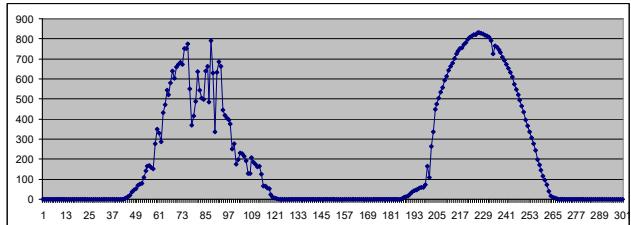


## TD1 Calcul d'incertitude sur une mesure d'irradiance.

### ELEMENTS DE CORRECTION

#### Présentation.



à commenter .

#### Mise en place de la chaîne d'acquisition.

##### **Pyranomètre**

Le pyranomètre choisi convient-il?

OUI

Donner la relation entre la tension de sortie du capteur  $V_{CAPT}$  et l'irradiation  $G$  ( $\text{W/m}^2$ ).

$$V_{CAPT} = K_{CAPT} \cdot G$$

avec  $K_{CAPT} = 10\mu\text{V}/(\text{W/m}^2)$ . La tension  $V_{CAPT}$  varie entre 0 et 10 mV.

##### **Amplificateur d'instrumentation + Convertisseur analogique/numérique**

Peut-on faire une connection directe entre la carte d'acquisition et le pyranomètre?

et oui !: c'est sur 16 bits, parler ici du bruit : niveau de bruit  $\approx 1/10$  du signal utile pleine échelle ... il faut faire moyenne ou le dégager par filtrage.

(même question avec une carte USB 6008 12 bits, range  $\pm 1\text{v}$ ).

only 20 valeurs en tout sur la gamme ... ici le bruit s'il est assez grand permet de récupérer malgré tout une bonne valeur (faire dessin avec signal clean, signal bruité, niveau de quantification, val échantillonnées, puis moyenne) attention méthode pas valable pour asservissement rapide .

Quelle gain choisit-on? (laisser en suspend si non réponse! adéquation avec gamme de la carte d'acqui)

On fixe un gain de 1000 (facile à mettre en œuvre et cette valeur permet d'utiliser au mieux la plage d'entrée du convertisseur situé en aval).

La tension  $V_{MES}$  varie entre 0 et 10 V.

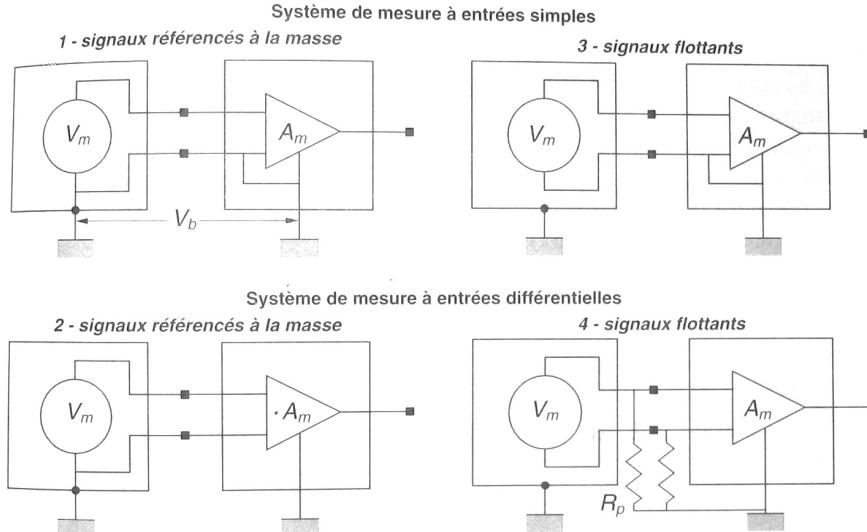
$$V_{MES} = K_{AMPLI} \cdot V_{CAPT}$$

Dessin du câblage.

Si offset, c'est pas grave : ils seront viré à l'étalonnage.

Rajouter dessin du câblage

C'est le choix 3 qui est utilisé et le blindage du câble du pyranomètre (qui est aussi relié à la carcasse du pyranomètre) est mis à la masse de la carte d'acquisition (qui est aussi la terre).



(*Traitements des signaux et acquisitions de données, F. Cottet, Dunod Ed, dessin p263*)

produit gain bande : 25 MHz . On a une bande passante de 25 kHz : bien au-delà de ce qui est nécessaire.

