

Le Tournesoleil



Détail de l'horloge astronomique de la cathédrale Saint Jean à Lyon.



Rhône-Alpes ^{Région}



Professeur Coordonnateur:
Philippe Jeanjacquot

1. Présentation :

Le TourneSoleil est un projet développé dans le cadre d'un atelier club scientifique au lycée Charlie Chaplin à Décines. D'autres projets sont développés parallèlement au TourneSoleil.

Le BH2, les élèves ont quittés le lycée, ils reviennent régulièrement pour améliorer le dispositif, le présenter et faire sa maintenance.



Le four Solaire a démarré avec des élèves de seconde, nous ne le présenteront à des concours qu'en 2008-2009.

La PlaneTerrela (en collaboration avec Jean Lilensten du LPG) commence cette année.



Le TourneSoleil, le four solaire et la PlaneTerrela rentrent dans un partenariat **européen Comenius** en lien avec l'EAAE (European Association for Astronomy Education) avec l'Italie et la Turquie sur le Thème du Soleil. Le professeur responsable du dispositif est Ph Jeanjacquot.

La problématique a été choisie pour que les élèves puissent travailler avec un regard pluridisciplinaire et que le projet puisse être utilisé pour les PPE et les TPE.

2. Organisation :

Les élèves et le professeur se voient tous les mercredis après midi. Le projet demande d'effectuer des mesures sur des journées entières. Deux grandes campagnes ont été réalisées en juillet 2007 (pour l'été) et en novembre 2007 (pour le début de l'hiver). Elles se sont déroulées chez les élèves lors des vacances scolaires. D'autres séries de mesures seront réalisées au printemps et en été 2008 pour vérifier l'utilité des modifications. En dehors de la séance du mercredi, les élèves ont un accès libre à l'atelier-club. Ils s'approprient ainsi de manière durable le projet.

3. La démarche de travail :

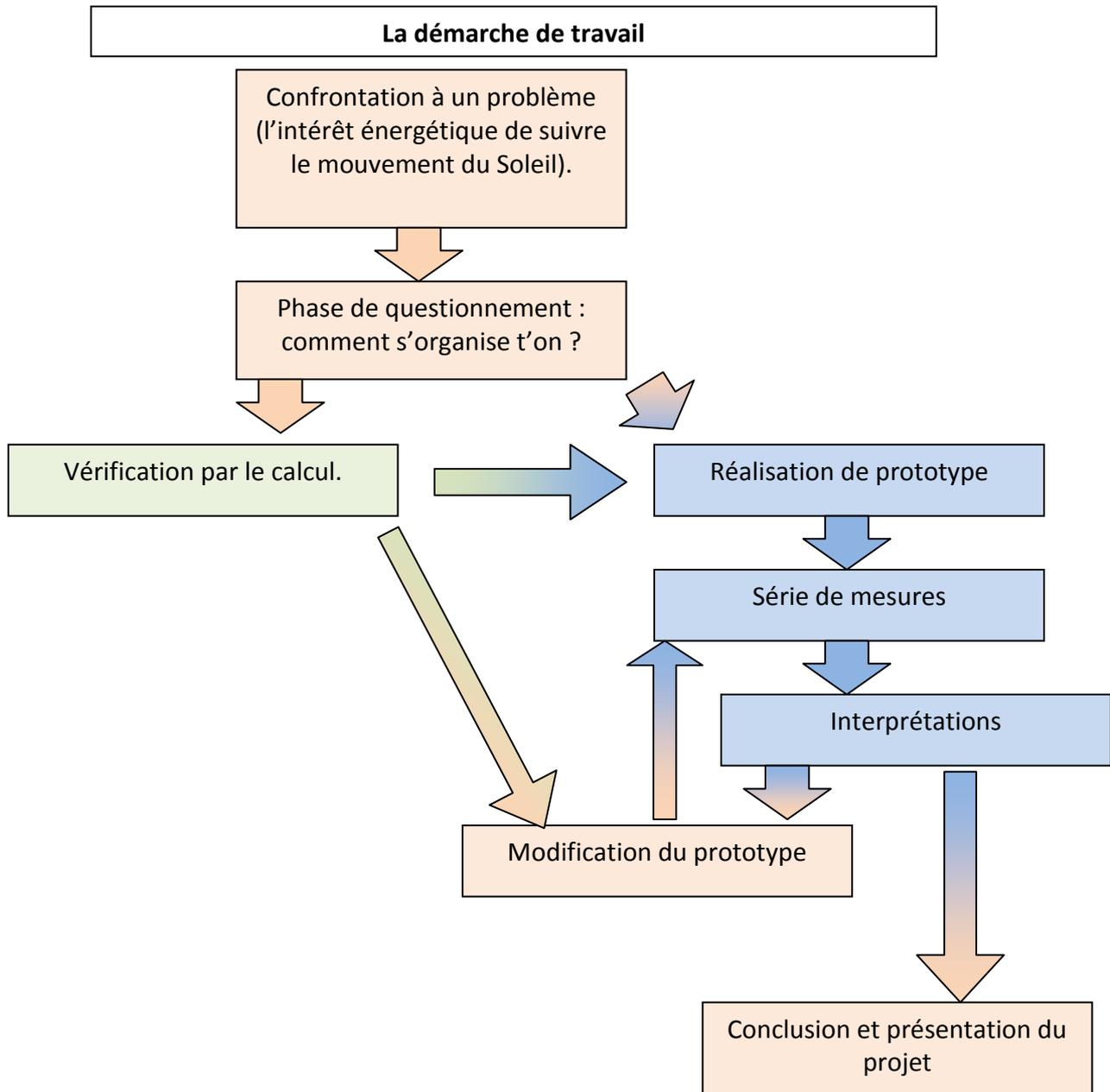
La démarche est basée sur la confrontation à un problème (*l'intérêt énergétique de suivre le mouvement du soleil*), la réalisation d'expériences, l'interprétation des mesures effectuées, la modification des expériences.

Après réflexions, le groupe se divise en deux. Une partie construit un prototype, l'autre teste des modèles de calculs. Il s'en suit une série de mesures qui donne lieu à des réflexions, des modifications du prototype et de nouvelles séries de mesures. Depuis le début du projet nous avons réalisé 3 fois ce cycle (mesures, interprétation modifications).

La démarche est représentée sur le diagramme à la fin de ce paragraphe.

Par la suite, un troisième groupe se forme pour déterminer expérimentalement l'azimut et la hauteur du Soleil à tout moment de la journée. Les mesures permettront d'alimenter les calculs.

Lors de ce projet, les jeunes abordent les sciences d'une façon complètement différente à celle de l'enseignement traditionnel. Ils construisent et ils innovent. Ils doivent aussi présenter leur projet devant un public.



4. Pourquoi le Tournesoleil.

Nous voulions savoir si l'on pouvait obtenir un rendement plus intéressant avec un panneau solaire suivant le soleil par rapport à un panneau fixe, en prenant compte la consommation du dispositif faisant tourner le panneau solaire.

Donc :

Est-ce que le fonctionnement d'un panneau mobile est plus rentable qu'un panneau fixe ?

5. Les différents ateliers.

Par soucis d'efficacité, trois groupes de travail se sont formés simultanément :

- L'utilisation d'un gnomon pour mesurer la hauteur et l'azimut du soleil. (pour alimenter les calculs).
- Les calculs du gain de puissance reçue par un panneau suiveur par rapport à un panneau fixe, à partir de la hauteur et de l'azimut. Les calculs ont été dans un premier temps alimentés par les données de l'IMCCE puis par les formules théoriques du mouvement diurne du soleil. Maintenant nous pouvons alimenter nos calculs par nos propres mesures.
- La réalisation de prototypes, les mesures et les interprétations. L'ensemble est entièrement réalisé par le groupe, les mesures sont longues. Deux campagnes de mesures ont été effectuées. Une en été, elle a donnée lieu à des modifications du prototype qui n'a pu de nouveau opérationnel que pour les mesures en hiver, réalisée en novembre 2007. Il reste des mesures à faire au printemps 2008 et de nouveau en été 2008.

Suite aux résultats de la campagne d'hiver, nous avons envisagé d'autres activités :

- Réaliser un système d'acquisition qui permet de déterminer à un instant donné la puissance reçue par un panneau solaire quelque soit son inclinaison par rapport au soleil. En effet nous nous sommes rendu compte que la diffusion de la lumière et la nébulosité du ciel jouent un rôle important.
- Un système de suivi sans moteur...

6. LA TRAJECTOIRE DU SOLEIL : LE GNOMON

a) Introduction : Pourquoi faire un relevé de la trajectoire du soleil ?

Au sein de notre projet, connaître la trajectoire du soleil est essentiel. Il fut donc décidé de trouver un moyen de l'obtenir expérimentalement.

b) Le gnomon

Il s'agit d'une version simplifiée de cadran solaire. En effet il consiste en une pièce longiligne fixée perpendiculairement sur un plateau. Pour obtenir une mesure fiable il faut :

- que le gnomon ne bouge pas pendant toute la durée des mesures
- que l'opérateur vienne régulièrement relever la position du bout de l'ombre de la tige sur la base pour obtenir une mesure fiable. Il doit aussi marquer l'heure à côté de chaque point relevé.

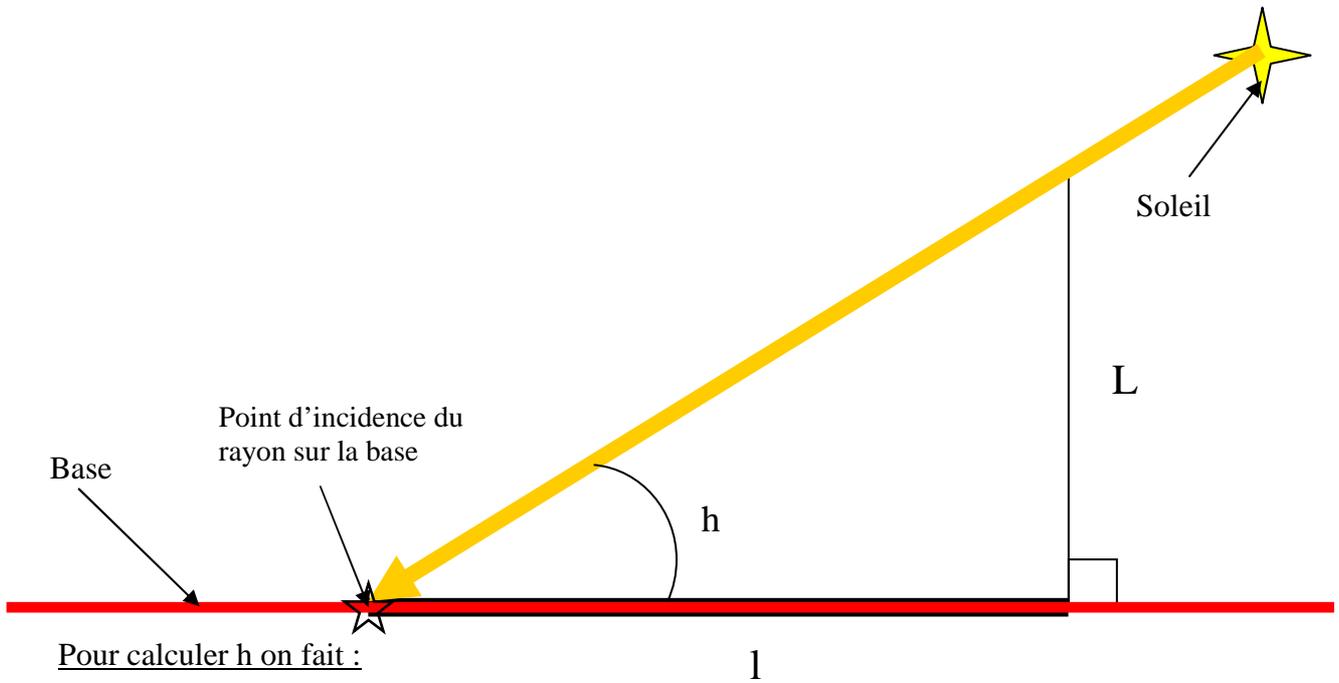
Ce système d'acquisition est long et fastidieux, pour le rendre plus simple, précis et attractif, nous avons utilisé une **webcam**. Nous avons utilisé un logiciel (Cinéris) qui nous permet de réaliser une image de l'ombre du gnomon toutes les minutes.



