

CONCOURS BLANC COMMUN

Lundi 27 Février 2023 – Durée : 4 h 00

CALCULATRICE INTERDITE

On notera son nom en haut de chaque page et chaque page doit être numérotée.

- Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la **rédaction**.
- La **présentation**, la **lisibilité**, l'**orthographe**, la **qualité de la rédaction**, la **clarté** et la **précision des raisonnements** entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les **résultats non encadrés et non justifiés ne seront pas pris en compte**.
- Toute application numérique ne comportant **pas d'unité ne donnera pas lieu à attribution de points**.
- Le candidat prendra soin de **bien numéroté les questions**.
- Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Le sujet est long et formé de 3 problèmes indépendants.

Chaque problème est lui-même composé de différentes sous-parties indépendantes.

Vous pouvez traiter le sujet dans l'ordre de votre choix, en prenant soin de noter précisément le numéro de la question traitée.

Il faut changer de copie à chaque nouveau problème.

Copie N°1	Copie N°2	Copie N°3
Problème 1 : questions 1 à 23	Problème 2 : questions 24 à 35	Problème 3 : questions 36 à 58

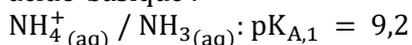
PROBLEME 1 - La chimie de l'azote : Quelques applications industrielles

Données pour tout le problème

- Données thermodynamiques à $T = 298\text{ K}$:

Espèces	$\text{N}_{2(\text{g})}$	$\text{H}_{2(\text{g})}$	$\text{NH}_{3(\text{g})}$
$\Delta_f H^0$ (kJ.mol ⁻¹)	?	?	-46
S_m^0 (J.mol ⁻¹ .K ⁻¹)	190	130	192

- Couple acido-basique :



- Electronégativité des éléments (échelle de Pauling) :

H 2,1																			He
Li 1,0	Be 1,6											B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0			Ne
Na 0,9	Mg 1,2											Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0			Ar
K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Fe 1,8	Co 1,9	Ni 1,9	Cu 1,9	Zn 1,6	Ga 1,6	Ge 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8			Kr

- Verrerie et matériel de laboratoire (et incertitudes ou précision) :

Verrerie	Contenance	Incertitude-type
Fluo jaugée	250,00 mL	0,15 mL
Burette graduée	25,000 mL	$3,0 \cdot 10^{-2}$ mL
Pipette jaugée	10,000 mL	$2,0 \cdot 10^{-2}$ mL
Eprouvette graduée	10,000 mL	$5,8 \cdot 10^{-1}$ mL

Balance de précision : précision à 0,1 g près

Aide aux calculs : $2,80 \times 7,00 = 19,6$

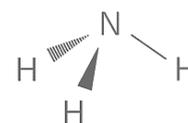
Partie A : Synthèse de l'ammoniac

Le procédé *Haber* est un procédé chimique en phase gazeuse servant à former de l'ammoniac $\text{NH}_{3(\text{g})}$ à partir du diazote $\text{N}_{2(\text{g})}$ atmosphérique et de dihydrogène $\text{H}_{2(\text{g})}$ en présence d'un catalyseur, à une température d'environ 450 °C.

- Ecrire l'équation de la réaction, notée (1), et l'équilibrer pour une mole de diazote.
- Que valent les enthalpies standard de formation de $\text{N}_{2(\text{g})}$ et $\text{H}_{2(\text{g})}$? Justifier.
- Calculer l'enthalpie standard $\Delta_r H_1^0$ de la réaction (1). Que peut-on en déduire ?
- Calculer l'entropie standard $\Delta_r S_1^0$ de la réaction (1). Justifier son signe.
- Exprimer l'enthalpie libre standard de réaction $\Delta_r G_1^0$ en fonction de la température T .
- Exprimer la constante d'équilibre $K_1^0(T_0)$ de cette réaction à $T_0 = 298\text{ K}$ en fonction des grandeurs thermodynamiques calculées dans les questions précédentes, de T_0 et R .
- L'application numérique donne $K_1^0(T_0) = 7,73 \cdot 10^5$. Comment peut-on qualifier cette réaction ?
- Quelle est l'influence d'une augmentation de pression isotherme sur l'équilibre (1) ? Une justification rigoureuse est attendue.
- Quelle est l'influence d'une augmentation de température isobare sur l'équilibre (1) ? Une justification rigoureuse est attendue. Commenter les conditions de température du procédé industriel.
- Expliquer pourquoi on utilise un catalyseur dans la synthèse de l'ammoniac.

11. Proposer une représentation de Lewis de NH_3 . Justifier cette représentation et rappeler le nom de la règle à respecter pour chaque élément.

Cette molécule n'est pas plane mais possède une géométrie pyramidale à base triangulaire :



12. La molécule d'ammoniac est-elle polaire ? Expliquer.

Partie B : Teneur en élément azote d'un engrais

L'ammonitrate est un engrais azoté solide, bon marché, très utilisé dans l'agriculture. Il est vendu par sac de 500 kg et contient du nitrate d'ammonium $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$. En solution aqueuse, il libère les ions NH_4^+ et NO_3^- . Les indications fournies par le fabricant d'engrais sur le sac à la vente stipulent que le pourcentage en masse de l'élément azote N est de 34,4 %.

