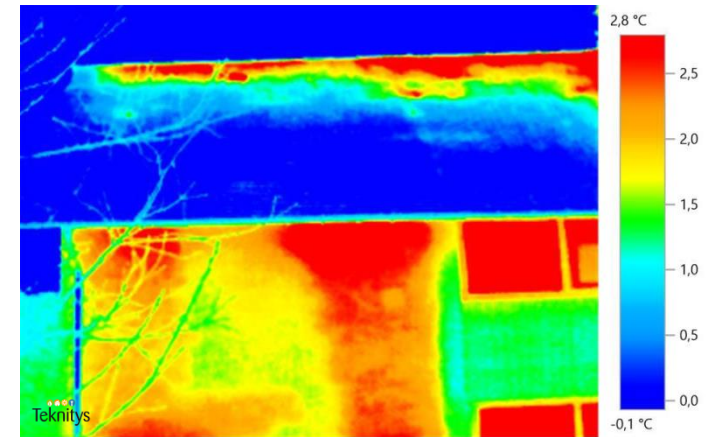
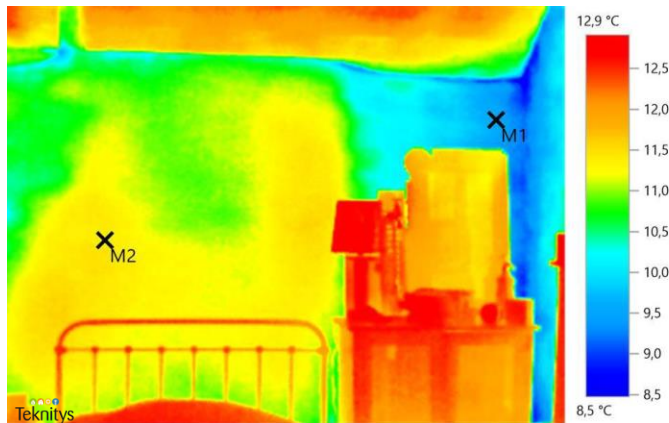
A utiliser avec beaucoup d'humilité et de précaution !

• Analyse qualitative / comparative

- La thermographie qualitative permet de repérer des anomalies

∞ DECELER DES MOTIFS THERMIQUES

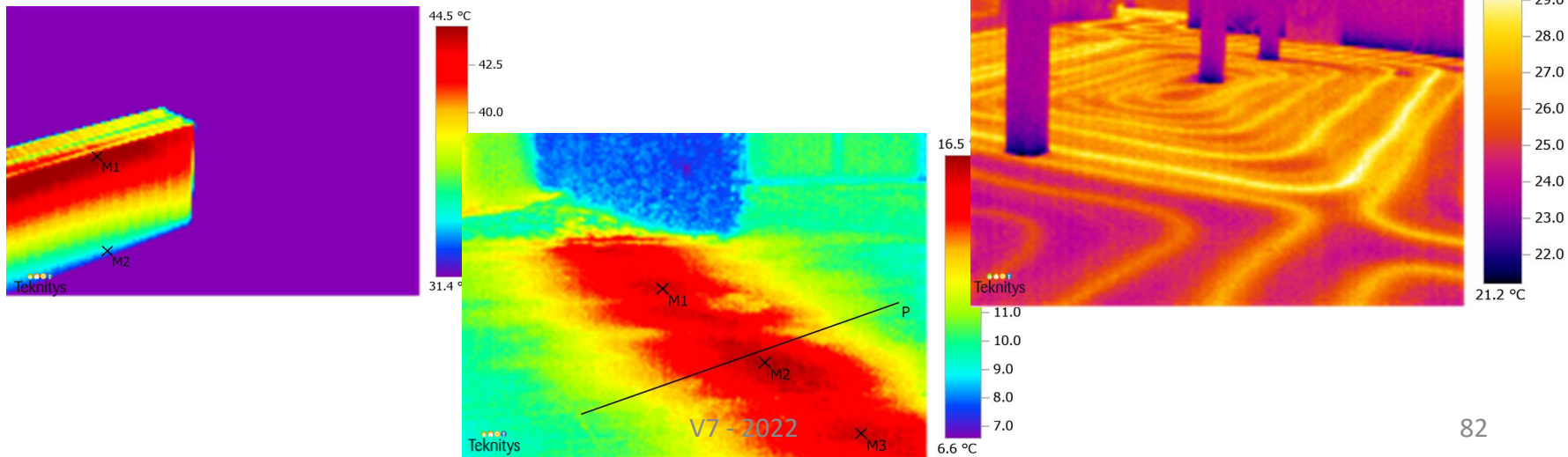
∞ TRAVAIL EN TEMPERATURE APPARENTE



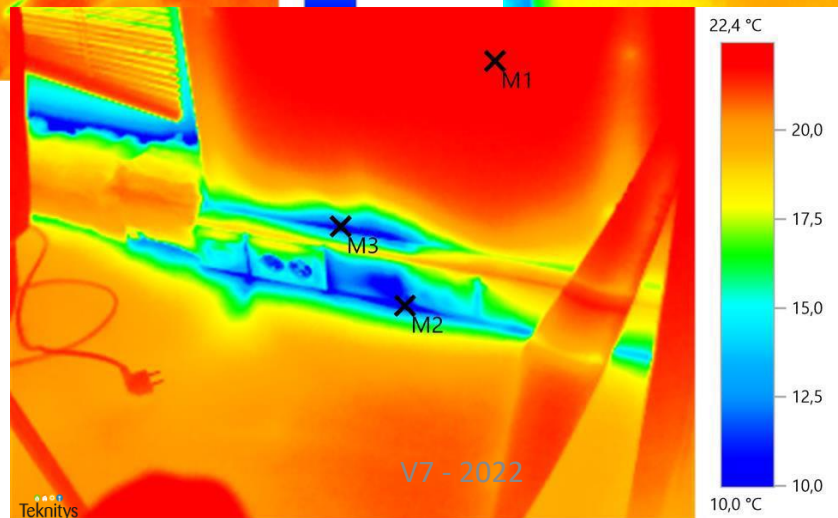
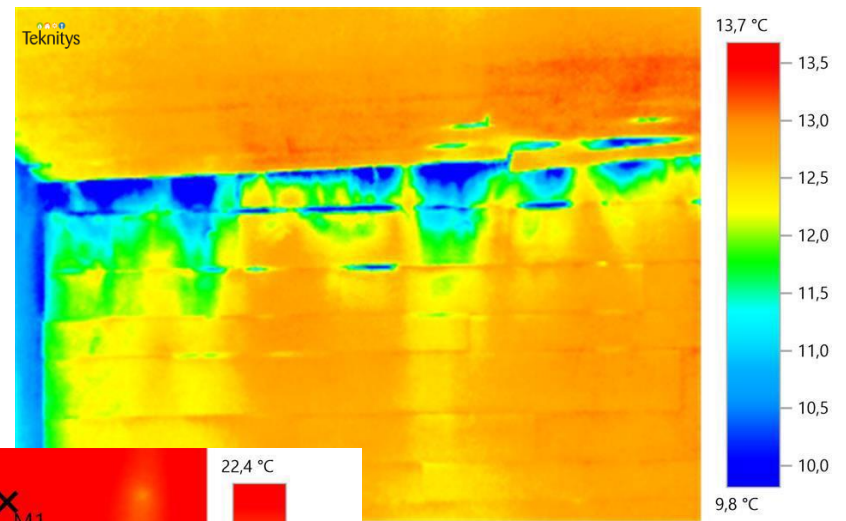
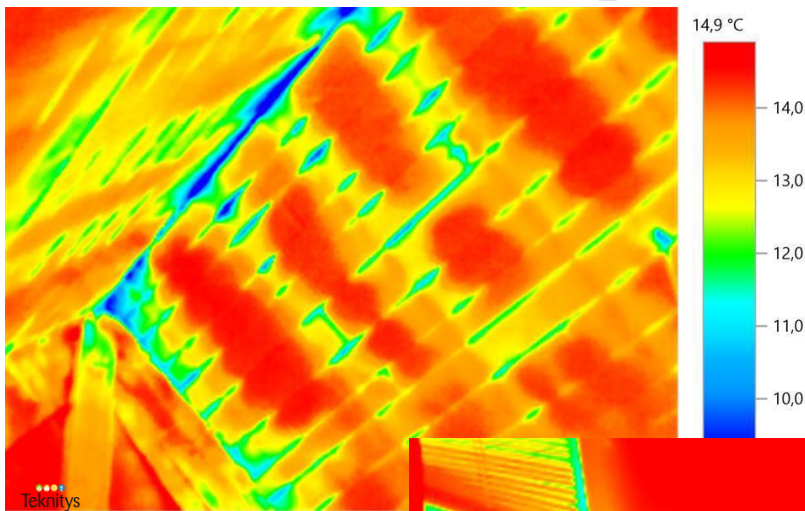
• Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?

- Pour comparer des éléments avec des surfaces homogènes

- ∞ Recherche de fuite / recherche de réseau/expertise réseaux de chauffage

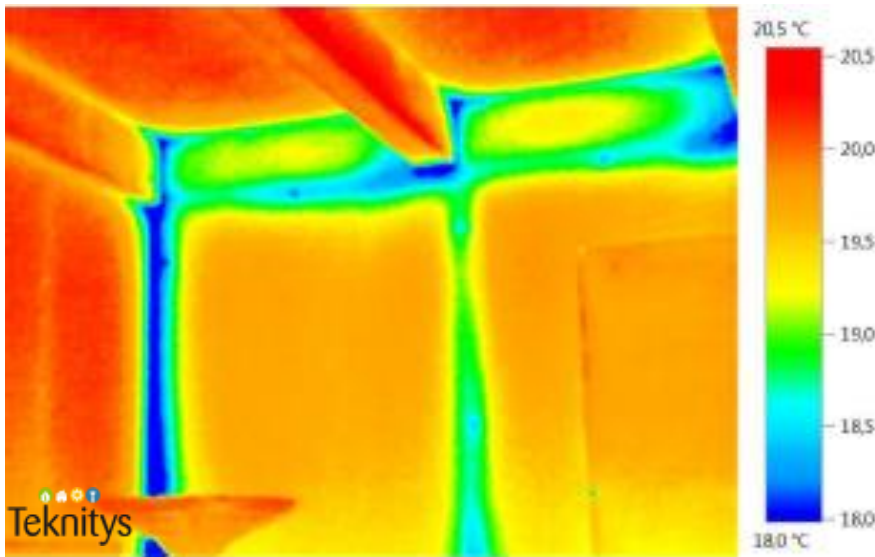


- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Infiltration d'air parasite



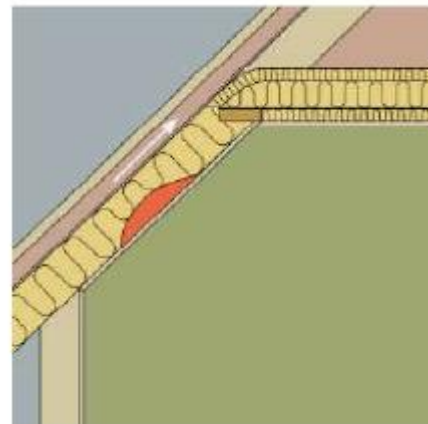
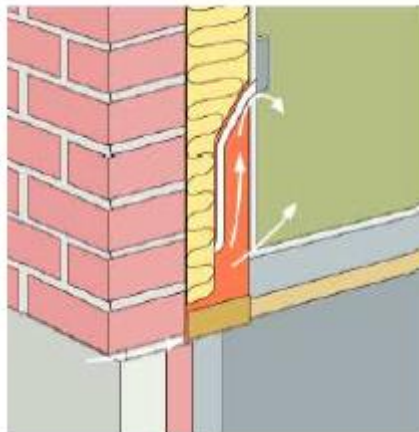
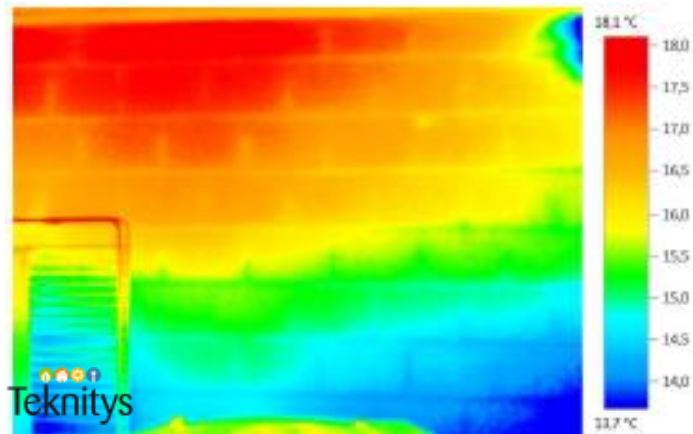
Technique de mesure

- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Recherche de surface homogène

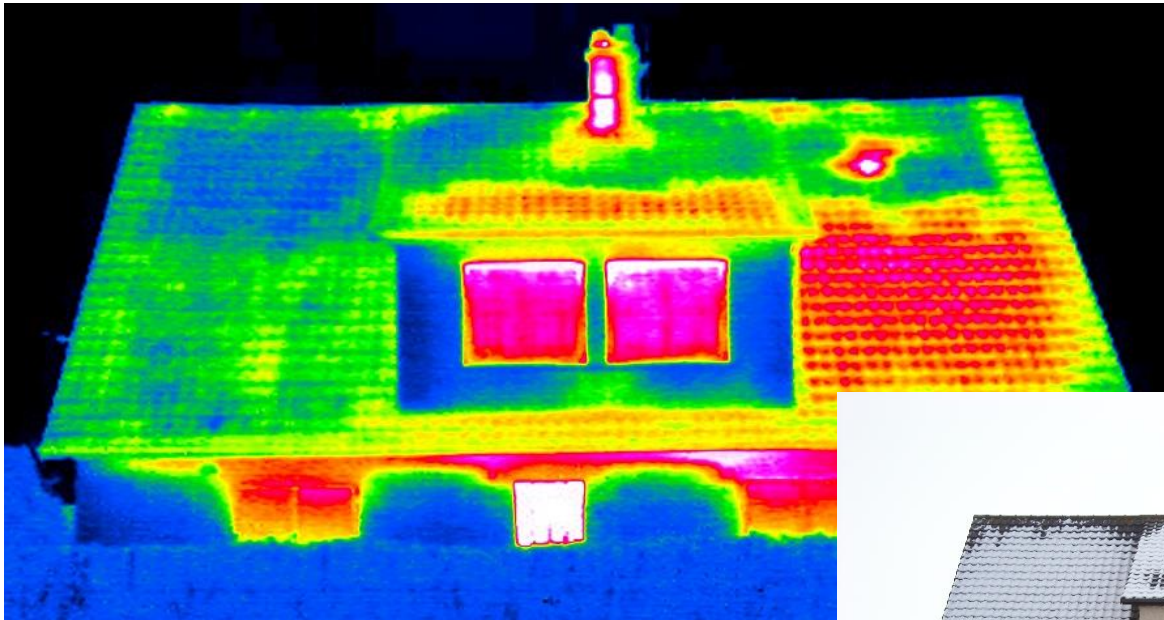


Technique de mesure

- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène



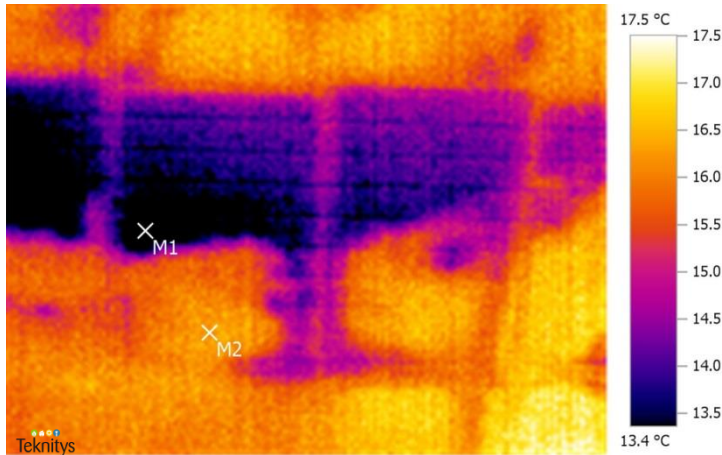
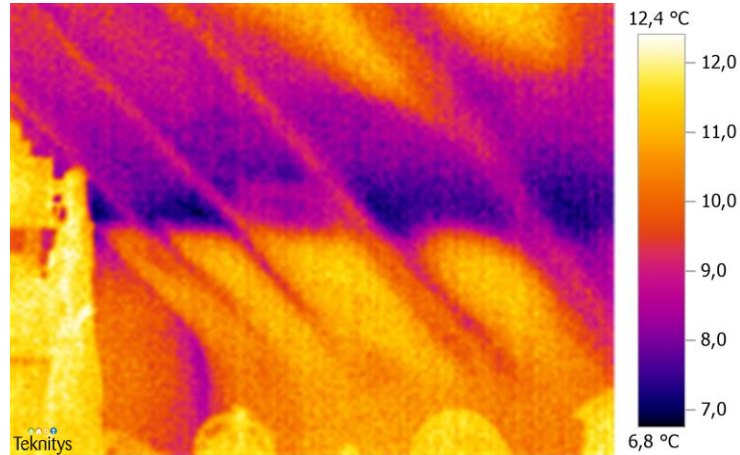
- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène



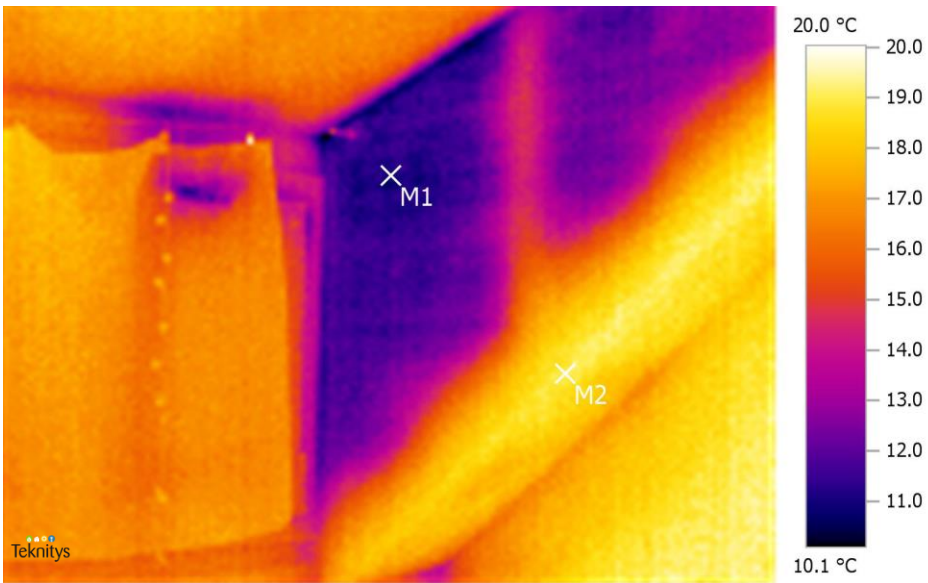
Toutes les
déperditions ne
sont pas visibles ...



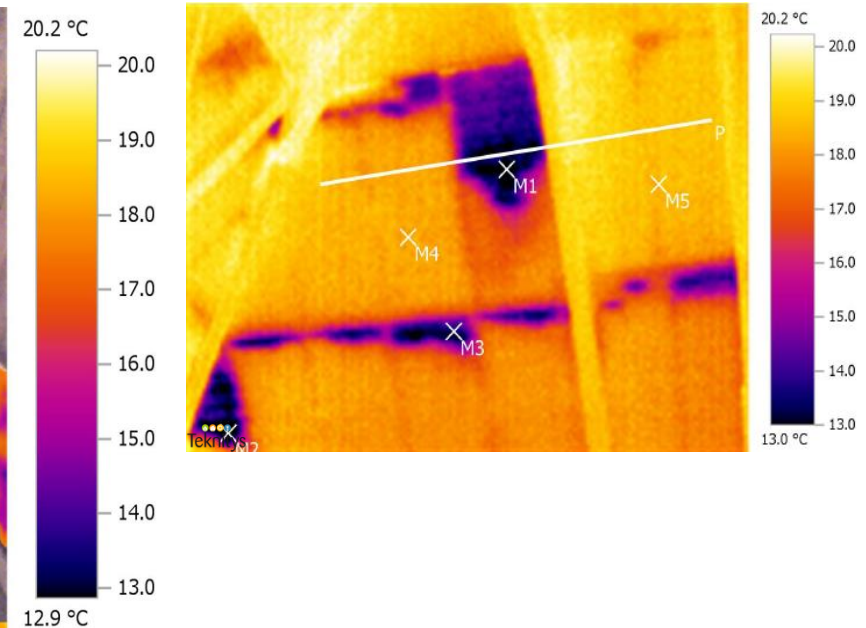
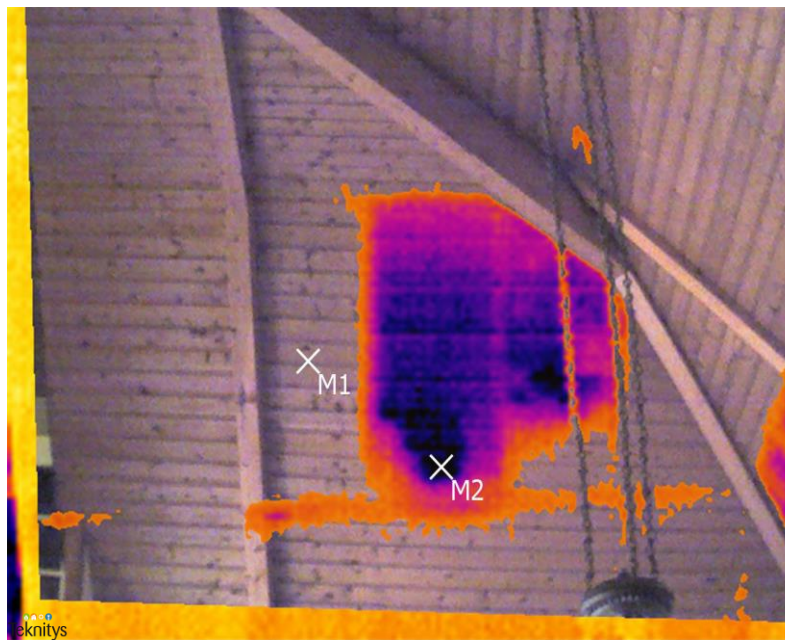
- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène



- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène

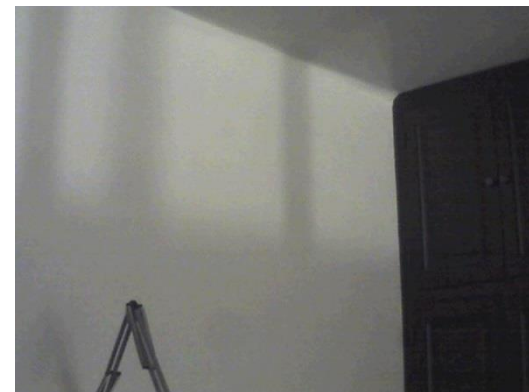
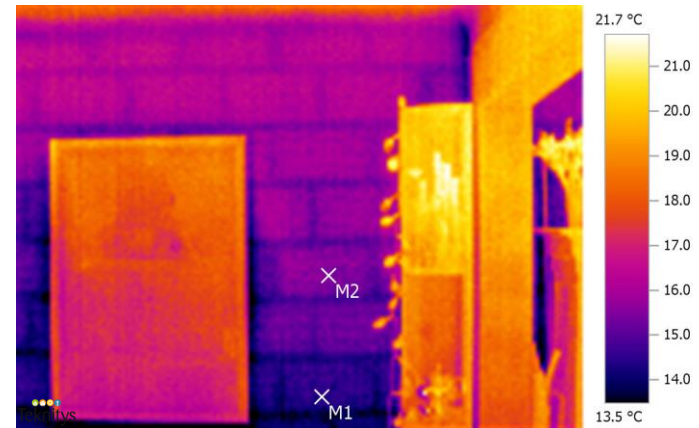
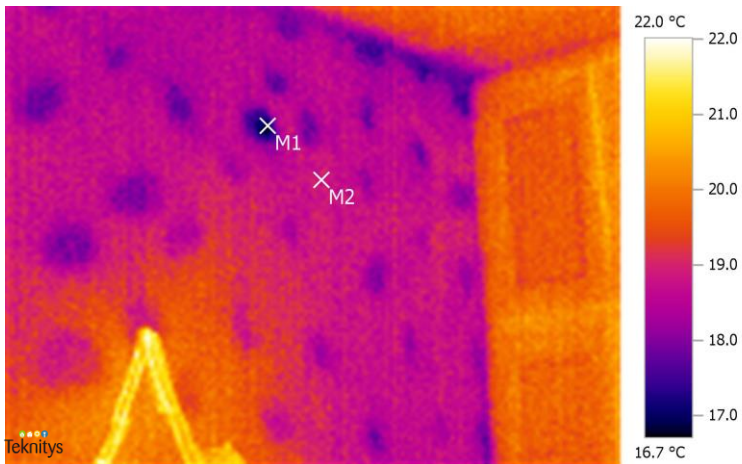


- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène



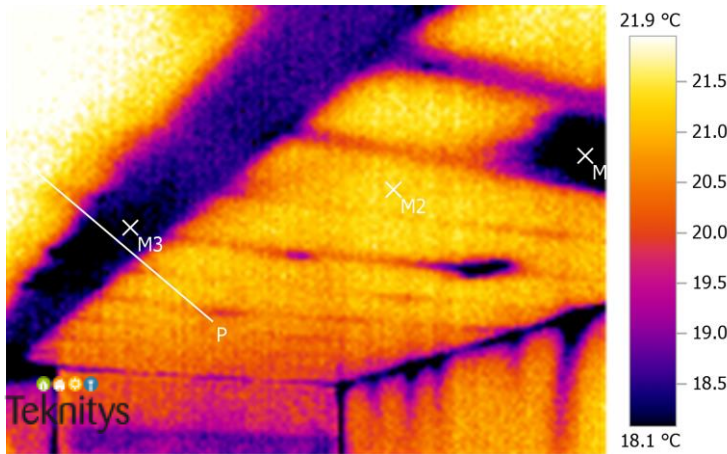
Objets de mesure	Temp. [°C]
Point de mesure 1	18.6
Point de mesure 2	12.4

- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène

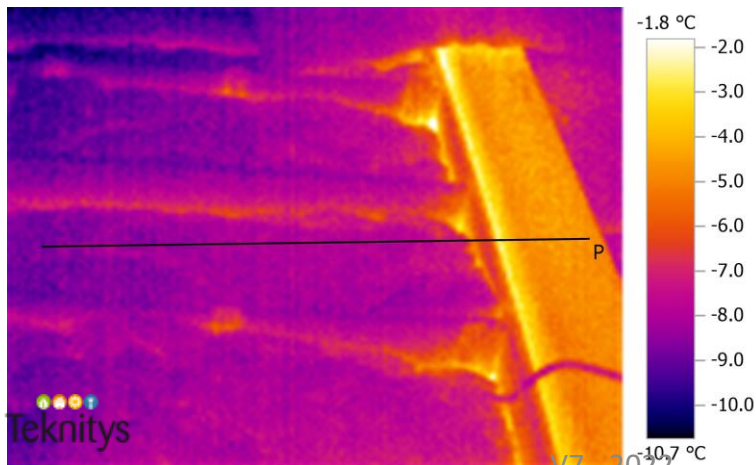


- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène

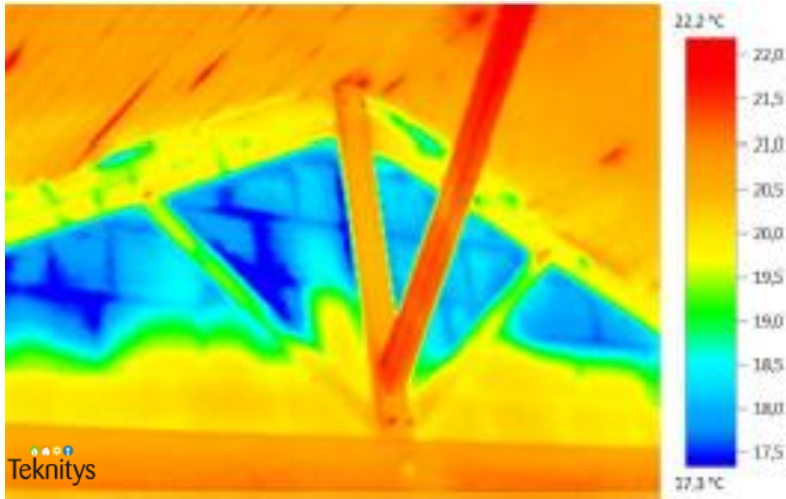
Vu du côté chaud



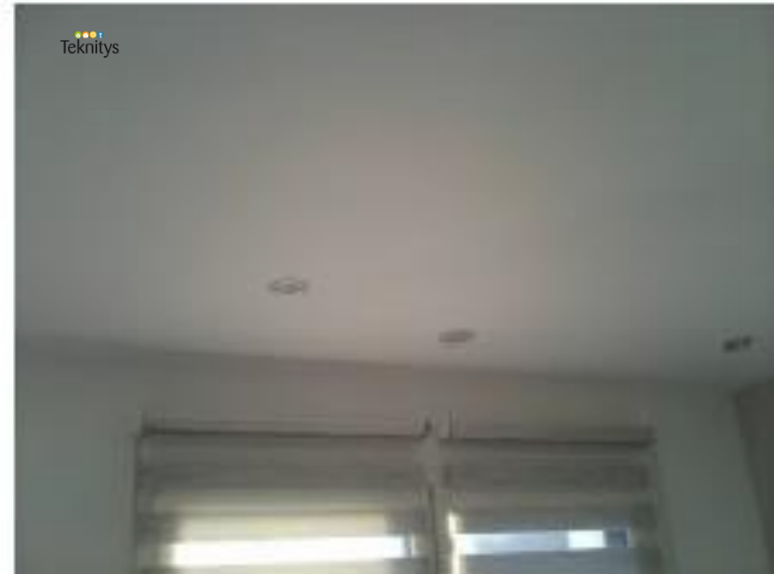
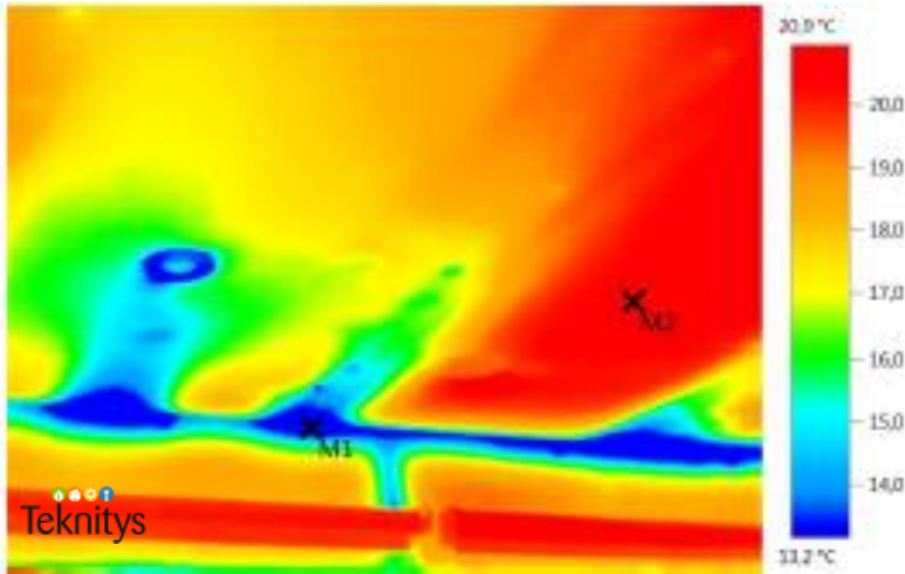
Vu du côté froid



- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène



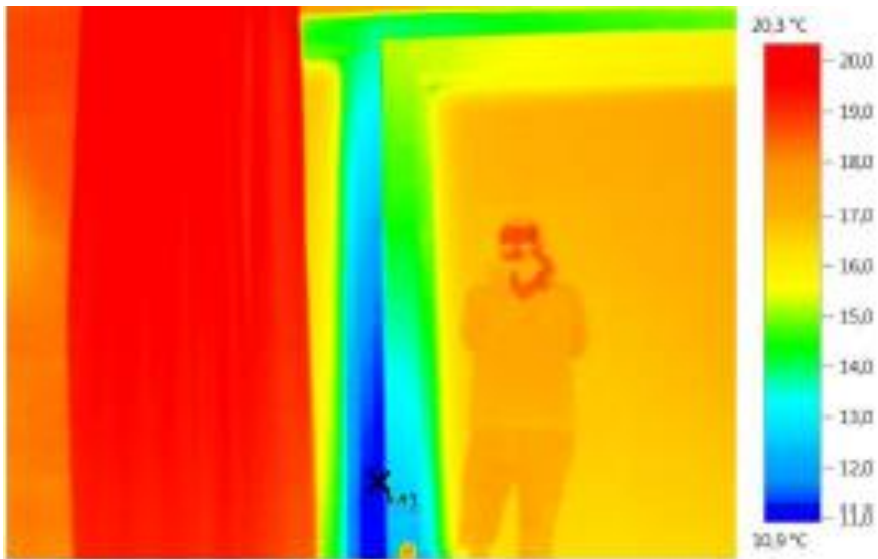
- Quand utilise t-on la thermographie qualitative ?
 - Défaut d'isolation de surface homogène



• Prise de vue

- La réflexion des matériaux est spéculaire (verre), les objets environnants peuvent être clairement vus sur l'image thermique
- Dans le pire des cas cela peut conduire à des erreurs d'interprétation et de mesure

• Prise de vue



. Prise de vue



Pas de défaut !!!

