

Préambule

Ce document est une proposition de correction d'épreuve du CAPES externe de physique-chimie. Il ne doit pas être considéré comme un modèle de copie à rendre mais plutôt comme une aide à la correction.

Il est possible que quelques erreurs se soient glissées dans cette version. Si vous pensez en avoir trouvé une, merci de me contacter via l'adresse phy-chim@laposte.net ou en flashant le QR-code suivant ;



Si vous appréciez la qualité de ce document vous pouvez me soutenir en effectuant un don en cliquant [ICI](#) ou en flashant le QR-code ci-dessous :



Ce document est mis à disposition gratuitement selon les termes de la Licence Creative Commons : Attribution – Pas d'utilisation commerciale – Partage dans les mêmes conditions 4.0 International.



Table des matières

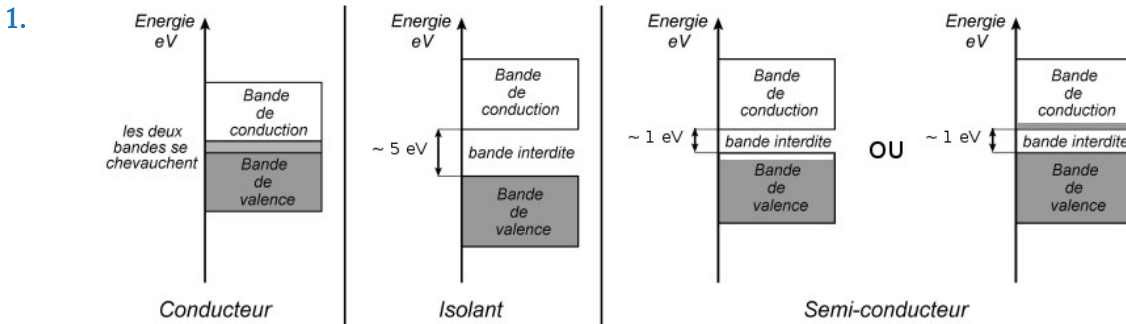
2017 – COMPOSITION : LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES ET LEUR INSTALLATION

Partie A : Propriétés électriques des semi-conducteurs.....	1
Partie B : Modification des caractéristiques électriques des semi-conducteurs.....	3
B.1. Diffusion d'impuretés	
B.2. Dopage N et P du silicium	
Partie C : De la jonction P-N à l'effet photovoltaïque.....	5
C.1. la jonction PN à l'équilibre	
C.2. L'effet photovoltaïque	
C.3. La cellule photovoltaïque	
Partie D : Des panneaux photovoltaïques au réseau électrique.....	9
D.1. L'onduleur	
D.2. Production d'énergie chez un particulier	
Partie E : Optimisation de l'installation des panneaux solaires.....	11

2017 – COMPOSITION :

LES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES ET LEUR INSTALLATION

Partie A : Propriétés électriques des semi-conducteurs



2. Nombre d'atomes de silicium par unité de volume : $n(\text{Si}) = 5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$
 Nombre de porteurs de charges par unité de volume : $n_i = p_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3} = 1,5 \cdot 10^{16} \text{ m}^{-3}$
 On constate que le nombre de porteurs est très inférieur au nombre d'atomes :

$$n_i, p_i \ll n(\text{Si}) .$$

Dans un conducteur on aurait $n_i, p_i \approx n(\text{Si})$. Le silicium pur est donc un semi-conducteur.

3. La vitesse d'ensemble d'un type de porteur est la vitesse moyenne de ces porteurs de charge :

$$\vec{v}_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{n=N} \vec{v}_{i,n} \quad \text{avec } N = \text{nombre de porteurs de charges par unité de volume}$$

$$[\mu_i] = [v_i] / [E] = (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) / (\text{V} \cdot \text{m}^{-1}) = \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$$

On constate que $|\mu_n| > |\mu_p|$, en effet, pour déplacer un trou il faut déplacer successivement plusieurs électrons d'où une mobilité inférieure pour un trou que pour un électron.

4. $\vec{j} = -e \times n_n \times \vec{v}_n + e \times n_p \times \vec{v}_p = e \times n_i (\vec{v}_p - \vec{v}_n)$

$$\vec{j} = e \times n_i (\mu_p - \mu_n) \vec{E}$$

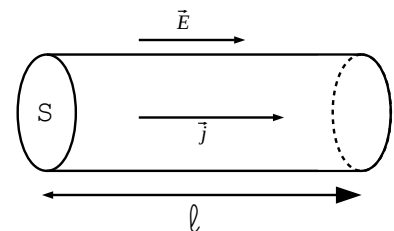
5. Loi d'Ohm locale : $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ donc $\sigma = e \times n_i \times (\mu_p - \mu_n)$

$$[\sigma] = [j] / [E] = (\text{A} \cdot \text{m}^{-2}) / (\text{V} \cdot \text{m}^{-1}) = \text{A} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \text{ (ou } \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$$

Application numérique :

$$\sigma_{\text{Si}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \times 1,5 \cdot 10^{16} \times (475 - (-1500)) \cdot 10^{-4} = 4,7 \cdot 10^{-4} \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

6. Dans un semi-conducteur lorsque la température augmente, le nombre de paires électron-trou créé augmente. Par conséquent le nombre de porteurs de charge augmente tout comme la conductivité.



