

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

SUJET

## PHYSIQUE-CHIMIE

Terminale Générale

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **16**

# spécialité

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré**

Ce sujet comporte quatre exercices présentés sur 13 pages numérotées de 1 à 13.

**EXERCICE 1 – L'acide méthanoïque (5 points)**

**EXERCICE 2 – La blue car (4 points)**

**EXERCICE 3 – Se chauffer avec le numérique (6 points)**

**EXERCICE 3 – Dorothy Crowfoot, femme de sciences (5 points)**

## EXERCICE 1 – L'ACIDE METHANOÏQUE (5 POINTS)

L'acide méthanoïque, ou acide formique, est produit par des fourmis rouges qui l'utilisent pour se défendre. Il est synthétisé dans l'industrie pour être utilisé dans de nombreux domaines comme le textile, l'agroalimentaire, ou encore la fabrication de solvants.

Les objectifs de cet exercice sont d'étudier les propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque puis son utilisation dans la synthèse du méthanoate d'éthyle qui est un solvant organique.

### Données :

- couple acide-base acide méthanoïque / ion méthanoate :  $\text{HCOOH}(\text{aq}) / \text{HCOO}^-(\text{aq})$
- table de données de bandes d'absorption en spectroscopie infra-rouge (IR) :

Liaison	C=O	O-H (acide carboxylique)	C-H
Nombre d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ )	1700 – 1800	2500 – 3200	2800 – 3000
Allure de la bande	Forte et mince	Forte et large	Forte et mince

- propriétés physico-chimiques de différentes espèces chimiques :

Espèce	Acide méthanoïque	Éthanol	Méthanoate d'éthyle	Eau
Formule brute	$\text{CH}_2\text{O}_2$	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	$\text{H}_2\text{O}$
Masse molaire moléculaire	$46,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$46,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$74,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$	$18,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$
Température d'ébullition	$101 \text{ }^\circ\text{C}$	$79 \text{ }^\circ\text{C}$	$54 \text{ }^\circ\text{C}$	$100 \text{ }^\circ\text{C}$

- sur l'étiquette du flacon de l'acide méthanoïque concentré commercial utilisé, on lit que le titre massique minimum est de 85 %. La densité mesurée de ce produit est mesurée, elle vaut 1,19.

### 1. Propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque

Pour étudier les propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque, une solution aqueuse d'acide méthanoïque, notée S, est préparée à partir de 1,0 mL d'acide méthanoïque concentré commercial dilué dans une fiole jaugée de 250 mL.

Le titrage d'un volume  $V = 25,0 \text{ mL}$  de solution S est réalisé et suivi par pH-métrie. La solution titrante est une solution d'hydroxyde de sodium de concentration  $c_B$  égale à  $0,20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . La courbe de suivi pH-métrique est donnée en figure 1.

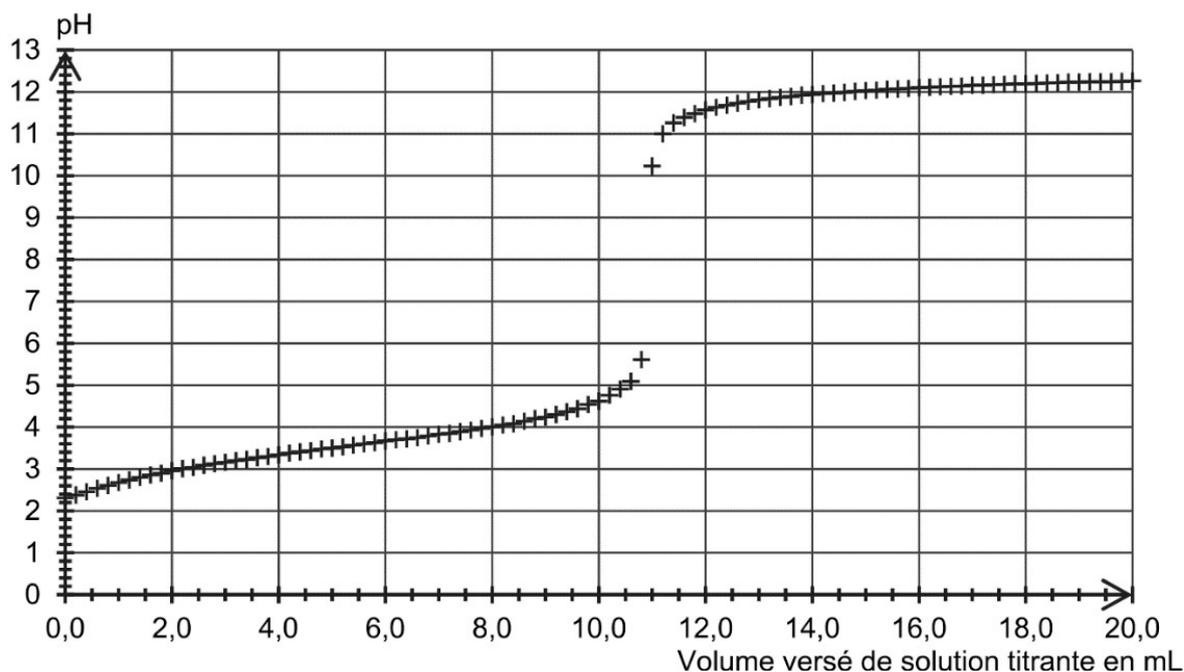


Figure 1. Courbe expérimentale du titrage par suivi pH-métrique

- Q1.** Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
- Q2.** Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière d'acide méthanoïque présent dans la solution S.
- Q3.** Déterminer la valeur du titre massique d'acide méthanoïque de la bouteille utilisée. Commenter.

On utilise les valeurs de pH mesurées au cours de ce titrage pour déterminer si l'acide méthanoïque peut être considéré comme un acide fort ou un acide faible. L'exploitation des mesures de pH permet d'obtenir la figure 2.