Le gnomon est perpendiculaire au plan de travail, l'un des axes du plan de travail est orienté Nord – Sud à l'aide d'une boussole. Le plan de travail (la base) est positionné horizontalement grâce à un niveau et trois vis.

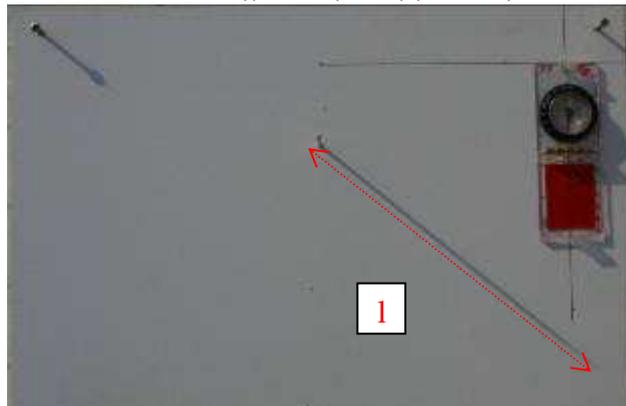
c) Calcul de la hauteur :

On trouve l'angle h qui correspond à l'angle fait par les rayons du soleil avec l'horizon marquer par la base horizontale



$$\tan (h) = \frac{L}{l}$$

Dans le cas de 'image ci-dessous : $L=8\text{cm}$, ; $l= 28,5\text{cm}$, ; $h= 15,6^\circ$

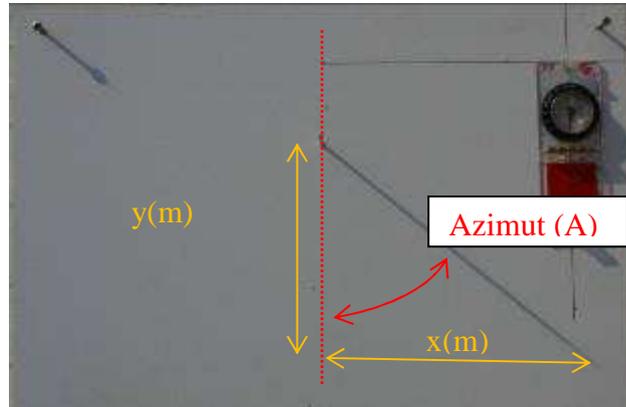


Ainsi, pour chaque point obtenu correspond une hauteur pour le soleil.

d) Calcul de l'azimut :

Pour calculer l'azimut, il suffit de déterminer l'angle entre l'axe nord-sud et l'ombre du gnomon. L'axe vertical de l'image doit bien correspondre à l'axe nord sud.

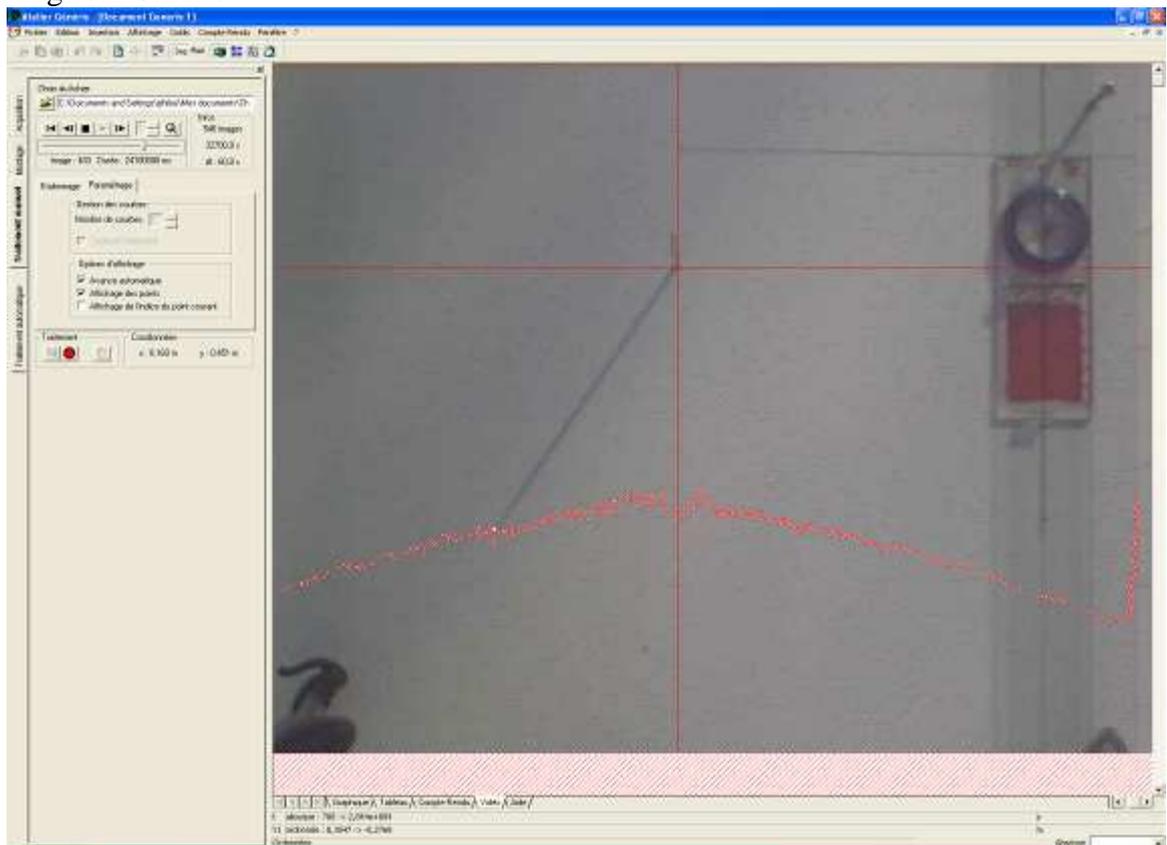
Ici $a = \arctan(x/y)$



e) Traitement de la vidéo.

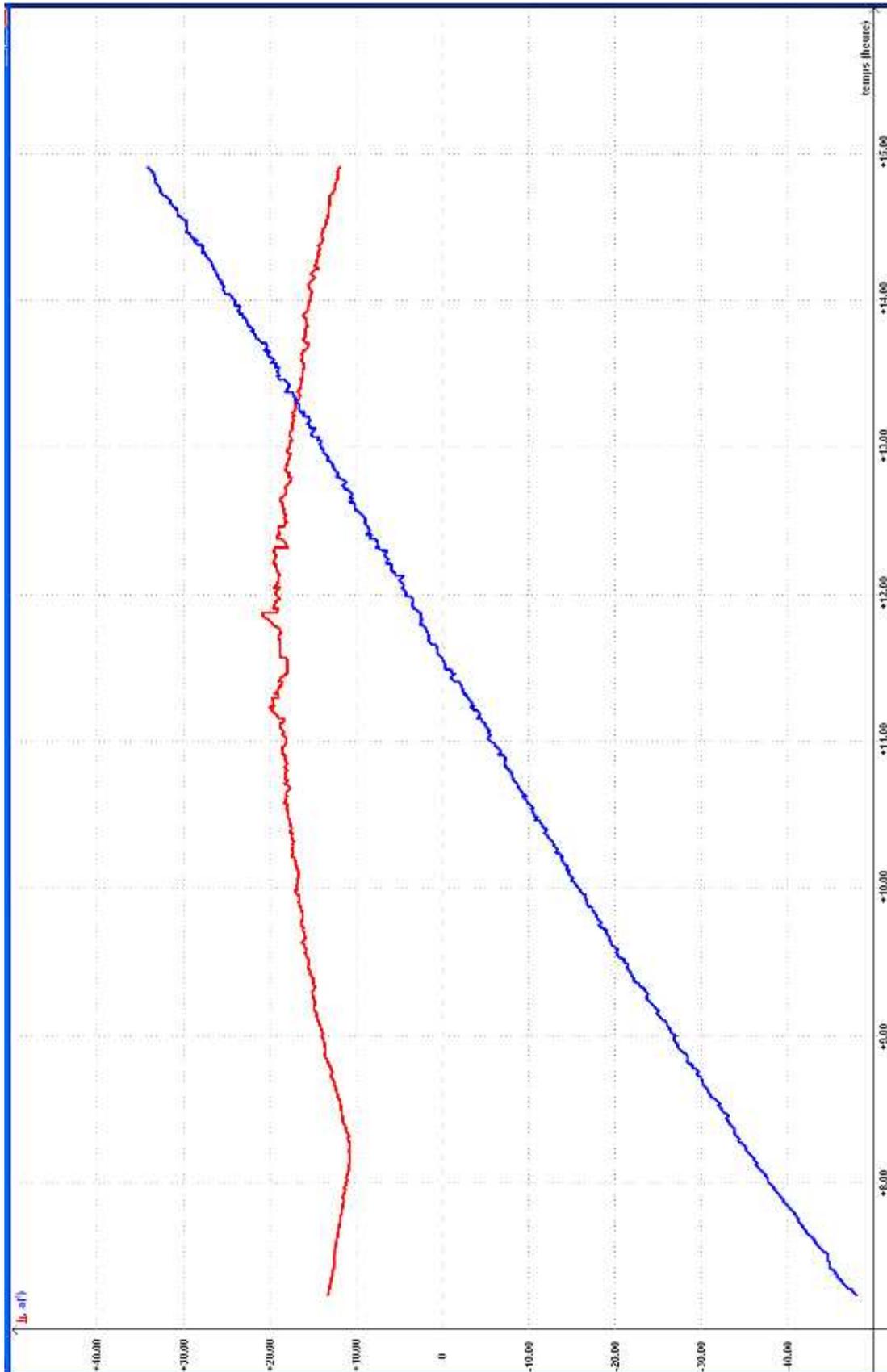
Exemple sur une mesure réalisée en continu à partir de 7h03 le 11/02/2008. Une image est enregistrée toutes les minutes. L'extrémité de l'ombre du gnomon est pointée sur Cinéris.

Pointage sur Cinéris



f) Calcul et courbes de A et de H en fonction du temps :

Les calculs sont effectués dans le tableur de Synchronie : en rouge, on visualise la hauteur et en bleu l'azimut du soleil



Ici, les premières mesures ne peuvent être exploitées que pour le calcul de A. L'ombre est trop grande et son extrémité sort du cadre de l'image.