Technique de mesure

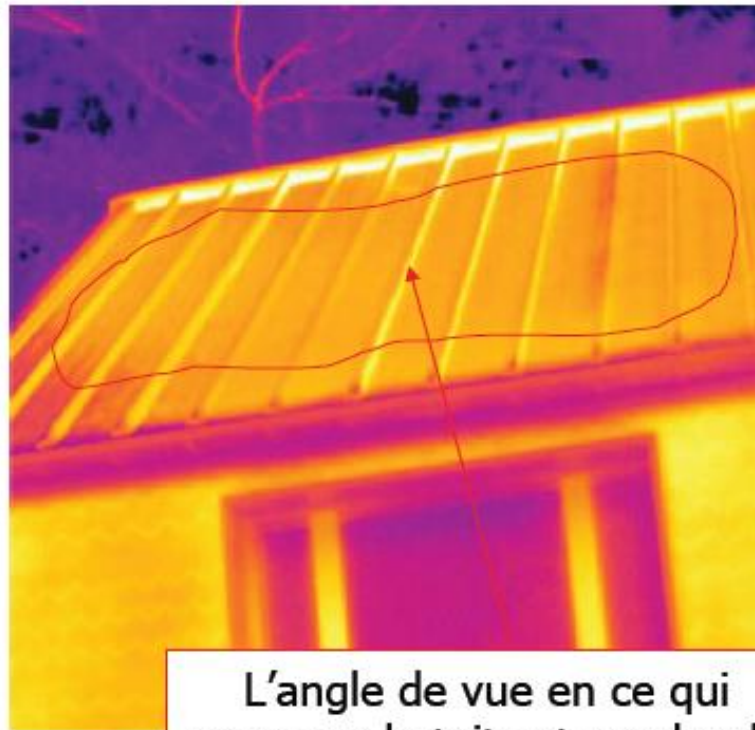
. Prise de vue



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

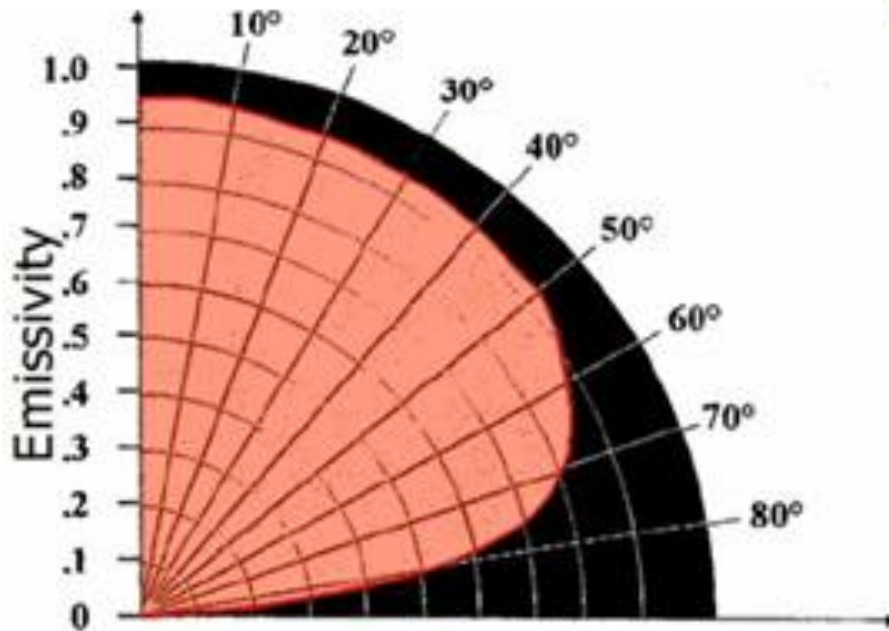
• Prise de vue

- Pour des matériaux à haute émissivité, l'émissivité tend à changer lorsque la valeur de l'angle est au dessus de 45



L'angle de vue en ce qui concerne le toit est proche de 70° ou 75 °.

. Prise de vue



Cas critiques

- Les toits inclinés, pouvant être vus du sol
- Immeubles hauts
- Utilisation d'un objectif grand angle

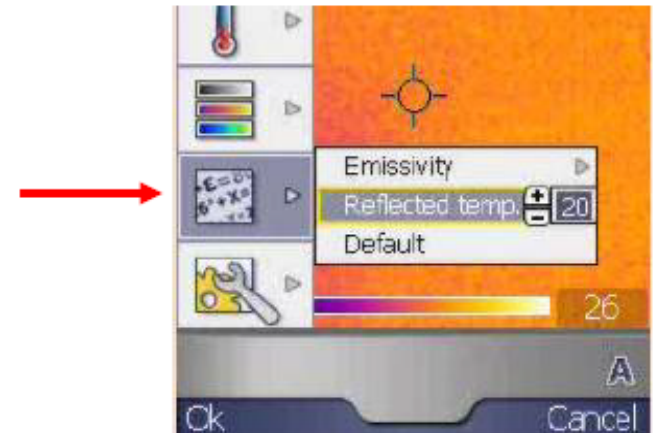
Technique de mesure

C'EST L'OPERATEUR QUI DETERMINE L'EMISSIVITE ET LA TAR ET IL ENTRE CES VALEURS DANS LA CAMERA.

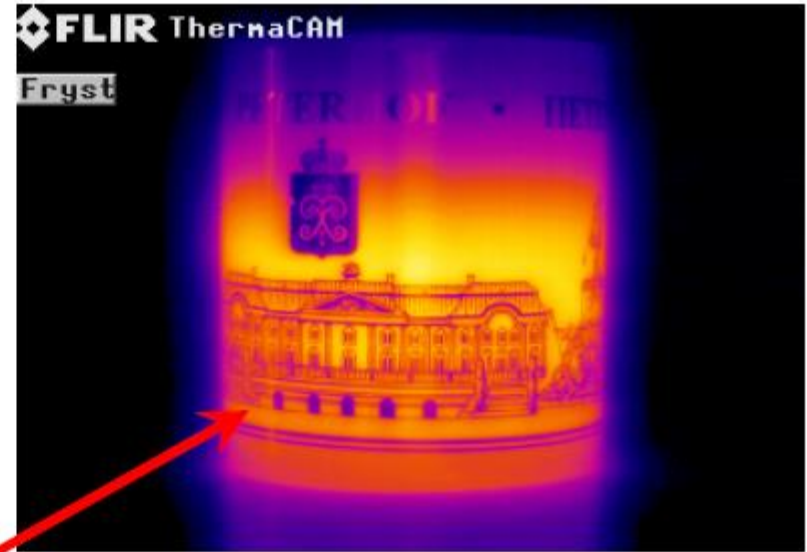
CE N'EST PAS AUTOMATIQUE!

ENTRER DES VALEURS FAUSSES PEUT PROVOQUER UNE ERREUR CONSIDERABLE POUR LA LECTURE DE TEMPERATURE.

Spot 1	
Local	On
Emissivity	0.96
Emissivity table	-->
T Reflected	20.0 °C
Distance	2.0 m
Label	On



*Exemple de variation d'émissivité sur un corps isotherme:
une tasse remplie de café.*



Le dessin APPARAÎT plus froid que sur ses bords.
Seul l'opérateur sais que ce n'est pas la réalité.

L'EMISSIVITE N'EST PAS LA MEME POUR LA PORCELAINE QUE POUR LE METAL
SERIGRAPHIE.

EMISSIVITE (ϵ) = aptitude d'un corps à émettre

Corps noir => pas de réflexion => Emission maximum => $\epsilon = 1$

idéal mais théorique !!! N'existe pas !!!

Tous les corps ont une émissivité entre 0 et 1:

Quelques exemples:

Peau humaine: 0.98

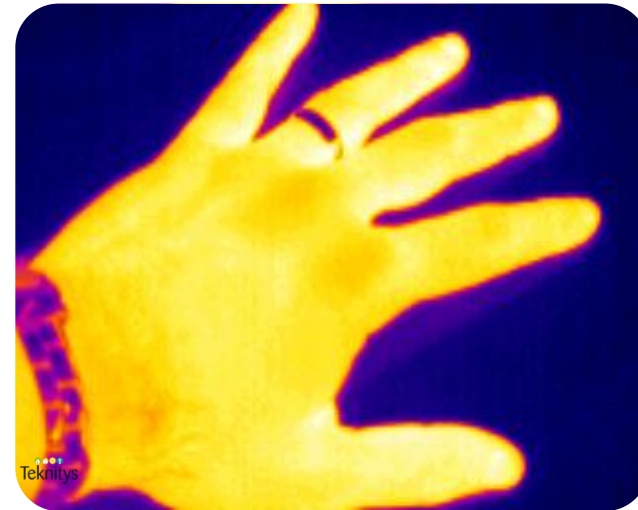
Béton sec: 0.95

Plâtre : 0.91

Verre : 0.87

Zinc oxydé : 0.60

Zinc poli : 0.04



Plus l'émissivité est forte, plus la mesure est possible et juste.

• Détermination de la TAR

- La Température Apparente Réfléchie extrait toutes les sources de chaleur « parasites » affectées à la scène visée, réfléchissant dans la direction de la caméra.

• Détermination de la TAR

- La Température Apparente Réfléchie extrait toutes les sources de chaleur « parasites » affectées à la scène visée, réfléchissant dans la direction de la caméra.
- Les 2 méthodes pour la déterminer sont standardisées : ISO 18434-1
 - ⌘ Méthode directe
 - ⌘ Méthode avec réflecteur

- Détermination de la TAR
 - Méthode directe :
 - ⌘ Non exploitée par les thermographes
 - ⌘ Provoque des erreurs significatives

• Détermination de la TAR

▫ Méthode avec réflecteur :

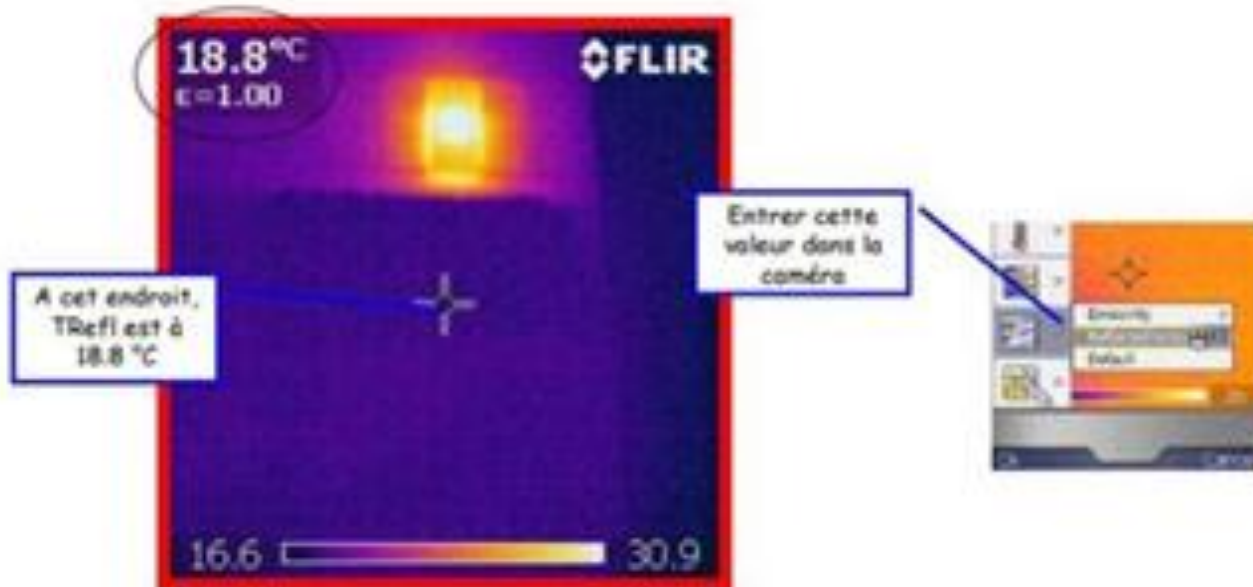
‣ Caméra

‣ Feuille de papier aluminium froissée

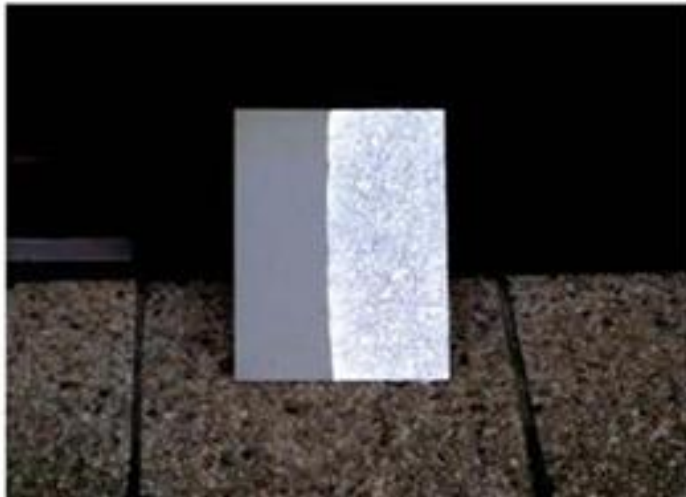
▫ Placer le réflecteur dans le champ de la caméra. Le réflecteur doit être placé devant, et dans le même plan que la surface de la cible.

• Détermination de la TAR

- Ajuster l'émissivité à 1 et la distance à 0. Mesurer à la température à la surface du réflecteur à l'aide de la caméra. La valeur mesurée est la TAR.

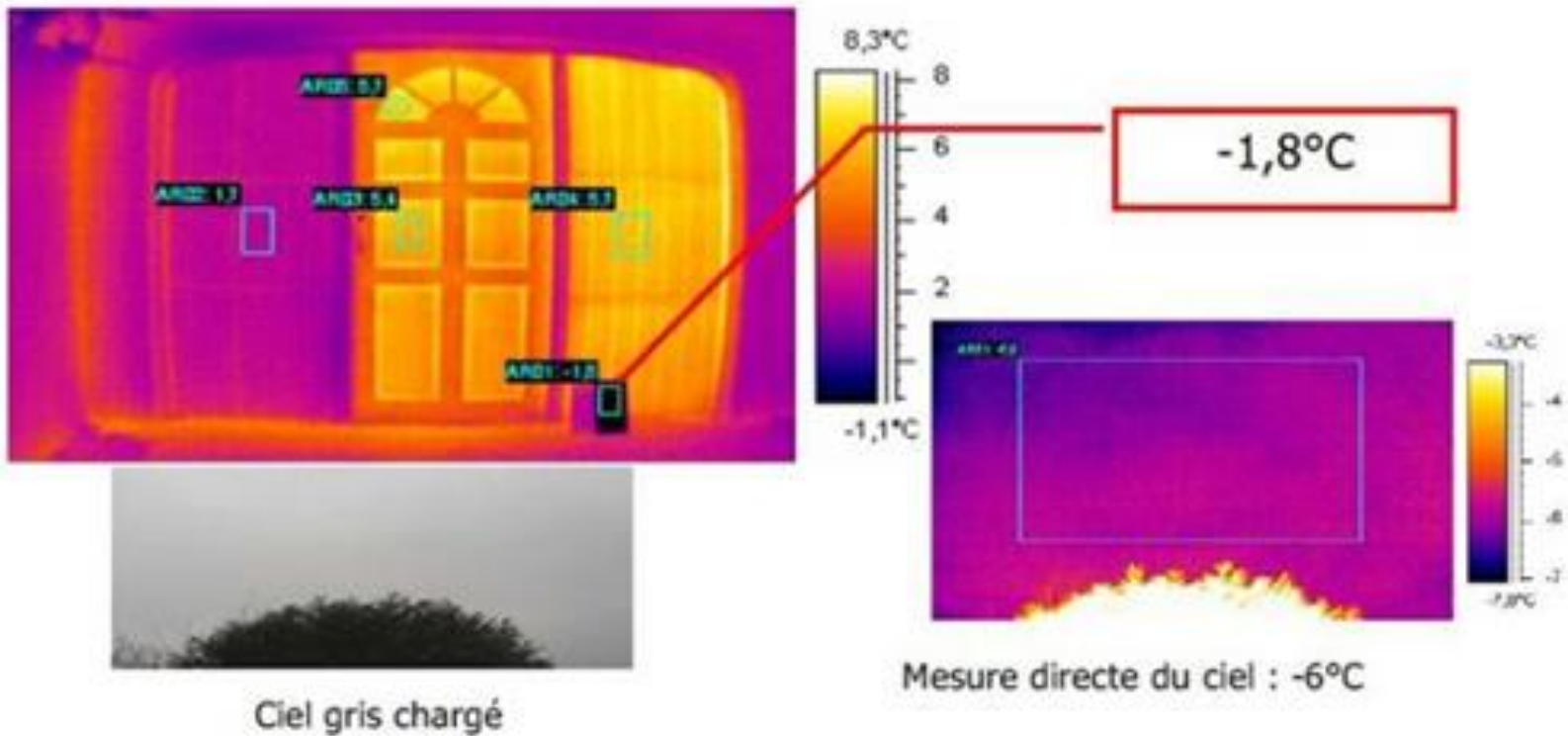


- Détermination de la TAR
 - Exemple



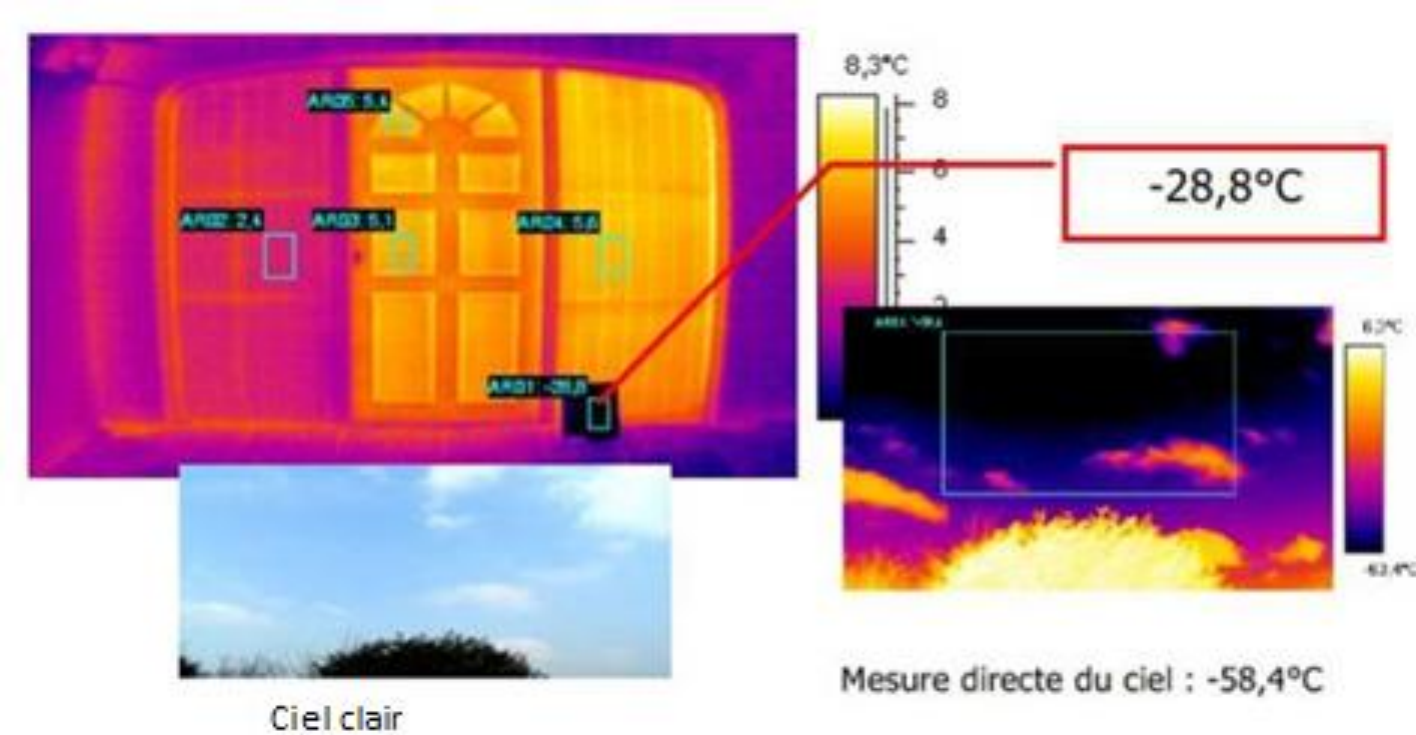
• Détermination de la TAR

▫ Exemple



• Détermination de la TAR

▫ Exemple



• Détermination de l'émissivité

- Méthode « émissivité de référence »

- Outils :

- œ Caméra IR

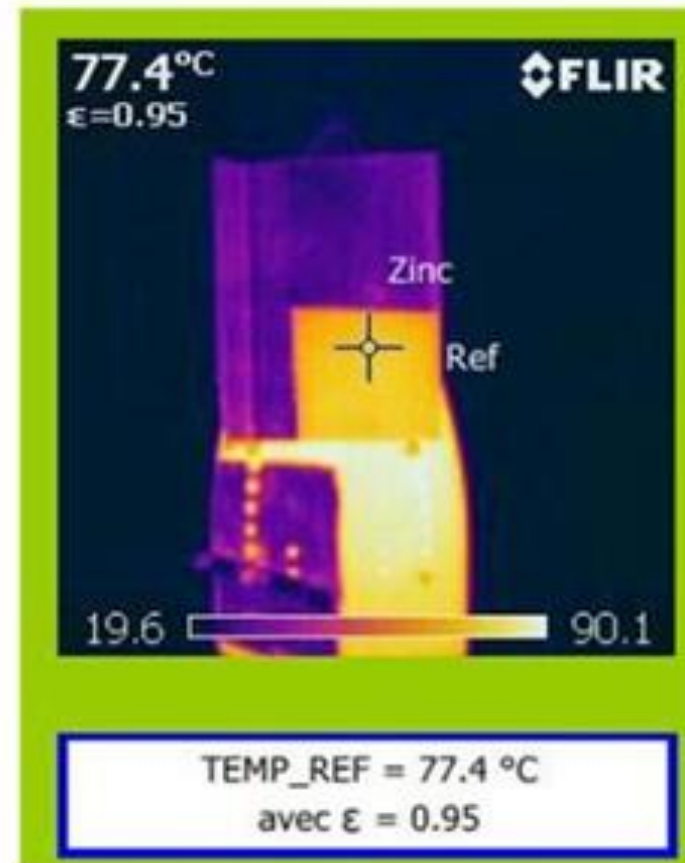
- œ Matériel de référence à émissivité connue (0,95 pour une peinture noir mat)

- œ Fer à repasser

• Détermination de l'émissivité

- 1. Couvrir la moitié du matériau de la peinture de référence
- 2. Chauffer cet échantillon sur le fer à repasser à une température de $+ 30^{\circ}\text{C}$ par rapport à l'ambiance

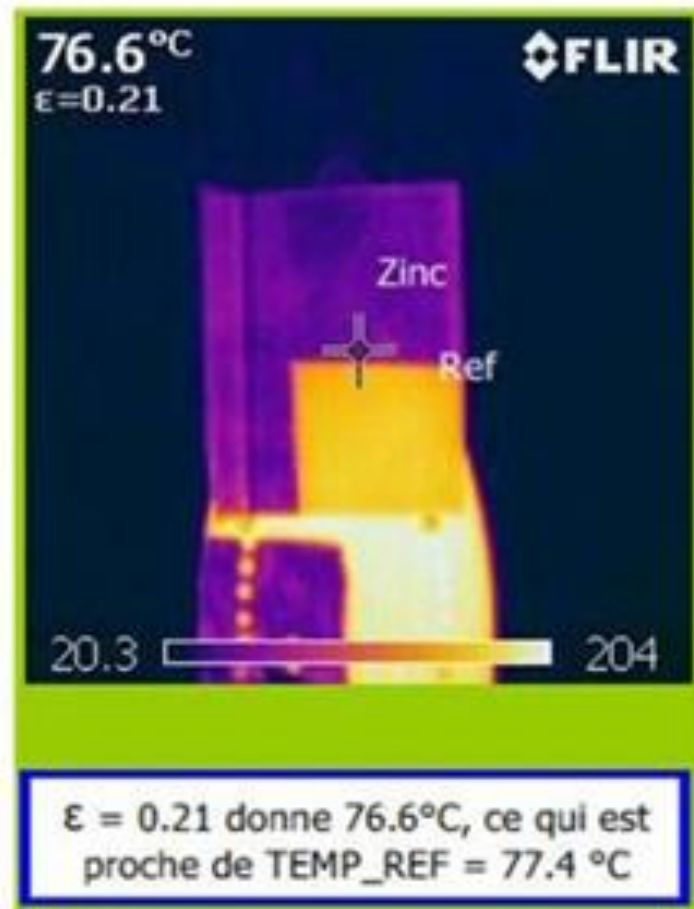
• Détermination de l'émissivité



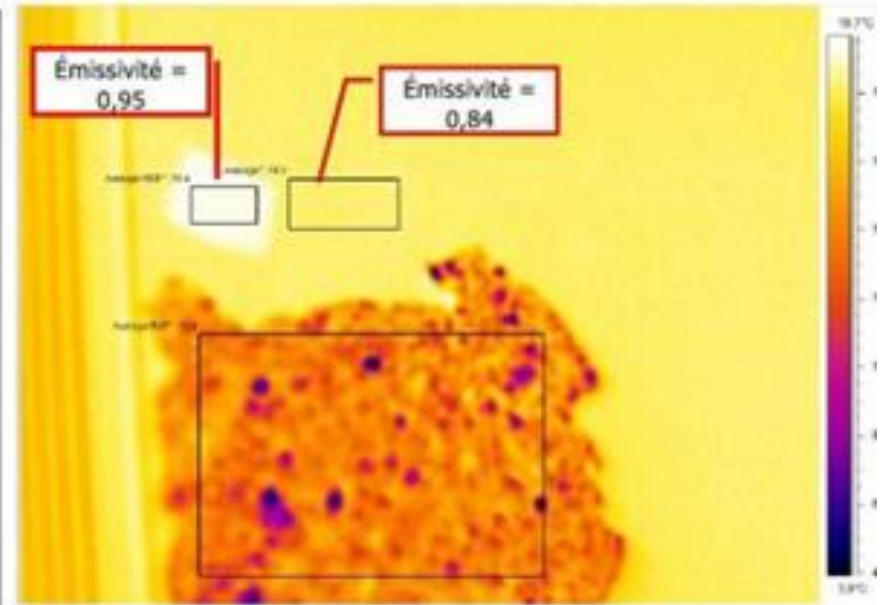
• Détermination de l'émissivité

- 3. Noter la température sur la partie de l'échantillon peint en noir
- 4. Faire évoluer l'émissivité de la caméra pour atteindre une température, sur la partie non peinte, proche de la valeur de référence

