

*Présentation du Radiomètre infrarouge
aéroporté CLIMAT*

Gérard BROGNIEZ,

Laurianne BÉCU, Michel LEGRAND,

Bahaidin DAMIRI, Jean-Pierre BUIS**

*LOA (V. d'Ascq) - *CIMEL Électronique (Paris)*

INTRODUCTION

Il existe un besoin de renouvellement des actuels radiomètres infrarouges thermiques installés sur les avions de recherche Météo-France et INSU.

→ Convention de financement entre l'INSU-DT et le CAM-Météo-France a permis de réaliser un prototype de radiomètre infrarouge aéroporté fonctionnant de manière simultanée sur trois bandes de longueur d'ondes dans l'IRT.

→ Réalisé par la société CIMEL Electronique, Paris en partenariat avec le LOA/USTL.

CLIMAT (Conveyable Low-noise Infrared radiometer for Measurements of Atmosphere and ground surface Targets)

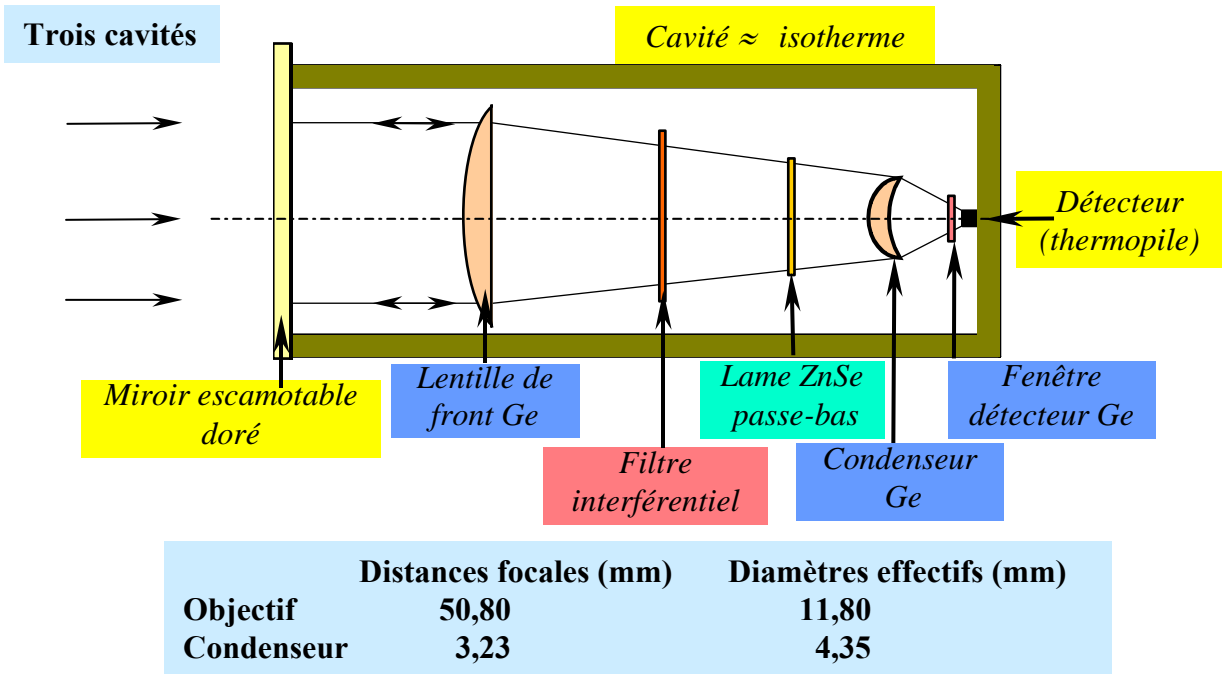
CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES ET PRINCIPE

- Mesures monodirectionnelles dans la fenêtre atmosphérique entre 8 et 14 μm en simultanéité dans trois canaux.
- Tête optique + unité de contrôle (organes d'alimentation et traitement de l'information)



Diamètre 135 mm - Longueur 180 mm - Masse 2,5 kg

CARACTÉRISTIQUES DE L'OPTIQUE ET DU DÉTECTEUR



Montage de Köhler (Condenseur dans le plan focal de l'objectif)

- Homogénéisation de l'éclairement reçu par le détecteur ∇ le contraste de la cible (évite l'apparition de points chauds sur la surface du détecteur)
- Permet d'exploiter un champ de pleine lumière en utilisant toute la surface utile de l'objectif et de supprimer totalement l'effet des sources extérieures à ce champ.

