

10/02/2013

YUKSEL Orbey
GONNET Charly
POUGET Baptiste
BATAILLE Emmanuel

Enseignant : MILLIEN Anne

PROJET : Instrumentation et mesures

UTILISATION DE CAMERAS INFRAROUGES



Master 2 : Inspection Maintenance et Réparation des Ouvrages

Table des matières

I-	Introduction	3
II-	Principe de fonctionnement d'un capteur infrarouge.....	4
1-	Historique de la technologie infrarouge.....	4
2-	La thermographie infrarouge.....	5
2.1-	L'objet étudié	5
2.2-	L'atmosphère séparatrice.....	6
2.3-	Capteur infrarouge à matrice FPA.....	7
2.4-	Affichage et interface	7
III-	Utilisation de la caméra infrarouge.....	8
1-	Plage d'utilisation.....	8
2-	Emissivité	9
3-	Mauvaise interprétation.....	10
4-	Angle de prise de vue et réflexion.....	11
IV-	Performances des deux modèles de caméra	13
1-	Comparaison des deux caméras	13
1.1-	Leur destination	13
1.2-	La résolution	13
1.3-	La focale	14
1.4-	La prise de clichés	14
2-	Application sur sites.....	14
2.1-	Réhabilitation du foyer des jeunes travailleurs d'Egletons.....	14
2.2-	Lycée Henri Queuille de Neuvic.....	15
V-	Conclusion.....	17

I- Introduction

Dans le cadre du module M07, Instrumentation et Mesures, nous avons étudié le fonctionnement de différents capteurs. Au sein de ce cours, nous avons à réaliser un projet sur le fonctionnement spécifique d'un type de capteur. Nous avons choisi d'étudier l'utilisation de la caméra thermique car celle-ci est en étroite corrélation avec nos différents projets de diagnostic, notamment thermique, à mener au cours de l'année.

La Plate-Forme Technologique Travaux Publics du Limousin, nous a mis à disposition une caméra de type FLIR 640. Tandis que l'IUT du Limousin, nous a fourni une caméra ThermaCAM E4.

Celles-ci ont une importante différence de performances pour deux raisons : leur destination d'utilisation et leur date d'achat car les performances des capteurs ont énormément évolués ces dernières années.

En effet, la FLIR 640 est une caméra de précision orientée pour une utilisation en laboratoire (« Rolls-Royce » de la caméra thermique lors de son achat il y a quelques années).

Alors que la caméra ThermaCAM E4 est une caméra de terrain, d'usage plus courant et dont la date d'achat est plus ancienne.

Nous commencerons ce rapport par l'étude du principe de fonctionnement d'un capteur infrarouge. Puis nous expliquerons l'utilisation de la caméra sur site au travers de nos deux projets. Enfin, nous réaliserons une comparaison des résultats obtenus avec les deux caméras.

La première étude fût celle du foyer des jeunes travailleurs d'Egletons dans le cadre de travaux de réhabilitation intérieur.

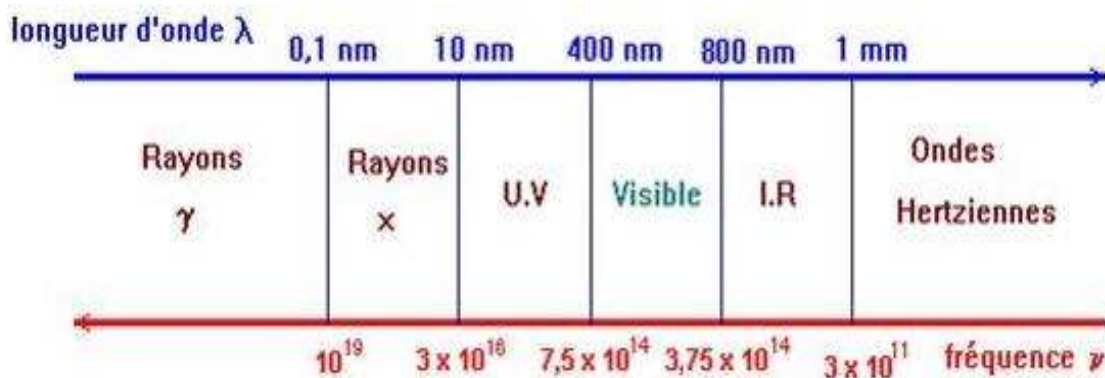
Le second projet traite de la rénovation de deux internats du lycée Henri Queuille de Neuvic. La finalité de ce rapport sera de mettre en évidence les différences de performances des deux caméras par rapport aux résultats obtenus.