DYNAMIC RESPONSE	
Small Signal – 3 dB	
G = 1	1
G = 10	400
G = 100	150
G = 1000	25
	MHz
	kHz
	kHz

### Convertisseur analogique/numérique

On utilise la carte d'acquisition NI6221 sur l'entrée 0 en mode RSE. (Dessin du câblage)

Est-ce le seul choix possible?

Non, mais c'est le plus simple relativement à la connectique : blindage du câble à la masse de la carte d'acquisition et à la masse de l'Ampli d'instrumentation.

On suppose que le signal n'est pas bruité ce qui rend inutile l'usage d'un filtre anti-repliement.

Impédance d'entrée de la carte?

Input impedance

Device on

AI+ to AI GND ..... >10 GΩ in parallel  
with 100 pF

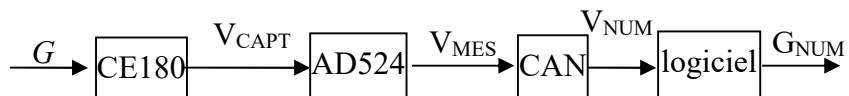
AI- to AI GND ..... >10 GΩ in parallel  
with 100 pF

Quelle plage doit-on choisir sur les niveaux d'entrées de la carte? On choisira ±10V.

Input range ..... ±10 V, ±5 V,  
±1 V, ±0.2 V

Maximum working voltage for analog inputs  
(signal + common mode) ..... ±11 V of AI GND

### Chaîne d'acquisition.



Donnez les relations liant  $V_{MES}$  et  $V_{CAPT}$ ,  $V_{NUM}$  et  $V_{MES}$ , (on néglige la quantification). En déduire la relation mathématique à intégrer sous Labview pour reconstituer la valeur d'irradiation ( $G_{NUM}$ ).

$$V_{CAPT} = K_{CAPT} \cdot G \quad V_{MES} = K_{AMPLI} \cdot V_{CAPT} \quad V_{NUM} = K_{AN} \cdot V_{MES} \text{ avec } K_{AN} = 1$$

(sous Labview) soit :  $V_{NUM} = K_{AN} \cdot K_{AMPLI} \cdot K_{CAPT} \cdot G$  et on souhaite  $G_{NUM} = G$   
on en déduit immédiatement :

$$G_{NUM} = \left( \frac{1}{K_{AN} \cdot K_{AMPLI} \cdot K_{CAPT}} \right) \cdot V_{NUM}$$

Pour tenir compte des offsets on écrira en fait :  $G_{NUM} = a \cdot V_{NUM} + b$

### Evaluation des incertitudes de mesures.

#### Pyranomètre

L'incertitude relative introduite par le capteur vaut **1%** de la pleine échelle; soit :  $\Delta G_1 = 1\% \text{ PE} = 10 \text{ W/m}^2$ .

#### Amplificateur d'instrumentation

Le calcul montre que la valeur en sortie de l'ampli d'instrumentation est connue avec une erreur maximale de 12355 ppm soit **1,3 %** de la pleine échelle.

*Remarque* : L'annulation des offsets à 20°C peut permettre de tomber à une erreur de 7155 ppm soit : 0,8%. Un étalonnage peut faire descendre l'erreur à 2155 ppm = 0,3 %

L'erreur introduite par l'amplificateur vaut 1,3% de la pleine échelle, soit en sortie de l'ampli  $\Delta V_{CAPT} = 1.3\% \cdot 10 = 0,13$  volt ce qui donne en  $\text{W/m}^2$  :  $\Delta G_2 = \Delta V_{CAPT} / (K_{AMPLI} \cdot K_{CAPT})$  soit  $\Delta G_2 = 13 \text{ W/m}^2$ .