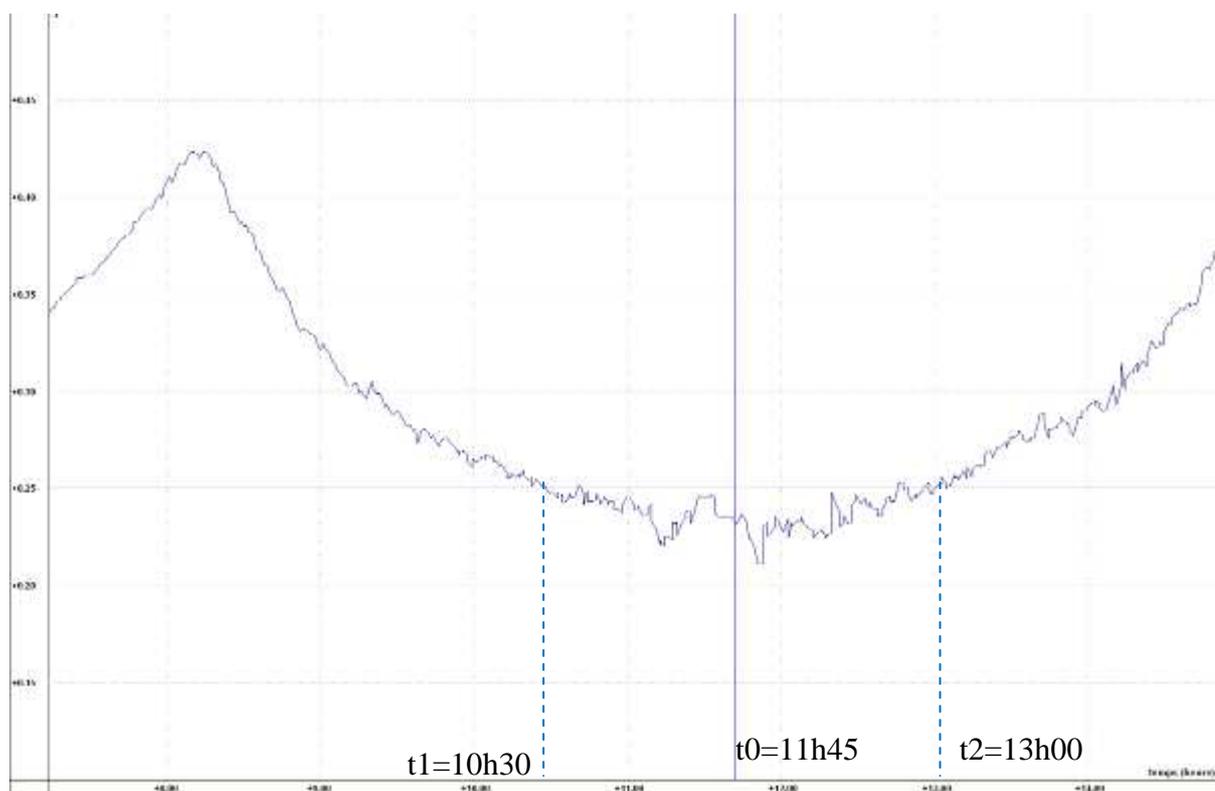
Le pointage peut être rendu difficile par les grandes différences de luminosités entre les extrémités de la journée. Dans ce cas, le pointage été facile en début et fin de journée mais plus difficile vers 12h. C'est pour cela qu'il y a des fluctuations sur la mesure de la hauteur aux environs de 12h

Les tableaux de données peuvent être alors utilisés pour le calcul.

L'image exploitée compte 640 pixels pour une longueur de 50cm. La précision de la mesure est de 0.8 mm.

g) Autre expérience possible, détermination du midi solaire :

Ce type d'enregistrement va également être exploité pour déterminer à différentes dates de l'année l'heure du midi solaire (en lien avec le partenariat **Comenius**). Une grande campagne de mesure sera réalisée à l'équinoxe de printemps. Avec l'exemple des mesures du 11 février 2008, on trace l (longueur de l'ombre) en fonction du temps.



On choisit une longueur de l'ombre par exemple $l=0.25m$. On détermine les deux temps pour lesquels la longueur de l'ombre est égale à cette valeur. Ici $t1=10h30$ et $t2=13h$. Le midi solaire $t_0 = \frac{t2 - t1}{2}$ correspond à l'heure $t_0=11h45$. C'est l'heure où h est maximale. L'azimut est de 2° ouest.

Cette expérience ouvre des pistes sur la compréhension du mouvement de la Terre autour du Soleil.

7. Vérifications par le calcul.

a) Résumé :

La puissance reçue par unité de surface est plus importante lorsque la surface est perpendiculaire aux rayons du soleil. Si ce n'est pas le cas, la même puissance est répartie sur une surface plus grande.

Les élèves ont, dans un premier temps, calculé le rapport des puissances reçues par un panneau fixe et un panneau suiveur.

Pour cela ils ont utilisé deux sources :

- Le calcul du mouvement diurne (*Les cadrans Solaires de Denis Savoie*)
- Les données de l'IMCCE.

Actuellement, ils peuvent utiliser leur propre source, à partir des mesures réalisées avec le gnomon.

A partir de l'Azimut et de la hauteur du Soleil ainsi calculée, ils ont établi pour 3 dates clés le rapport des énergies entre le panneau fixe orienté au sud incliné à 45° et le panneau suiveur.

- Au solstice d'hiver ce rapport est en moyenne de **0,79** (1.63/2.06)
- Aux équinoxes de **0,69** (3,80/5,44)
- Au solstice d'été de **0,40** (3,55/8,80)

Pour donner un exemple concret pour un panneau photovoltaïque de 1m².

Ce panneau produit 1,5kWh d'électricité en été si il suit la course du Soleil, 600Wh* si il reste fixe (*production mesurée sur un panneau « Photowatt 125 »).

Les calculs montrent donc un net gain énergétique. Est-ce que cela se vérifie par la pratique, pour cela nous avons construit plusieurs prototypes.

b) Calcul du rapport de la puissance solaire reçue entre un panneau fixe et un panneau « suiveur »

Le panneau fixe est orienté au sud avec un angle correspondant à la latitude (45° pour Lyon). Nous estimons que c'est dans cette configuration que le panneau fixe reçoit le plus d'énergie pendant toute l'année. *Pour affiner ce choix, nous pouvons utiliser nos tableaux et modifier les valeurs de l'angle du panneau fixe par rapport à l'horizontale.*

Voici les détails des calculs effectués par les élèves :

On a, entre deux rangées de rayons du soleil, une puissance P_{tot} concentrée sur une surface S_1 , la surface entre les deux rangées de rayons, cette puissance P_{tot} va arriver sur le panneau solaire rotatif qui recevra toute cette puissance P_{tot} , sur une surface S_1 , car les rayons du soleil sont perpendiculaires au panneau solaire.

Si le panneau est fixe, lorsque les rayons du soleil ne seront pas perpendiculaires au panneau, puissance P_{tot} concentrée entre les deux rayons sera reçue par le panneau mais sur une surface S_2 plus importante. Ainsi, sur une surface S_2 du panneau solaire, l'énergie reçue sera d'autant plus faible que l'angle entre la perpendiculaire au panneau et les rayons du soleil sera grand. D'où :

$$P_{tot} = P_{S1} \times S_1 \qquad P_{tot} = P_{S2} \times S_2$$

$$\text{Donc } P_{S1} \times S_1 = P_{S2} \times S_2$$

$$P_{S1} \times a \times c = P_{S2} \times b \times d$$

Si on choisit arbitrairement

$$P_{S1} = 1.00 \text{ W/m}^2 \quad \text{et } a = c = 1 \text{ m}$$

$$\text{alors } P_{S2} = 1/(b \times d)$$

D'après les schémas 1 et 2 :

$$b = 1/\text{COS} [(90-45)-h] = 1/\text{SIN}(45+h)$$

$$d = 1/\text{SIN}(90-A) = 1/\text{COS}(A)$$

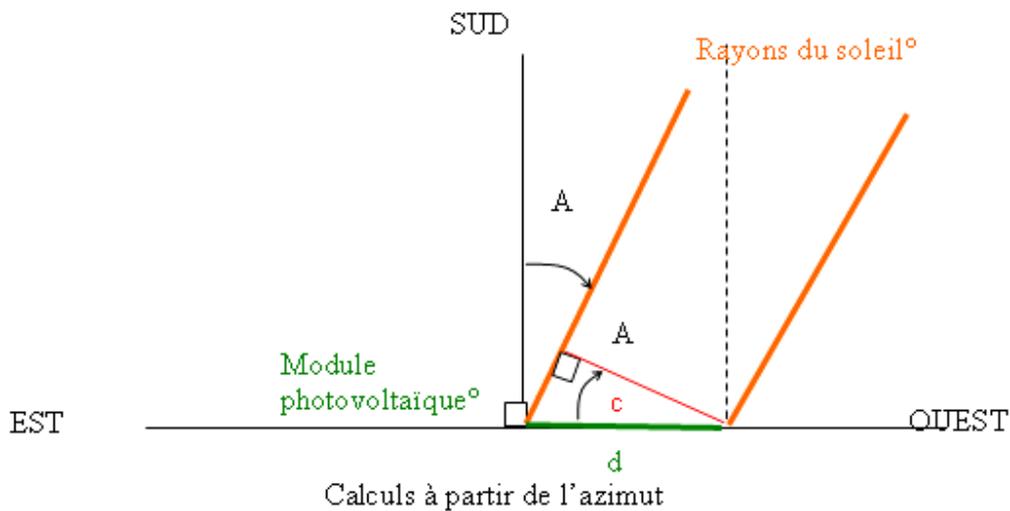
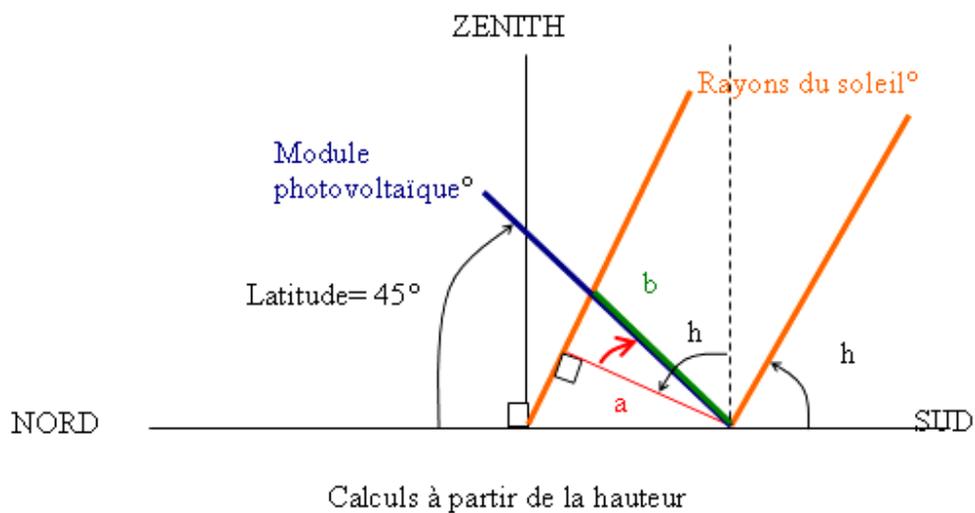
où h est la hauteur du soleil en degrés,

A est l'azimut du soleil en degrés,

Le « rendement » d'un panneau solaire rotatif, par rapport à un panneau solaire fixe est :

$$P_{S1}/P_{S2} = b \times d$$

SCHEMAS : calcul du rapport des surfaces en fonction de la hauteur et de l'azimut



c) Feuilles de calculs :

Pour comparer les panneaux fixes et les panneaux suiveurs, nous allons calculer l'énergie que chacun d'entre eux peut recevoir.

