



Fondation pour la culture scientifique et technique

Sciences à l'École



[www.sciencesalecole.org](http://www.sciencesalecole.org)

# PARABOLE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE



**Etablissement** : Collège Verlaine (Béthune)

**Rédigé par** : L'atelier Scientifique

**Professeur Référent** : Ugo Leenhardt



## 1. LANCEMENT DU PROJET

20 **BÉTHUNE**


L'AVENIR  
DE L'ARTOIS  
Jeudi 29 novembre 2012

**INNOVATION**

# Après le plastique, le collège Verlaine s'attaque au photovoltaïque

Le collège Verlaine possède depuis quelque temps un atelier scientifique, dirigé par Ugo Leenhardt. Après le succès rencontré lors de l'année scolaire précédente, les élèves vont s'atteler à un nouveau projet basé sur le photovoltaïque.

Le collège Verlaine n'a pas attendu la semaine de l'innovation, relayée par Artois Comm, pour s'essayer aux découvertes et à l'innovation en matière notamment de développement durable. Depuis plusieurs années, l'établissement s'est doté d'un atelier scientifique. « Le principe est simple, c'est un atelier où viennent des élèves volontaires pour se lancer des défis scientifiques », souligne d'emblée Ugo Leenhardt, professeur



Elise, Chloé et Noëlle, trois des huit jeunes élèves de l'atelier scientifique, préparent leur nouveau projet.

de technologie et animateur de cet atelier. L'atelier, c'est une heure hebdomadaire en plus des cours. « Je fais le tri en début d'année parmi les élèves qui souhaitent intégrer l'atelier, mon seul critère c'est la motivation des élèves. » Cette année, ils sont huit, dont un seul garçon - « les filles sont plus courageuses à cet âge » -, tous des élèves de 4<sup>e</sup>, « un hasard ».

L'an dernier, les élèves ont travaillé sur différents projets comme les prospectus, mais c'est surtout pour leur projet d'isolant à base de bouteille plastique que leurs travaux ont été reconnus. « Ils ont gagné deux concours régionaux et ont été qualifiés pour un concours national », indique leur professeur, pas peu fier de la réussite de ses élèves. Un projet qui a aussi retenu l'attention du Critt M2A, qui a sélectionné le projet pour être exposé aux côtés de ceux des lycées et BTS.

**Des cours à la Fac**  
« Nous avons abouti à un isolant de meilleure qualité que de la laine de verre », explique la jeune Elise, qui était déjà de l'aventure l'an dernier. Pour y arriver, les élèves ont multiplié les efforts de recherche et se sont appuyés sur des experts, comme lorsqu'ils ont suivi deux heures de cours à la Fac de Génie civil à Béthune. Quant à la possibilité d'isoler quelques salles de l'établissement avec ce nouveau procédé, « cela n'est pas de notre ressort ». Et d'ajouter : « On s'occupe que de mettre en place des nouveaux procédés, ce qui est en rapport avec la démarche scientifique, pas la commercialisation qui, elle, ne nous intéresse pas. »

Depuis le début de l'année scolaire, la nouvelle équipe de l'atelier scientifique travaille sur un nouveau projet : comment améliorer le rendement d'un panneau solaire ? « Ils sont allés à Gravelines, puis au centre des énergies renouvelables pour avoir de nombreuses connaissances sur le sujet et la Fac de Béthune nous a mis à disposition un panneau photovoltaïque pour que l'on puisse travailler sur du concret. » Chloé et Noëlle, nouvelles dans l'atelier, expliquent : « On a entendu parler de l'atelier et on a eu envie d'essayer, de voir si cela nous plaisait et c'est le cas. » Les élèves de l'atelier iront découvrir le résultat de leur projet isolant au Critt M2A, mardi 4 décembre.

