

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
A. GENERALITES	2
I. L'ENERGIE RENOUVELABLE	2
1. Définition de l'énergie renouvelable	2
2. Les différents types de sources d'énergie renouvelable	2
a. L'énergie hydraulique	3
b. La biomasse	4
c. L'énergie éolienne	4
d. L'énergie géothermique	6
e. L'énergie solaire	7
f. Conclusion	8
II. LE RAYONNEMENT SOLAIRE	8
III. TRANSFORMATION DE L'ENERGIE DE RAYONNEMENT	
SOLAIRE EN ENERGIE ELECTRIQUE	10
1. Effet photoélectrique	10
a. Cellule photoélectrique	12
b. Bilan énergétique	14
2. ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE	16
a. Historique et principe	16
b. Les semi-conducteurs	17
c. La jonction P-N	18
3. LA CELLULE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	19
a. Fonctionnement	19
b. Caractéristiques de la cellule	21
c. Production électrique d'un module en une journée	22
d. Les différentes technologies	24
e. Le fonctionnement d'un système photovoltaïque en site isolé	26
f. Site connecté au réseau	27

SOMMAIRE

4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE	28
a. Avantages de l'énergie photovoltaïque	28
b. Inconvénients et limites.	28
B. DIDACTICIEL POUR L'APPRENTISSAGE	29
1. Phase de présentation du module	30
2. Etude des transformations de l'énergie de rayonnement solaire en énergie électrique	30
CONCLUSION	78
BIBLIOGRAPHIES ET WEBOGRAPHIES	80

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution des charges dues aux ENR entre 2009 et 2050	2
Figure 2 : Energie hydroélectrique	3
Figure 3 : Energie marémotrice	4
Figure 4 : Champ de tournesol	4
Figure 5 : Moulins à vent équipé de pales en forme de voile	5
Figure 6 : Energie éolienne	6
Figure 7 : Les gisements géothermiques	7
Figure 8 : Energie solaire thermique	8
Figure 9 : Courbe du rayonnement solaire	9
Figure 10 : La mise en évidence de l'émission photoélectrique	11
Figure 11 : Albert Einstein	12
Figure 12 : Type de cellule	13
Figure 13 : Cellule permettant l'étude des lois de l'émission photoélectrique	13
Figure 14 : Intensité I du courant photoélectrique	15
Figure 15 : Dopage de type n	18
Figure 16 : Dopage de type p	18
Figure 17 : La jonction P-N	19
Figure 18: Coupe d'une cellule photovoltaïque	21
Figure 19 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	21
Figure 20 : Puissance crête d'un module photovoltaïque	22
Figure 21: Cellule monocristalline	24
Figure 22 : Structure polycristalline	25
Figure 23 : Les modules photovoltaïques amorphes	26
Figure 24 : Site isolé	26
Figure 25 : Site connecté au réseau	27

INTRODUCTION

A Madagascar, il est vrai que le charbon de bois et le pétrole sont aujourd'hui les deux principales sources d'énergies utilisées. Or ces deux énergies ne sont pas éternellement à la disposition des usagers. Les sources de ces énergies renouvelables présentent l'avantage d'être disponibles en quantité illimitée. Leur exploitation est un moyen de répondre aux besoins en énergie tout en préservant l'environnement. Elles sont de plus en plus utilisées et développées car elles permettent de faire des économies d'énergie et participent au développement durable.

Les principales formes d'énergie renouvelable sont l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie issue de la biomasse, l'énergie géothermique et l'énergie hydraulique.

L'exploitation de ces énergies reste inconnue des élèves malgaches.

Ce présent mémoire intitulé : « TRANSFORMATION DE L'ENERGIE DE RAYONNEMENT SOLAIRE EN ENERGIE ELECTRIQUE : cas d'une plaque solaire photovoltaïque » propose quelques solutions au problème cité ci-dessus. Il est consacré à l'élaboration d'un didacticiel permettant de comprendre le fonctionnement d'une plaque solaire photovoltaïque. Il explique comment l'énergie électrique est obtenue à partir du rayonnement solaire.

Ce travail est fondé sur trois objectifs : premièrement, conscientiser les élèves aux bienfaits de la science, deuxièmement faire comprendre le principe de fonctionnement d'une plaque solaire photovoltaïque et enfin introduire la technologie d'information et de la communication à l'enseignement (TICE) pour enseigner le chapitre « effet photoélectrique » en classe secondaire.

Ce mémoire est constitué de deux parties : la première partie contient les données bibliographiques et webographiques permettant de comprendre le contenu de l'outil didactique, la deuxième partie concerne l'élaboration de l'outil : cette deuxième partie se divise en quatre sous-parties : la première offre des documentations concernant l'énergie renouvelable et le rayonnement solaire, la deuxième traite l'effet photoélectrique et présente des évaluations qui se rapportent à ce phénomène, la troisième est consacrée à la description des cellules photovoltaïques à silicium monocristallin, à silicium polycristallin, amorphe et la quatrième propose des évaluations formatives qui ont pour but de renforcer les acquis des élèves.

A. GENERALITES

I. L'ENERGIE RENOUVELABLE

1. Définition de l'énergie renouvelable :

(www.mouhandess.org/fldr/renouvables.pdf)

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de l'homme. Les énergies renouvelables sont issues des phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (géothermique). Aujourd'hui, on assimile souvent par abus de langage les énergies renouvelables aux énergies propres.

Par opposition aux énergies fossiles et fissiles qui sont des énergies de stock, les énergies renouvelables sont des énergies de flux : elles se régénèrent en permanence au rythme du soleil et ses dérivés (le vent, les cours d'eau, les vagues, les courants marins, la chaleur naturelle et la croissance de la biomasse), ainsi que des marées et de la chaleur naturelle de la terre.

2. Les différents types de sources d'énergie renouvelable : (www.mrm.gov.pf/)

Les énergies renouvelables regroupent un grand nombre de systèmes différents, selon la source d'énergie valorisée et la forme d'énergie obtenue.

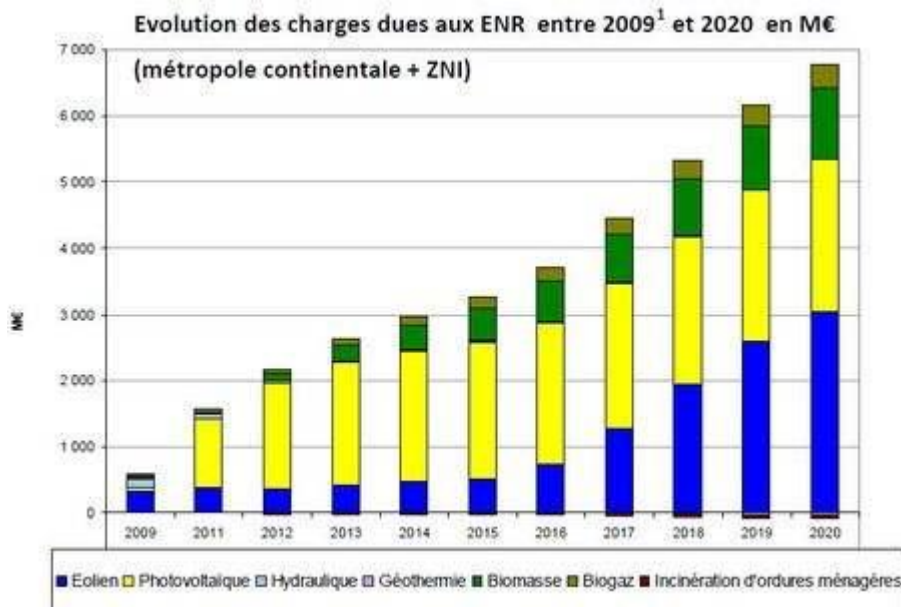


Figure 1 : Evolution des charges dues aux ENR entre 2009 et 2050 (source : planetscop.com)

a. L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique tire son origine dans les phénomènes météorologiques et donc du Soleil. Ces phénomènes prélèvent de l'eau principalement dans les océans et en libèrent une partie sur les continents à des altitudes variables. On parle du cycle de l'eau pour décrire ces mouvements.

L'eau en altitude possède une énergie potentielle de pesanteur. Cette énergie peut être alors captée et transformée lors des mouvements de l'eau qui retourne vers les océans.

L'énergie hydraulique peut être directement utilisée sous forme d'énergie mécanique, l'eau d'un ruisseau fait tourner la roue d'un moulin à eau. L'énergie hydraulique peut également être convertie en énergie hydroélectrique ou marémotrice.

L'énergie hydroélectrique : est une énergie électrique obtenue par conversion de l'énergie hydraulique des différents flux d'eau (fleuve, rivières, chute d'eau, courants marins,...) l'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie hydroélectrique est une énergie renouvelable. Elle est aussi considérée comme une énergie propre, bien qu'elle fasse parfois l'objet de contestations environnementales, soit en raison de son empire foncier, soit plus récemment sur son bilan carbone.



Figure 2 : Energie hydroélectrique (source : Marwan JARKAS)

L'énergie marémotrice : est issue des mouvements de l'eau créés par les marées, causés par l'effet conjugué des forces de gravitation de la lune et du soleil et récupérés en mer par des turbines marémotrices.



Figure 03 : Energie marémotrice (source : Marwan JARKAS)

b. La biomasse :

La biomasse est le produit de la photosynthèse des végétaux. Cette réaction photochimique transforme et stocke l'énergie solaire sous forme d'énergie chimique. Cette transformation peut atteindre une efficacité maximum de 05%. Il faut cependant garder à l'esprit que, outre les filières alimentaires, la valorisation sous forme d'énergie n'est pas la seule utilisation possible de la biomasse.

Pour des applications énergétiques la biomasse est transformée en un combustible ou un carburant.



Figure 4 : Champ de tournesol

c. L'énergie éolienne :

L'activité solaire est la principale cause des phénomènes météorologiques. Ces derniers sont notamment caractérisés par des déplacements de masse d'air à l'intérieur de

l'atmosphère. C'est l'énergie mécanique de ces déplacements de masse d'air qui est à la base de l'énergie éolienne.

L'énergie éolienne a aussi été vite exploitée à l'aide de moulins à vent équipés de pales en forme de voile. Ces moulins utilisent l'énergie mécanique pour actionner différents équipements. Les meuniers utilisent des moulins pour faire tourner une meule à grains. Aujourd'hui, ce sont les éoliennes qui prennent la place des moulins à vent. Les éoliennes transforment l'énergie mécanique en énergie électrique, soit pour l'injecter dans un réseau de distribution soit pour être utilisé sur place (site isolé de réseau de distribution).



Figure 5 : Moulins à vent équipé de pales en forme de voile (source : Marwan JARKAS)

L'énergie éolienne peut être utilisée de plusieurs manières :

- Conservation de l'énergie mécanique: le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (Navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau ou pour faire tourner la meule d'un moulin. Transformation en force motrice (pompage de liquides, compression de fluides...).
- Production d'énergie électrique ; l'éolienne est alors couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne au sein d'un système « autonome ».



Figure 6 : Energie éolienne (source : Marwan JARKAS)

d. L'énergie géothermique :

La géothermie est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. L'utilisation des ressources géothermales se décompose en deux grandes familles : la production d'électricité et la production de chaleur. En fonction de la ressource, de la technique utilisée et des besoins, les applications sont multiples. Le critère qui sert de guide pour bien cerner la filière est la température. Ainsi, la géothermie est qualifiée de « haute énergie » (plus de 150°C), « moyenne énergie » (90 à 150°C), « basse énergie » (30 à 90°C) et « très basse énergie » (moins de 30°C).

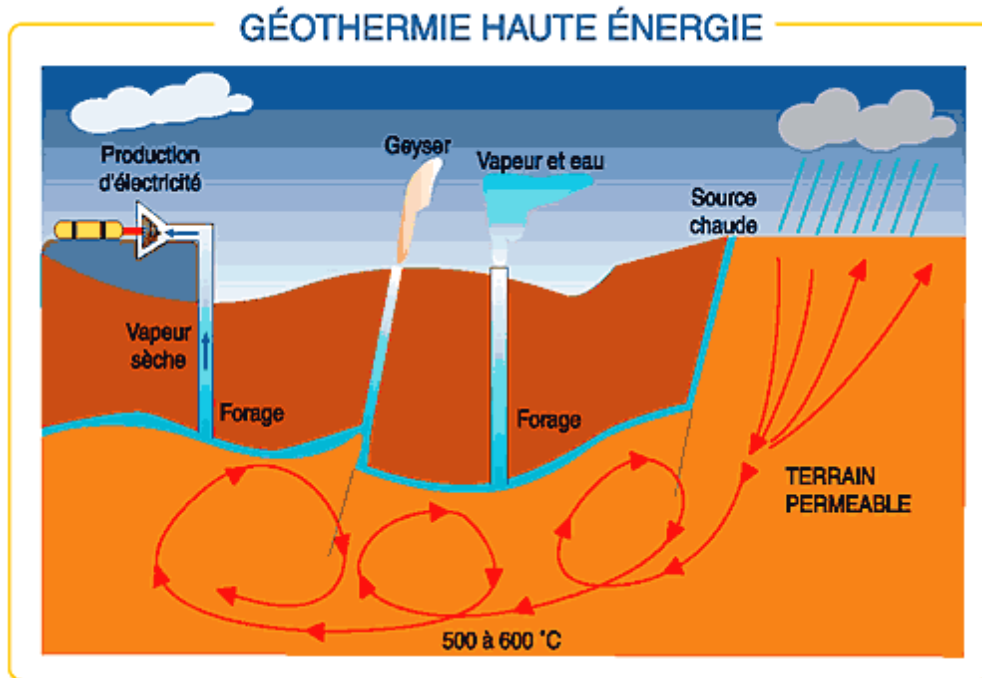


Figure 7 : Les gisements géothermiques (source : RW DGRNE)

e. L'énergie solaire :

L'énergie solaire correspond au type d'énergie que le soleil diffuse dans l'atmosphère par son rayonnement. Elle est obtenue grâce à des panneaux solaires et est utilisée par les humains sous deux formes différentes : électrique et thermique. L'énergie électrique permet de transformer les rayons du soleil en électricité, tandis que l'énergie thermique est plutôt utilisée pour produire de la chaleur (ex. : pour chauffer l'eau d'une maison). Les panneaux solaires peuvent être installés partout où le soleil brille à longueur d'année, comme c'est le cas pour les pays situés aux abords de la ligne équatoriale, mais peuvent également servir de source d'énergie d'appoint dans les régions plus nordiques.

Le soleil est la principale source des différentes formes d'énergies renouvelables disponibles sur terre. L'énergie solaire a directement pour origine l'activité du Soleil. Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel on trouve notamment les rayons cosmiques, gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge,... Tous ces types de rayonnement électromagnétique émettent de l'énergie.

L'énergie solaire est capturée par des capteurs (panneaux) installés généralement sur le toit qui la transforme soit en chaleur (solaire thermique) soit en électricité (solaire photovoltaïque).



Figure 8 : Energie solaire thermique (source : Marwan JARKAS)

f. Conclusion :

Les énergies renouvelables nous proposent de multiples façons de produire de l'énergie. Elles donnent aussi plusieurs avantages:

- ✓ Plus les sources sont variées, plus l'indépendance énergétique est assurée.
- ✓ Décentralisation qui privilégie des petites unités de production locale.
- ✓ Facilité d'installer, d'utiliser et de combiner plusieurs sources en même temps.
- ✓ Coût au kWh fixe, faible et stable.
- ✓ L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.

II. LE RAYONNEMENT SOLAIRE : (Oleksiy Nichiporuk, thèse en PC 2005 INSA de Lyon)

Le développement, l'optimisation et la caractérisation des cellules photovoltaïques impliquent une certaine connaissance de la source d'énergie utilisée : le soleil. La source de celui-ci se comporte comme un corps à la température d'environ 6000K. Ceci conduit à un pic d'émission situé à une longueur d'onde de $5,5\mu\text{m}$ pour une puissance d'environ $60\text{MW}/\text{m}^2$, soit un total de $9,5.10^{25}\text{W}$. En tenant compte de la surface apparente du soleil et de la distance entre celui-ci et la terre, cela conduit à un éclairement moyen dans l'année de $1,36\text{kW}/\text{m}^2$ hors atmosphère.

Cette irradiance est pondérée par des divers facteurs à la surface de la terre : absorption par les molécules des différentes couches de l'atmosphère, condition climatique, latitude du lieu d'observation et saison. (Exemple : des gaz comme l'ozone, pour des longueurs d'ondes inférieures à $0,3\mu\text{m}$)

Afin de comparer et unifier les performances des cellules photovoltaïques élaborées dans les différents laboratoires du monde, il a été institué la notion d'Air Mass (AM). Elle quantifie la quantité de puissance absorbée par l'atmosphère en fonction de l'angle du soleil par rapport au zénith.

Si le soleil est au zénith du lieu d'observation, $AM = 1$. On note AM1. Le spectre standard le plus étudié est AM1,5G, G signifiant global. AM1,5 G donne une irradiance de 1kW/m^2 .

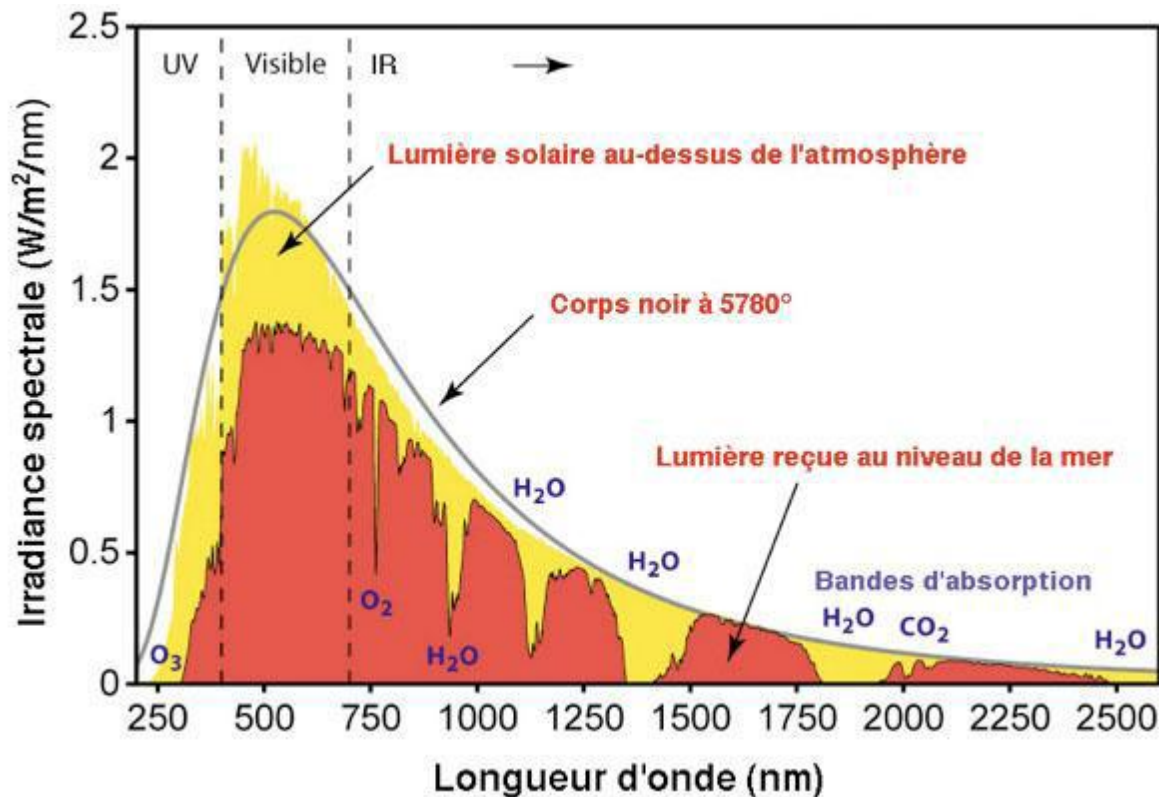


Figure 9 : Courbe du rayonnement solaire (source : APERe)

La théorie « corpusculaire » de Max Planck prévoit que tout rayonnement de fréquence peut être considéré comme un flux de photons dont l'énergie élémentaire est directement proportionnelle à cette fréquence. De ce fait, ce sont les rayonnements de courte longueur d'onde (ou de haute fréquence) qui sont les plus énergétiques.

Notre œil perçoit une partie seulement du rayonnement solaire, celle située dans le domaine dit visible, de longueurs d'onde comprises entre $0,40$ et $0,80 \mu\text{m}$. Le Soleil émet cependant dans une large gamme de longueurs d'onde, allant (dans le sens des petites vers les grandes longueurs d'onde) des rayons gamma aux grandes ondes radioélectriques, en passant par les rayons X, le rayonnement ultraviolet, le rayonnement visible, le rayonnement infrarouge et le rayonnement hyperfréquences.

