CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION 2010

COMPOSITION DE SCIENCES PHYSIQUES

Classe de Terminale S

Durée : 5 heures

Calculatrice autorisée

DISPONIBILITÉ ET EXPLOITATION DE L'ÉNERGIE

Tournez la page S.V.P.

Disponibilité et exploitation de l'énergie

La production, la distribution et la gestion de l'énergie constituent un enjeu majeur des sociétés, auquel le scientifique ne peut rester indifférent. Dans les débats parfois très vifs, mêlant des aspects techniques, politiques et économiques, on attend du physicien – chimiste un exposé objectif de faits et de résultats, reposant sur des lois de la nature pouvant être vérifiées par tous. Sans aucun parti pris, le problème qui suit vise à parcourir un certain nombre de points relevant de cette problématique ; toutes les informations et données émanent de travaux et publications universitaires.

Il est attendu du candidat qu'il mobilise les connaissances acquises au cours de ses années de collège et lycée, en vue d'apporter une réponse raisonnée aux questions posées. La précision et la concision de la rédaction seront prises en compte tout autant que la rigueur et l'exactitude des calculs, ainsi que la présentation de la copie. Il n'est peut-être pas inutile de rappeler qu'un scientifique ne peut négliger les applications numériques !

I. Préambule - Quelques ordres de grandeur

Plusieurs unités sont habituellement utilisées pour exprimer puissance et énergie. Tous les résultats demandés dans ce problème sont à donner en **unité internationale** : joule pour l'énergie et watt pour la puissance. Toutefois, le scientifique est amené à lire et utiliser des documents rédigés avec d'autres unités : la consommation électrique d'un foyer est par exemple comptée en kilowatt heure (kWh), correspondant à l'énergie consommée pendant une heure si la puissance mise en jeu est égale à 1000 watts.

Consommation domestique

Les évaluations effectuées ci-dessous visent à donner quelques ordres de grandeur, en vue d'estimer les consommations de divers appareils de la vie courante. Aucune ne requiert d'étude élaborée, toutes les simplifications justifiées sont possibles et il peut être utile d'exploiter quelques valeurs données en annexe. **Tous les résultats sont à donner en joules ou en watts.**

I.1. Exprimer la valeur d'un kilowatt heure.

I.2. Quelle énergie électrique consomme en une journée un radiateur électrique dont la puissance est $2000\,\mathrm{W}$, s'il fonctionne pendant 30% du temps ?

I.3. Quelle énergie faut-il fournir pour porter 5 litres d'eau de 5°C à 60°C ?

I.4. Un corps de masse $M = 5\,\mathrm{kg}$ tourne à la vitesse de 600 tours par minute, sur une trajectoire circulaire de rayon égal à $r = 0{,}4\,\mathrm{m}$, quelle est son énergie cinétique ?

I.5. Quel est l'ordre de grandeur de la puissance électrique d'une lampe de bureau (un ordre de grandeur est attendu, on pourra préciser le type d'éclairage). En déduire la consommation quotidienne à raison de 3 heures d'éclairage par jour.

I.6. Dans un lave-linge, quelle est la fonction qui consomme le plus, le lavage à 60°C ou l'essorage ?

I.7.a. Estimer l'ordre de grandeur de la puissance électrique que doit absorber une bouilloire pour porter 1 litre d'eau froide à ébullition en 2 minutes 30.

I.7.b. La prise électrique alimentée à travers un fusible de 16 ampères convient-elle ?

I.8. Classer, par ordre décroissant de puissance maximale consommée, les appareils suivants : lave linge, lampe de bureau, bouilloire.

II. Production d'énergie par combustion

Le terme production est impropre, puisqu'il ne peut, s'agissant d'énergie, qu'être question de conversion. Examinons dans un premier temps les traits caractéristiques de l'exploitation de combustibles fossiles.

Figure 1 : plateforme pétrolière

Energie fossile

Au niveau mondial, la majeure partie de l'énergie exploitée actuellement provient d'hydrocarbures, comme le gaz naturel et le pétrole.

II.1. De quels éléments chimiques est composé un hydrocarbure ?

II.2. Dans cette famille, quelle propriété caractérise les liaisons chimiques d'un alcane ?

II.3. Donner la formule brute d'un alcane linéaire dont le squelette comporte n atomes de carbone (n est un entier naturel non nul).

