

Graphique 1: Transmission de la fenêtre en silice.

L'énergie radiante est absorbée/irradiée par la surface noircie de la thermopile, en créant de cette façon une différence de température entre le centre de la thermo-pile (jonction chaude) et le corps du pyrgéomètre (jonction froide). La différence de température entre jonction chaude et jonction froide est convertie en Différence de Potentiel grâce à l'effet Seebeck.

Si la température du pyrgéomètre est majeure de la température radiante de la portion du ciel encadrée par le pyrgéomètre, la thermopile va irradier de l'énergie et le signal de sortie va être négatif (situation typique du ciel sans nuages) ; vice-versa, si la température du pyrgéomètre est inférieure à celle de la portion du ciel encadrée, le signal va être positif (situation typique du ciel nuageux).

Donc, pour le calcul du rayonnement infrarouge provenant de l'atmosphère ($E_{FIR \downarrow}$), outre au signal de sortie de la thermopile, il faudra connaître la température T du pyrgéomètre, selon la formule 1 :

$$E_{FIR \downarrow} = E_{term.} + \sigma \cdot T_B^4 \quad 1$$

Où :

$E_{term.}$ = rayonnement net (positif ou négatif) mesuré avec la thermopile [$W m^{-2}$], la valeur est calculée par la sensibilité de l'instrument (C) [$\mu V / (W m^{-2})$] et par le signal de sortie (U_{emf}) grâce à la formule 2 ;

$$E_{term.} = \frac{U_{emf}}{C} \quad 2$$

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5.6704 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$);
 T_B = température du pyrgéomètre (K), obtenue par la lecture de la résistance de l'NTC (10k Ω). Le manuel (Tableau 1) montre la valeur de résistance en fonction de la température pour les valeurs entre -25°C et +55°C.

La première lettre de la formule 1 représente l'éclairement énergétique net, c'est-à-dire la différence entre le rayonnement infrarouge sur la surface du sol et l'émission du pyrgéomètre, tandis que la deuxième lettre exprime le rayonnement émis par un objet (assumé comme rémissivité $\epsilon=1$) à la température T_B .

Le pyrgéomètre LP PIRG 01 est utilisé pour la mesure du rayonnement infrarouge lointain (FIR). Son utilisation est en prévalence en météorologie. Les mesures se réfèrent à des radiations ayant une longueur d'onde majeure de 4.5 μm .

On obtient le rayonnement infrarouge lointain à partir de la mesure du signal de sortie de la thermopile et de la connaissance de la température de l'instrument. On obtient la mesure de la température par moyen d'un NTC de 10k Ω inséré dans le corps du pyrgéomètre. Le pyrgéomètre peut être utilisé aussi pour des études de bilan énergétique. Dans ce cas, il faudra utiliser un albédomètre (LP PYRA 05 ou LP PYRA 06) pour la mesure du rayonnement à courtes longueurs d'onde (<4 μm), en association à un autre pyrgéomètre qui mesurera le rayonnement infrarouge vers l'atmosphère.

2 Principe de Fonctionnement

Le pyrgéomètre LP PIRG 01 se base sur un capteur à thermopile dont la surface est revêtue de vernis noir opaque qui permet à l'instrument de n'être pas sélectif envers les différentes longueurs d'onde. Le capteur est recouvert par une fenêtre en silice qui a deux objectifs fondamentaux :

- 1 Protéger la thermopile des intempéries;
- 2 Déterminer la plage spectrale de l'instrument: le silice est transparent pour les

longueurs d'onde majeures de 1.1 μm ; c'est pourtant que sur la face interne de la fenêtre un filtre est placé pour bloquer la radiation jusqu'à 4.5- 5 μm . La surface externe de la silice, qui est exposée aux agents atmosphériques, est recouverte d'un revêtement anti-rayure (DLC) pour assurer résistance et durée dans toutes les conditions climatiques. Le revêtement anti-rayure permet de nettoyer la surface sans danger de rayer la fenêtre. La transmission de la fenêtre en silice aux différentes longueurs d'onde est montrée dans la figure 1:

3 Installation et montage du pyrgéomètre pour la mesure du rayonnement infrarouge:

Avant l'installation du pyrgéomètre on devra placer la cartouche contenant le gel de silice. Le gel de silice a la fonction d'absorber l'humidité à l'intérieur de l'instrument ; dite humidité pourrait causer la formation de condensation sur la surface externe de la fenêtre en silice en des conditions climatiques particulières. Pendant l'opération de chargement des cristaux de gel de silice, on devra éviter de les mouiller ou de les toucher avec les mains. Les opérations à effectuer en milieu sec (en tant que possible) sont les suivantes :

- 1 Dévisser les trois vis qui fixent l'écran blanc
- 2 Dévisser la cartouche porte-silica-gel à l'aide d'une monnaie
- 3 Enlever le bouchon foré de la cartouche
- 4 Ouvrir le sachet (en dotation au pyrgéomètre) contenant le gel de silice
- 5 Remplir la cartouche contenant les cristaux de gel de silice
- 6 Refermer la cartouche avec son propre bouchon, s'assurant que l'O-ring de tenue soit positionné correctement
- 7 Visser la cartouche au corps du pyrgéomètre à l'aide d'une monnaie
- 8 S'assurer que la cartouche soit bien vissée (au cas contraire la durée des cristaux de gel de silice se réduit)
- 9 Positionner l'écran et le visser avec les vis
- 10 Le pyrgéomètre est prêt pour être utilisé

La figure 1 montre brièvement les opérations nécessaires pour le chargement de la cartouche avec les cristaux de gel de silice.