• Détermination de l'émissivité



- Détermination de l'émissivité
 - Méthode « terrain »

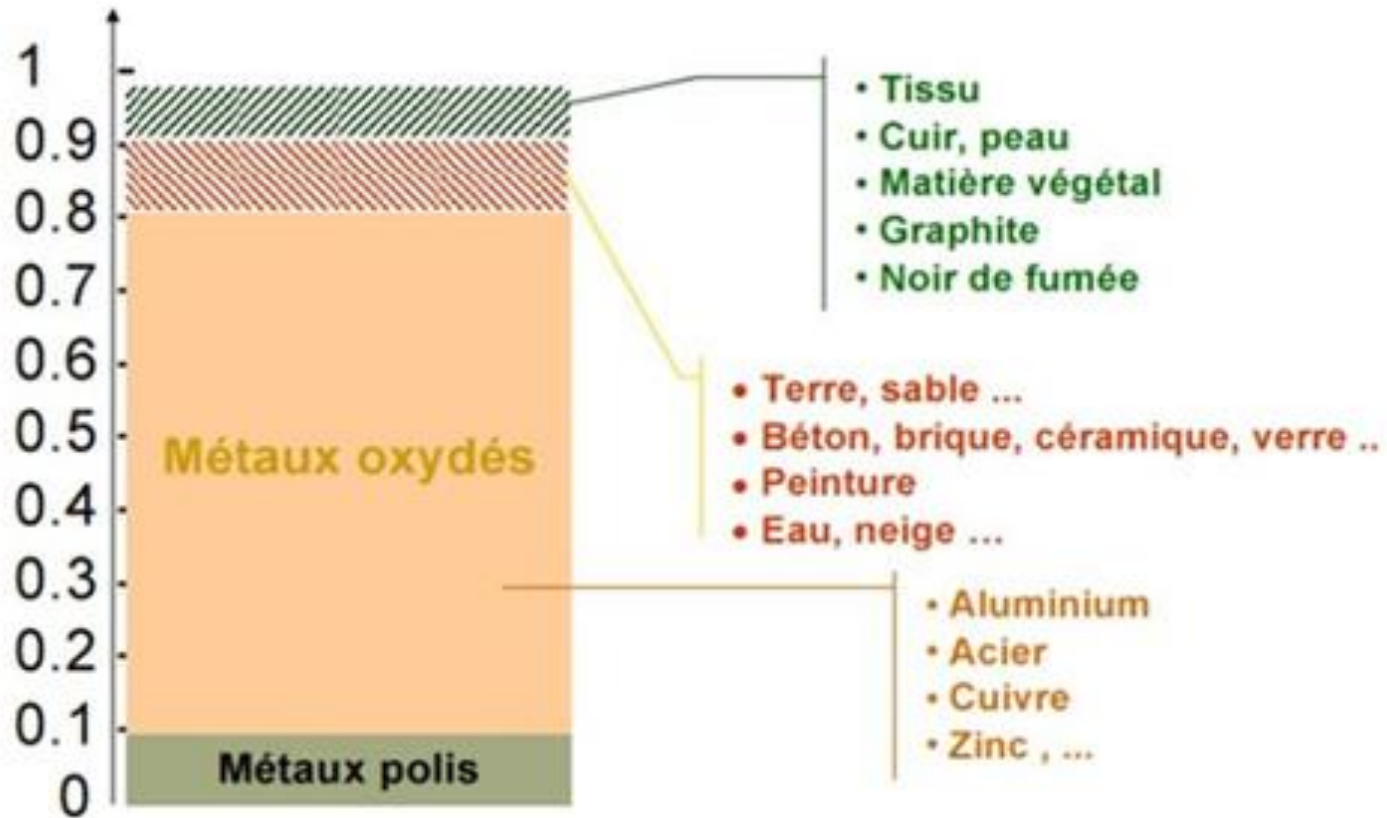


Technique de mesure

• Détermination de l'émissivité

METAUX		NON METAUX	
Matériaux	Emissivité	Matériaux	Emissivité
Aluminium		Amiante	0.95
non oxvdé	0.09	Araile	0.95
Oxvdé	0.20 - 0.55	Asphalte	0.95
Poli	0.05	Briaue	0.95
Laiton		Céramiaue	0.95
Oxvdé	0.50	Béton	0.95
Poli	0.03 - 0.05	Tissu	0.95
Carbone		Verre	0.85
Graphite	0.40	Gravier	0.95
Chrome	0.10	Gvose	0.80 - 0.95
Cuivre		Glace	0.98
Oxvdé	0.40 - 0.80	Calcaire	0.95
Poli	0.03	Peinture. non métalliaue	0.90 - 0.95
Or	0.02	Papiers. ttes couleurs	0.95
Fer		Plastique. opaque	0.90
Oxvdé	0.50 - 0.90	Caoutchouc	0.95
non oxvdé (ép.>20mm)	0.15	Sable	0.90
Rouillé	0.50 - 0.70	Neiae	0.90
Fer. fonte		Terre	0.90-0.98
Oxvdée	0.60 - 0.95	Eau	0.93
Non oxvdée	0.20	Liauides	0.95
Fondu	0.20 - 0.30	Bois	0.90-0.95
Fer foraté			
Terne	0.70		
Lisse	0.30		
Plomb			
Poli	0.50 - 1.0		
Oxvdé	0.40 - 0.60		

• Détermination de l'émissivité



• Détermination de l'émissivité

- Facteur influençant l'émissivité en bâtiment :
 - ∞ Etat de surface
 - ∞ Qualité de surface (oxydation)
 - ∞ Angle de vue

1. Introduction à la thermographie
2. Thermique de base
3. Technique de mesure
4. **Analyse de thermogramme**
5. Equipement
6. Exemple de clichés
7. Guide d'application
8. Norme NF EN 13187

- Notions importantes

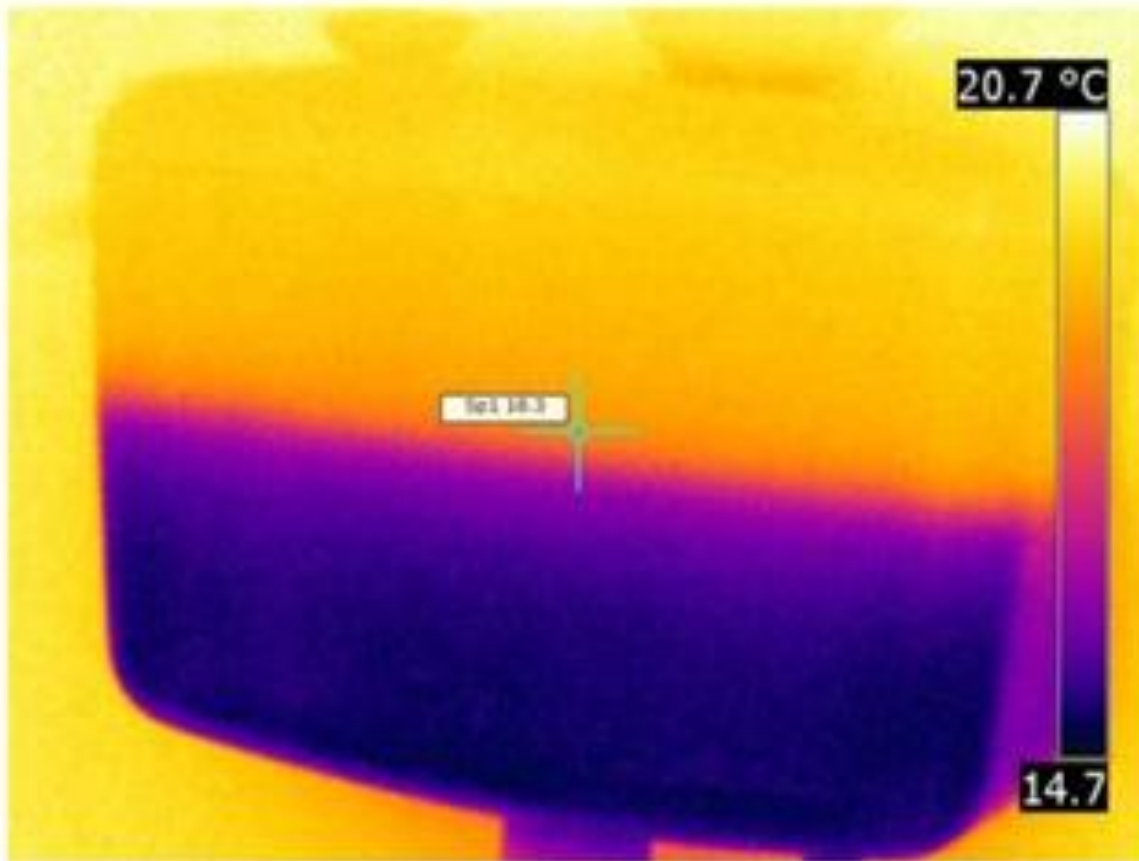
- Facteurs liés à la thermique pour l'analyse des thermogrammes :

- **INERTIE**

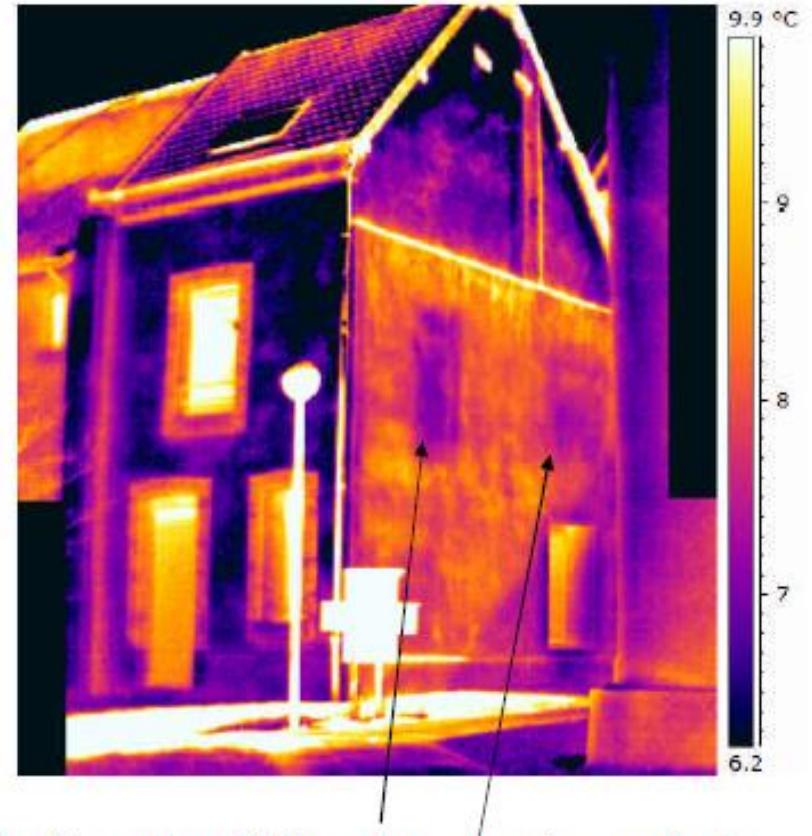
- ∞ L'inertie thermique est le résultat de la chaleur spécifique et de la densité
 - ∞ L'unité du SI est le $J/kg.m_3$
 - ∞ Cela correspond à la capacité d'un matériau à emmagasiner (ou restituer) de l'énergie thermique.

Analyse thermogramme

- Notions importantes



Analyse thermogramme

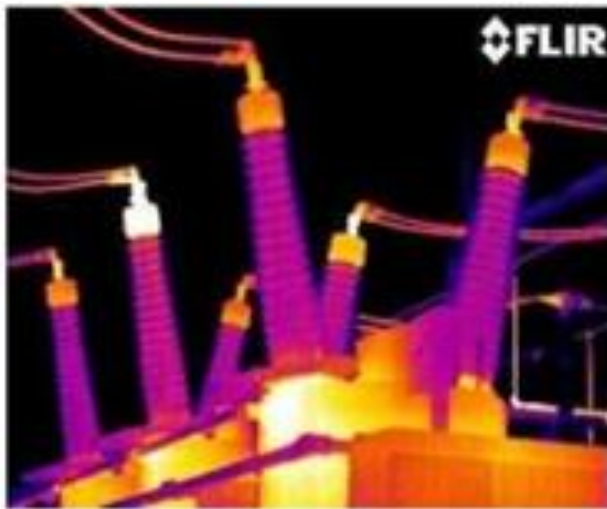


La différence d'inertie thermique permet la détection des différentes structures de la maison. A l'origine 2 fenêtres existaient au premier étage. Elles ont été supprimées et comblées.

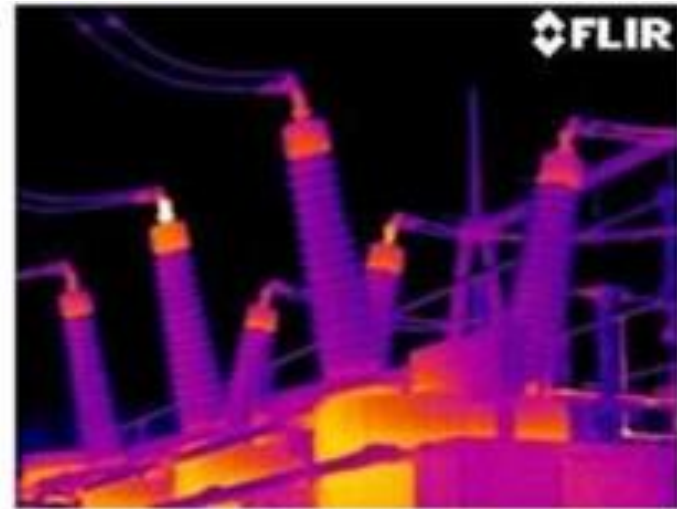
Analyse thermogramme

- Notions importantes

- Facteurs liés à la thermique pour l'analyse des thermogrammes :
- Influence du vent sur la température de surface
- = Convection



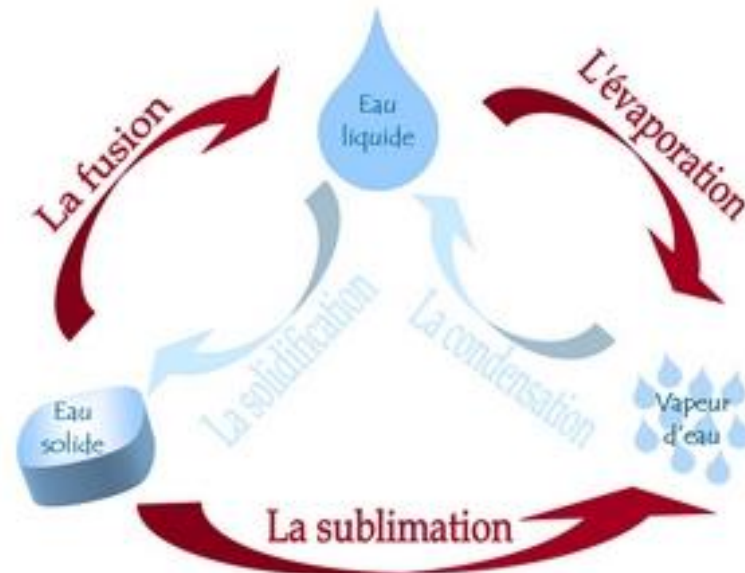
sans vent



avec vent

- Notions importantes

- Facteurs liés à la thermique pour l'analyse des thermogrammes :
- Les réactions endothermiques (qui demandent de la chaleur) et exothermiques (qui libèrent de la chaleur)



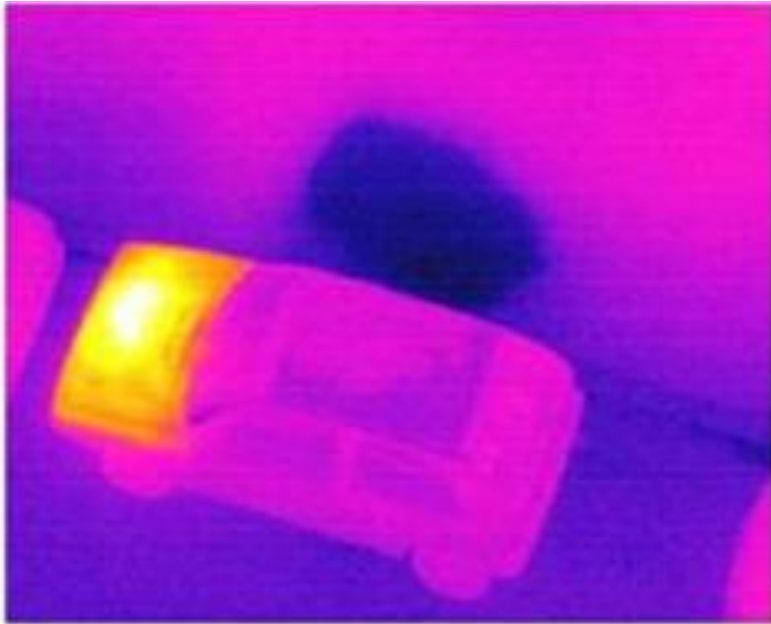
• Notions importantes

Facteurs liés à la thermique pour l'analyse des thermogrammes :

- Condensation : apparaît lorsque la matière passe de l'état Gaz à un état liquide. Cela donne de la chaleur (exothermique)
- Evaporation : apparaît quand la matière passe de l'état liquide à l'état gazeux.

La vitesse d'évaporation croît avec la température, l'intensité du rayonnement solaire, la vitesse du vent et le degré d'humidité de la paroi. Cela prend de la chaleur (Endothermique)

- Notions importantes
 - Facteurs liés à la thermique pour l'analyse des thermogrammes :
 - Condensation / Evaporation



- Notions importantes

- Facteurs liés à la thermique pour l'analyse des thermogrammes :
- Humidité => détermination du point de rosé

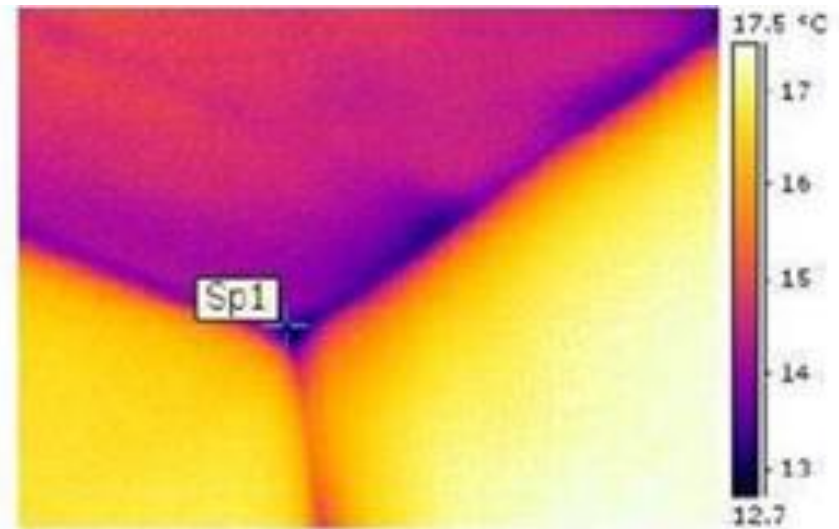


Diagramme de Mollier

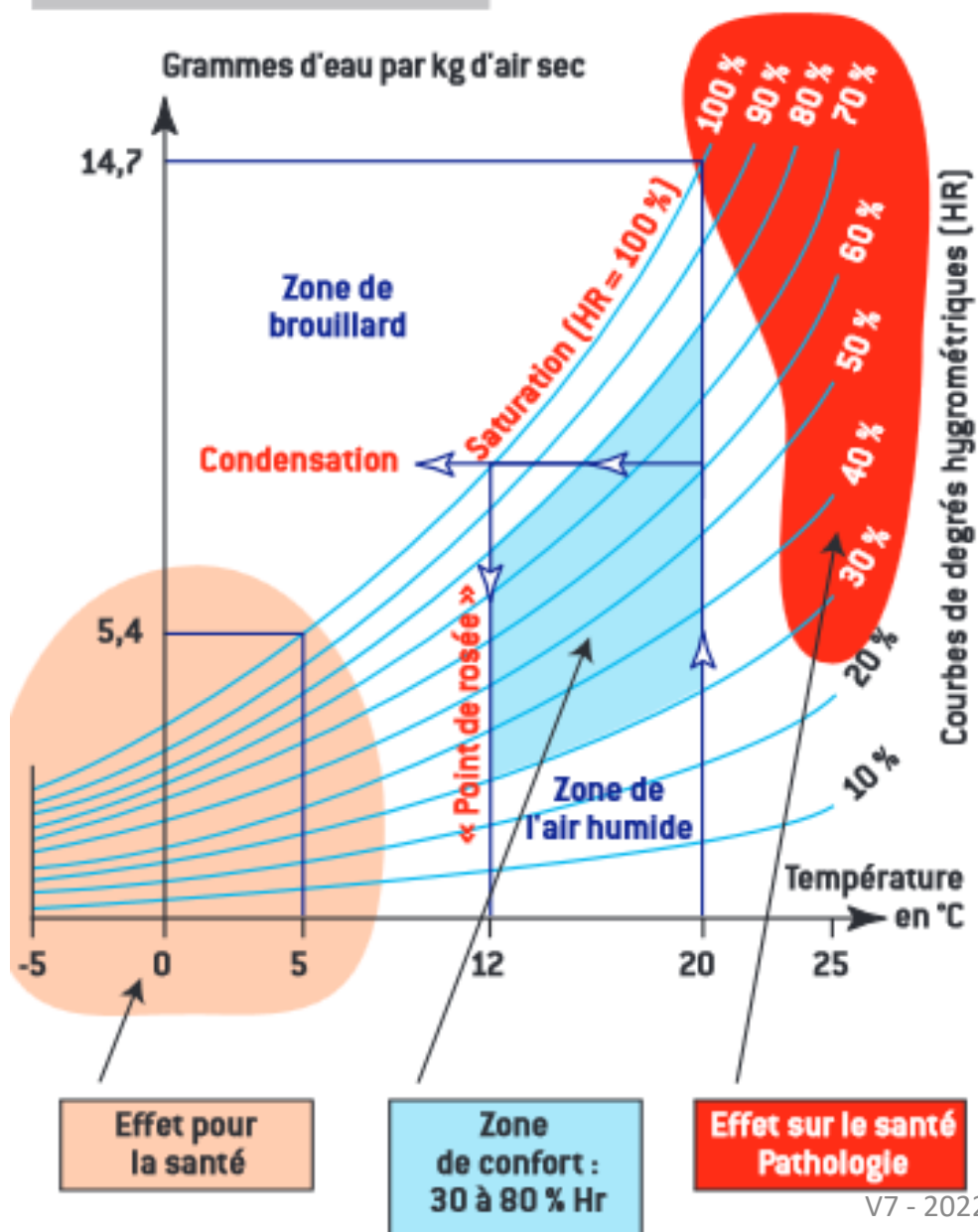


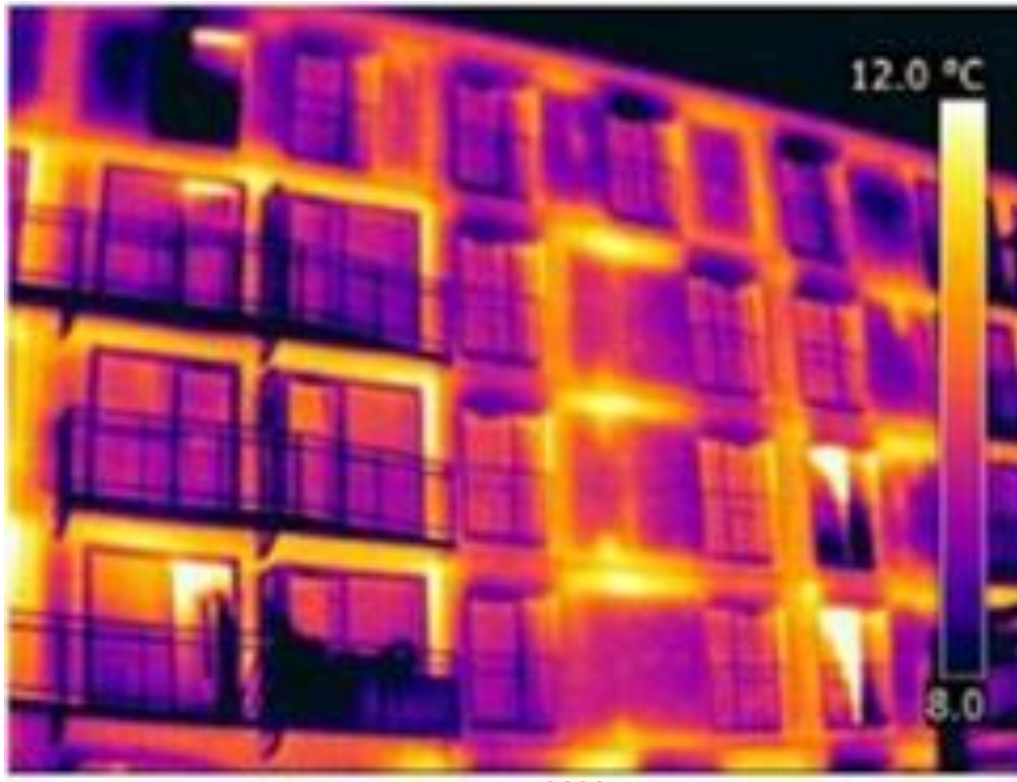
Diagramme de Mollier

À 20 °C, 1 kg d'air peut contenir jusqu'à 14,7 g de vapeur d'eau, cette valeur n'est seulement que de 5,4 g à 5 °C.

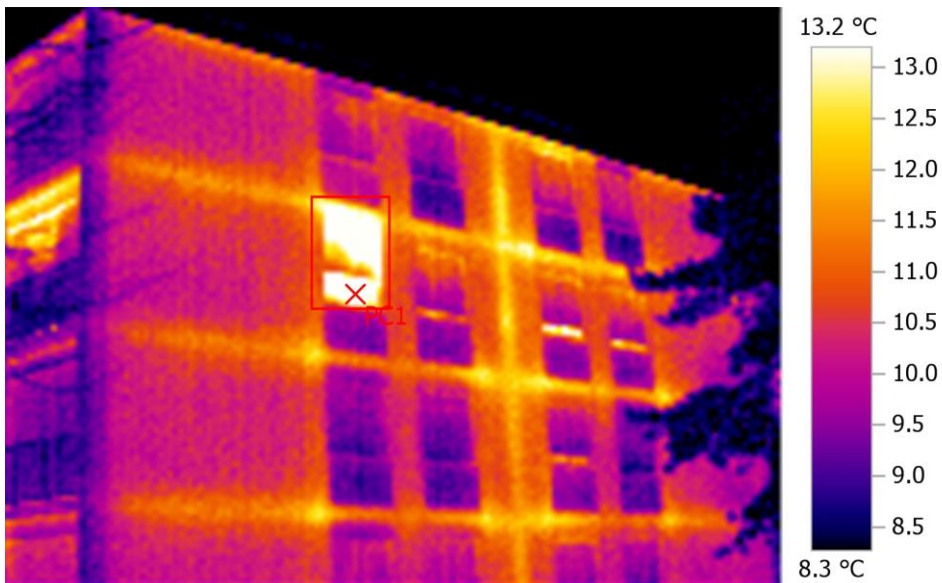
À température et pression données, le pourcentage d'eau sous forme gazeuse par rapport à cette valeur maximale est appelée « Humidité Relative de l'air » (Hr). Ainsi, si de l'air à 20 °C contient 7,4g de vapeur d'eau, son humidité relative Hr sera de 50 %.

Avec une humidité relative de 100 %, l'air atteint son point de rosée. Au-delà de ce point, la vapeur commence à se condenser en gouttelettes. 1 kg d'air refroidi de 20 °C à 5 °C engendre la formation de 9,3 g d'eau sous forme liquide !