II.4.a. Exprimer la masse molaire de cet alcane en fonction du nombre d'atomes de carbone, puis le pourcentage massique de carbone : pc.

II.4.b. Le pourcentage massique pc dépend-il de n ? Dans l'affirmative, déterminer l'alcane linéaire de pourcentage massique égal à $81{,}8\%$.

II.5. La formule brute d'un alcane linéaire est-elle encore valable pour un alcane à squelette ramifié, comportant un même nombre d'atomes de carbone ? Si non, quelle est-elle ?

II.6. Même question pour un alcane à structure cyclique.

II.7.a. Donner la formule semi-développée et nommer l'alcane linéaire à 4 carbones.

II.7.b. D'autres alcanes ont-ils la même formule brute ? Si oui, donner leur formule semi-développée et les nommer.

II.8. Existe-t-il des alcanes dont la formule brute est C_4H_8 ? Si oui, donner leur formule semi-développée.

Méthode de séparation

On extrait du pétrole brut un mélange d'hydrocarbures dont il faut séparer les constituants. On exploite pour ce faire la différence de température de changement d'état liquide - vapeur (notée T_{eb}) des différents constituants (dans toute la suite de cette partie, on raisonne à la pression $P = 10^5$ Pa).

II.9. Quel est l'hydrocarbure dont la température T_{eb} est la plus faible ?

II.10. Dans les conditions normales (conditions ambiantes), sous quel état se présente-t-il ?

II.11. Comment s'appelle la technique de séparation, utilisant une colonne, dans laquelle le mélange dont on veut extraire les constituants est chauffé ?

Tournez la page S.V.P.

II.12. Les composés récoltés en haut de colonne sont-ils ceux qui ont la température T_{eb} la plus faible ou la plus élevée ?
II.13. Classer par ordre de température T_{eb} croissante les sous-familles suivantes : gaz naturel, bitumes, essences, fioul.
II.14. Parmi les multiples constituants du pétrole qui ne sont pas des hydrocarbures, on compte les chlorures de sodium, de calcium ...
II.14.a. A l'aide éventuellement de la classification périodique donnée en fin d'énoncé, rappeler les formules des ions chlorure, sodium et calcium.
II.14.b. Expliquer que l'injection d'eau permette aisément leur élimination ; écrire les réactions chimiques correspondantes.

Renouvellement

II.15.a. Quelle est l'origine de la formation du pétrole ?
II.15.b. Il existe dans le pétrole des composés optiquement actifs, c'est-à-dire ayant une action sur la lumière polarisée. Comment ce fait est-il corrélé avec l'origine évoquée ci-dessus ?
II.16. L'ordre de grandeur de la durée de formation de pétrole est-il le siècle, la dizaine de millénaires, plusieurs dizaines de millions d'années ?
II.17. Classe-t-on les combustibles fossiles parmi les sources d'énergie renouvelable ?

Valeur énergétique de quelques combustibles

Lorsque l'on cherche à disposer d'énergie thermique, dans une centrale de production d'électricité (centrale thermique) ou dans une chaudière domestique, on met en œuvre une réaction de combustion. A masse identique, les différents combustibles ne fournissent pas la même énergie thermique lors de leur combustion. On souhaite effectuer ici un comparatif.
Le premier combustible envisagé est le méthane, de formule chimique CH_4.
II.18. Ecrire et équilibrer la réaction de combustion d'une mole de méthane dans le dioxygène, les produits étant le dioxyde de carbone et l'eau.
II.19. Représenter le schéma de Lewis de chacune de ces molécules.
II.20. On donne en annexe les énergies de liaison, c'est-à-dire l'énergie qu'il faut fournir pour rompre une liaison covalente. En déduire la valeur, en joule, de la quantité d'énergie dégagée par la combustion d'une mole de méthane, **les produits étant tous gazeux** (y compris l'eau). Dans ce calcul, seules sont supposées intervenir les énergies des liaisons rompues et formées, à l'exclusion de toute énergie thermique (la température des produits et des réactifs est ainsi supposée identique).
II.21. En pratique, la valeur énergétique d'un combustible (noté Comb) est donnée pour la réaction