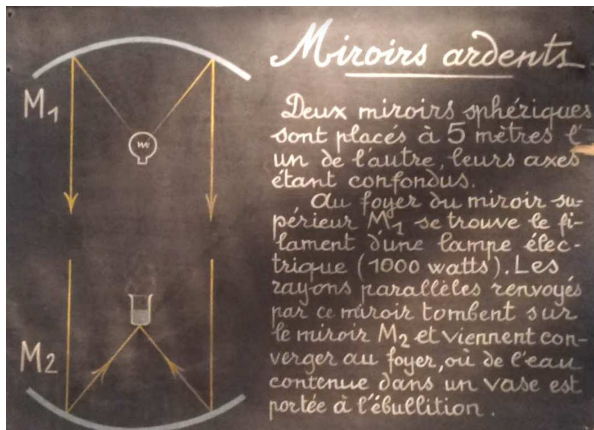
Marc VASSEUR

Afin d'envisager autrement l'investigation, la démarche proposée par le concours C-Génial Collège permet d'apporter un nouvel éclairage sur l'apprentissage. En rendant les jeunes acteurs de leur propre connaissance, la réalisation d'une expérience et d'un reportage vidéo devrait être très enrichissante pour les élèves du collège en renforçant leur culture scientifique. Cela permettra peut-être aussi de faire naître des vocations scientifiques et de susciter l'ambition de nos élèves. Cela permet aux élèves de l'atelier, qui ne sont pas forcément de « bons élèves », de construire leur savoir d'une autre façon en développant leur autonomie.

La réalisation de cette action devrait permettre la prise en compte de la gestion de l'énergie dans les gestes de la vie de tous les jours. La mise en place des solutions techniques réalisées par les élèves ou la baisse significative de la quantité d'énergie dépensée sont autant d'effets attendus sur l'établissement et son environnement proche.

## 2.ÉTUDE PREALABLE

### 2.1.DEFINITION DE LA PROBLEMATIQUE



En réinvestissant les connaissances acquises en classe, nous avons constaté que les panneaux solaires n'offrent pas un rendement maximum lorsqu'ils sont utilisés dans notre région. Nous avons également constaté que l'évolution des technologies rend obsolète certains produits comme les paraboles pour la réception de la télévision satellite. Ces paraboles encombrant alors les toits et deviennent une pollution visuelle

car elles ne sont pas évidentes à enlever. Comment faire alors pour trouver une technique permettant d'utiliser plus efficacement les panneaux solaires tout en récupérant les paraboles satellites? En se souvenant des miroirs ardents exposés au Palais de la Découverte à Paris que nous avons visité l'année dernière, nous avons donc pensé à utiliser une parabole pour concentrer la lumière du soleil sur un panneau photovoltaïque.

### 2.2.PREMIERES APPROCHES SUR LE PHOTOVOLTAÏQUE



Afin de comprendre le principe de l'énergie solaire, nous avons fait des recherches sur internet et sur des revues scientifiques pour comprendre l'utilisation qui peut en être faite. Nous avons ainsi constaté qu'on pouvait fabriquer de l'énergie thermique (chaleur) ou de l'énergie photovoltaïque à partir de la lumière du soleil. Nous avons même pu observer que la fabrication de ces deux énergies était parfois liée sur certains panneaux solaires.



### 3.SENSIBILISATION SUR LES ENERGIES

#### 3.1.PLANETE ENERGIE



Afin d'avoir une première approche scientifique et pour assimiler les enjeux sociétales liés aux problèmes de l'énergie, nous avons reçu la visite de Max Mille, géologue et expert énergétique intervenant pour le compte de Planète Energies. Ce programme est à l'initiative de la société Total et vise à sensibiliser les élèves sur les gisements d'hydrocarbures, les énergies renouvelables et le développement durable.

Nous avons appris qu'il faudra bientôt remplacer les énergies fossiles car elles disparaissent progressivement. Pour cela, il existe deux solutions qu'il faut développer simultanément : limiter la consommation d'énergie et développer l'utilisation ainsi que l'efficacité des énergies renouvelables.

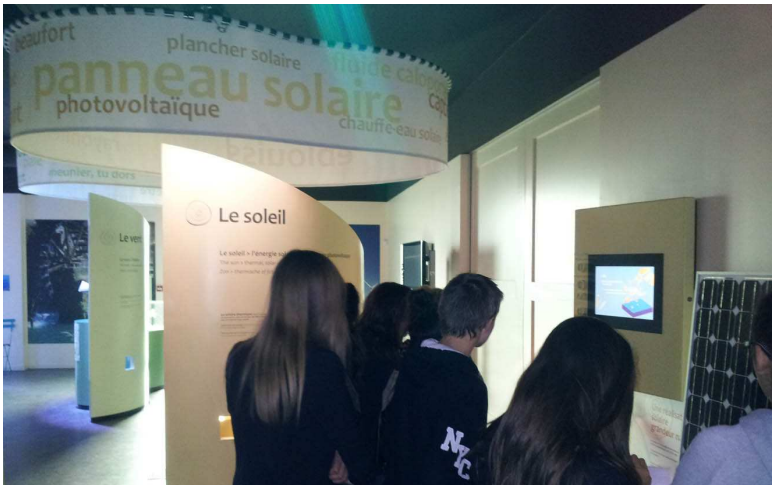
#### 3.2.CENTRALE NUCLEAIRE DE GRAVELINES