$$7. \quad I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{S} = \iint_S \sigma \cdot \vec{E} \cdot d\vec{S} = \sigma \cdot E \cdot S$$

$$\text{Soit } U = \int_1 \vec{E} \cdot d\vec{l} = E \cdot l$$

$$\text{La loi d'Ohm donne } U = R_{Si} \times I \text{ donc } R_{Si} = \frac{U}{I} = \frac{l}{\sigma_{Si} \cdot S}$$

Application numérique :

$$R_{Si} = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{4,7 \cdot 10^{-4} \times \pi \times (0,0010)^2} = 6,8 \cdot 10^6 \Omega$$

8. Dans un métal, le nombre de porteurs de charges (électrons libres) ne dépend pas de la température. En revanche le réseau cristallin vibre d'autant plus que la température est élevée du fait des phonons. Cette désorganisation du réseau fait diminuer la conductivité du métal.

$$\text{Application numérique : } R_{Cu} = \frac{l}{\sigma_{Cu} \cdot S} = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{59,6 \cdot 10^6 \times \pi \times (0,0010)^2} = 5,3 \cdot 10^{-5} \Omega \ll R_{Si}$$

9. $R = \bar{R} \pm k \times \sigma_{\text{exp}}$ avec $k = 2$ pour un intervalle de confiance à 95 % et :

$$\bullet \quad \bar{R} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} \frac{U_i}{I_i} = 5,26 \Omega$$

$$\bullet \quad \sigma_{\text{exp}} = \frac{\sigma(R)}{\sqrt{N}} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^{i=N} (R_i - \bar{R})^2} = 0,079 \Omega$$

$$\text{Soit : } R = (5,3 \pm 0,2) \Omega$$

Proposition d'exploitation pédagogique :

- Classe : Terminale S – Enseignement de spécialité
- Sujet : Thème n°3 – Les matériaux (structure et propriétés)
- Documents :
 - Les 3 séries de mesures
 - Un document sur l'évaluation d'une incertitude de répétabilité
- Problématique : Les résultats de mesures peuvent-elles permettre de dire que la résistance d'une thermistance dépend de la température ?
- Attendus : l'élève effectue la moyenne des 3 séries et calcule l'incertitude associée. Il compare la variation de la résistance à l'incertitude sur celle-ci et conclut.

Partie B : Modification des caractéristiques électriques des semi-conducteurs

B.1. Diffusion d'impuretés

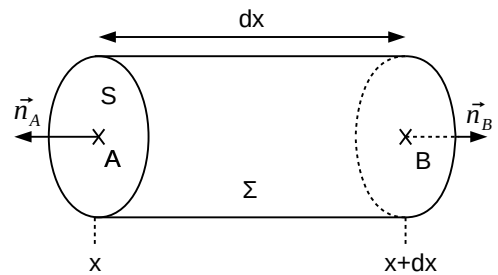
10. Les impuretés se déplacent des zones où leur concentration est élevée vers les zones où elle l'est moins. Ce déplacement crée un courant d'impuretés $\vec{J}_d(M, t)$ de sens opposé au gradient de concentration $\vec{\text{grad}}(c(M, t))$.

$$[c] = \text{m}^{-3}, [J] = \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}, [D] = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

11.
$$\frac{\partial N}{\partial t} = \iint_{\Sigma} \vec{J}_d(M, t) \cdot \vec{n} \cdot dS$$

Avec :

- $$\frac{\partial N}{\partial t} = S \times dx \times \frac{\partial c(x, t)}{\partial t}$$
- $$\begin{aligned} \iint_{\Sigma} \vec{J}_d(M, t) \cdot \vec{n} \cdot dS &= S \times J_d(x, t) - S \times J_d(x+dx, t) \\ &= S \times J_d(x, t) - S \times \left(J_d(x, t) + \frac{\partial J_d(x, t)}{\partial x} \times dx \right) \\ &= -S \times dx \times \frac{\partial J_d(x, t)}{\partial x} \end{aligned}$$



On en déduit :
$$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = - \frac{\partial J_d(x, t)}{\partial x}$$

12. En utilisant la formule de la question 10 :

$$\frac{\partial J_d(x, t)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(-D \cdot (\vec{\text{grad}} c(x, t)) \cdot \vec{u}_x \right) = -D \cdot \frac{\partial^2 c(x, t)}{\partial x^2}$$

En utilisant la formule de la question 11 :

$$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = D \times \frac{\partial^2 c(x, t)}{\partial x^2}$$

13. On calcule :

- $$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = \left(\frac{dA(t)}{dt} + \frac{A(t) \cdot x^2 \cdot dB/dt}{B(t)^2} \right) \cdot e^{-x^2/B(t)}$$
- $$\frac{\partial^2 c(x, t)}{\partial x^2} = \frac{-2 \cdot A(t)}{B(t)} \left(1 - \frac{2 \cdot x^2}{B(t)} \right) \cdot e^{-x^2/B(t)}$$

En utilisant la question 12, on obtient :

$$\frac{dA(t)}{dt} + \frac{A(t) \cdot x^2 \cdot dB(t)/dt}{B(t)^2} = \frac{-2 \cdot D \cdot A(t)}{B(t)} \left(1 - \frac{2 \cdot x^2}{B(t)} \right)$$

En $x=0$ cette équation devient :

$$\frac{dA(t)}{dt} = -\frac{2 \cdot D \cdot A(t)}{B(t)} \quad (a)$$

Le nombre total d'impuretés vaut :

$$S \cdot N_0 = \iiint_V c(x, t) \cdot dx \cdot dy \cdot dz = S \cdot A(t) \cdot \int_0^\infty e^{-x^2/B(t)} \cdot dx = S \cdot A(t) \cdot \sqrt{B(t)} \cdot \pi/4$$