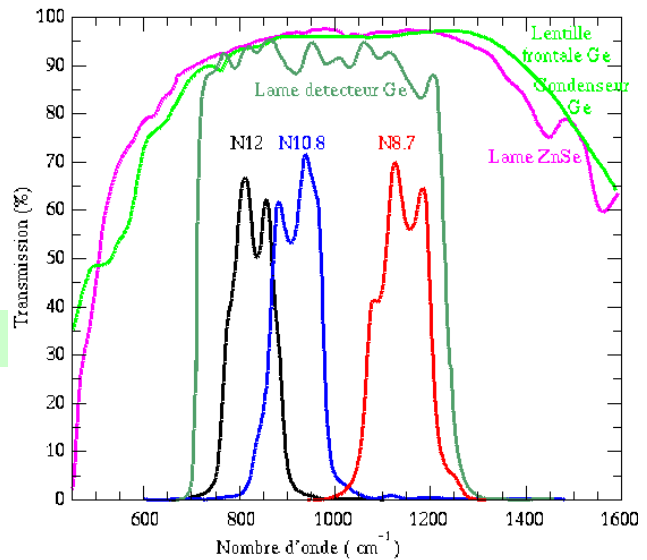
Détecteurs thermiques (*thermopiles*)

- D^* indépendante de la longueur d'onde
- Fonctionnement à température ambiante
- Très peu de dépendance de la sensibilité avec la température

Dimensions de la surface sensible	$S = 0,6 \text{ mm} \times 0,6 \text{ mm}$
Défectivité D^*	$D^* = 2,3 \cdot 10^8 \text{ cmW}^{-1}\text{Hz}^{-1/2}$
Réponse	$R = 200 \text{ VW}^{-1}$
Coefficient de réponse avec la température	$\alpha = -0,15 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$
Temps de réponse	$\tau = 12 \text{ ms}$
Impédance	$Z = 100 \text{ k}\Omega$
Bruit en puissance	$\text{NEP} = 0,26 \text{ nW Hz}^{1/2}$

Filtres interférentiels
8,7 -10,8 - 12 μm
 $\Delta\lambda \approx 1\mu\text{m}$

$$F_G^i(\nu) = F_L(\nu) \times F_C(\nu) \times F_Z(\nu) \times F_D(\nu) \times F_i(\nu)$$



BRÈVE DESCRIPTION DE LA CHAÎNE D'AMPLIFICATION

→ **convertisseur tension-fréquence (facteur de conversion : 10^4 V/Hz)** calibré par le zéro et la pleine échelle issue d'un multiplexeur et dans lequel est intégré un préamplificateur.

→ **microcontrôleur (agissant comme compteur d'impulsions)**. Permet d'effectuer des mesures (il fonctionne en maître puisqu'il donne l'ordre au convertisseur d'envoyer la mesure après l'avoir validée) et d'entraîner le moteur pas à pas servant à mouvoir le miroir.

→ **Mesures sur 24 bits**

→ **Horloge 4 MHz** ⇒ une conversion dure 1/6,25 s.

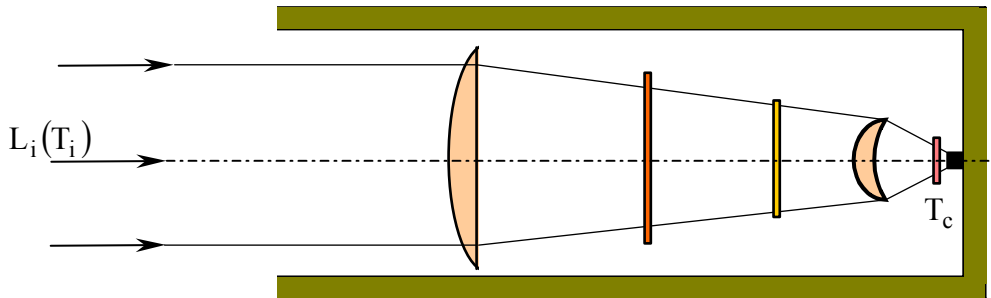
→ **Durée d'intégration** ajustable de 100 ms à environ 1 s.

→ **Alimentation** tension 12 v, consommation 2W maxi.