Pour cela, nous utilisons les formules établies dans le paragraphe précédent.

Nous utilisons également la puissance solaire reçue par unité de surface **$P=1\text{kW/m}^2$** .

Cette puissance nous sert de référence quand le soleil est au zénith.

Si le soleil n'est pas au zénith, les rayons du soleil traversent une couche plus importante d'atmosphère. C'est ce que l'on appelle en astronomie la masse d'air. La masse d'air m est égale à l'inverse du cosinus entre le zénith et la position de l'étoile. Ici **$m=1/\sin h$**

Elle permet de prendre en compte les pertes de puissance dues à l'épaisseur de l'atmosphère traversée.

Pour chaque heure du jour nous allons calculer :

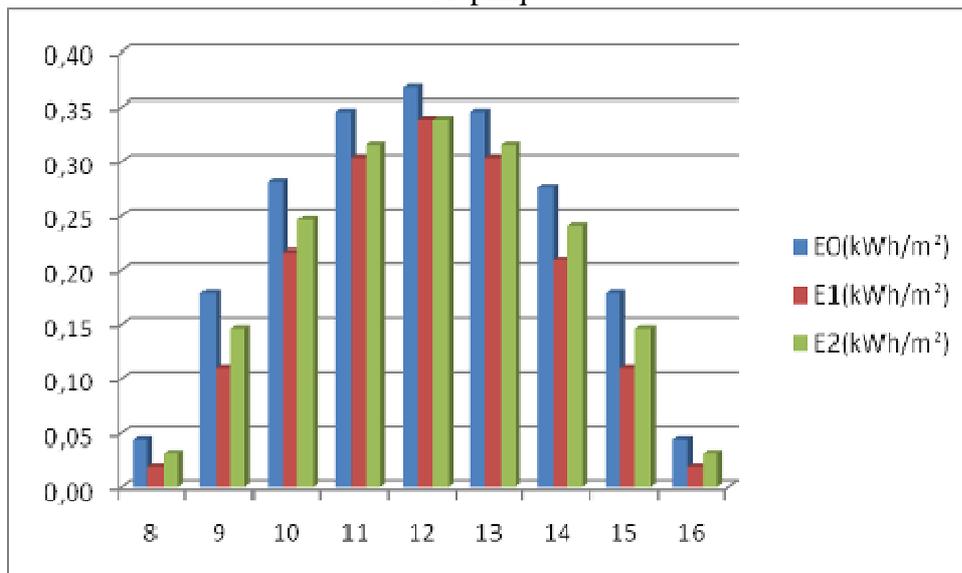
- l'énergie E_0 reçue par les panneaux qui suivent la rotation du Soleil. **$E_0=P.t/m$** avec E_0 en kWh/m², P en kW/m² et t en h.
- l'énergie E_1 reçue par les panneaux fixes inclinés à 45° :
 $E_1= E_0 \text{ SIN}(45+h) \text{ COS}(A)$
- l'énergie E_2 reçue par les panneaux solaires rotatifs dont l'inclinaison (par rapport à la hauteur) reste fixe (à 45°), mais qui suivent le soleil selon l'azimut :
 $E_2= E_0 \text{ SIN}(45+h)$

En bas des tableaux (zones en orange) figurent la somme des énergies récupérées dans la journée par chaque type de panneau. Ce sont ces sommes que nous compareront.

Calculs pour le solstice d'hiver (tableau)

heure	hauteur	azimut	E0(kWh/m ²)	E1(kWh/m ²)	E2(kWh/m ²)
0	-68,43	0,00			
1	-65,21	-34,50			
2	-57,47	-58,54			
3	-47,73	-74,69			
4	-37,27	-86,89			
5	-26,69	82,72			
6	-16,33	72,96			
7	-6,50	63,13			
8	2,48	52,69	0,04	0,02	0,03
9	10,23	41,24	0,18	0,11	0,15
10	16,30	28,55	0,28	0,22	0,25
11	20,21	14,66	0,35	0,30	0,31
12	21,57	0,00	0,37	0,34	0,34
13	20,21	14,66	0,35	0,30	0,31
14	15,96	29,44	0,27	0,21	0,24
15	10,23	41,24	0,18	0,11	0,15
16	2,48	52,69	0,04	0,02	0,03
17	-6,50	63,13			
18	-16,33	72,96			
19	-26,69	82,72			
20	-37,27	-86,89			
21	-47,73	-74,69			
20	-57,47	-58,54			
23	-65,21	-34,50			
déc-21					
		total journalier (kWh/m ²)	2,06	1,63	1,81

Graphique

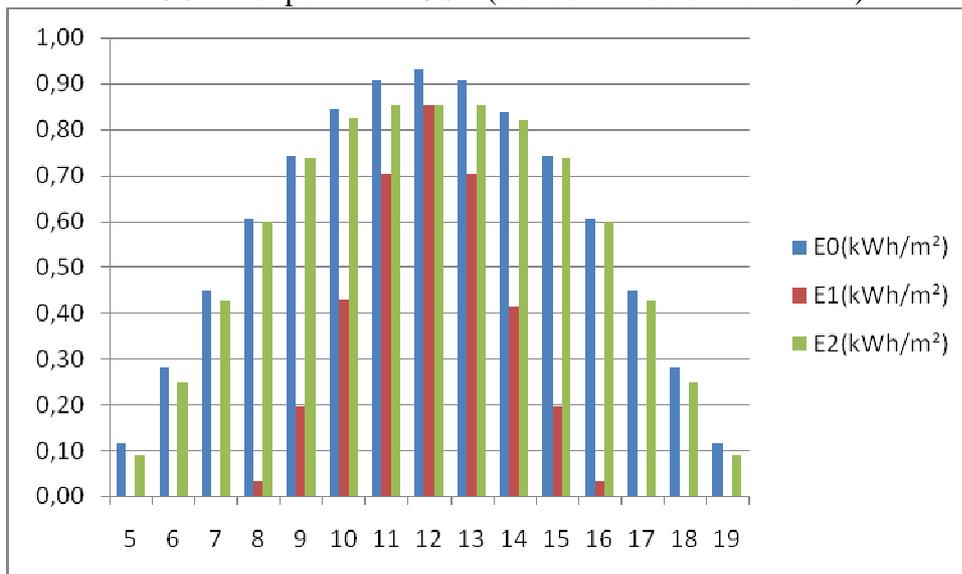


Dans ce cas le gain en énergie sur le total journalier (en orange) est de 26% entre E0 et E1 et de 11% entre E2 et E1. Le rapport est de 1.26 entre E0 et E1 et de 1.18 entre E2 et E1.

Calculs pour le solstice d'été (tableau)

heure	hauteur	azimut	E0(kWh/m ²)	E1(kWh/m ²)	E2(kWh/m ²)
0	-21,57	0,00			
1	-20,21	-14,66			
2	-16,30	-28,55			
3	-10,23	-41,24			
4	-2,48	-52,69			
5	6,50	-63,13	0,11	0,00	0,09
6	16,33	-72,96	0,28	0,00	0,25
7	26,69	-82,72	0,45	0,00	0,43
8	37,27	86,89	0,61	0,03	0,60
9	47,73	74,69	0,74	0,20	0,74
10	57,47	58,54	0,84	0,43	0,82
11	65,21	34,50	0,91	0,70	0,85
12	68,43	0,00	0,93	0,85	0,85
13	65,21	34,50	0,91	0,70	0,85
14	56,86	59,81	0,84	0,41	0,82
15	47,73	74,69	0,74	0,20	0,74
16	37,27	86,89	0,61	0,03	0,60
17	26,69	-82,72	0,45	0,00	0,43
18	16,33	-72,96	0,28	0,00	0,25
19	6,50	-63,13	0,11	0,00	0,09
20	-2,48	-52,69			
21	-10,23	-41,24			
20	-16,30	-28,55			
23	-20,21	-14,66			
juin-21					
		total journalier (kWh/m ²)	8,80	3,55	8,40

On se rend compte que pour l'été, le suivi permet de récupérer l'énergie solaire même quand l'azimut est inférieur à -90° ou supérieur à +90°. (Zones en rose sur le tableau)

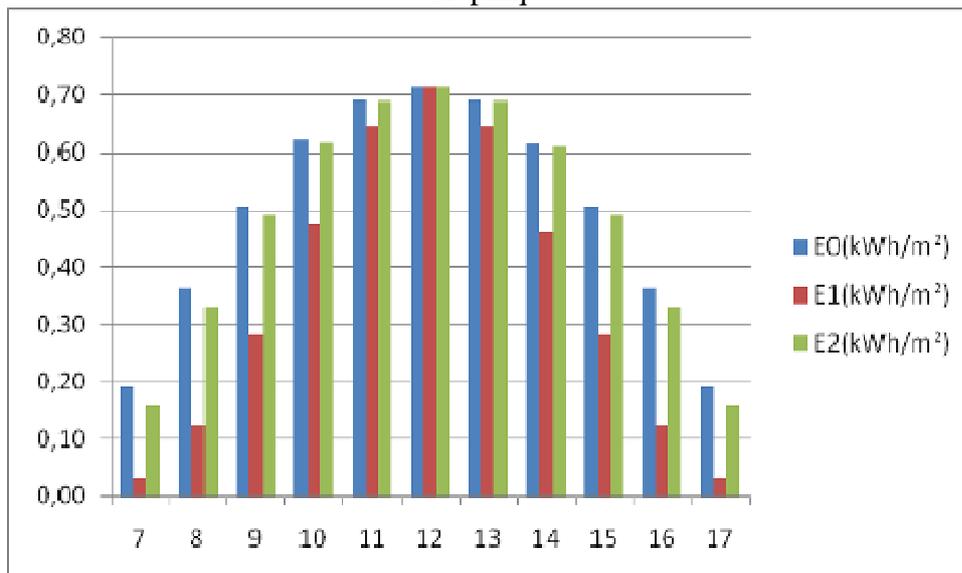


Dans ce cas le gain en énergie sur le total journalier (en orange) et de 147% entre E0 et E1 et de 136% entre E2 et E1. Le rapport est de 2.62 !!! entre E0 et E1 et de 2.51 entre E2 et E1.

Calculs pour l'équinoxe (tableau)

heure	hauteur	azimut	E0(kWh/m²)	E1(kWh/m²)	E2(kWh/m²)
0	-44,45	0,00			
1	-42,55	-20,57			
2	-37,27	-38,92			
3	-29,55	-54,37			
4	-20,29	-67,41			
5	-10,15	-78,88			
6	0,39	-89,61			
7	10,94	79,66	0,19	0,03	0,16
8	21,12	68,18	0,36	0,12	0,33
9	30,45	55,10	0,51	0,28	0,49
10	38,25	39,54	0,62	0,47	0,61
11	43,61	20,94	0,69	0,64	0,69
12	45,55	0,00	0,71	0,71	0,71
13	43,61	20,94	0,69	0,64	0,69
14	37,80	40,67	0,61	0,46	0,61
15	30,45	55,10	0,51	0,28	0,49
16	21,12	68,18	0,36	0,12	0,33
17	10,94	79,66	0,19	0,03	0,16
18	0,39	-89,61			
19	-10,15	-78,88			
20	-20,29	-67,41			
21	-29,55	-54,37			
20	-37,27	-38,92			
23	-42,55	-20,57			
21.sept					
21-mars		total journalier (kWh/m²)	5,44	3,80	5,27

Graphique



Dans ce cas le gain en énergie sur le total journalier (en orange) et de 43% entre E0 et E1 et de 39% entre E2 et E1. Le rapport est de 1.42 entre E0 et E1 et de 1.38 entre E2 et E1.