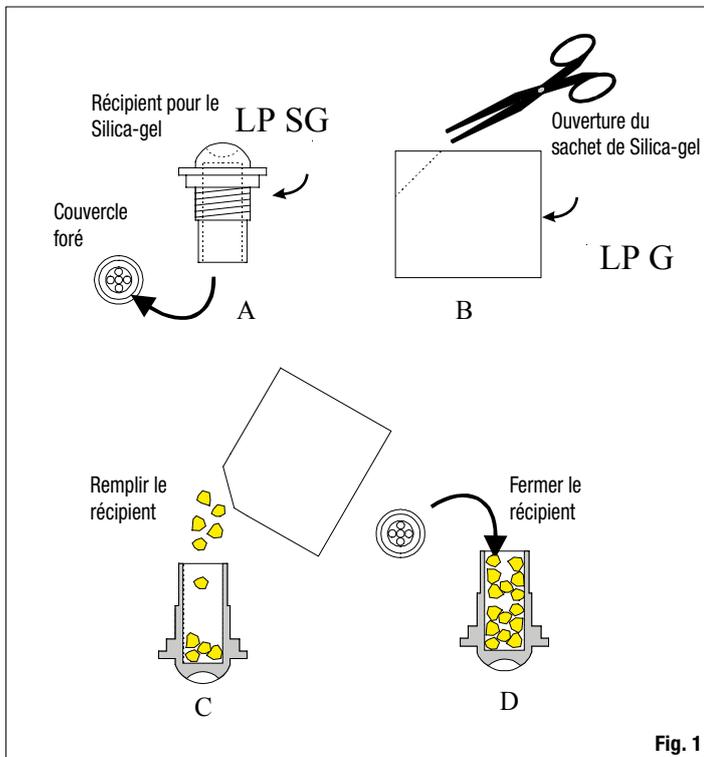


Fig. 1

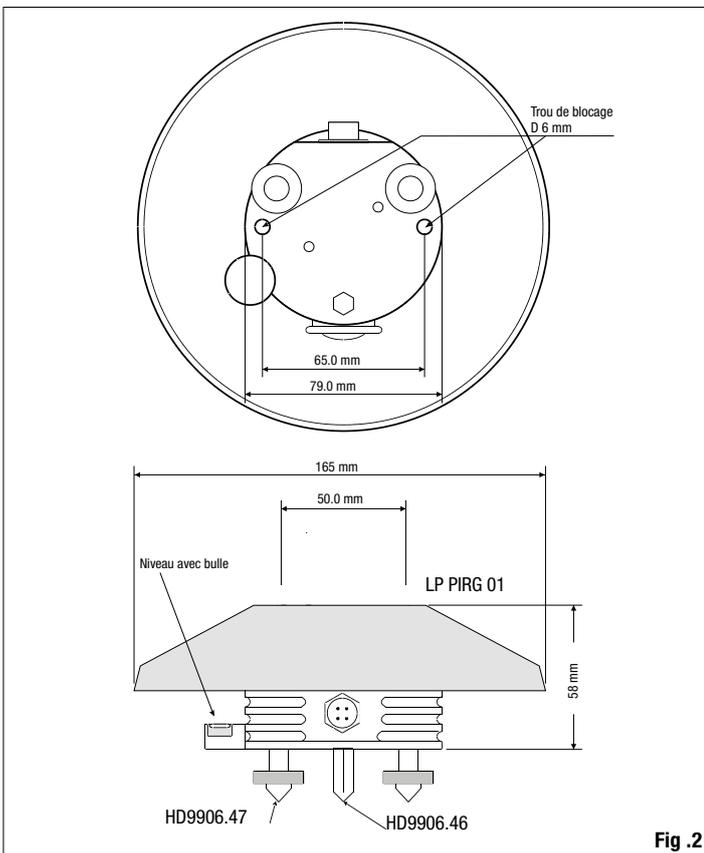


Fig. 2

- Le LP PIRG 01 doit être installé dans une position aisément accessible pour un nettoyage périodique de la fenêtre en silice. En même temps, on devra éviter que des bâtiments, des arbres ou des obstacles de n'importe quel type supèrent le plan horizontal sur lequel le pyrhéliomètre a été placé. Si cela n'est pas possible, on conseille de choisir une position où les obstacles présents sur le parcours du soleil de l'aube au coucher soient inférieurs à 10°.
- Habituellement on place l'instrument de façon que le câble électrique sorte de la part du pôle NORD, si on l'utilise dans l'hémisphère NORD et de la part du pôle SUD si on l'utilise dans l'hémisphère SUD en conformité avec la norme ISO TR9901 et aux recommandations du WMO. En tout cas, il est préférable de suivre cette recommandation même lorsqu'on utilise l'écran.
- Pour un positionnement horizontal correct, le pyrhéliomètre LP PIRG 01 est pourvu de niveau à bulle, le réglage est effectué par moyen des deux vis avec bague de réglage qui permettent de varier l'inclinaison du pyrhéliomètre. Le blocage sur une surface peut être effectué en utilisant les deux trous de diamètre de 6mm et interaxe de 65 mm. Pour accéder aux trous, enlever l'écran et le replacer après

avoir complété le montage, voir la figure 2.

- Le support LP S1 (figure 3), fourni sur demande comme accessoire, permet un montage facile du pyrhéliomètre sur un mât de support. Le diamètre maximum du mât auquel le support peut être fixé est de 50 mm. Pour fixer le pyrhéliomètre à l'étrier de support enlever l'écran en dévissant les trois vis, fixer le pyrhéliomètre ; une fois complétée l'installation, fixer nouvellement l'écran blanc.