La Terre reçoit également en permanence de l'atmosphère solaire du plasma qui constitue le vent solaire (flux de protons, de neutrons, d'hélium et d'électrons éjectés à une vitesse

de 300 à 900 km.s⁻¹ des couches extérieures de la couronne solaire). Ces éjections de matière coronale s'accompagnent d'ondes de choc qui se propagent dans le vent solaire. Lors des plus fortes éruptions solaires, des particules accélérées (protons) peuvent atteindre la Terre et produire de grandes perturbations sur l'environnement terrestre. Ces périodes sont connues sous le nom « d'événements à protons ». Pendant ces périodes de très forte activité solaire, le Soleil émet davantage de rayons X et d'ultraviolets. L'atmosphère terrestre qui les absorbe s'échauffe et se dilate, entraînant un freinage des satellites dont les orbites sont les plus basses. Les événements à protons sont accompagnés « d'orages géomagnétiques » qui peuvent aussi perturber les satellites géostationnaires en modifiant le champ magnétique terrestre sur lequel ces satellites sont « calés ».

III. TRANSFORMATION DE L'ENERGIE DE RAYONNEMENT SOLAIRE EN ENERGIE ELECTRIQUE :

1. Effet photoélectrique (www.dplusa.fr/pdf)

On appelle effet photoélectrique, l'extraction d'électrons de la matière par un rayonnement électromagnétique.

La mise en évidence expérimentale du phénomène a été effectuée par Hertz en 1887 ; On électrise le conducteur formé par la plaque de zinc et l'électroscope, puis on éclaire la plaque avec une source émettant une lumière riche en radiation ultraviolettes.

Si la charge électrique du conducteur est positive, l'illumination ne produit aucun changement dans l'écartement des feuilles de l'électroscope ; le conducteur reste donc chargé.

Par contre si la charge est négative, les feuilles retombent rapidement, preuve que le conducteur se décharge.

On électrise de nouveau ce conducteur négativement, puis on éclaire la plaque après avoir interposé entre elle et la source une lame de verre qui absorbe l'ultraviolet : la décharge n'a plus lieu.

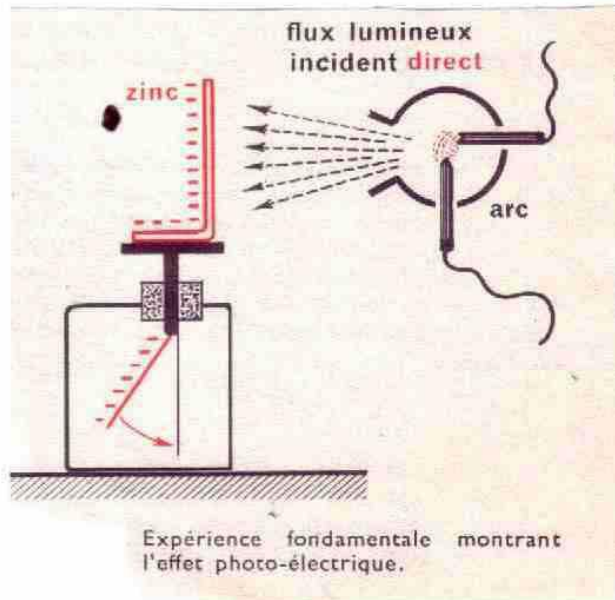


Figure 10 : La mise en évidence de l'émission photoélectrique

Ces observations montrent qu'une plaque de zinc électrisée négativement se décharge quand elle reçoit des radiations ultraviolettes. Quand la lame est chargée négativement, elle possède en effet des électrons en excès, quand elle se décharge sous l'effet de la lumière riche en ultraviolet, elle perd ses électrons. La lumière est donc capable d'extraire des électrons d'un métal. Cette propriété caractérise l'effet photoélectrique.

Albert Einstein (1879-1955) considère la lumière plus généralement le rayonnement électromagnétique comme un flux de particules indivisibles appelé PHOTONS. Chaque photon transporte son énergie propre appelée le « quantum d'énergie ». Ainsi le choc d'un photon incident d'énergie suffisante avec un électron du métal expulse ce dernier par transfert d'énergie du photon à l'électron.

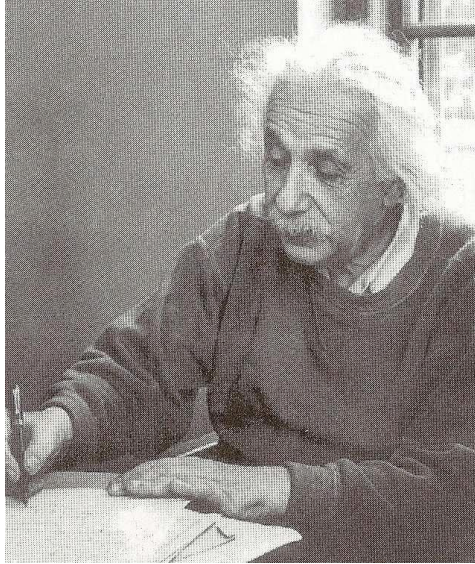


Figure 11 : Albert Einstein

a. Cellule photoélectrique : (www.dplusa.fr)

Une cellule photoélectrique est constituée par une ampoule en verre spécial, transparent à l'ultraviolet, dans laquelle règne un vide aussi parfait que possible et qui comporte : Une cathode C, formée par une couche du métal pur à étudier et une anode A, réduite à un fil (ou à une boule) métallique.

L'anode, portée à un potentiel supérieur à celui de la cathode, capte les électrons qu'expulse le métal de la cathode lorsqu'il est éclairé par une source convenable, il en résulte, dans le circuit extérieur, un courant de très faible intensité que l'on mesure au moyen d'un galvanomètre très sensible.

La cathode est éclairée par une lumière monochromatique dont on peut faire varier l'intensité et la fréquence.

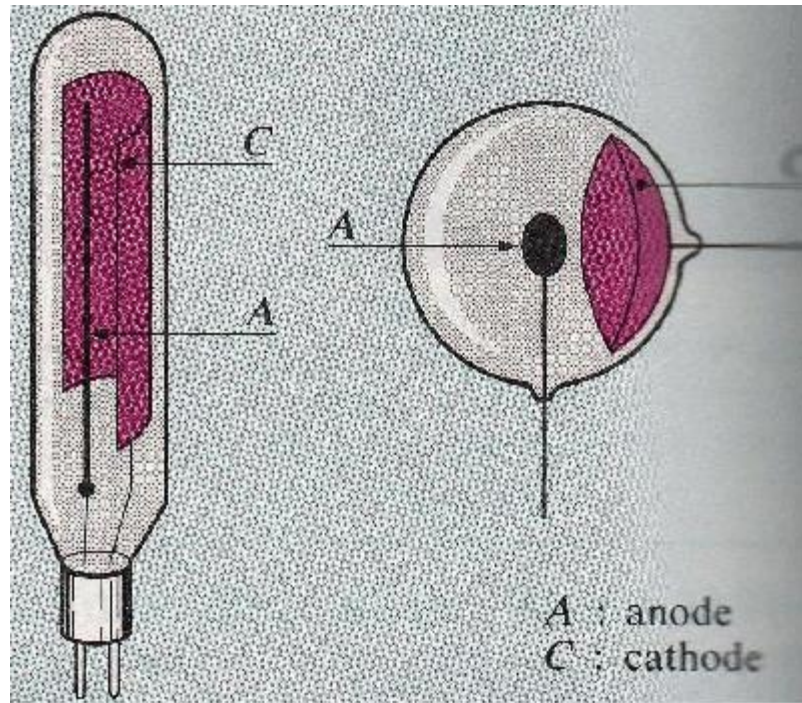


Figure 12 : Type de cellule

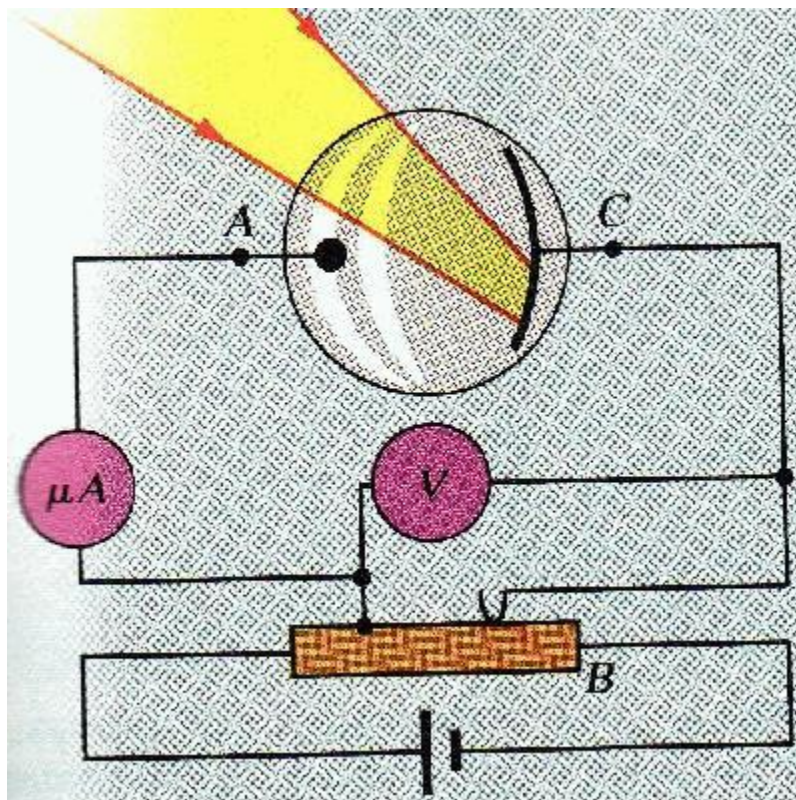


Figure 13 : Cellule permettant l'étude des lois de l'émission photoélectrique

En effet, pour un métal pur, l'effet photoélectrique ne se produit que si la fréquence γ de la lumière excédentaire est supérieure à une limite γ_0 , caractéristique de ce métal. Il revient au même de dire que la longueur d'onde

$$\lambda = \frac{c}{\gamma}$$

doit être inférieure à une longueur d'onde limite λ_0 qui caractérise le seuil d'extraction.

Par exemple, la longueur d'onde limite étant $\lambda_0 = 0.55\mu\text{m}$, pour le potassium, une cellule à cathode de potassium ne débite un courant que si elle reçoit de la lumière contenant des radiations de longueur d'onde inférieure à $0.55\mu\text{m}$

Voici les longueurs d'onde qui correspondent aux seuils photoélectriques de quelques métaux purs :

Césium	0.66μm	Radiations visibles
Potassium	0.55μm	
Calcium	0.45μm	
Zinc	0.37μm	Radiations ultraviolettes
Cuivre	0.29μm	
Argent	0.27μm	
Platine	0.19μm	

En résumé, la longueur d'onde seuil λ_0 est la plus grande valeur de la longueur d'onde de la radiation à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique d'un métal et la fréquence seuil γ_0 est la plus petite valeur de la fréquence de la radiation à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique d'un métal.

b. Bilan énergétique :

On observe que le courant photoélectrique apparaît et cesse en même temps que l'irradiation de la cathode. Commandée par la lumière, la cellule répond immédiatement.

Pour une lumière de fréquence γ donnée, l'intensité du courant photoélectrique dépend de la puissance rayonnante reçue par la cathode et de la différence de potentiel appliquée entre l'anode et la cathode ($V_A - V_C$)

Si le faisceau de la lumière qui frappe la cathode transporte une puissance rayonnante constante, le courant photoélectrique varie en fonction de la différence de potentiel ($V_A - V_C$). Au-delà d'une certaine valeur de la différence de potentiel, on obtient la saturation : l'intensité I du courant n'augmente plus parce que tous les électrons émis par la cathode sont captés par l'anode dans le même temps. L'intensité I du courant de saturation mesure donc l'intensité de l'effet photoélectrique qui correspond à la valeur actuelle de la puissance rayonnante reçue par la cathode.

Si l'on envoie successivement sur la cathode des puissances rayonnantes de valeur P_1, P_2, \dots , on obtient des courants de saturation I_1, I_2, \dots

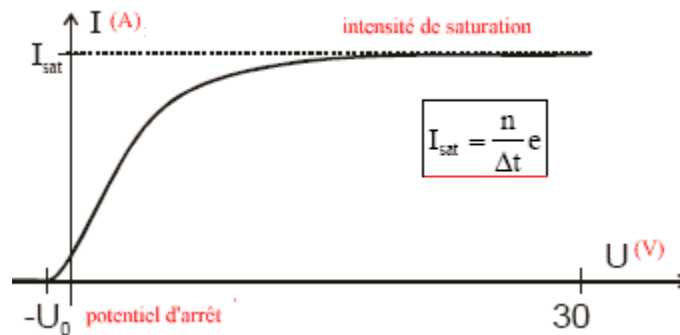


Figure 14 : Intensité I du courant photoélectrique

Le courant photoélectrique s'annule lorsque la différence de potentiel ($V_A - V_C$) entre l'anode et la cathode atteint une certaine valeur négative $-U_0$. A une différence de potentiel négative correspond un champ électrique antagoniste qui ralentit les électrons expulsés par la cathode.

Tous les électrons ne sont pas expulsés avec la même vitesse. Pour que les électrons qui sont expulsés avec la vitesse maximale soient arrêtés, il faut donner la valeur $-U_0$ à la différence de potentiel entre l'anode et la cathode.

La valeur absolue U_0 est appelée le potentiel d'arrêt.

$$E_{c_{max}} = e |U_0|$$

La détermination de ce potentiel d'arrêt U_0 permet donc de connaître l'énergie cinétique maximale des électrons à la sortie du métal.

Pour qu'un électron soit expulsé d'un métal sous l'action d'une radiation convenable, il doit absorber une énergie rayonnante W au moins égale à un certain travail d'extraction W_0 , variable avec la nature du métal. Si l'énergie W absorbée par l'électron est supérieure à W_0 , la différence se trouve dans l'énergie cinétique de l'électron expulsé, de sorte que cette énergie cinétique est égale à

$$E_c = W - W_0$$

Or nous venons de voir que l'énergie cinétique ne dépend que de la fréquence γ de la radiation qui transporte cette énergie :

$$\frac{1}{2} m v^2 = h(\gamma - \gamma_0)$$

Dans laquelle γ_0 est la fréquence qui caractérise le seuil photoélectrique du métal, h est la constante de Planck indépendante de la nature du métal.

Et on en déduit que le terme $h\gamma$ est l'énergie absorbée par un électron expulsé et $h\gamma_0$ le travail d'extraction d'un électron.

$$W_0 = h\gamma_0 \text{ et } W = h\gamma \quad \text{avec} \quad h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

2. ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE :

a. Historique et principe (www.univ-pau.fr)

Découvert en 1839 par Alexandre Edmond Becquerel, l'effet photovoltaïque caractérise la conversion de la lumière en électricité par des matériaux semi-conducteurs.

Dans un cadre plus général, Hertz, découvre en 1887 l'effet photoélectrique qui consiste en l'émission de charges négatives (les électrons, découverts en 1897 par Thomson) lorsqu'un matériau est soumis à une onde électromagnétique de fréquence suffisamment élevée comme la lumière visible par exemple.

D'après Einstein, il s'agit dans ce cas d'un transfert d'énergie des photons incidents (les « grains de lumière ») absorbés par la matière vers un ou plusieurs électrons de la périphérie des atomes du matériau. Les électrons sont alors libérés de

l'attraction du noyau de l'atome: ils ont assez d'énergie pour pouvoir être accélérés par un champ électrique, ce qui engendre un courant électrique.

L'énergie des photoélectrons dépend notamment de la fréquence de l'onde électromagnétique incidente car $E = h \cdot \nu$ où h est la constante de Planck et ν la fréquence de l'onde (en Hz).

Le nombre d'électrons émis (le courant) est proportionnel à l'intensité de la source électromagnétique, par exemple l'ensoleillement, comme on le constatera plus loin avec les cellules solaires.

b. Les semi-conducteurs : (source : <http://www.cea.fr>)

Un semi-conducteur est un composé dont la conductivité électrique (plus forte que celle des isolants, mais plus faible que celle des métaux) augmente par addition d'impuretés dans sa structure. Le semi-conducteur le plus courant est à base de silicium Si, un élément chimique le plus souvent associé à l'oxygène dans la silice SiO_2 , donc très abondant dans la nature. Chaque Si comporte 4 électrons périphériques, appelés électrons de valence, et chacun de ses quatre voisins apporte un électron à mettre en commun pour créer quatre liaisons avec ses plus proches voisins. Il y a donc huit électrons externes autour de chaque Si (configuration stable). Le principe est ensuite d'utiliser les éléments voisins dans la classification périodique, comme le phosphore P et le bore B, qui ont respectivement un électron périphérique en plus et un électron périphérique en moins que le silicium. Si de temps en temps un atome P remplace un Si (c'est une impureté représentant une fraction de %), il apporte non pas quatre, mais cinq électrons, et se trouve avec neuf électrons périphériques, configuration qui n'est plus stable. Un électron a donc tendance à quitter ce système où il n'est pas bienvenu, et devient alors une charge négative mobile, laissant donc derrière elle une charge positive fixe, liée à l'atome de phosphore. Le caractère négatif de la charge mobile a donné à ce type de semi-conducteur son appellation : de type n.

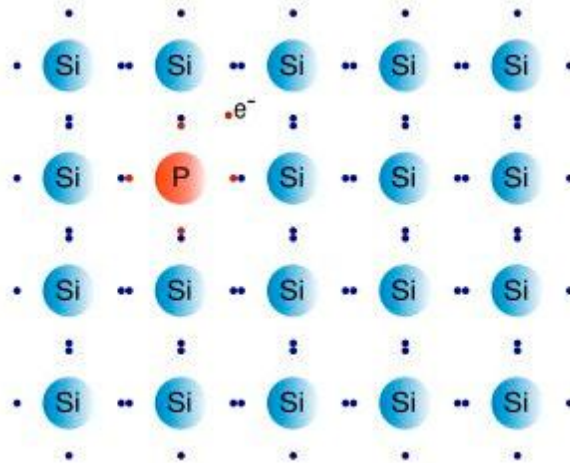


Figure 15 : Dopage de type n

Le cas du semi-conducteur de type p est symétrique du précédent. L'atome de bore (B) n'a que trois électrons périphériques et, dans ce cristal, il a besoin d'en retrouver un supplémentaire avec l'arrivée de l'électron. Ce dernier devient alors fixe, lié au bore. C'est l'équivalent d'une charge positive (défaut d'électron) quittant l'atome de bore pour devenir un trou positif mobile. En somme, pour revenir à 4 électrons comme Si, les impuretés libèrent un électron (cas de P) ou en capturent un (cas de B).

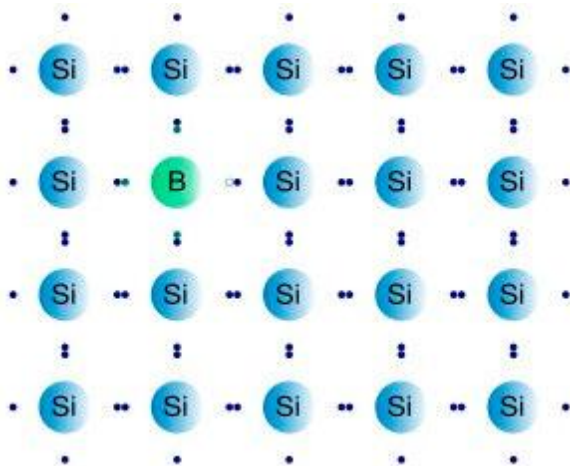


Figure 16 : Dopage de type p

c. La jonction P-N (source : <http://www.cea.fr>)

Une jonction P-N est créée en juxtaposant un semi-conducteur dopé P avec un semi-conducteur dopé N. On l'utilise dans de nombreux dispositifs électroniques.

Les électrons, majoritaires dans la zone N vont migrer vers la zone P. Ce mouvement de charges polarise la jonction : la zone N proche de la jonction devient électriquement positive et la zone P devient électriquement négative. Un champ électrique interne est créé. Mais cette diffusion de charges crée un autre champ en sens inverse. A l'équilibre thermodynamique, les deux courants s'annulent.

Quand une onde électromagnétique de fréquence adaptée vient frapper la jonction, certains photons libèrent une paire « électron-trou ». Les porteurs de charges gagnent de l'énergie et sont accélérés par le champ électrique interne. Un courant circule alors si on ferme le circuit.

Tout le solaire photovoltaïque fonctionne sur ce principe et la communauté scientifique tente de rechercher en recherche d'optimiser son utilisation avec différentes technologies et processus industriels.