Plus rapidement on écrit :  $\Delta G_2 = 1,3 \% \cdot 1000 = 13 \text{ W/m}^2$ .

source d'erreur	spécification AD524 C	calcul	précision absolue à 20°C	influence de la température +20 → +30°C	erreurs non compensables
erreur de gain	± 0,5 %	± 0,5 % = ±5000 ppm	5000 ppm		-
non linearité	± 0,01 %	±0,01 % = ±100ppm	-	-	100 ppm
gain vs temperature	50 ppm/°C	50ppm*(45-25) = 1000 ppm	-	1000 ppm	-
Input Offset Voltage	50µV RTI	50µV/10mV = 5000 ppm	5000 ppm		-
Input Offset Voltage vs. Temperature	0,5µV/°C	0,5µV/°C*20°C = 10 µV 10µV / 10mV = 1000 ppm	-	1000 ppm	-

Output Offset Voltage	2 mV	$2\text{mV}/10\text{V} = 0.2\text{m} = 200 \text{ ppm}$	200 ppm		-
Output Offset Voltage vs. Temperature	$25\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	$25\mu\text{V}/^\circ\text{C} * 20^\circ\text{C} = 500\mu\text{V}$ $500\mu\text{V}/10\text{V} = 50\mu$ 25 ppm	-	25 ppm	-
NOISE R.T.I., 0.1 Hz to 10 Hz	$0,3\mu\text{V p-p}$	$0,3\mu\text{V}/10\text{mV} = 30\text{ppm}$	-	-	30 ppm
total		12355 ppm	10200 ppm	2025 ppm	130 ppm

Tab1. Calcul des principales erreurs.

remarque :

- 1/ les courants de polarisation ont-ils une importance ici? : je sais pas!
- 2/ si on regarde la DSP en fonction de la fréquence, on constate qu'entre 10 Hz et 25 kHz, il y a  $7\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ , ce qui ne fait pas beaucoup lorsque on l'intègre pour calculer la valeur efficace de la tension bruit !

### Convertisseur analogique/numérique

On utilise la carte d'acquisition NI6221 en mode RSE.

16 bits étendue de mesure de 20 volts  $\Rightarrow q = 300 \mu\text{V}$  mais l'erreur de quantification ( $\pm 1/2 q$ ) n'est pas seule ...

La page 4 de la doc de la carte permet de déterminer la précision de la carte. Soit on utilise directement l'avant dernière colonne du tableau soit on fait le calcul.

exactitude = lecture x gain error + 10 x offset error + bruit    lecture max = 10V, range = 10V

gain error = 75 ppm of reading + 25 ppm x 1 + 5 x 20 = 200 ppm

offset error = 20 + 57 x 1 + 76 = 153 ppm

bruit =  $244 \times 3 / \sqrt{1}$  si 1 valeur pour la moyenne  $\Rightarrow$  bruit =  $730\mu\text{V} \Rightarrow 70\text{ppm}$

bruit =  $244 \times 3 / \sqrt{100}$  si 100 valeurs pour la moyenne  $\Rightarrow$  bruit =  $73\mu\text{V} \Rightarrow 7\text{ppm}$

exactitude =  $10 \times (360e-6) = 3600 \mu\text{V} = 3,6 \text{ mV}$  si moyenne sur 100 mesures. (la doc donne  $3100 \mu\text{V}$  avec des variations de températures différentes)

exactitude =  $10 \times (423e-6) = 4,3 \text{ mV}$  si une seule mesure. En % de la pleine échelle, cela fait 0,043 % soit 430 ppm

L'erreur introduite par la conversion AN vaut 0,043% de la pleine échelle,  $\Delta G_3 = 0,43 \text{ W/m}^2$ .

### Traitement logiciel :

le logiciel calcule :  $G_{\text{NUM}} = f(V_{\text{NUM}})$ . On suppose que les calculs se font en virgule flottante, il n'y aura donc pas de détériorations de l'information dans cette partie de la chaîne pour reconstituer la valeur de l'ensoleillement.

### Calcul de l'incertitude sur la mesure (pire des cas).

La somme des erreurs cumulées rapportées à l'irradiation vaut  $23,5 \approx 24 \text{ W/m}^2$

La mesure sera donc fournie avec une incertitude maximale  $\Delta G = 24 \text{ W/m}^2$ , soit une précision globale de 3% ce qui est conforme au cahier des charges

Remarque : un étalonnage bien mené et l'utilisation d'une enceinte thermostatée permettrait de diminuer l'incertitude à  $\Delta G' = 10+3+0,31 \approx 14 \text{ W/m}^2$ , soit 1,4%.

Si on augmente le nombre d'éch puis moyennage, on améliore le S/B?(non sur le capteur, oui pour les bruits, non pour les erreurs de gain ou d'offset)

Stockage des données : sur une année : 1 val/5s  $\Rightarrow (3600\text{s}/5)*24\text{h}*365\text{j}*(32 \text{ bits}/4) = 25 \text{ Mo}$