II- Principe de fonctionnement d'un capteur infrarouge

Cette partie a été rédigée en vue d'expliquer dans leurs grandes lignes les principes de fonctionnement de la thermographie infrarouge. Cette dernière est devenue un outil incontournable dans divers domaines, notamment la recherche et les opérations de diagnostic.

1- Historique de la technologie infrarouge

Le mot infrarouge fait référence à la longueur d'onde d'un rayonnement situé au-delà du domaine visible. Selon l'AFNOR, la thermographie est « la technique permettant d'obtenir, au moyen d'un appareillage approprié, l'image thermique d'une scène observée dans le domaine spectral de l'infrarouge ».



Les premières caméras infrarouges datent du début du XX^{ème} siècle. Puis au milieu de ce siècle, la technologie thermographique a été développée pour répondre à la demande grandissante liée à l'essor des applications militaires.

Il a fallu attendre les années 60 pour que la thermographie infrarouge soit utilisée dans des applications non militaires. Les premiers systèmes déployés étaient pour le domaine industriel, tel que l'inspection de vastes systèmes de transmission et de distribution électrique. Mais ils étaient encombrants, lents et d'une résolution encore très faible.

Les progrès réalisés au cours des années 70 permirent de fabriquer les premiers systèmes portatifs pouvant ainsi être utilisés pour des opérations telles que le diagnostic de bâtiments et l'essai non destructif de matériaux.

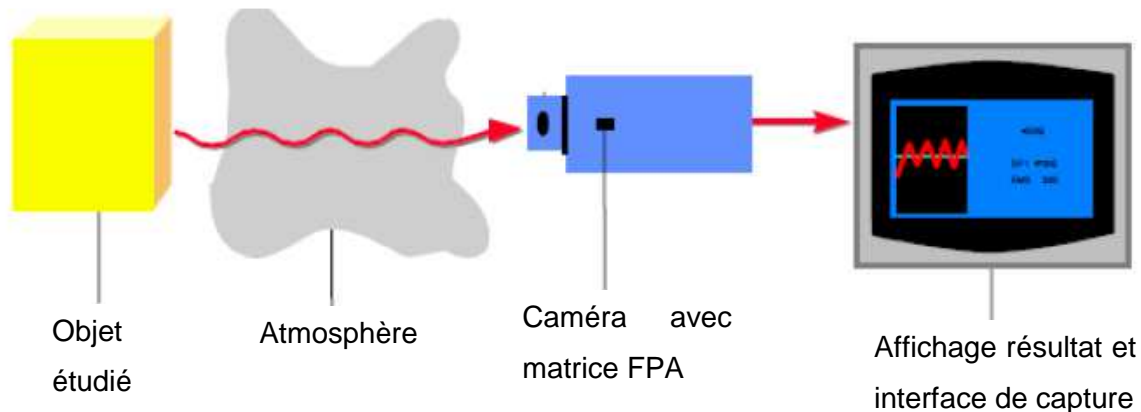
A la fin des années 80, un nouveau dispositif du nom de matrice à plan focal (FPA), jusqu'alors réservé au domaine militaire, fit son apparition dans la sphère civile. La matrice à plan focal (FPA) est un dispositif de détection des images constitué d'un réseau (généralement de forme rectangulaire) de détecteurs de lumière se trouvant sur le plan focal d'un objectif.

De nos jours, cette technologie est en essor constant tant sur la qualité des résultats que sur sa commercialisation.

2- La thermographie infrarouge

Les caméras thermiques fonctionnent sur le principe de la thermographie infrarouge. Elles enregistrent l'intensité du rayonnement dans la partie infrarouge du spectre électromagnétique et la convertie en image visible.

Chaque objet émet une radiation en fonction de sa température, celle-ci est captée par la caméra puis retransmise sur son écran. Ce principe peut être représenté schématiquement comme ci-dessous:



Nous développerons chaque parties de ce schéma afin d'appréhender le fonctionnement de la thermographie infrarouge.