$$\text{Comb} + x\,O_2 = y\,CO_{2(g)} + z\,H_2O_{(l)},$$

où x, y et z sont des coefficients (éventuellement fractionnaires) permettant d'équilibrer la réaction avec une mole de combustible et où l'eau formée est à **l'état liquide**. On doit donc prendre en compte dans le calcul fait précédemment l'énergie associée au changement d'état de l'eau, de gazeux à liquide. En déduire, en $J.mol^{-1}$, la valeur énergétique du méthane, avec cette nouvelle convention.
II.22. Quelle est, en joule par kilogramme ($J.kg^{-1}$), la valeur énergétique du méthane ?
II.23. Effectuer successivement, avec la même méthode, le calcul de la valeur énergétique en $J.kg^{-1}$, du dihydrogène et du propane (C_3H_8).
II.24. Porter les résultats dans un tableau, en y adjoignant la valeur du charbon, dont la valeur énergétique est 8 $kWh.kg^{-1}$ (à convertir).
II.25. Que peut-on dire des valeurs obtenues pour les alcanes envisagés ?
II.26. Commenter le résultat obtenu pour le dihydrogène.
II.27. Une unité courante dans le domaine industriel est la *tonne équivalent pétrole*, qui correspond à la valeur énergétique typique d'une tonne de pétrole égale à 11600 kWh. Comparer aux autres valeurs trouvées.

Analyse d'un échantillon

On procède à la combustion de $1{,}45\,g$ d'un hydrocarbure de formule brute C_xH_y, en présence d'un excès de dioxygène. La vapeur d'eau et le gaz recueillis passent successivement dans un desséchant D, qui absorbe toute la vapeur d'eau et dans une solution S d'hydroxyde de sodium dans laquelle le gaz est absorbé. L'augmentation de la masse du desséchant D est égale à $2{,}25\,g$, tandis que celle de la solution S est $4{,}40\,g$.

II.28. Ecrire la réaction chimique traduisant l'absorption du gaz dans la solution S (cf. données en annexe).

II.29. Quelle propriété du gaz est-elle mise à profit ici (acide, basique, oxydante, réductrice) ?

II.30. L'hydrocarbure est un alcane non cyclique, déterminer sa formule brute.

III. Energie nucléaire

La majeure partie de l'électricité consommée aujourd'hui en France est d'origine nucléaire, produite dans des centrales mettant en œuvre la fission de l'uranium. Une autre voie est envisagée et étudiée actuellement, la fusion nucléaire ; un réacteur expérimental, fruit de la coopération au niveau mondial de grands pays industrialisés, est en construction à Cadarache.

L'objectif, dans cette partie, est de mettre en perspective ces deux principes, à l'aide d'un modèle élémentaire du noyau atomique et de dégager quelques ordres de grandeur.

Composition d'un noyau atomique

III.1.a Quelles sont les particules élémentaires constitutives du noyau atomique ?

III.1.b Que désignent les nombres Z et A, comment les nomme-t-on ?

III.2. Donner la composition, c'est-à-dire le nombre de particules de chaque espèce, des noyaux de ${}^{235}_{92}U$, ${}^{1}_{1}H$, ${}^{4}_{2}He$.

III.3.a. Pourquoi ${}^{235}U$ et ${}^{238}U$ sont-ils désignés par la même lettre symbole ? Comment nomme-t-on une telle propriété ?

III.3.b. Citer un autre couple de noyaux ayant cette propriété, utilisé en datation de restes d'organismes vivants.

III.4. Comment appelle-t-on la différence Δm entre la somme des masses des particules constituant un noyau atomique et la masse du noyau ?

III.5. On définit $B = \Delta m\, c^2$ où c est la célérité de la lumière dans le vide ; B est une fonction de A et Z, appelée **énergie de liaison** du noyau. Exprimer $B(A,Z)$ en fonction de c, Z, A, de la masse du noyau M et des masses de particules élémentaires.

III.6. Quel est le signe de B ? Justifier.

Interactions dans un noyau

Le noyau est le siège de deux interactions fondamentales : l'interaction forte qui s'exerce entre les nucléons, l'interaction électromagnétique qui s'exerce entre les particules chargées.

III.7. Quelles sont les deux autres interactions fondamentales présentes dans la nature ?

III.8. Quels sont, parmi les nucléons, ceux qui subissent l'interaction électromagnétique ?

III.9. Au sein du noyau, l'interaction électromagnétique est-elle attractive ou répulsive ?

Les physiciens du XXème siècle ont établi une expression de la loi $B(A,Z)$ qui donne de bons résultats sur la plupart des noyaux naturels et artificiels, en assimilant le noyau à une goutte liquide ; on parle de *modèle de la goutte*.

