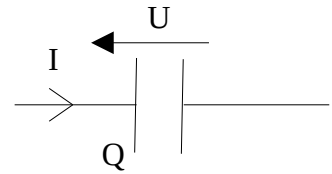


Corrigé du DS n°4

1^{ère} Problème : Le condensateur pour stocker de l'énergie (EPITA 2021)

I.A) Principe de fonctionnement du condensateur

Q1 : Q étant la charge portée par l'armature positive, si on oriente l'intensité vers cette armature, donc qu'on envisage une convention de description récepteur pour le condensateur (cf. schéma ci-contre), alors, par conservation de la charge, on prouve qu'en régime stationnaire (mais aussi dans l'ARQS) : $I = \frac{dQ}{dt}$.



On en déduit donc la relation usuelle entre tension et intensité pour un condensateur décrit en convention récepteur : $I = \frac{d(CU)}{dt} = C \frac{dU}{dt}$ en supposant que la capacité C du condensateur est une constante.

Q2 : La puissance algébriquement reçue par le condensateur vaut (toujours en convention récepteur) : $P_c = UI = U C \frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C U^2 \right)$. Puisque **la puissance est la dérivée temporelle de l'énergie**, on en déduit l'expression de l'énergie stockée dans le condensateur (en choisissant comme convention que cette énergie est nulle en l'absence de tension aux bornes du condensateur) : $E_c = \frac{1}{2} C U^2$.

I.B) Un exemple d'utilisation des condensateurs : les supercondensateurs

Q3 : L'énergie E_{tot} nécessaire au trajet entre deux stations est : $E_{tot} = P_{moteurs} \Delta t_{entre\ 2\ stations} = P_{moteurs} \times \frac{L}{v}$ en notant $L = 400$ m la distance entre 2 stations et $v = 15$ km/h la vitesse moyenne du tramway.

A.N. : $E_{tot} = \frac{500 \cdot 10^3 \times 400}{15 \times \frac{10^3}{3600}} \approx 48$ MJ

Q4 : Cette énergie étant fournie par chacun des 48 supercondensateurs, chacun d'entre eux fournit donc une énergie $E_c = 1,0$ MJ. Et puisqu'ils sont chargés sous la tension $U = 750$ V, on en déduit leur capacité :

$C = \frac{2 E_c}{U^2}$ **A.N. :** $C \approx \frac{2 \times 1,0 \cdot 10^6}{750^2} \approx 3,6$ F : il s'agit bien d'une valeur très élevée de capacité !

Q5 : Le temps de charge de chacun des 48 supercondensateurs vaut environ $\Delta t_{charge} = 5 \tau = 5 R C$ avec R la résistance du circuit de charge, qu'on estime donc à : $R = \frac{\Delta t_{charge}}{5 C}$

A.N. : $R \approx \frac{20}{5 \times 3,6} \approx 1,1$ Ω ce qui correspond bien à une résistance interne très faible.

I.C) Stratégies de charge d'un condensateur

Q6 : On retrouve la dimension de la résistance électrique à partir de la puissance dissipée par effet Joule :

$$P_J = R I^2 \Rightarrow [R] = \frac{[\text{puissance}]}{I^2} = \frac{[\text{énergie}]}{T} \cdot I^{-2} = \frac{[mc^2]}{T} \cdot I^{-2} \text{ soit : } [R] = M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot I^{-2}$$

On en déduit la dimension de la f.é.m. E, donc d'une tension, de la loi d'Ohm :

$$U = R I \Rightarrow [E] = [U] = [R] I \text{ soit : } [E] = M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot I^{-1}$$

On en déduit la dimension de la capacité du temps caractéristique du régime transitoire d'un circuit RC :

$$\tau = R C \Rightarrow [C] = \frac{[\tau]}{[R]} \text{ soit : } [C] = I \cdot T^4 \cdot M^{-1} \cdot L^{-2}$$

Q7 : Supposons que l'expression du rendement η (grandeur adimensionnée !) dépende *a priori* des valeurs des grandeurs caractéristiques R, C ou E, selon une loi monômiale de type :

$$\eta = K R^\alpha C^\beta E^\gamma \Rightarrow [\eta] = [R]^\alpha [C]^\beta [E]^\gamma \text{ (K étant une constante sans dimension)}$$