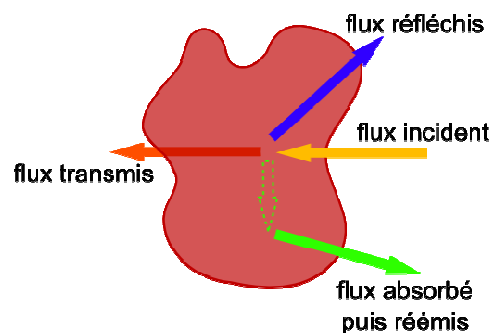
2.1- L'objet étudié

Un corps émet un rayonnement à partir du moment où il est à une température supérieure au zéro absolu. De la même manière que le spectre du visible peut varier en

fonction de la température, le rayonnement infrarouge varie lui aussi, nous donnant ainsi une information sur la température du corps.

Un paramètre important varie en fonction du matériau constitutif de l'objet cible : l'émissivité, elle correspond à l'aptitude de l'objet à émettre un rayonnement. En effet, lorsqu'un corps est soumis à un flux incident, une partie est absorbée puis retransmise, une autre est transmise directement si le corps n'est pas opaque et une dernière partie est réfléchi. L'émissivité correspond finalement au rapport du flux réémis d'un flux incident sur le flux incident lui-même.

L'émissivité impact directement la température de surface indiquée par la caméra, c'est pourquoi il faut correctement renseigner ce paramètre pour l'exploitation des résultats. Cela se complique lorsque l'objet étudié n'est pas homogène, cependant l'émissivité ne joue pas un rôle important si l'on étudie seulement les différences de température au sein d'une partie de même nature constitutive.



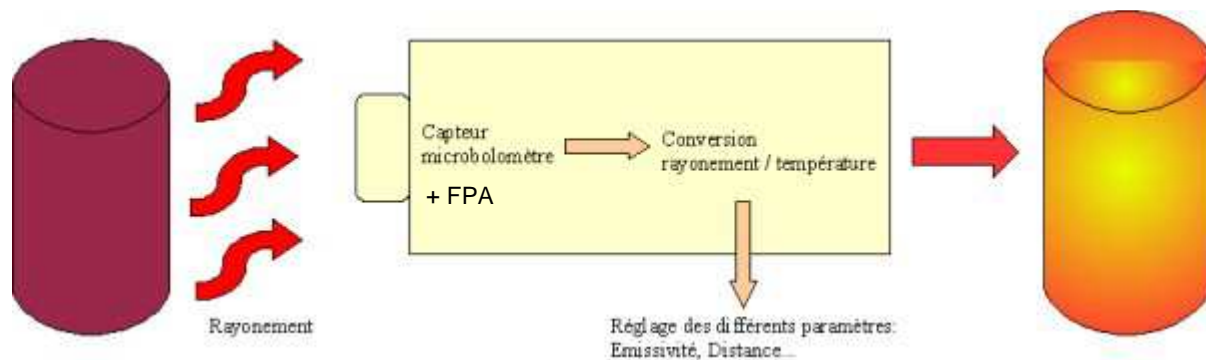
2.2- L'atmosphère séparatrice

Plusieurs paramètres de l'atmosphère influence les résultats :

- La distance entre l'objet étudié et la caméra, en effet l'atmosphère située entre ces derniers absorbe une partie des rayonnements émis par la cible et diffuse elle-même des rayonnements qui s'ajoute à ceux détectés par la caméra.
- L'humidité de l'atmosphère et la température de l'atmosphère par rapport à l'objet étudié et par rapport à la température de l'objectif de la caméra font varier la transmission du rayonnement.

Certain de ces paramètres ont besoin d'être renseignés afin que la caméra applique des compensations automatique (humidité et distance).

2.3- Capteur infrarouge à matrice FPA



Le capteur infrarouge à matrice FPA est composé d'un réseau de pixels combinant deux types de capteur :

- Détecteurs FPA (Focal Plan Array), ce sont des détecteurs matriciels situés dans le plan focal de la caméra mesurant simultanément le rayonnement émis par tous les points de l'image. Cette technologie a permis de remplacer les anciennes technologies monocapteur à balayage mécanique (moins rapide).
- Une matrice microbolomètre, élément en silicium amorphe dont la résistance électrique varie en fonction de la température. Le microbolomètre permet une technologie de capteur sans système de refroidissement.