Pour comprendre les enjeux énergétiques, nous avons visité le site de production de Gravelines. Nous avons pu découvrir que la centrale nucléaire produisait 9% de l'électricité

produite en France et qu'avec 37.6 milliards de kilowattheures, cela représente 100% de la consommation de la région Nord-Pas de Calais. Nous avons également appris qu'en France seulement 5,8% de l'électricité fabriquée par EDF est d'origine renouvelable. Cette production est assurée par 435 centrales hydrauliques et 47 sites éoliens ou solaires.

### 3.3. ENERLYA, LA MAISON DES ENERGIES RENOUVELABLES



Pour observer comment les énergies renouvelables étaient utilisées pour fabriquer de l'électricité, nous avons visité Enerlya qui est située au centre du parc Eolien de la Haute Lys. Nous avons alors découvert qu'il existe beaucoup de système de production mais qu'aucun ne peut soutenir la comparaison avec l'énergie

nucléaire ou les énergies fossiles. Cependant, nous avons constaté qu'en multipliant les systèmes durables, il était possible de créer des bâtiments qui se comportent comme de véritables centrales autonomes en énergie.

### 3.4. LUMIWATT



Le centre expert pour l'émergence des éco-technologies (CD2E) dispose d'une plate-forme d'étude pour l'énergie solaire nommé Lumiwatt. C'est un parc privé qui sert de support à des projets de recherche et de développement. Nous avons été pris en charge par Riquier Thevenin, responsable du projet Lumiwatt. Nous avons ont découvert une dizaine de technologies de cellules

photovoltaïques et des systèmes innovants utilisant des traqueurs solaires qui suivent la course du soleil pour incliner les panneaux. Cependant, nous avons également pu comprendre que ces technologies, si elles sont plus efficaces, sont aussi plus chères que les panneaux utilisés actuellement.

## 4. EXPERIMENTATION

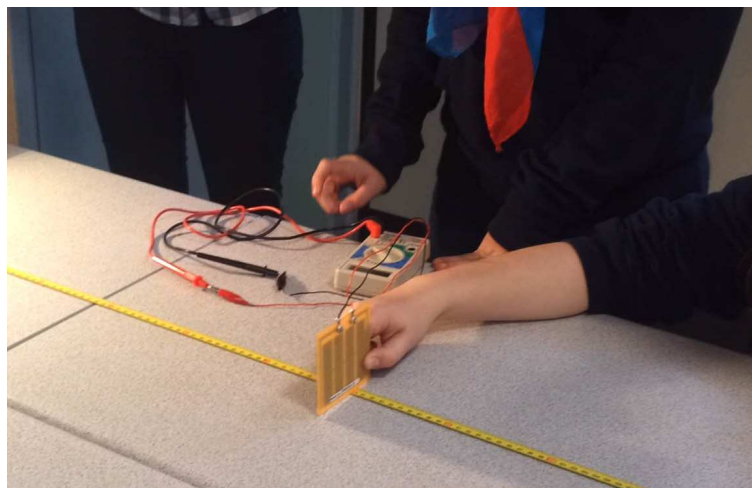
### 4.1. PRODUCTION ELECTRIQUE EN FONCTION DU POSITIONNEMENT DE LA SOURCE

#### 4.1.1. Description

Pour ces deux expériences, nous avons voulu savoir comment la production d'électricité se comportait si la source lumineuse changeait de place. Nous avons donc branché un voltmètre aux bornes d'un petit panneau solaire photovoltaïque. L'objectif est de comprendre l'impact de la position de la source lumineuse sur la production électrique.

