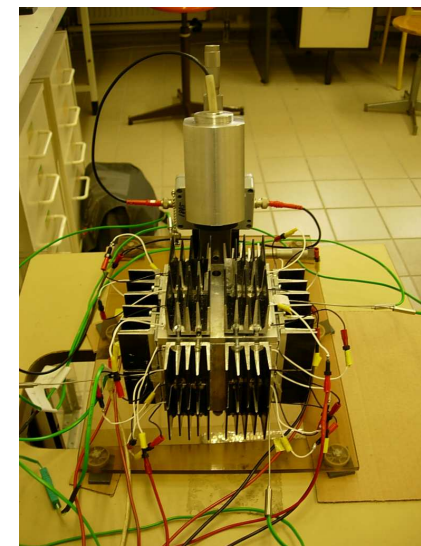


Développement d'un dispositif de mesure de l'émissivité en bande infrarouge III

Laurent IBOS, CERTES, Créteil
Mario MARCHETTI, LRPC Nancy



Rappel des objectifs

Appareil portable: mesures de labo ou sur le terrain

**Complément de l'appareil déjà existant au LRPC de Nancy
(mesures « large bande »: 0.5 – 40 μm)**

Amélioration du fonctionnement

**Possibilité de changement de capteur:
mesures dans des bandes de longueur d'onde différentes:
large bande ou bande IR III (8-13 μm)**

**Disposer de données sur de nombreux matériaux pour
lesquels peu de données bibliographique sont disponibles**

**Suivi de l'évolution de l'émissivité (modifications état de
surface)**

Plan Exposé

Emissivité – Définition et paramètres influents

Méthode de mesure – Principe de fonctionnement de l'appareil

Travaux réalisés (*Stage DUT MP L.Chatelain*)

- **Réglage appareil (dispositif optique)**
- **Comparatif Mesures bande IR III avec mesures large bande**
- **Comparaison de deux amplificateurs**

Plan de travail à venir

Emissivité – Définition et facteurs influents

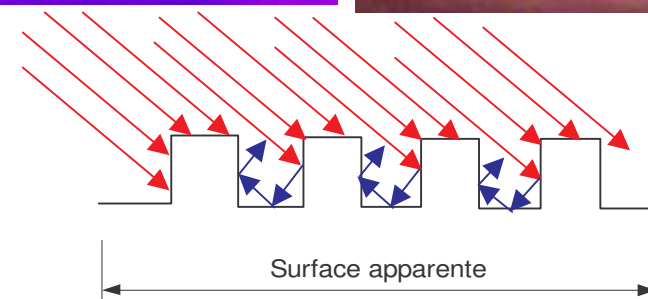
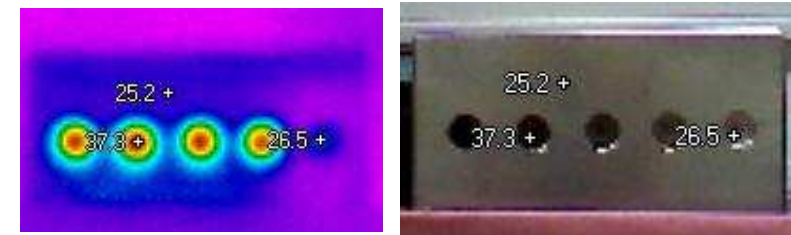
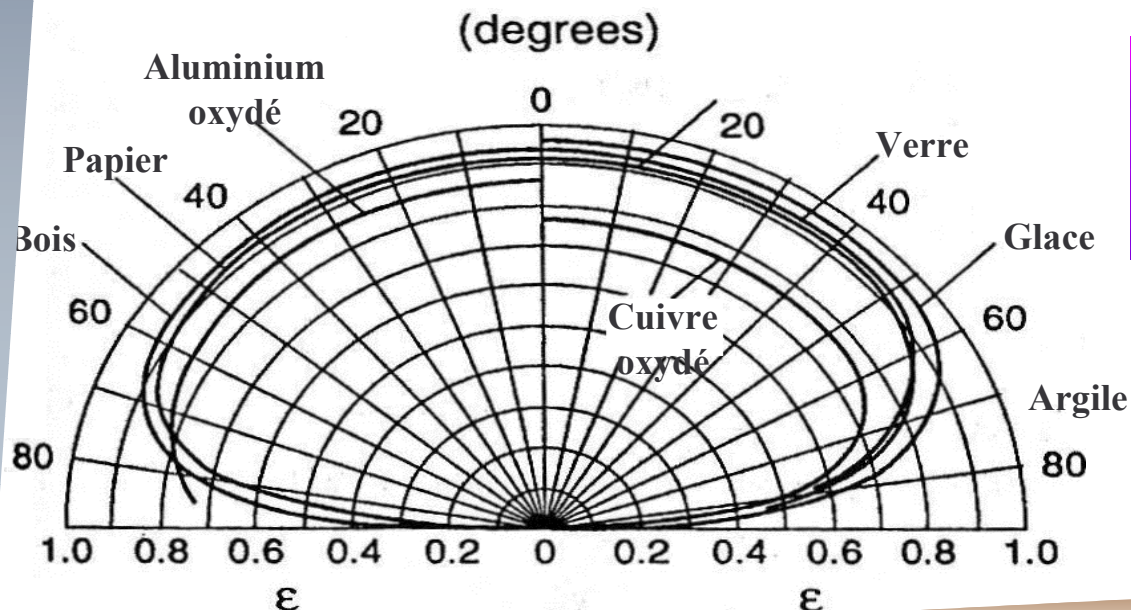
Emissivité: $0 < \varepsilon < 1$

Rapport entre luminance émise par une surface et celle émise par un corps noir à la même température

Facteurs influents

- Température
- Matériau, Composition surface
- Etat de surface
- Longueur d'onde
- Angle d'émission (d'observation)

Matériau	Émissivité	
	IR	Visible
Béton	0,94	0,7
Bois	0,85	
Brique	0,75	
Plâtre	0,92	
Verre	0,93	0