Cette relation se réécrit : $1 = (M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot I^{-2})^\alpha (I \cdot T^4 \cdot M^{-1} \cdot L^{-2})^\beta (M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot I^{-1})^\gamma$

et donc : $1 = M^{\alpha-\beta+\gamma} \cdot L^{2\alpha-2\beta+2\gamma} \cdot T^{-3\alpha+4\beta-3\gamma} \cdot I^{-2\alpha+\beta-\gamma}$

Les trois puissances doivent donc vérifier le système suivant :
$$\begin{cases} \alpha - \beta + \gamma = 0 & (1) \\ -3\alpha + 4\beta - 3\gamma = 0 & (2) \\ -2\alpha + \beta - \gamma = 0 & (3) \end{cases}$$

En sommant (1)+(3), on obtient $\alpha = 0$: la résistance ne peut donc pas intervenir dans l'expression de η ! (1) ou (3) permet d'en déduire que $\beta = \gamma$. Et si on ré-injecte dans (2), on obtient : $4\beta - 3\beta = \beta = 0$, ce qui prouve donc que :

$\beta = 0$: la capacité ne peut donc pas intervenir dans l'expression de η !

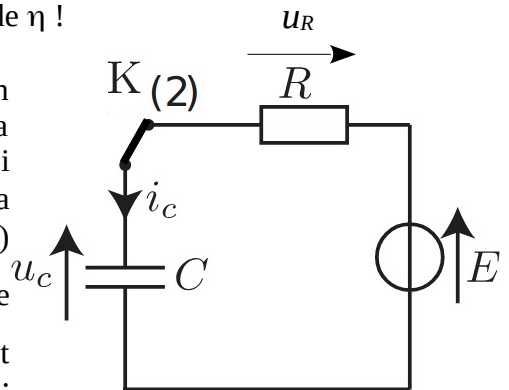
$\gamma = 0$: la f.é.m. ne peut donc pas intervenir dans l'expression de η !

Q8 : Lorsque l'interrupteur est basculé sur la position (2), on réalise la charge du condensateur sous la tension E et à travers la résistance R (on est à 100% dans les conditions du cours !). La loi des mailles permet d'écrire : $E = u_C + u_R$. Et la loi d'Ohm + la relation i_C/u_C du condensateur (les deux en convention récepteur)

permettent d'en déduire que : $E = u_C + RC \frac{du_C}{dt}$, ce qui est une

équation différentielle linéaire, du premier ordre, à coefficients et second membre constants, qui peut se mettre sous la forme :