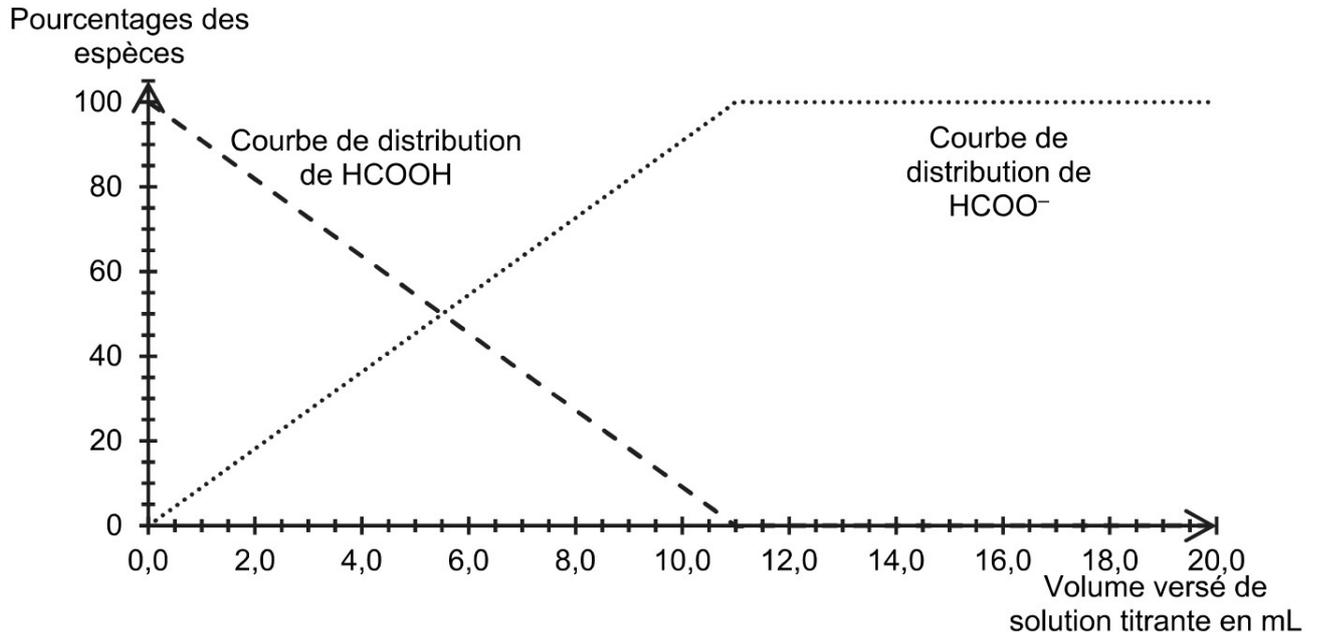


Figure 2. Courbes de distribution obtenues à partir des mesures de pH effectuées lors du titrage

- Q4.** Écrire l'équation de la réaction dont la constante thermodynamique d'équilibre correspond à la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate.
- Q5.** Estimer, en expliquant la démarche, à l'aide des figures 1 et 2, la valeur de la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate à la température du titrage.

La valeur tabulée de la constante d'acidité associée à ce couple est égale à  $1,75 \times 10^{-4}$  à  $25^\circ\text{C}$ .

- Q6.** Identifier une des causes expliquant l'écart entre la valeur tabulée et la valeur calculée à la question **Q5** de la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate.

On étudie une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration initiale en soluté apportée  $c_A$ .

- Q7.** Montrer que le quotient de réaction, noté  $Q_r$ , associé à la réaction écrite à la question **Q4**, s'écrit :

$$Q_r = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{(c_A - [\text{H}_3\text{O}^+]) \cdot c^\circ}$$

avec  $c^\circ$  la concentration standard.

- Q8.** Montrer que l'on peut estimer la valeur de  $K_A$  à une température donnée avec la relation suivante :

$$K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^\circ}$$

avec  $\tau_f$  le taux d'avancement final.

Le taux d'avancement final  $\tau_f$  vérifie une équation du 2<sup>nd</sup> degré de la forme :

$$A \cdot \tau_f^2 + B \cdot \tau_f + C = 0 \quad \text{avec } A, B \text{ et } C \text{ des constantes.}$$

Le calcul du taux d'avancement final est effectué à l'aide d'un programme écrit en langage Python dont un extrait est donné en figure 3.

```
4      #Demandes des valeurs utiles
5      cA=float(input("Indiquer la concentration apportée cA (en mol/L) de l'acide :"))
6      KA=float(input(("Indiquer la valeur de la constate d'acidité KA :")))
7      C0 = 1.0 # valeur de la concentration standard en mol/L
8
9      # Equation du 2nd degré vérifiée par le taux d'avancement
10     # équation du type : A*tau^2 + B*tau + C = 0
11     A = ?# expression de A
12     B = ?# expression de B
13     C = ?# expression de C
```

Figure 3. Extrait du programme écrit en langage Python

**Q9.** Compléter les lignes 11, 12 et 13 permettant au programme d'être exécuté. Détailler la démarche.

Pour une solution aqueuse d'acide méthanoïque de concentration apportée égale à  $8,8 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , le résultat obtenu par le programme est donné ci-dessous :

```
Indiquer la concentration apportée cA (en mol/L) de l'acide :0.088
Indiquer la valeur de la constante d'acidité KA :1.75e-4
Il y a 2 solutions possibles pour le taux d'avancement final :
tau1 = -0.046
tau2 = 0.044
```

**Q10.** À partir des résultats ci-dessus du programme, déterminer en justifiant si l'acide méthanoïque peut être considéré comme un acide fort ou un acide faible dans l'eau dans les conditions de l'expérience.

## EXERCICE 2- LA BLUECAR (4 points)

Voici la Bluecar ou B<sup>0</sup> : c'est une petite voiture citadine entièrement électrique, elle n'émet aucun gaz, aucune particule fine.

Alimentées par des batteries (Lithium Métal Polymère) des supercapacités et des panneaux solaires, ces voitures possèdent une autonomie de plus de 250 km soit bien plus que les 40 km qui sont la moyenne des déplacements.

Les supercapacités ont pour rôle de récupérer et stocker l'énergie de freinage, puis de la restituer au redémarrage. Il en résulte des accélérations plus puissantes, une augmentation de l'autonomie et une durée de vie accrue pour la batterie.



Ce sont des voitures rapides, leur vitesse maximale est de 130 km/h, agréables à conduire, sûres et durantes.

*D'après le site Internet Bluecar.*

Dans cet exercice, on étudie quelques caractéristiques de l'un des trois composants principaux de la voiture cités dans le texte : la batterie Lithium Métal Polymère .

### La batterie Lithium Métal Polymère

La cellule électrochimique élémentaire de la batterie Lithium Métal Polymère est basée sur l'utilisation de quatre composants (**FIGURE A2 DE L'ANNEXE**).

Cette cellule élémentaire solide est constituée de deux électrodes au fonctionnement réversible : l'anode assure la fourniture des ions lithium lors de la décharge et la cathode agit comme un réceptacle où les ions lithium viennent s'intercaler.

Les deux électrodes sont séparées par un électrolyte polymère solide, le polyoxyéthylène. La conduction est assurée par des ions obtenus par dissolution de sels de lithium dans l'électrolyte.

Un collecteur de courant est relié à la cathode pour assurer la connexion électrique.

*D'après le site internet « <http://www.batscap.fr> »*

Caractéristiques électriques de la batterie :

Énergie	30 kW.h
Tension nominale	400 V
Puissance maximale	45 kW
Quantité d'électricité maximale disponible	75 A.h

## Données :

- couple oxydoréducteur :  $\text{Li}^+ / \text{Li}$  ;
- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;
- charge électrique élémentaire :  $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$  ;
- masse molaire atomique du lithium :  $M(\text{Li}) = 6,9 \text{ g.mol}^{-1}$  ;
- l'ampère-heure (A.h) est une unité de quantité d'électricité :  $1 \text{ A.h} = 3600 \text{ C}$ .

## 1. Réactions aux électrodes

**Q1.** SUR LA FIGURE A2 DE L'ANNEXE, représenter le sens conventionnel du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge à l'extérieur de la batterie quand elle débite.

**Q2.** Quelle est la nature de la réaction se produisant au pôle négatif ? Quelle est la nature de la réaction se produisant au pôle positif ?

**Q3.** Écrire la demi-équation d'oxydoréduction de la réaction se produisant au pôle négatif.

## 2. Autonomie de la batterie

**Q4.** Calculer en coulombs la valeur de la quantité d'électricité maximale disponible  $q_{max}$  qui est donnée en A.h dans le tableau.

**Q5.** En déduire la valeur de la quantité de matière maximale d'électrons échangés  $n(e^-)_{éch}$  au cours de la réaction d'oxydoréduction en supposant que la batterie s'est complètement déchargée.