Afin de vérifier l'indication du fabricant, on souhaite doser les ions ammonium $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ présents dans l'engrais. On prépare une solution en dissolvant $m_{\text{engrais}} = 6,00 \text{ g}$ d'engrais dans une fiole jaugée de $V_0 = 250 \text{ mL}$.

On prélève ensuite $V_1 = 10,0 \text{ mL}$ de cette solution que l'on va doser à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium (Na^+, HO^-), également appelée soude, de concentration $C = 0,200 \text{ mol. L}^{-1}$. On note V le volume de soude ajouté ; à l'équivalence, il vaut $V_E = 14,0 \text{ mL}$.

13. Le nitrate d'ammonium $\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})$ est très soluble dans l'eau. Ecrire la réaction de dissolution correspondante.

14. L'ion ammonium $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ est-il un acide ou une base ? Justifier la réponse.

15. Ecrire l'équation de la réaction correspondant au titrage.

16. La figure 1 donnée en **ANNEXE** représente la courbe $\text{pH} = f(V)$. Retrouver la valeur du volume à l'équivalence grâce à une méthode graphique. On soignera le tracé et on laissera apparents tous les traits de construction.

17. Quelles sont toutes les espèces chimiques présentes dans le mélange réactionnel à l'équivalence ? Justifier alors le pH basique de la solution en ce point.

18. Donner la formule littérale permettant de calculer la quantité de matière d'ions $\text{NH}_4^+(\text{aq})$, $n_{\text{bécher}}$ dans le bécher, puis n_{fiole} dans la fiole jaugée en fonction de V_E , C , V_1 et V_0 .

19. L'application numérique donne $n_{\text{NH}_4^+(\text{aq})} = 7,00 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$. En déduire la quantité de nitrate d'ammonium, $n_{\text{NH}_4\text{NO}_3(\text{s})}$, présente dans cette fiole.

20. Calculer la masse d'azote, m_N , présente dans l'échantillon.

21. Exprimer le pourcentage en masse, $\%N$, de l'élément azote N en fonction de C , V_E , V_0 , V_1 , m_{engrais} et M_N , la masse molaire en azote.

Une étude des incertitudes peut être réalisée à l'aide d'une simulation de Monte Carlo, dont le programme est donné ci-dessous. La figure tracée par le programme et les données en sortie se trouvent dans l'encadré à droite du programme.

22. Que fait-on de la ligne 22 à la ligne 25 ? Pourquoi multiplie-t-on par 0,1 à la ligne 28 ?

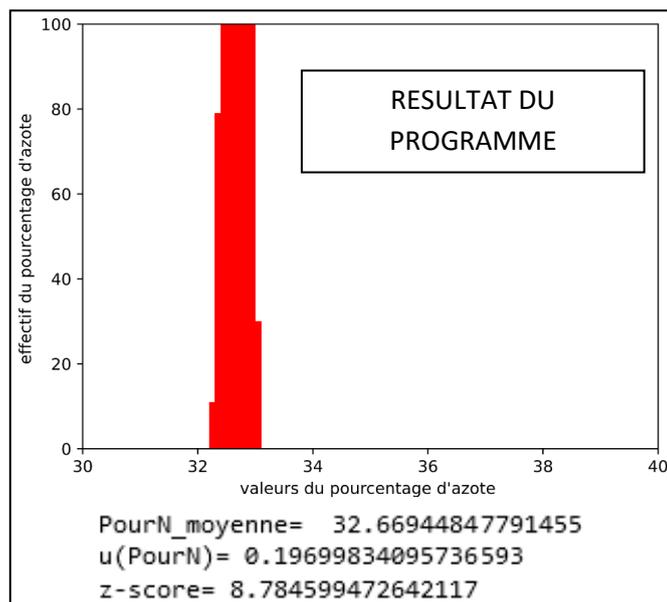
23. Exprimer le résultat de la mesure grâce aux données en sortie du programme et commenter la compatibilité avec la donnée du fabricant.