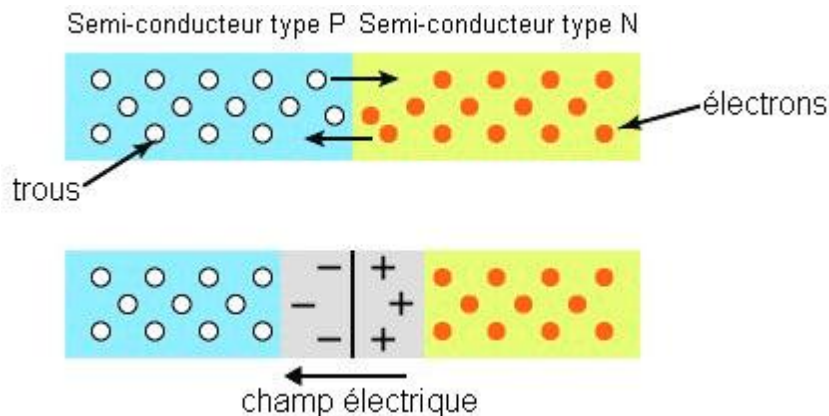


Figure 17 : La jonction P-N (source : APERe)

3. LA CELLULE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

a. Fonctionnement : (www.cea.fr/content.pdf)

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se

crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron-trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circule. L'effet repose donc à la base sur les propriétés semi-conductrices du matériau et son dopage afin d'en améliorer la conductivité. Le silicium employé aujourd'hui dans la plupart des cellules a été choisi pour la présence de quatre électrons de valence sur sa couche périphérique (colonne IV du tableau de Mendeleïev). Dans le silicium solide, chaque atome (dit tétravalent) est lié à quatre voisins, et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons. Si un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne V (phosphore par exemple), un de ses cinq électrons de valence ne participe pas aux liaisons; par agitation thermique, il va très vite passer dans la bande de conduction et ainsi devenir libre de se déplacer dans le cristal, laissant derrière lui un trou fixe lié à l'atome de dopant. Il y a conduction par un électron, et le semi-conducteur dit dopé de type n. Si au contraire un atome de silicium est remplacé par un atome de la colonne III (bore par exemple) à trois électrons de valence, il en manque un pour réaliser toutes les liaisons, et un électron peut rapidement venir combler ce manque et occuper l'orbitale vacante par agitation thermique. Il en résulte un trou dans la bande de valence, qui va contribuer à la conduction, et le semi-conducteur est dit dopé de type p. Les atomes tels que le bore ou le phosphore sont donc des dopants du silicium. Les cellules photovoltaïques sont assemblées pour former des modules.

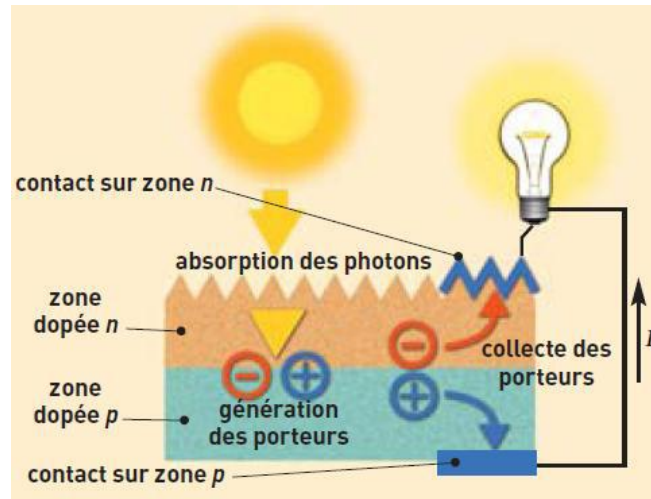
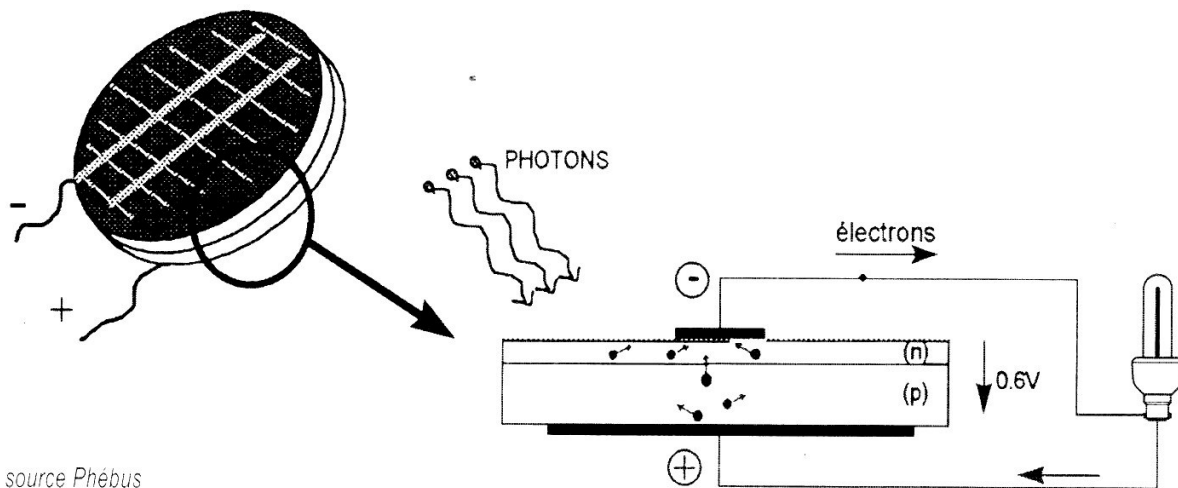


Figure 18: Coupe d'une cellule photovoltaïque
 (<http://www.cea.fr/fr/Publications/clefs50/encadred.pdf>)



source Phébus

Figure 19 : Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque (source ; Phébus)

b. Caractéristiques de la cellule (www.connaissancedesenergie.org)

Les tests de cellules solaires s'effectuent dans des conditions normalisées :

- ✓ Rayonnement solaire instantané de 1000W/m^2
- ✓ Spectre solaire AM 1,5 normalisé (1,5 fois la masse atmosphérique traversée par un rayon de soleil si celui-ci est au zénith)
- ✓ Température ambiante de 25°C

On parle aussi de conditions STC (Standard Test Conditions). Ces conditions sont rarement rencontrées et sont donc très optimistes.

Les puissances nominales exprimées en W_c (Watt crête) font référence à ces conditions normalisées



Figure 20 : Puissance crête d'un module photovoltaïque (source : SOLAREX)

c. Production électrique d'un module en une journée.
(www.thecnologie.ac_aix.marseill.fr)

Un module se caractérise avant tout par sa puissance crête P_c puissance dans les conditions STC.

Le module exposé dans les conditions STC va produire à un instant donné une puissance électrique égale à cette puissance crête et si cela dure N heures, il aura produit une énergie électrique E_{elec} égale au produit de la puissance crête par le temps écoulé

$$E_{elec} = N \cdot P_c$$

$$E_{elec} : \text{en Wh} ; N : \text{en h} ; P_c : \text{en W}$$

Cependant, le rayonnement n'est pas constant pendant une journée d'ensoleillement, donc on ne peut pas appliquer strictement cette loi.

Afin de calculer ce que produit un module photovoltaïque pendant une journée d'ensoleillement qui a un certain profil et une énergie solaire intégrée en Wh/m², on va assimiler cette énergie solaire au produit du rayonnement instantané 1000W/m² par un certain nombre d'heures que l'on appelle «nombre d'heures équivalentes. »

$$E_{sol} = N_e \cdot 1000$$

E_{sol} : en Wh/m².jour et N_e : h/jour

On suppose ensuite que la puissance du panneau est directement proportionnelle au rayonnement instantané. On peut alors multiplier la puissance crête du panneau solaire par ce nombre d'heures équivalentes pour obtenir la production photovoltaïque pendant cette journée.

$$E_{elec} = N_e \cdot P_c$$

On peut l'écrire aussi :

$$E_{elec} = \frac{E_{sol} \cdot P_c}{1000}$$

Mais le calcul qu'on vient de faire n'est vrai que pour un panneau isolé, dans des conditions idéales, il ne tient pas compte des pertes inévitables d'un système complet dans les conditions réelles. Il convient d'ajouter un coefficient de perte C_p

$$C_{elec} = E_{sol} \times I_m \times C_p$$

C_{elec} : Charge électrique produite dans une journée (Ah/jour)

E_{sol} : Energie solaire journalière (kWh/m².jour)

I_m : Courant à la puissance maximale STC du module (A)

C_p : Coefficient des pertes

d. Les différentes technologies (www.mouhandess.org)

Il existe de nombreux semi-conducteurs capables d'exploiter l'effet photovoltaïque. Ils diffèrent essentiellement par leur prix, leur rendement, leur sensibilité spectrale. Beaucoup de technologies sont encore en phase de recherche.

- Silicium monocristallin

Les panneaux photovoltaïques avec des cellules monocristallines représentent la première génération des générateurs photovoltaïque, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal.

Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal. Un wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitement (traitement de surface à l'acide, découpage et création de la jonction P-N, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule. Les cellules sont rondes ou presque carrées et vues de près, elles ont une couleur uniforme.

Elles ont un rendement de 12 à 18%, mais la méthode de production est laborieuse.

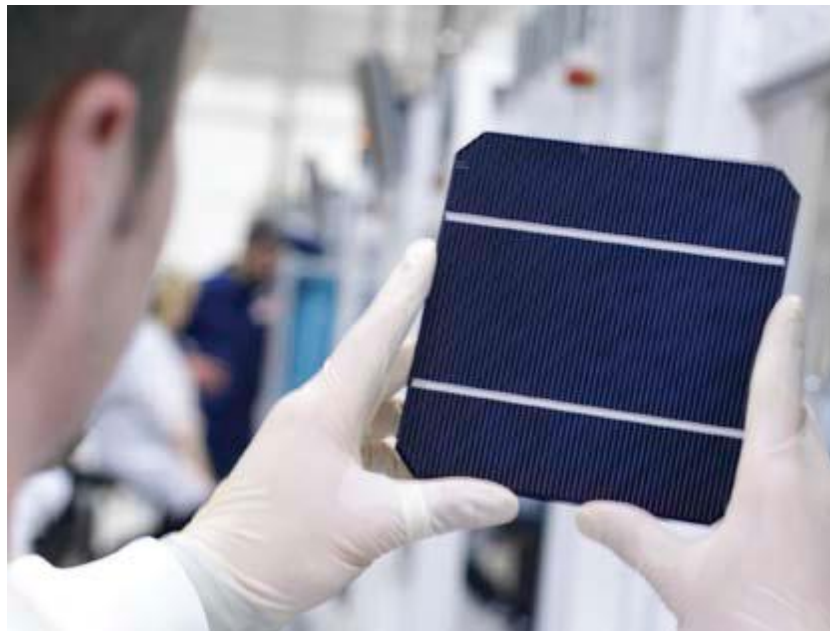


Figure 21: Cellule monocristalline (source : imex.cgi.fr)

- Silicium polycristalline

Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiple. Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé crée une structure polycristalline

Vu de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux. Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines.

Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées.



Figure 22 : Structure polycristalline (source : imex.cgi.fr)

- Les modules photovoltaïques amorphes

Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Ils sont fabriqués à partir des composés dans lesquels les atomes ne respectent aucun ordre. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur les verres, du plastique souple ou d'un métal.



Figure 23 : Les modules photovoltaïques amorphes (source : imex.cgi.fr)

e. Le fonctionnement d'un système photovoltaïque en site isolé :

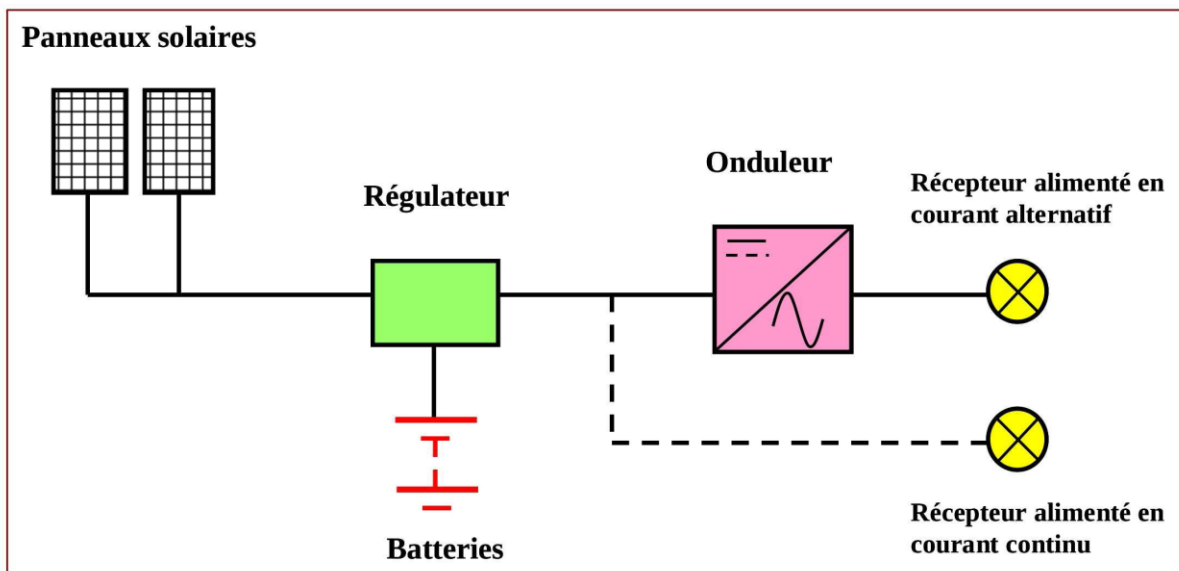


Figure 24 : Site isolé (source : PV Technology Platform)

Le système photovoltaïque de base est constitué d'un module photovoltaïque, d'un régulateur, d'une batterie, d'un récepteur « courant continu » et d'un onduleur s'il existe un récepteur courant alternatif »

Le module photovoltaïque est composé de plusieurs cellules connectées entre elles afin de fournir au récepteur extérieur une tension et une puissance adéquate.

La batterie est très utile en raison de non concomitance entre la période d'ensoleillement et la période de consommation d'électricité. Il est en effet indispensable dans ce cas de stocker l'énergie produite afin de la restituer lors des journées sans ensoleillement ou la nuit. Ce stockage est effectué le plus souvent au moyen de la batterie au plomb dont le nombre est fixé par les applications et le nombre de jour d'autonomie désiré.

Le régulateur permet d'effectuer une régulation de la charge et de la décharge. Il protège ainsi la batterie des surcharges et des décharges excessives et prolonge ainsi la durée de vie de la batterie.

Ainsi quand l'énergie produite est supérieure à l'énergie consommée, l'excédent d'électricité est stocké dans la batterie jusqu'à ce que la limite de charge de la batterie soit atteinte. Inversement quand l'énergie produite est inférieure à l'énergie consommée, la batterie fournit la quantité supplémentaire nécessaire pour faire fonctionner les applications jusqu'à ce que la limite de décharge de la batterie soit atteinte.

f. Site connecté au réseau

Pour ce type de site, le champ photovoltaïque est connecté au réseau par l'intermédiaire d'un onduleur.

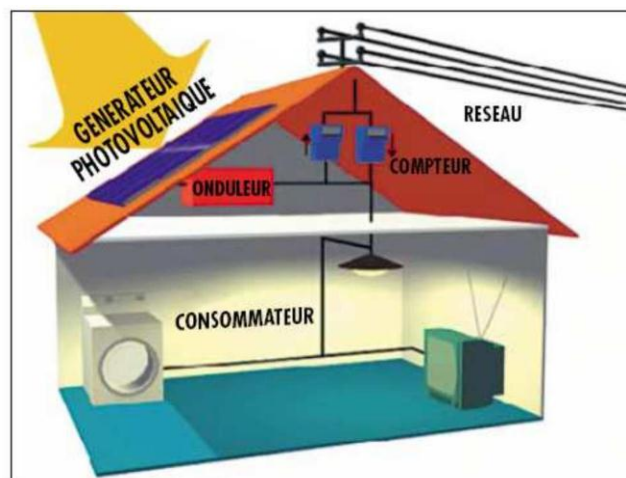


Figure 25 : Site connecté au réseau (source : PV Technology Platform)

Le particulier peut revendre tout ou partie de l'électricité qu'il produit. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'installer de batteries de stockage de l'énergie produite.

4. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE: (www.odpf.org)

a. Avantages de l'énergie photovoltaïque :

Les panneaux solaires présentent de nombreux avantages :

D'un point de vue écologique, les panneaux solaires sont une énergie propre non polluante pour l'environnement. Aucun gaz à effet de serre n'est rejeté et il n'y a aucun déchet radioactif produit. L'énergie solaire est inépuisable, contrairement aux énergies fossiles comme le charbon ou le pétrole qui sont pourtant encore plus utilisés que le solaire. Pour les endroits isolés ou les petites installations, rien de tel que les panneaux solaires pour les rendre autonomes. Les panneaux solaires, une fois installés, demandent très peu d'entretien et l'énergie produite sans action de l'homme.

Les panneaux solaires peuvent représenter un très bon investissement pour les particuliers.

Les panneaux solaires restent silencieux et non dérangeant pour les riverains voisins.

b. Inconvénients et limites.

Le principal inconvénient des panneaux solaires est le coût. D'autre part, les quantités d'énergie produites sont liées au temps.

Pour qu'un panneau solaire fonctionne il faut du soleil. Ainsi pendant les jours de mauvais temps et la nuit il ne produit pas d'énergie

Enfin de grandes superficies sont nécessaires pour pouvoir placer des panneaux solaires. Ils doivent, de plus, être placés stratégiquement pour recevoir un maximum de l'énergie du soleil.

B. DIDACTICIEL POUR L'APPRENTISSAGE

Cette partie constitue le prolongement didactique des repères théoriques développés précédemment. Afin d'atteindre les objectifs généraux et spécifiques du présent travail, elle consiste à simuler le fonctionnement des cellules photovoltaïques dans les plaques solaires photovoltaïques.

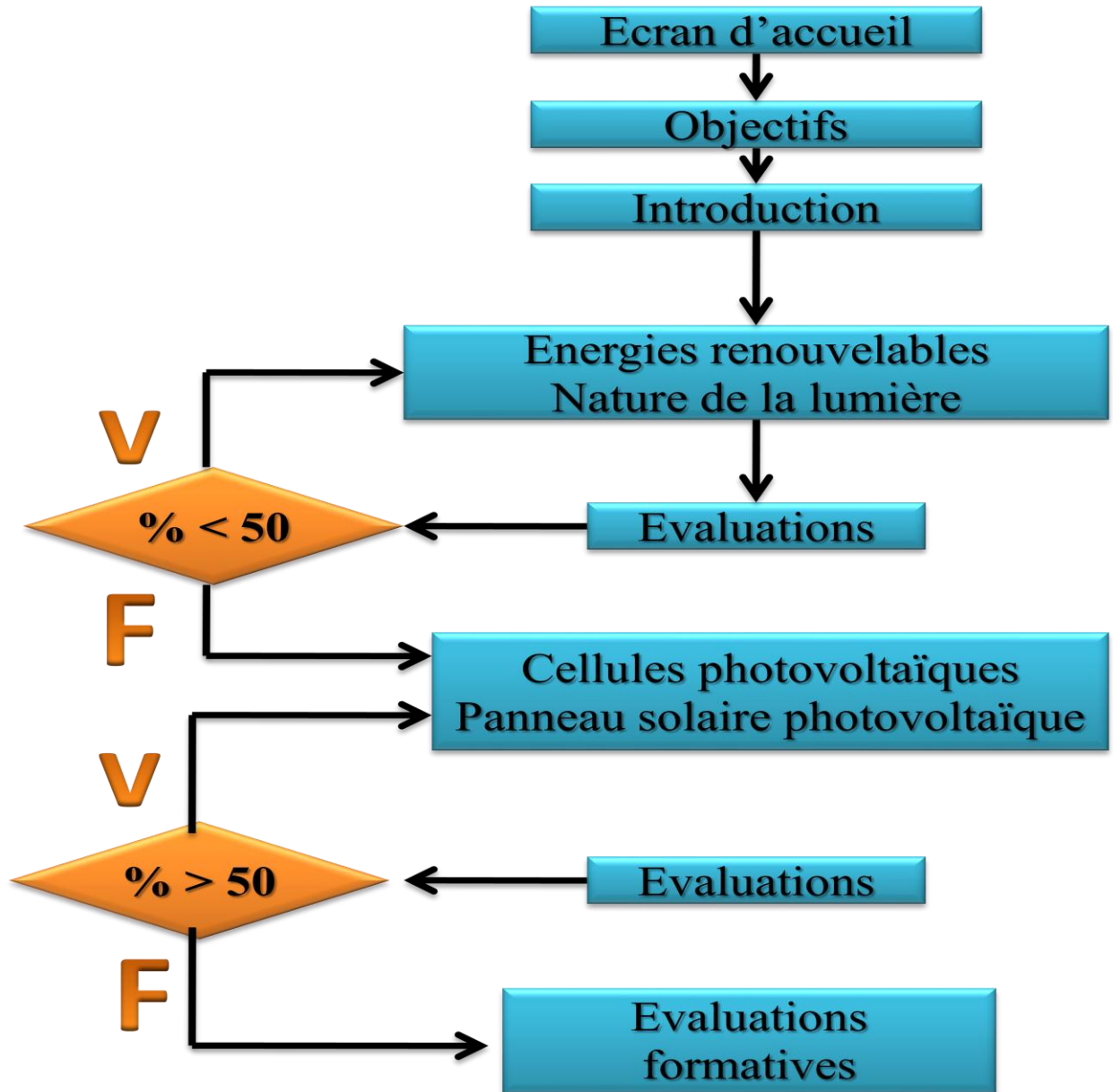
Ce didacticiel a aussi été conçu de façon à ce que l'interprétation apparaisse, afin d'atteindre l'un des objectifs de la matière physique-chimie indiqué dans le programme officiel, à savoir « interpréter le phénomène pour faire aboutir une recherche »

Il a été élaboré à l'aide du langage Action Script 2 de Macromedia Flash 8. Nous avons choisi ce langage particulièrement pour la facilité qu'il procure pour concevoir une interface malgré sa complexité pour traiter les applications mathématiques comparé aux autres langages.