**Q6.** Calculer la masse de lithium correspondante.

**Q7.** À l'aide des valeurs données dans les caractéristiques électriques ci-dessus, déterminer la valeur de l'intensité du courant  $I_{max}$  que peut débiter cette batterie.

**Q8.** La batterie débite un courant d'intensité  $I = 100 \text{ A}$  dans un circuit extérieur sous sa tension nominale  $U_{NOM}$ . Calculer la durée maximale  $\Delta t_{max}$  de fonctionnement de la batterie.

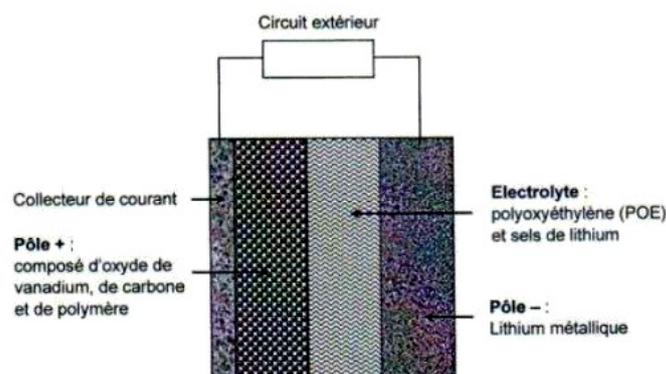


Figure A2. Cellule électrochimique élémentaire de la batterie Lithium Métal Polymère

### EXERCICE 3 – SE CHAUFFER AVEC LE NUMERIQUE (6 POINTS)



Un centre de données (datacenter en anglais) est un lieu où se trouvent regroupés les équipements constituant le système d'information de l'entreprise (ordinateurs centraux, serveurs, baies de stockage, équipements réseaux et de télécommunications, etc.). Les plus connus sont ceux de Google, Facebook, Apple, ...

Centre de données de google – source [www.google.com](http://www.google.com)

Au Val d'Europe, en Seine-et-Marne, le centre de données de Natixis permet de chauffer le nouveau centre aquatique et une pépinière d'entreprises.

Piscine et pépinière d'entreprises (près de 6000 m<sup>2</sup> au total) sont pourtant loin d'utiliser toute l'énergie disponible. Selon Dalkia, la filiale commune de Veolia et d'EDF qui exploite le réseau de chauffage, le centre de données peut chauffer jusqu'à 600 000 m<sup>2</sup>.

Un centre de données de cette importance, avec de telles batteries de serveurs à alimenter et à refroidir en permanence, consomme une énergie électrique considérable : autant qu'une ville moyenne de 50 000 habitants. 30 % de cette énergie est utilisée pour le refroidissement des serveurs. Plutôt que de gaspiller en pure perte cette énergie, autant récupérer la chaleur que dégage la climatisation.

D'après le site [www.alliancy.fr](http://www.alliancy.fr)

#### Données numériques :

Matériau	Laine de verre	Polystyrène	Laine de roche	Béton armé	Polymère
Conductivité thermique $\lambda (W.K^{-1}.m^{-1})$	0,032	0,038	0,034	2,2	0,18

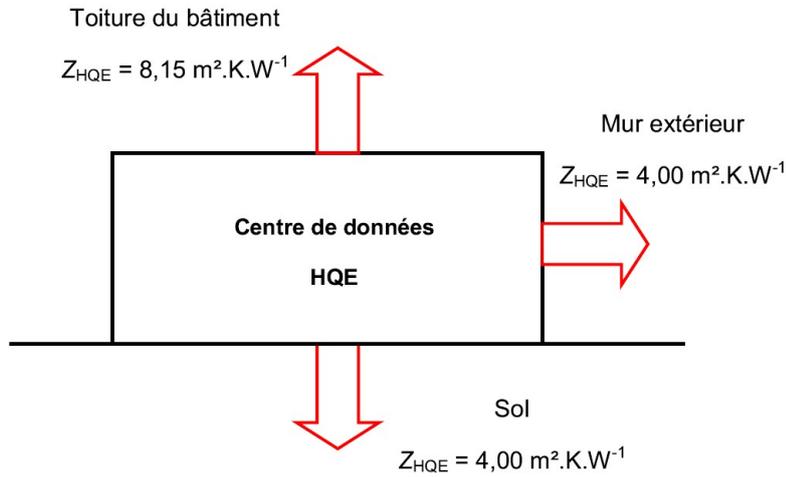
- 1 kW.h =  $3,6 \times 10^6$  J

#### Données :

– Conditions d'obtention du label HQE (Haute Qualité Environnementale) :

On note Z la résistance thermique d'une paroi ayant une surface de 1 m<sup>2</sup>. Pour obtenir le label HQE, la valeur de Z doit avoir une valeur minimale notée Z<sub>HQE</sub>. Cette valeur minimale dépend de la paroi étudiée. Les valeurs

minimales sont données sur le schéma ci-dessous.



- L'énergie thermique transférée à un système par un flux thermique  $\varphi$  pendant la durée  $\Delta t$  est :

$$Q = \varphi \cdot \Delta t$$

Avec  $Q$  : énergie thermique transférée (J)  $\varphi$  : flux thermique (W)  $\Delta t$  : durée du transfert (s)

- Lorsque les températures extérieure  $T_{ext}$  et intérieure  $T_{int}$  sont constantes au cours du temps, avec  $T_{int} > T_{ext}$ , le flux thermique  $\varphi$  à travers une paroi s'exprime par :

$$\varphi = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{th}}$$

avec  $\varphi$  : flux thermique (W)  $R_{th}$  : résistance thermique de la paroi considérée ( $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ )

- La résistance thermique  $R_{th}$  d'une paroi plane est définie par la relation :

$$R_{th} = \frac{Z}{S} \quad \text{avec} \quad Z = \frac{e}{\lambda}$$

avec  $e$  : épaisseur de la paroi (m)

$\lambda$  : conductivité thermique (en unité du système international USI)

$S$  : surface de la paroi ( $\text{m}^2$ )

$Z$  : résistance thermique d'une paroi ayant une surface égale à  $1 \text{ m}^2$ .

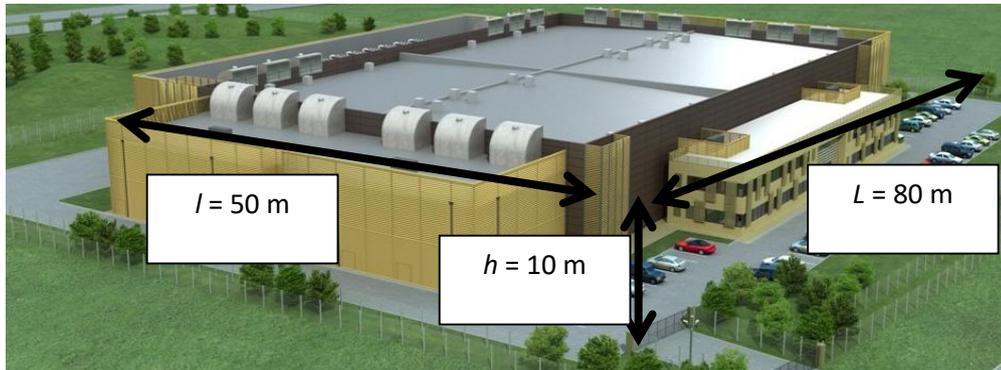
- Les résistances thermiques de plusieurs matériaux superposés s'ajoutent.