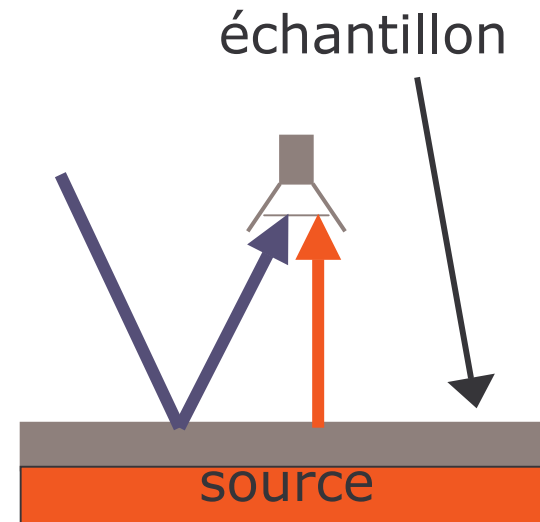


Mesures d'émissivité – Méthodes classiques

Méthode directe

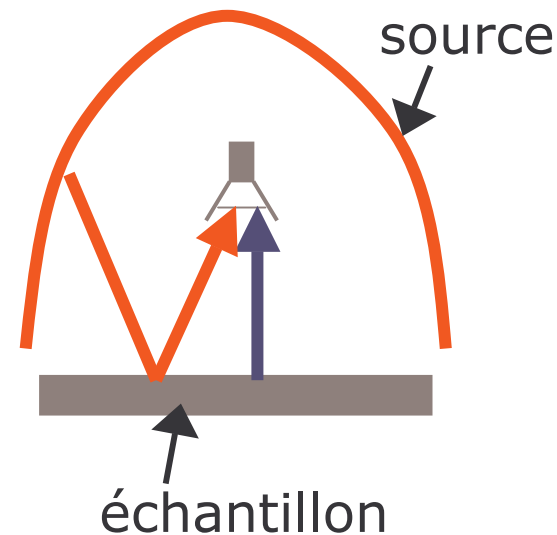
Mesure directe de l'émissivité

Utilisable uniquement sur des échantillons en laboratoire



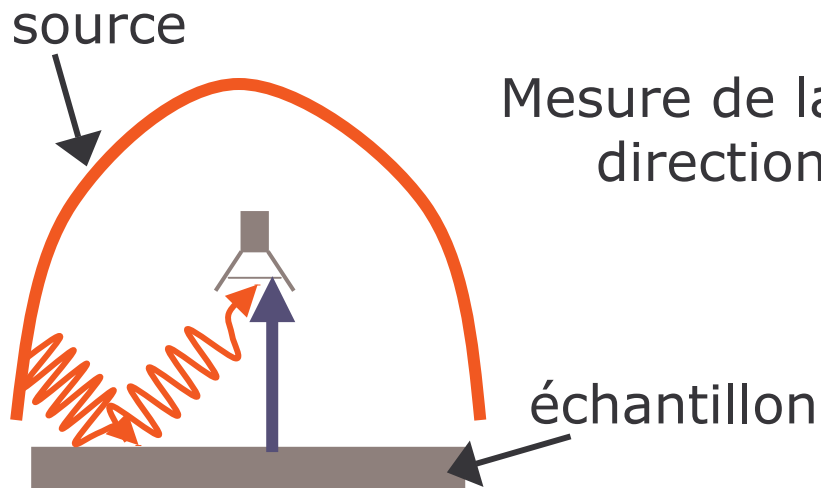
Méthode indirecte

Mesure de la réflectivité
Calcul d'émissivité (Lois de Kirchhoff)