Les calculs ont été terminés en novembre 2007, nous avons déjà commencé notre campagne de mesure d'hiver. Les conclusions de ces calculs seront appliquées à la campagne de mesure du printemps.

d) Voici la conclusion et les pistes à suivre :

Est-il plus avantageux de faire varier l'inclinaison du panneau de manière à ce que celui-ci suive le soleil selon sa hauteur, sachant que la variation de l'angle d'inclinaison n'est pas constante, qu'il sera donc compliqué de mettre en place un système permettant aux panneaux solaires d'être face au soleil selon sa hauteur ? Ce système consommera-t-il plus d'énergie qu'il n'en fera gagner ? Le suivi n'est pas intéressant en hiver. Le gain est faible d'autant plus que les calculs ne prennent pas en compte la couverture nuageuse. Par contre pour les autres saisons le gain est nettement plus appréciable.

e) Comment a-t-on calculé les hauteurs et azimut avant d'avoir les mesures ?

Calculs de la hauteur et de l'azimut du soleil en fonction de l'heure et de la journée (d'après le livre *les cadrans solaire de Denis Savoie, Belin*) :

Pour calculer la hauteur du soleil notée h

$$\sin h = \sin \delta \sin \varphi + \cos \varphi \cos d \cos H$$

δ est la déclinaison (cf. le tableau de déclinaison), elle varie selon la date ; elle est exprimée en degrés.

φ est la latitude du point à partir duquel on veut mesurer la hauteur exprimée en degrés.

H est l'heure solaire exprimée en degrés.

Pour calculer l'azimut du soleil en fonction de la date, de l'heure, et de la latitude, notée A

$$\tan A = \frac{\sin H}{\sin \varphi \cos H - \cos \varphi \tan \delta}$$

δ est la déclinaison (cf. le tableau de déclinaison ou courbe sur annexe 2), elle varie selon la date, exprimée en degrés

φ est la latitude du point à partir duquel on veut mesurer la hauteur exprimée en degrés

H est l'heure solaire exprimée en degrés

8. Le système d'acquisition pour les prototypes.

a) Utilisation de Labview 8.20 et de la carte NI daq6009.



Nous avons réalisé un instrument virtuel (VI) pour pouvoir mesurer la tension aux bornes des cellules photovoltaïques. La carte NI Daq ne pouvant relever que des tensions comprises entre -10V et +10V, nous avons réalisé un diviseur de tension.

La programmation de la carte nous permet de relever les tensions pendant un temps assez long comme 24h ou 48h. Les données sont stockées sous la forme d'un tableau.

Face avant du VI : permet de rentrer la fréquence et le nombre d'échantillons.

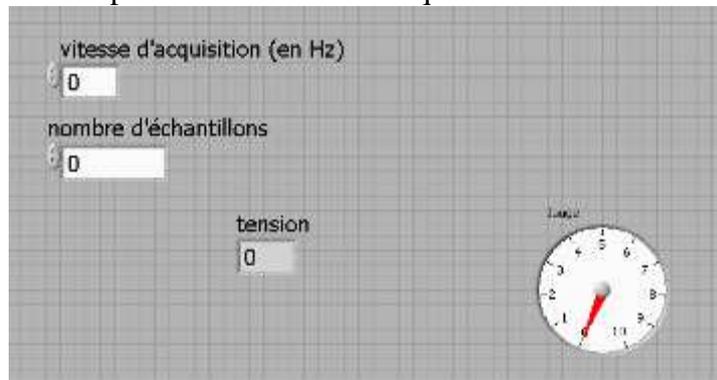
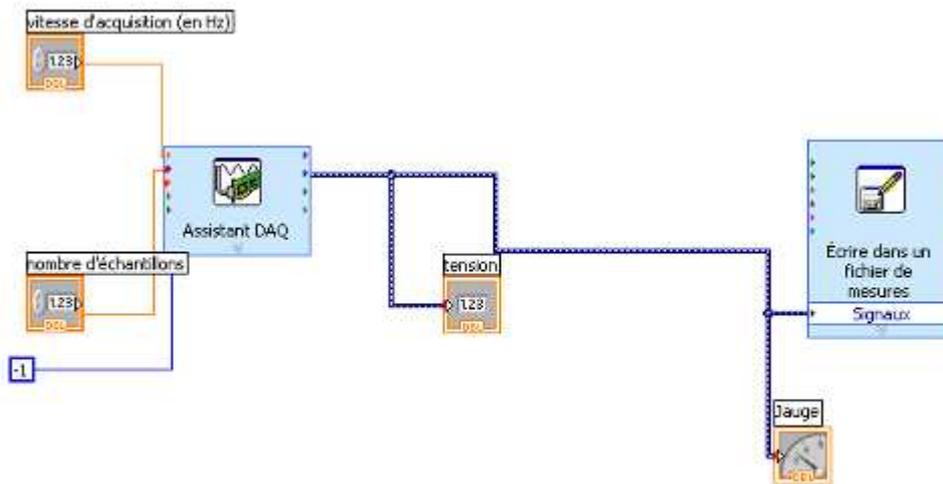
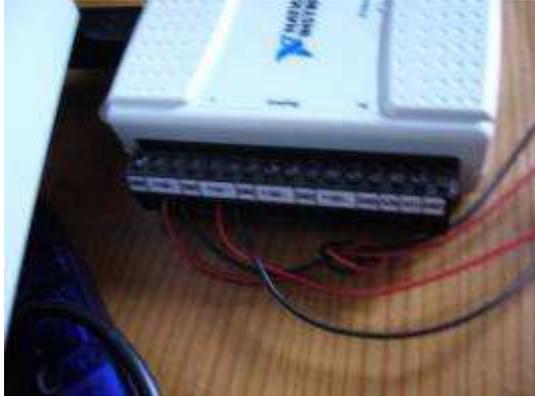


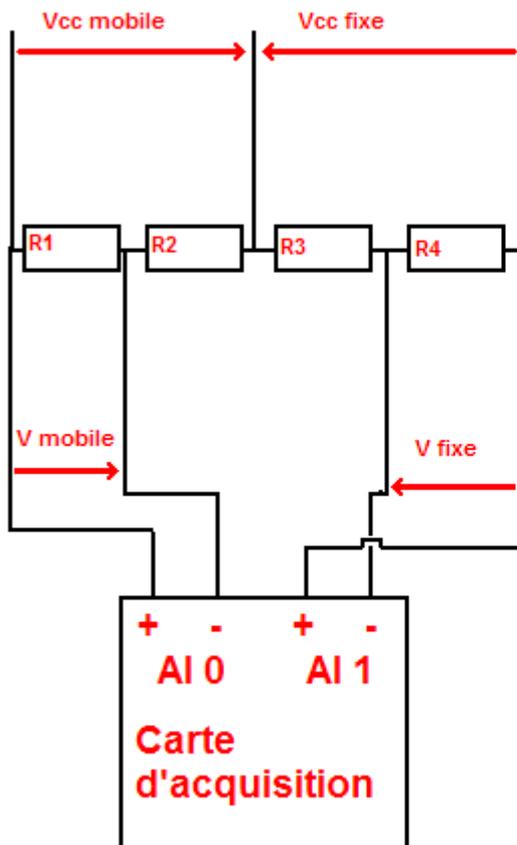
Diagramme du VI avec les fonctions que nous avons programmées : Choix de la fréquence et du nombre des échantillons, mesure des deux tensions, stockage des données dans un tableau.



b) Branchements de la carte NIdaq6009.



Sur l'image ci-contre se trouve la carte qui nous a permis d'effectuer l'acquisition des tensions des deux panneaux durant la journée. C'est une carte National Instrument à huit entrées, elle permet des mesures précises. Le logiciel utilisé pour obtenir ces données est Labview. Il nous permet de créer des tableaux Excel pour tracer des courbes détaillées minute par minute. Notre montage panneau/carte d'acquisition est présenté ci-dessous, avec les détails concernant les calculs du pont diviseur de tension permettant de limiter la tension aux bornes de la carte (tension maximum de 10V)



$$V \text{ mobile} = (V_{cc} \text{ mobile}) R1 / (R1 + R2)$$

$$= (V_{cc} \text{ mobile}) \times 1 / (1+1)$$

$$= 0.50 V_{cc} \text{ mobile}$$

et

$$V_{cc} \text{ mobile} = V \text{ mobile} \times 2$$

(R1 = 1 Kohm et R2 = 1 Kohm)

De même

$$V \text{ fixe} = (V_{cc} \text{ fixe}) \times 0.50$$

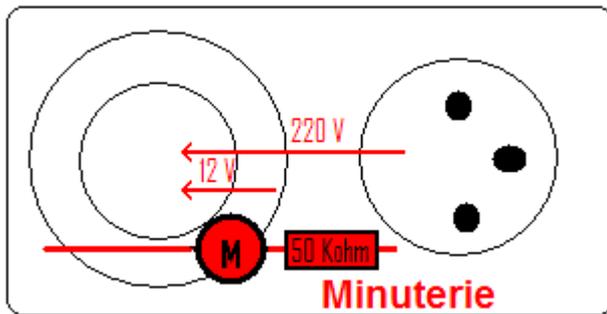
et

$$V_{cc} \text{ fixe} = V \text{ fixe} \times 2$$

(R3 = 0.960 Kohm et R4 = 0,960 Kohm)

9. Le moteur pour assurer la rotation des panneaux solaires

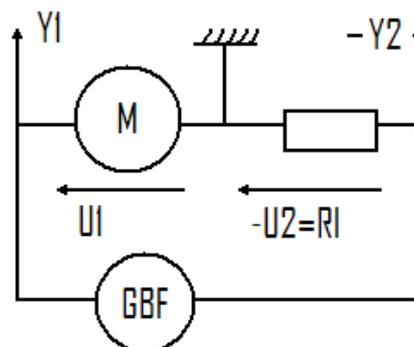
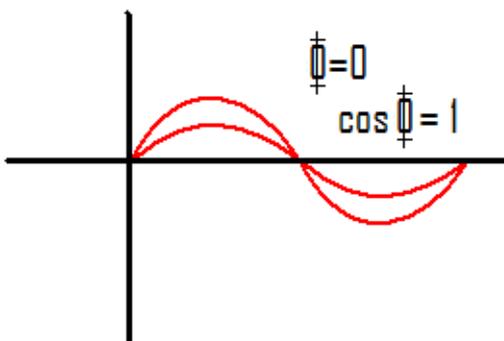
La minuterie