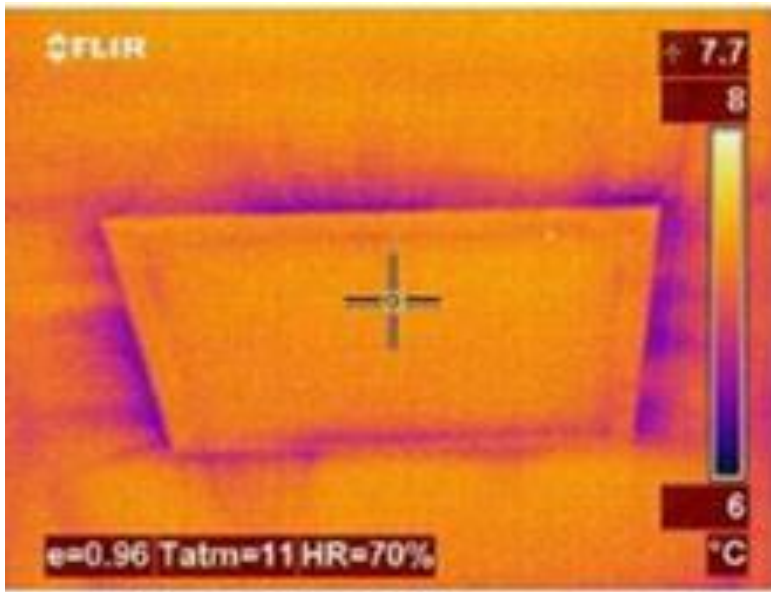
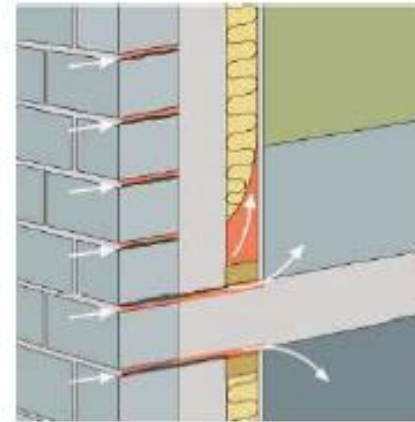
- Notions importantes
 - Pathologie dans le bâtiment
 - ∞ Ponts thermiques



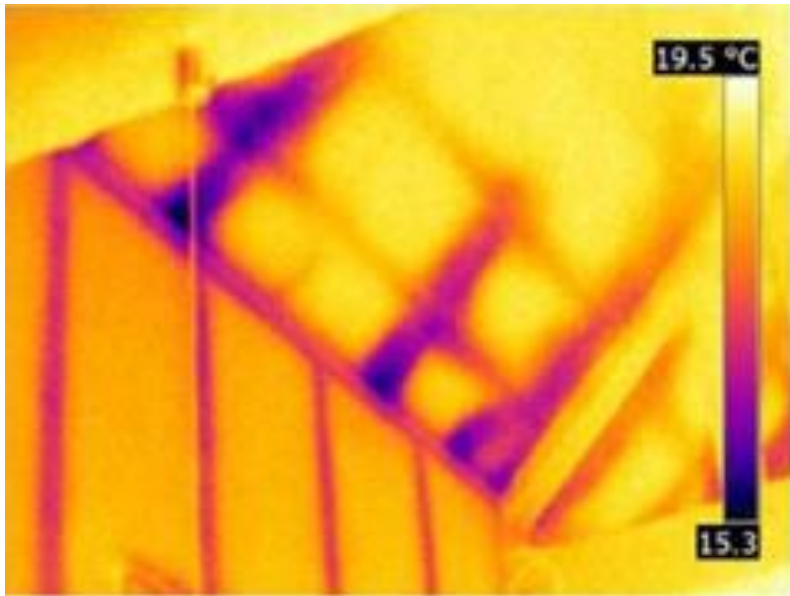
- Notions importantes
 - Pathologie dans le bâtiment
 - ∞ Ponts thermiques



- Notions importantes
 - Pathologie dans le bâtiment
 - ∞ Infiltrations d'air (direct)



- Notions importantes
 - Pathologie dans le bâtiment
 - ∞ Infiltrations d'air (indirect)



1. Introduction à la thermographie
2. Thermique de base
3. Technique de mesure
4. Analyse de thermo gramme
5. **Equipement**
6. Exemple de clichés
7. Guide d'application
8. Norme NF EN 13187

- Caméra thermographique:
Bande spectrale LW (8-12 μm)

Principe de fonctionnement:

Matrice non refroidie composée d'un réseau de **X colonnes** par **Y lignes** de détecteurs, résistances carrées en *silicium amorphe* ou en *oxyde de vanadium*.

La valeur de ces résistances évolue en fonction de la puissance du rayonnement

donc de la température apparente ...

- Caméra thermographique:

- Optique

- ∞ Résolution thermique (NETD) $< 0,1^{\circ}\text{C}$ par exemple
 - ∞ Résolution spatiale : 160x120, 320x240 ...
 - ∞ Incertitude de mesure $\pm 2^{\circ}\text{C}$

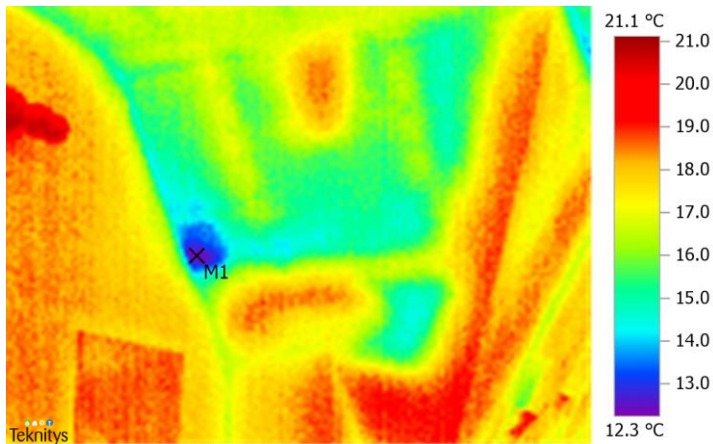
- Réglage

- ∞ Gamme (-20 + 50°C par exemple)
 - ∞ Niveau et plage de mesure

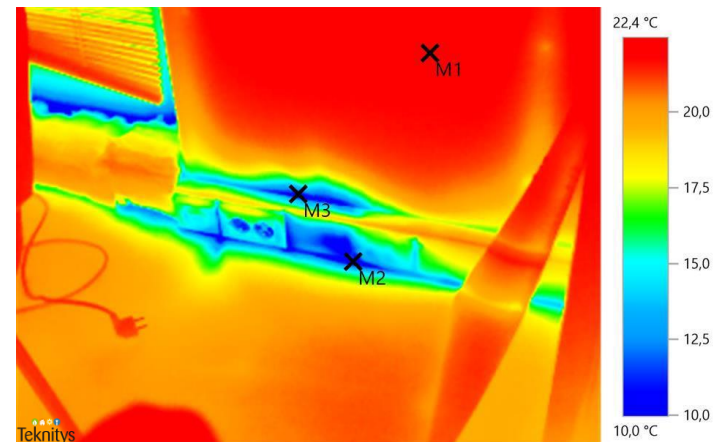
• Caméra thermographique:

Résolution spatiale : 80x60, 120x90, 160x120, 320x240, 640x480 ...

160x120



320x240



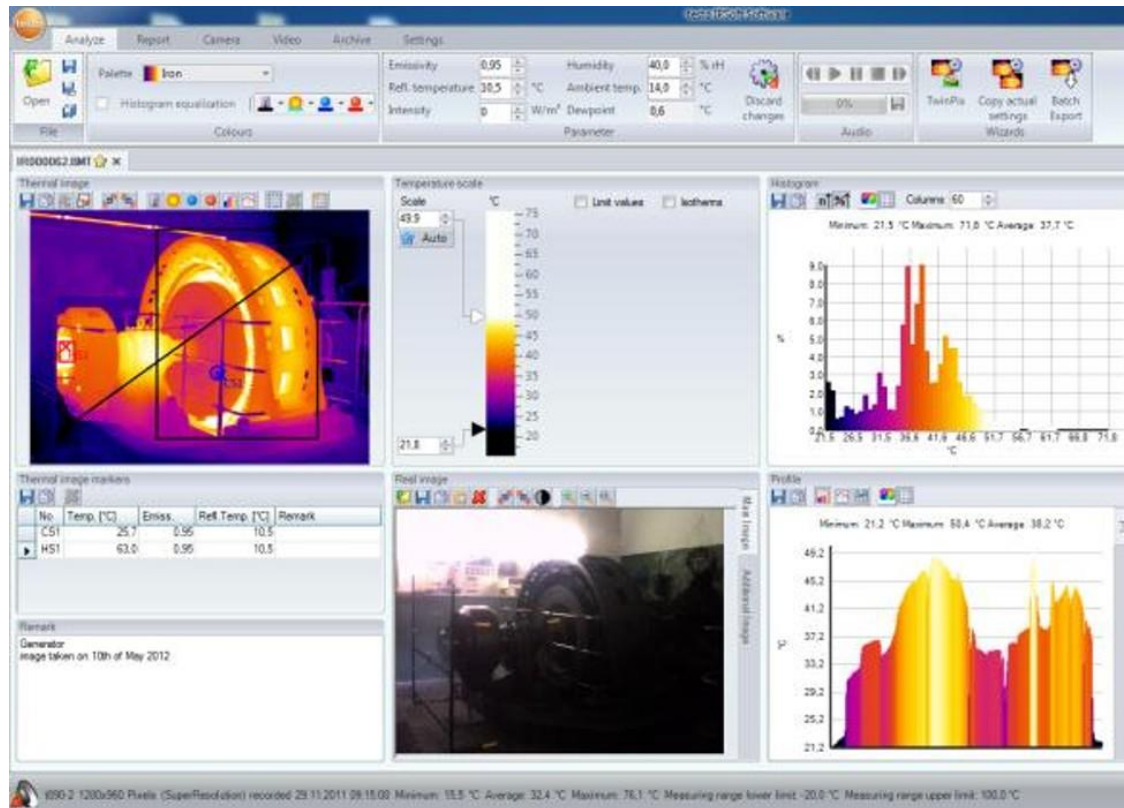
• Caméra thermographique



- Caméra thermographique
Logiciel de traitement des thermogrammes



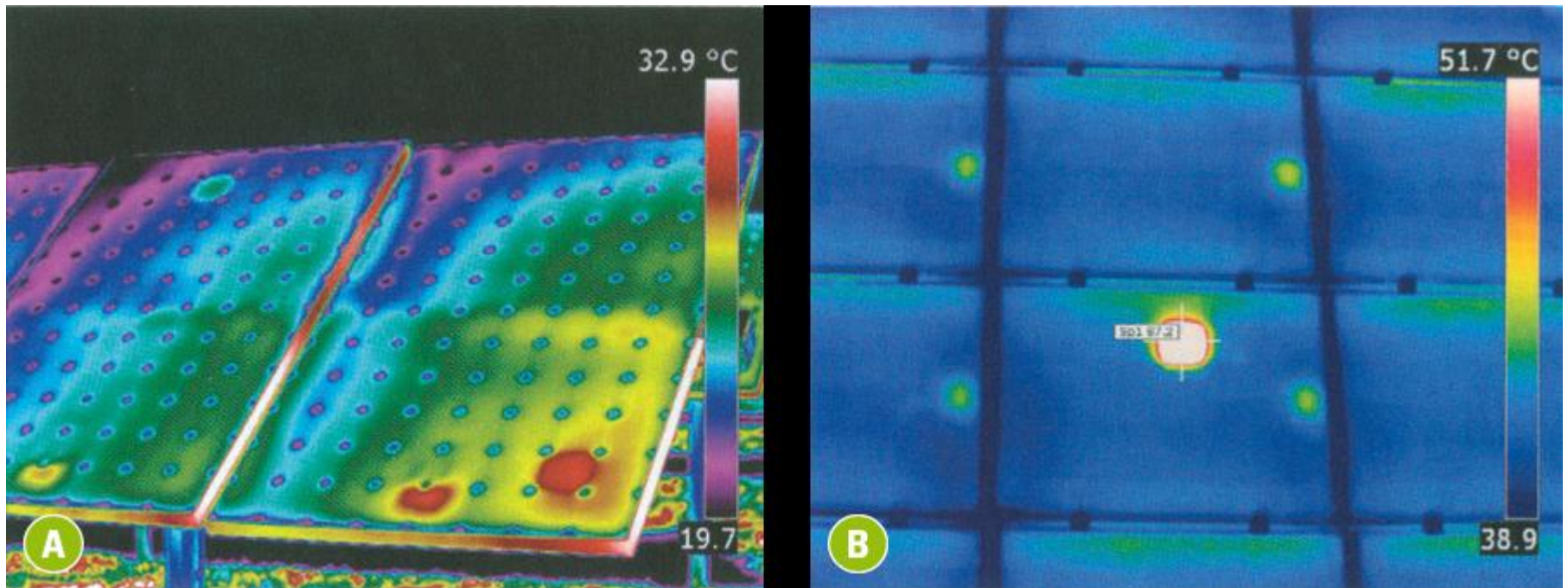
- Caméra thermographique
- Logiciel de traitement des thermogrammes



1. Introduction à la thermographie
2. Thermique de base
3. Technique de mesure
4. Analyse de thermogramme
5. Equipement
6. Exemples de clichés
7. Guide d'application
8. Norme NF EN 13187

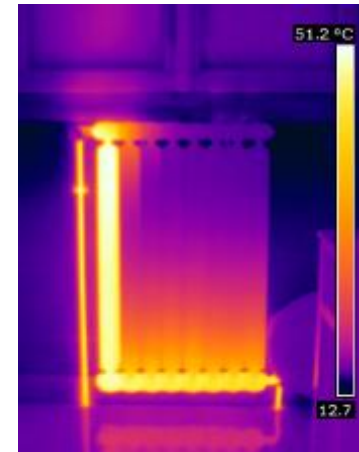
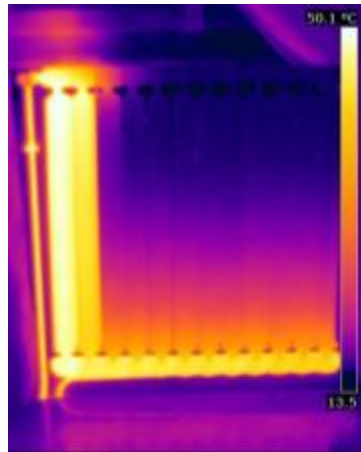
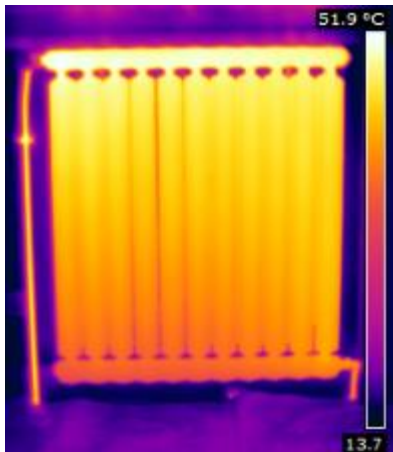
Exemple de clichés