Pour simplifier, chaque pixel agit comme un thermomètre ce qui permet en une seule mesure d'avoir plusieurs milliers d'informations de température pour une image.

2.4- Affichage et interface

L'affichage permet à l'opérateur de voir instantanément les résultats de sa prise de vue, et si nécessaire de changer rapidement les paramètres de détection. En effet, on peut par le biais de nombreux panneaux de commandes changer les paramètres tels que l'émissivité, la distance de prise de vue, la plage de températures de détection ... mais également d'accéder et gérer à la bibliothèque de images capturées. C'est cette interface, liaison entre la technologie infrarouge et l'opérateur, que les modèles et les gammes de caméra diffèrent grandement.

De plus il y a le logiciel qui est la deuxième interface utile à l'utilisateur, plus complète et permettant après coups de modifier certains paramètres pour une meilleur interprétation des résultats.

III- Utilisation de la caméra infrarouge

1- Plage d'utilisation

L'utilisation du bornage automatique offre l'avantage de sa simplicité d'utilisation. Cependant, dans certains cas, il rend inexploitable le relevé et notamment lors de variations importantes de températures sur une image. Il est donc préférable, dans ce cas, et si la caméra le permet, d'imposer une plage d'utilisation.

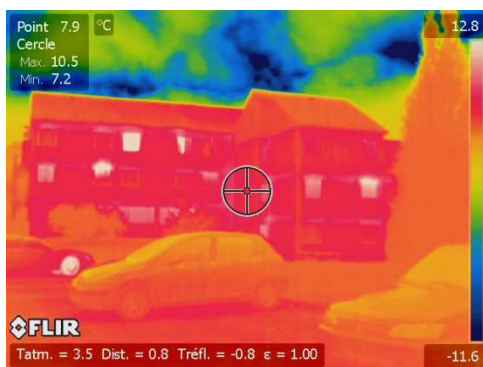


Photo n°1



Photo n°2

Voici ci-dessus, deux photos (n°1 et 2) prises du même endroit mais la première en plage automatique [-11.6 ; 12.8] et la seconde en plage imposée [4 ; 11].

On constate que la première image ne permet aucune conclusion sur la localisation des ponts thermiques.

En réduisant la plage d'utilisation aux températures avoisinantes du bâtiment [4 ; 11], on observe très nettement des défauts d'isolations.

Pour encore mieux mettre en évidence l'importance du réglage de la plage, nous avons pris plusieurs photos sur lesquelles la différence des températures était accentuée par la présence d'un radiateur en fonctionnement.

Dans le cadre de l'étude de la menuiserie extérieure, en réglage de plage automatique, celui-ci empêche toutes mesures cohérentes (photos 3 et 4).



Photo n°3

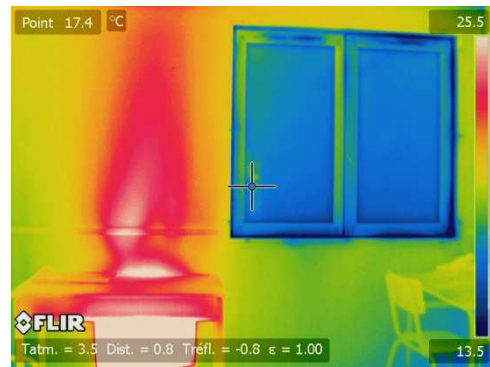


Photo n°4



Photo n°5

En affinant la plage manuellement, nous arrivons à mettre en avant les différences de températures de surfaces sur la menuiserie elle-même (photo n°5).

2- Emissivité

Après réglage de la plage, nous ne pouvons pas exploiter tel quel les résultats. En effet, la photo n°5 laisse sous-entendre que les températures de surface du contour de la menuiserie sont inférieures à celles du vitrage.

Or, l'image telle qu'elle est présentée admet une émissivité de 1 pour toutes les surfaces, ce qui est bien entendu faux dans la réalité. Il faut pour analyser correctement la menuiserie connaître les vraies températures de surfaces. Pour cela, nous pouvons à l'aide du logiciel fourni avec la caméra modifier l'émissivité et recalculer les températures de surfaces. Dans cas là l'opération sera à répéter 3 fois : plâtre-peint ; bois (menuiserie) et verre.