### 1. Bilan thermique du centre de données

Un bâtiment contenant 20 000 serveurs a une longueur de 80 m, une largeur de 50 m et une hauteur de 10 m. Le reste du bâtiment contient des bureaux et des locaux techniques qui ne seront pas pris en compte.

Le bâtiment respecte les normes HQE.

La puissance électrique consommée par un serveur est de 480 W.



D'après le site [www.econovista.blogspot.fr](http://www.econovista.blogspot.fr)

On admettra que toute l'énergie électrique consommée par les 20 000 serveurs est transformée en énergie thermique.

On se placera dans la situation où la valeur de la résistance thermique de chaque paroi de surface de  $1,0 \text{ m}^2$  est égale à la valeur minimale  $Z_{\text{HQE}}$ .

**Q1.** Citer les trois modes de transfert qui permettent aux ordinateurs de céder de l'énergie thermique à la pièce où ils sont stockés

**Q2.** Montrer, dans le cadre des hypothèses faites, que l'énergie thermique  $Q_{\text{serveurs}}$  libérée en une journée par les serveurs est égale à  $8,3 \times 10^{11} \text{ J}$ .

Les températures moyennes au Val d'Europe au cours d'une journée d'hiver sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

	Air extérieur	Sol	Intérieur
Température (°C)	7,0	11	23

**Q3.** Calculer le transfert thermique  $Q_{\text{sol}}$  à travers le sol pour une journée d'hiver.

**Q4.** Sachant que les transferts thermiques à travers les murs et la toiture, pour une journée d'hiver, sont respectivement  $Q_{\text{murs}} = 9,0 \times 10^8 \text{ J}$  et  $Q_{\text{toiture}} = 6,8 \times 10^8 \text{ J}$ , déterminer l'énergie thermique totale perdue par l'ensemble des parois du centre de données au cours d'une journée d'hiver.

**Q5.** Que risque-t-il de se passer au niveau du bâtiment du centre de données si rien n'est fait ?

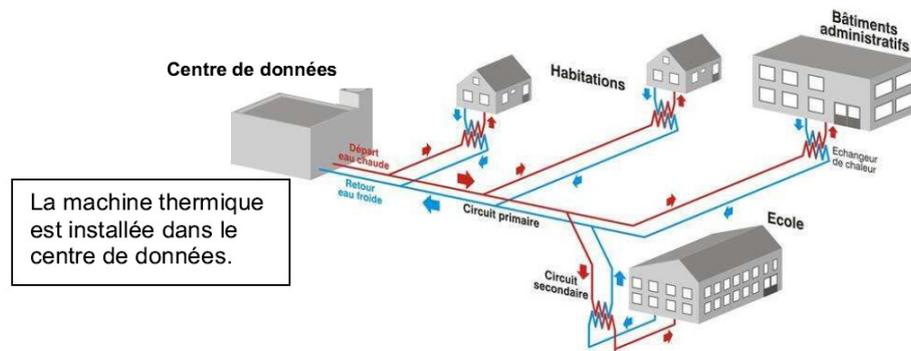
## 2. Valorisation de l'énergie produite par les serveurs

L'énergie thermique libérée en six mois par les serveurs est égale à  $1,5 \times 10^{14}$  J.

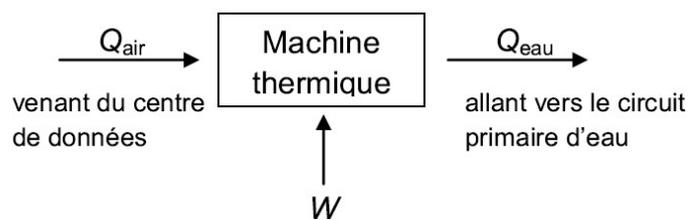
On estime qu'il faut 50 kW.h pour chauffer  $1 \text{ m}^2$  de logement récent durant les six mois de l'année où le chauffage est en fonctionnement.

**Q6.** Quelle surface de logement ce système permet-il de chauffer, durant ces six mois, grâce au centre de données ? La valeur annoncée dans le texte introductif est-elle réaliste ?

Plutôt que de rejeter de l'air chaud à l'extérieur, il est possible d'utiliser l'énergie thermique libérée pour chauffer des bureaux ou des logements voisins. Une machine thermique, aussi appelée climatiseur, refroidit l'air du centre de données et chauffe l'eau d'un circuit d'eau chaude primaire. Le circuit d'eau chaude primaire permet ensuite de chauffer l'eau des différents bâtiments par l'intermédiaire d'un échangeur.



Dans le cadre d'un modèle simplifié, les échanges énergétiques au niveau de la machine thermique peuvent être représentés sur le schéma ci-dessous :



avec :  $Q_{\text{air}}$ , énergie thermique fournie par l'air en une journée

$$Q_{\text{air}} = 5,2 \times 10^{11} \text{ J}$$

$Q_{\text{eau}}$ , énergie thermique reçue par l'eau en une journée

$W$ , énergie électrique reçue par la machine thermique en une journée

$$W = 1,0 \times 10^5 \text{ kW.h.}$$

**Q7.** Sachant que la machine thermique ne fait que convertir sans perte l'énergie qu'elle reçoit, donner la relation entre  $Q_{\text{eau}}$ ,  $Q_{\text{air}}$  et  $W$ .

**Q8.** Sachant que dans le circuit primaire l'eau entre dans la machine thermique à la température moyenne de 10°C pendant les 6 mois de fonctionnement du chauffage des logements et bureaux, avec un débit de  $2 \times 10^2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , quel mode de chauffage peut-on envisager pour chauffer les logements voisins ?

*Toute démarche de résolution, même partielle, sera valorisée.*

**Données :**

Mode de chauffage	Radiateur	Plancher chauffant
Température de l'eau	50°C à 65°C	25°C à 30°C

	Eau
Capacité calorifique ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	4185
Masse volumique ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	$1,0 \times 10^3$

### EXERCICE 3 – DOROTHY CROWFOOT, FEMME DE SCIENCES (5 POINTS)

Dorothy Crowfoot (1910 - 1994), chimiste britannique est la troisième femme à recevoir le prix Nobel de Chimie en 1964. Elle fut récompensée pour avoir déterminé la structure en trois dimensions de molécules complexes comme l'insuline. La compréhension de la géométrie de l'insuline a permis de grandes avancées dans le traitement du diabète. Ses travaux ont approfondi ceux de William Lawrence Bragg qui utilisa le premier les rayons X pour déterminer l'arrangement d'atomes ou d'ions au sein de certains cristaux.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la production des rayons X puis d'utiliser le phénomène d'interférences pour déterminer la distance entre deux molécules voisines dans un cristal.

#### Production des rayons X.

Le tube à rayons X, dont le schéma est représenté figure 1, est un dispositif permettant de produire des rayons X.

Il contient deux plaques métalliques A et B, séparées d'une distance  $d$  et assimilables aux armatures d'un condensateur plan alimenté par un générateur de tension électrique G.

Un filament électrique chauffé par effet Joule produit des électrons qui sont accélérés entre les armatures.

Les électrons percutent les atomes de la plaque B et provoquent l'émission des rayons X.