Programme Python

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import random
4 import statistics
5
6 ## Données ##
7 Ve_m = 14      #volume equivalent en mL
8 V0_m = 250     #volume de la fiole en mL
9 V1_m = 10      #volume de la pipette en mL
10 mengrais_m = 6 #masse d'engrais en g
11
12 u_Ve = 0.03 #Incertitude type sur Ve_m en mL
13 u_V0 = 0.15 #Incertitude type sur V0_m en mL
14 u_V1 = 0.02 #Incertitude type sur V1_m en mL
15 u_mengrais = 0.1/3*0.5 #Incertitude type sur
16                      #mengrais_m en g
17
18 M_N = 14      #Masse molaire de l'azote en g/mol
19 C = 0.2       #Concentration de la soude en mol/L
20
21 # Création de tableaux random de 1000 valeurs
22 Ve = np.random.uniform(Ve_m-u_Ve, Ve_m+u_Ve ,1000)
23 V0 = np.random.uniform(V0_m-u_V0, V0_m+u_V0 ,1000)
24 V1 = np.random.uniform(V1_m-u_V1, V1_m+u_V1 ,1000)
25 mengrais = np.random.uniform(mengrais_m-u_mengrais, mengrais_m+u_mengrais ,1000)
26
27 # Calcul du pourcentage d'azote
28 PourN = 2*M_N*C*Ve*V0/(V1*mengrais)*0.1
29
30 # Tracé de l'histogramme des valeurs possibles
31 nb_classes = 100
32 plt.hist(PourN, bins=nb_classes, range=(30,40), color='red')
33 plt.axis([30,40, 0,100])
34 plt.xlabel("valeurs du pourcentage d'azote ")
35 plt.ylabel("effectif du pourcentage d'azote ")
36 plt.show()
37
38 # Données statistiques
39 PourN_theo = 34.4
40 PourN_moyenne = np.mean(PourN)
41 u_PourN = np.std(PourN) #np.std donne l'écart-type
42 z_score = abs((PourN_moyenne - PourN_theo)/u_PourN) #z_score = écart-relatif

```



PROBLEME 2 – Etude du cycle d'une machine à vapeur avec surchauffe

Ce problème est l'étude simplifiée d'un site de production d'un réseau urbain de chaleur. Les applications numériques se feront avec deux chiffres significatifs.

Données pour tout le problème

Identités thermodynamiques :

$$(1) dU = T dS - P dV \quad (2) dH = T dS + V dP \quad (3) dG = -S dT + V dP$$

masse volumique de l'eau liquide : $\mu_{\text{eau}} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
--

capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{eau}} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
--

$$\text{Aide aux calculs : } \frac{0,7}{3,05} = 0,23$$

Document 1 : L'unité de combustion et de valorisation des déchets d'une agglomération de taille moyenne

L'incinérateur brûle des déchets avec un apport de méthane et des entrées d'air frais. Le dioxyde de carbone, la vapeur et les particules sortantes de l'incinérateur de déchets sont récupérées pour le chauffage des éléments de deux chaudières. Les deux chaudières permettent d'obtenir de la vapeur sous haute pression destinée à entraîner un turbo-alternateur d'une part et à alimenter un réseau urbain de chaleur d'autre part.

L'incinérateur permet la combustion de 100 000 tonnes de déchets ménagers et assimilés par an :

- 1,3 % de la masse initiale des déchets est récupérée sous forme de suie par des filtres sur les cheminées et constitue des déchets dangereux.
- 11 % de la masse initiale des déchets est récupérée au bas de l'incinérateur sous forme de cendres. Ces cendres sont ensuite utilisées comme remblais sur les routes en zone non inondable.

La puissance thermique des deux chaudières est de 20 MW. C'est-à-dire un débit de 17 tonnes/h de vapeur à 375°C sous 40 bar pour une seule chaudière. L'énergie envoyée vers le chauffage urbain est de 36 000 MWh par an. Le turbo-alternateur est d'une puissance électrique de 7 MW et permet une production électrique de 40 000 MWh par an.

Document 2 : Description du cycle d'une machine à vapeur avec surchauffe

L'eau du réservoir de l'installation est d'abord pressurisée par un compresseur haute pression de manière adiabatique et réversible (isentropique) d'un état A à un état B.

L'eau liquide comprimée subit ensuite des transformations isobares en passant successivement par les 3 entités constituant la chaudière (sans partie mobile) :