#### 4.1.2. Variation de la distance avec inclinaison fixe

Pour étudier l'évolution de la production électrique du panneau solaire lorsque la distance entre lui et la source lumineuse évoluait, nous avons placé une grande règle sur une table. Au bout de la table, à l'origine, ils ont placé une lampe halogène de 500W. Le déplacement du panneau doit s'effectuer perpendiculairement à la table et suivre la ligne droite indiquée par la règle. Puis, nous avons fait un relevé de la valeur de la tension électrique créée par le panneau en rapprochant le panneau de la lampe par palier de 10 cm.



Distance (cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Tension (V)	2,26	2,01	1,95	1,91	1,84	1,77	1,65	1,60	1,50	1,39	1,12	0,97

### **4.1.3. Variation de l'inclinaison avec distance fixe**

Pour étudier l'évolution de la production électrique du panneau solaire lorsque l'inclinaison entre lui et la source lumineuse évoluait, nous avons placé un point de repère sur le sol. Nous avons ensuite pris une ficelle que nous avons tendue afin de créer un demi-cercle au sol en prenant comme centre le repère tracé précédemment. Au centre, nous avons placé le panneau solaire. Le déplacement de la lampe doit s'effectuer perpendiculairement aux différents rayons tracés et parcourir le demi-cercle. Puis, nous avons fait un relevé de la valeur de la tension électrique créée par le panneau en déplaçant la lampe par palier de 10°.



Inclinaison (Degré)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Tension mesurée (V)	0,77	1,10	1,23	1,30	1,37	1,42	1,44	1,48	1,51	1,52

### **4.1.4. Bilan des deux expériences**

En analysant les deux tableaux, nous avons ainsi découvert que la production électrique d'un panneau solaire varie beaucoup si la source lumineuse change de place.

- ⇒ Plus la source est proche du panneau photovoltaïque, plus il produit.
- ⇒ Plus la source est face au panneau, plus il produit.

Les conditions optimales sont les suivantes : un rayonnement proche et directement orienté vers le panneau solaire. En réfléchissant sur les saisons et la trajectoire du soleil dans la journée, nous avons compris que ces conditions n'étaient pas fréquentes dans le Nord de la France sauf en été lorsque le soleil est au zénith.



## 4.2. PARTENARIAT UNIVERSITAIRE

### 4.2.1. Constat d'un manque de connaissance

Lors de l'expérience précédente, nous avons constaté que la trajectoire du soleil dans le ciel et les panneaux solaires demandaient des connaissances que nous n'avions pas. Pour en savoir davantage sur le soleil et le photovoltaïque, il a fallu trouver une solution. Pour apporter ces nouvelles informations, nous avons fait appel à deux professeurs de la faculté des Sciences appliquées de Béthune : Vincent Molcrette et Vincent Autier, chercheurs et enseignants en licence de Génie Electrique-Energies renouvelables.

### 4.2.2. Cours universitaire



Nous avons pu suivre une séance délocalisée de l'université spécialement adaptée à notre niveau sur le photovoltaïque. Au programme de ce cours, la troisième révolution industrielle, les nouveaux types de panneaux photovoltaïques hybrides, les courbes d'éclairement, la présentation du  $\text{Watt/m}^2$  (Unité de référence pour le calcul), et quelques autres notions relatives au fonctionnement des panneaux.

### 4.2.3. Conseils techniques sur le projet

En fin de séance, nous avons présenté notre projet de parabole solaire pour en vérifier l'intérêt et sa faisabilité. Si les deux professeurs ont trouvé ingénieux l'idée, ils ont aussi détaillé les points qui pourraient poser problèmes et nous ont aidés à trouver des solutions pour les résoudre.

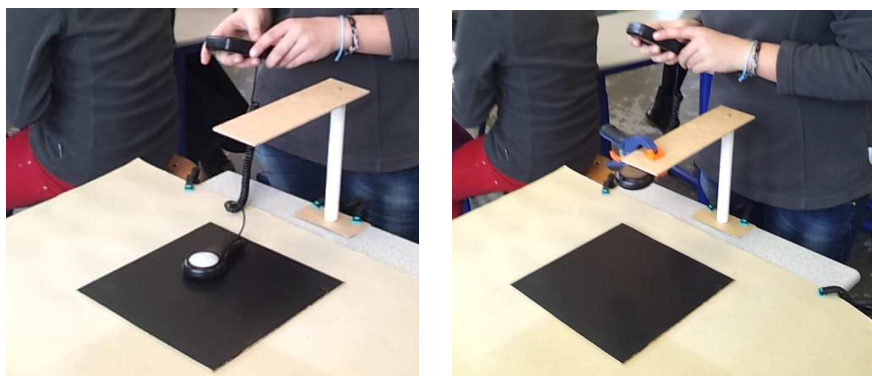
**Premier point :** la couleur de la parabole. Vincent Molcrette a ainsi conseillé de faire des tests de réflectivité sur des échantillons pour trouver quelle serait la peinture qui réfléchirait le mieux la lumière.

