

RAYONNEMENT

1. But :

Le but de ce TP est de vérifier la loi de Stéphan-Boltzmann d'une part, et mesurer l'émissivité d'une surface grâce à la thermographie Infra-rouge d'autre part.

2. Principe :

• Cube de Leslie :

On dispose d'un cube thermostaté, dont on peut mesurer le rayonnement thermique à l'aide d'une pile thermoélectrique, dont on connaît la sensibilité ($0,16 \text{ V.W}^{-1}$).

On trace, en temps réel, lors d'une montée en température (programmée grâce au bain thermostaté), la courbe Puissance rayonnée en fonction de la température à la puissance 4, pour chacune des 4 faces du cube de Leslie.

• Caméra thermique :

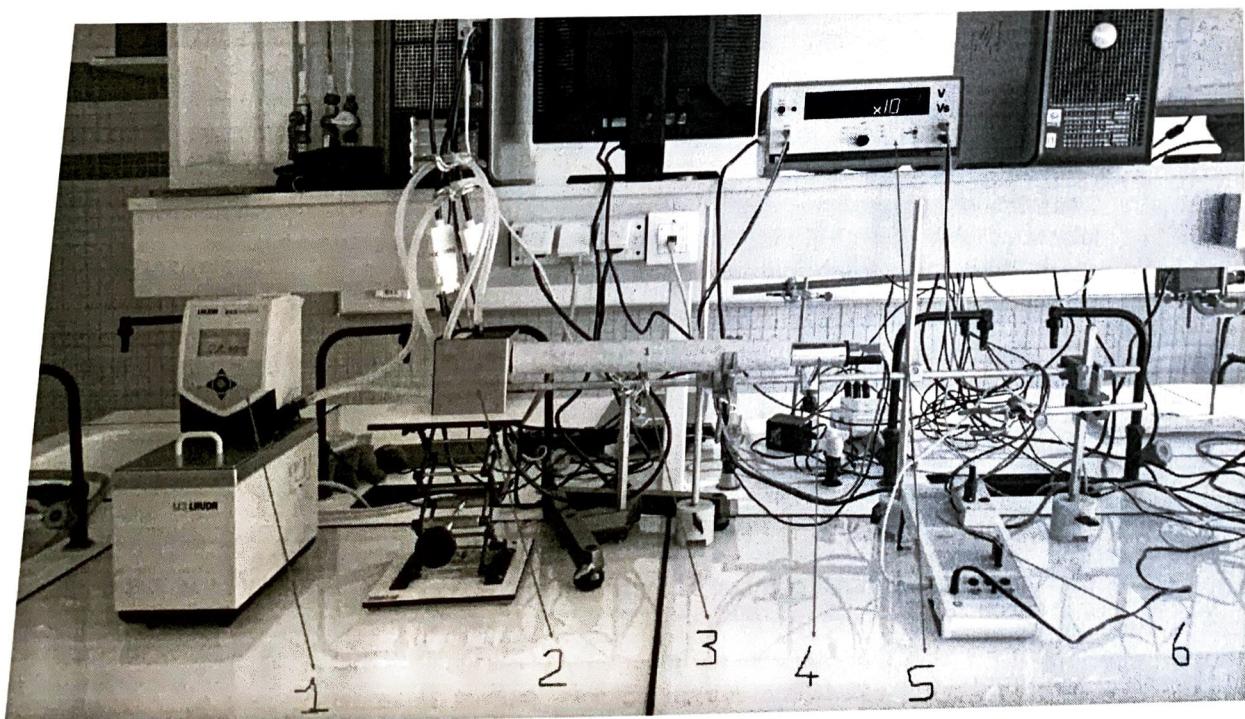
Connaissant l'émissivité de la face noire du cube ($\varepsilon = 1$), ainsi que la température de celle-ci (mesurée grâce à la sonde du bain thermostaté), on étalonne la caméra thermique.

En maintenant la température du cube constante, on déduit l'émissivité ε de la face grise en utilisant la visée de la caméra et en changeant la valeur de l'émissivité paramétrable sur celle-ci (on procèdera par tâtonnement).