Pour la dernière étape, un changement de variable est nécessaire avant d'utiliser la formule de l'annexe 4 : $x/\sqrt{B(t)} \rightarrow X$ et $dx \rightarrow \sqrt{B(t)} \cdot dX$

On en déduit $A(t) = \frac{2 \cdot N_0}{\sqrt{\pi \cdot B(t)}} \quad (b)$ et en dérivant $\frac{dA(t)}{dt} = \frac{-N_0}{\sqrt{\pi \cdot B(t)^3}} \cdot \frac{dB(t)}{dt} \quad (c)$

En injectant (b) et (c) dans (a) on obtient :

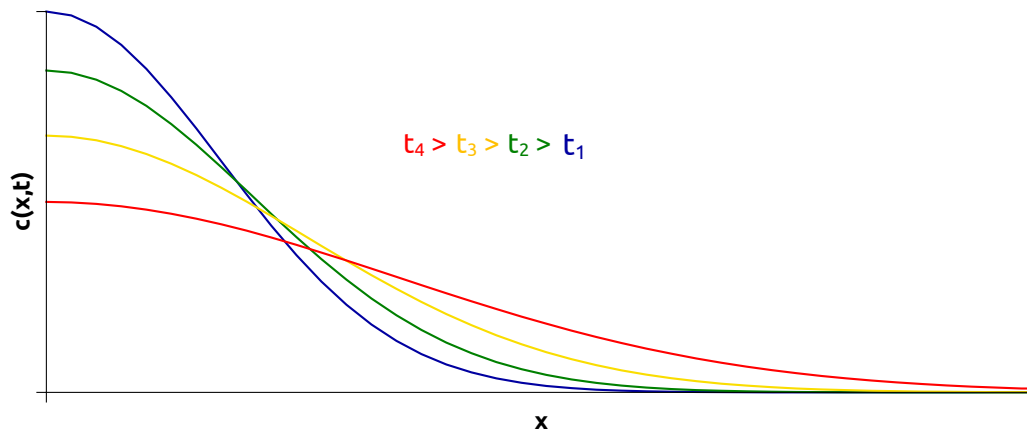
$$\frac{dB(t)}{dt} = 4 \cdot D \rightarrow \boxed{B(t) = 4 \cdot D \cdot t}$$

La constante d'intégration est nulle pour assurer la divergence de $c(x, t)$ en $x=0$ lorsque $t=0$.

En remplaçant $B(t)$ par son expression dans (c) on obtient :

$$\boxed{A(t) = N_0 / \sqrt{\pi \cdot D \cdot t}}$$

14.



15. À une date $t=t_0$ la concentration maximale à la surface vaut : $c(0, t) = N_0 / \sqrt{\pi \cdot D \cdot t}$.

$$c(\delta, t) = c(0, t) \cdot e^{-x^2/(4 \cdot D \cdot t)} = \frac{c(0, t)}{2}$$

On en déduit : $\delta = 2 \cdot \sqrt{D \cdot t_0 \cdot \ln(2)}$

Application numérique : $\delta = 2 \cdot \sqrt{3 \cdot 10^{-14} \times 3600 \times \ln(2)} = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 173 \text{ nm}$

B.2. Dopage N et P du silicium

16. Le silicium a pour structure électronique $[\text{Ne}](3s)^2(3p)^2$.

- Par rapport au silicium, les dopants de type N doivent posséder un électron en plus sur leur couche externe. C'est le cas du phosphore $[\text{Ne}](3s)^2(3p)^3$ ou de l'arsenic $[\text{Ar}](3d)^{10}(4s)^2(4p)^3$.
- Les dopants de type P doivent posséder un électron en moins sur leur couche externe. C'est le cas du bore $[\text{He}](2s)^2(2p)^1$ ou de l'aluminium $[\text{Ne}](3s)^2(3p)^1$.

17. Pour le conducteur dopé N :

$$\sigma' = -\mu_n \cdot e \cdot c = 1500 \cdot 10^{-4} \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 5 \cdot 10^{20} = 12 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

Pour le conducteur dopé P :

$$\sigma'' = \mu_p \cdot e \cdot c = 475 \cdot 10^{-4} \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 5 \cdot 10^{20} = 3,8 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$$

Dans les deux cas, la conductivité du semi-conducteur dopé P ou N est bien supérieure à la conductivité intrinsèque du silicium pur.

Partie C : De la jonction P-N à l'effet photovoltaïque

C.1. la jonction PN à l'équilibre

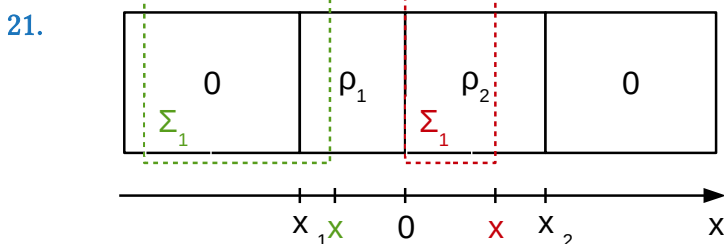
18. Selon la loi de Fick, les électrons (de charge $-e$) du semi-conducteur dopé N diffusent vers la gauche dans la zone dopée P et se recombinent avec des trous. Il reste alors un cation de charge $+e$ dans la zone dopée N et un anion de charge $-e$ dans la zone P. Donc $\rho_1 < 0$ et $\rho_2 > 0$.