En outre, avec l'extension « .exe » il exécute avec tous les ordinateurs sous Windows et avec l'extension « .swf » et « .html » de Macromédia Flash 8, ce fichier est de l'ordre de 8.000 kilooctets ce qui facilite son téléchargement sur un internet.

Itinéraire d'apprentissage :

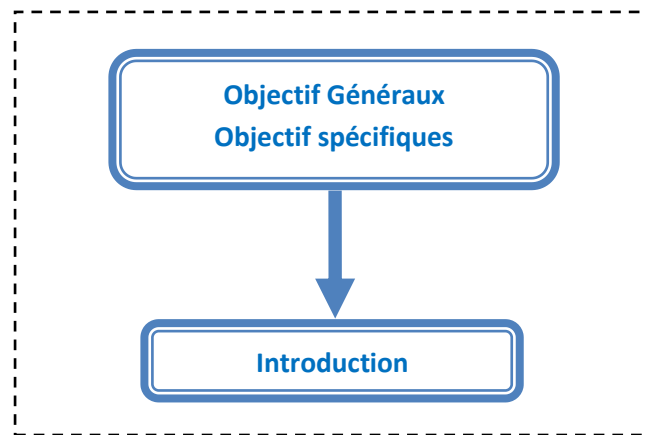
Le diagramme de la figure ci-après montre l'itinéraire d'apprentissage que nous proposons à l'apprenant.



Cet itinéraire comporte essentiellement deux phases ; une phase de présentation du module et le module proprement dit, à savoir l'étude des transformations de l'énergie de rayonnement en énergie électrique, cas d'une plaque solaire photovoltaïque.

1. Phase de présentation du module :

Cette phase décrit les objectifs généraux et spécifiques à atteindre et introduit l'objet d'étude.



Pour les objectifs généraux, il s'agit d'interpréter le phénomène d'effet photoélectrique, de connaître l'utilisation de l'effet photoélectrique.

Ces objectifs sont démultipliés en objectifs spécifiques tels que :

- Définition et interprétation de l'effet photoélectrique
- Définition et calcul des travaux d'extraction
- Définition et calcul des seuils électriques
- Calcul de l'énergie cinétique maximale de l'électron
- Description du fonctionnement des cellules solaires photovoltaïques.

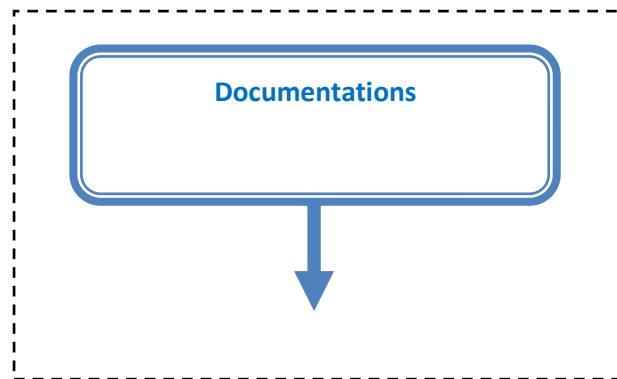
L'objet d'étude est introduit en utilisant les différents types de cellules photovoltaïques.

2. Etude des transformations de l'énergie de rayonnement solaire en énergie électrique :

Cette phase comprend plusieurs étapes :

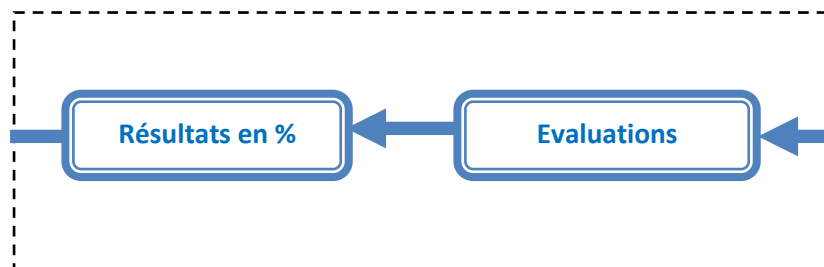
Etape 1 :

Il s'agit ici, pour l'apprenant d'acquérir les connaissances fondamentales.



Cette étape propose des informations sur l'énergie renouvelable, le rayonnement solaire et l'effet photoélectrique.

Afin d'apprendre les notions de base, des petites évaluations sont proposées, si l'apprenant arrive à réussir au moins la moitié de l'évaluation, il passera directement aux étapes suivantes, mais dans le cas contraire, il doit recommencer les activités.

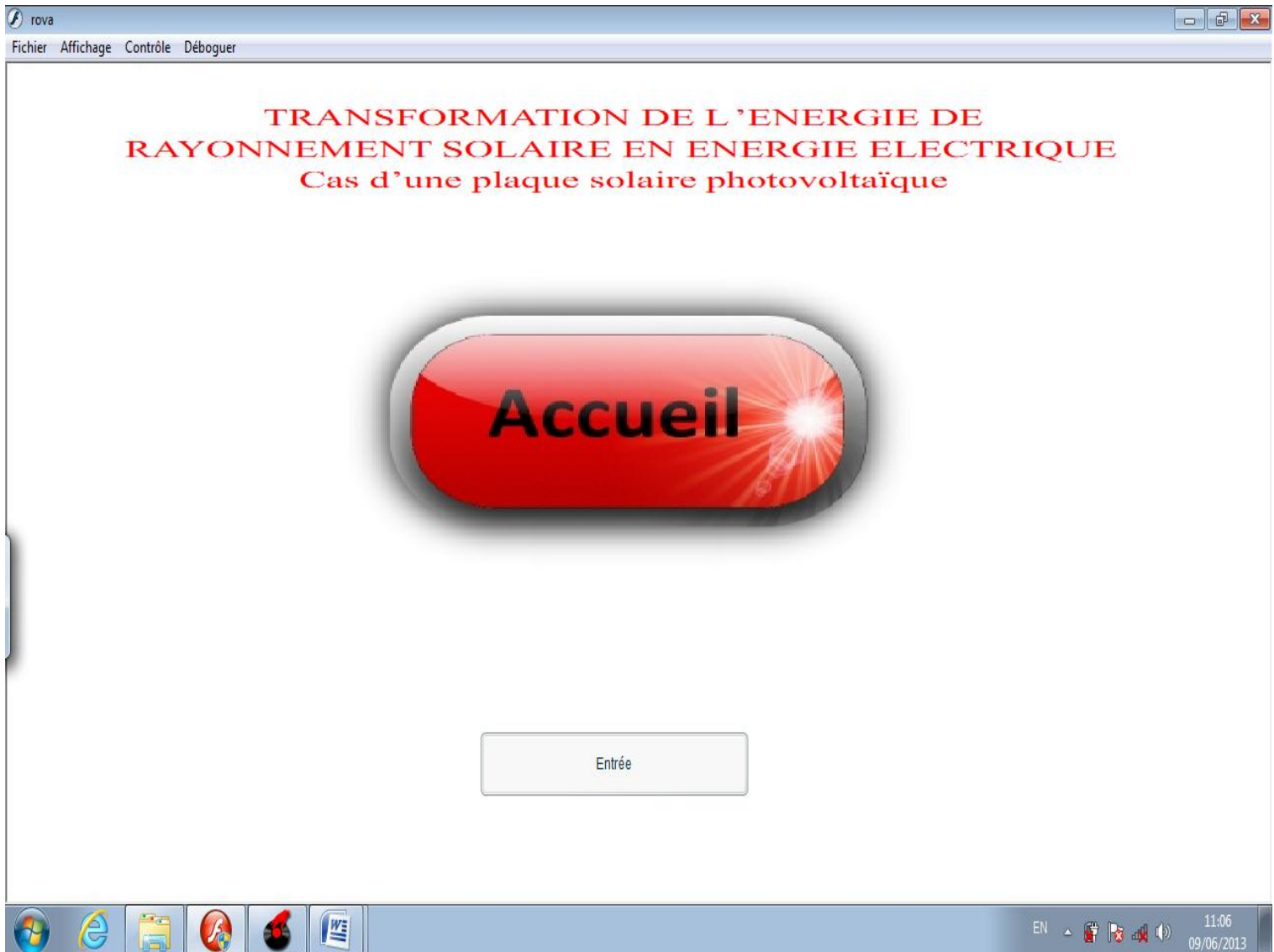


Etape 2 :

Cette étape concerne l'étude d'une plaque solaire photovoltaïque :

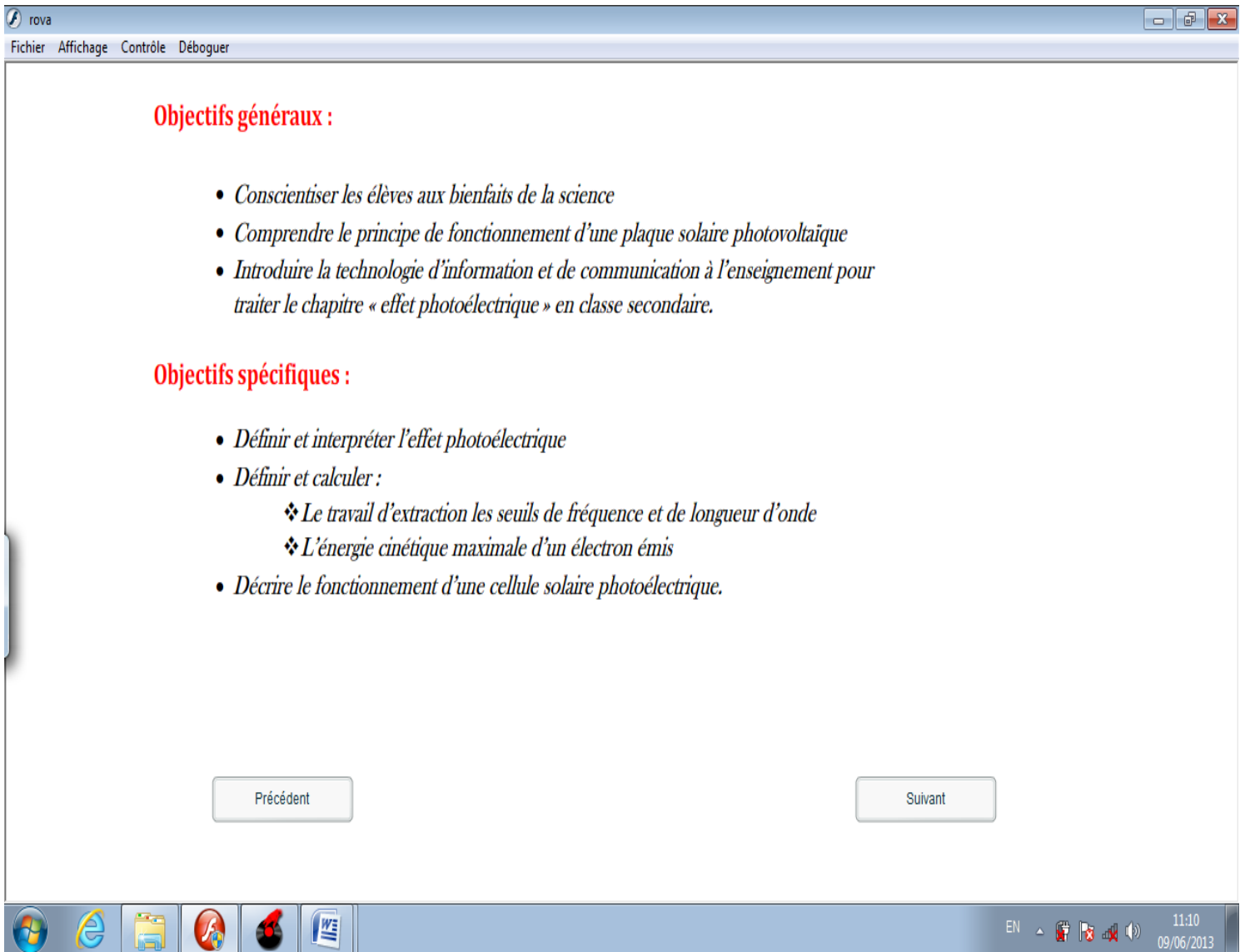
- **Interface d'accueil**

Une interface d'accueil s'ouvre lors du démarrage de la page web et montre le titre du module « transformation de l'énergie de rayonnement solaire en énergie électrique : cas d'une plaque solaire photovoltaïque »



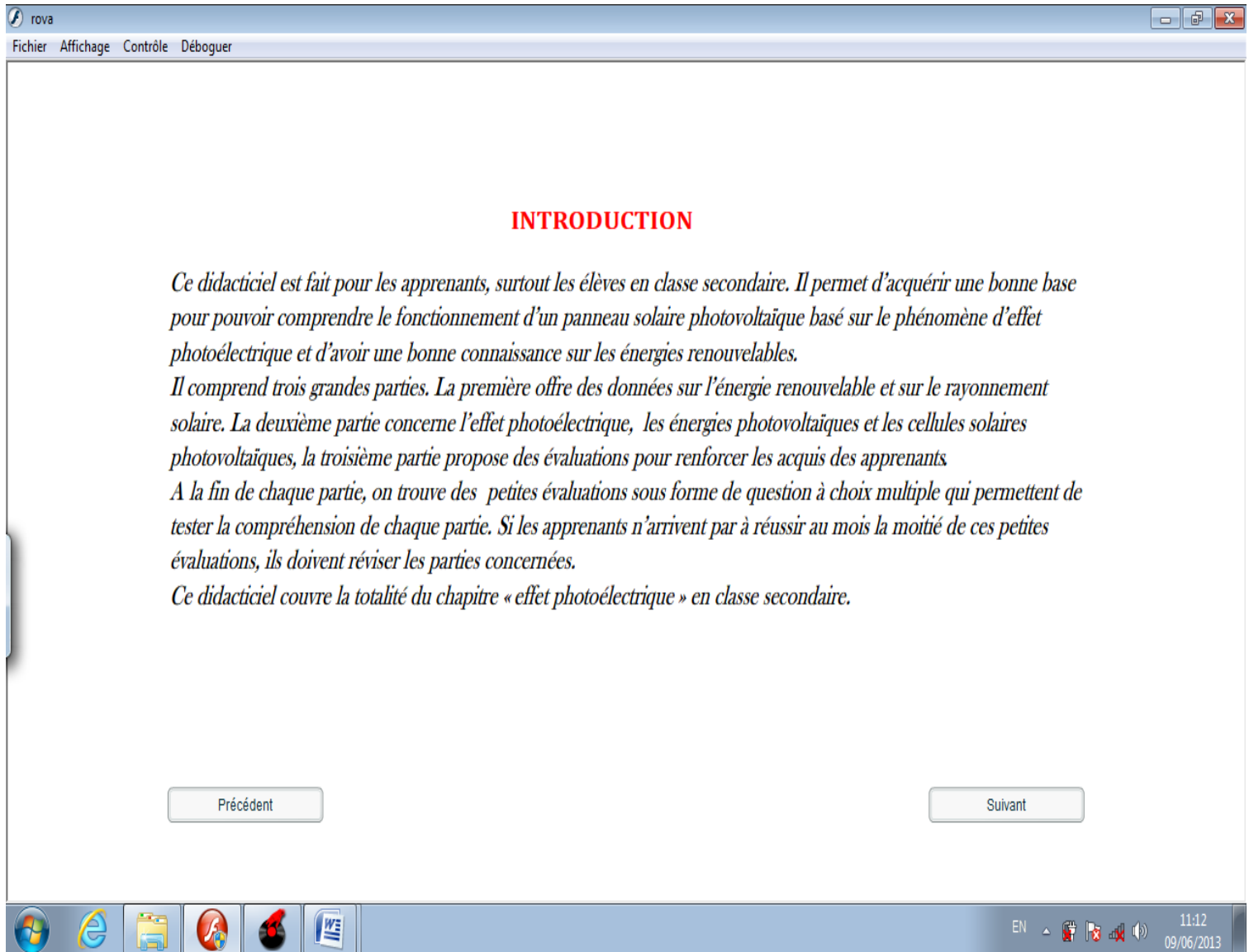
- **Objectifs :**

On accède ensuite à la fenêtre des objectifs qui décrit les objectifs généraux et les objectifs spécifiques à atteindre à l'issue de module.



- **Page d'introduction :**

Cette page introduit dans ses grandes lignes le contenu du didacticiel.



- **Documentation :**

Un ensemble de documentations sur l'énergie renouvelable est donné dans cette section.

La définition des énergies renouvelables est présentée dans un premier temps. Les différents types d'énergies renouvelables sont ensuite développés (l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie géothermique, la biomasse). Les fenêtres correspondantes sont reproduites ci-dessous.

➤ **Définition d'une énergie renouvelable et énergie solaire :**

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguer

Documentation

Energie renouvelable

Définition :

Les énergies renouvelables (appelées aussi énergies vertes) correspondent à des sources d'énergie qui sont non seulement issues de phénomènes naturels, mais qui se régénèrent également par elles-mêmes, à l'aide de processus naturels indépendants des humains. Le soleil et la chaleur interne de la terre font partie des sources d'énergie naturelles les plus importantes.

Les différents types d'énergies renouvelables.

L'énergie solaire

L'énergie solaire correspond au type d'énergie que le soleil diffuse dans l'atmosphère par son rayonnement. Elle est obtenue grâce à des panneaux solaires et est utilisée par les humains sous deux formes différentes : électrique et thermique. L'énergie électrique permet de transformer les rayons du soleil en électricité, tandis que l'énergie thermique est plutôt utilisée pour produire de la chaleur (exemple : pour chauffer l'eau d'une maison). Les panneaux solaires peuvent être installés partout où le soleil brille à longueur d'année, comme c'est le cas pour les pays situés aux bords de la ligne équatoriale, mais peuvent également servir de source d'énergie d'appoint dans les régions plus nordiques.



Energie solaire

Précédent

Suivant



EN

11:16

09/06/2013

➤ **Energie éolienne :**

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguer

Documentation

L'énergie éolienne :

L'énergie éolienne est produite par l'air en mouvement, par la force du vent. Cette énergie peut être obtenue à l'aide d'un dispositif comme un moulin à vent, mais de nos jours, ce sont plutôt les éoliennes qui sont utilisées pour générer ce type d'énergie. Celles-ci sont installées dans des endroits où le vent souffle avec intensité (exemple : près des côtes, sur le sommet des collines,...) et peuvent produire jusqu'à 4,5MW lorsqu'elles tournent à puissance maximale, avec un vent de 50 à 60 km/h. Le mode de fonctionnement d'une éolienne est assez simple : le vent fait tourner les pales, entre 10 à 20 tours par minute, puis l'alternateur contenu dans l'éolienne transforme l'énergie mécanique produite en énergie électrique.



Energie éolienne

Précédent

Suivant

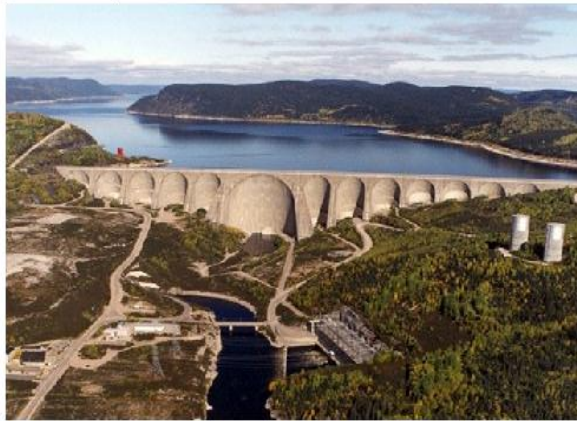
EN 11:19 09/06/2013

➤ Energie hydraulique :

Documentation

L'énergie hydraulique :

Constituant près de 93% de la quantité d'énergie produite mondialement, l'énergie hydraulique est fournie par le mouvement de l'eau (généralement les chutes, les marées ou les cours d'eau à grand débit). On peut obtenir cette forme d'énergie notamment par les marémotrices, activées par les variations de la marée. Leur fonctionnement est le suivant : le débit de l'eau fait tourner une turbine qui génère un courant électrique, qui sera par la suite transformé en énergie à l'intérieur d'une centrale hydroélectrique.