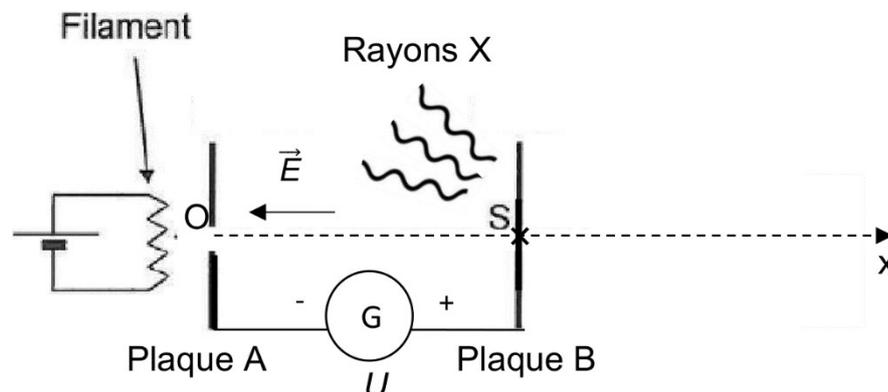


Figure 1. Schéma du tube à rayons X.

Dans la suite de l'exercice, on s'intéresse à un électron issu du point O sans vitesse initiale et accéléré jusqu'au point S de la plaque B.

#### Données :

- La valeur de la tension électrique  $U$  est égale à 20,0 kV ;
- La valeur de la distance  $d$  entre les points O et S est égale à 1,00 cm ;
- La valeur de la charge élémentaire  $e$  est égale à  $1,60 \times 10^{-19}$  C ;
- La valeur de la masse de l'électron  $m$  est égale à  $9,11 \times 10^{-31}$  kg ;

- La relation entre la valeur  $E$  du champ électrique  $\vec{E}$  supposé uniforme (exprimé en  $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ ), la tension électrique  $U$  (exprimée en  $\text{V}$ ) et la distance entre les électrodes  $d$  (exprimée en  $\text{m}$ ) est :

$$E = \frac{U}{d}$$

- La valeur d'un électronvolt (eV) est égale à  $1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

- Q1.** Donner l'expression de la force électrique  $\vec{F}$  subie par l'électron en fonction de la charge élémentaire  $e$  et du champ électrique  $\vec{E}$ . Sur la copie, reproduire les deux plaques A et B puis représenter, sans souci d'échelle, la force électrique  $\vec{F}$  en un point quelconque de l'axe (Ox) entre O et S.
- Q2.** Sachant qu'on négligera le poids de l'électron et à l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération  $\vec{a}$  de l'électron dans le repère (O,x).
- Q3.** Montrer que l'expression de la vitesse  $v_x(t)$  s'écrit sous la forme :  $v_x(t) = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t$  et établir l'équation horaire  $x(t)$ .
- Q4.** Montrer que la valeur de la vitesse  $v_s$  de l'électron au point S est égale à  $8,38 \times 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Au point S, l'électron percute un des atomes de la plaque B dans le but de provoquer l'émission de rayons X. Pour que celle-ci ait lieu, l'électron doit avoir une énergie cinétique  $E_{c_s}$  supérieure à  $E_{c_{min}}$  de valeur égale à  $6,90 \times 10^4 \text{ eV}$ .

- Q5.** Calculer la valeur  $E_{c_s}$  de l'énergie cinétique de l'électron puis vérifier que cette énergie est insuffisante pour produire des rayons X.
- Q6.** Choisir, en argumentant votre choix, parmi les deux valeurs de tensions électriques suivantes  $U_1 = 5 \text{ kV}$  et  $U_2 = 70 \text{ kV}$ , la tension électrique qui permettra d'augmenter la valeur de l'énergie cinétique de l'électron.



**1. Propriétés acido-basiques de l'acide méthanoïque**

**Q2. (1pt)** À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$n_{\text{HCOOH}}^{\text{initiale}} = n_{\text{HO}^-}^{\text{versée}} \quad c_S \cdot V = c_B \cdot V_E \quad c_S = \frac{c_B \cdot V_E}{V}$  Sur la figure 1, on détermine le volume équivalent  $V_E = 11,0 \text{ mL}$  en utilisant la méthode des tangentes. <http://acver.fr/tangentes>

$$c_S = \frac{0,20 \text{ mol.L}^{-1} \times 11,0 \text{ mL}}{25,0 \text{ mL}} = 8,8 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

**Q3. En déduire la valeur du titre massique d'acide méthanoïque de la bouteille utilisée. Commenter.**

**(1pt)** La solution S a été obtenue par dilution de 1,0 mL d'acide méthanoïque concentré dans une fiole jaugée de 250,0 mL.

Solution mère : acide concentré

Solution fille : solution S diluée

$C = ?$

$c_S = 8,8 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

$V = 1,0 \text{ mL}$

$V_S = 250,0 \text{ mL}$

Au cours d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve donc  $C \cdot V = c_S \cdot V_S$ , ainsi  $C = \frac{c_S \cdot V_S}{V}$

$$C = \frac{8,8 \times 10^{-2} \times 250,0}{1,0} = 22 \text{ mol.L}^{-1}$$

Le titre massique est égal au pourcentage en masse d'acide méthanoïque dans la solution concentrée.

$$t = \frac{m_{\text{acide}}}{m_{\text{solution}}} = \frac{n_{\text{acide}} \cdot M_{\text{acide}}}{\rho_{\text{solution}} \cdot V_{\text{solution}}} = \frac{C \cdot V_{\text{solution}} \cdot M_{\text{acide}}}{d \cdot \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{solution}}} = \frac{C \cdot M_{\text{acide}}}{d \cdot \rho_{\text{eau}}}$$

$$t = \frac{22 \text{ mol.L}^{-1} \times 46,0 \text{ g.mol}^{-1}}{1,19 \times 1000 \text{ g.L}^{-1}} = \frac{1012 \text{ g.L}^{-1}}{1190 \text{ g.L}^{-1}} = 0,85 = 85\% \text{ On retrouve la valeur indiquée sur l'étiquette}$$

du flacon concentré.

**Q4. Écrire l'équation de la réaction dont la constante thermodynamique d'équilibre correspond à la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate.**

**(0,5 pt)** La constante d'acidité est égale au quotient de réaction dans l'état d'équilibre de la réaction de l'eau avec l'acide :  $\text{HCOOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightleftharpoons \text{HCOO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ .

**Q5. Estimer, en expliquant la démarche, à l'aide des figures 1 et 2, la valeur de la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate à la température du titrage.**

**(1pt)**  $K_A = 10^{-\text{p}K_A}$

Pour  $\text{pH} = \text{p}K_A$ , alors  $[\text{HCOOH}(\text{aq})] = [\text{HCOO}^-(\text{aq})]$ .

La figure 2 montre que  $[\text{HCOOH}(\text{aq})] = [\text{HCOO}^-(\text{aq})]$  pour un volume versé de solution titrante égal à 5,5 mL.

À l'aide de la figure 1, on lit que pour ce volume alors  $\text{pH} = 3,6$ .

Donc  $\text{p}K_A = 3,6$  et  $K_A = 10^{-3,6} = 2,5 \times 10^{-4}$ .

La valeur tabulée de la constante d'acidité associée à ce couple est égale à  $1,75 \times 10^{-4}$  à 25 °C.