Pb: A température ambiante, Flux émis \sim Flux réfléchi

Méthode de mesure – Méthode indirecte avec modulation



Mesure de la réflectivité hémisphérique directionnelle

Loi de Kirchhoff

Dans le cas d'une source grise avec $T_{\text{source}} = T_{\text{éch}}$

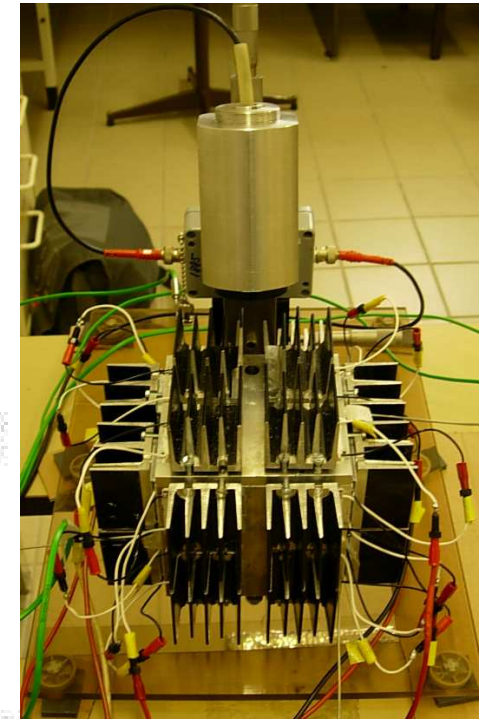
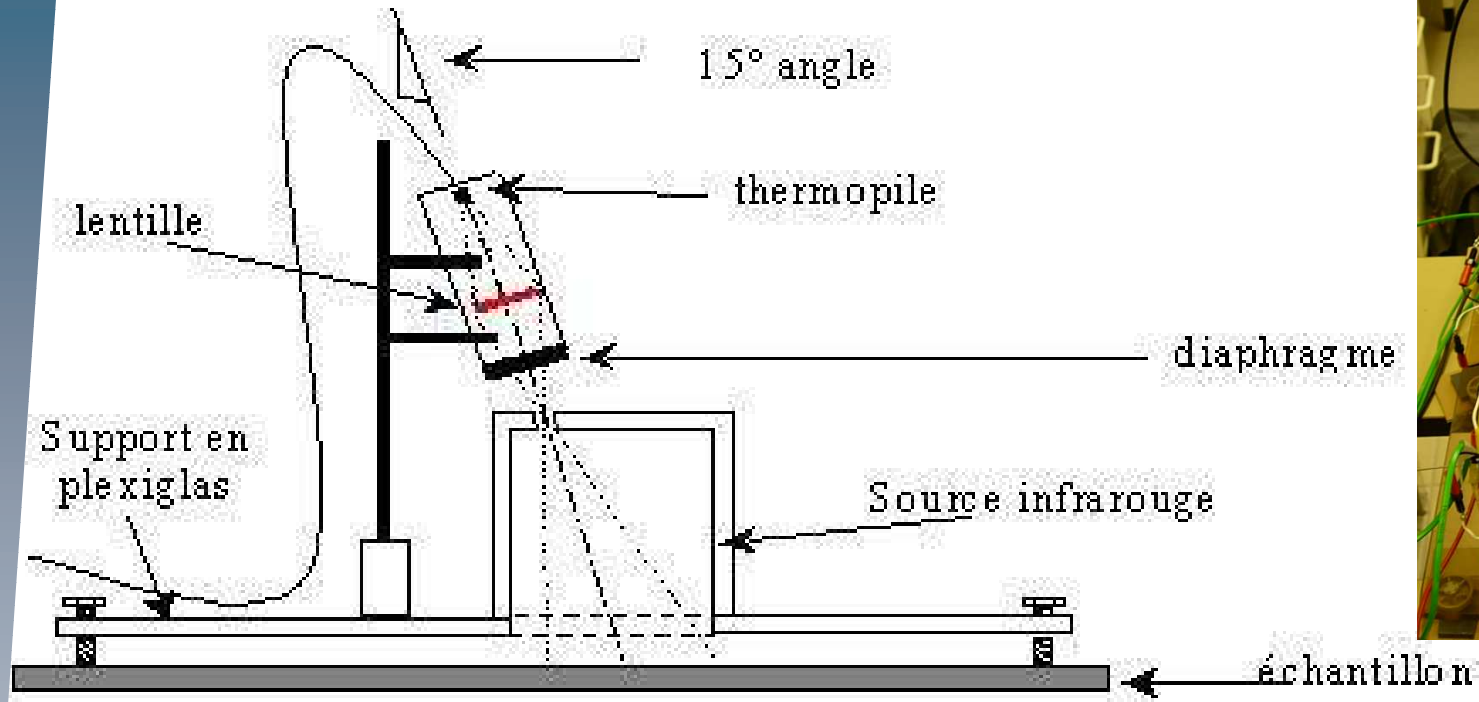
$$\varepsilon' + \rho^n = 1$$

Intérêt de la modulation

Différenciation entre flux émis et flux réfléchi

Bonne précision de mesure / réduction du bruit de mesure

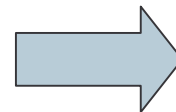
Principe de mesure – Méthode indirecte avec modulation



Etalonnage à l'aide d'une surface en Aluminium rugueux

$$\varepsilon_{\text{réf}} = 0.063$$

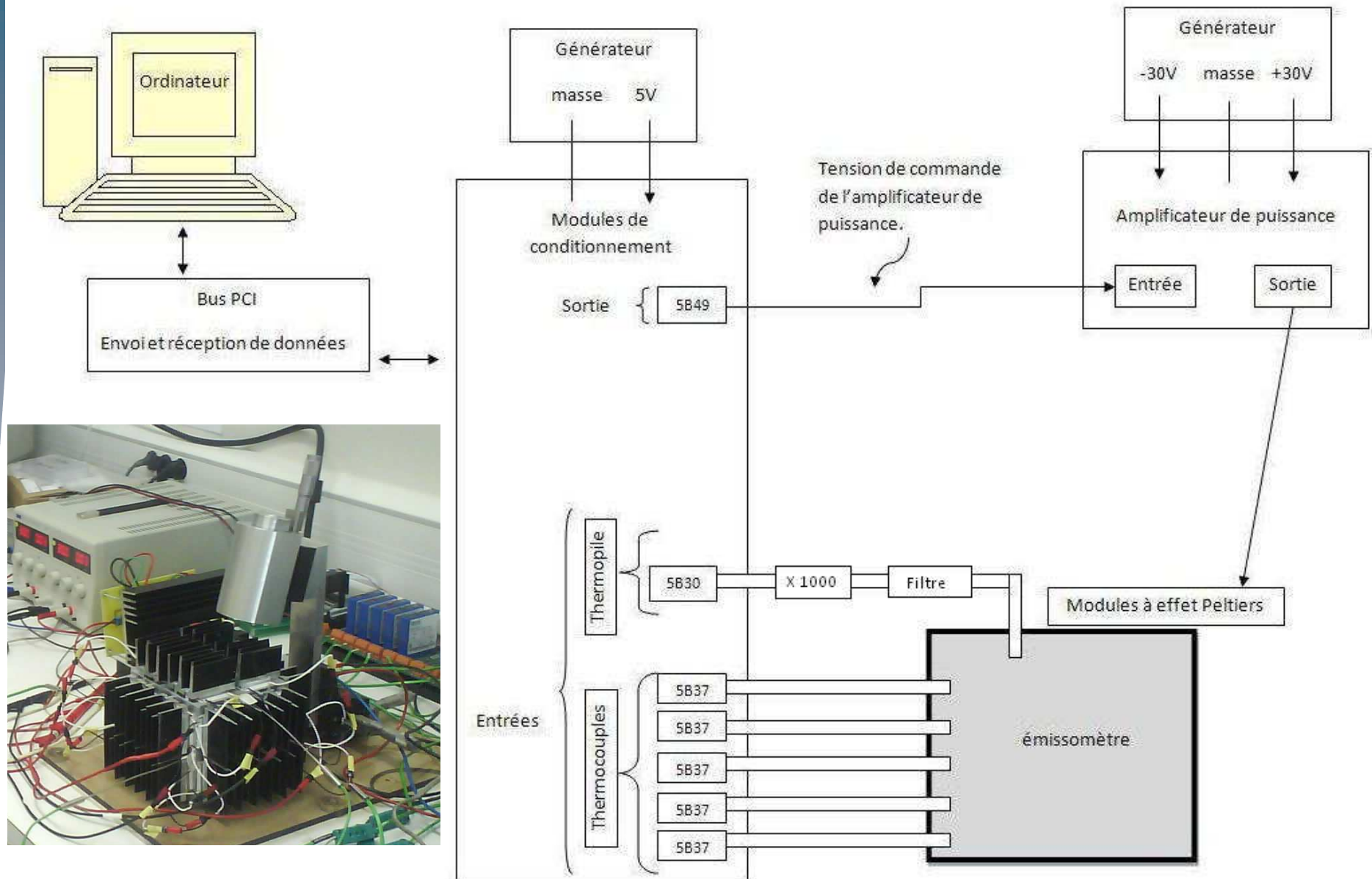
$$K = (1 - \varepsilon_{\text{ref}}) \frac{|\tilde{T}_{\text{source}}|^4}{|\tilde{U}_{\text{ref}}|}$$