- un économiseur qui l'amène à l'état de liquide saturant (état C) ;
- un ballon qui vaporise entièrement le liquide saturant à l'état de vapeur sèche saturante (état D) ;
- un surchauffeur qui l'amène à l'état de vapeur sèche surchauffée (état E) à 375 °C ;

Economiseur, ballon et surchauffeur sont tous chauffés par les fumées des combustions des déchets, ce chauffage s'effectue à pression constante.

La vapeur sèche haute pression subit ensuite une détente isentropique dans la turbine calorifugée pour revenir à un mélange liquide-vapeur à la pression initiale (état F). Ce mélange de titre élevé est liquéfié jusque dans le domaine liquide (état G) grâce à un transfert thermique avec l'air extérieur puis revient à 25 °C dans le réservoir de manière isobare (état A).

Document 3 : Description du turbo-alternateur

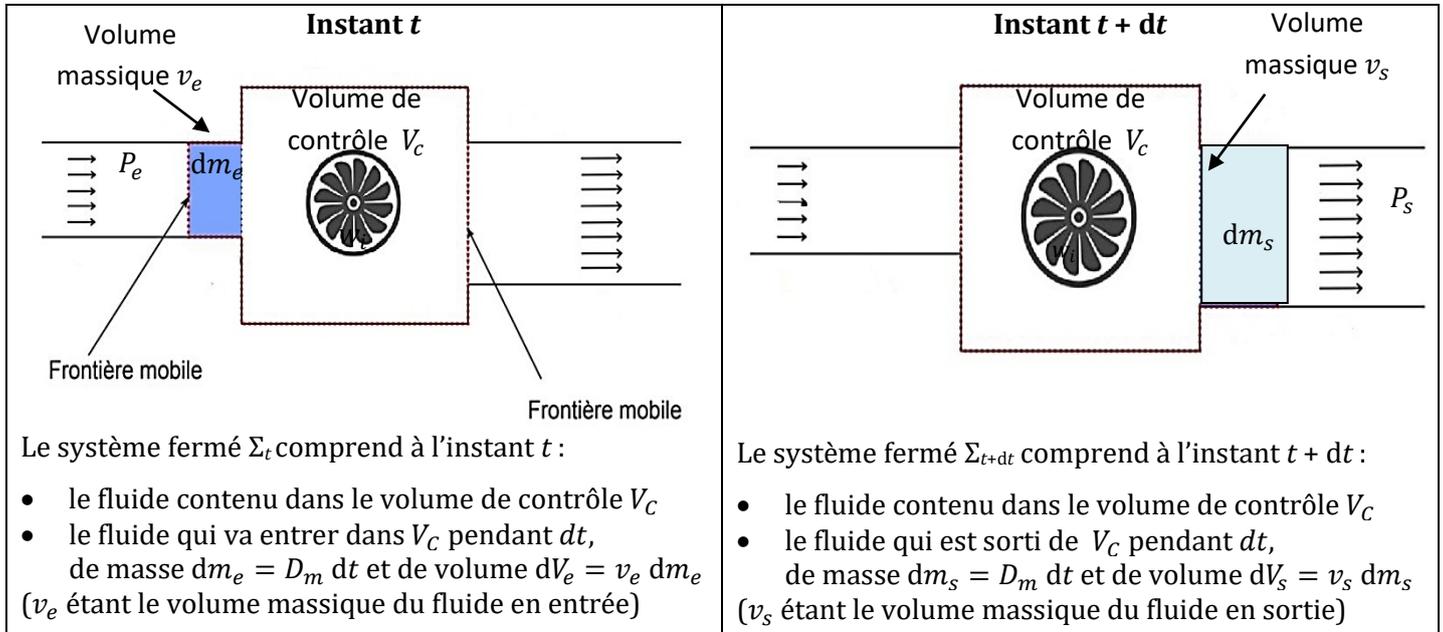
La turbine est entraînée mécaniquement par la vapeur haute pression. La turbine entraîne un alternateur qui génère de l'électricité par induction. On considère un rendement de 90 % entre la puissance mécanique de la turbine et la puissance électrique générée par l'alternateur.

Partie A : Etablissement du 1^{er} principe industriel

On rappelle l'expression différentielle du 1^{er} principe généralisé s'appliquant à un système fermé :

$$dE = dE_p + dE_c + dU = \delta W_{\text{pression}} + \delta W_{\text{indiqué}} + \delta Q$$

On souhaite établir le premier principe industriel s'appliquant aux systèmes ouverts en régime stationnaire, qui pourra donc s'appliquer à chacun des éléments de la machine. Pour ce faire, on isole par la pensée une tranche de fluide traversant l'un des éléments. On suit ce système Σ devenu fermé entre les instants t et $t + dt$ suivant les schémas ci-dessous.



On note A une grandeur extensive caractérisant l'état du fluide (comme ses énergies potentielle, cinétique, interne ou encore son enthalpie) et a_s et a_e les quantités massiques de cette grandeur A relatives respectivement aux éléments dm_s et dm_e .

24. Le régime étant stationnaire, établir en justifiant précisément toutes les étapes du raisonnement que la variation d'énergie totale dE du système pendant dt ($dE = E(\Sigma_{t+dt}) - E(\Sigma_t)$) se résume à :

$$dE = e_s dm_s - e_e dm_e$$

En conséquence, la variation de l'énergie totale (macroscopique et microscopique) du système pendant dt s'écrit :

$$dE_p + dE_c + dU = [(e_{c,s} + e_{p,s} + u_s) - (e_{c,e} + e_{p,e} + u_e)] dm \quad \text{avec : } dm = dm_e = dm_s$$

25. En notant P_e la pression du fluide en entrée et P_s celle du fluide en sortie, justifier que le travail des forces pressantes $\delta W_{\text{pression}}$ reçu par le fluide pendant dt s'écrit :

$$\delta W_{\text{pression}} = P_e v_e dm_e - P_s v_s dm_s = (P_e v_e - P_s v_s) dm$$

26. En utilisant la définition de l'enthalpie, conclure sur la forme prise par le 1^{er} principe sur le système ouvert (entre l'entrée e et la sortie s) en régime stationnaire, dit 1^{er} principe industriel :

$$\Delta_{e,s}(e_p + e_c + h) = w_i + q$$

Préciser la signification et l'unité de w_i et q .

Partie B : Etude du cycle

Dans toute cette partie, **on négligera les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle en regard de la variation d'enthalpie.**

27. On considère l'eau comme un liquide incompressible (volume massique constant v). A partir de l'identité thermodynamique (1), montrer que, pour un tel liquide, une transformation isentropique se confond avec une transformation isotherme.
28. A l'aide de données du **tableau 1** à compléter, (en **ANNEXE**) et du **document 2**, placer les points A à G et tracer le cycle sur le **diagramme $\{\log(P), h\}$ de l'eau** fourni en **ANNEXE**. Compléter alors le **tableau 1**.