- Analyse photovoltaïque



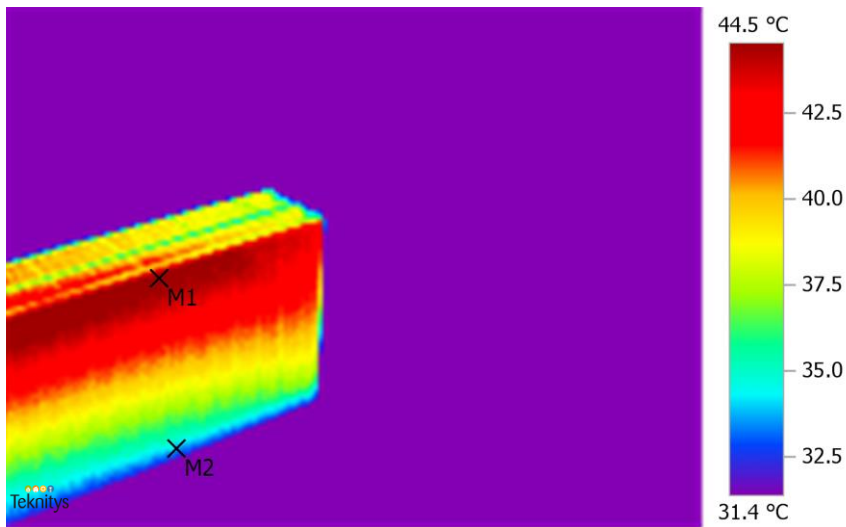
Exemple de clichés

Analyse du système de chauffage

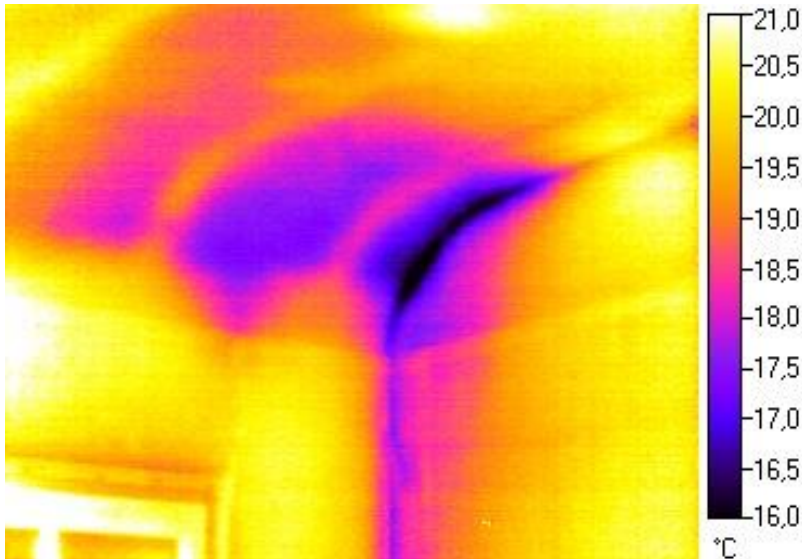


Exemple de clichés

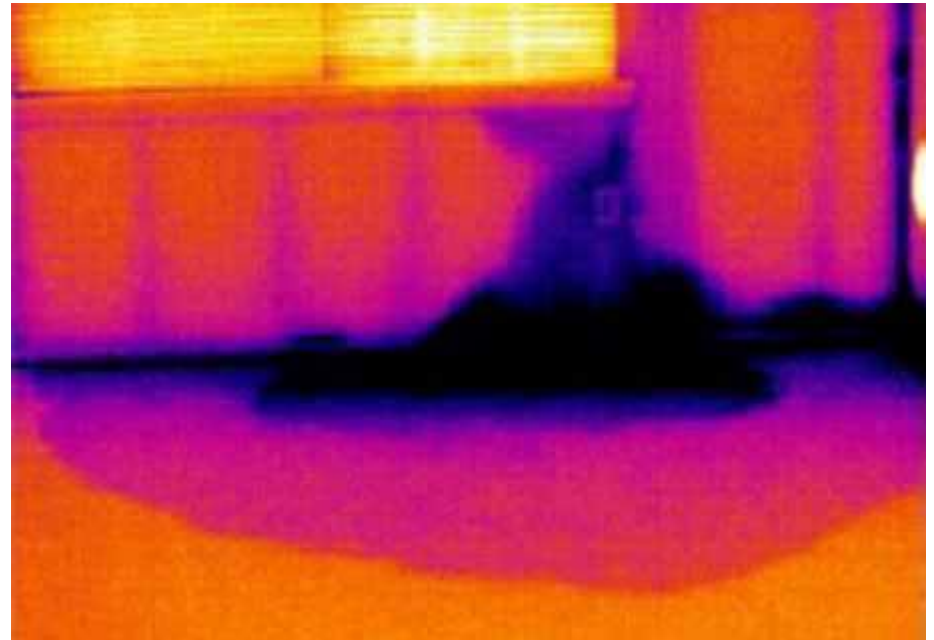
Analyse du système de chauffage



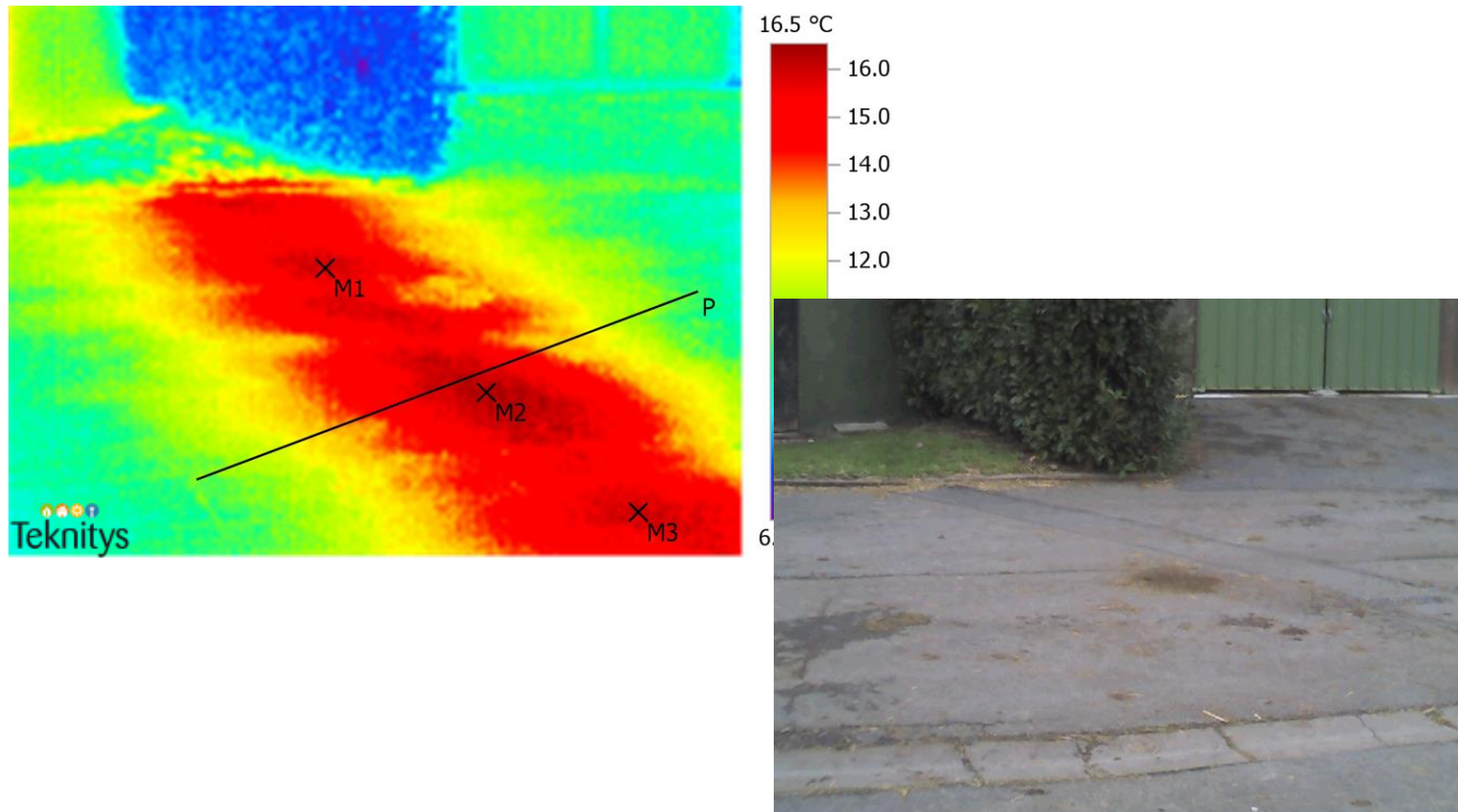
- Recherche de condensation



- Recherche de fuite

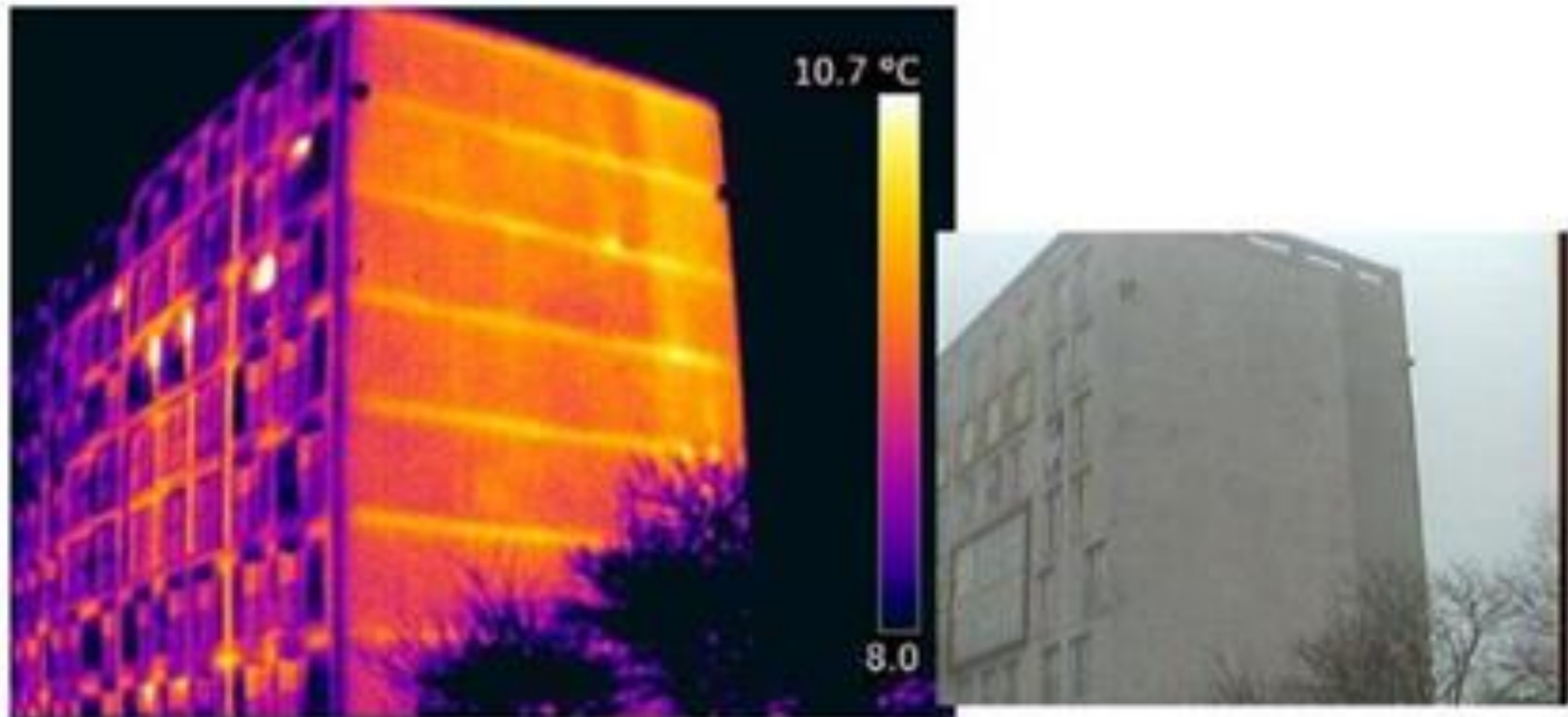


• Recherche de fuite



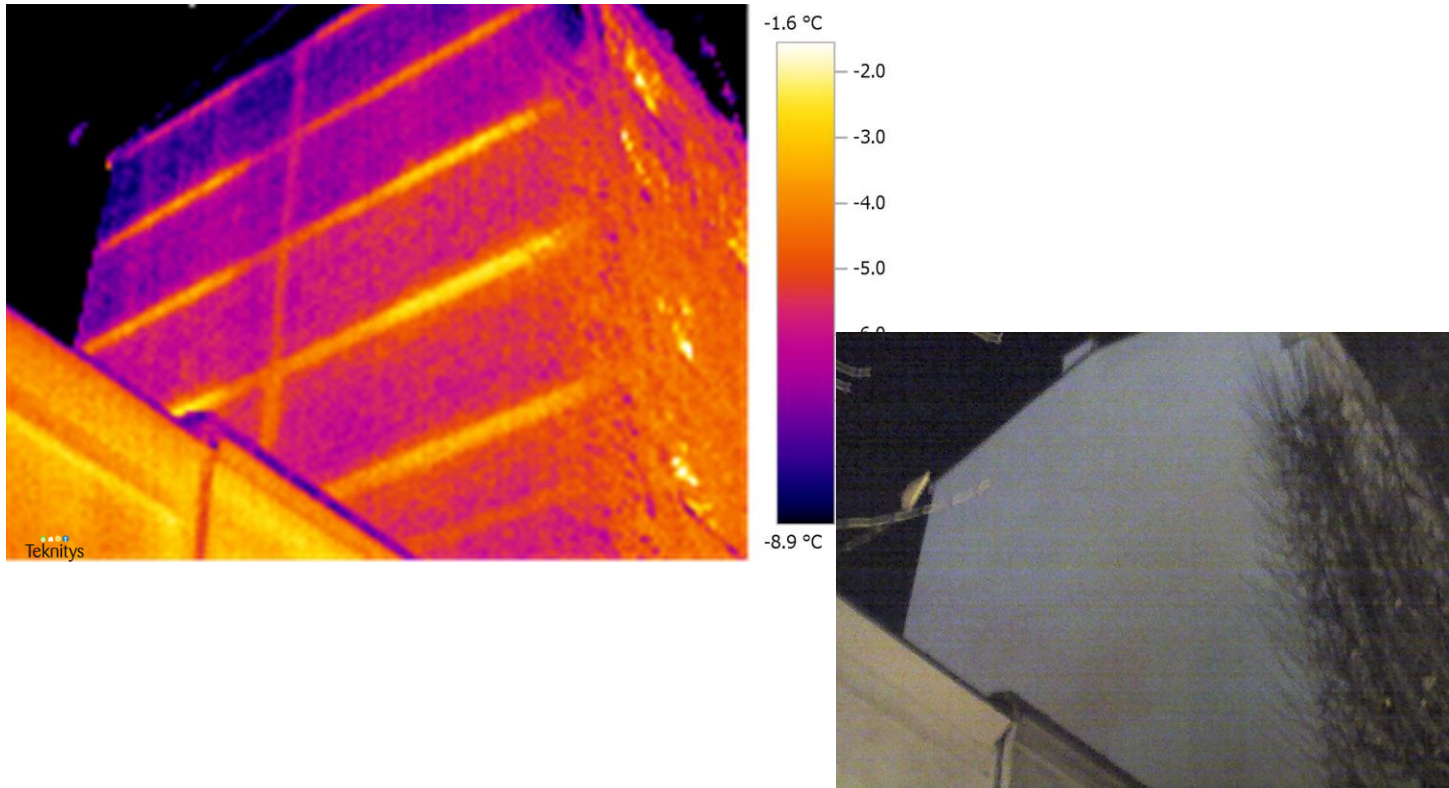
Exemple de clichés

- Recherche de Ponts thermiques

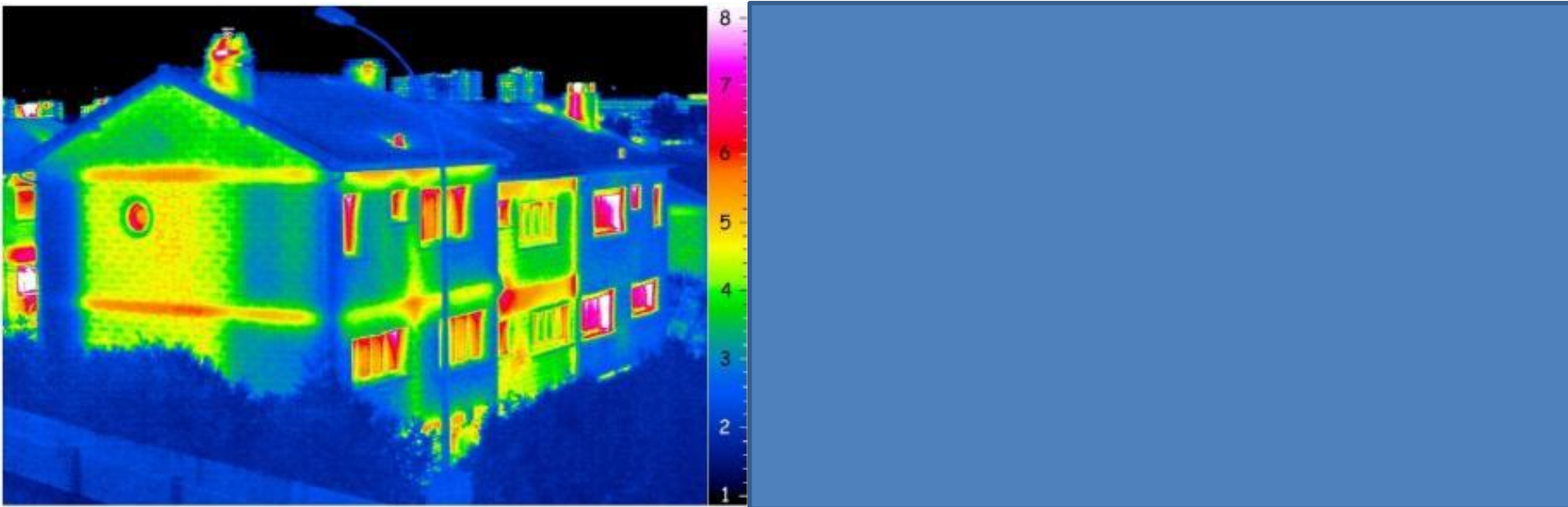


Exemple de clichés

- Recherche de Ponts thermiques



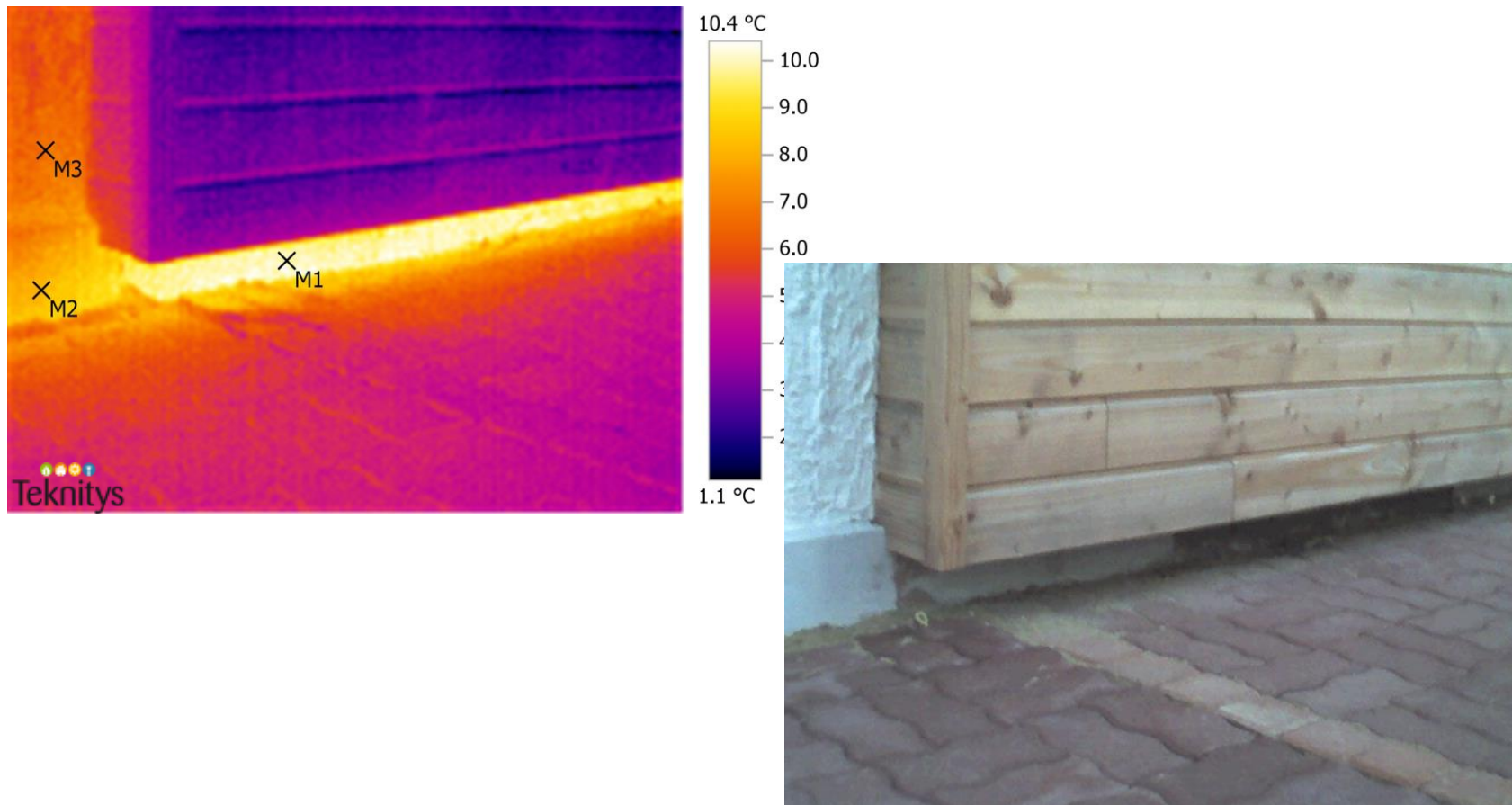
- Recherche de Ponts thermiques



http://www.inforenovateur.com/document/lire/337_la-thermographie-un-metier-specifique

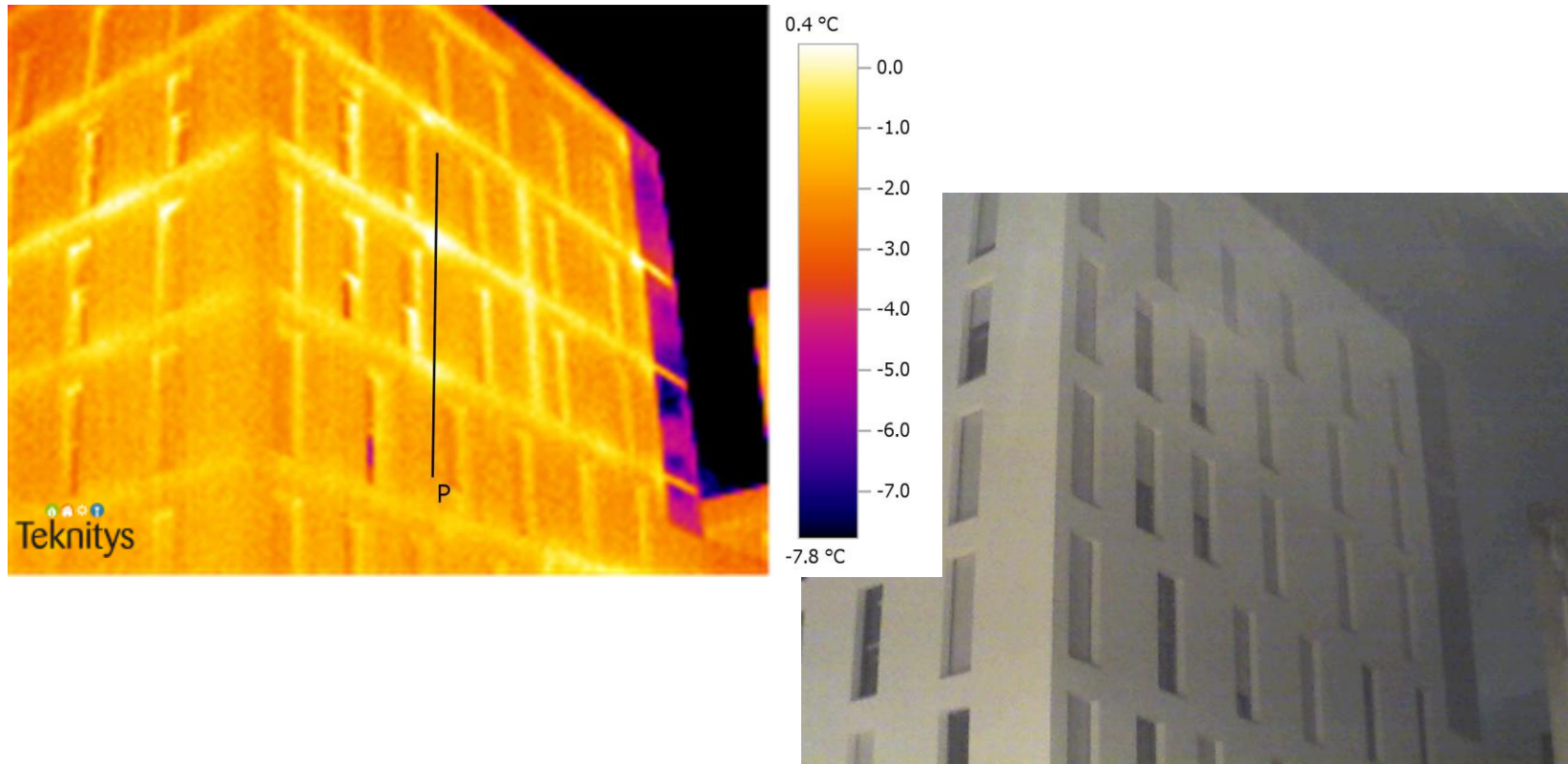
Exemple de clichés

• Recherche de Ponts thermiques



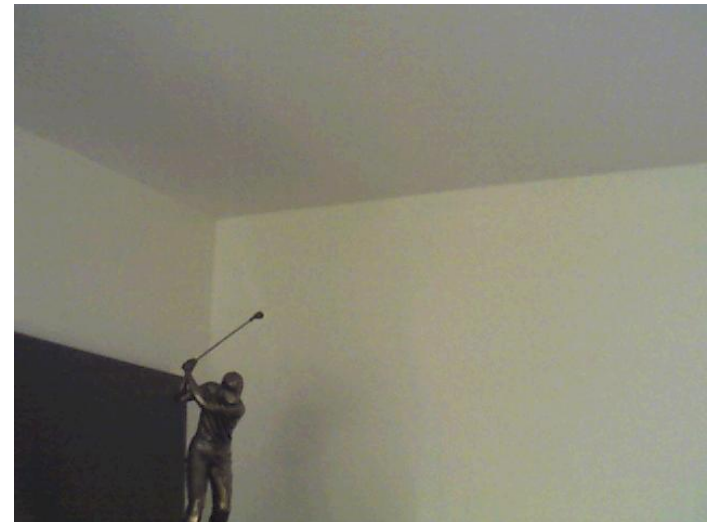
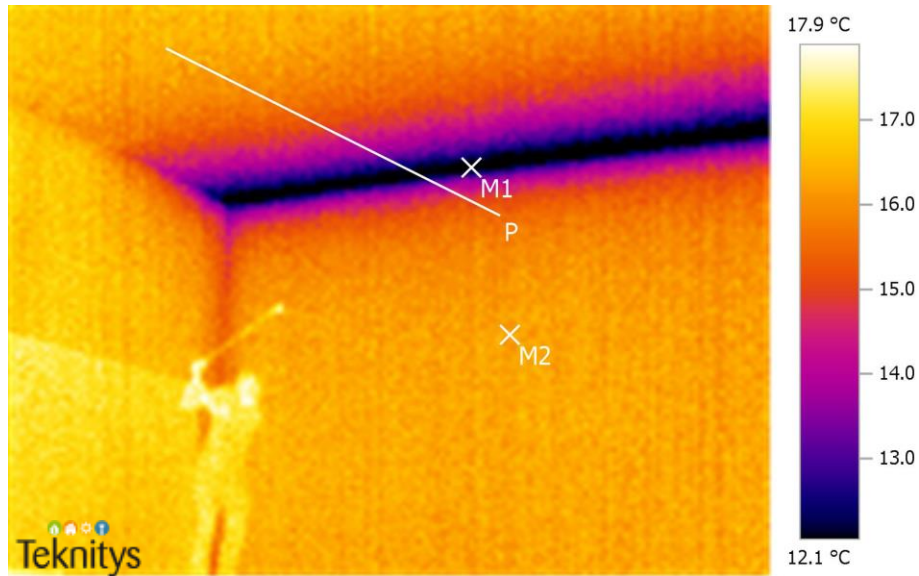
Exemple de clichés

- Recherche de Ponts thermiques



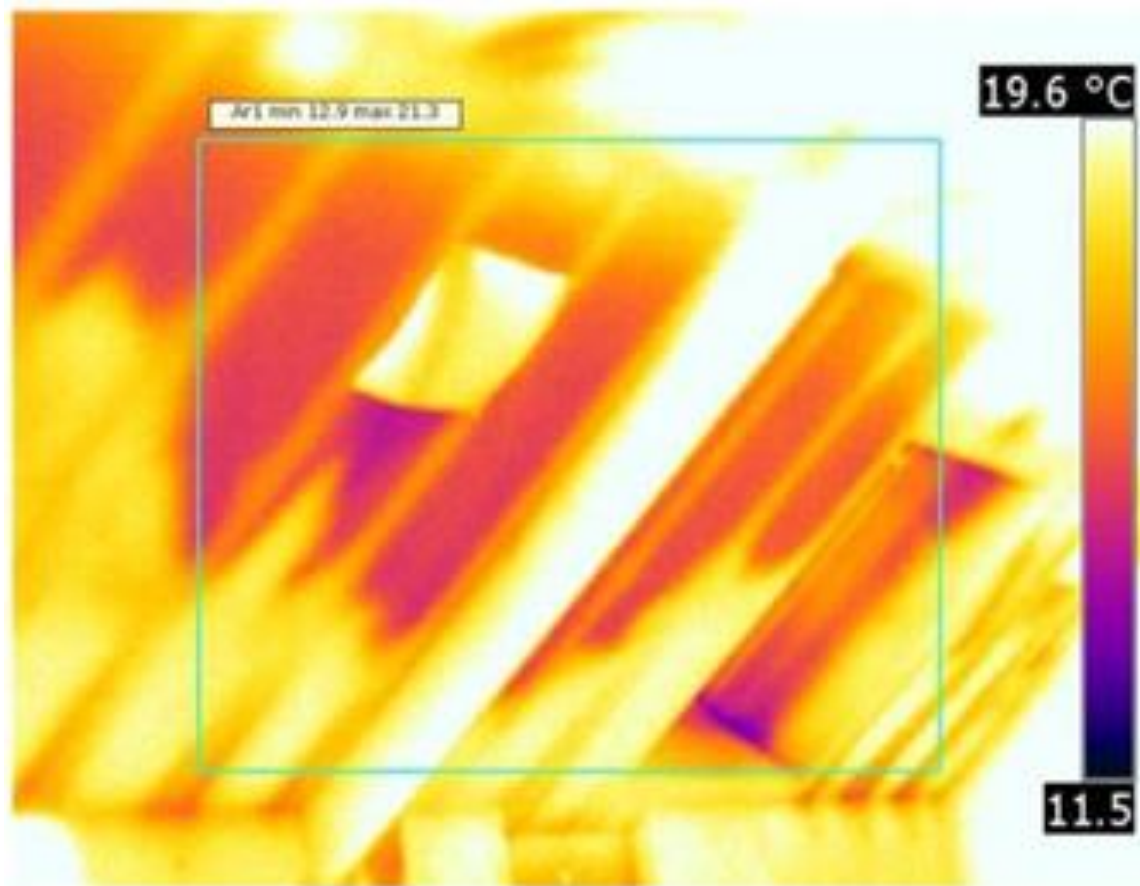
Exemple de clichés

- Recherche de Ponts thermiques

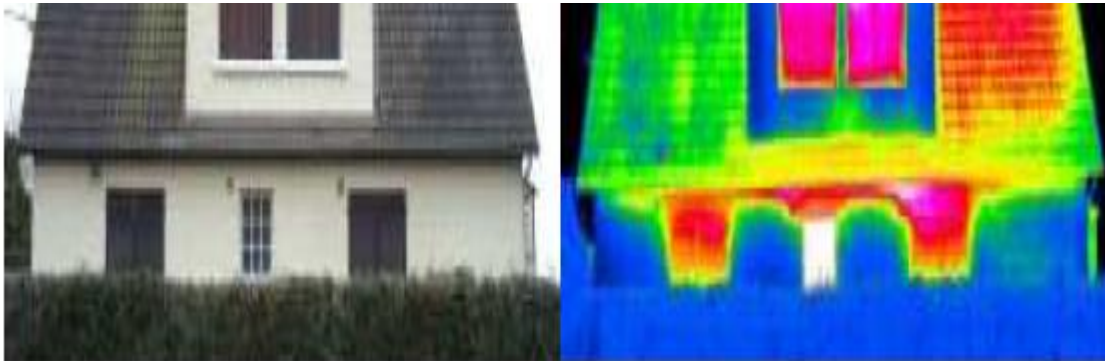


Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation



Exemple de clichés



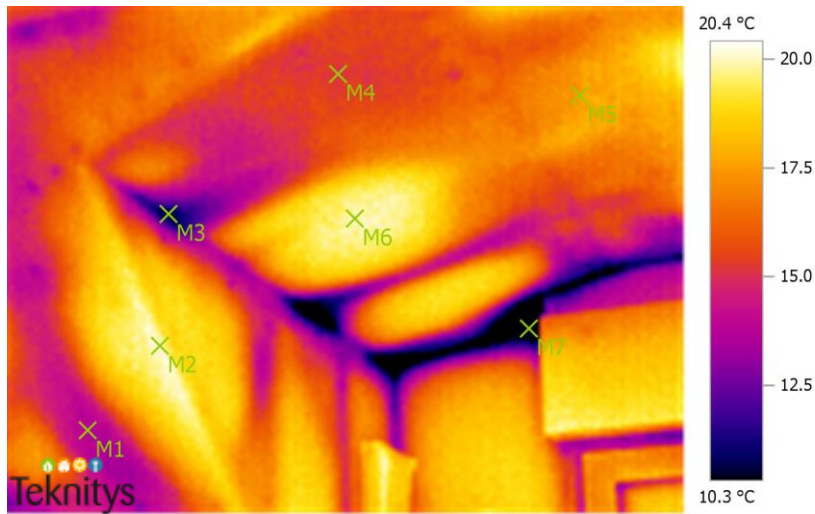
Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation



Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation

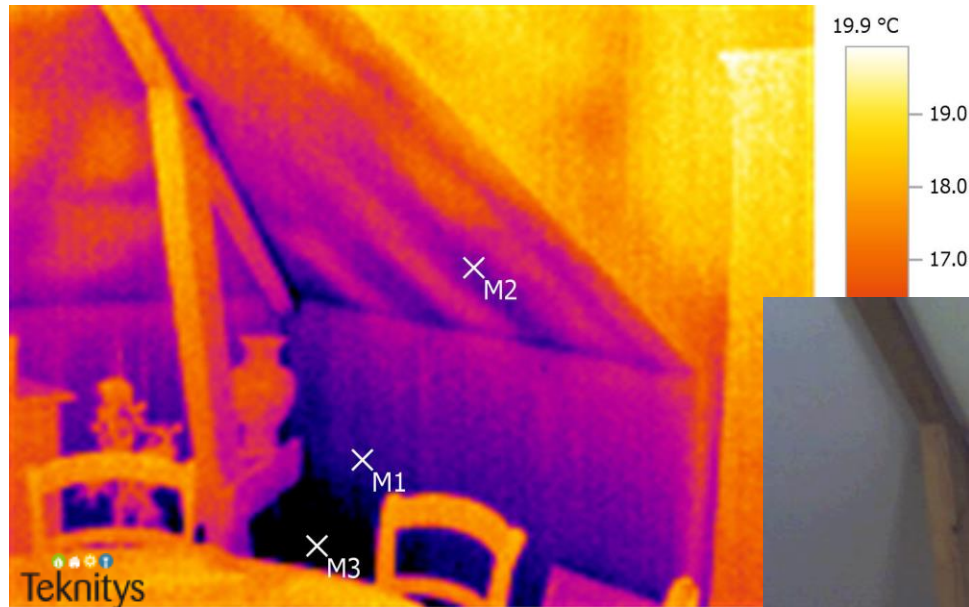


Exemple de clichés

• Recherche de défauts d'isolation

Temp ext: 2°C

Temp int: 21°C

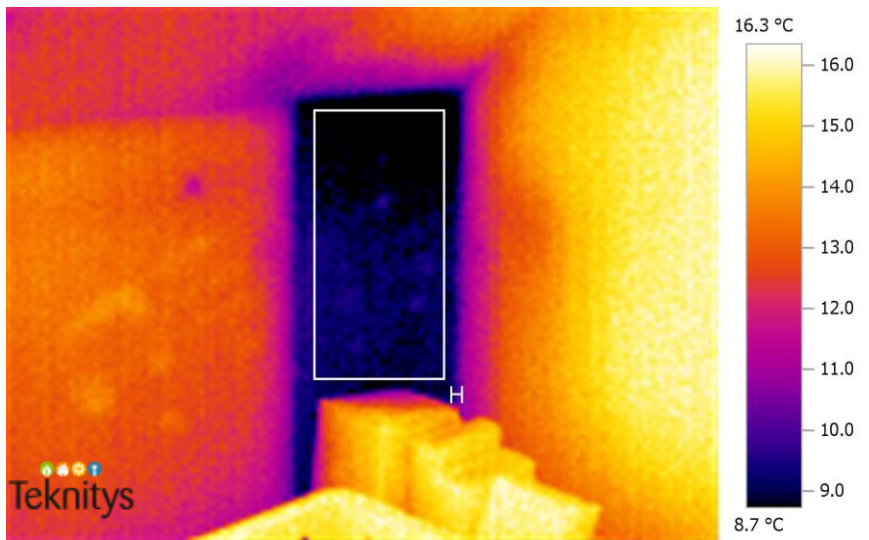


Temp cloison de redressement : < 14 °C



Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation

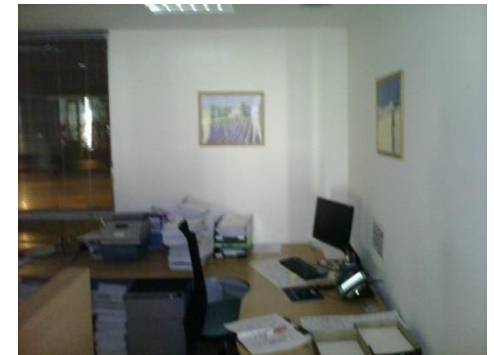
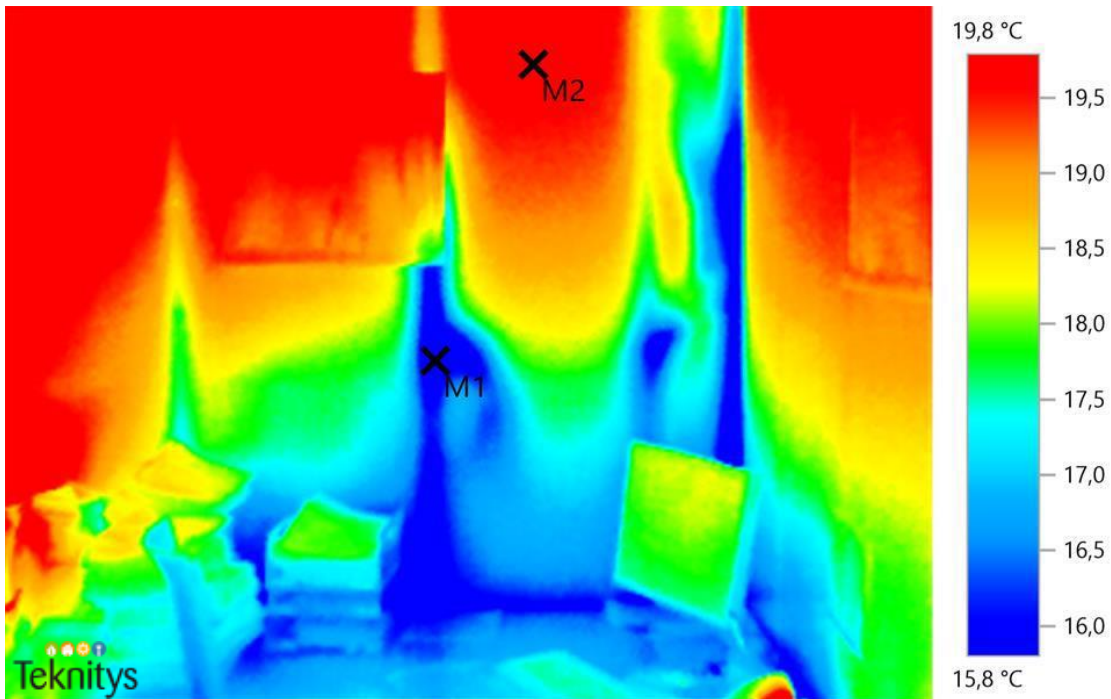


Pas d'isolant sur 15 cm



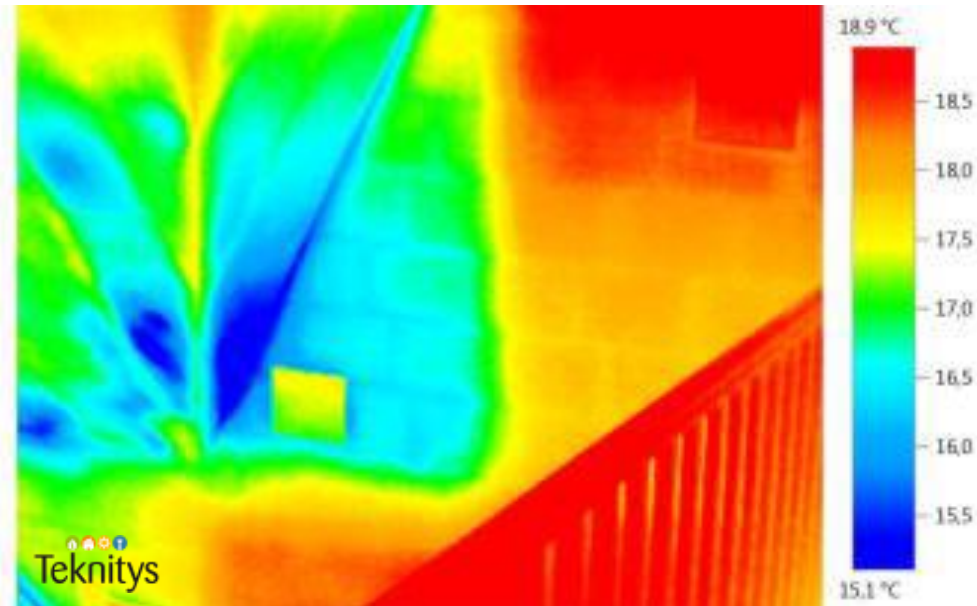
Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation



Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation



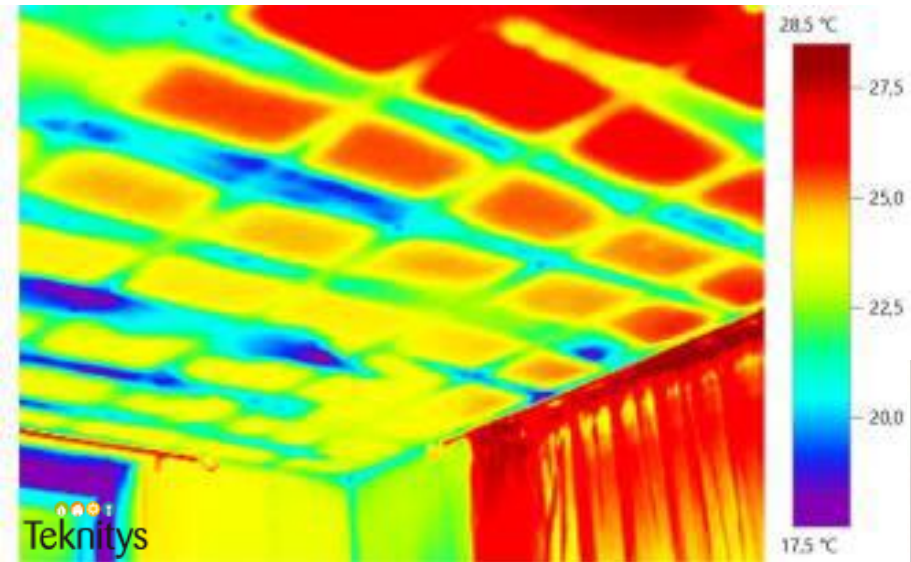
Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation



Exemple de clichés

- Recherche de défauts d'isolation



Plancher haut ossature bois...