$$\tau \frac{du_C}{dt} + u_C = E \text{ avec } \tau = RC$$

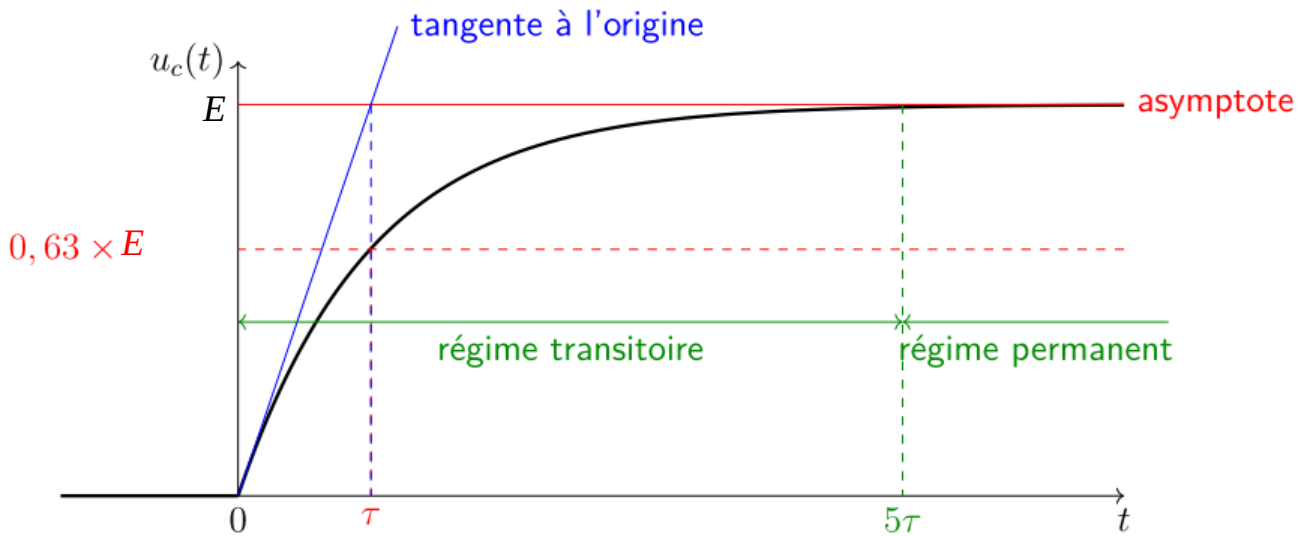


Q9 : Par **continuité de la tension aux bornes du condensateur** : $u_C(t=0^+) = u_C(t=0^-)$. Et puisque le condensateur est initialement déchargé : $u_C(t=0^-) = 0$, et donc : $u_C(t=0^+) = 0$

Q10 : Les solutions de l'équation différentielle de **Q8** sont de la forme : $u_C(t) = A \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + E$ pour $t > 0$. Et la condition initiale déterminée en **Q9** permet d'écrire : $0 = A \exp(0) + E \Leftrightarrow A = -E$

D'où l'expression de la solution recherchée : $u_C(t) = E \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right)$

Q11 : Allure de la fonction solution $u_C(t)$:



Q12 : On constate qu’en fin de charge, la tension aux bornes du condensateur tend vers E . On en déduit donc que l’énergie qu’il a stockée vaut :

$$E_{\text{finale stockée dans } C} = \frac{1}{2} C E^2$$

Q13 : L’intensité du courant i_C vaut, pour tout $t > 0$:

$$i_C(t) = C \frac{du_C}{dt} = C (-E) \left(\frac{-1}{\tau}\right) \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) = \frac{E}{R} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

Q14 : L’énergie électrique fournie par le générateur sur l’ensemble de la charge vaut donc :

$$E_{\text{fournie par } E} = \int_{t=0}^{t \rightarrow \infty} E i_C(t) dt = \frac{E^2}{R} \int_{t=0}^{t \rightarrow \infty} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) dt = \frac{E^2}{R} (-\tau) \left[\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right]_{t=0}^{t \rightarrow \infty} = -\frac{E^2}{R} RC(0-1)$$

soit : $E_{\text{fournie par } E} = C E^2$

Q15 : On en déduit la valeur du rendement de la charge avec la méthode envisagée :

$$\eta_1 = \frac{E_{\text{finale stockée dans } C}}{E_{\text{fournie par } E}} = \frac{\frac{1}{2} C E^2}{C E^2} = 50\%$$

Modifier la valeur de la résistance R n’y changera rien comme démontré en Q7...

Q16 : Inutile de refaire toute l’étude précédente puisque le circuit est totalement analogue à celui qui a été étudié au I.C.1), avec E qui est remplacé par $E/2$, et la condition initiale qui n’a pas changé pour le condensateur, donc :

$$u_C(t) = \frac{E}{2} \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right)$$

Q17 : L’instant t_1 pour lequel la tension u_C aux bornes du condensateur atteint 99% de sa valeur finale au cours de cette première étape est tel que :

$$u_C(t_1) = 99\% \frac{E}{2} \Leftrightarrow \frac{E}{2} \left(1 - \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right)\right) = 99\% \frac{E}{2}$$

D’où : $\exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) = 1\% \Leftrightarrow t_1 = -\tau \ln\left(\frac{1}{100}\right)$ soit : $t_1 = RC \ln 100 \simeq 5 RC$

Q18 : Il ne faut surtout pas aller trop vite dans cette seconde étape ! Une fois l’interrupteur basculé en