**Deuxième point :** le point chaud sur le panneau solaire. Vincent Autier nous a expliqué qu'un panneau solaire perd en efficacité s'il est trop chaud. Il a donc proposé d'étudier en fin de projet la température sur le panneau et de trouver, si le cas se présente, une solution pour en limiter le réchauffement.



### 4.3. REFLECTIVITE

#### 4.3.1. Description



Suite aux conseils prodigués par les professeurs d'université, nous avons mis en place une expérience pour tester la peinture qui aurait la meilleure réflectivité. L'idée est d'utiliser un luxmètre positionné sur la surface et de mesurer l'intensité lumineuse qu'il reçoit. On se place ensuite à une distance fixe de la plaque et on mesure au luxmètre la lumière qui est réfléchiée. En effectuant le rapport entre ces deux valeurs, on pourra comparer les résultats obtenus pour chaque échantillon, sachant que dans un cas de réflectivité totale, la valeur du rapport est de 100%.

#### 4.3.2. Résultats de l'expérience

<b>Aucun vernis</b>	<b>Noir</b>	<b>Gris</b>	<b>Blanc</b>	<b>Argenté</b>	<b>Doré</b>
Lumière sur l'échantillon (lux)	1420	1450	1435	1450	1450
Lumière réfléchiée (lux)	350	380	720	620	515
Rapport (%)	24	26	50	42	35
<b>Vernis Mat</b>	<b>Noir</b>	<b>Gris</b>	<b>Blanc</b>	<b>Argenté</b>	<b>Doré</b>
Lumière sur l'échantillon (lux)	1400	1430	1430	1490	1460
Lumière réfléchiée (lux)	320	340	730	530	450
Rapport (%)	22	23	51	35	30
<b>Vernis Brillant</b>	<b>Noir</b>	<b>Gris</b>	<b>Blanc</b>	<b>Argenté</b>	<b>Doré</b>
Lumière sur l'échantillon (lux)	1430	1450	1430	1440	1410
Lumière réfléchiée (lux)	325	330	750	550	501
Rapport (%)	22	22	<b>52</b>	38	35

## 4.4. PARABOLES PHOTOVOLTAÏQUES

### 4.4.1. Description



Après avoir peint la surface de la parabole avec la couleur la plus réfléchissante, le blanc brillant, nous avons souhaité vérifier si le système fonctionnait. Cette couleur réfléchit 52% de la lumière. Si notre système fonctionne, la parabole renverra donc 52% de la lumière reçue sur sa surface. Cette surface étant beaucoup plus grande que celle du panneau solaire, la

quantité de lumière sera donc beaucoup plus importante sur le panneau. Nous avons placé le panneau solaire à 2 mètres d'une source lumineuse et mesuré la tension. Nous avons ensuite positionné le panneau solaire sur la parabole solaire, en le plaçant donc totalement dos à la source lumineuse.

### 4.4.2. Résultats de l'expérience

Panneau solaire	Tension (V)
Tn : à 2 mètres de la source lumineuse	0,88
Tp : à 2 mètres sur la parabole photovoltaïque	0,92
Gain (Tp/Tn)	104,54%

Le résultat obtenu confirme que l'on peut concentrer la lumière sur le panneau mais le gain est très faible. En effet, notre système permet seulement d'augmenter le rendement de notre panneau d'environ 5%.

### 4.4.3. Création d'un miroir

Pour augmenter la réflectivité de la parabole, nous avons pensé qu'on pourrait remplacer le revêtement de la parabole par un miroir. Nous avons donc collé un film à effet miroir sur une seconde parabole de récupération. Puis, nous avons effectué des mesures à l'aide d'un luxmètre pour vérifier si la lumière était vraiment concentrée grâce à ce nouveau système.