L'utilisation d'une émissivité égale à 1 sur la globalité de l'image suffit néanmoins à mettre en évidence la variation de température sur une surface de matériau homogène.

Par exemple, dans le cas d'une façade enduite, le matériau étant le même sur toute la surface nous pouvons déterminer la présence de ponts thermiques (photo n°6),



Photo n°6

clairement mis en évidence au niveau des planchers et escaliers.

3- Mauvaise interprétation

Nous venons de voir que l'émissivité jouait un rôle prépondérant dans le calcul de la température de surface. Il faut cependant faire attention à ce qui est photographié (photos ci-dessous). Nous avons observé que la présence de volets extérieurs sur une façade pouvait perturber une mesure.

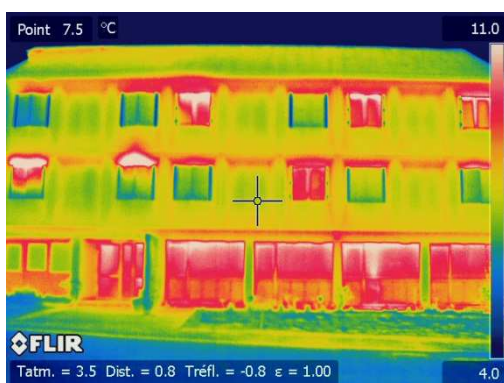


Photo n°7



Photo n°8

En effet, les déperditions de la menuiserie avec le volet fermé entraîne un phénomène de convection. Outre le pont thermique du linteau, cela génère un réchauffement de la paroi qui pourrait sous-entendre un pont thermique beaucoup plus important qu'en réalité.

En se focalisant sur une fenêtre (photos n°9 et 10 ci-dessous), nous observons plus clairement le phénomène. La photo numérique couleur prise en même temps que la photo thermique devient primordiale pour ne pas conclure trop vite sur les différentes couleurs observées.



Photo n°9

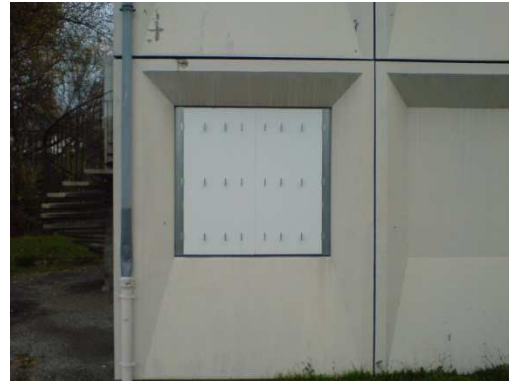


Photo n°10

Effectivement, en opposition avec la surévaluation du pont thermique du linteau, la photo IR laisse penser qu'il y a une menuiserie thermiquement performante (contour de la fenêtre bleu et donc froid). Or, lors du visionnage de la photo numérique couleur, nous nous rendons compte qu'il s'agit du châssis métallique du volet qui est entièrement à l'extérieur du bâtiment. Il est donc de toute évidence à la température ambiante extérieure.

Cet exemple nous prouve qu'il faut en plus de l'émissivité des éléments photographiés, connaître leurs positions, fonctions et surtout ce qu'ils peuvent masquer.

4- Angle de prise de vue et réflexion

Certains matériaux reflètent le rayonnement thermique comme un miroir reflète la lumière visible. Ainsi, les reflets peuvent fausser l'interprétation de la photo infrarouge. Il devient ainsi judicieux de choisir le bon angle de prise pour éviter ou limiter ces reflets.



Photo n°11

On observe bien ce phénomène sur la photo n°11 ci-dessus, par la présence sur la baie vitrée des personnes manipulant la caméra infrarouge alors qu'elles se trouvent derrière l'objectif. La baie vitrée joue ici un rôle de miroir et fausse le résultat obtenu.

La baie vitrée (verre) est un matériau qui possède une faible émissivité. Nous sommes dans le cas d'un simple vitrage dans l'exemple ci-dessus et donc à une température de surface plus faible que la température ambiante. Ces deux critères accentuent la réflexion du rayonnement incident et la présence d'une source chaude modifie la température relevée par la caméra.