Les charges dans la zone de déplétion sont dues aux ions fixes laissés par la diffusion des électrons et des trous. Cette zone est dépourvue de charges libres.

19. La neutralité électrique de la zone de déplétion impose : $Q_1 = -Q_2$ soit $\rho_1 \cdot x_1 = \rho_2 \cdot x_2$.

20. On néglige les effets de bord donc la distribution de charge est invariante par translation selon les axes Oy et Oz. On peut écrire $\vec{E} = \vec{E}(x, y, z)$.

La distribution de charge est symétrique par rapport aux plans xOy et xOz donc le champ électrique est contenu dans ces plans. On peut écrire $\vec{E} = E(x) \cdot \vec{u}_x$.



En appliquant le théorème de Gauss sur la surface Σ_1 on obtient :

$$S \cdot \underbrace{(E_1(x) - E_1(\infty))}_{=0} = S \cdot \rho_1 \cdot \frac{x - x_1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \text{ soit } \boxed{E_1(x) = \rho_1 \cdot \frac{x - x_1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} \quad \forall x \in [x_1; 0]$$

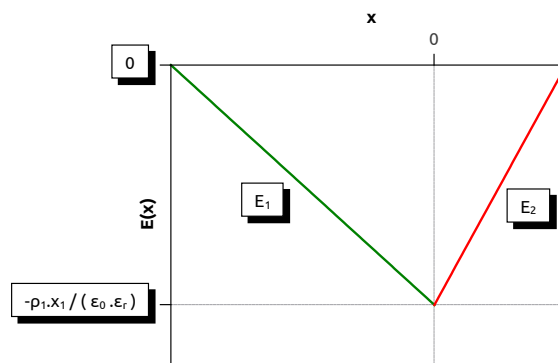
L'application du théorème de Gauss sur la surface Σ_2 donne :

$$S \cdot (E_2(x) - E_2(x=0)) = S \cdot \rho_2 \cdot \frac{x}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \text{ soit } E_2(x) = \frac{\rho_2 \cdot x - \rho_1 \cdot x_1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

En utilisant la question 19 : $\boxed{E_2(x) = \rho_2 \cdot \frac{x - x_2}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} \quad \forall x \in [0; x_2]$

Remarque : $E_2(x=0) = E_1(x=0) = -\rho_1 \cdot \frac{x_1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$ ce qui assure la continuité du champ électrique en $x=0$.

Allure de $E(x) \rightarrow$



Dans la zone de déplétion, le champ électrique est négatif $\forall x \in [x_1; x_2]$ donc il est dirigé selon $-\vec{u}_x$ (de droite à gauche). Au fur et à mesure de la migration des électrons de la zone N (à droite) vers la zone P (à gauche) le champ électrique de plus en plus intense tend à ramener ces électrons vers la zone N car ils subissent une force $F = -e \cdot \vec{E}$ dirigée vers la droite. Inversement pour les trous. D'où l'équilibre de la jonction.

22. En régime permanent : $\vec{E} = -\text{grad } V$. Ici on peut écrire $\vec{E} = \frac{-\partial V(x)}{\partial x} \vec{u}_x$.

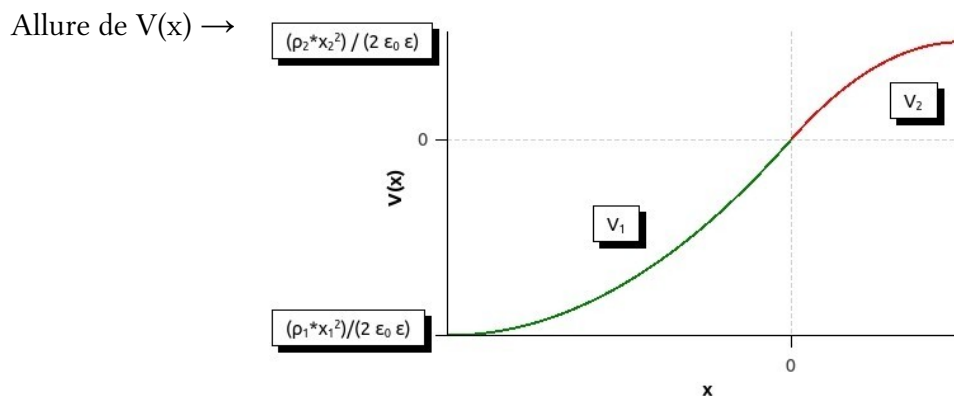
En intégrant entre 0 et $x > 0$:

$$\begin{aligned} V_2(x) &= -\int_0^x \vec{E}_2 \cdot \vec{u}_x \cdot dx = \frac{-1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \int_0^x \rho_2 \cdot (x - x_2) \cdot dx \\ &= \frac{-1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \left[\frac{\rho_2}{2} \cdot (x - x_2)^2 \right]_0^x + C \end{aligned}$$

Avec $C = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{\rho_2}{2} \cdot x_2^2$ pour assurer la condition $V(x=0) = 0$.