#### 4.4.4. Résultats de la concentration

Position du luxmètre	Lumière (Lux)
Ln : Panneau solaire	200
Lp : Face à la parabole	1500
Gain (Lp/Ln)	<b>750%</b>

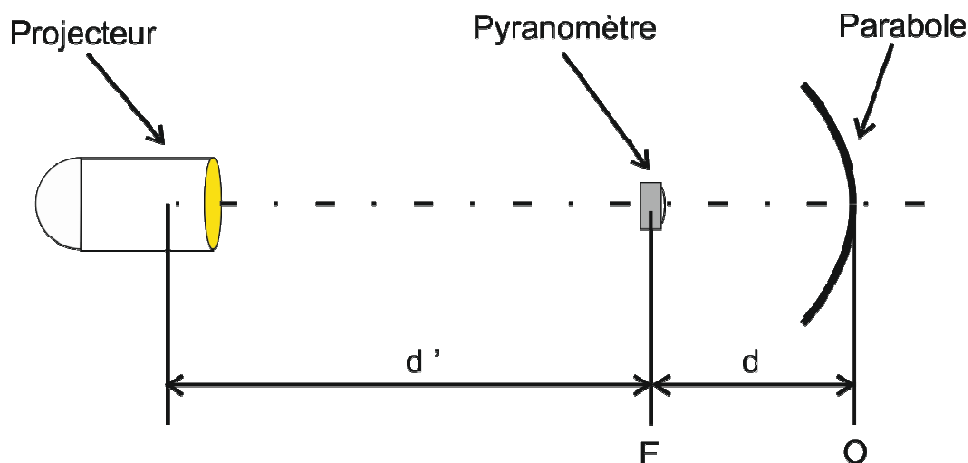


Les résultats sont très prometteurs car la parabole miroir permet une augmentation de 750%. Mais en faisant la mesure, le luxmètre a tellement reçu d'énergie qu'il s'est mis à fumer. Aussi, il est devenu évident que la suite du projet devait être encadrée par des spécialistes, en l'occurrence, les professeurs universitaires du laboratoire de génie civil de la faculté des sciences appliquées de Béthune.

#### 4.5. RECHERCHE DU FOYER AU LABORATOIRE DE GENIE CIVIL

##### 4.5.1. Dispositif expérimental

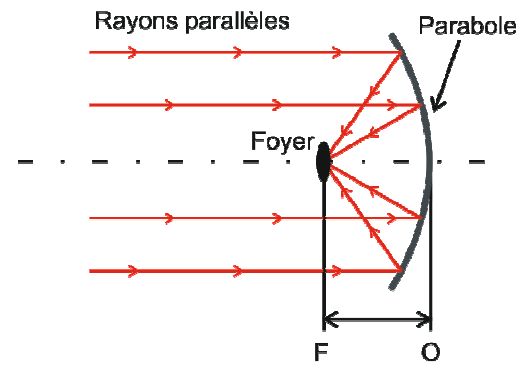
L'objectif est d'avoir une mesure précise de la quantité d'énergie qui est véritablement concentrée. Une des paraboles est placée en face d'un projecteur halogène de puissance réglable. Le pyranomètre étant placé sur l'axe optique de cet ensemble, nous allons déterminer la distance  $d$  à partir du centre  $O$  de la parabole telle que le flux reçu par le pyranomètre soit maximal. Cette distance s'appelle « la distance focale » et détermine la position du foyer. La puissance envoyée par le spot halogène est constante. Pour connaître le flux incident, il suffit de retourner le pyranomètre vers la source pour chaque position.





### 4.5.2. Mesures des flux d'énergie

En optique, les rayons parallèles à l'axe optique convergent vers un point unique qui est appelé le « foyer » de la parabole. C'est cette propriété qui nous aide à concentrer l'énergie. En faisant varier la distance entre le pyranomètre et le centre de la parabole, on va trouver la position exacte du foyer pour y placer le panneau.



Distance OF (cm)	30	31	33	34	36	38	40	44
Flux incident (W/m <sup>2</sup> )	64	64	64	64	65	65	65	65
Flux réfléchi (W/m <sup>2</sup> )	894	1170	1432	<b>1683</b>	1669	1571	1190	898

Afin de vérifier le bon positionnement du foyer, on va écarter le pyranomètre de l'axe optique en conservant une distance constante avec la parabole. Il s'agit de déplacer latéralement le pyranomètre sur un plan perpendiculaire à l'axe optique.