Energie hydroélectrique

Précédent

Suivant



➤ **Energie géothermique :**


rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Documentation

L'énergie géothermique :

L'énergie géothermique est produite grâce à la chaleur présente dans les profondeurs de la terre, dont le noyau peut atteindre 6000°C. Pour fonctionner convenablement, les systèmes géothermiques ont généralement besoin de cette chaleur ainsi que de l'eau : celle-ci est acheminée dans les tuyaux souterrains, où elle est réchauffée par la température ambiante pour ensuite être diffusée, par exemple, dans les maisons. De tels systèmes peuvent être instaurés partout où les sols permettent l'installation de conduits souterrains. Ensuite, les systèmes d'alimentation géothermique génèrent de 3 à 4 fois plus d'électricité que ce qu'ils consomment pour pouvoir fonctionner.



Les gisements géothermiques

Précédent

Suivant

EN 11:25 09/06/2013

➤ La bioénergie :


rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Documentation

La bioénergie :

La bioénergie est un dérivé de la combustion des matières organiques, aussi appelées biomasse (bois, résidus agricoles, déchets organiques divers,...) Elle constitue la plus ancienne source d'énergie utilisée par les humains ; on n'a qu'à penser au bois que l'on fait brûler pour se réchauffer, pour faire la cuisine, pour chauffer l'eau,... On peut aussi faire appel à la bioénergie par le biais de l'éthanol produit à partir du maïs, ajouté à l'essence dans un ratio 10% éthanol 90% essence, en tant que carburant pour l'automobile. On peut transformer la biomasse en énergie à l'aide de nombreux procédés : en la brûlant, en la gazéifiant, en la transformant grâce à la biochimie.



Champ de tournesol

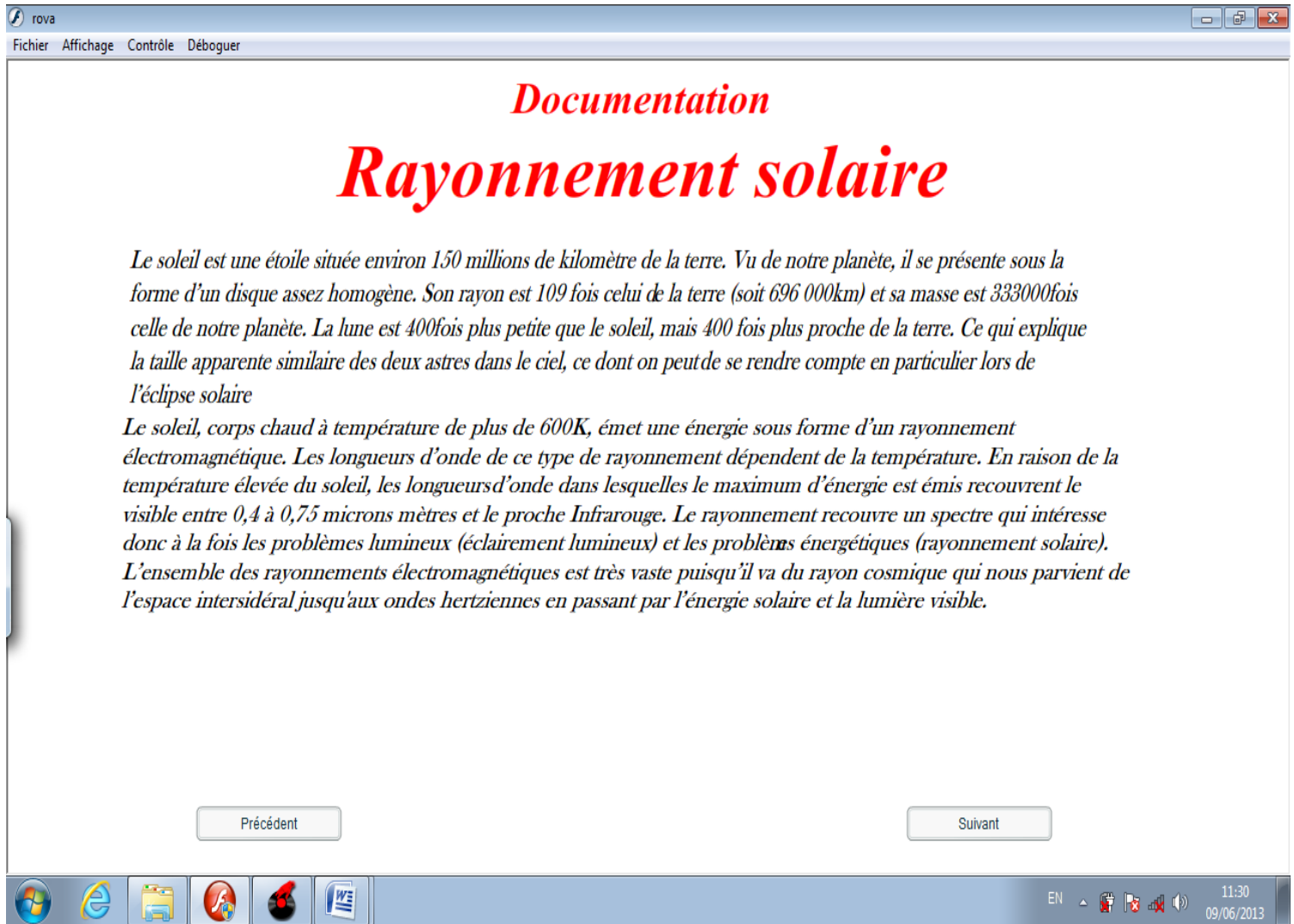
Précédent

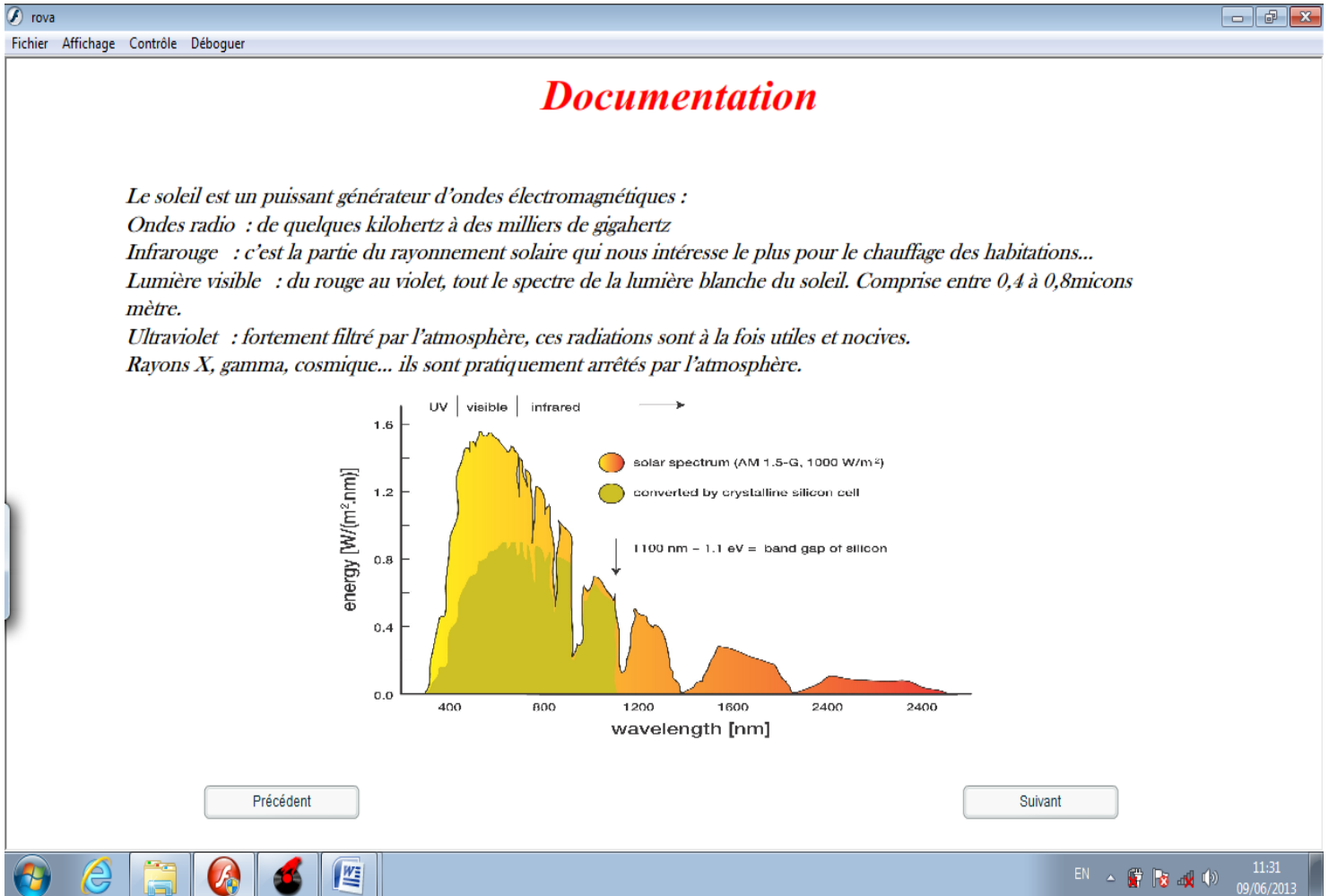
Suivant

EN 11:28 09/06/2013

➤ **Rayonnement solaire :**

On trouve dans les deux fenêtres qui suivent les différentes caractéristiques du rayonnement solaire.





- **Mise en évidence et analyse de l'effet photoélectrique.**

Cette partie concerne l'effet photoélectrique. La nature ondulatoire et la nature corpusculaire de la lumière sont traitées brièvement. La théorie corpusculaire est évoquée par le biais de l'effet photoélectrique.

➤ **Théorie ondulatoire : expérience d'interférences lumineuses.**

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

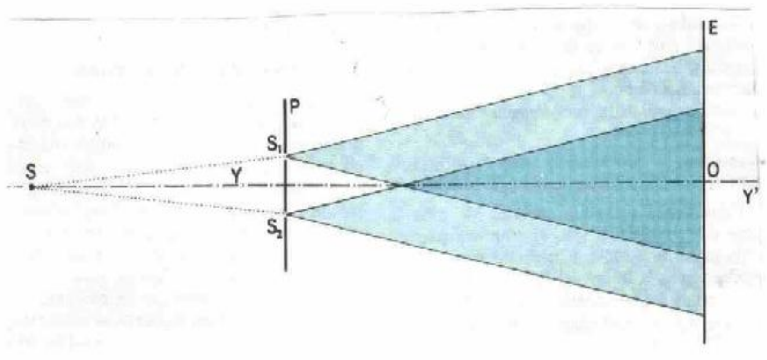
Nature de la lumière

Théorie ondulatoire :

Expérience d'interférences lumineuses :

La superposition de la lumière issue de sources lumineuses cohérentes donne un phénomène tout à fait général, connu pour les ondes: c'est le phénomène d'interférences

Sur l'écran, on observe une succession de franges brillantes lumineuses) et de franges sombres (obscurcs).



Phénomène d'interférence

Précédent
Suivant

EN 11:32 09/06/2013

➤ Interférences lumineuses : interprétation

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Nature de la lumière

Interprétation :

- ▮ La lumière est de nature ondulatoire
- ▮ Le phénomène d'interférences est dû à la superposition de deux ondes lumineuses issues des sources S_1 et S_2
- ▮ Frange brillantes : les ondes issues de S_1 et S_2 arrivant en PHASE sur l'écran:

$$d_2 - d_1 = k\lambda$$

- ▮ Franges obscures : les ondes issues de S_1 et S_2 arrivent en opposition de phase sur l'écran.

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

- ▮ Interfrange : c'est la distance entre deux franges brillantes ou deux franges obscures consécutives : on démontre que l'interfrange peut se calculer par l'expression :

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

D = distance sources - écran
 a = écartement des sources
 λ = longueur d'onde de la lumière

Précédent
Suivant

EN ▲ 11:36
09/06/2013

On a ici les différentes formules relatives à l'interférence lumineuse.

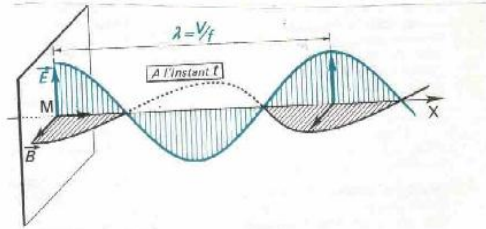
➤ **Théorie électromagnétique de la lumière.**

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Nature de la lumière

Théorie électromagnétique de la lumière :



- ▮ La lumière fait partie des ondes électromagnétiques: ce sont des vibrations combinées d'un champ électrique \vec{E} et d'un champ magnétique \vec{B} (ils sont perpendiculaires entre eux)
- ▮ La vitesse de propagation d'une onde électromagnétique est $c = 3.10^8 \text{m.s}^{-1}$ dans le vide.
- ▮ Les deux champs \vec{E} et \vec{B} ne sont pas indépendants l'un de l'autre : pour la lumière la connaissance de E suffit pour déterminer l'intensité lumineuse.
- ▮ Une radiation lumineuse, comme toute onde, est caractérisée par sa longueur d'onde λ .

$$\lambda = \frac{c}{\gamma}$$

Précédent

Suivant

EN 11:37 09/06/2013

On rappelle dans cette fenêtre que la lumière est de nature électromagnétique, c'est-à-dire des vibrations combinées d'un champ électrique et d'un champ magnétique.

➤ **Théorie corpusculaire : mise en évidence de l'effet photoélectrique.**

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Nature de la lumière

Théorie corpusculaire :

Mise en évidence de l'effet photoélectrique.

Expérience :

On envoie un faisceau de lumière riche en ultraviolet sur une lame de zinc reliée à un électroscope initialement chargé.

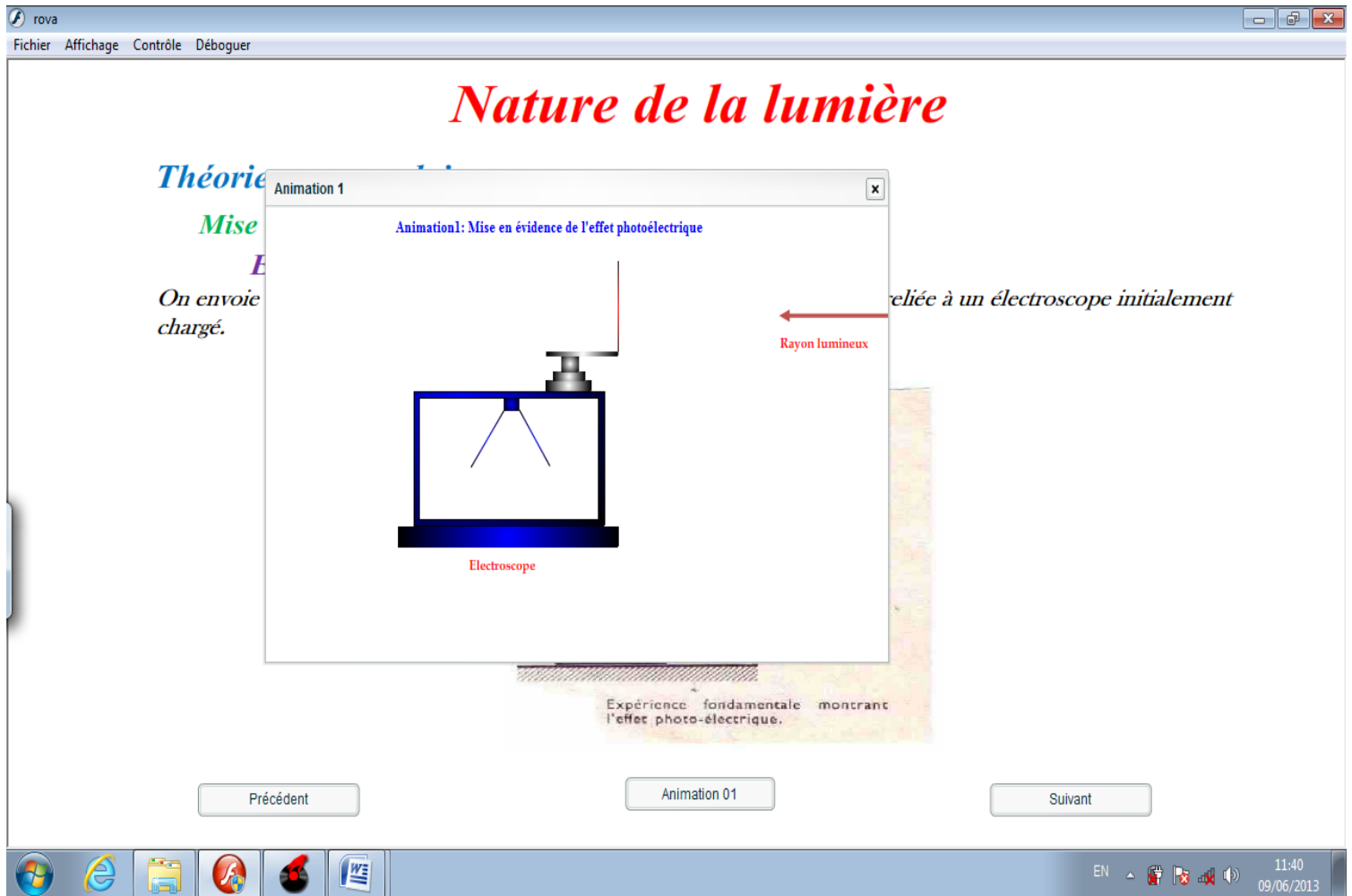
Expérience fondamentale montrant l'effet photo-électrique.

Précédent Animation 01 Suivant

EN 11:39 09/06/2013

On trouve dans cette fenêtre l'expérience de la mise en évidence de l'effet photoélectrique.

En cliquant sur le bouton « Animation 01 », une petite fenêtre s'ouvre en montrant une animation d'un faisceau de lumière qui est envoyé sur une lame de zinc reliée à un électroscope.



➤ Explication de l'effet photoélectrique :

The screenshot shows a web application window titled 'rova' with a menu bar containing 'Fichier', 'Affichage', 'Contrôle', and 'Déboguer'. The main content area has a title 'Nature de la lumière' in red. Below it, the section 'Observations :' contains two bullet points: 'Si l'électroscope est chargé positivement : il ne se passe rien' and 'Si l'électroscope est chargé négativement les feuilles de l'électroscope retombent.' The section 'Explications :' contains a paragraph explaining the photoelectric effect: 'Lorsque la lame de zinc et le plateau de l'électroscope sont chargés négativement, ils portent un excédent d'électrons. Quand la lame est exposée à la lumière, des électrons sont arrachés du métal: c'est l'effet photoélectrique.' This is followed by two indented paragraphs: 'Si l'électroscope est chargé positivement, on peut considérer que les électrons extraits sont réattirés par la lame' and 'Si l'électroscope est chargé négativement, les électrons extraits sont repoussés par la lame qui se charge positivement. Les charges négatives portées par l'électroscope viennent neutraliser les charges positives de la lame donc l'électroscope se décharge et les feuilles tombent.' At the bottom of the content area are two buttons: 'Précédent' and 'Suivant'. The Windows taskbar at the bottom shows the Start button, Internet Explorer, File Explorer, a red icon, a black icon, and a blue icon. The system tray on the right shows the language 'EN', a volume icon, and the date/time '11:40 09/06/2013'.

Nature de la lumière

Observations :

- ▮ Si l'électroscope est chargé positivement : il ne se passe rien
- ▮ Si l'électroscope est chargé négativement les feuilles de l'électroscope retombent.

Explications :

Lorsque la lame de zinc et le plateau de l'électroscope sont chargés négativement, ils portent un excédent d'électrons. Quand la lame est exposée à la lumière, des électrons sont arrachés du métal: c'est l'effet photoélectrique.

Si l'électroscope est chargé positivement, on peut considérer que les électrons extraits sont réattirés par la lame

Si l'électroscope est chargé négativement, les électrons extraits sont repoussés par la lame qui se charge positivement. Les charges négatives portées par l'électroscope viennent neutraliser les charges positives de la lame donc l'électroscope se décharge et les feuilles tombent.

Précédent Suivant

On trouve ici que si l'électroscope est chargé positivement ; il ne se passe rien et si l'électroscope est chargé négativement, les feuilles de l'électroscope retombent.