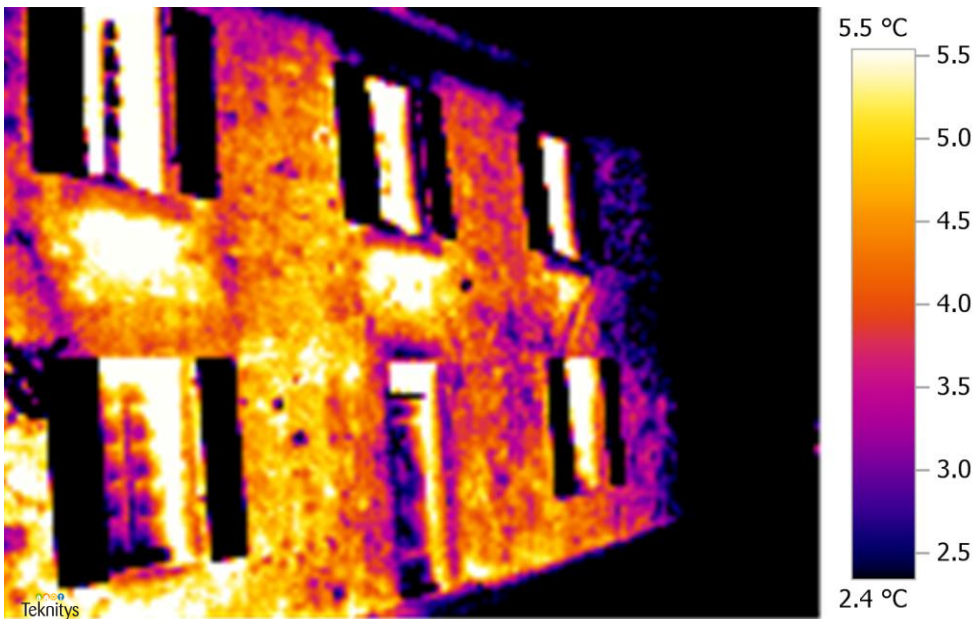
Exemple de clichés

- Bâtiments anciens

Remontées capillaires, système constructif



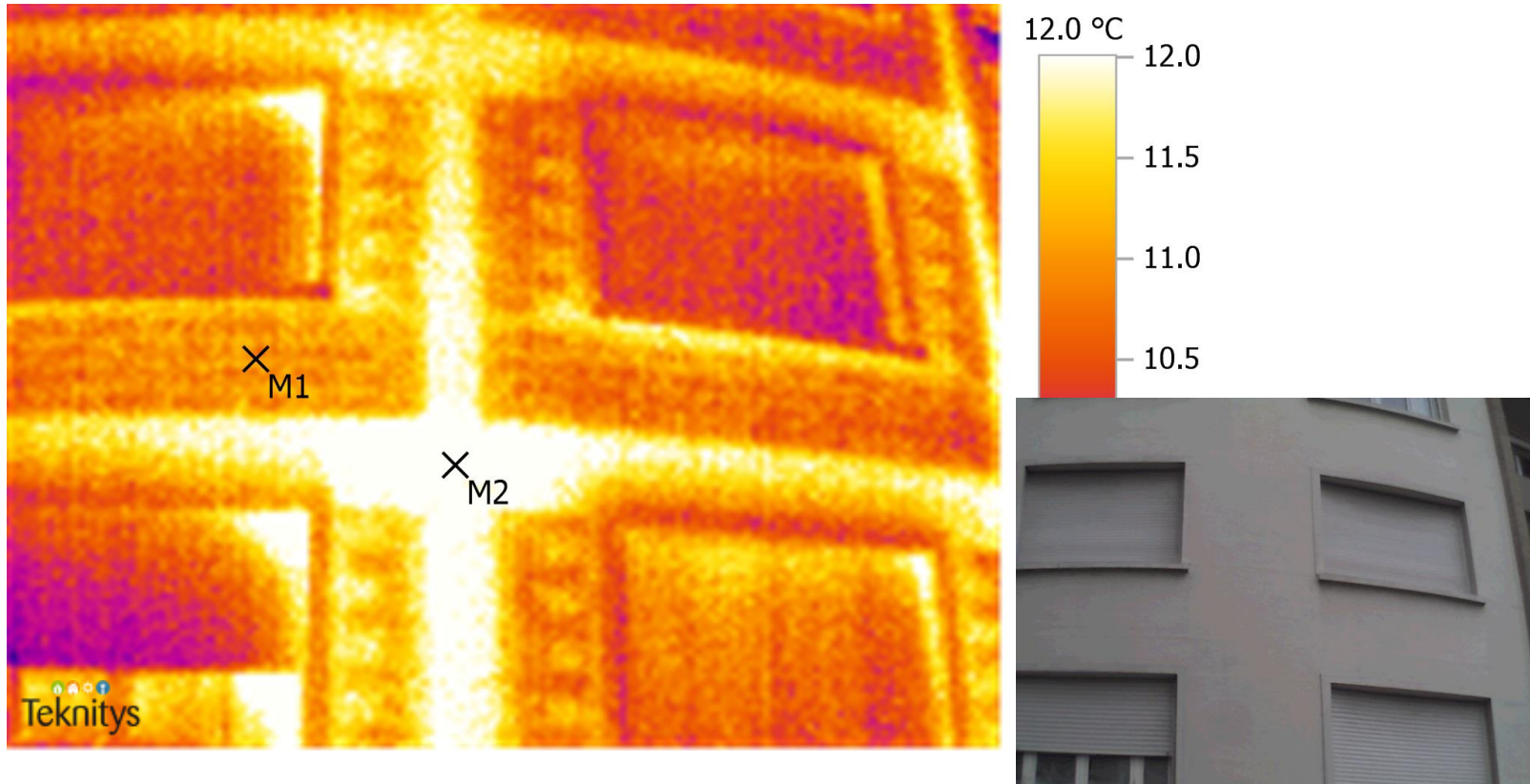
- Bâtiments anciens



Exemple de clichés

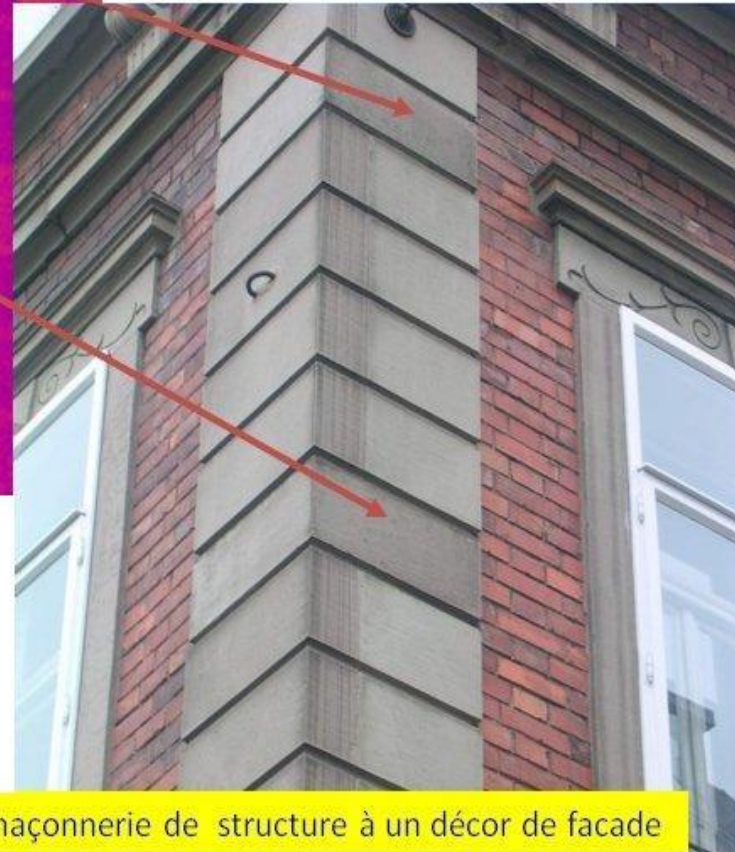
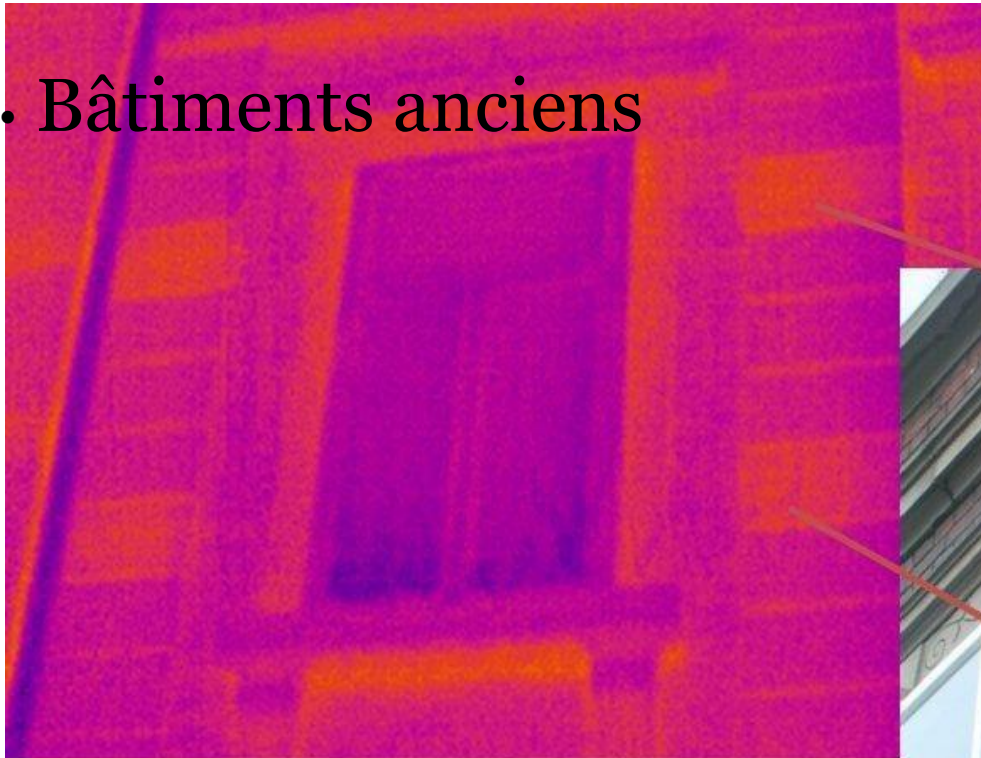
- Bâtiments anciens

système constructif



Exemple de clichés

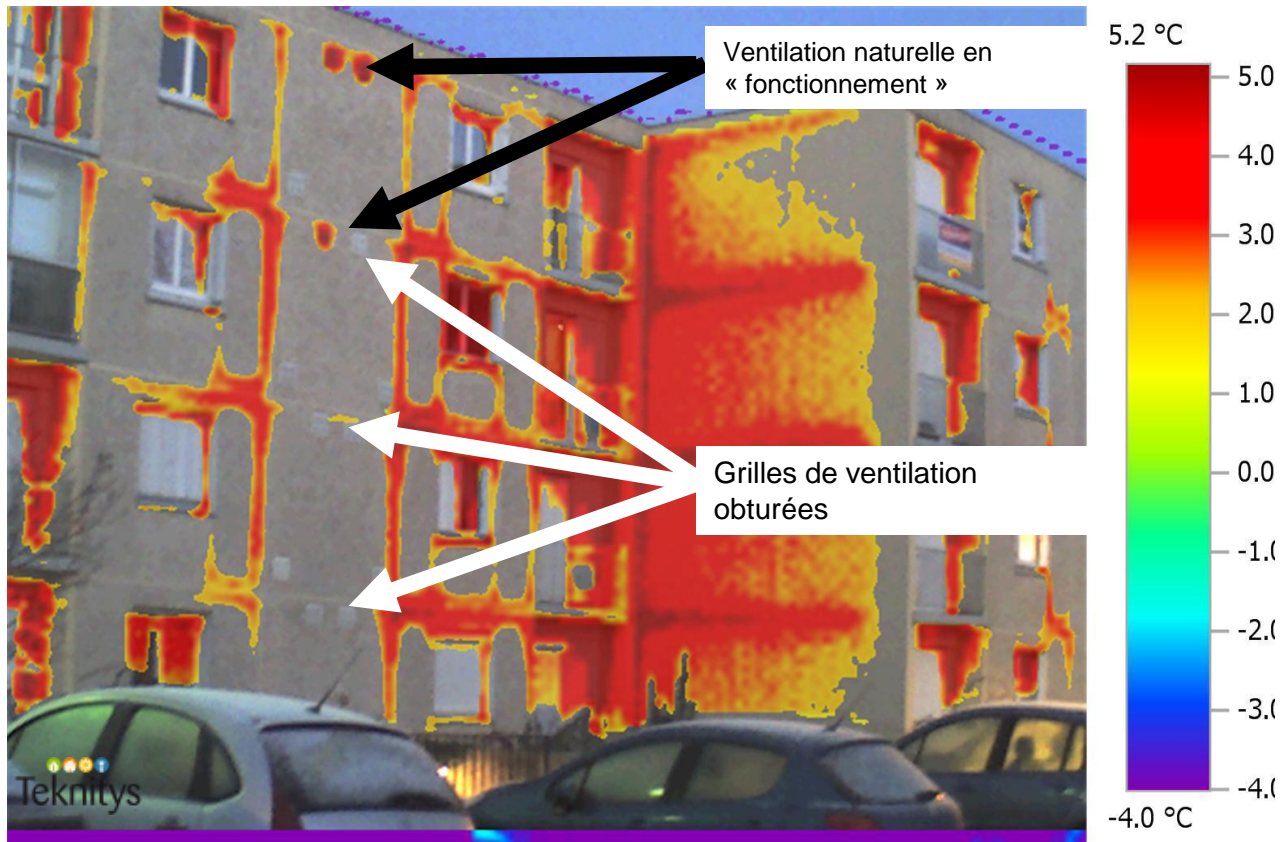
- Bâtiments anciens



Fin du 19ième : industrialisation avec passage d'une maçonnerie de structure à un décor de facade

Exemple de clichés

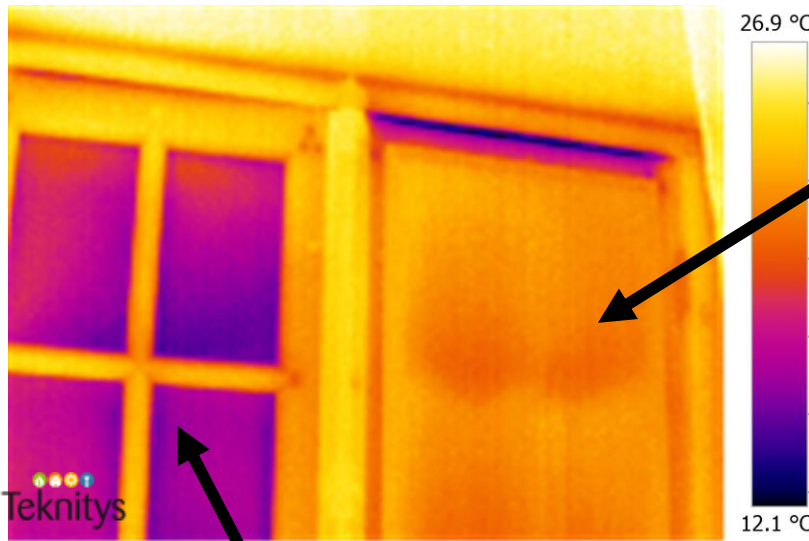
- Audits



Exemple de clichés

- Audits

Survitrage

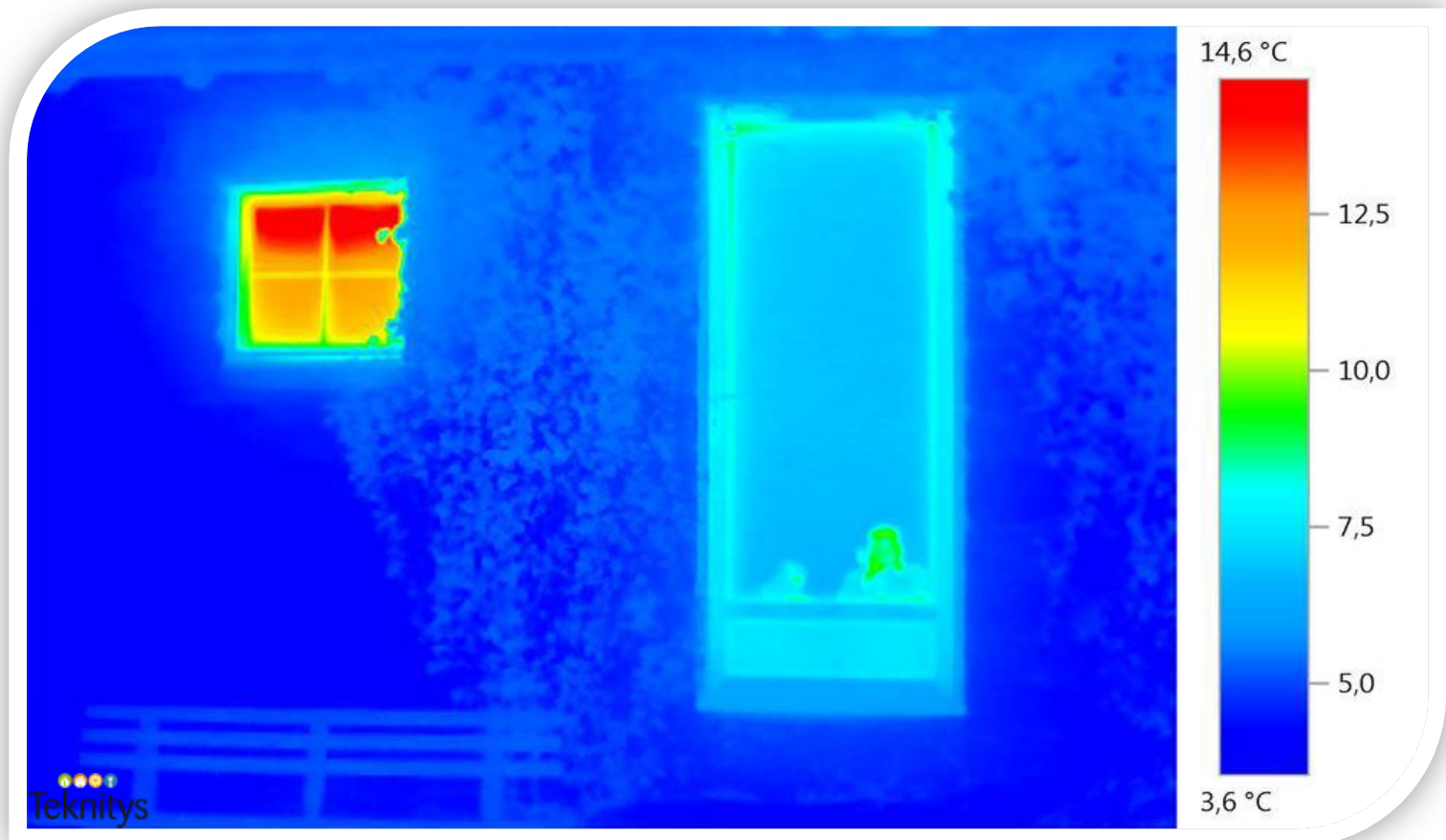


Simple vitrage

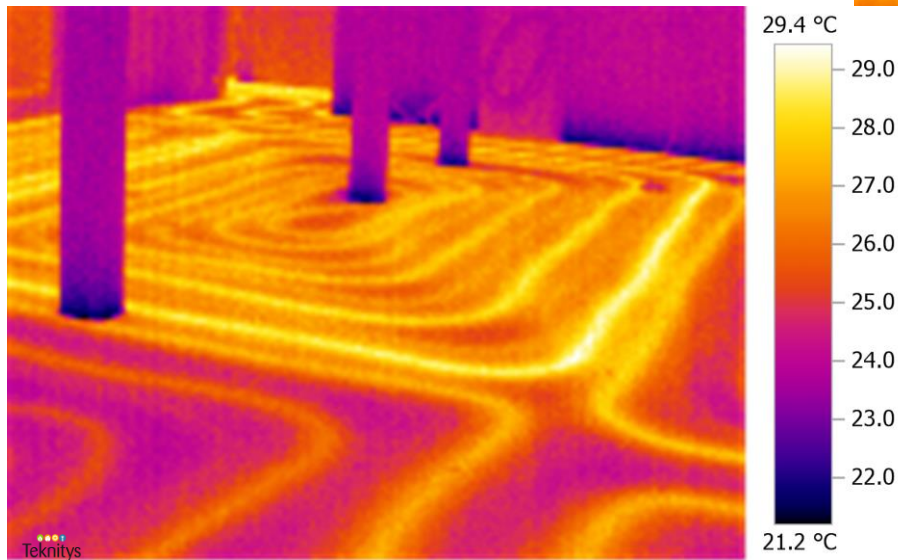
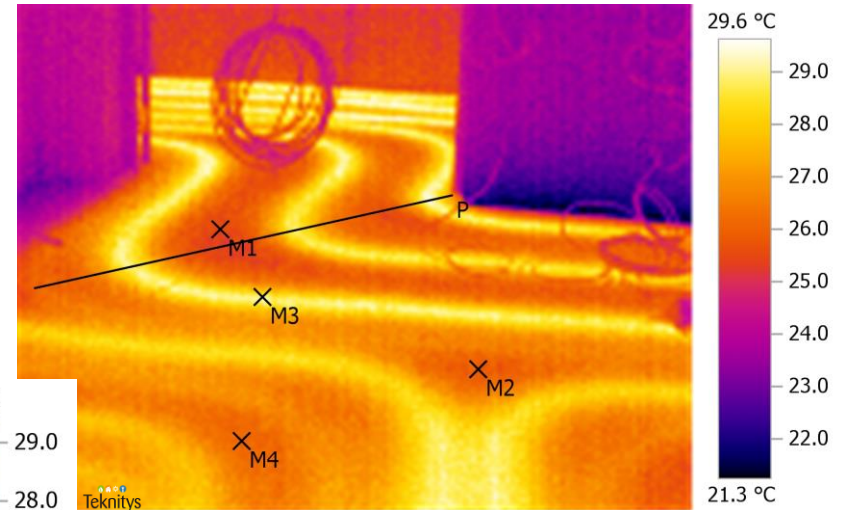