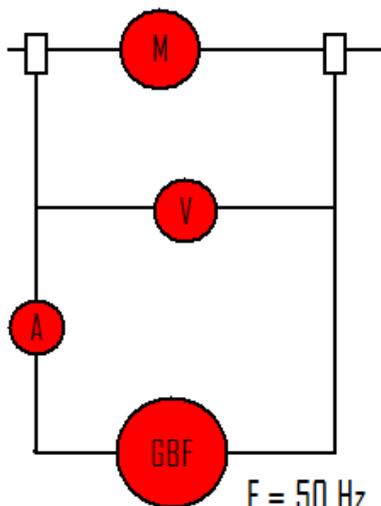
Dans notre projet, nous avons du trouver un moyen de motoriser le panneau pour qu'il puisse tourner de lui-même. Il fallait que ce soit un moteur simple à mettre en œuvre et peu cher mais suffisamment puissant pour entraîner l'ensemble en rotation. Notre choix s'est porté sur les programmeurs d'alimentation mécanique, dont le plateau extérieur effectue un tour par jour (schématisé

ci-contre avec le schéma simplifié du circuit interne). Une de ses minuteries coûte 5€ environ, et il n'y a plus qu'à coller l'axe de rotation sur ce plateau. Ce plateau et l'axe sont donc fixe l'un par rapport à l'autre, mais il est cependant possible de mettre au point le réglage pour que les cellules soient en face du soleil (si la motorisation prend du retard par exemple) sans endommager le train réducteur (hélas en plastique) car un système anti-retour permet la rotation dans le sens horaire sans entraîner le reste des engrenages. Malheureusement, ces petites mécaniques sont trop peu puissantes, donc très sensibles à l'équilibrage (expliqué dans la partie LE PROTOTYPE 02 : MESURES ET ACQUISITIONS) et assez fragile. En effet, à cause de défauts d'équilibrages nous avons cassés 5 minuterias sur les deux modèles expérimentés. Evidemment, comme tout moteur, elle a une consommation, certes minime, mais à prendre en compte aux vues des faibles puissances obtenues.

Voici le calcul qui nous permet de trouver la puissance consommée par la minuterie. Voici ci-contre le schéma du graphique obtenu obtenus à l'oscilloscope (à l'aide du montage schématisé ci-dessous). Il représente la tension aux bornes du moteur. Nous voyons que le décalage entre les deux courbes est nulle, décalage nommé φ .



Ci dessous, le montage qui nous a permit de déterminer la puissance consommée par le moteur.
D'après la formule de la puissance P du courant alternatif monophasé.



$$F = 50 \text{ Hz}$$

$$U = 12 \text{ V}$$

$$P = UI \cos \phi$$

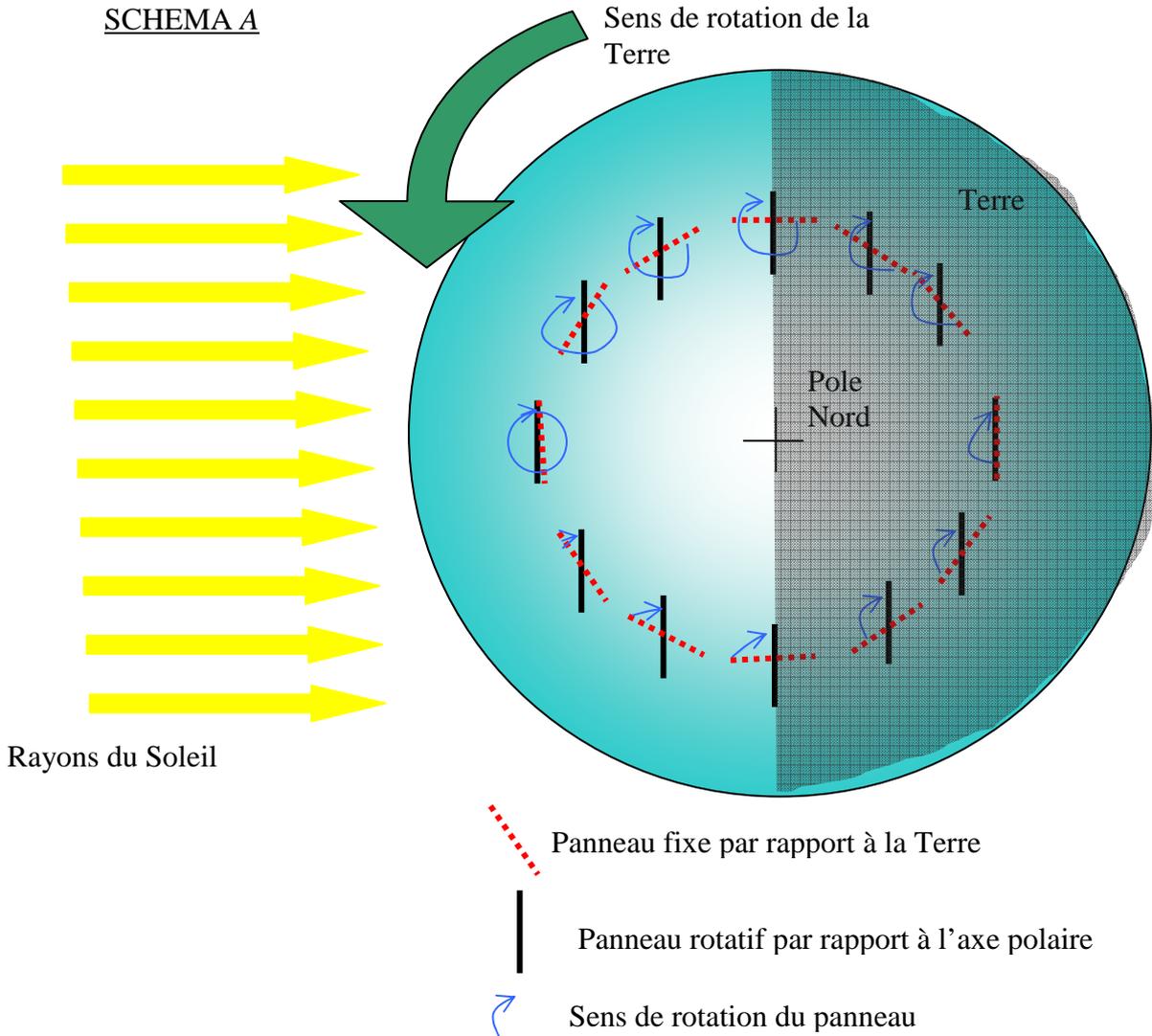
$$= 12 \times 0,0022 \times 1$$

$$= 26,4 \text{ mW}$$

10. Utilisation d'un système simple pour faire tourner les panneaux.

Lors que l'on observe le ciel la nuit, on se rend compte que tous les astres tournent autour d'un axe fixe : celui des pôles. C'est le cas aussi de la course du Soleil. Nous nous sommes donc inspirés de ce principe pour réaliser le système de guidage des panneaux. C'est en fait le même principe qu'une monture équatoriale mais en beaucoup plus simplifiée et moins cher. (Voir schéma ci-dessous)

Un axe assure la rotation journalière l'autre permet de modifier l'angle de déclinaison en fonction de la saison.



Ce schéma est valable pour les équinoxes ; lors des solstices, le pôle nord serait décalé vers la droite ou vers la gauche selon l'axe horizontal.

Grâce à ce système, le panneau est toujours perpendiculaire aux rayons du soleil.

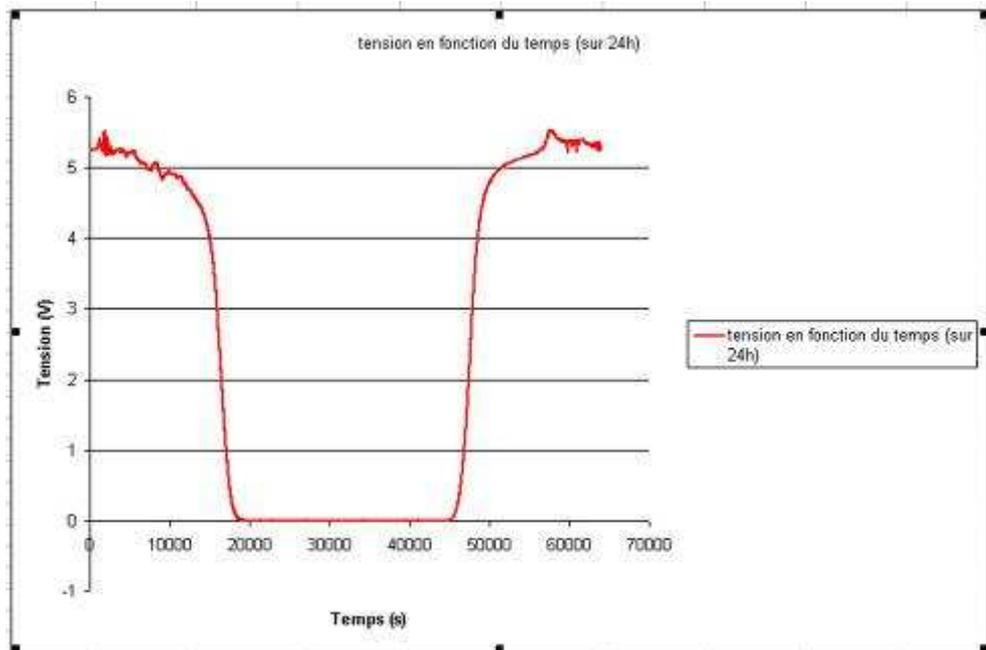
11. Le premier prototype et la première série de mesure :

Nous voulions réaliser une première série de mesure un jour ensoleillé proche du solstice d'été. Nous avons construits deux blocs de 4 cellules photovoltaïques identiques. Le premier



panneau fixe, l'autre rotatif (la rotation est assurée par le moteur d'une minuterie, la puissance électrique consommée est de 26mW). Pour l'acquisition, nous avons utilisé la carte Nidaq6009, nous avons réalisé un petit programme en Labview pour faire l'acquisition.

Les panneaux solaires sont reliés à une résistance, on mesure la tension aux bornes de la résistance, on peut ainsi calculer la puissance fournie par les panneaux solaires.