PRINCIPE DE LA MESURE ET ÉTALONNAGE

I - Principe

Mesure différentielle

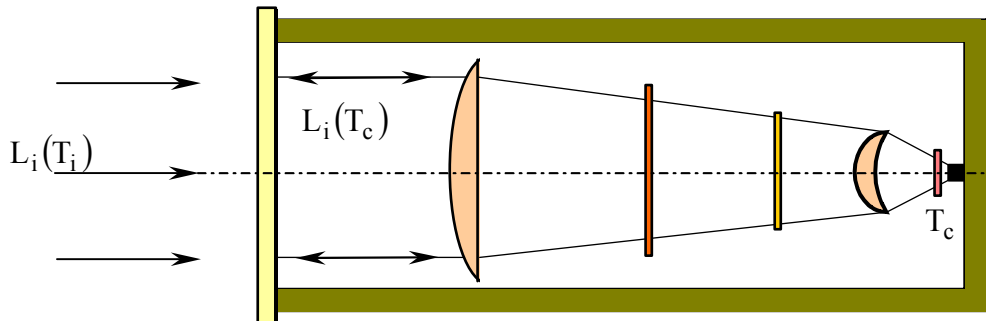


T_c : température de la jonction froide du détecteur

$C_i(T_i)$ correspondent à $L_i(T_i)$

PRINCIPE DE LA MESURE ET ÉTALONNAGE

I - Principe



T_c : température de la jonction froide du détecteur

$C_i(T_i)$ correspondent à $L_i(T_i)$

En position 'miroir', le détecteur se voit →

les comptes numériques $C_i(T_c)$ mesurés correspondent alors à la luminance $L_i(T_c)$:
c'est le **zéro radiométrique**.

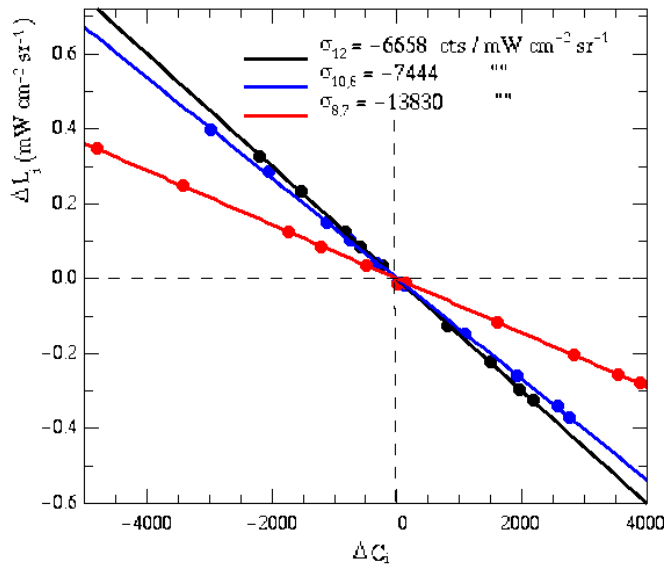
$\Delta C_i = C_i(T_i) - C_i(T_c)$ correspondent à $\Delta L_i = L_i(T_i) - L_i(T_c)$

$\Rightarrow \Delta C_i = \sigma_i \Delta L_i$

II - Détermination des σ_i - Etalonnage



III - Détermina



III – Mesure de la luminance de la cible

$$\sigma_i + \begin{cases} T_C \\ \Delta C_i \end{cases} \Rightarrow L_i(T_i) = \frac{\Delta C_i}{\sigma_i} + L_i(T_C)$$

IV – Détermination de la température de brillance de la cible

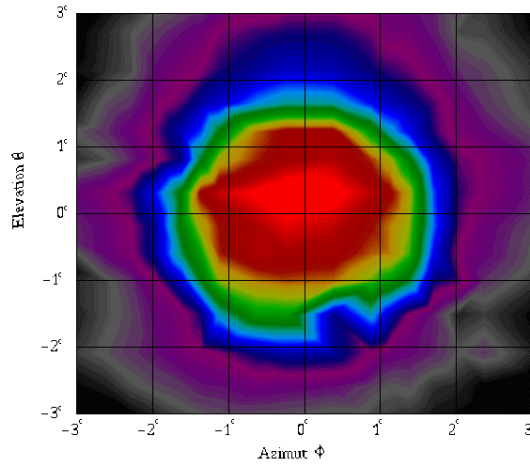
$$L_i(T) = \int_{\Delta v_i} B_v(T) F_G^i(v) dv \approx \eta_i \exp\left(-\frac{\kappa_i}{T^{\gamma_i}}\right) \quad (\eta_i, \kappa_i, \gamma_i) \Rightarrow \text{moindres carrés}$$

$$\frac{L_i(T) - L_i^{\text{app}}(T)}{L_i(T)} \leq 0,06\% \quad \forall T \in [170\text{K} - 370\text{K}]$$