➤ Présentation d'une cellule photoélectrique.

rova

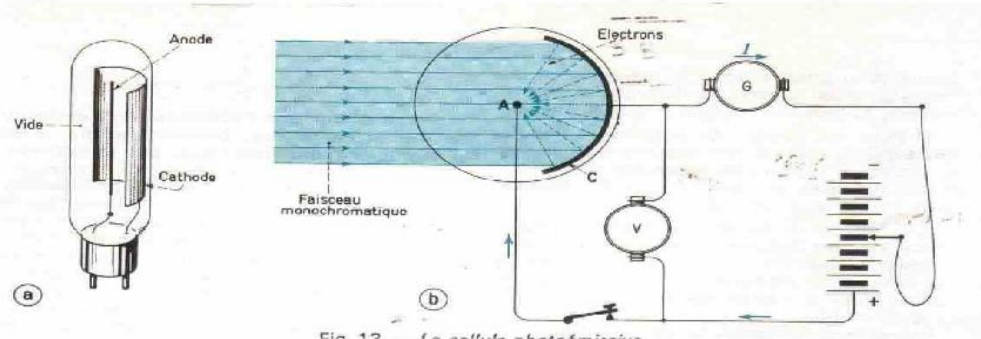
Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Nature de la lumière

Cas de la cellule photoélectrique :

C'est une ampoule constituée d'un verre spécial (transparent à l'ultraviolet) dans laquelle règne un vide aussi parfait que possible et qui comporte :

- ▢ Une cathode *C*, formée par une couche du métal à étudier
- ▢ Une anode *A* réduite à un fil ou une boucle métallique



Cellule photoélectrique

*Lorsqu'elle est éclairée par une lumière convenable, la cathode *C* émet des électrons. Ces électrons sont captés par l'anode *A* qui est portée à un potentiel positif. Il en résulte dans le circuit extérieur un courant de faible intensité décelé par le galvanomètre *G*.*

Précédent Animation 02 Suivant

EN 11:42 09/06/2013

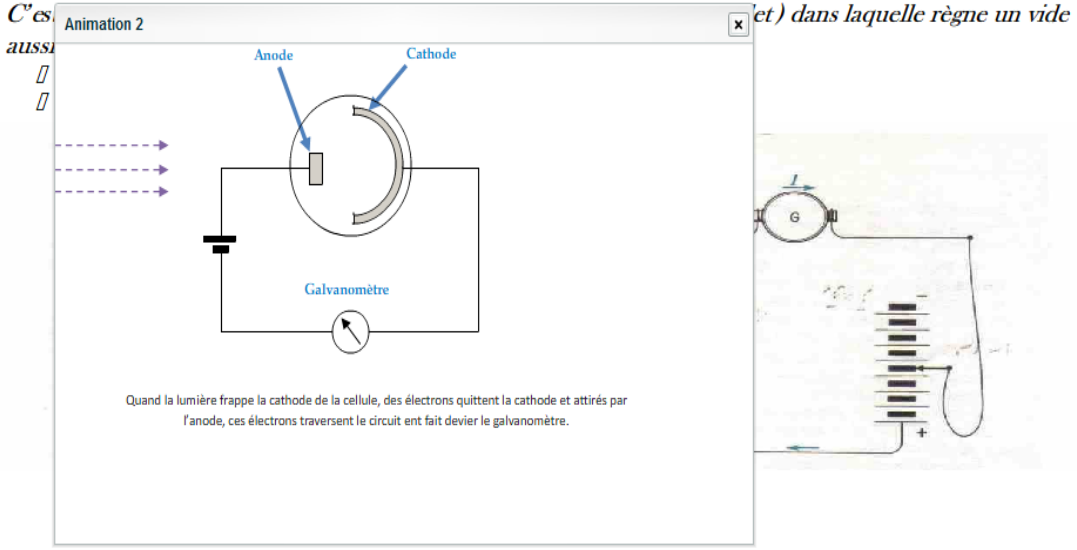
On décrit ici une cellule photoélectrique et son fonctionnement.

Lorsqu'on clique sur « Animation 02 » une fenêtre s'ouvre et montre le phénomène d'effet photoélectrique dans une cellule photoélectrique.

Nature de la lumière

Cas de la cellule photoélectrique :

C'est aussi (et) dans laquelle règne un vide



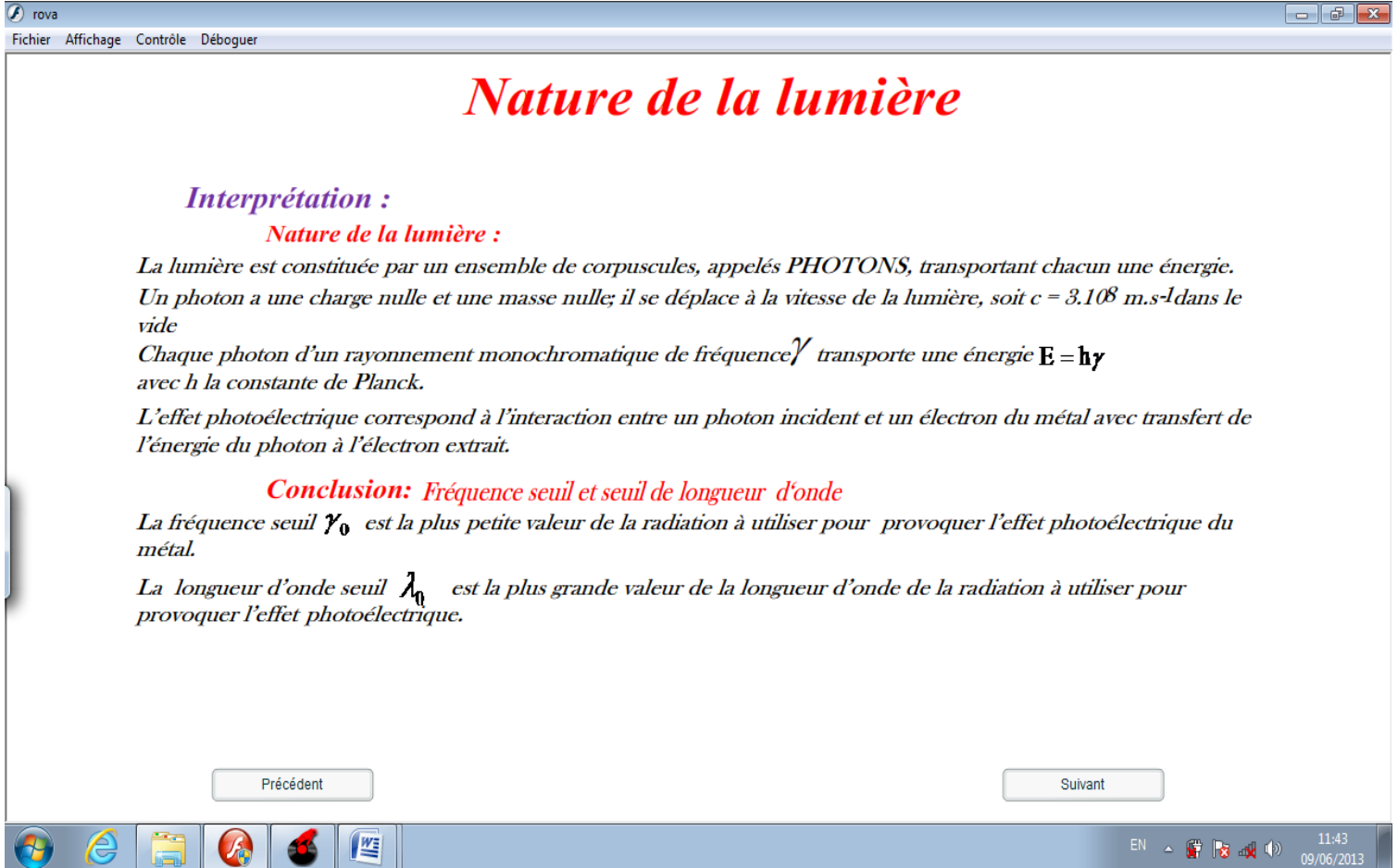
Quand la lumière frappe la cathode de la cellule, des électrons quittent la cathode et attirés par l'anode, ces électrons traversent le circuit et font devier le galvanomètre.

Lorsqu'elle est éclairée par une lumière convenable, la cathode C émet des électrons. Ces électrons sont captés par l'anode A qui est portée à un potentiel positif. Il en résulte dans le circuit extérieur un courant de faible intensité décelé par le galvanomètre G.

Précédent Animation 02 Suivant

EN 11:42 09/06/2013

➤ Condition pour que l'effet photoélectrique ait lieu



The screenshot shows a presentation window titled 'rova' with a menu bar containing 'Fichier', 'Affichage', 'Contrôle', and 'Débuguer'. The slide content is as follows:

Nature de la lumière

Interprétation :

Nature de la lumière :

La lumière est constituée par un ensemble de corpuscules, appelés PHOTONS, transportant chacun une énergie. Un photon a une charge nulle et une masse nulle; il se déplace à la vitesse de la lumière, soit $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ dans le vide

Chaque photon d'un rayonnement monochromatique de fréquence γ transporte une énergie $E = h\gamma$ avec h la constante de Planck.

L'effet photoélectrique correspond à l'interaction entre un photon incident et un électron du métal avec transfert de l'énergie du photon à l'électron extrait.

Conclusion: Fréquence seuil et seuil de longueur d'onde

La fréquence seuil γ_0 est la plus petite valeur de la radiation à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique du métal.

La longueur d'onde seuil λ_0 est la plus grande valeur de la longueur d'onde de la radiation à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique.

At the bottom of the slide, there are two buttons: 'Précédent' and 'Suivant'.

The Windows taskbar at the bottom shows the Start button, Internet Explorer, File Explorer, Firefox, and a game controller icon. The system tray on the right shows the language 'EN', system icons, and the date/time '11:43 09/06/2013'.

Cette page résume les points essentiels sur la nature corpusculaire de la lumière et introduit la notion de seuil de fréquence et de seuil de longueur d'onde.

➤ **Relation liées à l'effet photoélectrique.**

Les expressions mathématiques relatives à l'effet photoélectrique sont présentées ci-dessous.

The screenshot shows a presentation window titled 'rova' with a menu bar containing 'Fichier', 'Affichage', 'Contrôle', and 'Débuguer'. The slide content is as follows:

Nature de la lumière

Loi de l'effet photoélectrique.
La fréquence de la radiation doit être plus grande qu'une fréquence seuil qui dépend du métal utilisé.

$$\gamma \geq \gamma_0 \Rightarrow \lambda \leq \lambda_0$$

Energie cinétique maximale d'un électron :
On peut dire que seul un photon de fréquence supérieure ou égale à la fréquence seuil pourra provoquer l'effet photoélectrique ou l'extraction d'un électron.

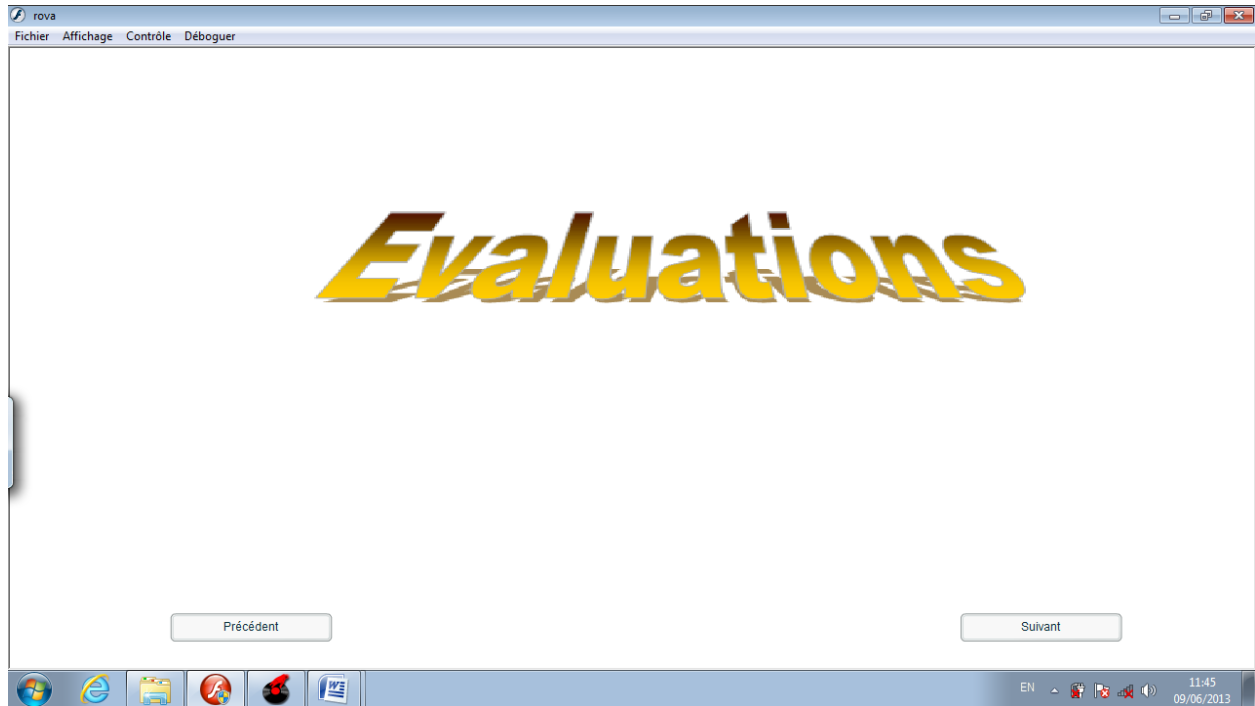
$$E_c = W - W_0$$

L'énergie cinétique maximale est reliée à la tension d'arrêt :
La tension d'arrêt représente la tension à appliquer entre l'anode et la cathode pour annuler la courant photoélectrique, sa valeur est négative (en volt)

$$E_c = e|U_0|$$

At the bottom of the slide, there are two buttons: 'Précédent' (Previous) and 'Suivant' (Next). The Windows taskbar at the bottom shows the Start button, Internet Explorer, File Explorer, and several other icons. The system tray on the right shows the language 'EN', system icons, and the date/time '11:44 09/06/2013'.

➤ Les évaluations



Les évaluations qui se rapportent à l'énergie renouvelables et ses sources ainsi qu'à l'effet photoélectrique sont proposées dans cette partie.

Les fenêtres correspondantes sont reproduites ci-dessous.

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguier

Evaluations

Quelle est l'énergie renouvelable ?

☐ L'énergie musculaire

☒ Le vent

☐ La foudre

L'effet photoélectrique est une interaction entre :

☐ Photon et électron

☒ Photon et neutron

☐ Photon et proton

Suivant

EN 11:46 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguier

Evaluations

Quelle est la bonne transformation d'énergie pour l'éolienne ?

☐ Energie électrique en énergie mécanique

☐ Energie électrique en énergie thermique

☐ Energie mécanique en énergie électrique

Quelle est la bonne transformation d'énergie pour le sèche-cheveux ?

☐ Energie électrique en énergie mécanique

☐ Energie électrique en énergie thermique

☐ Energie mécanique en énergie électrique

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Suivant

EN 11:46 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguer

Evaluations

Un photon incident X peut provoquer un effet photoélectrique

Calculer le travail d'extraction d'un électron dans le cas d'une cathode photoémissive au césium (seuil d'extraction : $\lambda_0 = 0,66 \mu\text{m}$)

Réponse (a) = 3.10^{-19}J
Réponse (b) = 1.10^{-19}J
Réponse (c) = 5.10^{-19}J

☐ Réponse (a) ☐ Réponse (b) ☐ Réponse (c)

En déduire la vitesse initiale maximale de cet électron à la sortie du métal quand la lumière incidente est monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$.

Réponse (d) : $v = 3,65.10^5 \text{m/s}$
Réponse (e) : $v = 3,65.10^6 \text{m/s}$
Réponse (f) : $v = 3,65.10^7 \text{m/s}$

☐ Réponse (d) ☐ Réponse (e) ☐ Réponse (f)

Précédent Suivant

EN 12:39 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguer

Evaluations

Tous les photons ont la même énergie.

☐ Vrai ☐ Faux

Lorsque la fréquence de la lumière augmente, sa longueur d'onde diminue.

☐ Vrai ☐ Faux

Précédent Suivant

EN 12:39 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Evaluations

Rôle de la cathode dans une cellule photoélectrique

☐ Libère des électrons ☐ Capte des électrons

Si de la lumière violette avec $\lambda = 400$ nm ne cause pas d'effet photoélectrique dans un métal, alors il est certain que de la lumière rouge avec $\lambda = 700$ nm ne causera pas d'effet photoélectrique dans ce métal.

☐ Vrai ☐ Faux

Précédent Suivant

EN 12:39 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Evaluations

Définition de la fréquence seuil

☐ C'est la plus grande valeur de la fréquence de radiation à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique

☐ C'est la plus petite valeur de la fréquence de radiation à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique

Définition de la longueur d'onde seuil

☐ C'est la plus grande valeur de la longueur d'onde à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique

☐ C'est la plus petite valeur de la longueur d'onde à utiliser pour provoquer l'effet photoélectrique

Précédent Suivant

EN 12:39 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Evaluations

**Une radiation a pour longueur d'onde dans le vide $\lambda = 4.10^7 \text{ m}$.
calculer sa fréquence**

Réponse : $\mu = 7,5.10^{14} \text{ Hz}$

☐ Vrai ☐ Faux

**Une cellule photoélectrique contient une anode A et une cathode C
constituée par un métal qui doit absorber une énergie $W^h = 4.10^{-19} \text{ J}$
pour qu'un électron soit expulsé. Quel est la valeur de la fréquence
seuil du métal. On donne $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$**

Réponse : $\mu_0 = 1,7.10^{14} \text{ Hz}$

☐ Vrai ☐ Faux

Précédent Suivant

EN 12:40 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Evaluations

**On éclaire une cellule par une radiation monochromatique de
longueur d'onde $\lambda = 0,55 \mu\text{m}$. La longueur d'onde seuil de la cathode
est $\lambda_0 = 0,66 \mu\text{m}$. La constante de Planck est $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$**

Calculer l'énergie maximale d'un électron à la sortie de la cathode

Réponse (a) $E_{\text{Cmax}} = 5,315.10^{-20} \text{ J}$
 Réponse (b) $E_{\text{Cmax}} = 6,018.10^{-20} \text{ J}$
 Réponse (c) $E_{\text{Cmax}} = 7,501.10^{-20} \text{ J}$

☐ Réponse (a) ☐ Réponse (b) ☐ Réponse (c)

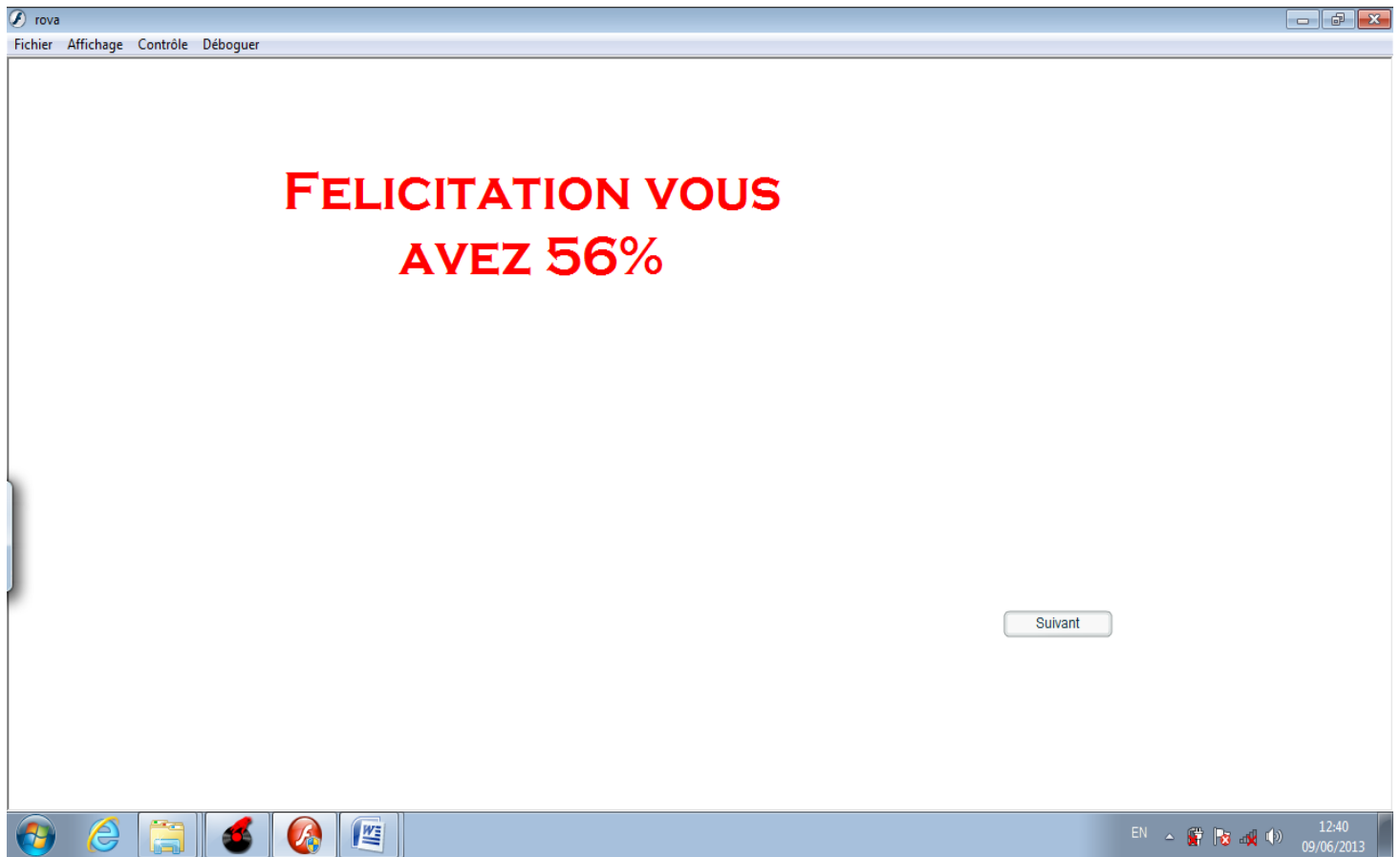
**Calculer la vitesse d'un électron à la sortie de la cathode. La masse
d'un électron est $m = 9.10^{-31} \text{ kg}$**

Réponse (d) : $v = 3,65.10^5 \text{ m/s}$
 Réponse (e) : $v = 3,65.10^6 \text{ m/s}$
 Réponse (f) : $v = 3,65.10^7 \text{ m/s}$

☐ Réponse (d) ☐ Réponse (e) ☐ Réponse (f)

Précédent Suivant

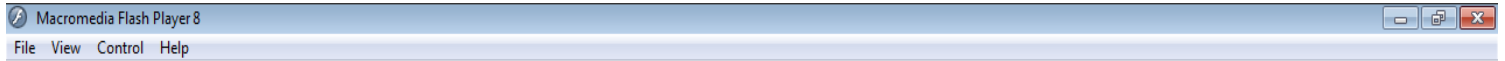
EN 12:40 09/06/2013



En cliquant sur le bouton « Suivant » une fenêtre s'ouvre en indiquant la moyenne des évaluations que l'apprenant a fait.