Ecartement du foyer	0	2	4	6	8	10	12	14
Flux incident (W/m <sup>2</sup> )	64	64	64	64	64	64	64	64
Flux réfléchi (W/m <sup>2</sup> )	<b>1683</b>	1500	1100	540	408	195	105	79

### 4.5.3. Bilan de l'expérience

Pour calculer le gain apporté au niveau du panneau, il faut effectuer le rapport entre la quantité d'énergie sans et avec concentrateur au niveau du foyer.

$$\text{Gain} = 1683 \div 64 = 26,25$$

Le système proposé permet donc d'augmenter énormément la production du panneau solaire en récupérant une partie du rayonnement situé à proximité de celui-ci. Le revêtement n'étant pas parfaitement réfléchissant, le foyer de la parabole n'est pas un point unique mais plutôt une surface circulaire. Cette situation est favorable car elle permet d'envoyer la lumière sur toutes les cellules du panneau solaire photovoltaïque.

## 4.6.SIMULATION DE LA PRODUCTION SUR UNE JOURNEE

### 4.6.1.Présentation

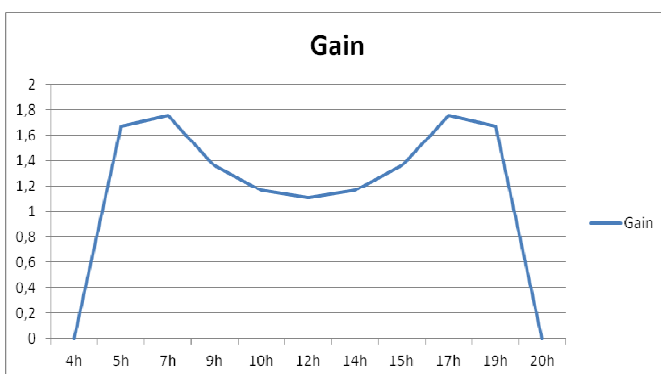
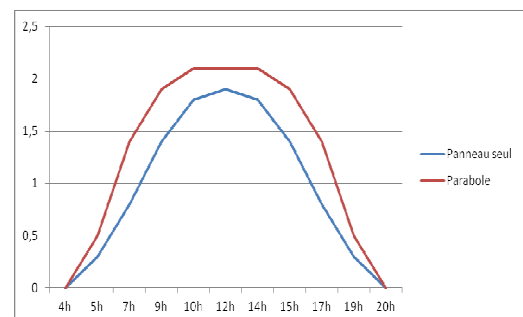
En s'appuyant sur les courbes moyennes d'éclairement fournies par les universitaires, nous avons constaté une symétrie. Nous avons alors défini une demi-plage horaire de fonctionnement et les valeurs du flux en fonction des heures de la journée. A l'aide des variateurs de puissance situés sur les projecteurs, nous avons simulé une journée d'éclairement en se basant sur les valeurs de chaque courbe et mesuré la tension aux bornes du panneau. Le panneau a d'abord été positionné face au projecteur, puis au niveau du foyer, face à la parabole.

### 4.6.2.Résultats de l'expérience

Heure de la journée (heure solaire)	4h	5h	7h	9h	10h	12h
Flux (W/m <sup>2</sup> )	0	200	400	650	750	800
Tension du panneau face au projecteur (V)	0	0,3	0,8	1,4	1,8	1,9
Tension du panneau sur la parabole (V)	0	0,5	1,4	1,9	2,1	2,1
Gain constaté	0	1,6	1,75	1,35	1,16	1,10

### 4.6.3.Analyses des courbes

Le premier graphique représente l'évolution de la tension électrique délivrée par le panneau photovoltaïque pendant une journée d'éclairement. On constate que la parabole permet d'obtenir le rendement maximum du panneau solaire pendant une période beaucoup plus longue.