**Q6. Identifier une des causes expliquant l'écart entre la valeur tabulée et la valeur calculée à la question Q5 de la constante d'acidité  $K_A$  du couple acide méthanoïque / ion méthanoate.**

**(0,25pt)** Les valeurs lues graphiquement peuvent être légèrement fausses. Par exemple, si on lit  $\text{pH} = 3,5$  alors on obtient un  $\text{p}K_A = 10^{-3,5} = 3,2 \times 10^{-4}$ .

La valeur tabulée est donnée à 25°C, or les solutions peuvent être à une température différente.

Il est possible que le pH-mètre soit mal étalonné.

**Q7. Montrer que le quotient de réaction, noté  $Q_r$ , associé à la réaction écrite à la question Q4, s'écrit :**

$$Q_r = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{(c_A - [\text{H}_3\text{O}^+]) \cdot c^0} \text{ avec } c^0 \text{ la concentration standard.}$$

**(0,75 pt, l'absence de  $c^0$  n'est pas sanctionnée)**

$$Q_r = \frac{\frac{[\text{HCOO}^-(\text{aq})]}{c^0} \cdot \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]}{c^0}}{\frac{[\text{HCOOH}(\text{aq})]}{c^0}} = \frac{\frac{[\text{HCOO}^-(\text{aq})] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]}{(c^0)^2}}{\frac{[\text{HCOOH}(\text{aq})]}{c^0}} = \frac{[\text{HCOO}^-(\text{aq})] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]}{[\text{HCOOH}(\text{aq})] \cdot c^0}$$

D'après l'équation de la réaction  $[\text{HCOO}^-(\text{aq})] = [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]$ .

$$Q_r = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]^2}{[\text{HCOOH}(\text{aq})] \cdot c^0}$$

D'autre part l'acide méthanoïque apporté peut être sous forme HCOOH ou HCOO<sup>-</sup>,

ainsi  $c_A = [\text{HCOO}^-(\text{aq})] + [\text{HCOOH}(\text{aq})]$

$[\text{HCOOH}(\text{aq})] = c_A - [\text{HCOO}^-(\text{aq})] = c_A - [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]$

$$Q_r = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{(c_A - [\text{H}_3\text{O}^+]) \cdot c^0}$$

**Q8. Montrer que l'on peut estimer la valeur de  $K_A$  à une température donnée avec la relation suivante :**

$$K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^0} \text{ avec } \tau_f \text{ le taux d'avancement final.}$$

**(0,75pt)** Par définition,  $\tau_f = \frac{X_f}{X_{\text{max}}}$ .

L'avancement maximal correspond à la consommation totale de l'acide apporté,

ainsi  $n_{\text{HCOOH ini}} - x_{\text{max}} = 0$  donc  $c_A \cdot V = x_{\text{max}}$

$$\tau_f = \frac{x_f}{c_A \cdot V} \text{ donc } x_f = \tau_f \cdot c_A \cdot V$$

$$Q_{r,f} = K_A = \frac{[H_3O^+]_f^2}{(c_A - [H_3O^+]_f) \cdot c^0} = \frac{\left(\frac{x_f}{V}\right)^2}{\left(c_A - \frac{x_f}{V}\right) \cdot c^0} = \frac{\left(\frac{\tau_f \cdot c_A \cdot V}{V}\right)^2}{\left(c_A - \frac{\tau_f \cdot c_A \cdot V}{V}\right) \cdot c^0} = \frac{(\tau_f \cdot c_A)^2}{(c_A - \tau_f \cdot c_A) \cdot c^0} =$$

$$\frac{\tau_f^2 \cdot c_A^2}{c_A (1 - \tau_f) \cdot c^0} \quad K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^0}$$

Le taux d'avancement  $\tau_f$  vérifie une équation du 2<sup>nd</sup> degré de la forme :

$$A \cdot \tau_f^2 + B \cdot \tau_f + C = 0 \text{ avec } A, B \text{ et } C \text{ des constantes.}$$

Le calcul du taux d'avancement est effectué à l'aide d'un programme écrit en langage Python dont un extrait est donné en figure 3.

```

4 # Demandes des valeurs utiles
5 cA=float(input("Indiquer la concentration apportée cA (en mol/L) de l'acide :"))
6 KA=float(input("Indiquer la valeur de la constante d'acidité KA :"))
7 c0 = 1.0 # valeur de la concentration standard en mol/L
8
9 # Equation du 2nd degré vérifiée par le taux d'avancement
10 # équation du type : A*tau^2 + B*tau + C = 0
11 A = ? # expression de A
12 B = ? # expression de B
13 C = ? # expression de C

```

Figure 3. Extrait du programme écrit en langage Python

**Q9. Compléter les lignes 11, 12 et 13 permettant au programme d'être exécuté. Détailler la démarche.**

(0,75) Il faut remplacer A, B, C par leurs expressions.

$$K_A = \frac{\tau_f^2 \cdot c_A}{(1 - \tau_f) \cdot c^0} \quad K_A \cdot (1 - \tau_f) \cdot c^0 = \tau_f^2 \cdot c_A \quad K_A \cdot c^0 - K_A \cdot c^0 \cdot \tau_f = \tau_f^2 \cdot c_A$$

$$\tau_f^2 \cdot c_A + K_A \cdot c^0 \cdot \tau_f - K_A \cdot c^0 = 0 \quad \text{Par analogie, } A = c_A ; B = K_A \cdot c^0 \text{ et } C = -K_A \cdot c^0.$$

Pour le programme, on reprend les notations données alors  $A = c_A$  ;  $B = K_A \cdot c^0$  et  $C = -K_A \cdot c^0$ .

**Q10. À partir des résultats ci-dessus du programme, déterminer en justifiant si l'acide méthanoïque peut être considéré comme un acide fort ou un acide faible dans l'eau dans les conditions de l'expérience.**

(0,25pt) On ne retient pas la solution négative qui est chimiquement impossible.

$$\tau_f = \tau_2 = 0,044 = 4,4\%$$

$\tau_f \ll 100\%$  donc l'acide méthanoïque est un acide faible.

Dans l'état final d'équilibre, seul 4,4 % des molécules HCOOH sont dissociées sous forme HCOO<sup>-</sup>.

## Exercice 2. LA BLUECAR (4 points) Correction Labolycée ®

<http://labolycee.org>

### La batterie Lithium Métal Polymère

Q1. À l'extérieur de la batterie, le courant circule conventionnellement **du pôle + vers le pôle -**.

Les porteurs de charge, les électrons, circulent dans le **sens opposé**.

Q2. Au pôle négatif a lieu une libération d'électrons donc une **oxydation**.  
Au pôle positif a lieu une consommation d'électrons donc une **réduction**.

Q3. Au pôle négatif :  $\text{Li} = \text{Li}^+ + e^-$ .

Q4.  $q_{\max} = 75 \text{ A.h} = 75 \times 3600 \text{ C} = 2,7 \times 10^5 \text{ C}$ .

Q5.  $q_{\max} = n(e^-)_{\text{éch}} \cdot F = n(e^-)_{\text{éch}} \cdot N_A \cdot e$

$$\text{donc: } n(e^-)_{\text{éch}} = \frac{q_{\max}}{N_A \cdot e}$$

$$\text{soit } n(e^-)_{\text{éch}} = \frac{2,7 \times 10^5}{6,02 \times 10^{23} \times 1,60 \times 10^{-19}} = 2,8 \text{ mol.}$$

Q6. D'après la demi-équation d'oxydoréduction  $\text{Li} = \text{Li}^+ + e^-$ , la quantité de lithium consommée est égale à la quantité d'électrons échangée :  $n(\text{Li}) = n(e^-)_{\text{éch}}$ .