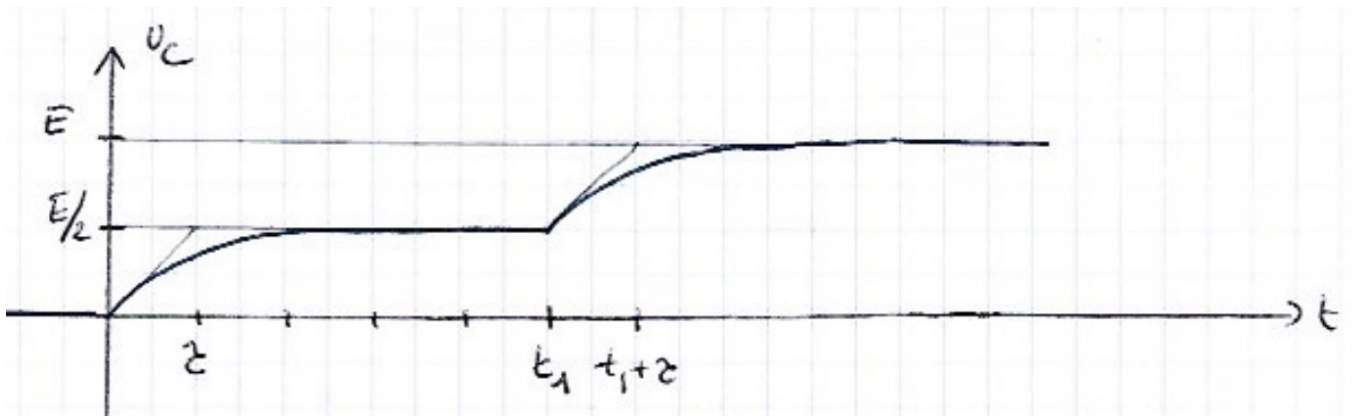
position (2), l'équation différentielle à laquelle est soumise u_C est donc celle déterminée en **Q8**, MAIS la condition initiale a changé puisque pour $t = t_1$, on a désormais (par continuité de u_C , toujours...):

$$u_C(t=t_1^+) = u_C(t=t_1^-) = \frac{E}{2}, \text{ ce qui va donc modifier la valeur de la constante } A' \text{ à déterminer, telle que,}$$

pour $t > t_1$: $u_C(t) = A' \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + E$ avec $u_C(t_1^+) = A' \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) + E = \frac{E}{2}$, d'où :

$$A' = -\frac{E}{2} \exp\left(+\frac{t_1}{\tau}\right) \text{ et donc : } \boxed{u_C(t) = -\frac{E}{2} \exp\left(-\frac{(t-t_1)}{\tau}\right) + E} \text{ pour } t > t_1$$

Q19 : On en déduit l'allure de $u_C(t)$ en fonction du temps au cours de l'ensemble des deux phases de charge :



Q20 : L'intensité du courant i_C qui traverse le condensateur est :

- pour $0 < t < t_1$ (première phase) : $\boxed{i_C(t) = \frac{E}{2R} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)}$ (par analogie avec Q13)

- pour $t > t_1$ (seconde phase) : $\boxed{i_C(t) = C \left(-\frac{E}{2}\right) \left(-\frac{1}{\tau}\right) \exp\left(-\frac{t-t_1}{\tau}\right) = \frac{E}{2R} \exp\left(-\frac{t-t_1}{\tau}\right)}$

Ce qui correspond au graphe suivant (non demandé) :

SCHEMA !

Q21 : Toujours par analogie, l'énergie électrique fourni par le premier générateur (de f.é.m. $E/2$)

vaut : $E_{\text{fournie par } E/2} = C \left(\frac{E}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} C E^2$

Et l'énergie fournie par le second générateur (de f.é.m. E) vaut :

$$E_{\text{fournie par } E} = \int_{t=t_1}^{t \rightarrow \infty} E i_C(t) dt = \frac{E^2}{2R} \int_{t=t_1}^{t \rightarrow \infty} \exp\left(-\frac{(t-t_1)}{\tau}\right) dt = \frac{E^2}{2R} (-\tau) \left[\exp\left(-\frac{(t-t_1)}{\tau}\right) \right]_{t=t_1}^{t \rightarrow \infty}$$

soit : $E_{\text{fournie par } E} = \frac{1}{2} C E^2$

L'énergie globalement fournie par les deux générateurs vaut donc : $\boxed{E_{\text{globalement fournie}} = \frac{3}{4} C E^2}$

Q22 : Puisque l'énergie stockée dans le condensateur en fin de seconde période reste la même que dans le cas de la première méthode, on en déduit la valeur du rendement η_2 pour cette nouvelle façon de

procéder :

$$\eta_2 = \frac{E_{\text{finale stockée dans } C}}{E_{\text{globalement fournie}}} = \frac{\frac{1}{2} C E^2}{\frac{3}{4} C E^2} = 67 \%$$

Q23 : Avantage évident : on a une **très nette augmentation du rendement** de la charge (et on peut continuer à l'augmenter en fractionnant encore plus la charge avec $N > 2$ étapes...)