Finalement : $\boxed{V_2(x) = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{\rho_2}{2} \cdot x_2^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{x}{x_2} - 1 \right)^2 \right)}$

En intégrant entre $x < 0$ et 0 on obtiendrait :
$$V_1(x) = \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot \frac{\rho_1}{2} \cdot x_1^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{x}{x_1} - 1 \right)^2 \right)$$

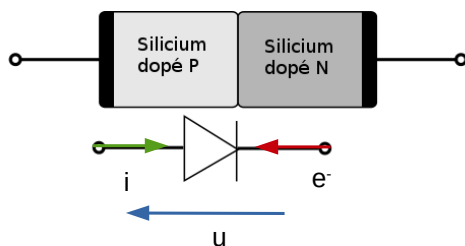


23. En dehors de la jonction, le champ électrique est nul : le potentiel électrique y est constant.

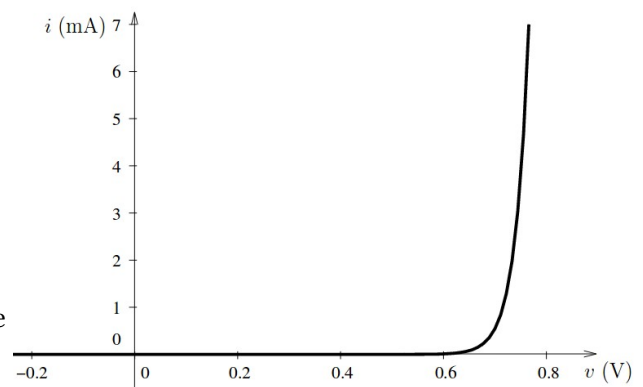
$$U_d = V(A_2) - V(A_1) = V(x_2) - V(x_1)$$

$$\begin{aligned} U_d &= \frac{1}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r} \cdot (\rho_2 \cdot x_2^2 - \rho_1 \cdot x_1^2) \quad (\text{avec } x_2 = \rho_1 \cdot x_1 / \rho_2 = 3,7 \cdot 10^{-9} \text{ m}) \\ &= \frac{36 \times \pi \times 10^9}{2 \times 11,7} \times (3,0 \cdot 10^4 \times (3,7 \cdot 10^{-9})^2 - (-1,0 \cdot 10^2) \times (-1,1 \cdot 10^{-6})^2) \\ &= 0,6 \text{ V} \end{aligned}$$

24.



Caractéristiques $i=f(u)$ d'une diode en convention récepteur \rightarrow



C.2. L'effet photovoltaïque

25.
$$E = h \times \nu = \frac{h \times c_0}{\lambda}$$

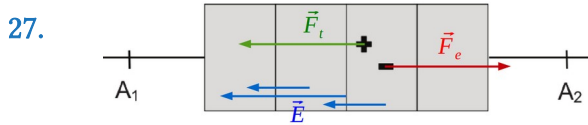
Avec :

- E : énergie du photon (en J)
- h : constante de Planck ($6,62 \times 10^{-34}$ J.s)
- ν : fréquence de l'onde associée au photon (en Hz ou s^{-1})
- λ : longueur d'onde de l'onde associée au photon (en m)
- c_0 : célérité de la lumière dans le vide ($3,00 \times 10^8$ m/s)

Une onde électromagnétique est visible si : $400 \text{ nm (bleu)} < \lambda < 800 \text{ nm (rouge)}$

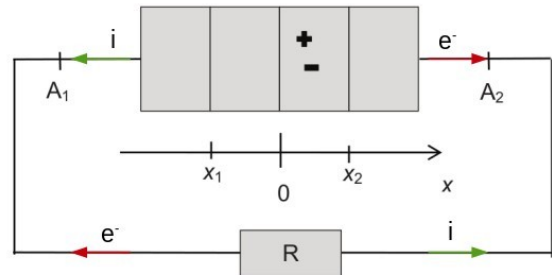
$$E_{\min} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \times 3,00 \cdot 10^8}{800 \cdot 10^{-9}} = 2,48 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,55 \text{ eV} \text{ et } E_{\max} = 2 \times E_{\min} = 3,10 \text{ eV}$$

26. Les photons correspondants à la lumière visible (1,55 eV à 3,10 eV) ont tous une énergie supérieure à l'énergie de gap du silicium (1,11 eV). Ils sont donc tous absorbés par la jonction.



Remarque : $\vec{F}_{\text{électrique}} = q \times \vec{E}$

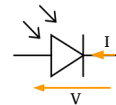
28. Les photons absorbés au niveau de la jonction créent des paires électron-trou. Sous l'effet du champ électrique régnant au sein de la jonction PN, les trous se déplacent vers la gauche et les électrons vers la droite. Ceci crée un courant photovoltaïque inverse i .



C.3. La cellule photovoltaïque

29. Dans une cellule photovoltaïque la jonction PN se comporte en générateur.

Symbole de la cellule en convention générateur →



30. $U_0 = U(I=0) = 0,6 \text{ V}$ et $I_{cc} = I(U=0) = 3 \text{ A}$

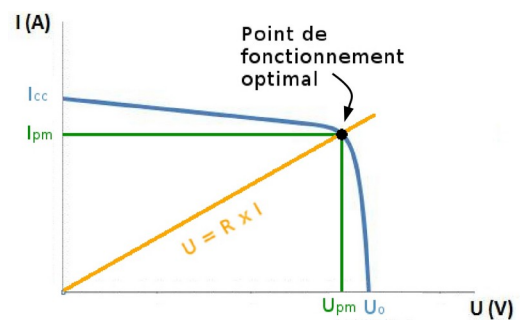
31. La puissance fournie par la cellule à la résistance est maximale lorsque le point de fonctionnement est optimal.