Caractérisation du matériau

$$\varepsilon = 1 - K \frac{|\tilde{U}|}{|\tilde{T}_{\text{source}}|^4}$$

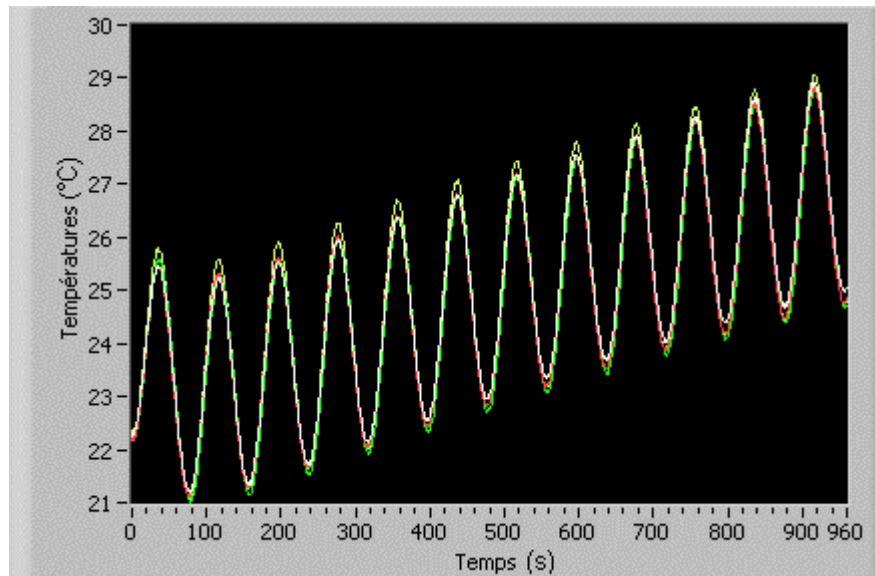
Instrumentation



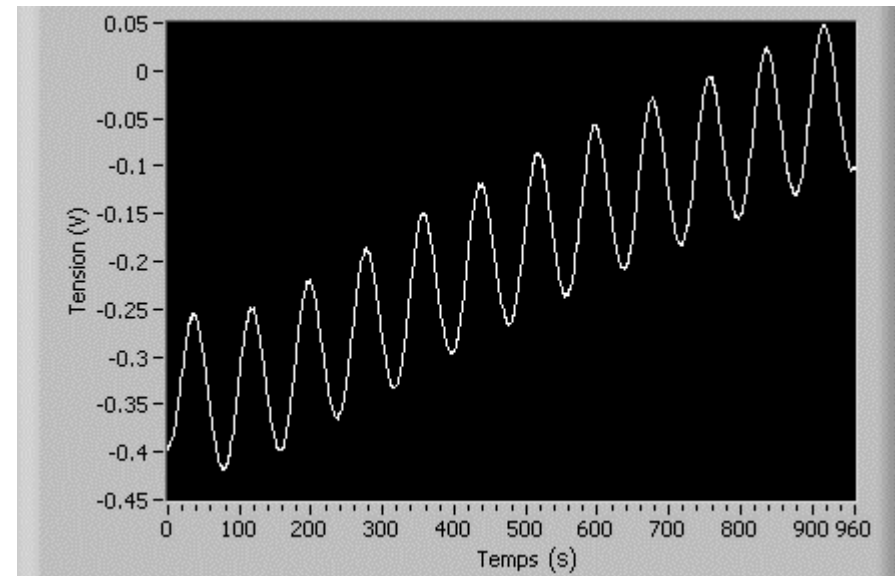
Principe de mesure – Exemple de résultat brut

Exemple de mesure sur surface réfléchissante - Aluminium rugueux (faible émissivité)