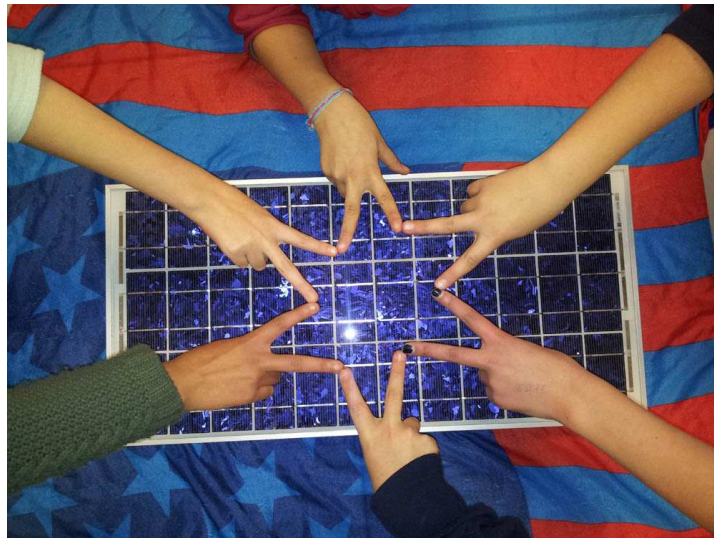
Le second graphique représente l'évolution du gain obtenu au niveau du panneau pendant une journée d'éclairement. Si le gain se révèle très faible en milieu de journée, il est par contre intéressant au lever et au coucher du soleil.

#### **4.6.4. Bilan**

En termes d'efficacité, la parabole solaire photovoltaïque améliore significativement le rendement du panneau. En moyenne, le gain est supérieur à 1,5. Cela signifie qu'avec une parabole et deux panneaux solaires on obtient le même résultat qu'avec 3 panneaux solaires.

En termes d'impact environnemental, la parabole photovoltaïque présente un double intérêt. Elle permet tout d'abord de réutiliser un objet technique qui était devenu un déchet. Elle permet également de limiter la création de nouveaux panneaux en rendant plus efficaces ceux qui existent déjà.

En termes de coût de réalisation, les dépenses pour le film miroir sont nettement inférieures au coût d'un nouveau panneau photovoltaïque. Cette solution est donc très avantageuse car elle permet d'obtenir un meilleur rendement pour un prix quasiment identique.



#### **4.6.5. Contrôle de la chaleur**

A l'aide d'un capteur de température, nous avons observé, comme il nous avait été conseillé, l'évolution de la température sur le panneau solaire. Dès que le rendement maximum est atteint, le panneau se met à chauffer car il n'est plus en mesure de transformer l'énergie et l'accumule sous forme de chaleur.

Pour le refroidir, nous avons pensé à coller un dissipateur thermique que l'on trouve sur les micro-processeurs d'ordinateurs. Cette chaleur étant dissipée dans l'environnement, elle est perdue. On pourrait imaginer un système de refroidissement par eau à l'arrière du panneau pour emmagasiner cette chaleur et la récupérer pour le chauffage par exemple.



## 5. CONCLUSION

### 5.1. PROJET PEDAGOGIQUE

Au fil de toutes ces expériences, les élèves ont découvert de nombreuses relations et principes scientifiques. Ils ont également pu démontrer que leur projet de concentrer la lumière en recyclant une parabole pour en faire un concentrateur était une bonne idée.

La participation au concours C-Génial a permis de créer une ambiance de travail sérieuse, appliquée et motivante pour la plupart des élèves. Chacun a pu s'affirmer et retirer de ce projet une satisfaction personnelle à la hauteur de son implication individuelle. Tous les élèves ont acquis des compétences technologiques nouvelles grâce à leur travail.

La relation Collège - Université – Entreprise a réuni différents acteurs susceptibles d'œuvrer à leur échelle et avec leurs moyens, au développement d'une idée nouvelle. Ainsi, nous avons pu constater qu'en initiant toutes ces synergies, le projet pédagogique « La parabole solaire photovoltaïque » a été un moyen de :

- ⇒ Promouvoir auprès des élèves les formations technologiques
- ⇒ Diffuser la culture scientifique et technique
- ⇒ Mettre en valeur le partenariat établissements scolaires – entreprises
- ⇒ Faire connaître des projets scientifiques et techniques innovants

### 5.2. LES ELEVES

**Inès, Chloé, et Renaud :** « Non seulement on a fait des expériences, mais on est sorti du cadre du collège pour avoir d'autres connaissances ! »

**Azania, Chérines, et Elorri :** « C'était très intéressant et on s'est bien amusées. On a appris plein de nouvelles choses en sortant du collège. »

**Noëlle et Elise :** « On a réussi à inventer un objet qui fonctionne bien et on en connaît un peu plus sur le photovoltaïque maintenant. »