Les coordonnées de ce point sont :

$$(U_{pm} = 0,48 \text{ V}, I_{pm} = 2,8 \text{ A})$$

La caractéristique de la résistance est donnée par :

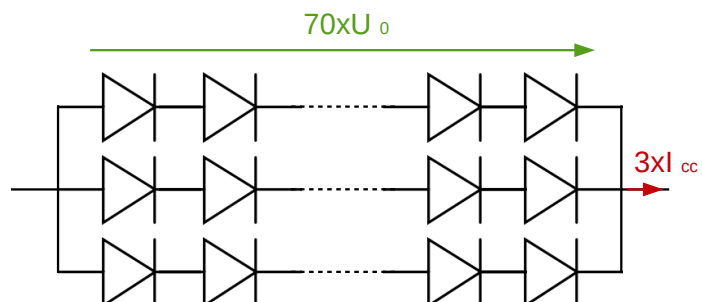
$$U = R \times I \text{ soit } R = \frac{U_{pm}}{I_{pm}} = \frac{0,48}{2,8} = 0,17 \Omega$$



32. $I_{cc, \text{tot}} = 3 \times I_{cc} = 9 \text{ A}$

$$U_{cc, \text{tot}} = 70 \times U_0 = 40 \text{ V}$$

Les cellules sont donc branchées en série de 70 et 3 séries sont associées en dérivation pour former un panneau solaire.



33. Problématique : Quel est le rendement nominal d'un panneau solaire ?

Matériel :

- Un panneau solaire d'étude
- Une résistance variable
(1Ω à 100Ω)
- Un projecteur
- Un luxmètre
- 1 réglet
- 2 multimètres + 5 fils
- Un ordinateur avec un tableur grapheur (Régressi)

Résultats attendus :

- Tracé de la caractéristique du panneau solaire $I=f(U)$ ou $P=f(U)$ sur Régressi et détermination de la puissance nominale P_{\max}
- Mesure de la puissance surfacique P_S reçue par le panneau avec le luxmètre
- Mesure de la surface du panneau solaire avec le réglet
- Calcul de la puissance totale reçue par le panneau $P_{\text{tot}} = P_S \times S$
- Calcul du rendement $\eta = P_{\max} / P_{\text{tot}}$ et conclusion

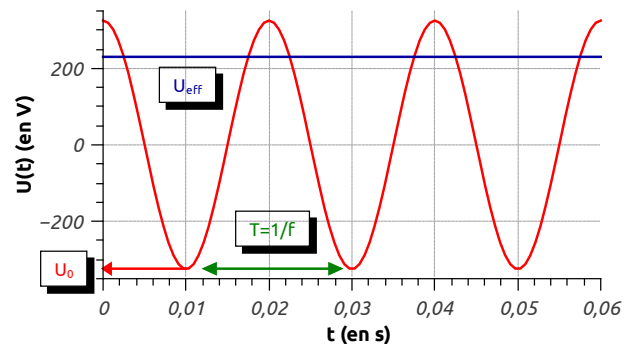
Partie D : Des panneaux photovoltaïques au réseau électrique

D.1. L'onduleur

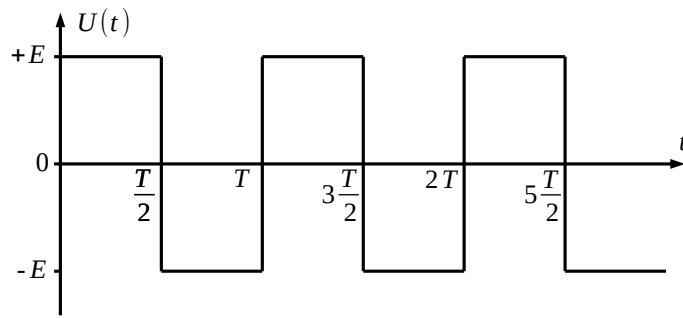
34. Caractéristiques de la tension du secteur :

- Fréquence : $f = 50 \text{ Hz}$
→ Période $T = 0,02 \text{ s}$
- Valeur efficace : $U_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$
- Amplitude : $U_0 = \sqrt{2} \cdot 230 = 325 \text{ V}$

Chronogramme de la tension du secteur →



35. Lorsque $0 < t < T/2$, K_1 et K_3 sont fermés et $u(t) = +E$
Lorsque $T/2 < t < T$, K_2 et K_4 sont fermés et $u(t) = -E$



36. Pour la tension $u(t)$ ci-dessus :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\langle u(t)^2 \rangle_t} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t)^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \left(\int_0^{T/2} E^2 \cdot dt + \int_{T/2}^T (-E)^2 \cdot dt \right)} = E$$

Pour une tension sinusoïdale de même amplitude :