29. A partir de l'identité thermodynamique (2), montrer en justifiant que la variation d'enthalpie pour comprimer l'eau liquide de l'état A à l'état B s'écrit :
- $$h_B - h_A = v(P_B - P_A)$$
- où v est le volume massique de l'eau liquide.
30. En déduire, à l'aide du premier principe industriel, l'expression du travail massique $w_{i, AB}$ nécessaire pour comprimer l'eau liquide de l'état A à l'état B. Réaliser l'application numérique.
31. Exprimer puis calculer le transfert thermique massique total q_{BE} nécessaire pour chauffer l'eau dans les économiseur, ballon et surchauffeur.
32. Exprimer puis calculer le travail massique $w_{i, EF}$ reçu par le fluide dans la turbine.
33. Exprimer le rendement η_{meca} du cycle thermodynamique en considérant que l'objectif est de produire du travail mécanique par détente de la vapeur. Evaluer numériquement η_{meca} (on pourra pour cela arrondir les valeurs des échanges énergétiques évalués précédemment à la cinquantaine).
34. Exprimer le titre massique en vapeur x_F en F en fonction des enthalpies nécessaires (donner leur valeur sans faire le calcul final). Estimer alors la valeur de x_F par lecture directe sur le diagramme.
35. Donner l'expression littérale de la création d'entropie massique $s_{créée}$ sur un cycle en fonction des enthalpies massiques et des températures. On supposera que les échanges avec les sources se font aux deux températures extrêmes du fluide.

PROBLEME 3 - Condensateur

Le condensateur est une brique de base des circuits électroniques de commande ou de puissance. Après avoir rappelé le principe de fonctionnement de ce composant (partie A), nous nous focaliserons sur la question de leur recharge (partie B). Enfin, nous étudierons un circuit électronique permettant d'automatiser une partie de la recharge du condensateur (partie C).

Données pour tout le problème

$$\text{Permittivité diélectrique du vide : } \varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} \approx 10^{-11} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\text{Aide au calcul : } \exp(-5) \approx 0,01$$

Partie A : Principe de fonctionnement du condensateur

Cette partie s'intéresse au principe de fonctionnement du condensateur, à travers les modèles électrostatiques et électrocinétiques usuels.

Remarque : si vous ne traitez pas cette partie, il est conseillé de la lire car elle redonne les principales relations concernant ce composant.

On considère un plan supposé infini chargé avec une densité surfacique de charge σ uniforme. On note Oz l'axe orthogonal au plan, tel que l'équation du plan est $z = 0$. On note $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ la base orthonormée usuelle, et O le centre du repère.

36. Par des arguments d'invariances et de symétries de la distribution, établir la direction du champ électrostatique $\vec{E}_1(M)$ et la (ou les) variable(s) dont il dépend.

37. Démontrer soigneusement que le champ électrique créé par cette distribution est donné par :

$$\vec{E}_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \vec{e}_z \text{ pour } z > 0 \text{ et } \vec{E}_1 = -\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \vec{e}_z \text{ pour } z < 0$$

On modélise maintenant un condensateur par deux plans parallèles, chacun de surface S . On note Oz l'axe orthogonal aux deux plans. Le plan supérieur, situé en $z = e$ (e distance positive), porte une densité surfacique de charge $\sigma > 0$, et le plan inférieur (en $z = 0$) une densité surfacique opposée. On note U la différence de potentiel entre le plan supérieur et le plan inférieur : $U = V(e) - V(0)$ avec V le potentiel électrostatique.

On néglige tout effet de bord.

38. Déterminer l'expression du champ électrique \vec{E} en tout point de l'espace, créé par la distribution composée des deux plaques.

39. Déterminer l'expression de la différence de potentiel U en fonction de σ , e et ε_0 .