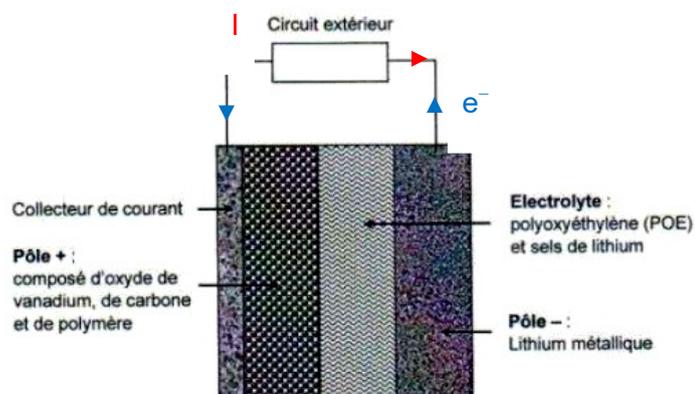
$$\text{Donc : } m(\text{Li}) = n(\text{Li}) \cdot M(\text{Li}) = n(e^-)_{\text{éch}} \cdot M(\text{Li})$$

$$\text{soit } m(\text{Li}) = 2,8 \times 6,9 = 19 \text{ g.}$$

Q7. La puissance maximale vaut :  $P_{\max} = U_{\text{NOM}} \cdot I_{\max}$  donc  $I_{\max} = \frac{P_{\max}}{U_{\text{NOM}}}$

$$\text{soit } I_{\max} = \frac{45 \times 10^3}{400} = 113 \text{ A} = 1,1 \times 10^2 \text{ A.}$$

Q8. Comme  $q_{\max} = I_{\max} \cdot \Delta t_{\max}$  donc  $\Delta t_{\max} = \frac{q_{\max}}{I_{\max}}$  soit  $\Delta t_{\max} = \frac{2,7 \times 10^5}{100} = 2,7 \times 10^3 \text{ s.}$



**EXERCICE 3 Bac S 2016 Polynésie correction © <http://labolycee.org> SE CHAUFFER AVEC LE NUMÉRIQUE**

**Bilan thermique du centre de données**

**Q1.** Les ordinateurs cèdent de l'énergie thermique par convection, par conduction et par rayonnement.

**Q2.** On admet que toute l'énergie électrique est transformée en énergie thermique.

Pour un serveur  $Q_{\text{serveur}} = P \cdot \Delta t$ , pour  $N$  serveurs on a  $Q_{\text{serveurs}} = N \cdot P \cdot \Delta t$

$Q_{\text{serveurs}} = 20\,000 \times 480 \times 24 \times 60 \times 60 = 8,3 \times 10^{11}$  J comme indiqué.

**Q3.** Transfert thermique à travers le sol  $Q_{\text{sol}}$  ?

$$Q_{\text{sol}} = \varphi \cdot \Delta t \text{ avec } \varphi = \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}} \text{ ainsi } Q_{\text{sol}} = \left( \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}} \right) \cdot \Delta t$$

Attention on ne raisonne plus sur  $1 \text{ m}^2$ , on a  $R_{\text{th}} = \frac{Z}{S}$ .

$$Q_{\text{sol}} = \left( \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{\frac{Z}{S}} \right) \cdot \Delta t = \left( \frac{(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \cdot S}{Z} \right) \cdot \Delta t = \left( \frac{(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \cdot L \cdot l}{Z} \right) \cdot \Delta t = \left( \frac{(23 - 11) \times 80 \times 50}{4,00} \right) \times 24 \times 3600 =$$

$1,0 \times 10^9 \text{ J} = \mathbf{1,0 \text{ GJ}}$

**Q4.**  $Q_{\text{totale}} = Q_{\text{sol}} + Q_{\text{murs}} + Q_{\text{toiture}}$   $Q_{\text{totale}} = 1,0 \times 10^9 + 9,0 \times 10^8 + 6,8 \times 10^8 = 2,6 \times 10^9 \text{ J} = \mathbf{2,6 \text{ GJ}}$

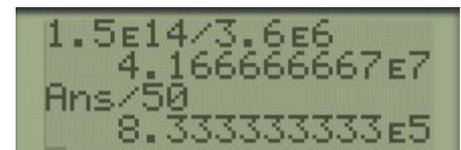
**Q5.** Les serveurs libèrent  $Q_{\text{serveurs}} = 8,3 \times 10^{11}$  J or le bâtiment est si bien isolé qu'il n'évacue que  $Q_{\text{totale}} = 2,6 \times 10^9$  J.

Si rien n'est fait, la température à l'intérieur du bâtiment va augmenter considérablement. Ce qui peut nuire au bon fonctionnement des serveurs.

**3. Valorisation de l'énergie produite par les serveurs**

**Q6.** Il faut convertir l'énergie thermique donnée en J en kWh.

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J} \quad Q_{6\text{mois}}(\text{kWh}) = \frac{Q_{6\text{mois}}(\text{J})}{3,6 \times 10^6} = \frac{1,5 \times 10^{14}}{3,6 \times 10^6} = 4,2 \times 10^7 \text{ kWh}$$



En divisant par l'énergie nécessaire pour chauffer  $1 \text{ m}^2$ , on obtient une surface  $S = 8,3 \times 10^5 \text{ m}^2$

Selon Dalkia le centre de données peut chauffer jusqu'à  $600\,000 \text{ m}^2 = 6,00000 \times 10^5 \text{ m}^2$ ; cette valeur est réaliste puisque proche de celle calculée

**Q7.** Sans perte d'énergie, on a  $W + Q_{\text{air}} = Q_{\text{eau}}$ .

**Q8.** On peut déterminer l'énergie thermique reçue par l'eau pour ensuite calculer l'élévation de température qu'elle peut engendrer. Ensuite on déterminera le mode de chauffage adapté.

L'eau reçoit l'énergie  $Q_{\text{eau}} = W + Q_{\text{air}}$ , il faut convertir  $W$  en J.

$$Q_{\text{eau}} = 1,0 \times 10^5 \times 3,6 \times 10^6 + 5,2 \times 10^{11} = 8,8 \times 10^{11} \text{ J}$$

Calculons le volume d'eau qui circule en 24 h et qui reçoit cette énergie :

Le débit est de  $D = 2,0 \times 10^2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , donc en  $\Delta t = 24 \text{ h}$  on a un volume d'eau  $V_{\text{eau}} = D \cdot \Delta t$

$$V_{\text{eau}} = 4,8 \times 10^3 \text{ m}^3.$$

Calculons la masse correspondante :

$$m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{eau}} \quad m_{\text{eau}} = 1,0 \times 10^3 \times 4,8 \times 10^3 = 4,8 \times 10^6 \text{ kg}$$

La capacité calorifique  $c_{\text{eau}}$  exprimée en  $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  est l'énergie qu'il faut fournir à un kilogramme d'eau pour voir sa température augmenter de 1 K (ou  $1^\circ\text{C}$ ).

$$Q_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta\theta \quad \Delta\theta = \frac{Q_{\text{eau}}}{m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}}} \quad \theta_f - \theta_i = \frac{Q_{\text{eau}}}{m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}}}$$

$$\theta_f = \frac{Q_{\text{eau}}}{m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}}} + \theta_i \quad \theta_f = \frac{8,8 \times 10^{11}}{4,8 \times 10^6 \times 4185} + 10 \quad \theta_f = 54^\circ\text{C}$$

L'eau sera donc utilisée dans des **radiateurs** car sa température est comprise entre  $50^\circ\text{C}$  et  $65^\circ\text{C}$ . Elle est trop chaude pour une utilisation dans un plancher chauffant.