3. Manipulation :

a. Cube de Leslie :

Le dispositif de mesure est le suivant :



1- Bain thermostaté

2- Cube de Leslie

3- Diaphragme

4- Thermopile

5- Microvoltmètre

6- Interface d'acquisition

Le cube de Leslie émet un rayonnement thermique à travers le diaphragme lorsqu'il est chauffé par la circulation d'eau du bain thermostaté.

Ce dernier est mesuré par la thermopile qui délivre une tension proportionnelle à la puissance du rayonnement reçu (sensibilité=0,16 V.W⁻¹).

Cette tension, mesurée grâce au microvoltmètre, est amplifiée d'un facteur 10⁴, et est « envoyée » sur l'interface d'acquisition, elle-même reliée au pc.

D'autre part, une sonde de température immergée dans l'eau du bain, est reliée elle aussi à cette interface.

On fait donc l'acquisition des 2 grandeurs par l'intermédiaire de l'interface :

- 1- La tension UB1 (V) qui est proportionnelle à la puissance P (pW) rayonnée par le cube.
- 2- La température TA11 (K) qui sera élevée à la puissance 4.

Le mode opératoire est le suivant :

- 1- Remplir le bain avec de l'eau du robinet la plus froide possible (si le bain est déjà chaud : le vider, le remplir d'eau froide, faire circuler l'eau sans chauffage, le tout 2 fois de suite afin que l'eau du bain et du cube soit relativement froide)
- 2- Mettre le microvoltmètre sous tension.
- 3- Enlever le capot de protection de la thermopile.
- 4- Paramétriser le logiciel CassyLab afin de tracer $P = f(T^4)$ en s'aidant de la notice fournie.
- 5- Positionner la thermopile, le diaphragme et la face du cube afin que l'ensemble soit parfaitement aligné (la thermopile ne doit pas être dirigée vers les parois du diaphragme)
- 6- Attendre quelques minutes en faisant circuler l'eau sans chauffer afin que l'ensemble se stabilise (la tension lue sur le microvoltmètre doit être stable)
- 7- Programmer la température de consigne du bain thermostaté à 60°C, et démarrer la montée en température en même temps que lancer l'acquisition des mesures sur le pc.

b. Thermographie Infra Rouge

Le mode opératoire est le suivant :

- 1- Régler la température du bain à 60°C.
- 2- Contrôler la valeur de la température en visant le centre de la face noire ($\varepsilon = 1$) avec la caméra thermique.
- 3- Viser la face grise et relever la température avec une émissivité $\varepsilon = 1$.
- 4- Recommencer la mesure avec différentes émissivités jusqu'à obtenir la température de 60°C.
- 5- En déduire la valeur de l'émissivité de la face grise.

Le cube de Leslie émet un rayonnement thermique à travers le diaphragme lorsqu'il est chauffé par la circulation d'eau du bain thermostaté.

Ce dernier est mesuré par la thermopile qui délivre une tension proportionnelle à la puissance du rayonnement reçu (sensibilité=0,16 V.W⁻¹).

Cette tension, mesurée grâce au microvoltmètre, est amplifiée d'un facteur 10⁴, et est « envoyée » sur l'interface d'acquisition, elle-même reliée au pc.

D'autre part, une sonde de température immergée dans l'eau du bain, est reliée elle aussi à cette interface.