Désavantages : En procédant de la sorte, on a besoin de deux fois plus de matériel (ça peut s'améliorer facilement en utilisant une f.é.m. réglable...), mais surtout de **deux fois plus de temps**, puisque la durée du régime transitoire n'est pas modifiée !

2^{ème} Problème : Physico-chimie du silicium

II.A) L'atome et quelques molécules

II.A.1) L'atome de silicium

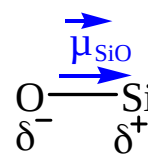
Q24 : L'atome de silicium de noyau ${}^{28}_{14}\text{Si}$ possède **Z = 14 protons** et $A - Z = 28 - 14 = 14$ **neutrons** dans son noyau, ainsi que **14 électrons** afin de compenser la charge positive du noyau.

Q25 : L'élément silicium étant situé dans la 2^{ème} colonne du bloc p du tableau périodique, il possède $2 + 2 = 4$ **électrons de valence**. Il possède donc $14 - 4 = 10$ **électrons de cœur**.

II.A.2) Étude de la silice

Q26 : L'état solide peut se présenter sous forme cristalline, avec un agencement ordonné des entités dans toutes les directions de l'espace, ou bien sous forme amorphe, pour laquelle il n'y a pas d'ordre à moyenne et grande distance.

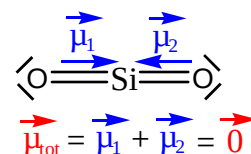
Q27 : La **différence d'électronégativité** entre le silicium et l'oxygène est suffisamment faible pour que la liaison ne soit pas purement ionique mais suffisamment élevée pour que le partage d'électrons ne soit pas équitable : l'atome d'oxygène attire davantage à lui les électrons de la liaison, qui se trouve donc polarisée, avec une **charge partielle négative sur l'atome d'oxygène** et une **charge partielle positive sur l'atome de silicium**.



Q28 : L'atome de silicium apporte 4 électrons de valence, et chaque atome d'oxygène en apporte 6, d'où le schéma de Lewis pour la molécule de silice SiO_2 , permettant de faire respecter l'octet à tous les atomes : $\langle \text{O}=\text{Si}=\text{O} \rangle$

Q29 : On constate qu'il n'y a que **deux centres répulsifs** (deux liaisons doubles) autour de l'atome de silicium, d'où la **géométrie linéaire** de la molécule de silice.

Q30 : Les liaisons SiO sont polarisées, mais la symétrie de la molécule fait que les deux moments dipolaires se compensent.

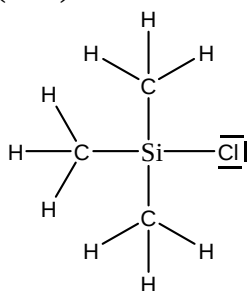


La silice n'est donc pas polaire, ce qui rend difficile sa dissolution dans l'eau, qui est un solvant polaire et protique.

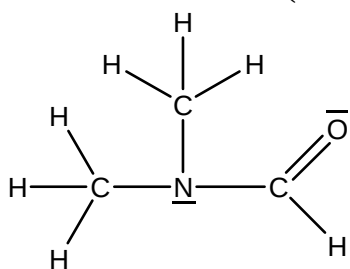
La dissolution est tout de même légèrement facilitée par le caractère accepteur d'interaction par pont hydrogène des doublets non liants présents sur les deux atomes d'oxygène.

II.A.3) Application du silicium en chimie organique

Q31 : Schéma de Lewis du chlorure de triméthylsilane $(\text{CH}_3)_3\text{SiCl}$:



Q32 : Schéma de Lewis du DMF $(\text{CH}_3)_2\text{NCHO}$:



Q33 : Un solvant polaire et protique possède un **moment dipolaire permanent** et est **donneur de liaison hydrogène**, donc possède au moins une liaison covalente de type O-H ou N-H (ou F-H).

Q34 : Propriétés du chlorure de triméthylsilane :

Les liaisons C-H sont très peu polarisées. Les liaisons Si-C sont légèrement polarisées (du $\text{C}^{\delta-}$ vers le $\text{Si}^{\delta+}$). La liaison Si-Cl est franchement polarisée (du $\text{Cl}^{\delta-}$ vers le $\text{Si}^{\delta+}$). Ainsi, **par dissymétrie**, la somme des moments dipolaires du chlorure de triméthylsilane n'est pas égale au vecteur nul (au passage, la géométrie autour de l'atome de silicium est de type tétraédrique puisqu'il y a 4 centres répulsifs autour de cet atome central), et le **chlorure de triméthylsilane est donc polaire**. Il est par ailleurs **aprotique** puisqu'il ne possède pas de liaison O-H ou N-H.