Version littérale plus rigoureuse (Objectif Après le bac) :

$$Q_{\text{eau}} = W + Q_{\text{air}} \quad m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_f - \theta_i) = W + Q_{\text{air}}$$

En notant  $D$  le débit en  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , on a  $m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \cdot D \cdot \Delta t$

On raisonne pour une journée soit  $\Delta t = 24 \text{ h}$ .

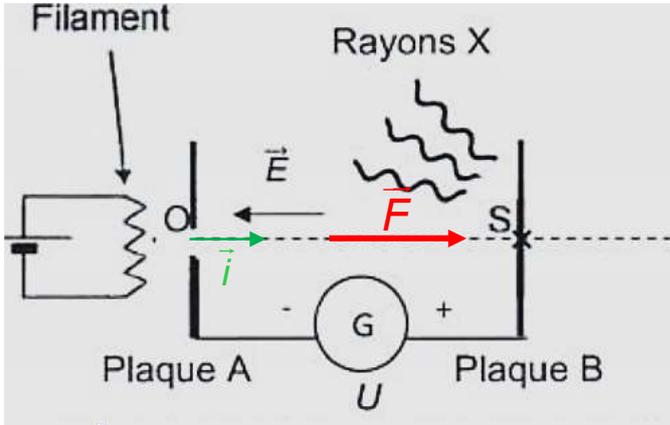
$$\theta_f - \theta_i = \frac{W + Q_{\text{air}}}{\rho_{\text{eau}} \cdot D \cdot \Delta t \cdot c_{\text{eau}}} \quad \theta_f = \frac{W + Q_{\text{air}}}{\rho_{\text{eau}} \cdot D \cdot \Delta t \cdot c_{\text{eau}}} + \theta_i \quad \text{Il faut convertir } W \text{ en joules.}$$

$$\theta_f = \frac{1,0 \times 10^5 \times 3,6 \times 10^6 + 5,2 \times 10^{11}}{1,0 \times 10^3 \times 2 \times 10^2 \times 24 \times 4185} + 10 \quad \theta_f = 54^\circ\text{C}$$

Production de rayons X

Q1. Force électrique subie par l'électron de charge  $q = -e$  :  $\vec{F} = q\vec{E} = -e\vec{E}$ .

Les vecteurs  $\vec{F}$  et  $\vec{E}$  sont colinéaires et de sens opposés :



Q2. Système {électron} de masse  $m$ .  
Référentiel terrestre supposé galiléen.

Repère  $(O, \vec{i})$  d'axe Ox horizontal orienté vers la droite.

Forces :  $\vec{F} = -e\vec{E}$

Le poids de l'électron est négligé devant la force électrique.

Deuxième loi de Newton :  $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$  soit ici :  $-e\vec{E} = m\vec{a}$  d'où :  $\vec{a} = -\frac{e}{m}\vec{E}$ .

Or :  $\vec{E} = -E\vec{i}$  donc  $\vec{a} = \frac{eE}{m}\vec{i}$

Q3. On a :  $\vec{a} = a_x\vec{i} = \frac{dv_x}{dt}\vec{i}$  donc  $a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{eE}{m}$ .

En primitivant :  $v_x(t) = \frac{eE}{m}t + C_1$  où  $C_1$  est une constante.

Initialement, la vitesse de l'électron est nulle  $v_x(0) = 0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  soit  $0 + C_1 = 0$ .

Donc  $v_x(t) = \frac{eE}{m}t$  Et :  $\vec{v} = v_x\vec{i} = \frac{dx}{dt}\vec{i}$  donc  $v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{eE}{m}t$ .

En primitivant :  $x(t) = \frac{1}{2}\frac{eE}{m}t^2 + C_2$  où  $C_2$  est une constante.

Initialement, l'électron est situé à l'origine O du repère  $x(0) = 0 \text{ m}$  soit  $0 + C_2 = 0$ .

Finalement :  $x(t) = \frac{eE}{2m}t^2$

Q4. Au point S, l'électron a parcouru la distance  $d = OS = 1,00 \text{ cm}$  à la date  $t_s$  telle que :

$d = x(t_s) = \frac{eE}{2m}t_s^2$  soit  $t_s^2 = \frac{2md}{eE}$  donc, en ne conservant que la solution positive :

$t_s = \sqrt{\frac{2md}{eE}}$  On reporte l'expression de  $t_s$  dans  $v_x(t)$  :  $v_x(t_s) = \frac{eE}{m}t_s = \frac{eE}{m}\sqrt{\frac{2md}{eE}}$

$v_x(t_s) = \sqrt{\frac{2md(eE)^2}{eEm^2}} = \sqrt{\frac{2deE}{m}}$ . Comme  $v_s = \sqrt{v_x^2(t_s)}$  il vient :  $v_s = \sqrt{\frac{2deE}{m}}$ .

Et  $E = \frac{U}{d}$  donc  $v_s = \sqrt{\frac{2deU}{md}}$  et finalement :  $v_s = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

$$v_s = \sqrt{\frac{2 \times 1,60 \times 10^{-19} \times 20,0 \times 10^3}{9,11 \times 10^{-31}}} = 8,38 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Remarque : on peut retrouver l'expression de  $v_s$  en utilisant le théorème de l'énergie cinétique entre les points O et S.

Théorème de l'énergie cinétique :  $E_c(S) - E_c(O) = W_{os}(\vec{F})$  soit ici comme  $E_c(O) = 0 \text{ J}$  :

$$\frac{1}{2}mv_s^2 = \vec{F} \cdot \vec{OS} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_s^2 = -e\vec{E} \cdot \vec{OS} \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_s^2 = -eEd \cos(180^\circ) \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_s^2 = eEd$$

$$\frac{1}{2}mv_s^2 = e \frac{U}{d} d \Leftrightarrow \frac{1}{2}mv_s^2 = eU \text{ donc } v_s = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

**Q5.**  $E_{c_s} = \frac{1}{2}mv_s^2$  soit  $E_{c_s} = \frac{1}{2} \times 9,11 \times 10^{-31} \times (8,38 \times 10^7)^2 \text{ J} = 3,20 \times 10^{-15} \text{ J}.$

Or  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  donc  $E_{c_s} = \frac{3,20 \times 10^{-15}}{1,60 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 2,00 \times 10^4 \text{ eV}.$

Comme  $E_{c_s} < 6,90 \times 10^4 \text{ eV}$ , l'énergie cinétique de l'électron est insuffisante pour produire des rayons X.

**Q6.**  $E_{c_s} = \frac{1}{2}mv_s^2$  et  $v_s = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$  donc l'énergie cinétique de l'électron est d'autant plus grande que sa vitesse est grande et donc d'autant plus grande que la tension électrique  $U$  est grande.

La tension électrique qui permettrait d'augmenter la valeur de l'énergie cinétique de l'électron est donc  $U_2 = 70 \text{ kV}.$