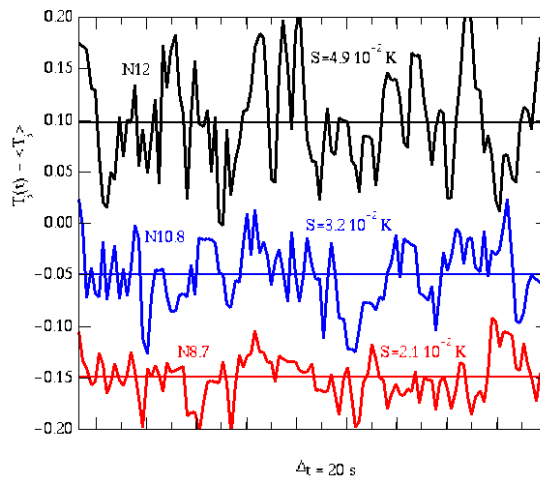
$$\Rightarrow T_i^{\gamma_i} = \frac{-\tau_i}{\ln\left(\frac{\Delta C_i}{\sigma_i \eta_i} + \exp\left(-\frac{\tau_i}{T_C^{\gamma_i}}\right)\right)}$$

$$\text{Si } T_C \rightarrow T_C^m = T_C + \Delta T_C \Rightarrow \sigma_i \rightarrow \sigma_i^m = \sigma_i \exp(\alpha \Delta T_C)$$

CHAMP - BRUIT - TEMPS DE RÉPONSE - DURÉE DE STABILISATION



$$\Delta\theta \approx 3,2^\circ$$



$$S_{N12} = 4,9 \cdot 10^{-2} \text{ K}$$

$$S_{N10.8} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ K}$$

$$S_{N8.7} = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ K}$$

(Durée
d'intégration :
160 ms)

Temps de 'préchauffage'
de l'ordre de 20 mn.

APPLICATIONS POTENTIELLES

Recherche atmosphérique (impact radiatif et télédétection des nuages ainsi que des aérosols)

Agronomie (sols nus, couverts végétaux),

Bilans d'énergie des surfaces (évapotranspiration),

Océanographie (température de surface),

Pédologie,

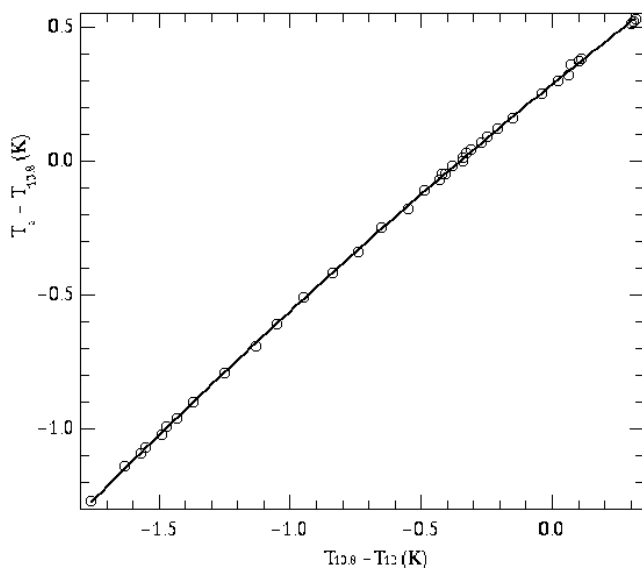
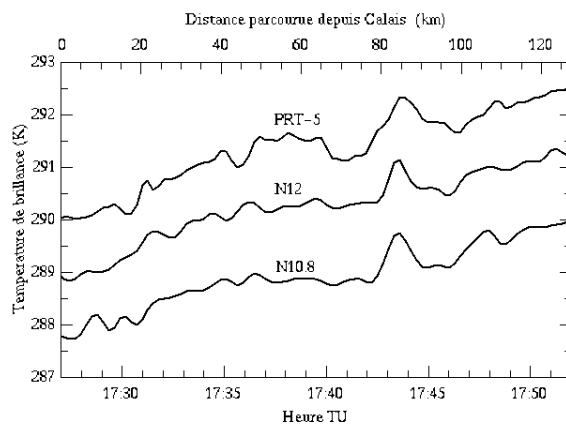
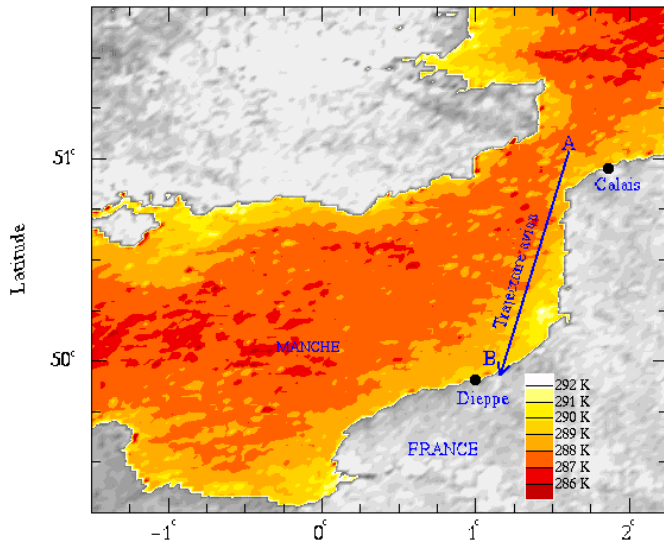
Géologie, etc...