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \left(E \cdot \sin\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{t}{T}\right) \right)^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot E^2 \cdot T \cdot \frac{1}{2}} = \frac{E}{\sqrt{2}}$$

$$U_{\text{eff}}^{\text{onduleur}} > U_{\text{eff}}^{\text{sinusoïdal}}$$

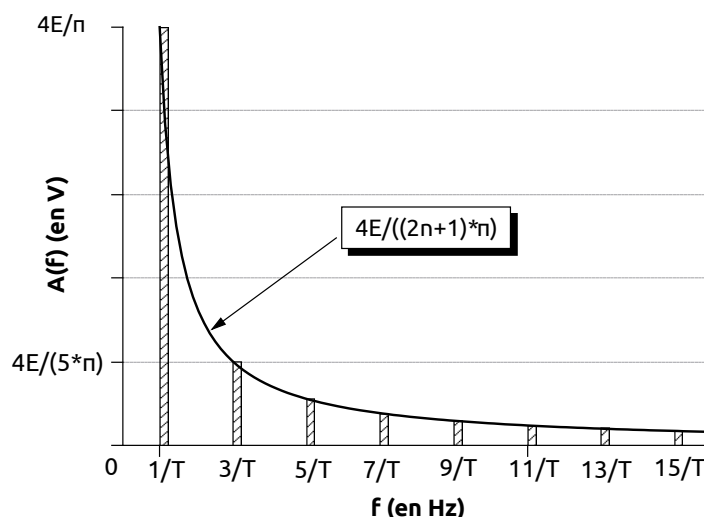
37. Le 1^{er} terme est appelé terme fondamental. Les termes suivants sont appelés harmoniques.

Le signal $u(t)$ est modélisé par une fonction impaire : $u(-t) = -u(t)$, il se décompose à l'aide d'une série de Fourier ne contenant que des fonctions impaires c'est-à-dire des sinus.

38. Fréquence de la $n^{\text{ième}}$ harmonique : $f_n = \frac{2n+1}{T}$

Amplitude de la $n^{\text{ième}}$ harmonique : $A_n = A(f_n) = \frac{4E}{\pi} \times \frac{1}{2n+1}$

Le spectre en amplitude du signal correspond au graphique « A_n en fonction de f_n ».



Le circuit RLC avec $s(t) = u_R(t)$ et $e(t) = u_R(t) + u_L(t) + u_C(t)$ est un filtre passe bande.

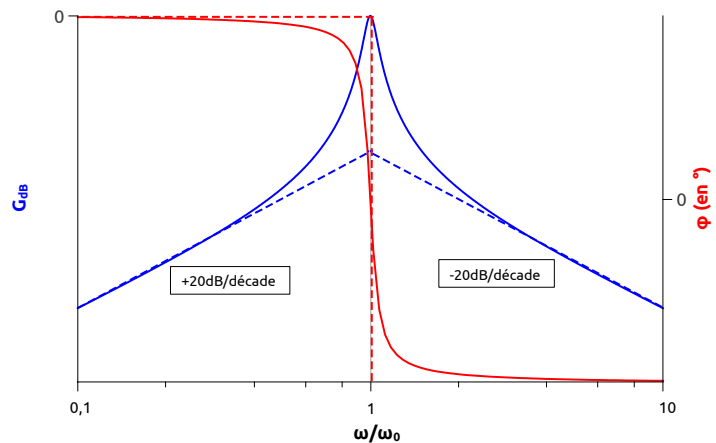
Sa fonction de transfert complexe est : $\underline{H}(\omega) = \frac{s(\omega)}{e(\omega)} = \frac{R}{R + jL\omega + 1/(jC\omega)}$ avec $j^2 = -1$

Elle peut se réécrire : $\underline{H}(\omega) = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$ avec $Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$ et $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Le gain vaut $G_{dB} = 20 \cdot \log|H(\omega)| = -10 \cdot \log\left(1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right)$

Le déphasage vaut : $\varphi = \arg(H(\omega)) = -\arctan\left(Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right)$

Allure du diagramme de Bode du filtre passe bande (les asymptotes sont en pointillés) →



D.2. Production d'énergie chez un particulier

39. En considérant que la puissance surfacique reçue augmente (respectivement diminue) de manière linéaire entre 6 h et 14 h (respectivement 14 et 22 h), on peut évaluer la puissance surfacique moyenne reçue par les panneaux solaires :

$$\bar{P}_s = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} P_s(t) \cdot dt = \frac{1}{22-6} \times \left(\frac{(14-6) \times 800}{2} + \frac{(22-14) \times 800}{2} \right) = 400 \text{ W/m}^2$$

La puissance crête délivrée par un panneau solaire est donnée par le document 7 et vaut :

$$P_{\max}(P_s = 400 \text{ W/m}^2) = 142,1 \text{ W}$$

Le facteur de correction vaut $\alpha = 0,96$ pour une orientation S-E et un angle de 30° .

Finalement :

$$E_{\text{tot}} = \Delta t \cdot P_{\max} \cdot N_{\text{panneau}} \cdot \alpha = 24 \times 142,1 \times 10 \times 0,96 = 33 \text{ kW} \cdot \text{h en 1 journée}$$

Partie E : Optimisation de l'installation des panneaux solaires

40. (a) Le système « Terre » est étudié dans le référentiel géocentrique.

Le théorème de l'énergie donne : $\frac{d\vec{L}/s}{dt} = \vec{M}(F_{S/T})$

Or $\vec{M}(\vec{F}_{S/T}) = \vec{ST} \wedge \left(-G \frac{m_T \cdot m_S}{ST^3} \vec{ST} \right) = \vec{0}$ d'où $\frac{d\vec{L}_{/s}}{dt} = \frac{d(\vec{ST} \wedge m_T \cdot \vec{v}_T)}{dt} = \vec{0}$

Le mouvement se fait donc dans le plan contenant les vecteurs \vec{ST} et \vec{v}_T et perpendiculaire au vecteur constant $\vec{L}_{/s}$.

(b) Le PFD donne : $m_T \cdot \vec{a}_T = -G \frac{m_T m_S}{ST^3} \cdot \vec{ST}$.