Température de la source



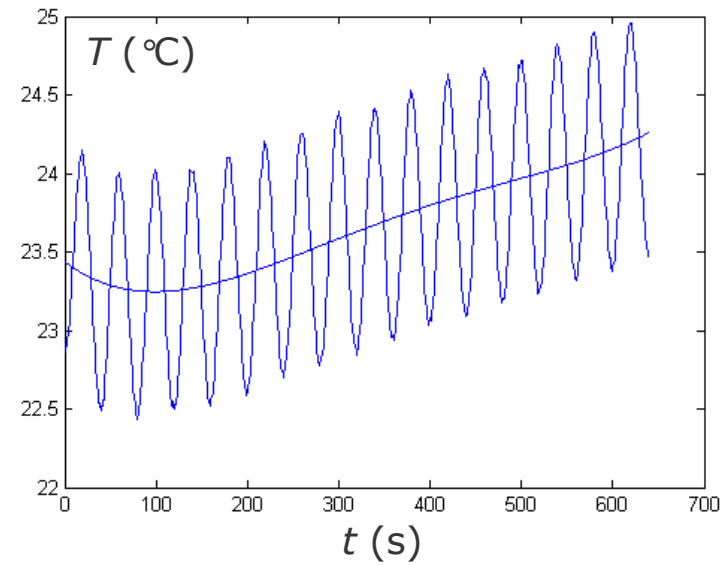
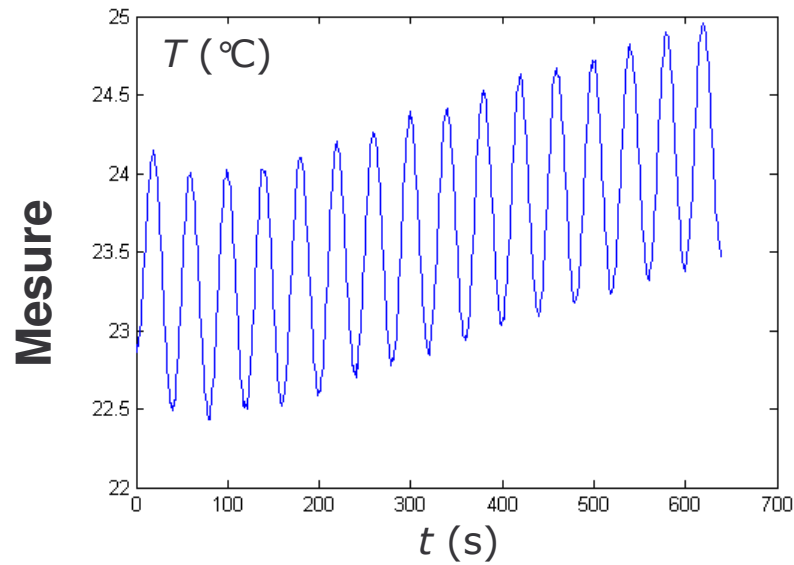
Tension délivrée par la thermopile



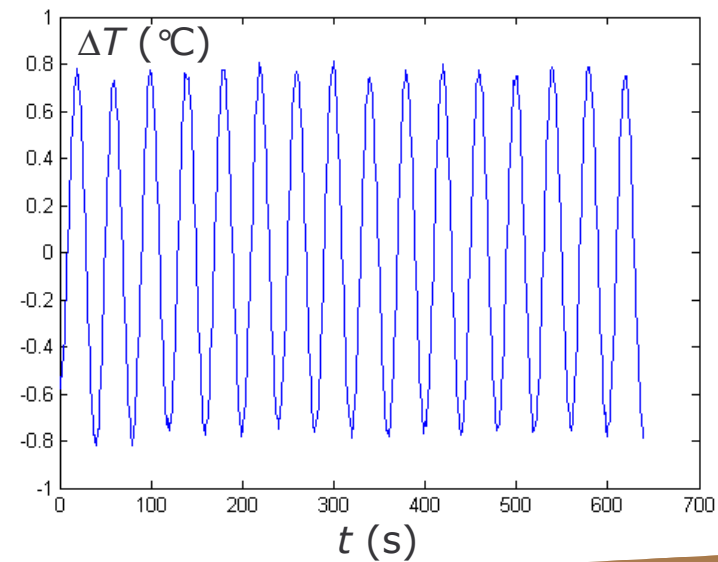
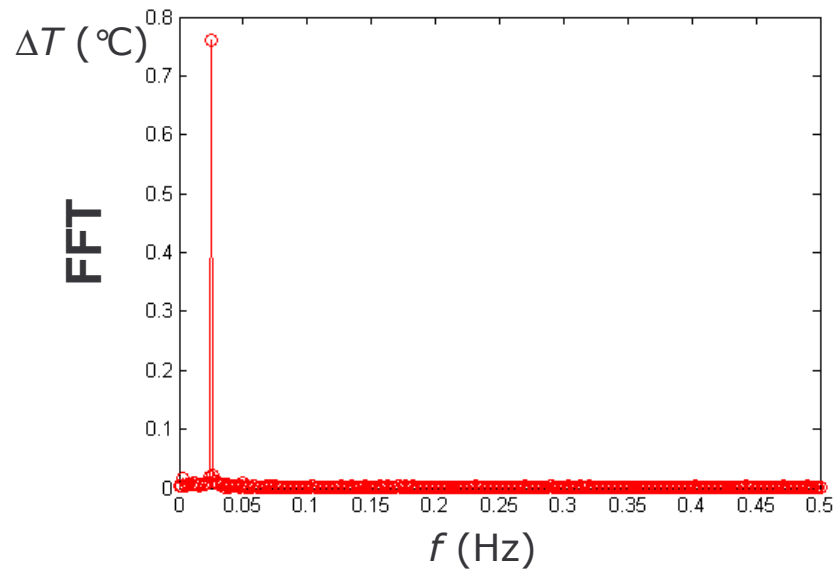
Analyse des données

- Correction de dérive (signal à valeur moyenne nulle)
- FFT (amplitudes: T et U ; déphasage U/T)