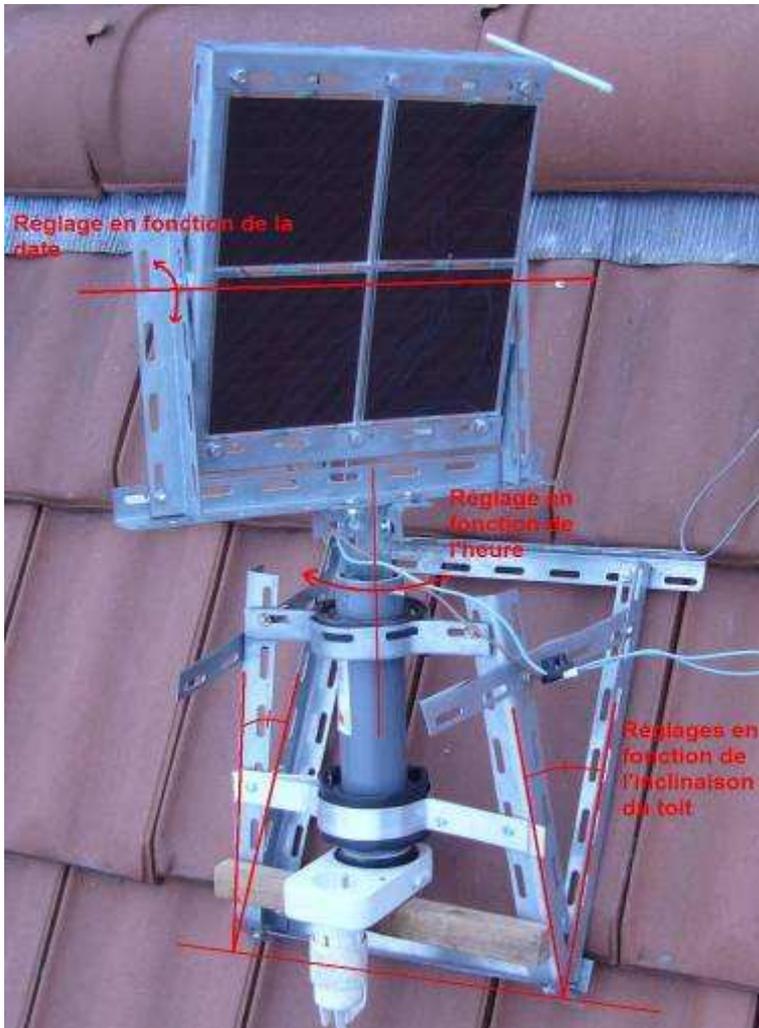


Acquisition de mesures sur 24H avec un ciel sans nuages (en rouge la tension aux bornes du panneau solaire rotatif relié à un conducteur ohmique de 1K Ω)

Plusieurs séries de mesures (toutes les 10 secondes pendant 24h) ont été réalisées. Un problème d'étalonnage ne nous a pas permis d'avoir des mesures correctes sur le panneau fixe. Par contre le panneau rotatif donne des valeurs de tensions quasiment constantes lorsqu'il est éclairé.

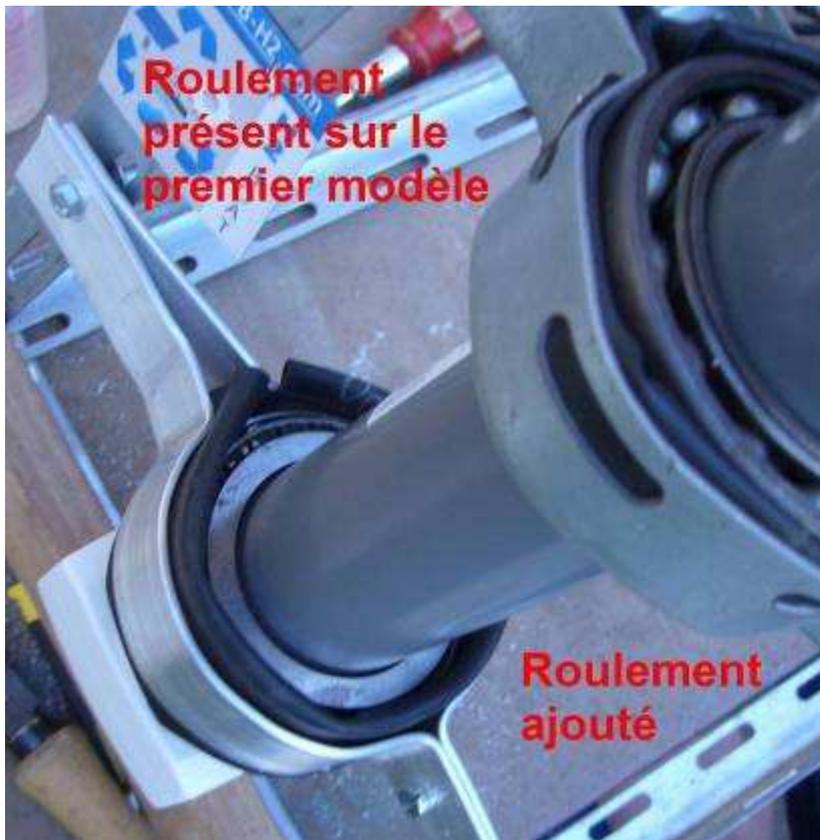
12. Deuxième phase de mesure et deuxième prototype.

a) Le Prototype 02 (deuxième construction)



Hormis le fait d'être un deuxième prototype, il s'agit plutôt d'une version du premier mais plus solide et plus adaptée à l'extérieur. Les pièces en aggloméré ont été supprimées, ce qui explique un remaniement de la structure pour n'avoir que de la cornière métallique. Par contre les fonctions permettant de suivre le soleil sont conservées, et ce sont les mêmes solutions techniques qui sont employées, excepté le système d'adaptation à l'inclinaison du support.

En effet la grande innovation est que l'on peut placer l'assemblage sur presque n'importe quel plan classique (incliné de 0° à 45° environ), ici un toit à 30° , c'est-à-dire que l'on peut adapter facilement le prototype pour que l'axe en PVC soit parallèle à l'axe polaire.



De plus, pour supprimer les efforts sur le roulement, un deuxième vient s'ajouter au premier, ce qui permet de mieux être parallèle à l'axe polaire en supprimant le jeu (en empêchant les effets des efforts normaux par rapport à l'axe polaire). La limite la plus évidente de ce prototype est qu'il n'est pas capable de s'orienter seul en fonction de la date. Seul l'axe horaire est « automatisé ». Cela ne nous pose pas de problèmes puisqu'il ne sert qu'à faire des mesures, faites au jour le jour. Il faut donc le régler une fois par semaine environ. Ce prototype n'est pas non plus très précis, nous n'avons pas obtenu des

données d'une grande exactitude, mais l'objectif premier était d'avoir un ordre d'idée sur la rentabilité du projet. Les valeurs obtenues ne sont donc pas, de toute façon, « au mieux », c'est un ordre de grandeur sur lequel se baser.

b) Les conditions des mesures



Voici l'installation sur un toit, à Décines-Charpieu, le système d'acquisition étant juste dans les combles.



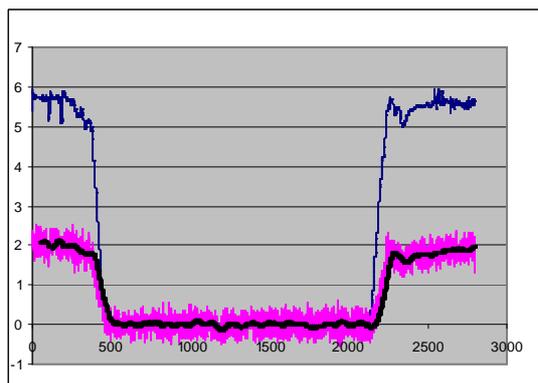
Malheureusement il y a quelques arbres cachant le soleil sur certaines plages de la journée avec la faible hauteur de l'astre en hiver. Malgré le gel et la pluie (où il a fallu débrancher l'alimentation) le prototype a fonctionné.

c) Difficultés rencontrées :

- Problèmes informatiques : difficultés d'installation du programme d'acquisition LabVIEW 8.2. Nous avons ainsi perdu les jours les mieux ensoleillés après l'installation du matériel sur le toit en devant attendre le fonctionnement du logiciel. Cependant, la partie informatique n'a plus posé de problèmes après l'installation.

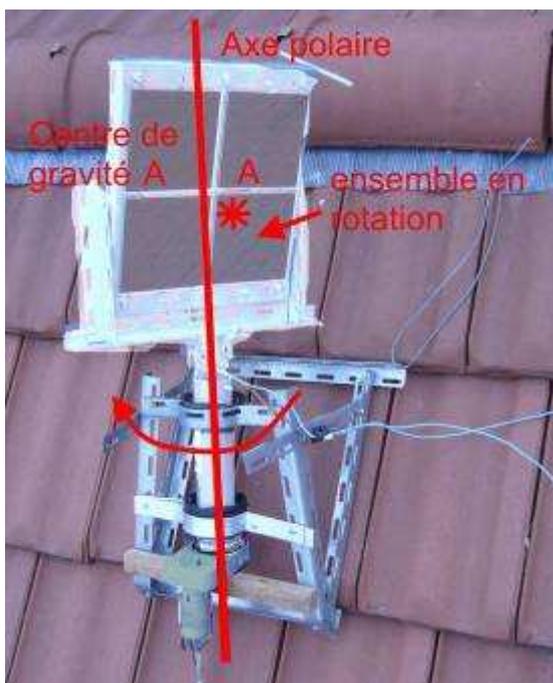
- Problème de carte d'acquisition : il a fallu changer de voie d'acquisition puisque la voie du panneau fixe plafonnait à 2 volts quand la voie du panneau mobile affichait 6 volts (voir ci-contre).

- Problèmes mécaniques : nous avons du utiliser cinq minuteriers différentes. En effet, n'étant pas prévues pour ce type de travail, ni pour développer beaucoup de couples, elles ont cassé une



par une.

L'avantage étant qu'elles font un tour en 24h, il suffit de la coller sur le châssis et sur le tuyau en PVC. Normalement, elles n'auraient pas dû casser, si le centre de gravité de l'ensemble entraîné par la minuterie était proche de l'axe polaire, or à cause de la souplesse de l'ensemble, le panneau avait tendance à pencher en arrière et à déplacer ce centre de gravité vers le bas, donc générer un moment, la minuterie forçait tout le temps. La solution était de rigidifier l'ensemble en rotation, en effet, la 5^{ème} minuterie a fonctionné après modification.

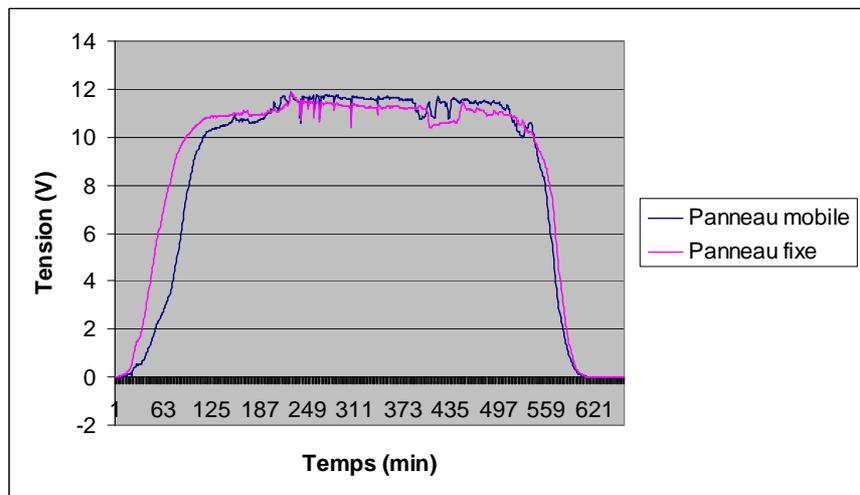


- Autres problèmes : les deux panneaux sont constitués de quatre cellules chacun, or ils ont tout deux quelques fissures (ce sont les mêmes cellules que pour le prototype 1), ce qui les rend différents. Pour obtenir des mesures fiables, il nous faut donc étalonner chaque panneau par rapport à l'autre, et obtenir un coefficient les différenciant en fonction de la luminosité (ici nous nous sommes servis de l'heure de la journée).

c) Les résultats de l'acquisition

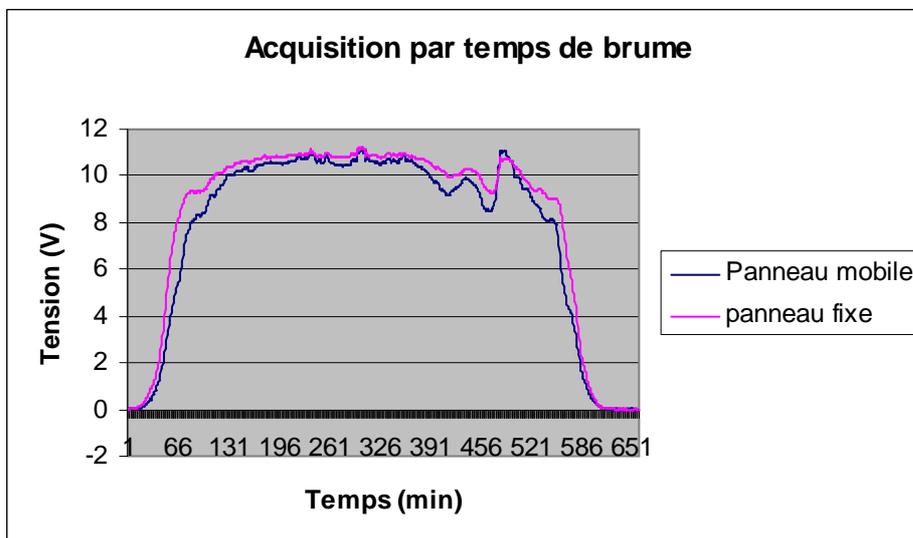
i. Courbe brute.