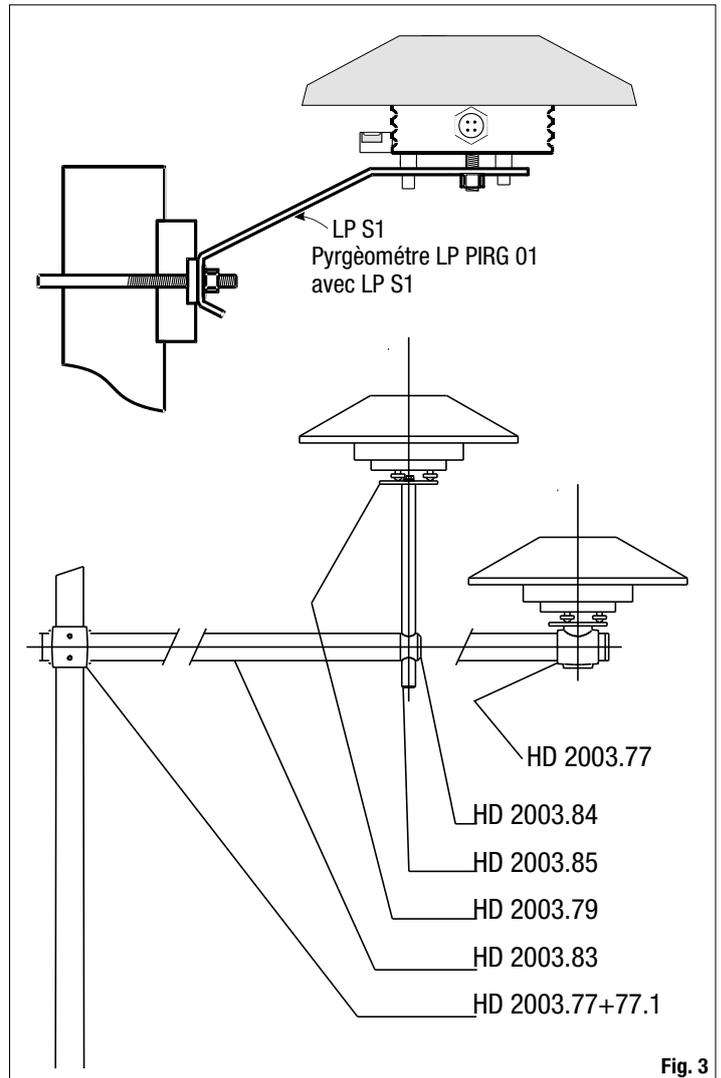


Fig. 3

4 Connexions Électriques et spécifications techniques de l'électronique de lecture:

- Le pyrhéliomètre LP PIRG 01 ne nécessite pas aucune alimentation.
- L'instrument est pourvu de connecteur de sortie M12 à 8 pôles
- Le câble optionnel, terminant à une extrémité par le connecteur, est en PTFE résistant aux UV, est pourvu de 7 fils plus le blindage (gaine), la correspondance entre les couleurs des fils et les pôles des connecteurs est la suivante (figure 4) :

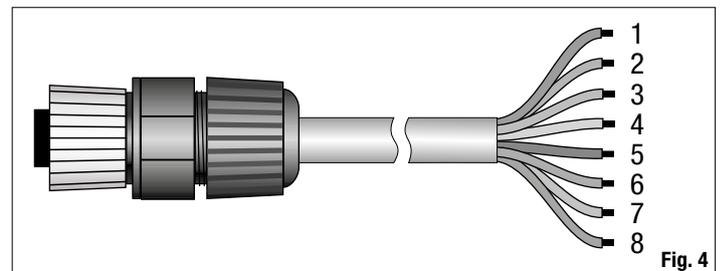


Fig. 4

Connecteur	Fonction	Couleur
1	$V_{out}(+)$	Rouge
2	$V_{in}(-)$	Bleu
3	Boîtier (\neq)	Blanc
8	NTC	Marron
		Vert
6 e 4	Écran (\perp)	Noir
		NON Connectés

Figure 4: correspondance pin-fonction

Pour obtenir la mesure du signal en sortie de la thermopile (extrémités 1-2) le pyrgéomètre doit être branché à un millivoltmètre ou à un collecteur de données. Typiquement, le signal en sortie du pyrgéomètre est $U_{emf} < 4$ mV. Afin d'exploiter pleinement les caractéristiques du pyrgéomètre, la résolution conseillée pour l'instrument de lecture est $1 \mu V$.

Il faut en plus lire la résistance de l'NTC pour pouvoir déterminer la température du pyrgéomètre.

La figure 5 montre les connexions électriques à l'intérieur du pyrgéomètre.