On fait donc l'acquisition des 2 grandeurs par l'intermédiaire de l'interface :

- 1- La tension UB1 (V) qui est proportionnelle à la puissance P (pW) rayonnée par le cube.**
- 2- La température TA11 (K) qui sera élevée à la puissance 4.**

Le mode opératoire est le suivant :

- 1- Remplir le bain avec de l'eau du robinet la plus froide possible (si le bain est déjà chaud : le vider, le remplir d'eau froide, faire circuler l'eau sans chauffage, le tout 2 fois de suite afin que l'eau du bain et du cube soit relativement froide)**
- 2- Mettre le microvoltmètre sous tension.**
- 3- Enlever le capot de protection de la thermopile.**
- 4- Paramétriser le logiciel CassyLab afin de tracer $P = f(T^4)$ en s'aidant de la notice fournie.**
- 5- Positionner la thermopile, le diaphragme et la face du cube afin que l'ensemble soit parfaitement aligné (la thermopile ne doit pas être dirigée vers les parois du diaphragme)**
- 6- Attendre quelques minutes en faisant circuler l'eau sans chauffer afin que l'ensemble se stabilise (la tension lue sur le microvoltmètre doit être stable)**
- 7- Programmer la température de consigne du bain thermostaté à 60°C, et démarrer la montée en température en même temps que lancer l'acquisition des mesures sur le pc.**