Si la moyenne est inférieure à 50%, le bouton « Suivant » amène l'apprenant à la page des documentations, ce qui signifie qu'il doit réviser les contenus précédents

Si la moyenne est supérieure ou égale à 50%, le bouton « Suivant » amène l'apprenant à la page de photovoltaïque



Photovoltaïque

Suivant



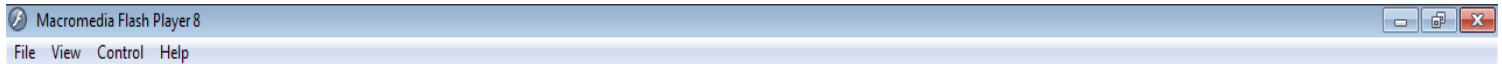
Les cellules photovoltaïques et leur fonctionnement sont étudiés dans cette section

Les semi-conducteurs intrinsèques et leurs caractéristiques sont présentés dans un premier temps. La notion de dopage d'un semi-conducteur et le mécanisme de ce dopage (dopage de type N et dopage de type P) sont introduites dans un deuxième temps, puis la jonction P-N qui forme la partie essentielle d'une cellule photovoltaïque est absorbée.

Le panneau solaire photovoltaïque et son principe de fonctionnement et les différents types de générateurs photovoltaïques sont ensuite traités.

L'étude de la notion de puissance crête d'un panneau solaire et l'analyse de la production d'énergie électrique d'un module photovoltaïque et de son rendement terminent cette section.

➤ **Semi-conducteur intrinsèques.**



Cellule photovoltaïque

Découvert en 1839 par Alexandre Edmond Becquerel, l'effet photovoltaïque caractérise la conversion de la lumière en électricité par des matériaux semi-conducteurs

Les semi-conducteurs

Ces matériaux ont une conductivité électrique intermédiaire entre les isolants et les métaux. Dans un semi-conducteur un courant électrique est favorisé par deux types de porteurs: les électrons et les trous.

Un semi-conducteur est un solide cristallin dont les propriétés de conduction électrique sont déterminées par deux bandes d'énergie particulières : d'une part, la bande de valence, qui correspond aux électrons impliqués dans les liaisons covalentes ; d'autre part, la bande de conduction, comprenant les électrons dans un état excité, qui peuvent se déplacer dans le cristal.

Ces deux bandes sont séparées par un gap, une bande interdite que les électrons ne peuvent franchir que grâce à une excitation extérieure (par exemple, l'absorption d'un photon). La bande interdite correspond à une barrière d'énergie, dont l'ordre de grandeur est l'électronvolt (eV).

Précédent

Suivant



➤ Dopage

Macromedia Flash Player 8

File View Control Help

Cellule photovoltaïque

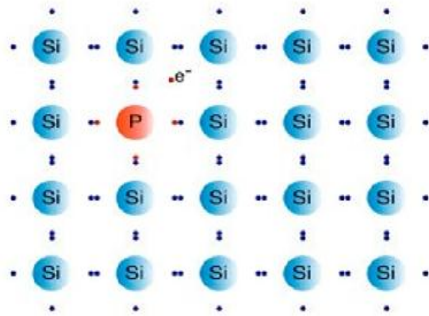
Le dopage :

Le dopage d'un matériau consiste à introduire dans sa matrice des atomes d'un autre matériau ; Ces atomes vont se substituer à certains atomes initiaux et ainsi introduire davantage d'électrons ou de trous. Les atomes de matériau dopant sont également appelés impuretés, et sont en phase diluée : leur concentration reste négligeable devant celle des atomes du matériau initial.

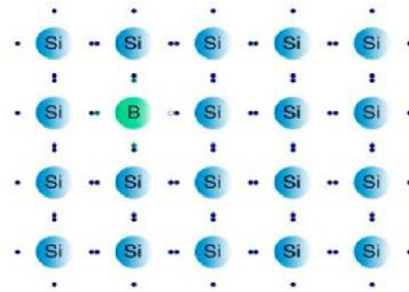
Dans un semiconducteur intrinsèque, ou pur, il n'y a aucun atome dopant. Tous les électrons présents dans la bande de conduction proviennent donc de la bande de valence. Il y a donc autant d'électrons que de trous : $n = p = n_i$; n_i est la concentration intrinsèque. Tout dopage sert à modifier cet équilibre entre les électrons et les trous, pour favoriser la conduction électrique par l'un des deux types de porteurs.

Il existe deux types de dopage :

- Type N : consiste à produire un excès d'électrons qui sont négativement chargés
- Type P : consiste à produire une carence en électrons, donc un excès de trous, considérés comme positivement chargés.



Dopage de type n



Dopage de type p

Précédent

Suivant


 EN 11:56
09/06/2013

➤ Mécanisme du dopage type N et type P

Macromedia Flash Player 8

File View Control Help

Cellule photovoltaïque

L'atome d'impureté provoque des effets qui dépendent de la colonne qu'il occupe dans la classification périodique de Mendeleïev, par rapport à la colonne de l'atome qu'il remplace.

- *Si l'atome dopant appartient à la colonne précédente, il manque alors un électron périphérique pour rétablir l'ensemble des liaisons covalentes initiales. Il apparaît alors une carence en électrons, autrement dit un trou. L'atome inséré est dit accepteur (d'électron), car il est capable de recevoir un électron supplémentaire, provenant de la bande de valence. C'est un dopage P.*

- *Si l'atome dopant appartient à la colonne suivante, il possède un électron supplémentaire par rapport à l'atome initial. Les liaisons covalentes initiales sont restaurées, mais un des électrons n'est pas utilisé dans ces liaisons. Il est donc sur un état libre du système. L'atome inséré est dit donneur (d'électron). C'est un dopage N.*

- *Un même atome dopant peut être à la fois donneur et accepteur : il est alors dit amphotère. C'est par exemple le cas du Silicium (Si, colonne IV), qui est un dopant de l'Arséniure de gallium (AsGa) : si le Si se met en substitution d'un atome de Gallium (colonne III), il est donneur d'électron. S'il est en substitution d'un atome d'Arsenic (colonne V), il est accepteur.*

Le dopage provoque l'apparition de nouveaux niveaux accepteurs et donneurs d'électrons dans la structure de bande du matériau dopé. Ces niveaux apparaissent dans le gap, entre la bande de conduction et la bande de valence. Ainsi, l'énergie nécessaire pour que les électrons passent dans la bande de conduction est bien plus facilement atteinte que dans un semi-conducteur intrinsèque.

Précédent

Suivant



EN 11:57 09/06/2013

➤ Jonction P-N

Macromedia Flash Player 8

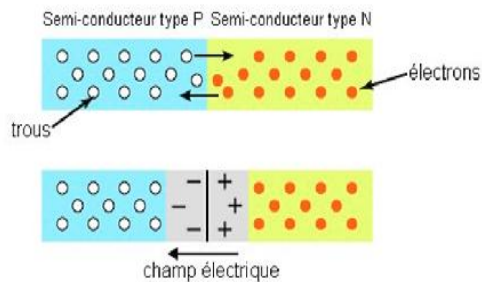
File View Control Help

Cellule photovoltaïque

Jonction P-N

Une jonction *P-N* est créée en juxtaposant un semi-conducteur dopé *P* avec un semi-conducteur dopé *N*. On l'utilise dans de nombreux dispositifs électroniques.

Les électrons, majoritaires dans la zone *N* vont migrer vers la zone *P*. Ce mouvement de charges polarise la jonction : la zone *N* proche de la jonction devient électriquement positive et la zone *P* devient électriquement négative. Un champ électrique interne est créé. Mais cette diffusion de charges crée un autre champ en sens inverse. Quand une onde électromagnétique de fréquence adaptée vient frapper la jonction, certains photons libèrent une paire « électron-trou ». Les porteurs de charges gagnent de l'énergie et sont accélérés par le champ électrique interne. Un courant circule alors si on ferme le circuit.



Jonction P-N

Précédent

Suivant



EN 11:57
09/06/2013

➤ Présentation d'un panneau solaire photovoltaïque

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Panneau solaire photovoltaïque

Définition et présentation d'un panneau solaire photovoltaïque

- *La cellule photovoltaïque est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.*
- *Un panneau photovoltaïque est formé d'un assemblage des cellules photovoltaïques. Parfois, les panneaux sont appelés module photovoltaïque.*
- *Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque*



Cellule photovoltaïque



Panneau photovoltaïque



Champ photovoltaïque

Précédent

Suivant

FR 12:10 09/06/2013

➤ Les générateurs photovoltaïques

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Panneau solaire photovoltaïque

Les différents types de générateurs photovoltaïques

Silicium monocristalline

Les panneaux solaires photovoltaïques avec des cellules monocristallines représentent la première génération des générateurs photovoltaïques. Ces cellules élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un cristal. Leur procédé de fabrication est long et exigeant en énergie. Ces cellules sont rondes ou presque carrées et vues de près, elles ont une couleur uniforme. Elles ont un rendement de 12 à 18%.

Silicium polycristalline

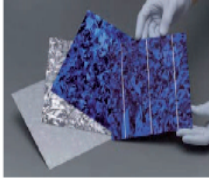
Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiple. Le Wafers est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé crée une structure polycristalline. Vu de près; on peut voir les orientations différents des cristaux. Elles ont un rendement de 11 à 15%.

Silicium amorphe

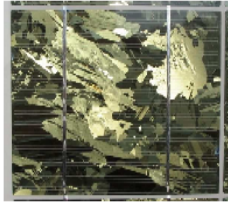
Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8%. Ils sont fabriqués à partir des composés dans lequel les atomes ne respectent aucun ordre.

Précédent

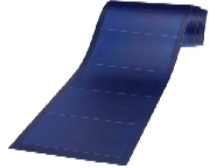
Suivant




Silicium monocristalline



Silicium polycristalline



Silicium amorphe



FR 12:11 09/06/2013

➤ Principe de fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque

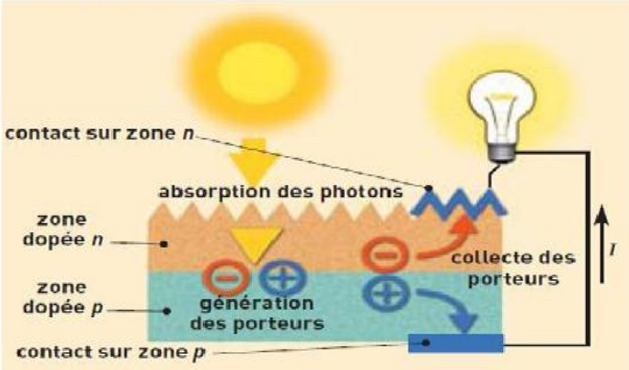
Panneau solaire photovoltaïque

Principe de fonctionnement de panneau solaire :

En fait la cellule est composée de matériaux semi-conducteurs dopés P et N dont la jonction PN ne permet pas aux électrons excédentaires de la zone N de traverser la jonction et d'occuper les trous de la zone P. ainsi lorsque la lumière frappe la surface (dopée n) d'une cellule photovoltaïque, les photons qui composent cette lumière communiquent leur énergie aux atomes du matériau en libérant les électrons des atomes

Ces électrons libérés de la zone n ne peuvent pas directement traverser la jonction PN, ils traversent le contact sur zone n et vont tout le long de circuit afin d'arriver au contact sur zone p puis ils peuvent arriver à la zone p de la cellule photovoltaïque et ces électrons arrivés au zone p peuvent traverser la jonction PN

Pour une cellule photovoltaïque, la production d'électricité est liée aux photons de la lumière qui éclaire le dispositif. Plus des photons frappent la cellule, plus la quantité d'électricité produite est importante.



Principe de fonctionnement de panneau solaire

Précédent Animation 03 Suivant

FR 12:15 09/06/2013

. On représente ici le mouvement des électrons lorsqu'ils sont arrachés de la plaque par le rayonnement solaire

En cliquant sur le bouton « Animation 03 » la fenêtre d'animation s'ouvre pour montrer le mouvement d'un électron.

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Panneau solaire photovoltaïque

Principe de fonctionnement de panneau solaire :

En fait la cellule est composée de matériaux semi-conducteurs dopés P et N dont la jonction PN permet de traverser la jonction PN. Ces électrons, en traversant la jonction PN, ils traversent la jonction PN. Pour une certaine quantité de lumière, plus la

Animation 3

Mouvement d'un électron dans une cellule solaire

Zone type «n»

Zone type «p»

Electron (-)

Trou (+)

Circuit électrique

zone dopée p

génération des porteurs

contact sur zone p

collecte des porteurs

Principe de fonctionnement de panneau solaire

Précédent Animation 03 Suivant

FR 12:16 09/06/2013

➤ Puissance crête d'un panneau solaire.

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Panneau solaire photovoltaïque

La puissance crête d'un panneau solaire :

Par définition, la puissance crête représente la puissance maximum fournie par une cellule lorsque l'éclairement est dans les conditions STC (Standard test conditions ou condition standard de test) .

Un module photovoltaïque se caractérise par cette puissance crête P_c (en W), puissance dans ces conditions STC (1000W/m^2 à 25°C)

Si le module est exposé dans ces conditions, il va produire à un instant donné une puissance électrique égale à cette puissance crête.

La puissance affichée sur chaque module photovoltaïque est sa puissance crête.

STC @ 1000 W.m ⁻² -AM 1.5-CELL T 25°C	
MODEL TYPE MSX60	P _{MAX} 62.5 W
SERIAL NO. CYTHELIA-01	V _{OC} 21.4 V
MAX. SYS. OPER. VOLT. 600 V	I _{SC} 3.86 A
MIN. BYPASS DIODE I _F 5 A	V _P MAX 17.6 V
SERIES FUSE 5 A	I _P MAX 3.54 A
AT 600 W.m ⁻² -AM 1.5-CELL T 49 °C	
WILL PRODUCE: P _{MAX} 45.5 W	
I _P MAX 2.90 A	

SOLAREX
An Amoco Company

630 Solarex Court
Frederick, MD., 21701, U.S.A.

Précédent

Suivant

FR 12:17
09/06/2013

➤ Production électrique d'un module photovoltaïque.

Il s'agit ici de l'étude de production électrique par un module photovoltaïque en nue journée.

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Panneau solaire photovoltaïque

Production électrique d'un module en une journée

Un module se caractérise avant tout par sa puissance crête P_c puissance dans les conditions *STC*.
 Le module exposé dans les conditions *STC* va produire à un instant donné une puissance électrique égale à cette puissance crête et si cela dure N heures, il aura produit une énergie électrique E_{elec} égale au produit de la puissance crête par le temps écoulé.

$$E_{elec} = N \cdot P_c$$

Cependant, le rayonnement n'est pas constant pendant une journée d'ensoleillement, donc on ne peut pas appliquer strictement cette loi.
 Afin de calculer ce que produit un module photovoltaïque pendant une journée d'ensoleillement qui a certain profil et une énergie solaire intégrée en Wh/m^2 , on va assimiler cette énergie solaire au produit du rayonnement instantané $1000W/m^2$ par un certain nombre d'heures que l'on appelle « nombre d'heures équivalentes ».

$$E_{sol} = N_e \cdot 1000$$

Précédent

Suivant

FR 12:17 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Panneau solaire photovoltaïque

On suppose ensuite que la puissance du panneau est directement proportionnelle au rayonnement instantané. On peut alors multiplier la puissance crête du panneau solaire par ce nombre d'heures équivalentes pour obtenir la production photovoltaïque pendant cette journée.

$$E_{elec} = N_e \cdot P_c$$

On peut l'écrire aussi ;

$$E_{elec} = \frac{E_{sol} \cdot P_c}{1000}$$

$$C_{elec} = E_{sol} \times I_m \times C_p$$

C_{elec} : Charge électrique produite dans une journée (Ah/jour)

E_{sol} : Energie solaire journalière (kWh/m².jour)

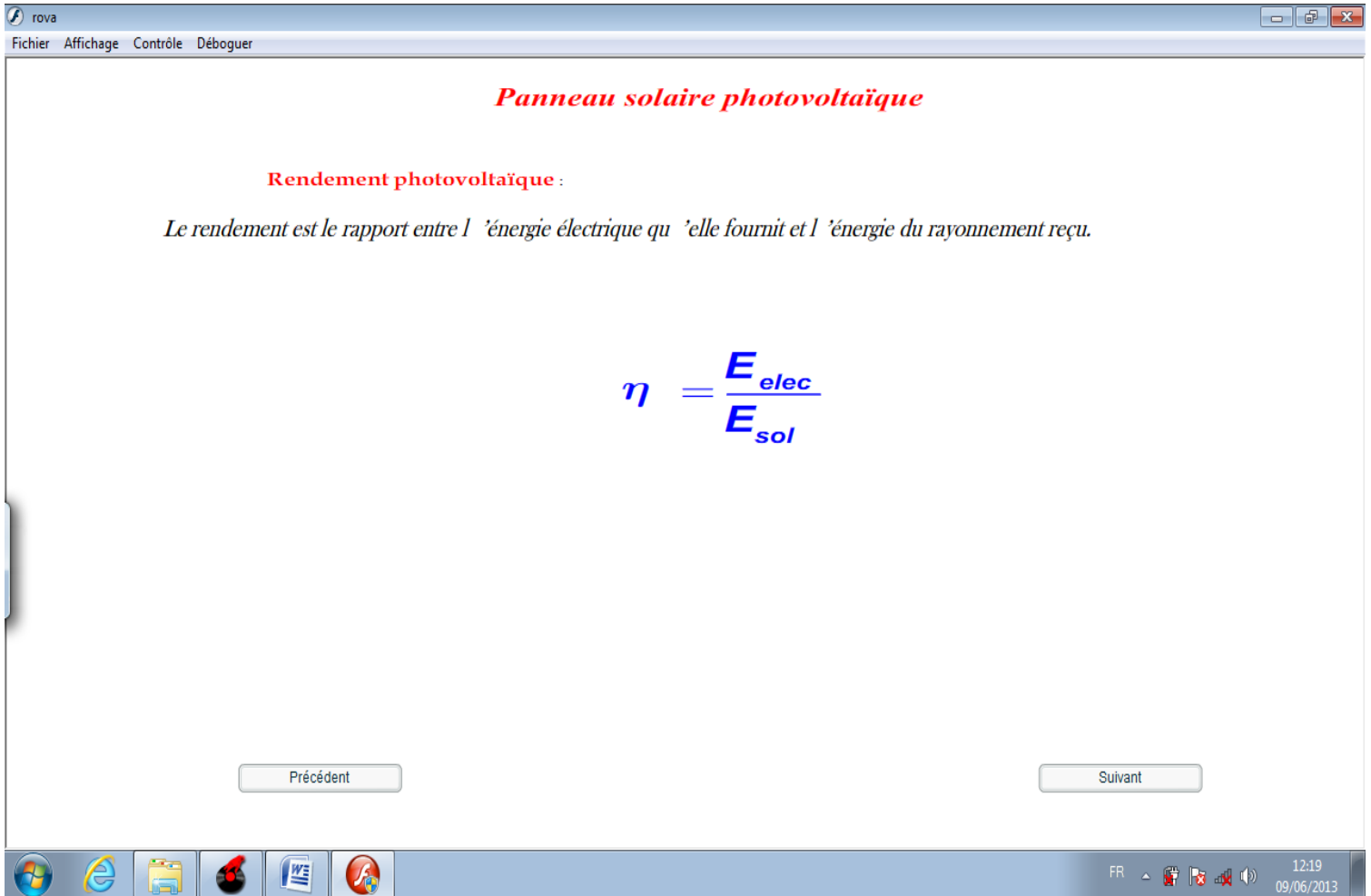
I_m : Courant à la puissance maximale STC du module (A)