Principe de mesure – Exemple d'analyse



Polynôme Correction



Après correction

Réglage ouverture diaphragme

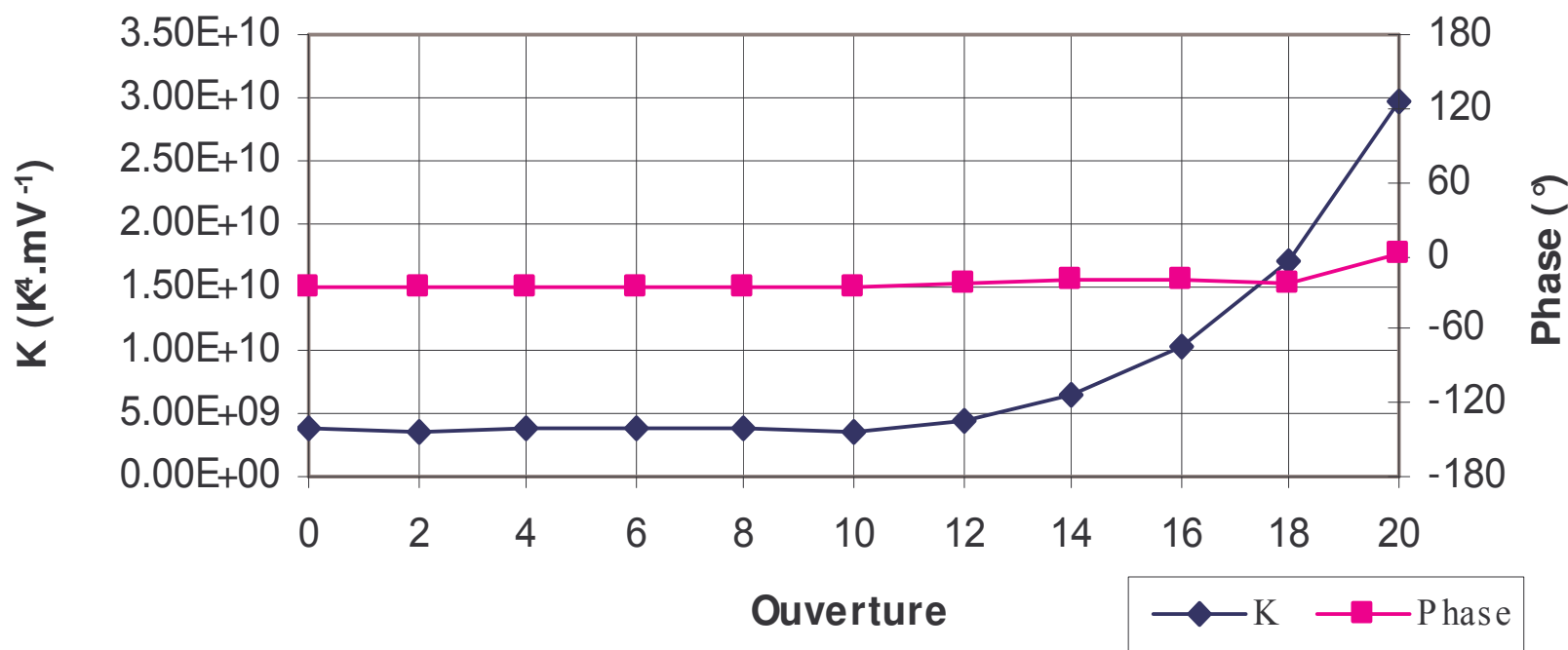
Méthode

Mesures pour différentes ouvertures, notées 0 (diaphragme fermé) à 20 (diaphragme ouvert)

Etalonnage (Aluminium rugueux) + 3 surfaces « de référence » (Alumine, Peinture noire Nextel Velvet 811-21, Mousse noire)

Résultat lors de l'étape d'étalonnage

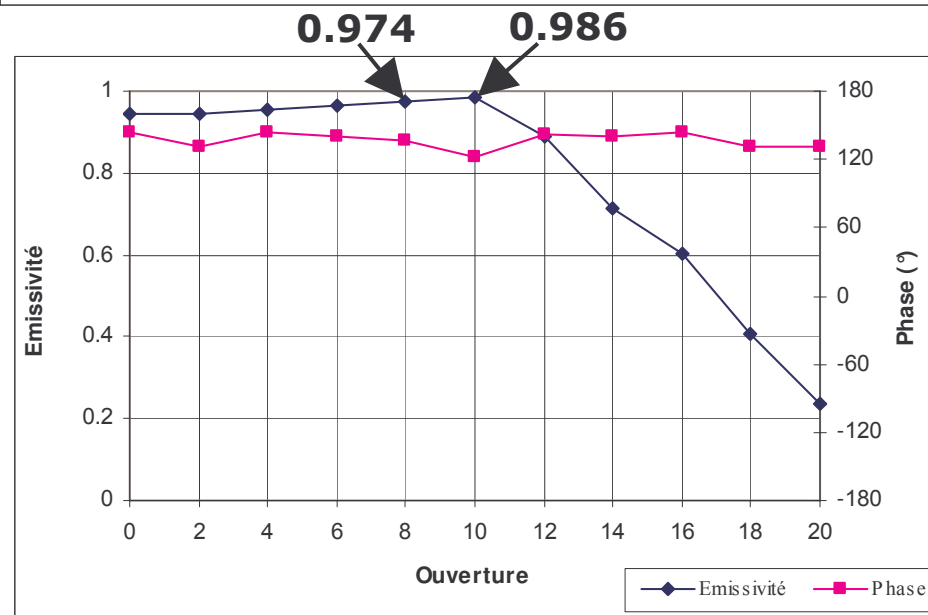
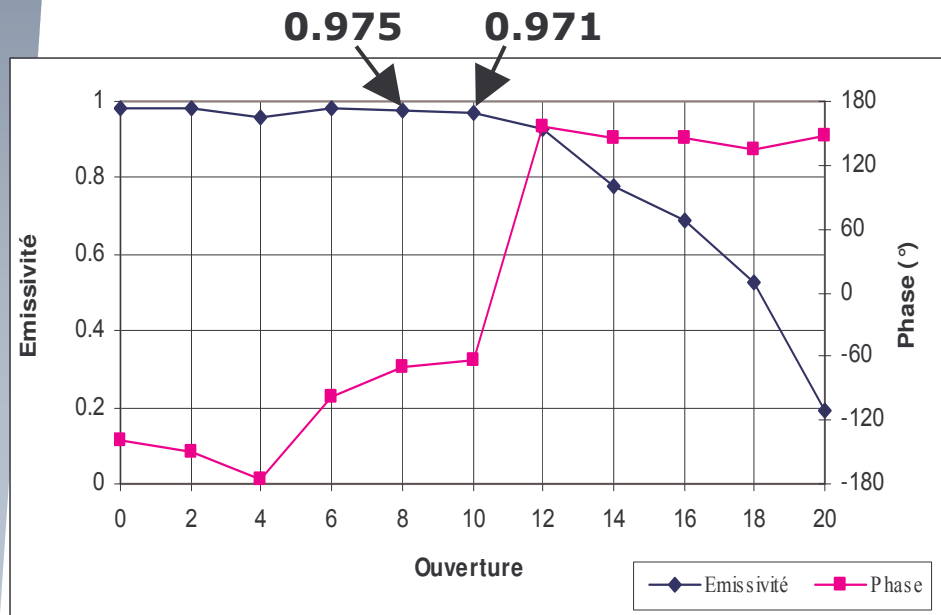
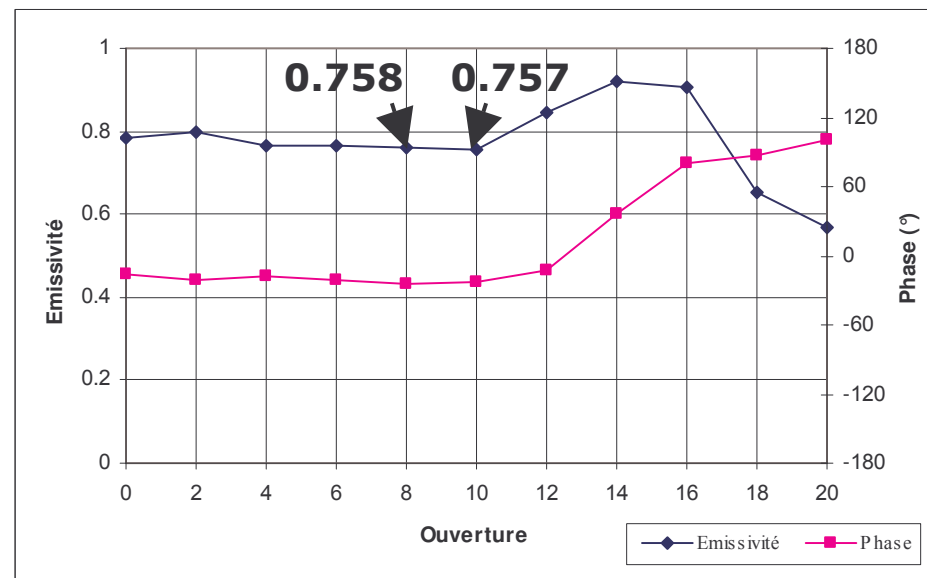
Variation de la constante d'étalonnage K et du déphasage U/T