Exemple de clichés

• Vitrages

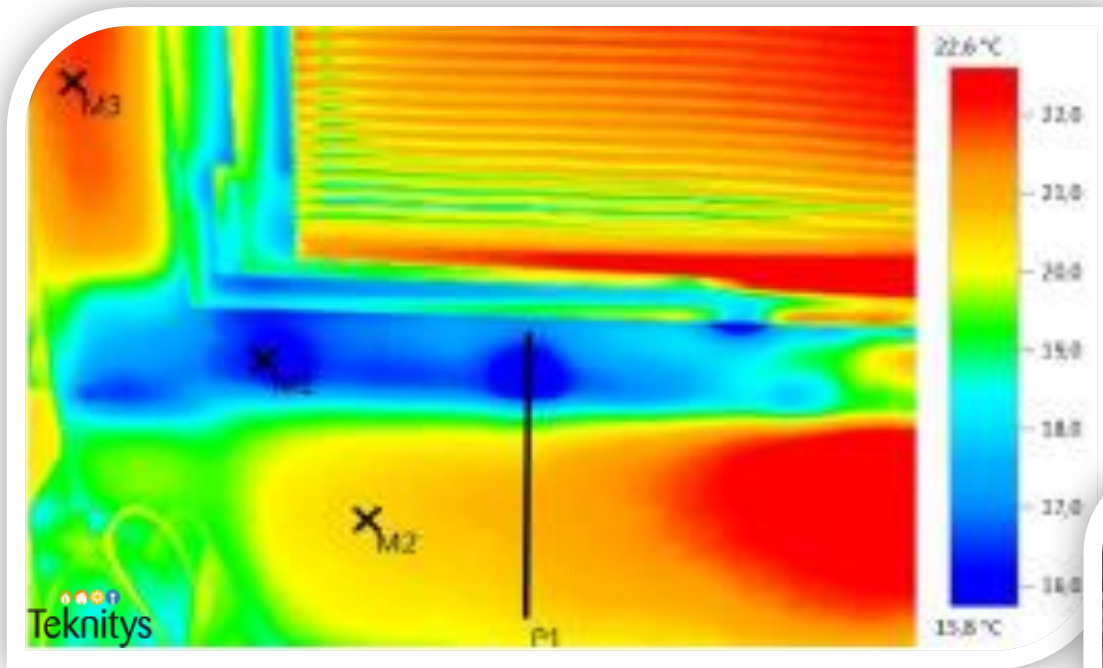


• Réception de travaux



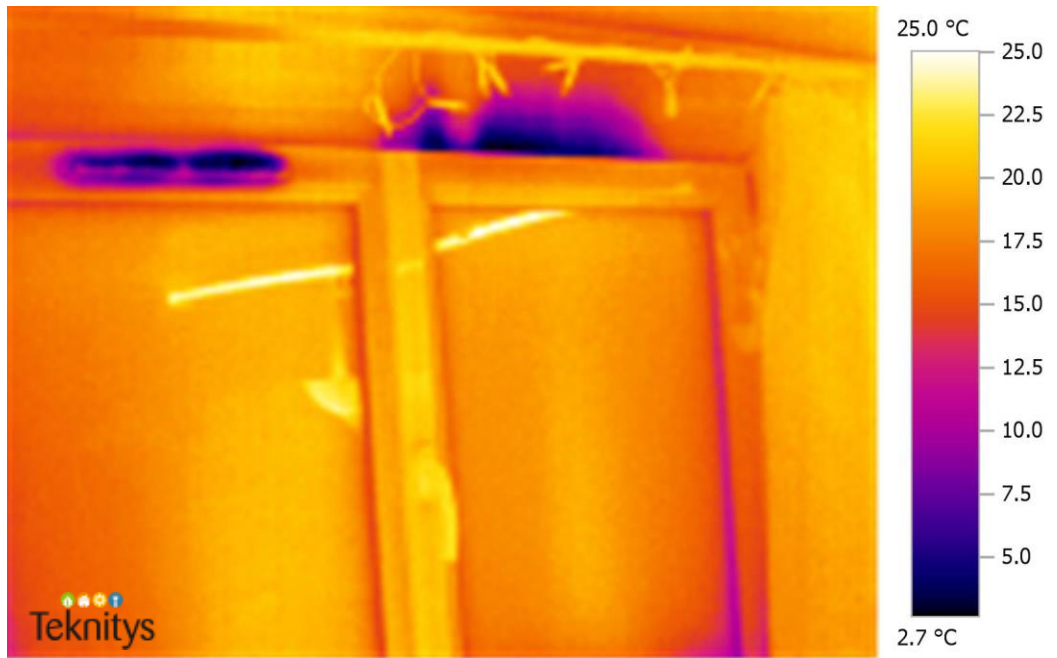
Exemple de clichés

- Réception de travaux



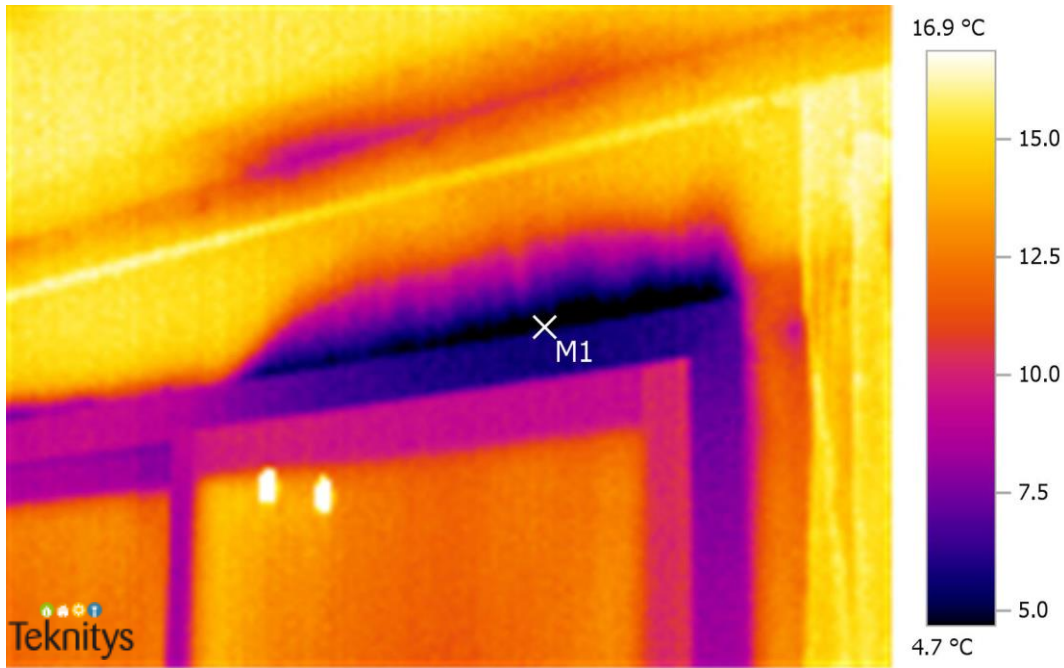
Exemple de clichés

• Infiltrations

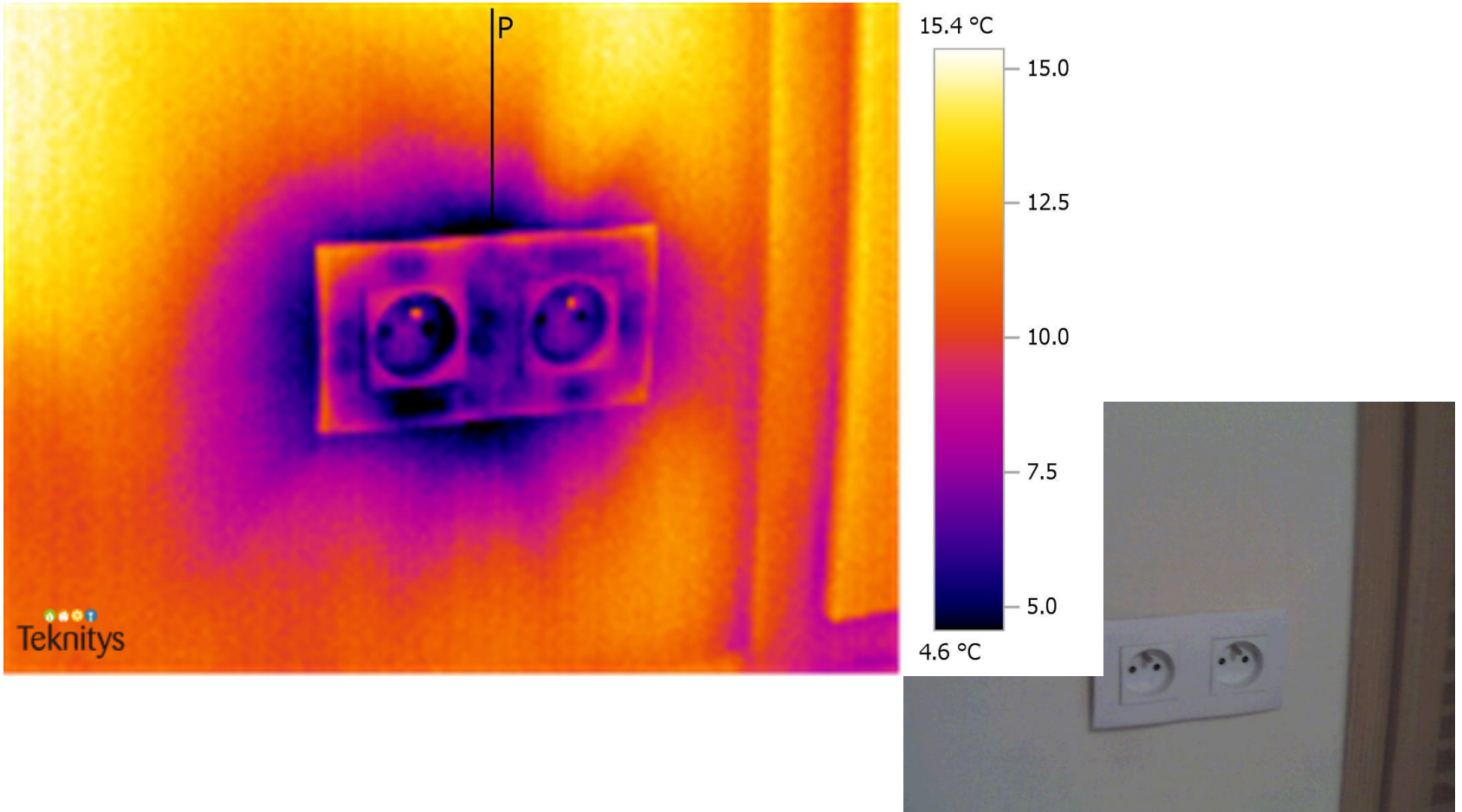


Exemple de clichés

• Infiltrations

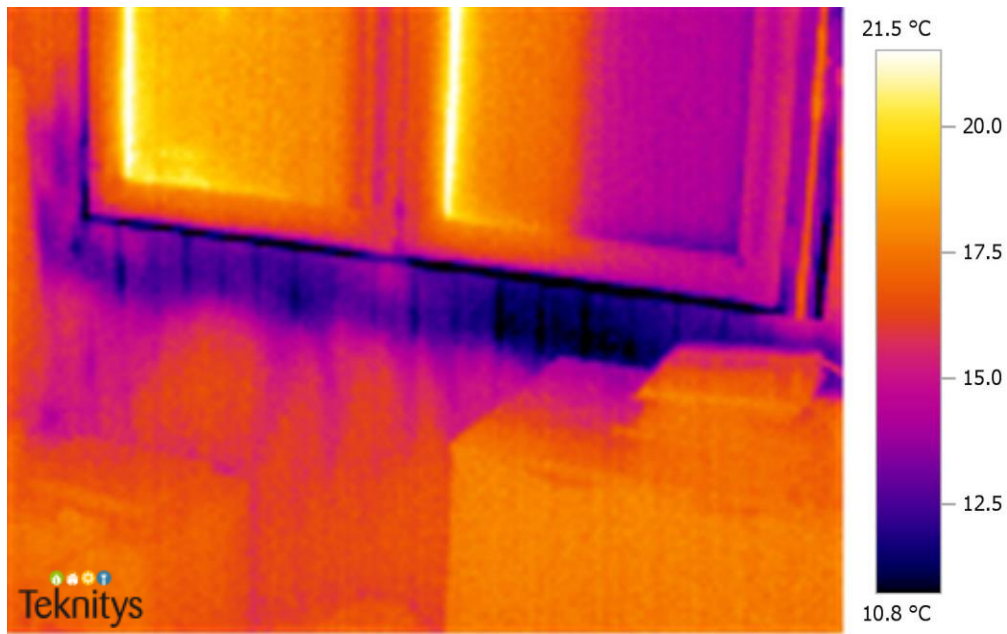


• Infiltrations



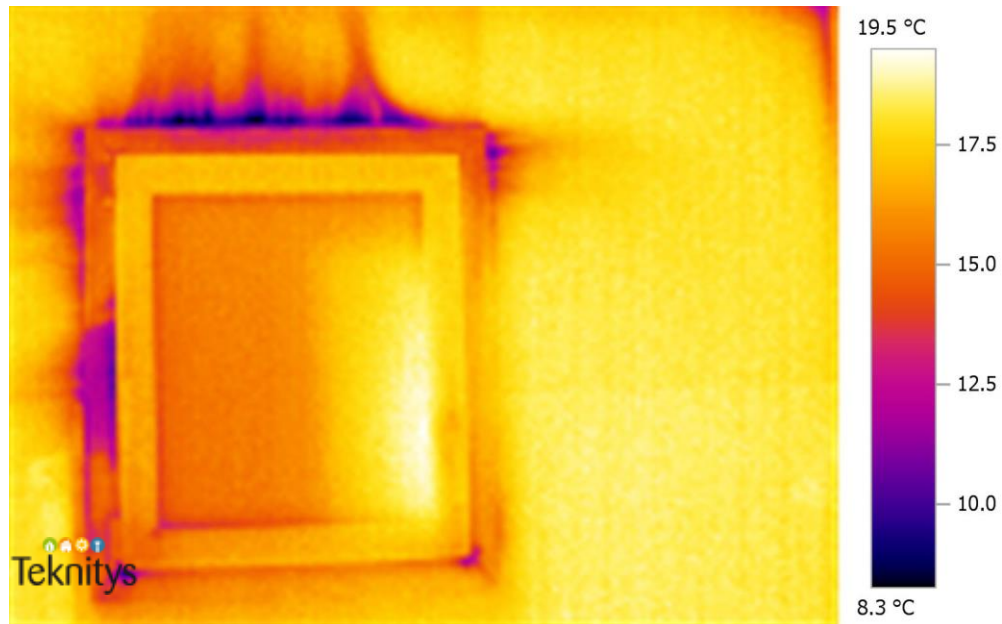
Exemple de clichés

• Infiltrations

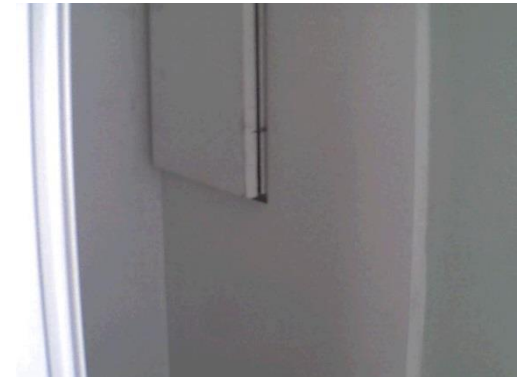
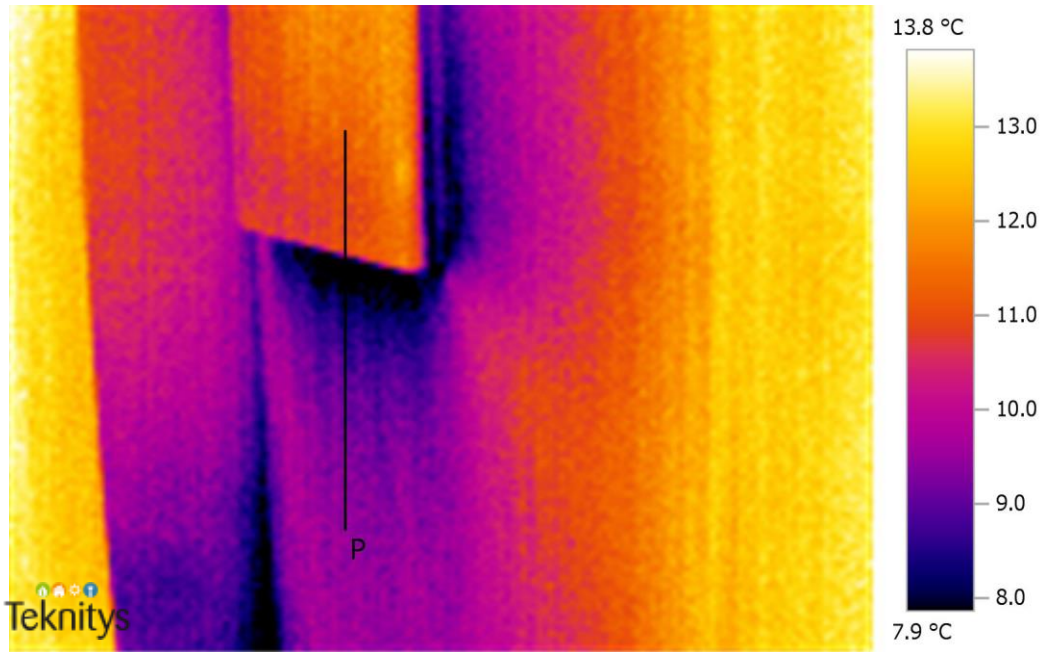


Exemple de clichés

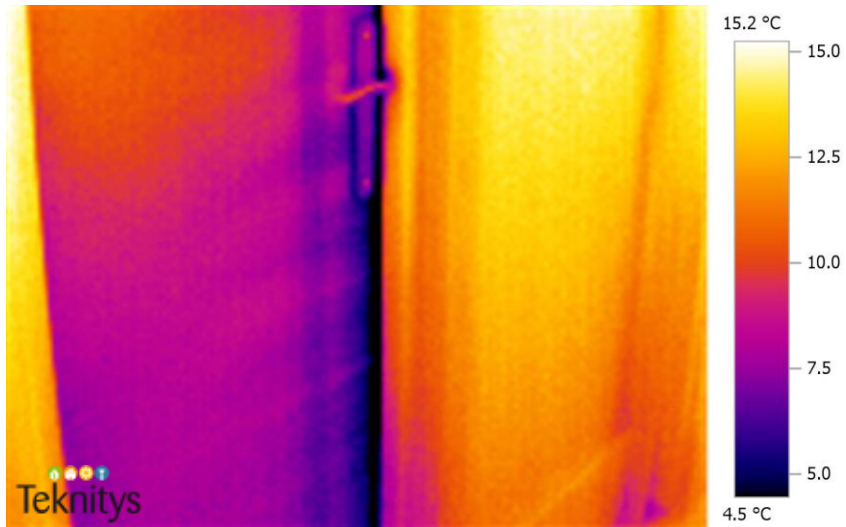
• Infiltrations



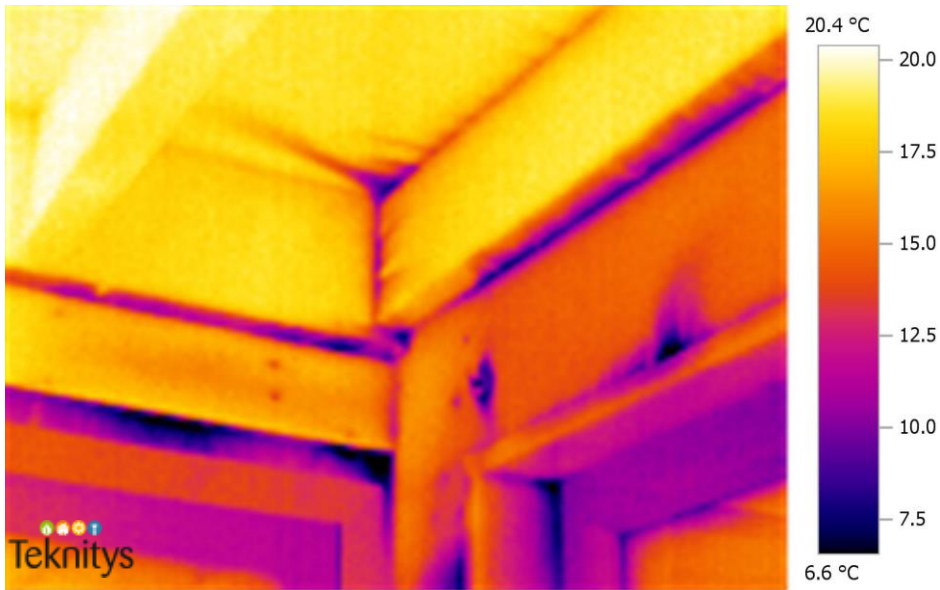
• Infiltrations



• Infiltrations

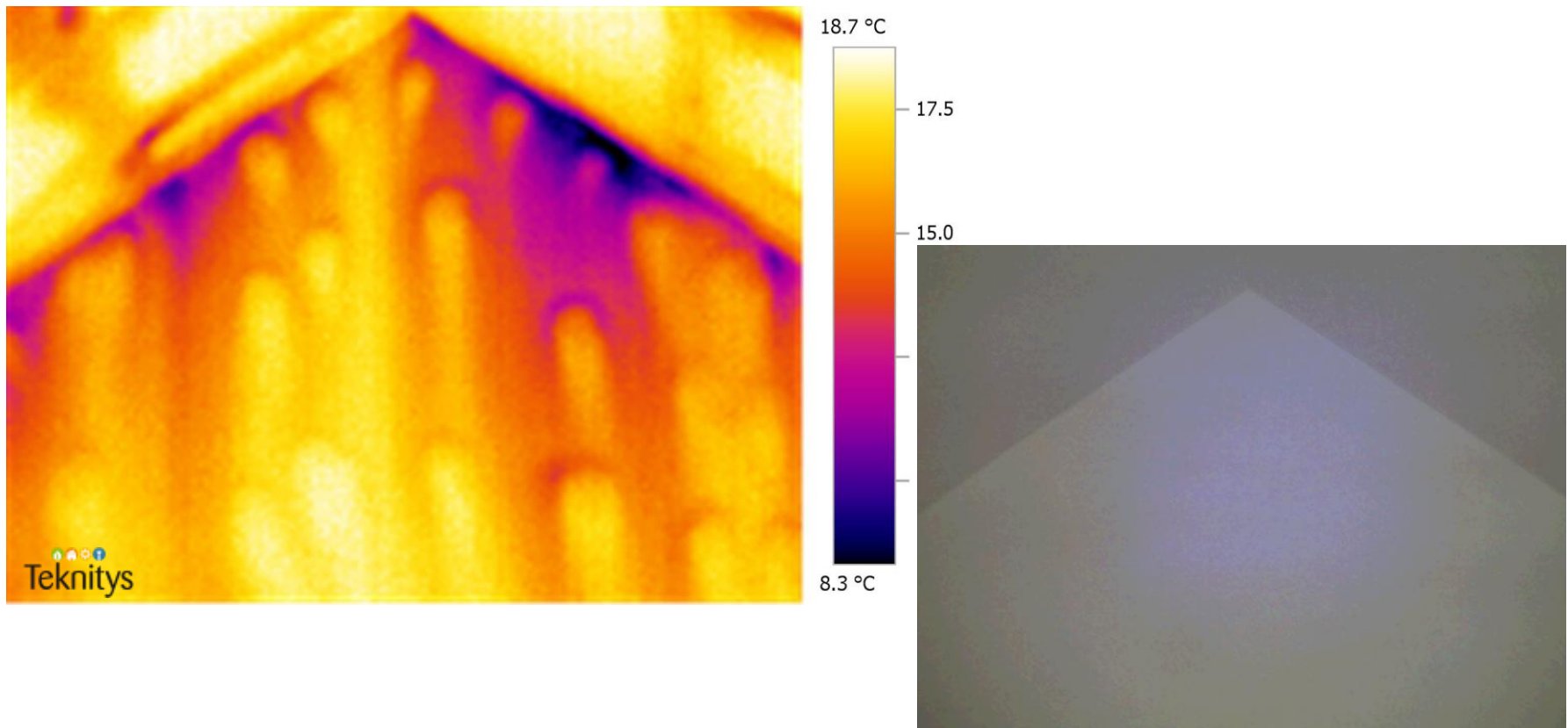


• Infiltrations



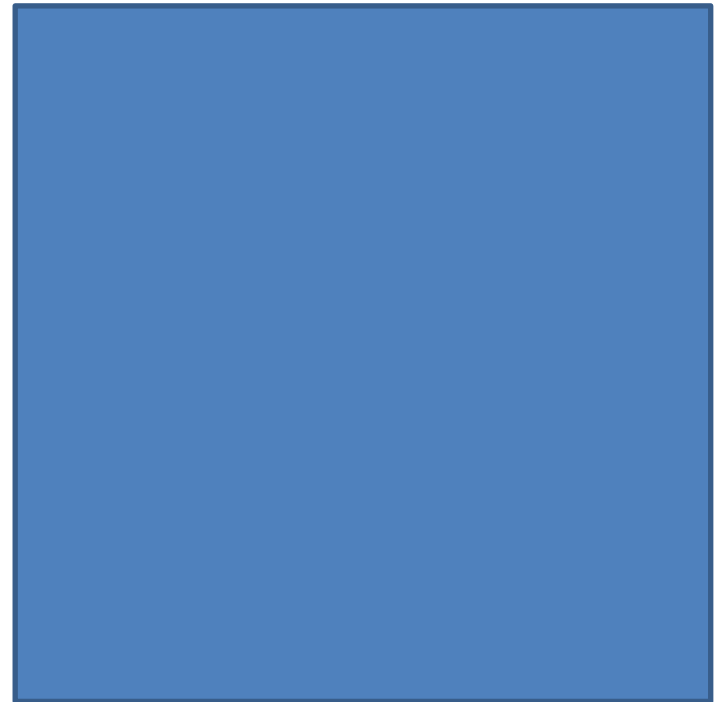
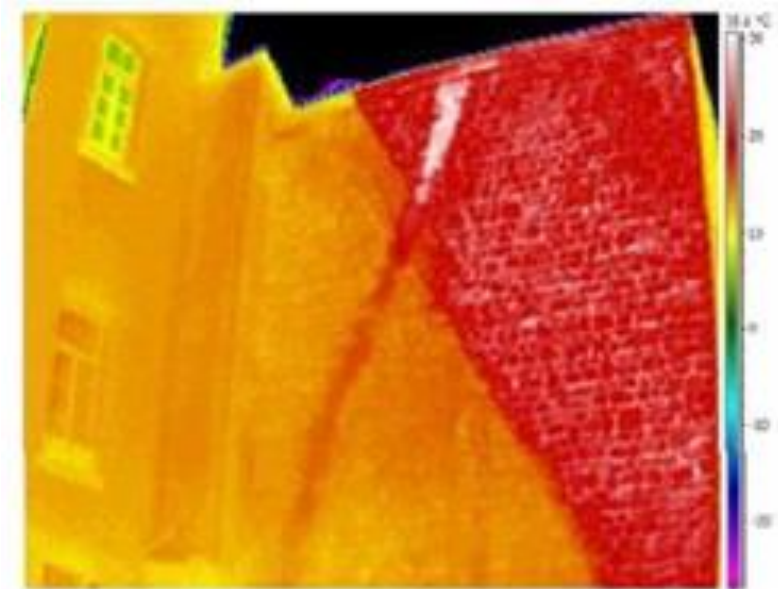
Exemple de clichés

• Infiltrations



Exemple de clichés

- Pièges



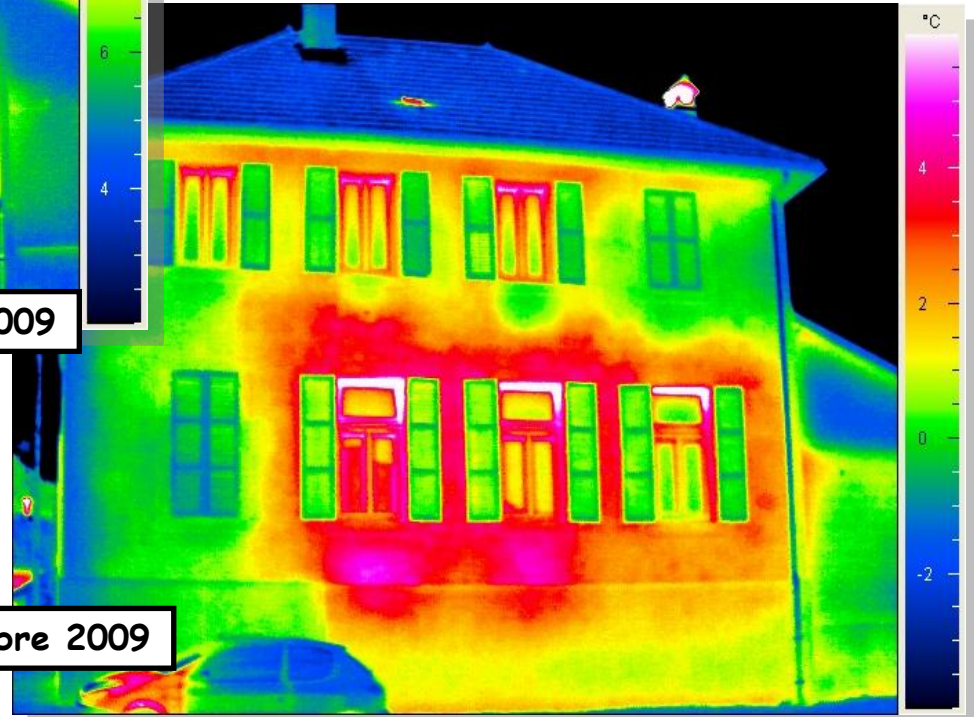
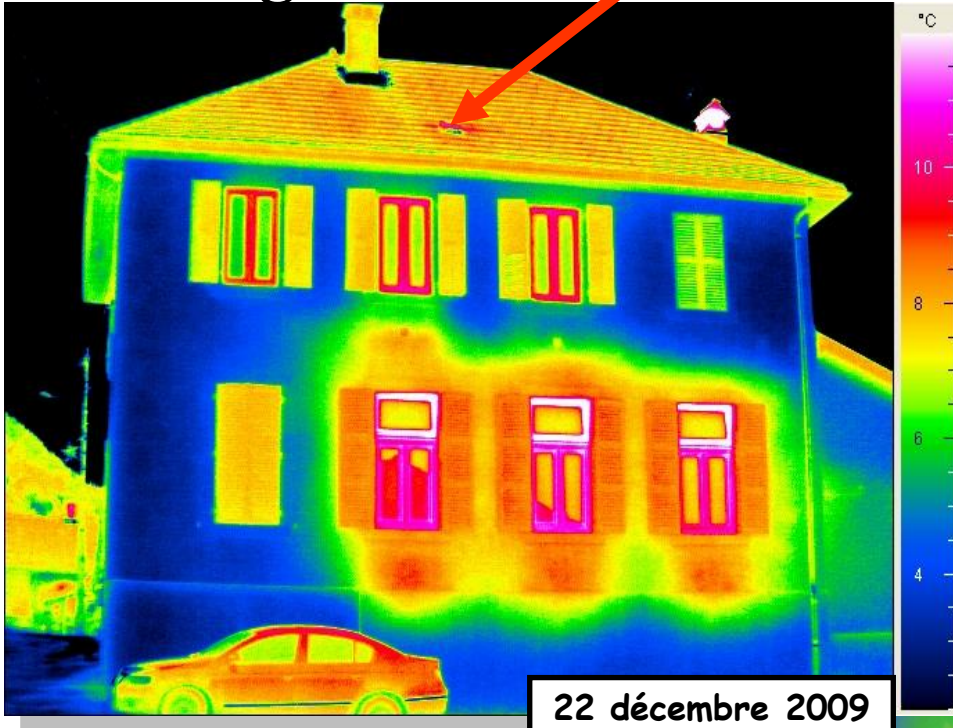
• Pièges

Pas de défaut !!!

Attention !
RISQUE d'ERREUR !
Conditions météo erronées



= toiture "chaude"



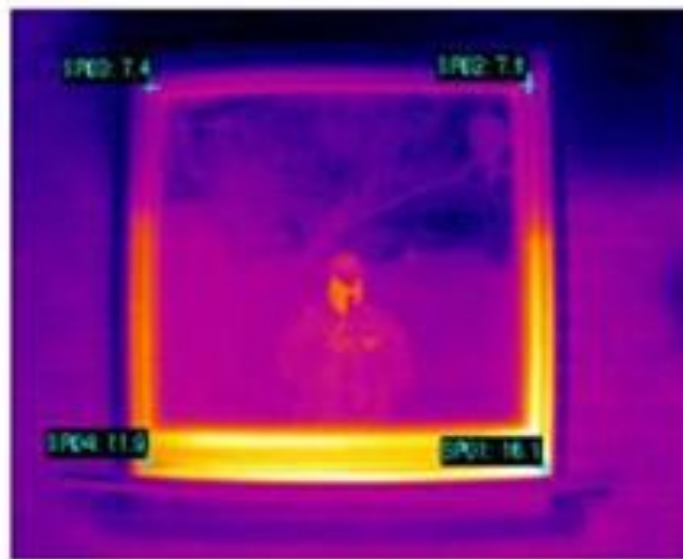
Exemple de clichés



Vos conclusions ?

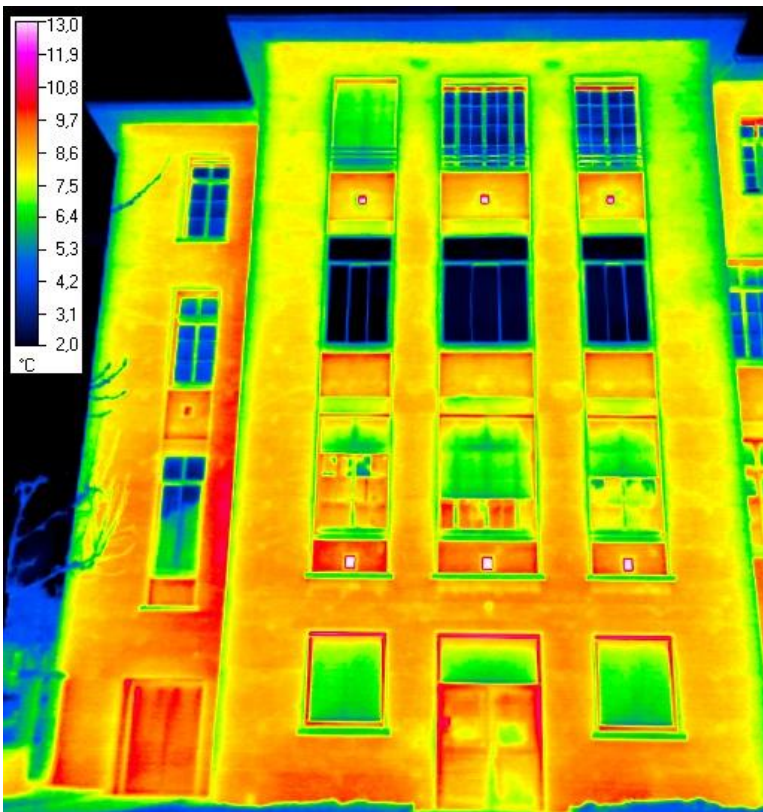
Exemple de clichés

- Pièges



Exemple de clichés

- Pièges, environnement radiatif

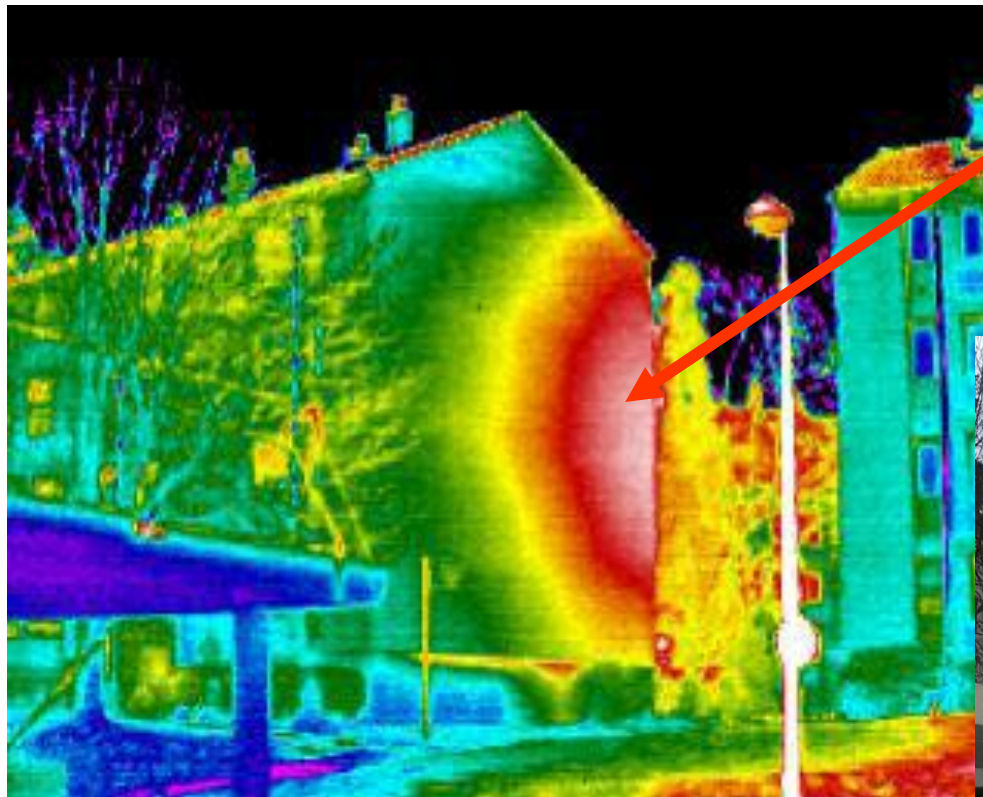


Pas de défaut !!!