Nous présentons ici deux types de mesures aéroportées.

I - SST

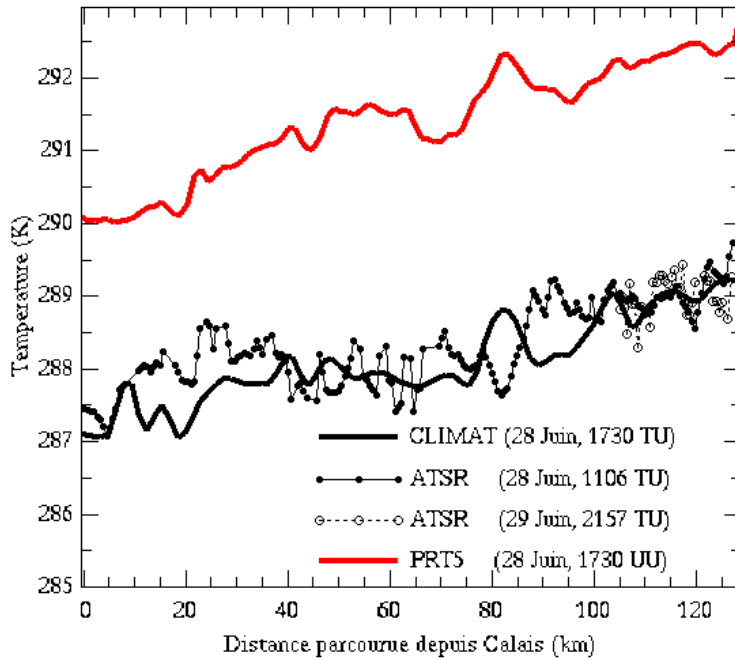
PRT5 Barnes (filtre large 8-14 μm) + CLIMAT sur piper

Radiales Calais - Dieppe. $z \approx 700$ m.



"Global Split-Window" (François et Ottlé; 1994) dépendance quadratique empirique de $(T_s - T_{10.8})$ avec $(T_{10.8} - T_{12})$

+ émissivités de surface de la mer (Masuda ;1988).



Comparaison entre les SST radiomètre CLIMAT et résultats issus d'images ATSR/ERS1 (traitement SADIST (Bailey 1994)
 ⇒ très bon accord (différence moyenne d'environ 0,2K et écart type d'environ 0,44K.