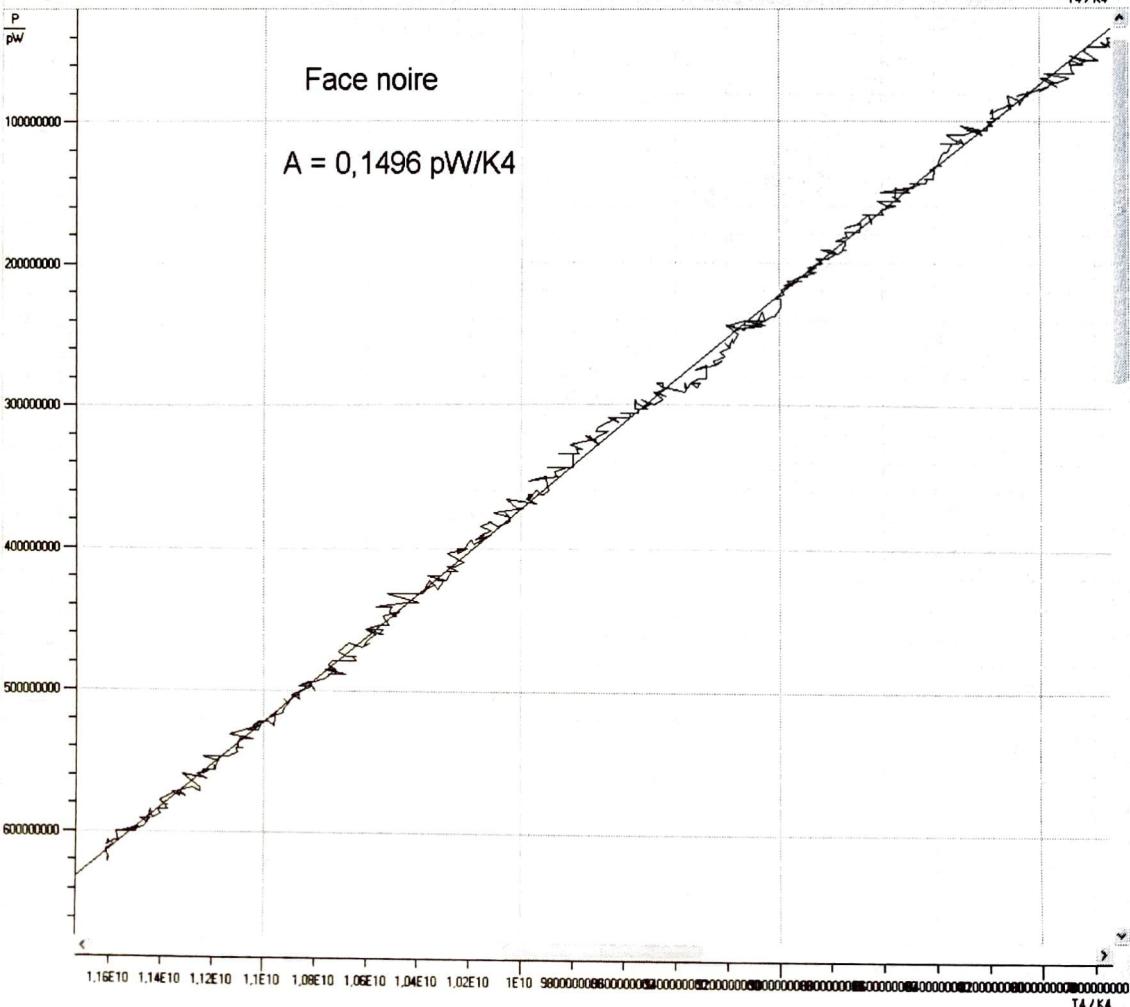
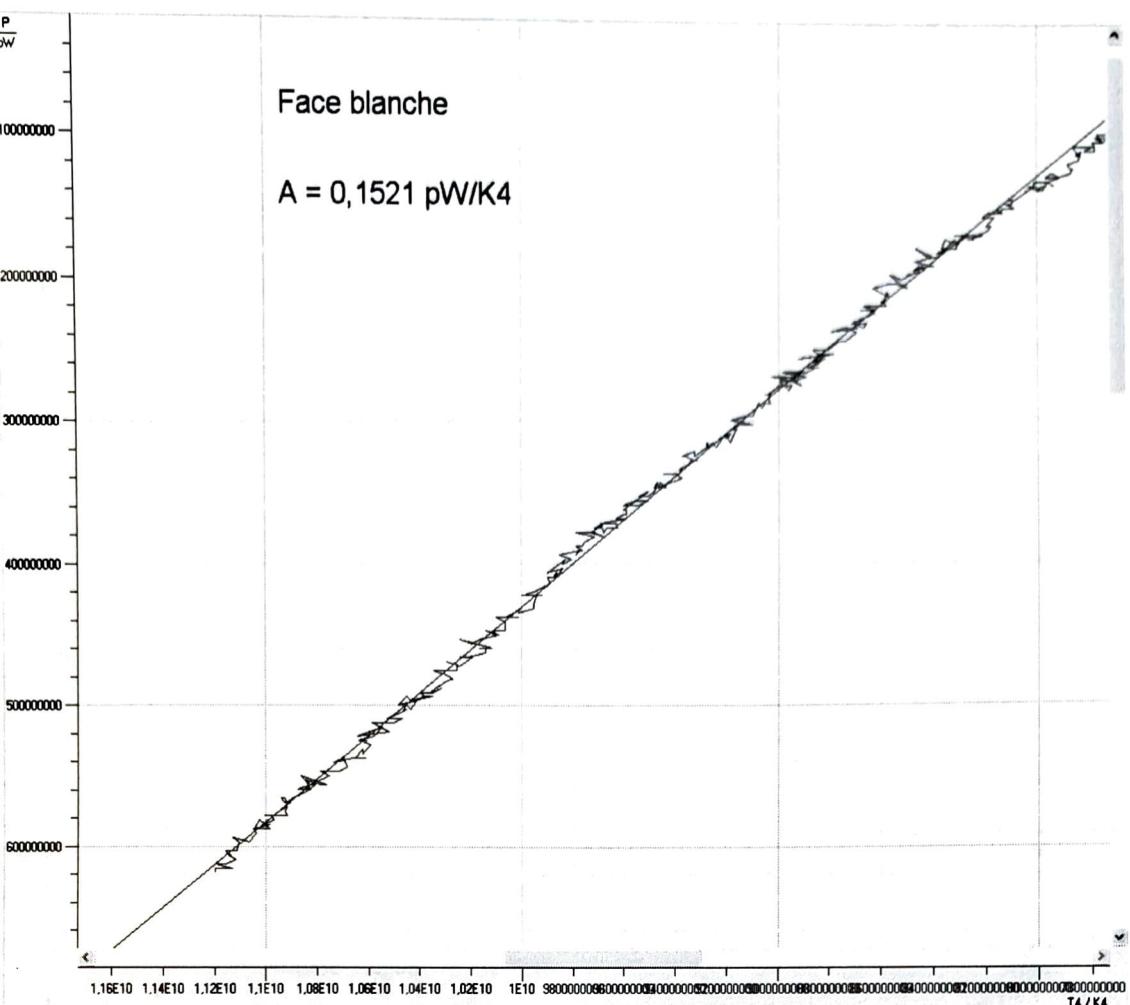
b. Thermographie Infra Rouge