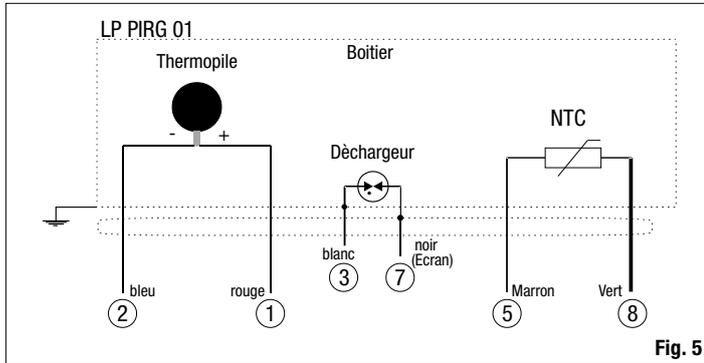


Fig. 5

La figure 6 montre un exemple typique de branchement:

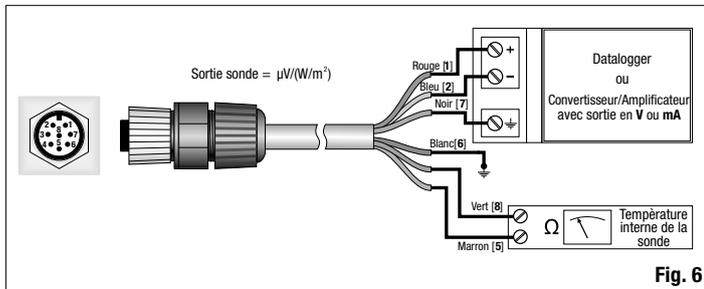


Fig. 6

Figure 6: exemple de branchement du pyrgéomètre

5 Maintenance:

Afin de garantir une précision des mesures élevée il faut que la fenêtre en silice soit conservée toujours propre, donc plus haute sera la fréquence de nettoyage, plus élevée sera la précision des mesures. Le nettoyage peut être effectué à l'aide d'un normal tissu de nettoyage pour objectifs photo et avec de l'eau ; si cela n'est pas suffisant, utiliser de l'ALCOOL ÉTHYLE pur. Après le nettoyage avec l'alcool, il faudra nettoyer de nouveau le dôme avec de l'eau seulement.

A cause des sauts thermiques élevés entre le jour et la nuit, il est possible que de la condensation se dépose à l'intérieur du pyrgéomètre (en particulier sur la fenêtre en silice), dans ce cas la lecture effectuée ne sera pas correcte. Pour réduire au minimum la formation de condensation, on a prévu d'introduire une cartouche à l'intérieur de l'instrument avec du matériel absorbant : le Silica-gel. L'efficacité des cristaux de gel de silice se réduit dans le temps avec l'absorption de l'humidité. Quand les cristaux de gel de silice sont efficaces leur couleur est **jaune**, tandis que au fur et à mesure qu'il perdent leur efficacité, il deviennent de couleur **blanche/translucide**; pour les remplacer, voir les instructions au paragraphe 3. Typiquement, la durée du gel de silice varie de 4 à 12 mois selon les conditions environnementales dans lesquelles opère l'instrument.

De la grêle d'une intensité/dimension particulière pourrait endommager la fenêtre en silice, on conseille donc de vérifier l'état de la fenêtre après un orage intense avec de la grêle.

6 Étalonnage et réalisation des mesures:

A partir de la résistance R_{NTC} [ohm] de l'NTC on peut remonter à la température du pyrgéomètre (T_p) en utilisant la formule 3:

$$\frac{1}{T_b} = a + b \cdot \log(R_{NTC}) + c \cdot \log(R_{NTC})^3 \quad 3$$

Où:

$$a = 10297.2 \times 10^{-7};$$

$$b = 2390.6 \times 10^{-7};$$

$$c = 1.5677 \times 10^{-7}.$$

La température s'exprime en degrés Kelvin.

N.B. Le tableau 1 montre les valeurs entre $-25^\circ C$ et $+58^\circ C$, pour obtenir la valeur en degrés Kelvin, il faut ajouter 273.15 à la valeur exprimée en degrés Celsius.