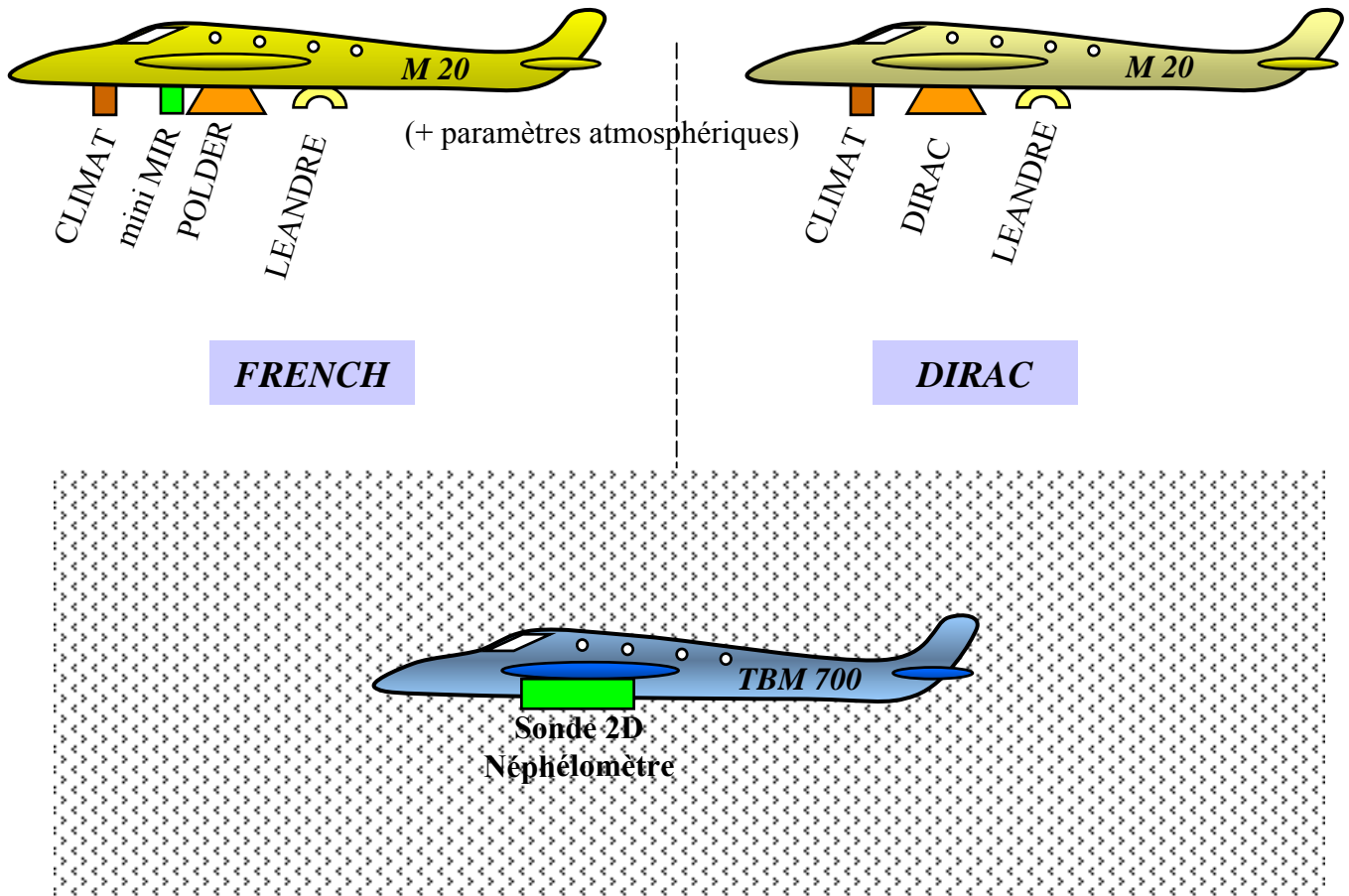
II - APPLICATION À L'ÉTUDE DES CIRRUS

FRENCH/DIRAC (Field Radiation Experiment on Natural Cirrus and High-level clouds / Démonstrateur InfraRouge Aéroporté pour l'étude des Cirrus) Tarbes 21/09 - 30/10 2001.

Mystère 20 de l'IGN + **TBM 700** de EADS/SOCATA.