Voici les résultats obtenus dans la journée du mardi 27 novembre 2007 (par temps ensoleillé mais pas avec un ciel strictement dégagé). Nous voyons ici que les deux courbes se valent l'une autant que l'autre, notre panneau, le panneau mobile, ayant même un léger désavantage le matin et le soir. Il aurait du pourtant se produire le contraire, puisque c'est à ces moments que le panneau fixe est le moins en face du soleil.



L'étalonnage est donc devenu indispensable, les résultats théoriques (sans prendre en compte l'énergie perdue lors du passage des rayons solaires dans l'atmosphère) montrent que nous devrions obtenir presque deux fois plus de tension avec un modèle suiveur. L'hypothèse était, à l'obtention de cette courbe, que les cellules du panneau mobile sont défectueuses et qu'elles sont encore moins performantes dans les plus faibles luminosités que dans les plus grandes (plein jour), où elles semblent aussi avoir un souci de fonctionnement. Nous verrons par la suite le résultat de cet étalonnage.

Dans le cas d'une journée brumeuse, le constat est encore plus décevant.

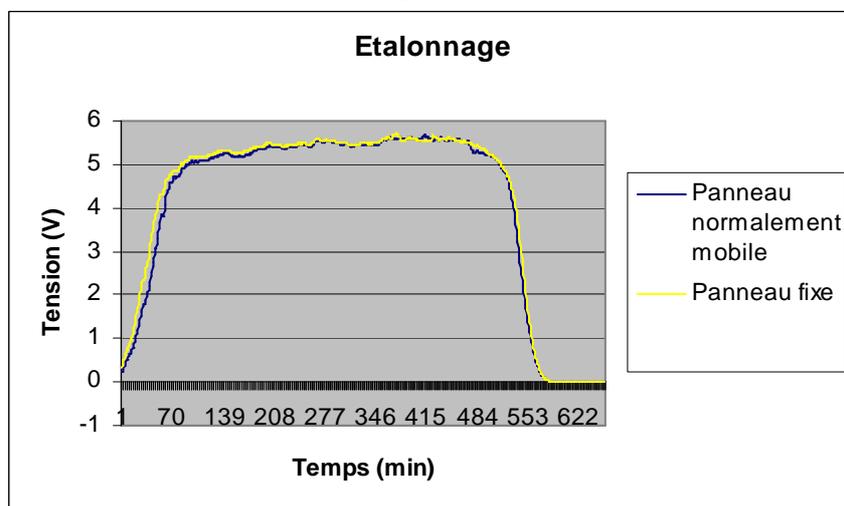


La lumière était donc diffuse et les deux panneau devraient en recevoir autant l'un que l'autre, puisqu'elle ne provenait pas d'un point précis. Or on constate ici que la courbe du panneau fixe est encore plus intéressante que par temps

ensoleillé. Il y a donc une donnée qui nous échappe puisque apparemment être en face du soleil n'est pas, dès que l'atmosphère atteint un certain seuil de diffusion, rentable.

ii. L'étalonnage

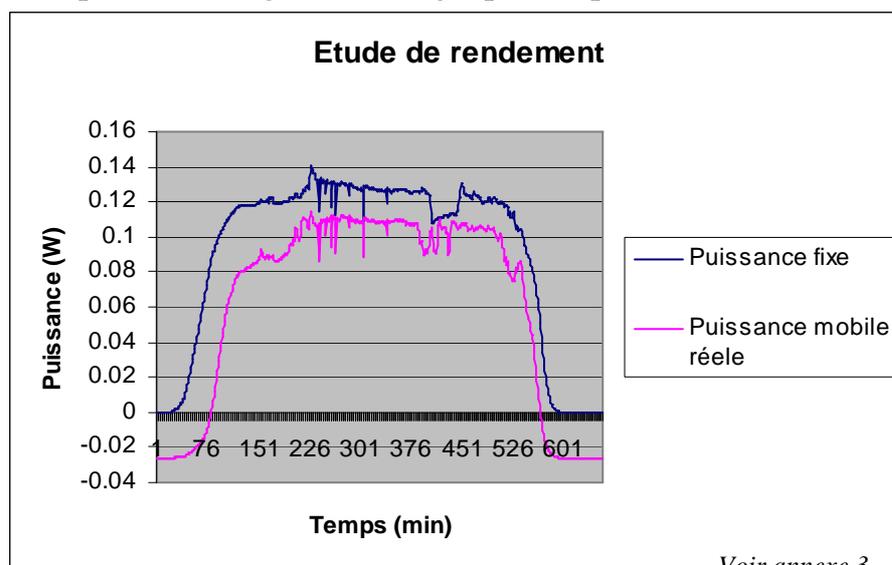
Nous avons voulu être sur que ce problème de rentabilité ne venait pas du disfonctionnement d'un des panneaux. C'est pourquoi nous les avons étalonnés (nous avons procédé à une acquisition d'une journée, les panneaux posés tout deux dans la même position. A notre déception, ces mesures ont révélées que les panneaux



délivraient à luminosité identique, même tension. Nous pouvons donc confirmer l'hypothèse qu'il n'est pas utile de se servir d'un tel dispositif en été pour obtenir plus d'énergie.

iii. Conclusion

Finalement, sur notre installation, le panneau fixe aura été bien plus rentable que le panneau mobile. Cette différence est clairement visible sur ce graphique qui résume les dépenses et les gains d'énergie pour le panneau mobile et le témoin.



On voit clairement que la courbe « Puissance fixe » est plus intéressante que celle du panneau mobile, puissance du moteur déduite. Cette différence, totalement contradictoire aux calculs théoriques, pourrait s'expliquer en ayant connaissance

de certains paramètres, tels que l'action de l'atmosphère dans la diffusion de l'énergie lumineuse ou bien les capacités des cellules employées à capter la lumière venant de plusieurs directions. En tout cas, les résultats auraient été plus favorables au fonctionnement mobile des panneaux dans les conditions suivantes :

-En été, alors que le soleil passe le matin et le soir derrière le panneau fixe, une plus grande partie de sa course s'effectue aux limites du panneau fixe.

-Lorsque le ciel est dégagé et l'atmosphère peu diffuse.

-Avec une installation plus grande et un moteur plus adapté.

En conclusion, nos mesures révèlent que suivre le soleil n'est pas avantageux en hiver. Cependant, il n'est pas possible de conclure généralement puisqu'en théorie les rendements obtenus en été sont plus avantageux, l'atmosphère est très dégagée, mais nous n'avons pas de données exploitables concernant cette époque de l'année, suite au dysfonctionnement du système d'acquisition du premier prototype.

13. Perspectives

- Poursuivre les campagnes de mesure : avec **la webcam et le gnomon**. Cela nous permettra d'avoir une base de donnée de l'azimut et de la hauteur du Soleil tout au long de l'année. Pour l'équinoxe nous réaliseront des mesures simultanées avec nos partenaires européens.
- Poursuivre les campagnes de mesure : printemps 2008 et été 2008 avec le deuxième prototype.
- Nous sommes en train de réaliser **un banc d'essai** qui permettra de mesurer la puissance que reçoit un panneau solaire quelque soit son inclinaison. Nous nous sommes rendu compte que la diffusion et la nature des panneaux jouent un rôle important . Nous voulons le mesurer.
- Nous sommes en train de monter **un troisième prototype**. Avec l'axe de rotation vertical. En effet, nous avons vu dans le chapitre « calculs » que le gain avec ce système de rotation est quasiment aussi important qu'avec la rotation autour de l'axe polaire. Ce troisième prototype est aussi très innovant car, il ne nécessite plus de moteur. La rotation s'effectue grâce à une propriété physique de la matière...
- Nous somme en train de remplacer le moteur de la minuterie par un moteur pas à pas (projet PPE)

14. Productions envisagées :

- Les prototypes et des copies du prototype final pour les diffuser dans d'autres établissements.
- 3 posters bilingues (français-anglais)
- Des plaquettes (flyers)
- un document pédagogique publié sous forme papier et sous forme électronique.
- un site internet collaboratif :
<http://isheyvo.ens-lyon.fr/eaee/groupspace/european-sun/>
- des clips vidéos pour expliquer le fonctionnement du dispositif

14. Expositions et participation à des manifestations.

Le groupe a déjà présenté le projet à la fête de la science 2007 et aux olympiades de la physique 2007.



Nous sommes candidats au concours C'Génial, Science on Stage, Eucys .

Le projet est fortement impliqué dans un partenariat Comenius européen. Les élèves (4 sur 6 accompagnés de leur professeur) vont présenter leur projet et animer des ateliers lors de la prochaine rencontre du groupe du 12 au 17 mai (matin) à Rome.

15. Les partenaires.

Merci aux partenaires :

M Lilensten du Laboratoire de Planétologie de Grenoble.

M Laibe de l'ENS Lyon

M Meyer du planétarium de Vaulx en Velin

Le concours c'génial.

Le lycée Charlie Chaplin

La région Rhône Alpes

L'académie de Lyon

L'union européenne.

Sources (livres sites photos)

Sites web :

<http://www.ac-nice.fr/clea/lunap/html/Coordonnees/CoordActivHauteur.html>

<http://www.pensifs.com/>

<http://www.imcce.fr/>

<http://solardat.uoregon.edu/>

Livre :

Les cadrans Solaires de Denis Savoie

16. Résumé :

Le projet est issu d'une question simple :

Est ce qu'il est facile et intéressant de faire suivre la course du Soleil à des panneaux solaires ?

Les élèves ont déterminé expérimentalement la course du soleil (expérience du gnomon et webcam). Ils ont vérifié l'intérêt d'un tel dispositif par le calcul. Puis, ils l'ont mis en pratique à l'aide de plusieurs prototypes sur lesquels ils ont effectués des mesures à différentes périodes de l'année avec différentes conditions météorologiques. Grâce à ces mesures les prototypes ont été améliorés pour obtenir un appareil simple et fiable qui suit la course du Soleil.

Cette étude fait appel à des notions de physique, l'utilisation d'un système d'acquisition numérique (NIDAQ), d'astronomie, de technologie et valorise l'enseignement du développement durable.