T [C]°	R _{NTC} [Ω]	T [C]°	R _{NTC} [Ω]	T [C]°	R _{NTC} [Ω]
-25	103700	3	25740	31	7880
-24	98240	4	24590	32	7579
-23	93110	5	23500	33	7291
-22	88280	6	22470	34	7016
-21	83730	7	21480	35	6752
-20	79440	8	20550	36	6499
-19	75390	9	19660	37	6258
-18	71580	10	18810	38	6026
-17	67970	11	18000	39	5804
-16	64570	12	17240	40	5592
-15	61360	13	16500	41	5388
-14	58320	14	15810	42	5193
-13	55450	15	15150	43	5006
-12	52740	16	14520	44	4827
-11	50180	17	13910	45	4655
-10	47750	18	13340	46	4489
-9	45460	19	12790	47	4331
-8	43290	20	12270	48	4179
-7	41230	21	11770	49	4033
-6	39290	22	11300	50	3893
-5	37440	23	10850	51	3758
-4	35690	24	10410	52	3629
-3	34040	25	10000	53	3505
-2	32470	26	9605	54	3386
-1	30980	27	9228	55	3386
0	29560	28	8868	56	3271
1	28220	29	8524	57	3161
2	26950	30	8195	58	3055

Tableau 1: valeurs de résistance de l'NTC en fonction de la température.

Une fois connue la température en degrés Kelvin du pyrgéomètre et le signal de sortie de la thermopile U_{emf} [μV], le rayonnement E_{FIR} [W/m^2] est donné par la formule 1:

$$E_{FIR} \downarrow = \frac{E_{emf}}{C} + \sigma \cdot T_B^4$$

Où:

C = facteur d'étalonnage [$\mu V / (W/m^2)$] du pyrgéomètre indiqué sur le rapport d'étalonnage;

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5.6704 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$).

Chaque pyrgéomètre est étalonné individuellement en usine et est caractérisé par son propre facteur d'étalonnage.

L'étalonnage du pyrgéomètre est effectué en externe, par comparaison avec un pyrgéomètre étalon calibré chez le Word Radiation Center (WRC).

Les deux instruments sont tenus à l'extérieur pendant au moins une nuit avec un ciel sans nuages. Les données acquises par moyen d'un collecteur de données sont ensuite élaborées pour obtenir le facteur d'étalonnage.

Afin de pouvoir exploiter entièrement les caractéristiques du LP PIRG 01, on recommande d'effectuer la vérification de l'étalonnage tous les deux ans ou après un an (le choix de l'intervalle de calibrage dépend de l'exactitude qu'on souhaite obtenir et de l'endroit d'installation).

7 Caractéristiques techniques:

Sensibilité typique:

5-10 $\mu V / (W/m^2)$

Impédance:

33 $\Omega \pm 45 \Omega$

Plage de mesure:

-300; +300 W/m^2

Champ visuel:

160°

Plage spectrale:

5.5 $\mu m \pm 45 \mu m$ (50%)

(transmission de la fenêtre en silice)

Température de travail:

-40 $^\circ C \pm 80 \ ^\circ C$

Dimensions:

figure 1

Poids:

0.90 Kg

Caractéristiques Techniques selon ISO 9060

Temps de réponse: (95%)	<28 sec
Off-set du Zéro (type B): réponse à une variation de la température ambiante de 5K/h:	< ±4 W/m ²
Instabilité à long terme: (1 an)	< ±1.5 %
Non linéarité:	< ±1 %
Sélectivité spectrale:	< ±5 %
Réponse en fonction: de la température	<3 %
Réponse en fonction du Tilt:	< ±2 %

CODE DE COMMANDE

LP PIRG 01: Pirgémètre. Pourvu de: protection, cartouche pour les cristaux de silice-gel, 2 recharges, dispositif de nivelage. Prise libre M12 à 8 pôles et Rapport d'Étalonnage.

LP S1: Kit composé d'étrier pour la fixation du pirgémètre LP PIRG 01 à un mât avec diamètre 50mm

LP SP1: Écran de protection en matériel plastique UV-résistant. LURAN S777K de la BASF

LP SG: Cartouche contenant les cristaux de gel de silice avec OR et bouchon

HD2003.77: Fourreau pour le positionnement du pyrgémètre sur tube φ 40mm

HD2003.85K: Kit pour la fixation du pyrgémètre sur mat φ 40mm, hauteur réglable, (HD2003.84 – HD2003.85 – HD2003.79)

LP G: Paquet de 5 recharges de cristaux de gel de silice