Réglage Ouverture Diaphragme

Vérification pour les trois surfaces de référence:

- Alumine ($\varepsilon = 0.76$)
- Peinture noire Nextel Velvet 811-21 ($\varepsilon = 0.97$)
- Mousse noire (ε proche de 1)



Mesures en bande IR III (8-14 μ m)

Utilité

Mesures d'émissivité dans la bande de longueur d'onde correspondant au domaine de sensibilité des caméras IR ondes longues

Peu de données bibliographiques ou données incomplètes

Valeurs d'émissivité différentes si dépendance forte en fonction de la longueur d'onde

Possibilité de changement de capteur

Problématique

Flux mesuré plus faible en bande III que dans une bande large
En théorie, réduction de 60% du flux mesuré

Signaux d'amplitude plus faible

Diminution du rapport Signal/Bruit

Comparaison mesures large bande / bande IR III

Aluminium

Position	K (K ⁴ .mV ⁻¹)	K (K ⁴ .mV ⁻¹)	Phase (°)	Phase (°)
G8	3.698E+09	5,052E+09	-25	-25
G10	3.648E+09	5,080E+09	-26	-24

Alumine ($\epsilon=0.76$)

Position	ϵ 1-50 μm	ϵ 8-13 μm	Phase (°)	Phase (°)
G8	0.758	0,803	-24	-20
G10	0.757	0,784	-23	-20

Peinture Noire ($\epsilon=0.97$)

Position	ϵ 1-50 μm	ϵ 8-13 μm	Phase (°)	Phase (°)
G8	0.975	0.987	-71	-84
G10	0.971	0.983	-64	-87

En bleu : thermopile 1 μm - 50 μm

En vert : thermopile 8 μm - 14 μm



Comparatif amplificateurs

Aluminium

Amplificateur	K (K ⁴ .mV ⁻¹)	Phase (°)
Gain fixe 60dB	5.080E+09	-24
Gain ajustable 60dB	5.311E+09	-27

Amplificateur à gain fixe de 60dB

Amplificateur à gain programmable 40, 60, 80 ou 100dB

Alumine $\epsilon = 0.76$

Amplificateur	ϵ 8-13 μm	Phase (°)
Gain fixe 60dB	0.784	-20
Gain ajustable 60dB	0.810	-23

Peinture Noire $\epsilon = 0.97$

Amplificateur	ϵ 8-13 μm	Phase (°)
Gain fixe 60dB	0.983	-87
Gain ajustable 60dB	0.993	-40

Comparatif amplificateurs

Aluminium	Gain (dB)	K (K ⁴ .mV ⁻¹)	Phase (°)
	40	5.030E+10	-22
	60	5.311E+09	-27
	80	6.329E+08	-22
	100	2.348E+12	125