Si la trajectoire est circulaire, on peut écrire $\vec{ST} = R \cdot \vec{u}_R$ et $\vec{v} = R \dot{\theta} \vec{u}_\theta$ et $\vec{a} = R \ddot{\theta} \vec{u}_\theta - R \dot{\theta}^2 \vec{u}_R$

Le PFD projeté sur \vec{u}_R donne : $m_T R \dot{\theta}^2 = m_T \frac{v^2}{R} = G \frac{m_T m_S}{R^2} \rightarrow v = \sqrt{G \frac{m_S}{R}}$

La période de rotation vaut donc :

$$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{G m_S}} = 2\pi \sqrt{\frac{(1,50 \cdot 10^{11})^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \times 2,00 \cdot 10^{30}}} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ s} = 366 \text{ j}$$

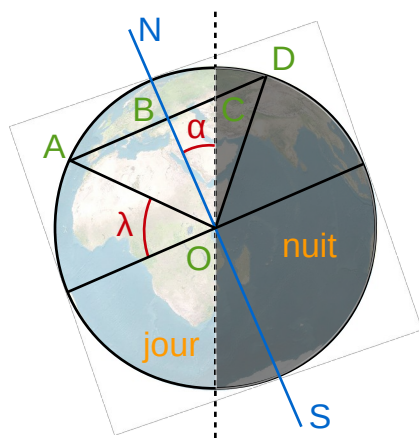
41. (a) Le référentiel géocentrique est défini par :

- Origine : centre de la Terre
- Axes : 3 axes pointant vers 3 étoiles lointaines supposées fixes

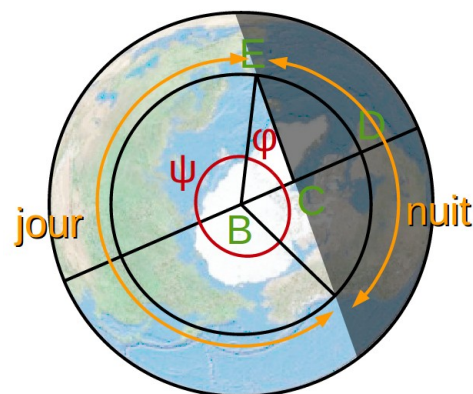
Le référentiel géocentrique peut être considéré comme galiléen sur une durée négligeable devant 1 année (période de révolution de la Terre autour du Soleil). Sur une telle durée, on peut considérer qu'il est en mouvement de translation rectiligne uniforme.

(b) Dans le référentiel géocentrique, la Terre est soumise à la seule force de gravitation exercée par le Soleil sur elle. Le moment de cette force est nulle (cf question 40.a) donc, d'après le théorème du moment cinétique, le moment cinétique de la Terre par rapport à l'axe Nord-Sud est constant. L'axe de rotation de la Terre forme un angle constant par rapport à l'écliptique.

42.



Situation vue de profil



Situation vue à la verticale du pôle nord

Remarque : les points B, C et O sont en réalité dans le globe terrestre.

La durée de la journée vaut : $t_{\text{journée}} = t_{\text{jour}} \times \frac{2\psi}{2\psi + 2\varphi} = t_{\text{jour}} \times \left(1 - \frac{\varphi}{180}\right)$

Il reste à calculer φ : $\cos\varphi = BC/BE \rightarrow \varphi = \cos^{-1}(BC/BE)$

Avec : $BE = BD = AB = OA \cdot \cos\lambda$ et $BC = OB \cdot \tan\alpha = OA \cdot \sin\lambda \cdot \tan\alpha$

Finalement : $t_{\text{journée}} = t_{\text{jour}} \times \left(1 - \frac{\cos^{-1}(\sin\lambda \cdot \tan\alpha / \cos\lambda)}{180}\right)$

Application numérique : $t_{\text{journée}} = 24,0 \times \left(1 - \frac{\cos^{-1}(\sin 48,5 \times \tan 23,43 / \cos 48,5)}{180}\right) = 15,9 \text{ h}$

43. Proposition d'utilisation pédagogique de la figure 13 :

- Type : Activité documentaire
- Objectif : Faire le lien entre les deux rotations de la Terre, le cycle jour-nuit et les années (et éventuellement les saisons)
- Questions :
 - 1) Quel est le mouvement de la Terre par rapport du Soleil ?
 - 2) Quel est le mouvement d'un objet à la surface de la Terre par rapport au centre de la Terre ?
 - 3) Que permettent d'expliquer chacun de ce deux mouvements ?

44. (a) Au 21 juin, les rayons du Soleil qui parviennent sur Terre forment un angle α avec l'équateur (cf figure 14). C'est précisément la description de l'angle δ .

$$h = 90 - \lambda + \delta = 90 - 48,5 + 23,43 = 64,9^\circ \text{ à midi.}$$

(b) Si on considère que P_{sol} est la puissance surfacique prise perpendiculairement aux rayons du Soleil (surface S_{\perp}) alors la puissance surfacique P_p reçue par le panneau (surface S_p) vaut :

$$P_p = P_{\text{sol}} \cdot \frac{S_{\perp}}{S_p} = P_{\text{sol}} \cdot \sin h$$

45. Un panneau solaire doit être placé au plus près de l'équateur de manière à maximiser la hauteur du soleil h (ou minimiser λ) tout au long de l'année.

Dans l'hémisphère nord il faut l'orienter plein sud avec une inclinaison égale à la latitude λ du lieu pour qu'il soit « le plus orthogonal possible » aux rayons du Soleil tout au long de l'année.