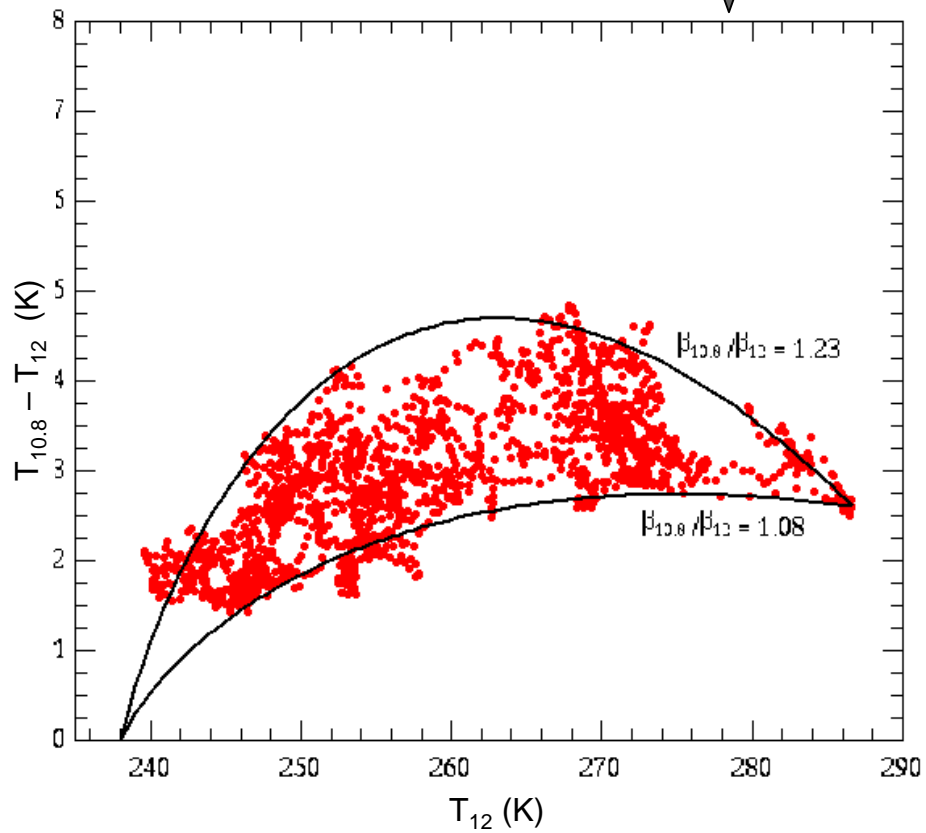
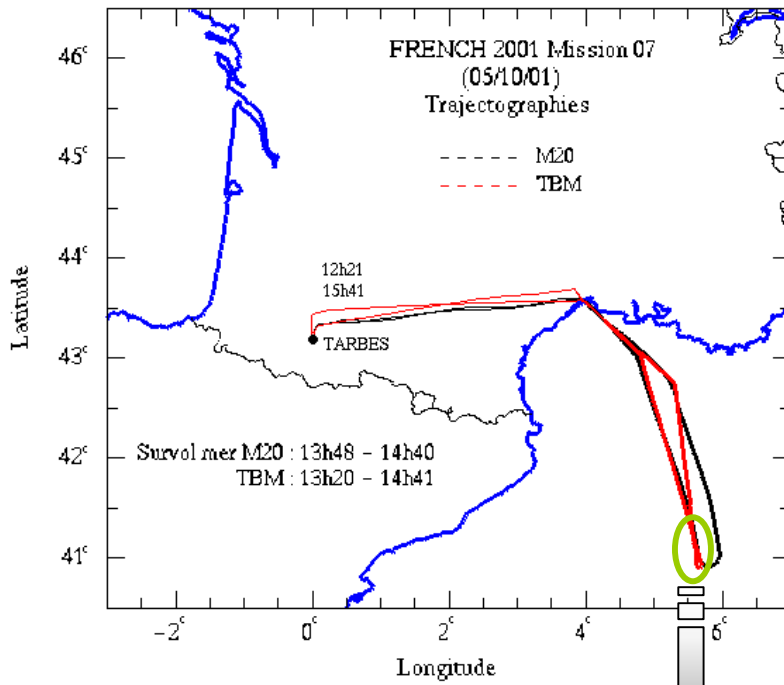
LaMP, SA, LMD, LOA.