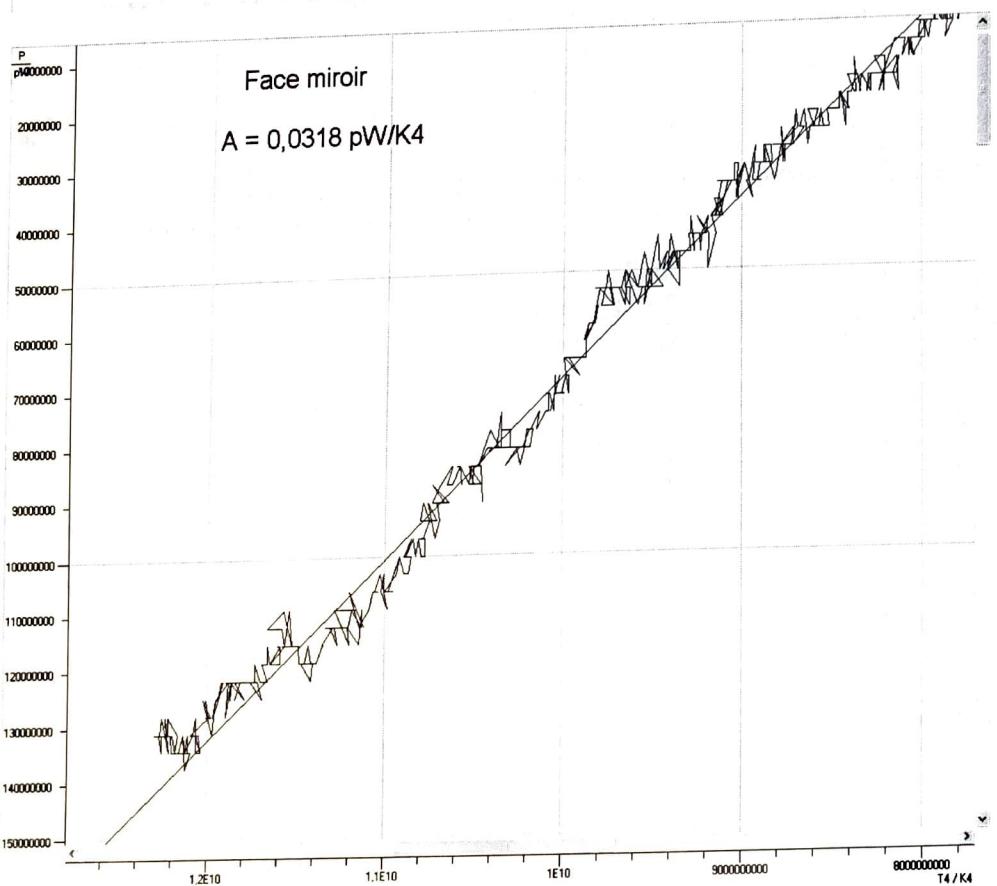
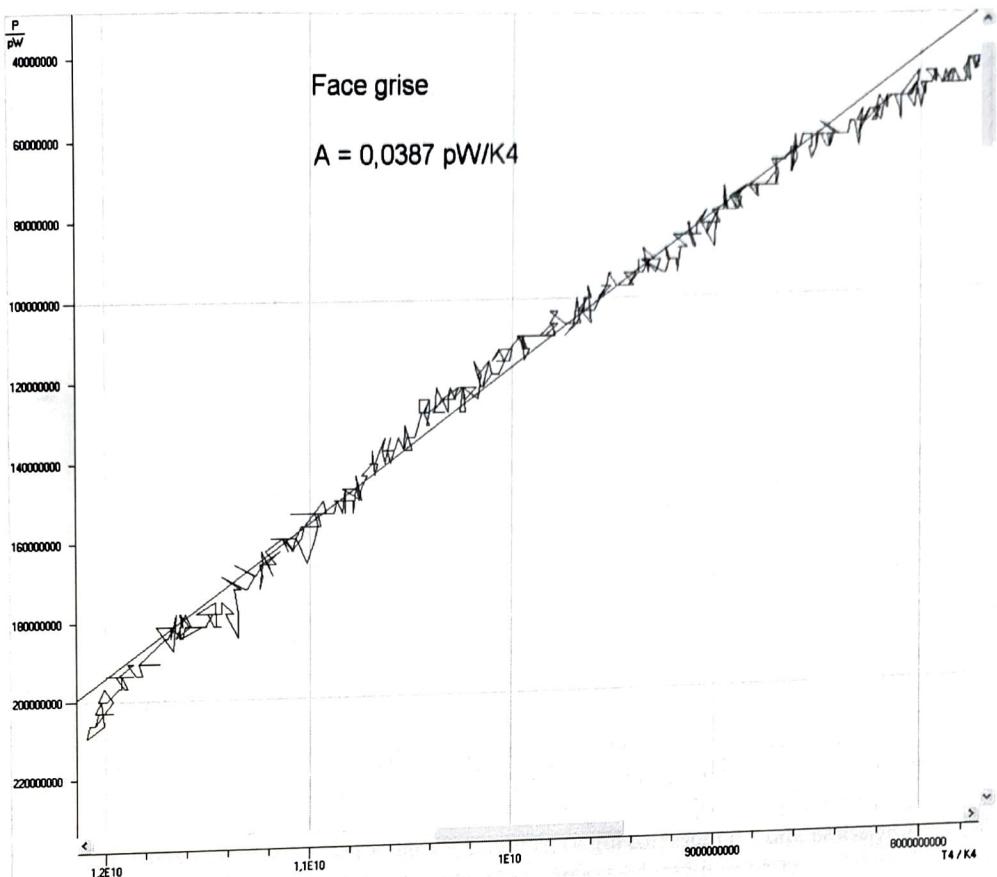
Le mode opératoire est le suivant :