40. En déduire l'expression de la capacité C du condensateur, définie par la relation $Q = C \times U$ où Q est la charge portée par l'armature positive, en fonction de S , e et ε_0 . Réaliser l'application numérique pour une surface $S = 1 \text{ cm}^2$ et une distance $e = 0,1 \text{ mm}$ entre les deux armatures.

On considère maintenant un condensateur comme un composant électronique. On utilise la convention récepteur.

41. En partant de la relation $Q = C \times U$, démontrer la relation usuelle entre tension, $u(t)$, et intensité, $i(t)$, pour un condensateur.

42. En exploitant la question précédente, montrer que l'énergie stockée, $\mathcal{E}_{\text{cond}}$, dans un condensateur s'écrit :

$$\mathcal{E}_{\text{cond}} = \frac{1}{2} C u^2(t)$$

Partie B : Stratégies de charge d'un condensateur

Les supercondensateurs sont de plus en plus utilisés comme systèmes de recharge rapide, dans le domaine des transports. L'énergie est prélevée sur le réseau électrique, et on souhaiterait que 100% de cette énergie soit transférée au condensateur.

On appelle "rendement de la charge du condensateur" le rapport entre l'énergie stockée par le condensateur à l'issue de la charge et de l'énergie fournie par le générateur au cours de cette charge :

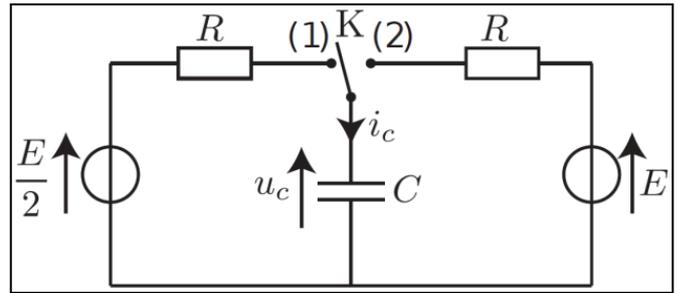
$$\eta = \frac{E_{\text{stockée}}}{E_{\text{fournie}}}$$

Le supercondensateur étudié dans cette partie a une capacité $C = 100 \text{ F}$, et une tension nominale $E = 2,7 \text{ V}$. La résistance modélisant les pertes dans le circuit de recharge a une valeur $R = 1 \Omega$.

B.1. Premier procédé de charge

On considère le circuit représenté ci-contre.

L'interrupteur K est d'abord dans la position intermédiaire où il n'établit aucun contact. Le condensateur étant initialement déchargé, on bascule l'interrupteur K dans la position (2) à $t = 0$.



43. Établir l'équation différentielle portant sur $u_c(t)$. On la mettra sous la forme :

$$\frac{du_c(t)}{dt} + \frac{1}{\tau} u_c(t) = \frac{E}{\tau}$$

avec τ un paramètre dont on précisera l'unité et l'expression en fonction des constantes du problème. Réaliser l'application numérique.

44. Résoudre l'équation différentielle obtenue ci-dessus et tracer l'allure de la solution $u_c(t)$ en faisant apparaître des valeurs remarquables. On précisera en justifiant la valeur utilisée pour $u_c(t = 0^+)$ (juste après le basculement de l'interrupteur).

45. Déduire de la question 42, l'expression de l'énergie stockée, $\mathcal{E}_{\text{cond},f}$, par le condensateur à la fin de sa charge en fonction de C et de E .

46. Démontrer que le courant i_c s'écrit, pour tout $t \geq 0$:

$$i_c(t) = \frac{E}{R} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

47. En déduire la puissance fournie $\mathcal{P}_{\text{fournie}}(t)$ par le générateur.

48. Calculer alors l'énergie électrique fournie par le générateur sur l'ensemble de la charge :

$$\mathcal{E}_{\text{fournie}} = \int_0^{\infty} \mathcal{P}_{\text{fournie}}(t) dt$$

49. Quelle est la valeur du rendement, η_1 , de la charge (défini précédemment) avec la méthode envisagée ? Peut-il être optimisé en changeant la résistance R ?

B.2. Second procédé de charge

On souhaite utiliser une méthode qui permet d'améliorer le rendement de la charge. On réalise une charge en deux temps. Le condensateur est initialement déchargé.

L'interrupteur K est d'abord dans la position intermédiaire où il n'établit aucun contact. Puis il est fermé en position (1) à $t = 0$. Lorsque le régime transitoire qui s'ensuit est achevé, l'interrupteur est basculé en position (2). Cette commutation est réalisée à l'instant $t = 5\tau$.

Cette charge en deux étapes est étudiée à l'aide d'un programme Python à compléter, figurant page suivante. Les résolutions y sont directement effectuées à l'aide de la fonction « odeint » dont le fonctionnement est :