Ce type de problème a son importance lors d'analyses infrarouges très précises mais lors de relevés classiques sur des bâtiments la présence de l'opérateur (ou autre source chaude) à proximité de l'élément mesuré influe tellement peu sur la mesure que celle-ci n'est pas prise en compte. Dans le cas de mesures précises, nous pouvons limiter cet effet par la saisie de la température apparente réfléchie.

IV- Performances des deux modèles de caméra

1- Comparaison des deux caméras

1.1- Leur destination

Les deux caméras étudiées ont une grande différence de performances principalement dues à leurs domaines d'utilisations. En effet, la caméra ThermaCAM E4 est dite « de terrain » alors que la FLIR 640 est une caméra de précision utilisée en laboratoire. Cet écart de performance est accentué par l'évolution très importante de la précision des capteurs ces dernières années. Nous allons donc comparer une caméra de terrain d'une dizaine d'années à une caméra de précision actuelle.



FLIR 640



ThermaCAM E4

1.2- La résolution

La différence la plus importante porte bien entendu sur la qualité des relevés. La caméra ThermaCAM E4 permet de prendre des clichés de 320x240 tandis que la résolution de la FLIR 640 est de 640x480. Cette image (4 fois plus grande) permet la mise en évidence de certains phénomènes que la ThermaCAM E4 ne permet pas de visionner sur des photos globales du bâtiment, en effet chaque pixel correspond à une mesure de température.



Photo n°12 : FLIR 640



Photo n°13 : ThermaCAM E4

1.3- La focale

Nous avons également constaté que l'objectif qui équipe la FLIR 640 offre un angle de vue plus large (petite focale) que celui de la thermaCAM E4 (focale plus grande), néanmoins ces derniers sont interchangeables. Cela permet de pouvoir prendre des bâtiments complets avec beaucoup moins de recul.

1.4- La prise de clichés

Précédemment, nous avons montré l'importance de la photo numérique couleur en parallèle de la photo IR. Nous constatons que cette fonction n'est disponible que sur la FLIR 640. Cela implique donc de devoir prendre une photo avec un appareil photo standard en plus du cliché de la caméra. La FLIR 640 permet donc d'aller plus vite à faire les relevés et offre de ce point de vue un meilleur confort de travail.

Parmi les problèmes rencontrés, la caméra ThermaCAM E4 ne nous a pas permis de faire des relevés avec une plage d'utilisation fixe. En effet, seule une des deux bornes à la fois peut être modifiée.

2- Application sur sites

Dans le cadre de nos projets (Réhabilitation du foyer des jeunes travailleurs d'Egletons et Diagnostic thermique du lycée Henri Queuille de Neuvic), l'inspection à la caméra infrarouge nous a permis de découvrir un certain nombre de phénomènes non visibles à l'œil nu.

2.1- Réhabilitation du foyer des jeunes travailleurs d'Egletons

L'ensemble des photos prises lors de notre visite mettent clairement en évidence la présence de ponts thermiques entre les planchers et les murs ainsi que le long des escaliers. La photo n°14 ci-dessous montre également l'absence d'isolation derrière les tuiles en fibrociment qui constituent les pignons. La photo n°15 témoigne d'une déperdition importante par les menuiseries (menuiseries anciennes en bois et double vitrage).