- 1- Régler la température du bain à 60°C.**
- 2- Contrôler la valeur de la température en visant le centre de la face noire ($\varepsilon = 1$) avec la caméra thermique.**
- 3- Viser la face grise et relever la température avec une émissivité $\varepsilon = 1$.**
- 4- Recommencer la mesure avec différentes émissivités jusqu'à obtenir la température de 60°C.**
- 5- En déduire la valeur de l'émissivité de la face grise.**

Véritation de la loi de Stefan – Boltzmann (Cube de Leslie) :

i. Courbes $P = f(T^4)$ pour chaque face :





ii. Classement des faces du cube par valeurs croissantes d'émission :

Face miroir < face grise < face noire < face blanche

iii. Principe de fonctionnement de la pile thermoélectrique de Moll :

Elle est constituée de plusieurs thermo-éléments montés en série qui engendrent une tension lorsqu'ils sont exposés à un rayonnement thermique.

iv. La grandeur qui relie la tension aux bornes de la thermopile et la puissance du rayonnement reçu est la sensibilité s du capteur.

On a donc la relation suivante : $U = P \cdot s$

U en Volt

P en Watt

S en Volt/Watt

v. Le rôle du diaphragme est de protéger la thermopile de tout rayonnement parasite ne provenant pas du cube.

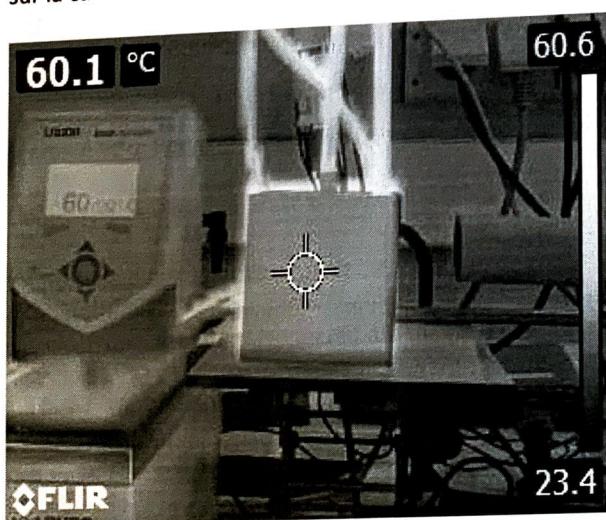
b. Thermographie Infra Rouge :

i. L'émissivité, qu'est que c'est ?