```
# odeint(f, y0, t) est un tableau numpy contenant les valeurs de y, solution de l'équation différentielle
# dy/dt = f(y)
# y0 est la valeur initiale de y
# t est un tableau numpy contenant les valeurs de t auxquelles la solution est recherchée
```

50. Donner directement les équations différentielles vérifiées par la tension $u_c(t)$ lors des phases 1 et 2, et les mettre sous la forme :

$$\frac{du_c}{dt} = f_1(u_c) \quad \text{et} \quad \frac{du_c}{dt} = f_2(u_c)$$

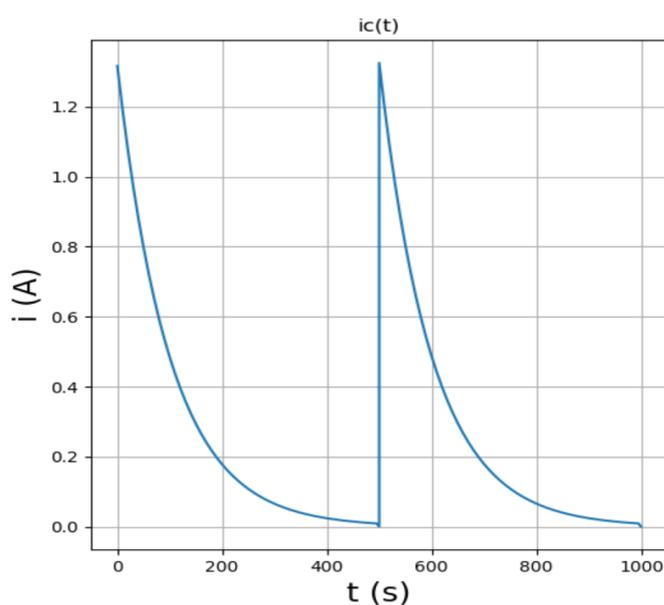
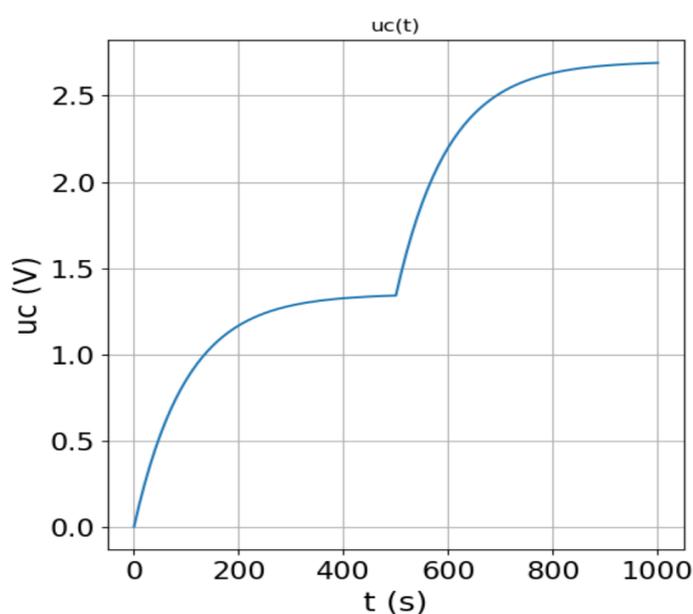
51. Quelles sont les valeurs de t_1 et $u_c(t_1)$ au début de la phase 2, lorsque la charge est terminée ? En vous inspirant de la partie « première phase de charge » du programme, proposer une expression pour les lignes 26 et 27 de la partie « deuxième phase ». Le graphe correspondant aux deux phases est présenté ci-dessous.

52. Proposer une expression pour la ligne 40 du programme qui permet de calculer le courant dans le condensateur en discrétisant la dérivée suivant la méthode d'Euler. Le graphe obtenu est présenté ci-dessous.

53. Donner l'expression de l'énergie électrique δW_1 fourni par le générateur pendant un intervalle de temps dt de la phase 1. De même, donner l'expression de δW_2 pour la phase 2. Proposer sur votre copie une expression pour compléter les lignes 59 et 61 du programme.

54. La valeur du rendement calculée par le programme est 0,668. Conclure sur ce second procédé de charge.

Graphes associés au programme Python



Programme Python - Problème 3 partie B2