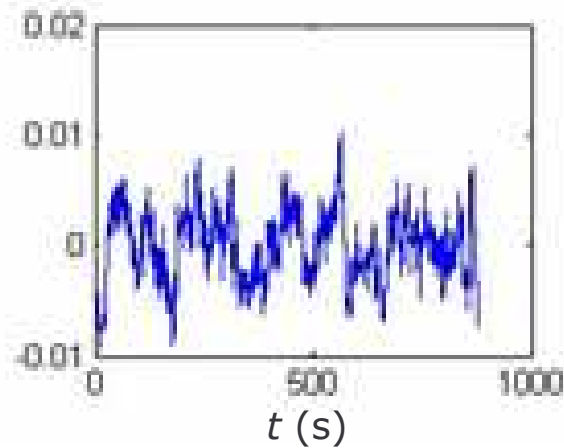
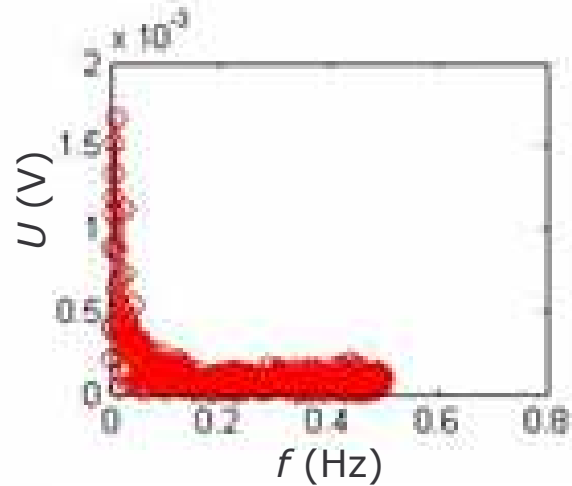
Résultats similaires à ceux obtenus avec l'amplificateur à gain fixe uniquement pour 40dB

Alumine	Gain (dB)	Emissivité	Phase (°)
$\epsilon = 0.76$	40	0.781	-17
	60	0.810	-23
	80	0.736	-33
	100	0.048	178

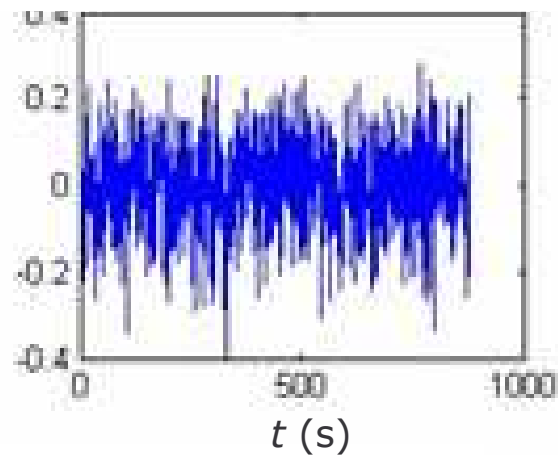
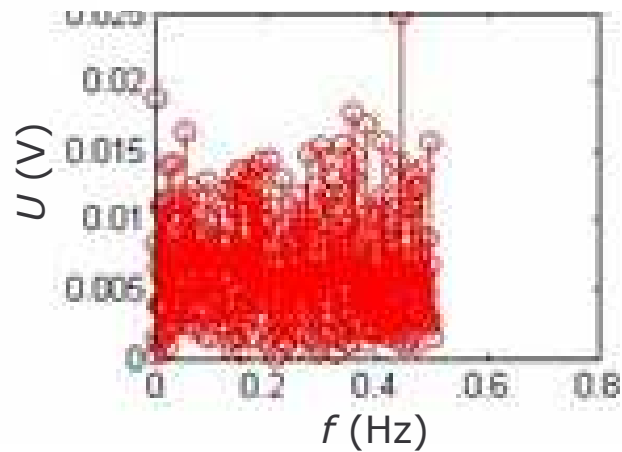
Peinture Noire	Gain (dB)	Emissivité	Phase (°)
$\epsilon = 0.97$	40	0.981	-6
	60	0.993	-40
	80	0.981	-145
	100	0.425	148

Comparatif amplificateurs

Comparaison signaux obtenus sur une surface fortement émissive (peinture noire) pour un gain de 60dB



Amplificateur à gain fixe



Amplificateur à gain programmable

Perspectives / Plan de Travail

Amélioration rapport signal/bruit - test de différentes méthodes:

- **détection synchrone?**
- **corrélation?**
- **filtrage?**

Utilisation d'un signal d'excitation de la source égal à une somme de sinusoides:

- **émissivité indépendante de la fréquence de modulation de la source**
- **plusieurs mesures simultanées**

Estimation d'émissivité au fil de l'eau: définition d'un critère d'arrêt automatique, optimisation de la durée de mesure

Perspectives / Plan de Travail

Test de l'appareil en utilisant différentes surfaces

Balayer toute la plage possible d'émissivité

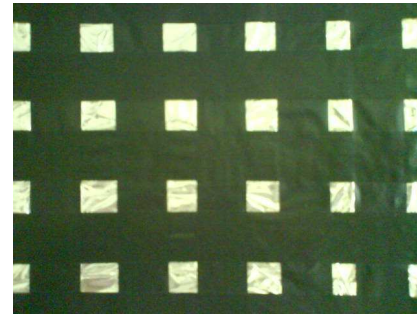
Essais de répétabilité, évaluation des incertitudes de mesure

Caractérisation de Matériaux bétons, enrobés, panneaux, peintures, glissières sécurité...

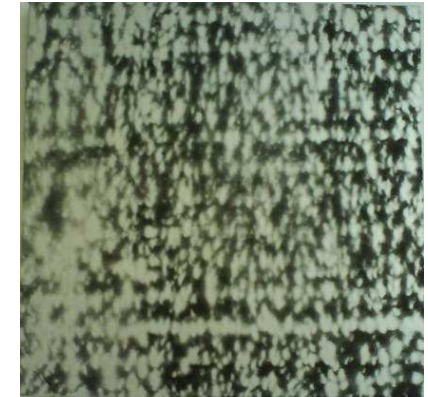
Surfaces sèches et humides

Mesures large bande et bande IR III

Comparaison aux données bibliographiques



$\varepsilon = 0.79$



$\varepsilon = 0.73$





QUESTIONS???



CERTES