Exemple de clichés

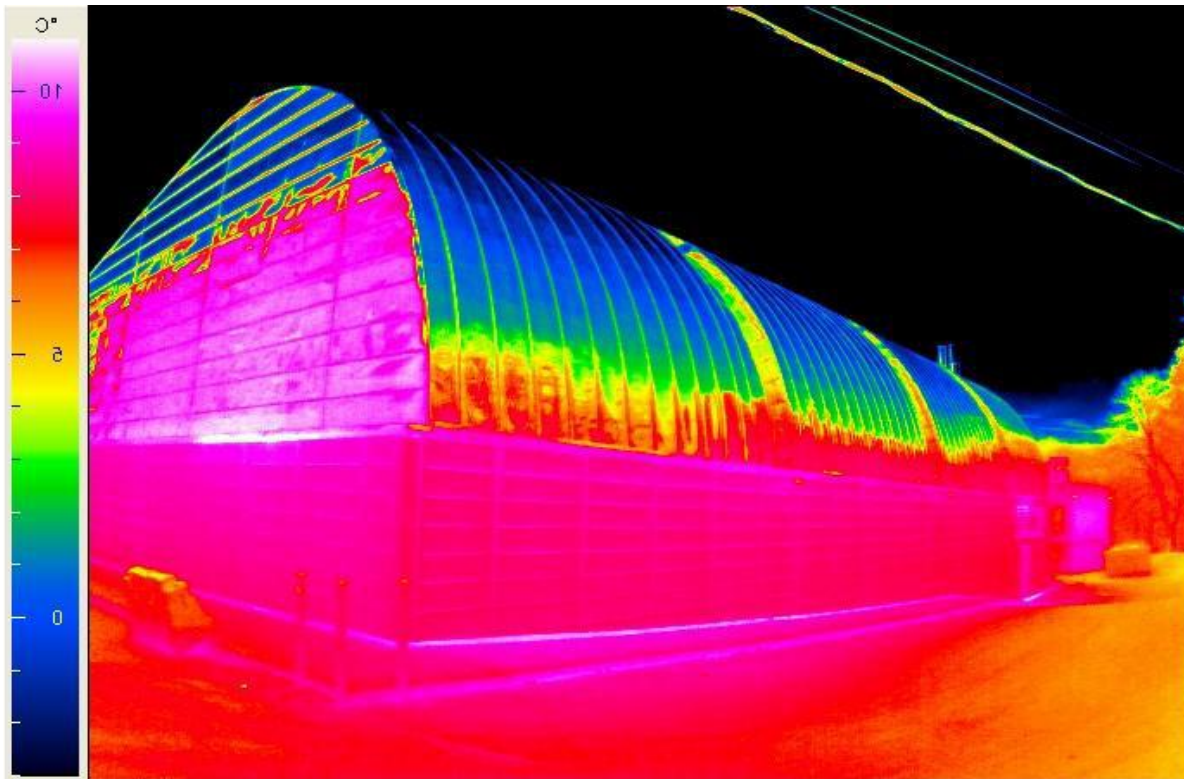
- Pièges, environnement radiatif

Pas de défaut !!!



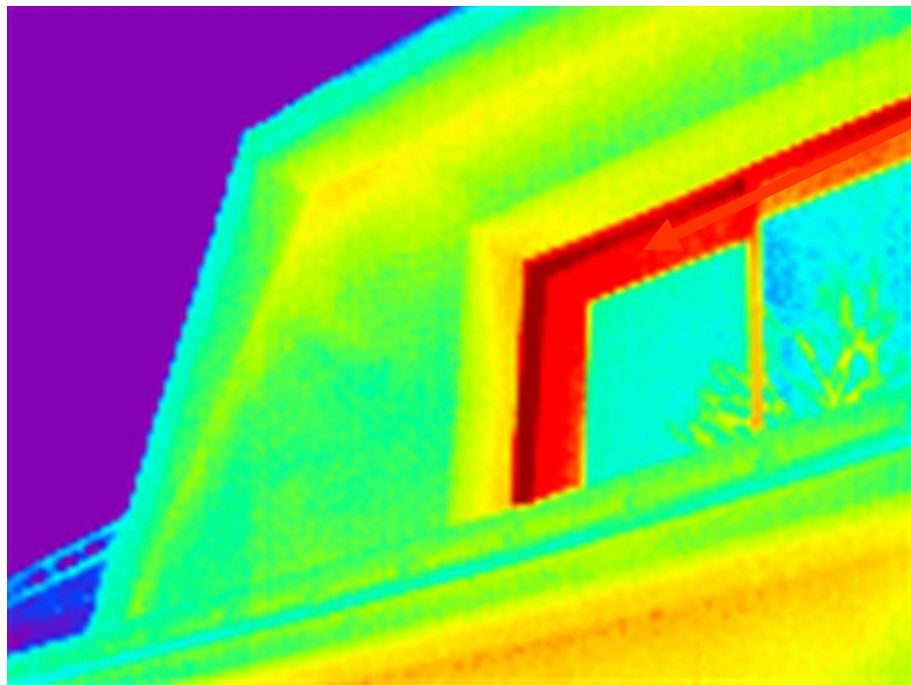
Exemple de clichés

- Pièges, environnement radiatif



Exemple de clichés

- Pièges, réflexion



4.3 °C

2.5

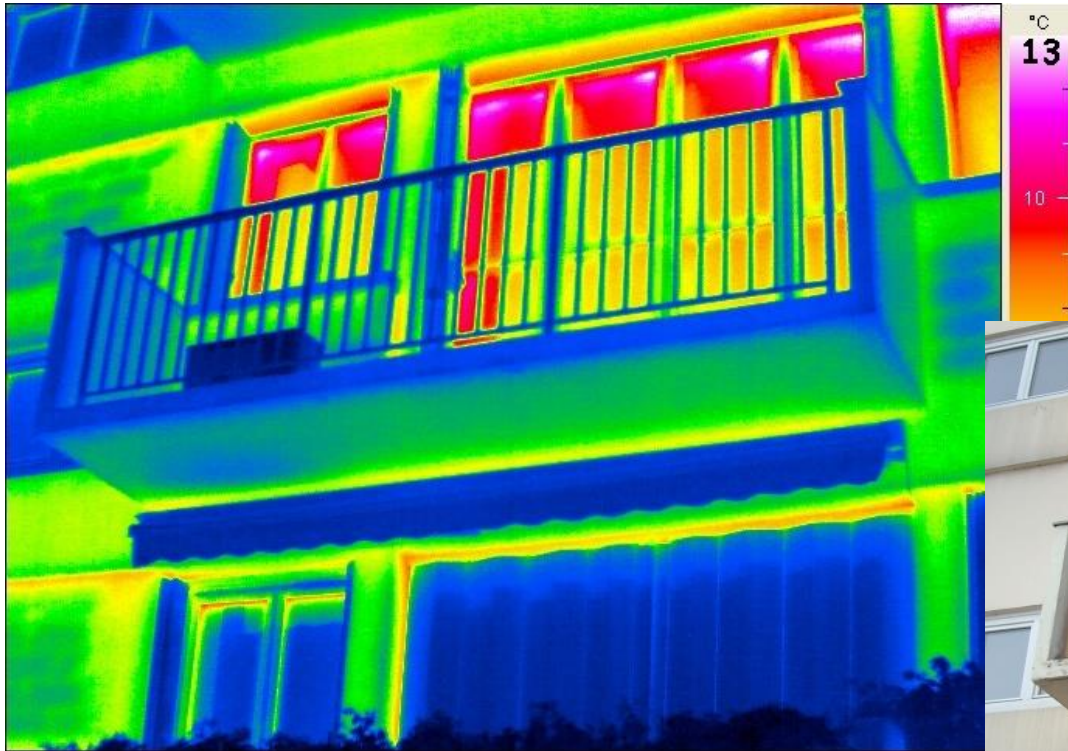
0.0

-8.3 °C

Pas de défaut !!!

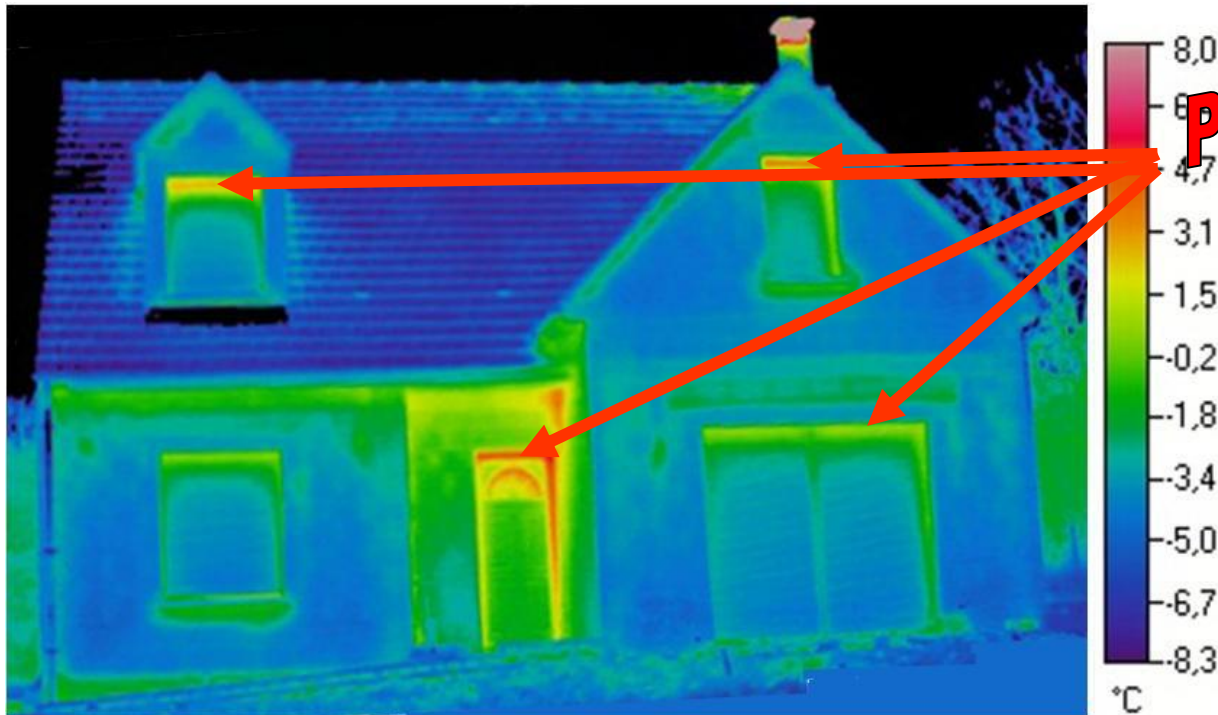
Exemple de clichés

- Pièges, réflexion



Exemple de clichés

- Pièges, confinement radiatif et convectif



Pas de défaut !!!

Exemple de clichés

- Pièges, confinement radiatif et convectif

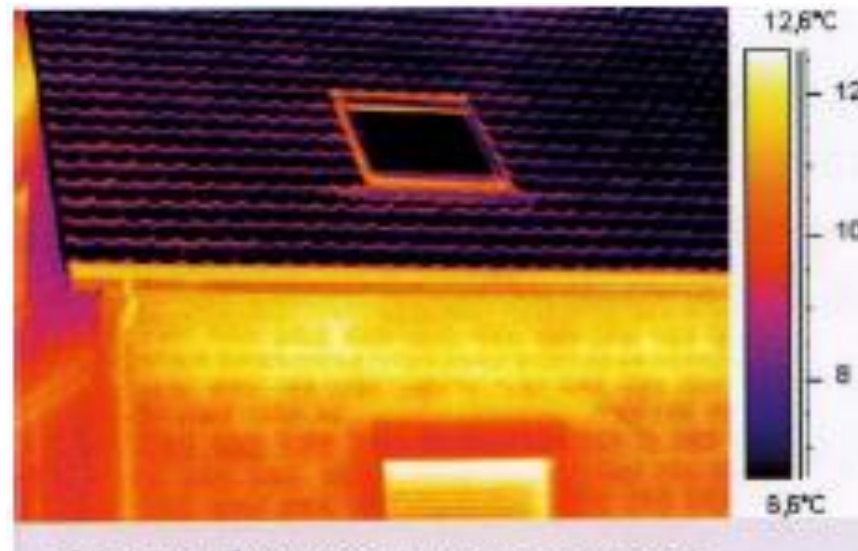
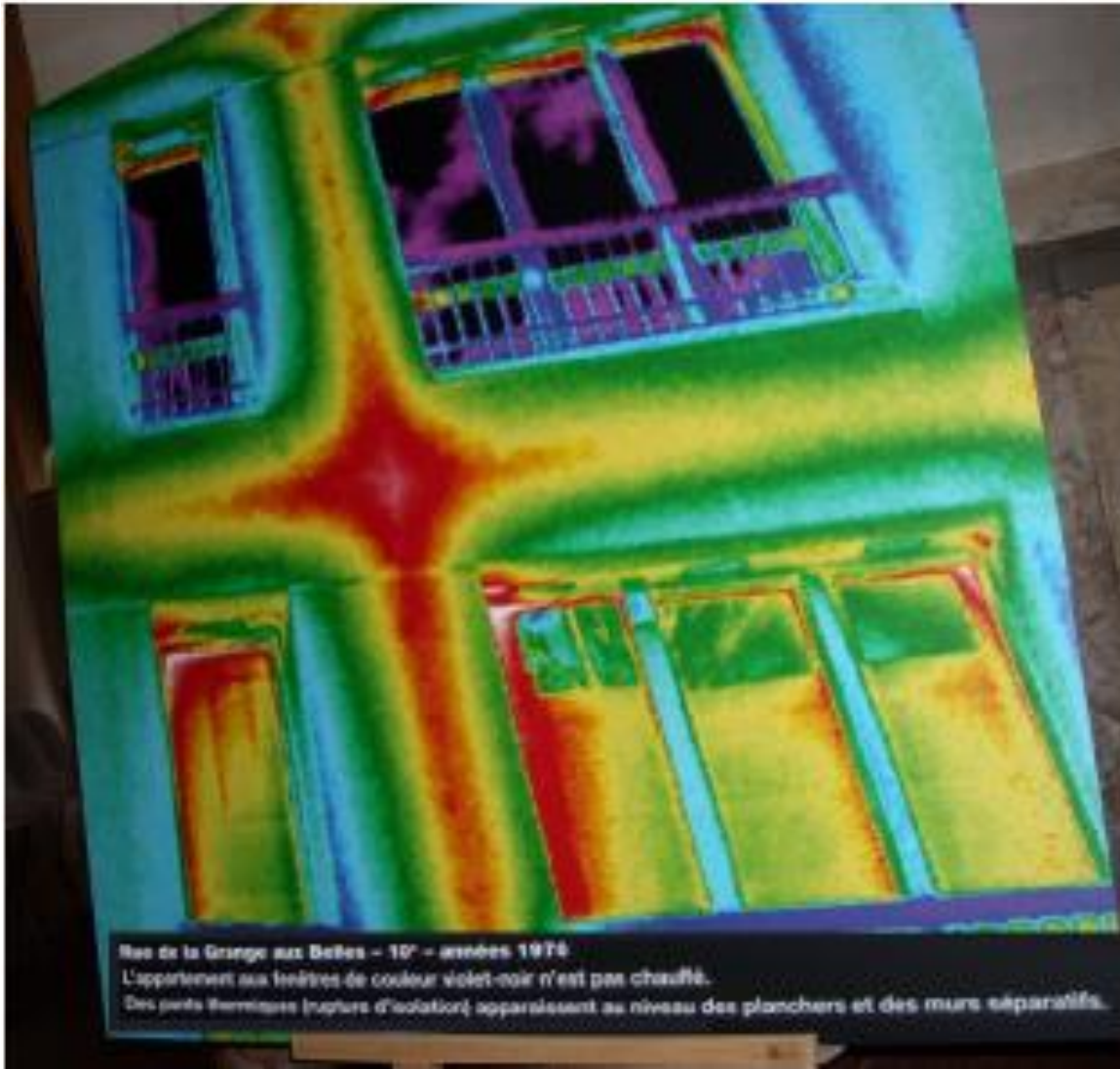


Figure 1 Thermogramme montrant de la vapeur d'eau au travers des agglomérés et de l'enduit.

Vos conclusions ?

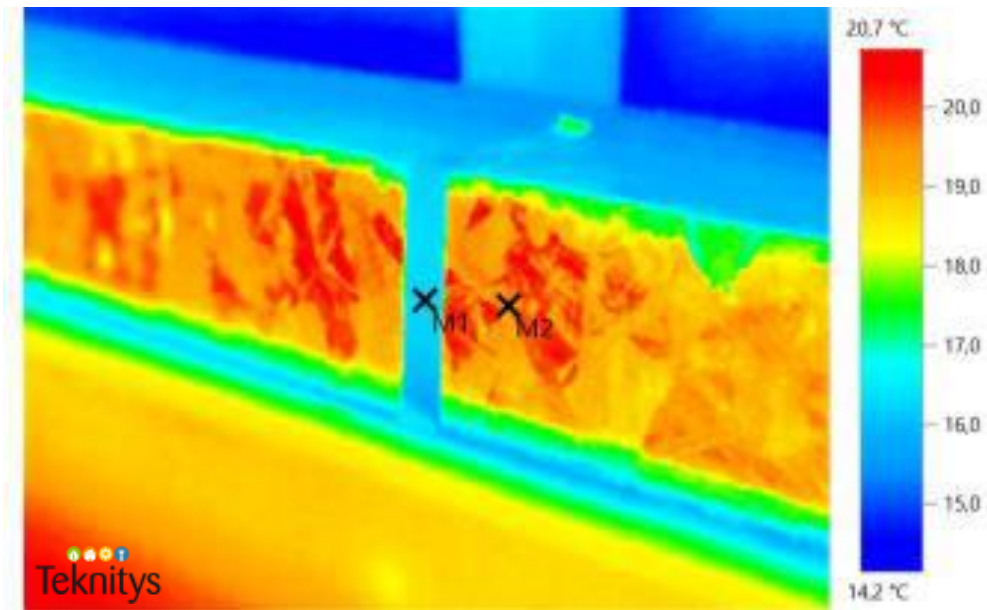
Exemple de clichés



Vos conclusions ?

Exemple de clichés

- Pièges, reflexion



Exemple de clichés

Les effets d'angles sont souvent confondus avec des défauts.

Ne pas confondre irrégularité avec défaut !!!!!

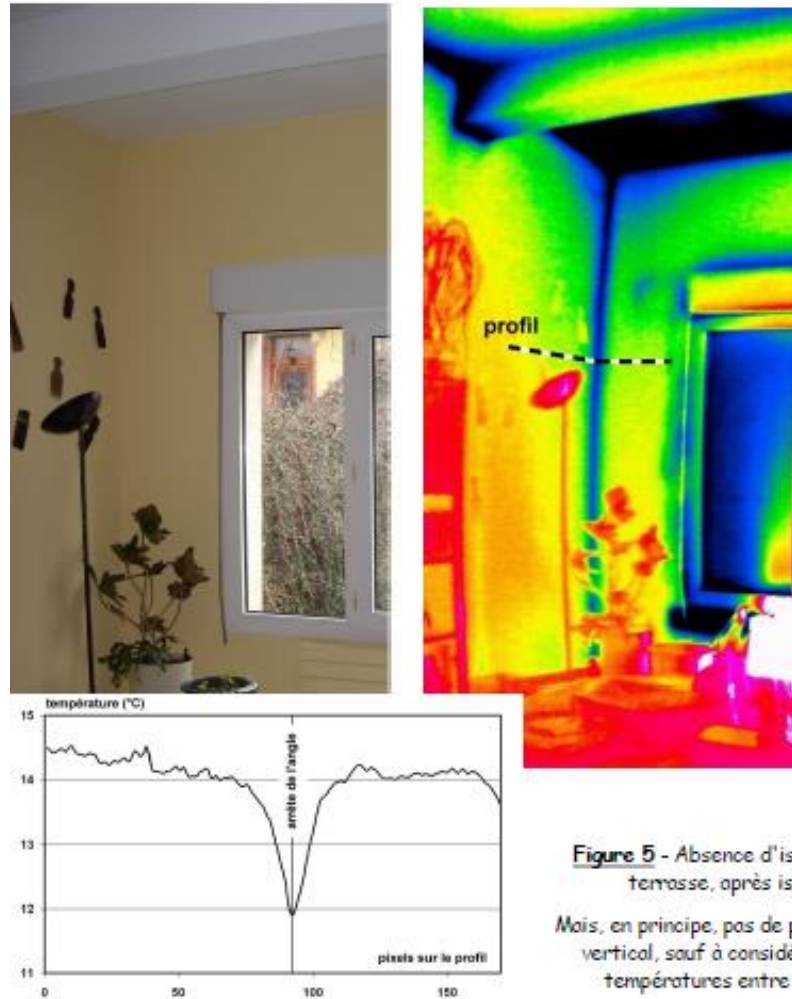


Figure 5 - Absence d'isolation en allège et en sous-terrasse, après isolation par l'intérieur.

Mais, en principe, pas de problème dans l'angle rentrant vertical, sauf à considérer la valeur des écarts de températures entre l'arête et la pleine paroi.

Exemple de clichés

Ponts thermiques géométriques => pas de défaut

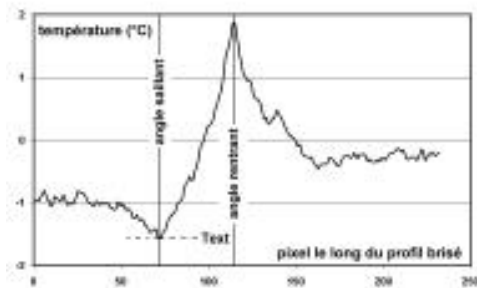


Figure 6 - Pavillon vu depuis l'extérieur. Angle saillant = indicateur de pertinence ; angle rentrant chaud = irrégularité régulière sans défaut démontré ici.

1. Introduction à la thermographie
2. Thermique de base
3. Technique de mesure
4. Analyse de thermo gramme
5. Equipement
6. Exemple de clichés
7. **Guide d'application**
8. Norme NF EN 13187

- Défauts d'enveloppe - isolation

Conditions générales

Vitesse de vent.	Maximum 10 km/h.
Différentiel de température entre intérieur et extérieur.	8°C au minimum. 15°C est mieux.
Différentiel de pression entre intérieur et extérieur (par moyen mécanique).	10 Pa, depuis au minimum 2 heures.
Moment privilégié pour l'inspection.	2 heures après le coucher du soleil pour les matériaux de faible capacité calorifique (bardeaux, vitrages). 4 à 6 heures après le coucher du soleil pour les matériaux à grande capacité calorifique ou à grande constante de temps (murs de maçonnerie, murs de béton, etc..).

■ Fuites d'air

Conditions générales

Vitesse de vent.	Maximum 10 km/h.
Différentiel de température entre intérieur et extérieur.	10°C au minimum. (*** 20°C au minimum).
Différentiel de pression entre intérieur et extérieur (par moyen mécanique).	25 Pa au minimum, depuis au minimum 2 heures. (*** entre 5 et 10 Pa, depuis au minimum 2 heures).
Moment privilégié pour l'inspection.	2 heures après le coucher du soleil pour les matériaux de faible capacité calorifique (bardeaux, vitrages). 4 à 6 heures après le coucher du soleil pour les matériaux à grande capacité calorifique ou à grande constante de temps (murs de maçonnerie, murs de béton, etc..).

■ Murs humides et condensation

Conditions générales

Vitesse de vent.	Maximum 10 km/h.
Différentiel de température entre intérieur et extérieur.	20°C au minimum. (*** 30°C au minimum).
Différentiel de pression entre intérieur et extérieur (par moyen mécanique).	25 Pa au minimum, depuis au minimum 2 heures. (*** entre 5 et 10 Pa, depuis au minimum 2 heures).
Moment privilégié pour l'inspection.	2 heures après le coucher du soleil pour les matériaux de faible capacité calorifique (bardeaux, vitrages). 4 à 6 heures après le coucher du soleil pour les matériaux à grande capacité calorifique ou à grande constante de temps (murs de maçonnerie, de béton, etc..).

■ Toitures et terrasses

Conditions générales

Vitesse de vent.	Maximum 10 km/h.
Différentiel de température entre intérieur et extérieur.	<p>15°C au minimum.</p> <p>Si on estime les apports solaires suffisants, il n'y a pas de condition de différentiel de température entre intérieur et extérieur.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensoleillement maximal durant la journée. - Pas de pluie dans les 24 heures précédant l'examen. - Absolument aucun vent durant la journée.
Moment privilégié pour l'inspection.	La nuit, environ 4 heures après le coucher du soleil.

Les conditions de prise de vue en résumé

- La mesure nécessite **un flux** => delta de température > 10°C environ

 **Période hivernale, saison de chauffe**

- Pas de perturbation liée au rayonnement solaire

 **La nuit / tôt le matin / tard le soir**

Attention à l'inertie des matériaux (historique des températures)

- Pas d'humidité: pluie / brouillard (facteur de transmission atmosphérique)
- Pas ou peu de vent (refroidissement des parois / résistances superficielles...)
- Températures « stables » sur plusieurs jours / amplitude des T°C faible.

■ Informations pertinentes à intégrer dans le rapport

- Description rapide de la construction. Orientation, vents dominants. Environnement (ville, bois, marais, voisinage, etc..).
- Type de matériaux rencontrés en surface, et répartition.
- Matériel utilisé. Bande spectrale, angle d'ouverture de l'objectif.
- Horodatation.
- Température de l'air extérieur pendant l'examen.
- Minimum et maximum de température de l'air extérieur pendant les 24 heures précédant l'examen.
- Conditions générales d'ensoleillement pendant les 12 heures précédant l'examen.
- Précipitations, direction et vitesse du vent durant l'examen.
- Température de l'air intérieur et écart de température au travers de l'enveloppe durant l'examen.
- Ecart de pression d'air sur la façade au vent et sous le vent. Si nécessaire pour chaque étage.
- Autres facteurs importants, genre brusque variation climatique.
- Plans de construction, croquis.
- Tous thermogrammes et images visibles nécessaires à la compréhension.

Il s'agit surtout d'une technique qualitative. Si des températures de surface sont calculées, l'émissivité et la température apparente réfléchie doivent impérativement apparaître.

1. Introduction à la thermographie
2. Thermique de base
3. Technique de mesure
4. Analyse de thermo gramme
5. Equipement
6. Exemple de clichés
7. Guide d'application
8. Norme NF EN 13187

- Détection qualitative des irrégularités thermiques sur les enveloppes des bâtiments
 - Défaut d'isolation
 - L'humidité
 - Infiltrations d'air

- **Domaine d'application**
 - **Méthode qualitative**
 - **2 types de thermographie**
 - ↻ **Contrôle des performances globales des bâtiments neufs**
 - ↻ **Audits effectués lors de la phase de construction**

- Exigences d'essai
 - Ecart de température à travers l'enveloppe doit être suffisamment important
 - Ecart constant de la température
 - Détermination de la TAR/TER et de l'émissivité si
Besoin de travailler en température vraie !

- Manipulation de la camera
- Manipulation d'un logiciel de traitement

• Quelles sont les limites ? Les difficultés ?

RAYONNEMENT...

TEMPERATURE APPARENTE ...

CONFINEMENT RADIATIF...

EMISSIVITE ...

TEMPERATURE VRAIE ...

REFLEXION ...

CONFINEMENT CONVECTIF...

BILAN THERMIQUE ...

MESURE DU U PAROI ...