```

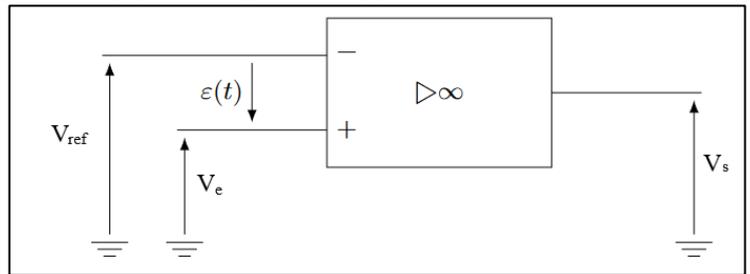
3 import numpy as np
4 import matplotlib.pyplot as plt
5 from scipy.integrate import odeint
6
7 N = 101 # nombre de points de chaque phase
8 R = 1
9 C = 100.0
10 E = 2.7
11 tau = R*C
12
13 # première phase de charge
14
15 t1 = np.linspace(0,5*tau,N)
16
17 def f1(x,t):
18     return E/(2*tau)-x/tau
19 uc1 = odeint(f1,0.0,t1)
20
21 # deuxième phase de charge
22
23 t2 = np.linspace(5*tau,10*tau,N)
24
25 def f2(x,t):
26     return.....
27 uc2 =.....
28
29 # réunion des deux phases
30
31 t =np.concatenate([t1,t2])
32 uc = np.concatenate([uc1,uc2])
33
34 # Calcul du courant
35
36 ic = np.zeros(2*N)
37 dt = 5*tau/(N-1)
38
39 for k in range(2*N-1):
40     ic[k] =.....
41
42 # tracés
43
44 plt.clf()
45 plt.figure(1)
46 plt.plot(t,uc)
47 plt.title("uc(t)")
48 plt.grid()
49 plt.figure(2)
50 plt.plot(t,ic)
51 plt.title("ic(t)")
52 plt.grid()
53
54 # calcul de l'énergie électrique Wg fournie par le générateur et rendement
55
56 Wg = 0
57 dt = 5*tau/(N-1)
58 for k in range(N):
59     Wg = Wg + .....
60 for k in range(N,2*N-1):
61     Wg = Wg + .....
62
63 Wc = 0.5*C*E**2 # énergie reçue par le condensateur
64 eta = Wc/Wg # rendement
65 print("rendement =",eta)

```

Partie C : Basculement de l'interrupteur K

Dans cette sous-partie, on se propose d'étudier la possibilité d'utiliser un comparateur simple permettant d'actionner le basculement de l'interrupteur K de la position (1) vers la position (2).

La **figure ci-contre** donne le schéma d'un comparateur simple.



55. Dans quel régime fonctionne l'ALI ? Justifier la réponse.

56. On désire actionner le basculement de l'interrupteur, lorsqu'à l'issue de la première phase de charge, la tension $u_C(t)$ atteint 99 % de sa valeur finale.
A quelles tensions les entrées V_{ref} et V_e doivent-elles correspondre ?

57. Etablir la relation entrée-sortie du comparateur et tracer la caractéristique $V_s = f(V_e)$.

58. Expliquer le fonctionnement du comparateur en reliant les valeurs de V_s aux positions de l'interrupteur K.

FIN DU SUJET

NOM :

LYCEE :

ANNEXES

Figure 1 - Question 16

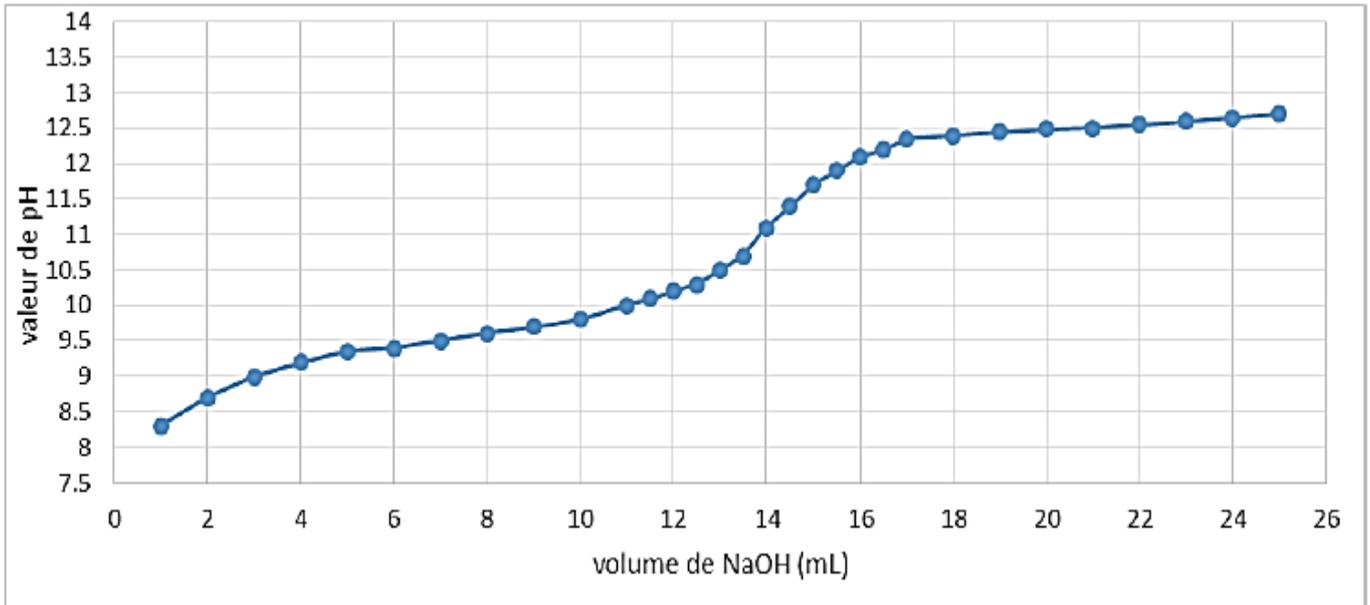


Tableau 1 - Question 28

Etats	Position	Pression	Température	h (kJ. kg ⁻¹)
A	Entrée compresseur	1,0 bar	25 °C	
B	Entrée économiseur	40 bar		
C	Entrée ballon			
D	Entrée surchauffeur			
E	Entrée turbine		375 °C	
F	Entrée condenseur	1,0 bar		