C_p : Coefficient des pertes

Précédent

Suivant

FR 12:18 09/06/2013



The screenshot shows a software application window titled "rova" with a menu bar containing "Fichier", "Affichage", "Contrôle", and "Débuguer". The main content area displays the following text:

Panneau solaire photovoltaïque

Rendement photovoltaïque :

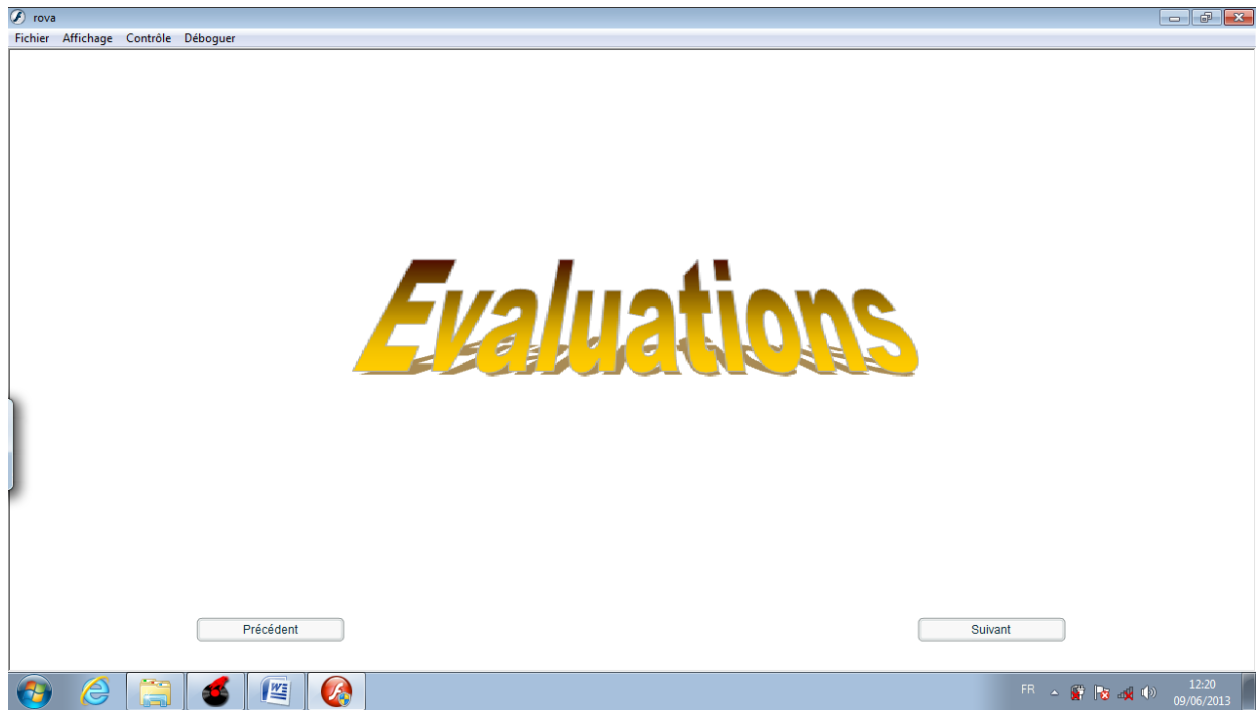
Le rendement est le rapport entre l'énergie électrique qu'elle fournit et l'énergie du rayonnement reçu.

$$\eta = \frac{E_{elec}}{E_{sol}}$$

At the bottom of the content area, there are two buttons: "Précédent" on the left and "Suivant" on the right.

The Windows taskbar at the bottom shows the Start button, icons for Internet Explorer, File Explorer, a game controller, a document, and a red circular icon. The system tray on the right shows the language "FR", system icons, and the date/time "12:19 09/06/2013".

➤ Evaluation



Cette partie concerne essentiellement les évaluations qui se rapportent à la cellule photovoltaïque. Une évaluation sommative sur l'effet photoélectrique termine ce module d'apprentissage.

➤ **Evaluation relative à la cellule photoélectrique.**

The screenshot shows a software window titled 'rova' with a menu bar containing 'Fichier', 'Affichage', 'Contrôle', and 'Déboguer'. The main content area is titled 'Evaluations' and contains two multiple-choice questions. The first question asks what causes the photovoltaic effect, with 'la chaleur' selected. The second question asks for the most common material for photovoltaic cells, with 'le silicium' selected. At the bottom of the window are 'Précédent' and 'Suivant' buttons. The Windows taskbar at the bottom shows icons for Internet Explorer, File Explorer, and other applications, along with the system clock showing 12:44 on 09/06/2013.

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguer

Evaluations

L'effet photovoltaïque se produit lorsqu'une cellule photovoltaïque est exposée à :

☒ la chaleur ☐ la lumière ☐ La foudre

Quel est le matériau le plus utilisé pour fabriquer des cellules photovoltaïques?

☒ le silicium ☐ le plastique ☐ l'aluminium

Précédent Suivant

EN 12:44 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Evaluations

Qu'est-ce que le rendement d'un panneau solaire?

- ☒ la chaleur dégagée par un panneau
- ☐ le nombre de panneaux produits par une usine
- ☐ la quantité d'électricité produite par rapport à la lumière reçue

Que fait un panneau photovoltaïque?

- ☒ il transforme la lumière du soleil en eau chaude
- ☐ il transforme la lumière du soleil en électricité
- ☐ il transforme la chaleur du soleil en électricité

Précédent Suivant

EN 12:44 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Débuguer

Evaluations

Pour un éclairage donné, la puissance fournie par la cellule varie lorsque l'on fait varier la charge aux bornes de cette cellule.

☒ Vrai ☐ Faux

Le rendement énergétique de la cellule est le pourcentage du rayonnement transformé en énergie

☒ Vrai ☐ Faux

Précédent Suivant

EN 12:45 09/06/2013

rova

Fichier Affichage Contrôle Déboguier

Evaluations

Les cellules en série permettent d'obtenir de plus grand voltages mais ne permettent pas d'obtenir plus de courant

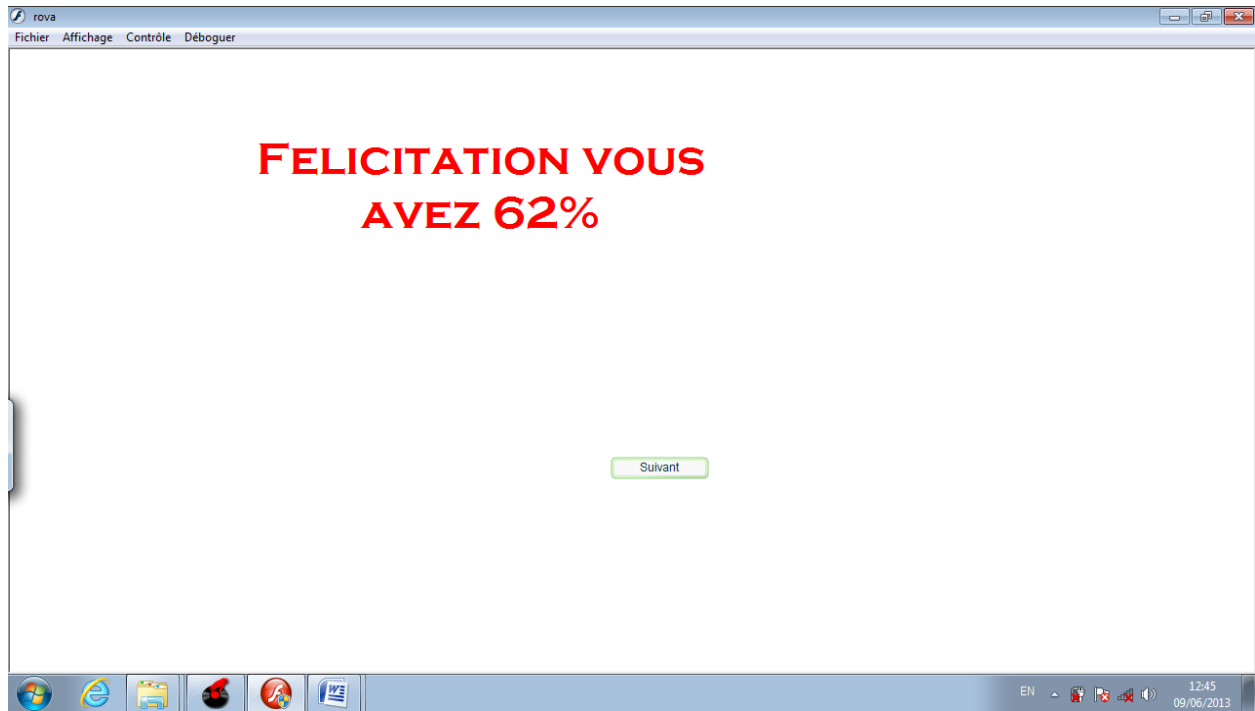
☒ Vrai ☐ Faux

Les cellules en parallèles permettent d'obtenir plus de courant mais ne permettent pas d'avoir plus de voltage.

☒ Vrai ☐ Faux

Précédent Suivant

EN 12:45 09/06/2013



En cliquant sur le bouton « Suivant » une fenêtre s'ouvre en indiquant la moyenne des évaluations que l'apprenant a fait.

Si la moyenne est inférieure à 50%, le bouton « Suivant » amène l'apprenant à la page des documentations, ce qui signifie qu'il doit réviser les contenus précédents

Si la moyenne est supérieure ou égale à 50%, le bouton « Suivant » amène l'apprenant à la page de photovoltaïque

➤ Evaluation sommative sur l'effet photoélectrique

rova

Fichier Affichage Contrôle Débugger

Evaluations

Problème 1 :

1. Une radiation monochromatique a pour longueur d'onde dans le vide $\lambda = 4.10^{-7}\text{m}$. Calculer sa fréquence.
2. Une cellule photoémissive contient une anode A, une cathode C constituée par un métal qui doit absorber une énergie égale à $W_0 = 4.10^{-19}\text{J}$ pour qu'un électron en soit expulsé.
 - a. Quelle est la valeur de la fréquence du métal ?
 - b. Quelle est alors la vitesse de l'électron émis par la cathode si celle-ci reçoit une radiation incidente de fréquence γ_0
3. La cellule reçoit le rayonnement de longueur d'onde $\lambda = 4.10^{-7}\text{m}$. Quelle est la vitesse de l'électron à la sortie de la cathode ?
4. On établit entre A et C une différence de potentiel $U = 100\text{V}$. En admettant qu'à la sortie de la cathode un électron a une vitesse nulle. Quelle est sa vitesse en arrivant à l'anode.
On donne $h = 6,62.10^{-34}\text{Js}$; $m_e = 9.10^{-31}\text{kg}$; $-e = -1,6.10^{-19}\text{C}$; $C = 3.10^8\text{m/s}$

Problème 2 :

1. Qu'appelle-t-on effet photoélectrique ?
2. La longueur d'onde seuil d'une cellule photoémissive au césium est $\lambda_0 = 0,66\mu\text{m}$. Définir l'énergie d'extraction W_0 d'un électron puis la calculer en J et en eV.
3. On éclaire cette cellule par une radiation monochromatique de longueur d'onde $\lambda_1 = 0,55\mu\text{m}$.
 - a. Expliquer pourquoi l'effet photoélectrique se produit-il ?
 - b. Calculer l'énergie cinétique d'un électron à la sortie de la cathode
4. Calculer la vitesse maximale d'un électron à la sortie de la cathode.

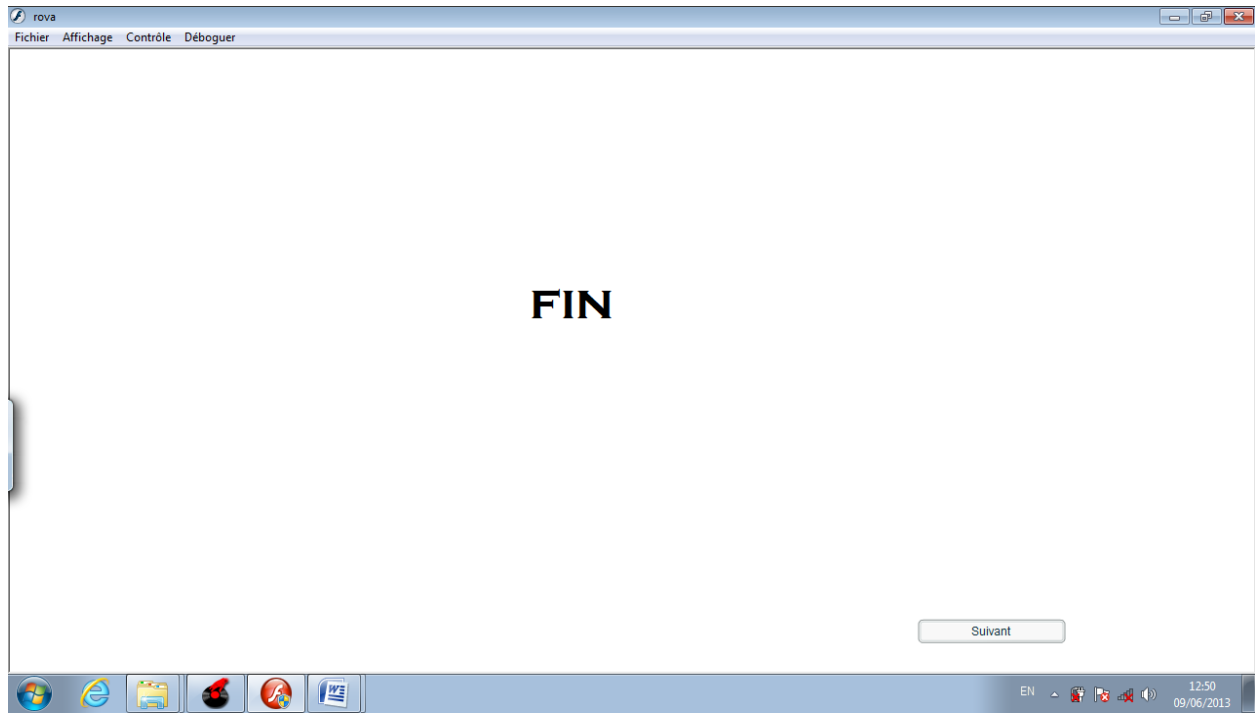
Problème 3 :

1. Qu'appelle-t-on fréquence seuil ?
2. Définir le potentiel d'arrêt d'une cellule photoélectrique
3. Une cellule photoélectrique de longueur d'onde seuil $\lambda_0 = 0,564\mu\text{m}$ et de potentiel d'arrêt $U_0 = 0,4\text{V}$ est éclairée par une radiation monochromatique de longueur d'onde λ qui permet d'obtenir l'effet photoélectrique.
 - a. Calculer en J et en eV, l'énergie d'extraction W_0 d'un électron du métal qui recouvre la cathode de cette cellule.
 - b. Calculer en J, l'énergie maximale d'un électron à la sortie de la cathode de la cellule
4. En déduire la fréquence γ et la longueur d'onde λ de la radiation utilisée
5. Calculer la vitesse maximale d'un électron à la sortie de la cathode.

Suivant

EN 12:46 09/06/2013

On propose trois problèmes sur l'effet photoélectrique pour renforcer les acquis des apprenants



CONCLUSION

Dans ce mémoire, nous avons vu la transformation de l'énergie de rayonnement solaire en énergie électrique : cas d'une plaque solaire photovoltaïque.

La première partie présente une revue théorique sur l'énergie renouvelable qui provient d'une source renouvelable comme le soleil, le vent et l'eau de la rivière ou l'eau de la mer en énergie utile à la vie courante. On trouve aussi dans cette partie le phénomène d'effet photoélectrique qui constitue la base du fonctionnement des plaques solaires photovoltaïques, ainsi que la description et le fonctionnement d'une plaque solaire photovoltaïque.

La deuxième partie est consacrée à la présentation des modules d'apprentissage que nous avons développés et qui portent essentiellement sur l'effet photoélectrique et les cellules photovoltaïques. Ces modules s'appuient sur quelques animations et de ce fait valorisent la technologie d'information et de la communication appliquée à l'enseignement (TICE).

Ce didacticiel est constitué de pages web élaborées avec les logiciels Macromédia Flash 8 Professional et Math Type 5.0. Le langage de programmation Action Script 2.0 a été aussi utilisé.

L'intérêt de ce didacticiel est qu'avec lui, l'apprenant peut travailler individuellement dès qu'il possède un ordinateur.

La réalisation de ce didacticiel a demandé beaucoup de patiences, surtout de temps. Il n'est pas parfait mais on pourra toujours l'améliorer.

Il reste à explorer l'ouverture sur d'autres modules dans le domaine de la physique et de la chimie. A vrai dire, on peut faire des ressources numériques et des simulations avec des logiciels comme le flash, le Visual Basic, le Borland C++... Nous encourageons

les autres étudiants à suivre notre chemin et à concevoir des didacticiels concernant surtout les parties difficiles dans le domaine des sciences physiques.

Nous espérons que l'apprenant tirera profit de cet outil.

Bibliographies et webographies :

1. J. CESSAC, S. PECOT, B. TREHERNE (1966) *Physique Chimie 1ère A et B*, Paris Fernand Nathan
2. MBE Marcellin Richard. *Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique (N° d'ordre 282 PC)*. Ecole Normale Supérieure, Antananarivo
3. ANDRIAMANANARIVO Elly Johnson Roslas, *Simulation sur microordinateur de la pile électrochimique. (N° d'ordre 272 PC)*. Ecole Normale Supérieure, Antananarivo
4. RASOLOMANANA Hary Andrianaina, *Energie solaire, conversion thermique et photovoltaïque. (N° d'ordre 158PC)*. Ecole Normale Supérieure, Antananarivo
5. DIZY Dominique, FRADILLON Axel, DUDOIS Luis, DEDAETS Kevin Dossier pour TPE : *Panneaux solaire Photovoltaïque* (03 Mars 2011)
6. Energie solaire photovoltaïque.doc/B Flèche-D Delagnes/ Juin 2007
7. www.mouhandess.org/fldr/renouvlabes.pdf
8. www.mrm.gov.pf/
9. www.enegries-solidaire.org
10. www.planetscop.com
11. Oleksiy Nichiporuk, *thèse en PC 2005* INSA de Lyon
12. www.dplusa.fr/pdf
13. www.dplusa.fr
14. www.univ-pau.fr
15. www.cea.fr
16. www.cea.fr/content.pdf
17. www.connaissancedesenergie.org
18. www.thecnologie.ac_aix.marseill.fr
19. www.mouhandess.org
20. www.odpf.org
21. www.cea.fr/fr/Publication/clefs 50
22. <http://purlascience.com/>
23. / <http://www.larecherche.com>
24. http://www.sunpower-ong.org/fichiers/projet_energie_solaire.pdf
25. <http://www.lycee-verdun.edu.lb/pdf>
26. http://www.in-terre-actif.com/fr/fichier/energies_renouvelables.pdf
27. <http://energie.wallonie.be/servlet/Repository/1%27energie-solaire-photovoltaique-du-soleil-au-courant.PDF?IDR=9366>
28. http://www.in-terre-actif.com/fr/fichier/energies_renouvelables.pdf
29. <http://www.marc.blaise.freesurf.fr/felix/Panneauxs.pdf>

30. <http://tpepanneauxsolaires.fr/>

31. [http://panneausolaire.free.fr/fabrication fonctionnement.php](http://panneausolaire.free.fr/fabrication_fonctionnement.php)

Nom : ANDRIAMAROFARAN

Prénom : Rova Lalaina

Titre du mémoire : « Transformation de l'énergie de rayonnement solaire en énergie électrique : cas d'une plaque solaire photovoltaïque »

Nombre de page : 81

Nombre de figure : 27

Nombre de tableau : 01

Mots clés : énergies, rayonnement solaire, photoélectrique, photovoltaïque.

RESUME

Ce travail est axé sur la transformation de l'énergie de rayonnement solaire en énergie électrique par le biais d'une plaque solaire photovoltaïque. Il comprend deux parties

La première partie présente un repère théorique sur l'énergie renouvelable, le rayonnement solaire, le phénomène d'effet photoélectrique et décrit une plaque solaire photovoltaïque et son fonctionnement.

La deuxième partie est consacrée à la présentation et l'exploitation d'un didacticiel que nous avons conçu et qui rapporte au thème d'étude.