L'émissivité d'un matériau dépend de sa nature, de son état de surface et de sa température. Elle correspond au rapport d'énergie qu'un corps rayonne par rapport à celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température. Dans le cas du corps noir, il absorbe et renvoie la totalité de l'énergie, ce qui correspond à une émissivité égale à 1. Tous les autres corps possèdent une émissivité inférieure à 1. L'émissivité d'un matériau est donc sa capacité à émettre de la chaleur de manière radiative.

ii. Mesure de l'émissivité de la face grise :

Sur l'image suivante, la température du bain est de 60°C, on a paramétré l'émissivité sur la caméra à $\epsilon = 1$ et on a visé la face noire :

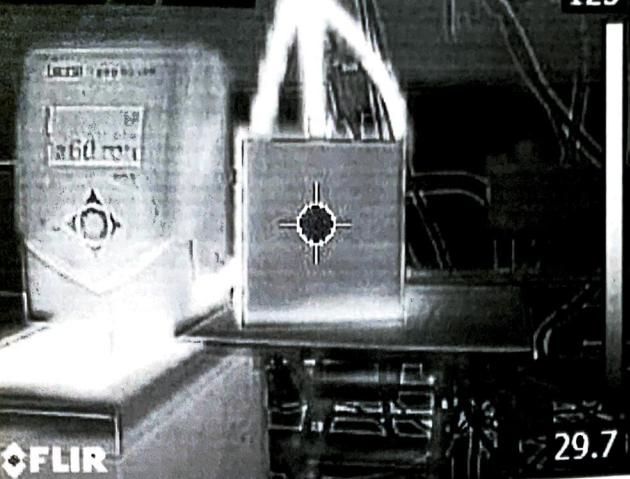


On constate que l'émissivité de la face noire est bien proche de 1 (corps noir), puisque la température mesurée par la caméra est la même que celle du bain (60,1°C).

Sur l'image suivante, la température du bain est toujours de 60°C, on a paramétré l'émissivité sur la caméra à $\epsilon = 0,30$, et on a visé la face grise :

59.5 °C ε 0.30

123



La température mesurée par la caméra est de 59,5°C, pratiquement identique à celle du bain qui est de 60,0°C : l'émissivité de la face grise est donc environ $\epsilon = 0,30$.

Remarque : On peut d'ailleurs vérifier que si on fait le rapport des pentes des droites de Stephan entre face grise et noire, on trouve $\epsilon = \frac{0,0387}{0,1496} = 0,26$, ce qui semble à peu près un résultat concordant avec la valeur donnée par la caméra thermique.

Tout utilisateur de caméra thermographique est confronté au problème de l'émissivité des matériaux, afin d'obtenir des résultats précis et fiables. Lorsqu'on désire effectuer des mesures de température grâce à la thermographie Infra-rouge, il est primordial de connaître l'émissivité des matériaux à étudier sinon les mesures sont erronées. Afin d'obtenir des résultats conformes à la réalité, il est donc impératif de corriger le thermogramme obtenu en associant à chaque matériau son émissivité propre.

Pour preuve, si on mesure la température de la face grise du cube, avec une émissivité égale à 1, on trouve une température de 33°C au lieu de 60°C en réalité (voir cliché ci-dessous).

D'autre part, on voit bien la différence de couleur, sur ce thermogramme, entre les tuyaux plastiques qui amènent l'eau dans le cube, et la face grise du cube, alors que tous 2 sont à la même température d'environ 60°C.