Propriétés du DMF : Du fait de son asymétrie, et de la présence de nombreuses liaisons polarisées (3 liaisons C-N + liaison C=O), le DMF est un solvant polaire. Il est par ailleurs aprotique puisqu'il ne possède ni liaison O-H ni liaisons N-H).

Le chlorure de triméthylsilane possède ainsi des **propriétés très similaires** au solvant DMF, et il s'y solubilise donc bien.

II.B) Chimie de la pointe AFMII.B.1) Structure du silicium cristallin

Q35 : Les sites tétraédriques sont les centres des tétraèdres représentés sur les **figures 2b** et **2c**. Il s'agit également des centres des sous-cubes d'arête $\frac{a}{2}$, qui sont numérotés : 28, 29, 30, 31, 38, 39, 40 et 41.

L'octaèdre le plus visible est celui dont le centre coïncide avec le centre de la maille et qui a pour sommets (distants de $\frac{a}{2}$ du centre), les six centres de faces : c'est le numéro 14. Les autres octaèdres ont pour sommets deux sommets du cube et deux centres de faces de la maille, ainsi que deux autres centres de faces de deux mailles adjacentes. Le centre de ses octaèdres coïncident avec le centre des 12 arêtes, de numéros : 2, 4, 6, 8, 10, 12, 16, 18, 20, 22, 24, 26.

Q36 : Puisque tous les sites T sont entièrement dans la maille, il y a **$N_T = 8$ sites T** appartenant en propre à la maille.

Pour les sites O, il faut distinguer celui du centre de la maille qui compte pour 100 % dans la maille et les 12 sites des arêtes, partagés entre 4 mailles et qui ne comptent chacun que pour 25 %. Au final, il y a l'équivalent de **$N_O = 1 + \frac{1}{4} \times 12 = 4$ sites O** appartenant en propre à la maille.

Q37 : Dans la maille de type diamant du silicium, on dénombre :

- 8 atomes aux sommets, partagés entre 8 mailles, ne comptant que pour $\frac{1}{8}$ dans la maille ;
- 6 atomes aux centres de faces, partagés entre 2 mailles, ne comptant que pour $\frac{1}{2}$ dans la maille ;

- 4 atomes correspondants à la moitié des sites T.

Au final, on dénombre : $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} + 8 \times \frac{1}{2} = 8$ atomes de silicium dans la maille

Q38 : La masse volumique du silicium est égale à :

$$\rho_{\text{Si}} = \frac{8 \times m_{1 \text{ atome de Si}}}{V_{\text{maille}}} = \frac{8 \times M(\text{Si})}{a^3 \times N_A} \Leftrightarrow a = \left(\frac{8 \times M(\text{Si})}{\rho_{\text{Si}} N_A} \right)^{\frac{1}{3}}$$

A.N. : $a \equiv \left(\frac{8 \times 28,1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{2,3 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \right)^{\frac{1}{3}} \equiv 5,5 \cdot 10^{-10} \text{ m} \equiv 0,55 \text{ nm}$

Q39 : Les atomes de silicium les plus proches sont tangents sur la grande diagonale d'un sous-cube

d'arête $\frac{a}{2}$, on a donc la relation : $\frac{\frac{a}{2} \sqrt{3}}{2} = 2 R_{\text{at}} \Leftrightarrow R_{\text{at}} = \frac{a \sqrt{3}}{8}$

A.N. : $R_{\text{at}} = \frac{0,55 \text{ nm} \times \sqrt{3}}{8} \equiv 0,12 \text{ nm}$

II.B.2) Structure du nitrure de silicium

Q40 : Tout d'abord, puisque $\chi(\text{N}) > \chi(\text{Si})$, il est donc cohérent que ce soit l'azote qui « vole » les électrons du silicium ; le premier devient anion et le second cation.

Par ailleurs, il ne manque que 3 électrons à l'atome d'azote pour atteindre la configuration électronique du gaz noble qui suit dans le tableau périodique, à savoir le néon.