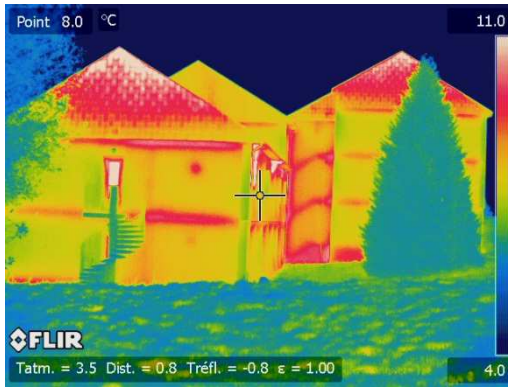


Photo n°14

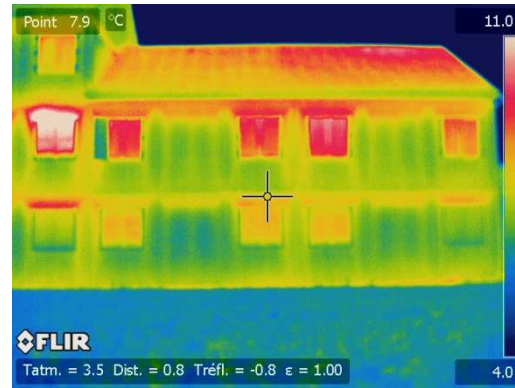


Photo n°15

2.2- Lycée Henri Queuille de Neuvic

Le relevé sur le site de Neuvic s'est fait un jour de fortes pluies. Sur les conseils de la personne nous ayant prêté le matériel et afin de protéger la caméra, nous l'avons recouvert d'un sac plastique. Cela modifie légèrement la mesure infrarouge la rendant évidemment moins précise mais pas suffisamment pour la rendre inexploitable. Par contre, le sac empêche la prise du cliché numérique classique en couleur rendant l'interprétation plus compliquée.

Nous constatons, malgré une construction en maçonnerie de pierre et des planchers bétons, l'absence de ponts thermiques hors il n'y avait aucun rupteurs de ponts thermiques à l'époque de la construction. Nous expliquons ce phénomène par l'absence d'isolation ne créant pas de contraste de résistance entre parois et plancher, ceci est également dû au nez de dalle en saillie des parois. Il reste néanmoins intéressant d'observer sur les photos suivantes des déperditions importantes sous chaque menuiserie due à la présence de radiateur sous celle-ci.

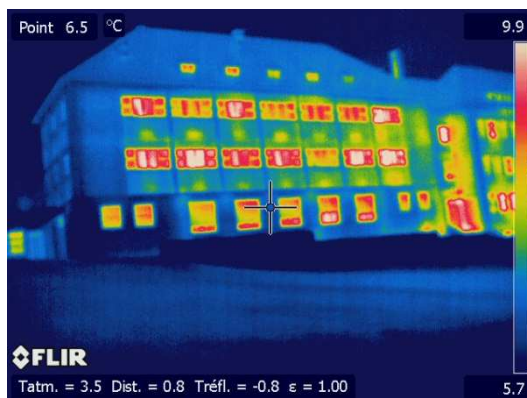


Photo n°16



Photo n°17

Après ces deux relevés, nous constatons la facilité de réglage et la grande précision de FLIR 640 mais comprenons bien que nous n'utilisons pas pleinement les capacités d'une telle caméra. En effet, celle-ci permettrait une analyse infrarouge bien plus poussée que celle couramment faites dans le bâtiment et même si la thermaCAM E4 a une précision beaucoup plus faible, elle permet néanmoins d'observer la présence de ponts thermiques et la comparaison de température de surfaces des différents éléments d'une construction pour un coût très inférieur à la FLIR 640 et une réel conception pour le terrain.

V- Conclusion

Tout au long de ce projet, nous avons essayé d'appliquer l'utilisation de la caméra thermique aux bâtiments. En effet, la mise en application de la RT 2012 depuis le 1^{er} Janvier 2013 va focaliser la construction sur de la haute performance énergétique. L'utilisation de la caméra infrarouge va donc se banaliser dans les années à venir au cours des diagnostics et nous souhaitons être prêt à satisfaire cette demande.

Après avoir étudié le principe de fonctionnement théorique des caméras ainsi que les phénomènes physiques mesurés, nous avons souhaité nous exercer à son utilisation de façon concrète.

Pour cela, nous avons fait les relevés de deux projets que nous avions à mener sur l'année. Cela nous a permis d'une part d'apprendre à utiliser ce matériel d'autre part de nous confronter aux vrais problèmes de terrain (pluie, recul pour obtenir une photo globale, réglage de l'appareil) et enfin d'apporter une réelle valeur ajoutée à nos projets en révélant les principaux défauts d'isolation.

Pour conclure, l'ensemble du groupe a apprécié de travailler sur un thème d'actualité mais aussi la confiance que nous a accordé la plate-forme technologique travaux public et l'IUT du Limousin en nous prêtant du matériel de qualité afin de mener à bien ce projet.