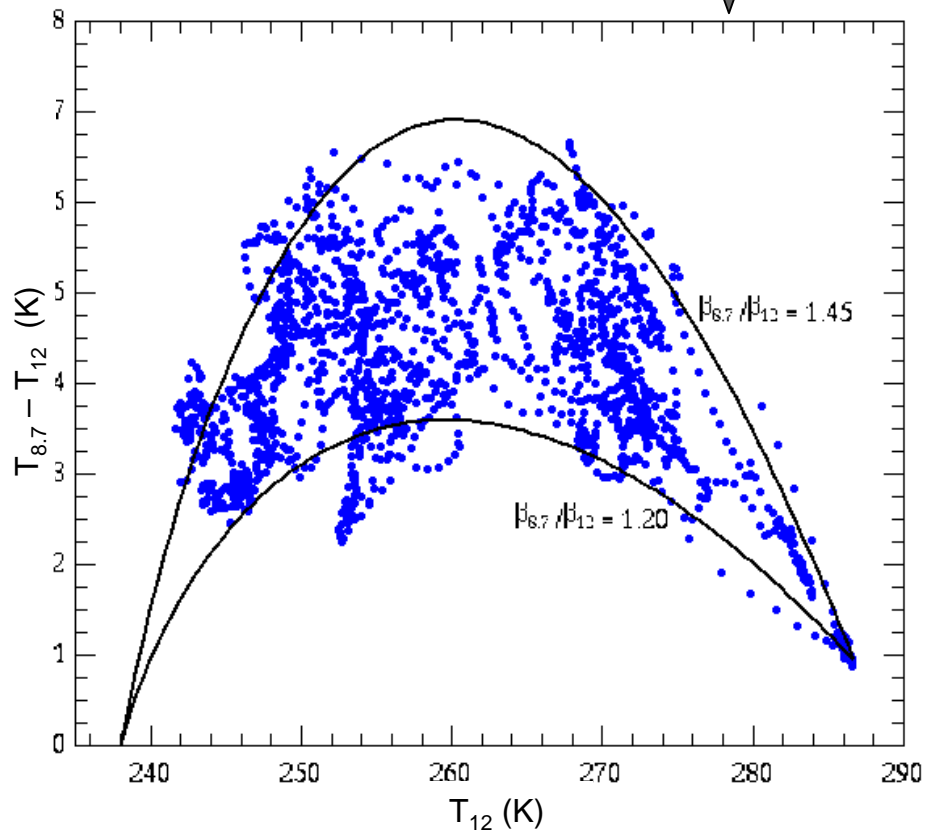
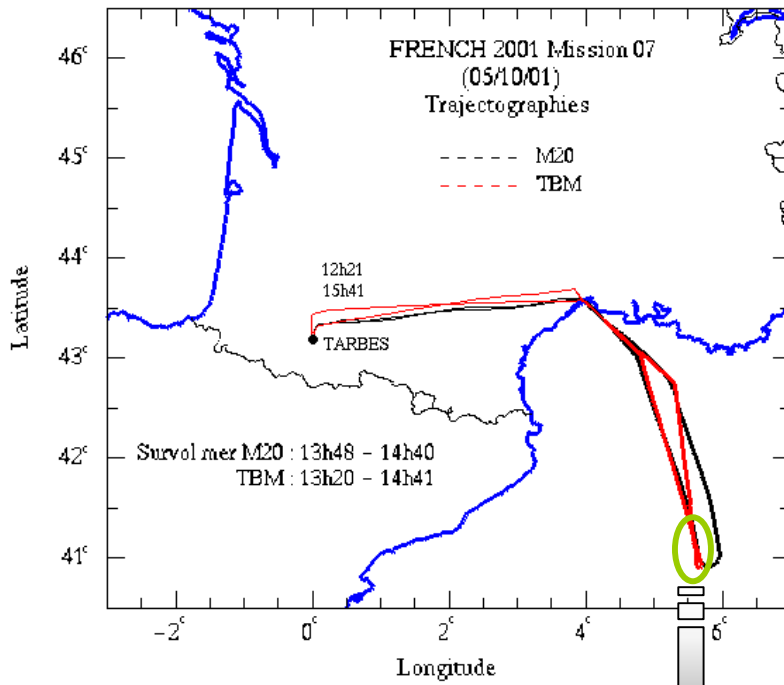
Golfe de Gascogne - Méditerranée



Ensemble instrumental aéroporté permettant d'étudier les synergies possibles entre différents capteurs dans la perspective de la préparation des futures expériences satellitaires.

Exemple de comportement en vol à haute altitude de CLIMAT et utilisation des mesures multispectrales (infrarouge thermique) pour l'étude des cirrus.





CONCLUSION

→ Appareil jugé scientifiquement satisfaisant

- **Excellente stabilité de la sensibilité.**
- **Très faible bruit radiométrique** (sur M20) de l'ordre de 0,05K sur les canaux N8.7 et N10.8. (Problème du bruit sur le canal N12, environ deux fois plus important, actuellement résolu).
- **Dérive en température des cavités prise en compte par interpolation entre deux zéros radiométriques.**

EXEMPLE :

Présentation d'un leg de 3 mn (≈ 32 km) sur M20

Mesure (en rouge) et correction de la dérive(en bleu) en temps réel