Quant à l'atome de silicium, s'il perd ses 4 électrons de valence, on retrouve la configuration électronique du gaz noble qui précède, à savoir le néon également... Ainsi : $[\text{N}^{3-}] = [\text{Si}^{4+}] = [\text{Ne}]$

Q41 : Puisque la matière doit être neutre à l'échelle macroscopique, il faut associer 4 ions nitrure N^{3-} à 3 ions silicium Si^{4+} , d'où la formule du nitrure de silicium : Si_3N_4 .

Par ailleurs, d'après la description de la structure spinelle, on dénombre par maille :

- $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ ions nitrure
- $N_T \times \frac{1}{8} + N_O \times \frac{1}{2} = 1 + 2 = 3$ ions silicium

On retrouve donc bien la stœchiométrie prévue par l'électroneutralité : Si_3N_4 .

3^{ème} Problème : Résistance du corps humain

Q42 : Il y a deux explications possibles (non contradictoires) :

- la différence de composition des tissus présents dans les bras et les jambes (os et muscles) par rapport à ceux de l'abdomen (contenant beaucoup plus de liquide) : les bras et les jambes sont donc de moins bons conducteurs du courant.
- Par ailleurs, la résistance d'un tube de courant est proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section, cf. **IV.B.1**). Or les bras et les jambes ont une plus grande longueur et une plus faible section que le buste ou l'abdomen, donc une plus grande résistance.

Q42 : Si les chaussures sont isolantes, et chaque main en contact avec les deux pôles, aucun courant ne traverse R_4 ni les deux R_5 . La résistance équivalente est alors schématiquement $R_1 + (R_2 // 2 R_3) + R_1$,

soit : $R_{eq,1} = 2R_1 + \frac{2R_3 \times R_2}{2R_3 + R_2}$ et l'intensité correspondante est (loi d'Ohm) :

$$I_1 = \frac{U}{R_{eq,1}} = \frac{U}{2 \left(R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + 2R_3} \right)}$$

AN : $I_1 = \frac{230}{2 \times 460 + \frac{2 \times 125 \times 80}{2 \times 125 + 80}} = 0,23 \text{ A}$. On est largement au-delà des 25 mA qui suffisent pour

s'électrocuter, surtout que le cœur est sur le trajet ! RIP.

Q43 : Si une main tient une phase et les pieds sont posés par terre, le courant ne passe pas par un des bras mais parcourt $R_1 + R_3 // (R_3 + R_2) + R_4 + R_5 // R_5$. La résistance équivalente vaut donc ici :

$$R_{eq,2} = R_1 + \frac{R_3(R_2 + R_3)}{R_3 + (R_2 + R_3)} + R_4 + \frac{R_5 R_5}{R_5 + R_5}$$

et l'intensité correspondante vaut :

$$I_2 = \frac{U}{R_{eq,2}} = \frac{U}{R_1 + \frac{R_3(R_2 + R_3)}{R_2 + 2R_3} + R_4 + \frac{R_5}{2}}$$

AN : $I_2 = \frac{230}{460 + \frac{125(125+80)}{80+2 \times 125} + 15 + \frac{840}{2}} = 0,24 \text{ A}$. On est encore largement au-delà des 25 mA qui

suffisent pour s'électrocuter, et le cœur est toujours sur le trajet... RIP aussi.

Q44 : Si les deux mains sont en contact avec les rails d'un train de modélisme, en supposant les pieds chaussés et isolés du sol, la résistance équivalente est à nouveau R_{eq1} et l'intensité résultante vaut :

$$I_3 = \frac{U'}{R_{eq,1}} = \frac{U'}{2 \left(R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + 2R_3} \right)} \text{ avec } U' = 16 \text{ V}.$$

AN : $I_3 = \frac{16}{2 \times 460 + \frac{2 \times 125 \times 80}{2 \times 125 + 80}} = 0,016 \text{ A} = 16 \text{ mA} < 25 \text{ mA}$: l'être humain risque de « prendre la

bourre », mais devrait s'en sortir indemne.

Q45 : Les oiseaux ne sont pas électrocutés lorsqu'ils se posent sur **un** fil car la différence de potentiel entre leurs deux pattes très proches sera quasi nulle. Autrement dit : le courant passera préférentiellement dans le fil électrique, qui court-circuite l'oiseau. Ce ne sera pas la même chanson si l'oiseau touche le fil d'à côté ou une branche d'arbre en déployant ses ailes...