Tournez la page S.V.P.

Figure 2 : représentation d'un noyau

On raisonne ici dans le cas d'un noyau à géométrie sphérique, contenant un grand nombre de nucléons ; son volume peut donc être considéré comme proportionnel à A. Aucune connaissance préalable de ce modèle n'est requise, on fera preuve ici d'initiative.

La loi $B(A,Z)$ suivante est proposée, où a_1, a_2, a_3 et a_4 sont des coefficients positifs :

$$B(A,Z) = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 \frac{Z^2}{A^{1/3}} - a_4 \frac{(A-2Z)^2}{A},$$

nous désirons ici l'interpréter.

L'interaction forte étant indifféremment attractive pour l'un ou l'autre type de nucléons, on peut considérer que ceux-ci contribuent par leur nombre à stabiliser le noyau, d'où le premier terme proportionnel à A : $a_1 A$. Mais il faut tenir compte de l'effet de surface : les nucléons situés en périphérie du noyau n'ont pas autant de voisins que ceux qui se trouvent au cœur.

III.10.a. Proposez une justification simple au signe du second terme.

III.10.b. En invoquant une propriété géométrique de la sphère, justifier sommairement l'exposant $2/3$.

Les deux derniers termes correspondent à d'autres effets que l'interaction forte :

- l'un est lié à l'existence de l'interaction électromagnétique,
- l'autre est dû à une dissymétrie des rôles joués par les deux familles de nucléons.

III.11.a. Identifier le terme d'origine électromagnétique et préciser le choix.

III.11.b. Interpréter l'exposant du dénominateur de ce terme.

III.12. Justifier son signe.

Energie de liaison par nucléon

On appelle **énergie de liaison par nucléon** la quantité $\varepsilon_\ell = \frac{B(A,Z)}{A}$, où B suit la loi écrite précédemment, avec les valeurs numériques approximatives :

$$a_1 = 15{,}6 \text{ MeV},\ a_2 = 17{,}2 \text{ MeV},\ a_3 = 0{,}70 \text{ MeV et } a_4 = 23{,}6 \text{ MeV}.$$

III.13.a. Pour $A = 56$, tracer le graphe de $B(A,Z)$ lorsque Z varie de 20 à 30 : on pourra effectuer un tracé sur la calculatrice et en donner l'allure sur la copie, en reportant quelques valeurs particulières.

III.13.b. Commenter le graphe en indiquant où se trouvent les noyaux les plus stables (en une ou deux phrases).

III.14. Pour une valeur de A fixée, plusieurs valeurs différentes de Z sont possibles. En étudiant la variation de $B(A,Z)$ avec Z, déterminer une expression Z_m de Z donnant le noyau le plus stable. On ne se préoccupera pas ici du caractère nécessairement entier de Z.

III.15. Dans la composition d'un tel noyau, quelle famille de nucléons domine ?

III.16. Faire l'application numérique de Z_m pour $A = 56$.

III.17. Quel résultat pour Z_m aurait donné le cas où $a_3 = 0$?

III.18. Dans cette question, on s'intéresse à des noyaux possédant le même nombre de chacun des nucléons.

III.18.a. Comment varierait $\varepsilon_\ell = f(A)$ si seul le terme de coefficient a_1 était présent ?

III.18.b. Esquissez l'allure du graphe $\varepsilon_\ell = f(A)$ en tenant compte maintenant de tous les termes,

pour A inférieur à 250 : on pourra effectuer un tracé sur la calculatrice et donner l'allure du graphe sur la copie, en reportant quelques valeurs particulières.
III.19. Commenter le graphe précédent : rejoint-il un résultat connu ?
Dans la suite, on admettra que l'allure obtenue ci-dessus est encore valable, si l'on modifie un peu la relation entre Z et A tout en conservant Z proche de Z_m.

Fission nucléaire

De multiples réactions de fission peuvent être évoquées dans le cas de l'uranium. Nous nous contenterons ici de l'exemple ${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{94}_{38}Sr + {}^{x}_{y}Xe + 2\ {}^{1}_{0}n$.
III.20. Déterminer x et y dans l'équation précédente en justifiant le calcul.
III.21. Partant d'un noyau fissile lourd, on forme des noyaux plus légers, peut-on interpréter ce résultat à l'aide de la courbe $\varepsilon_\ell = f(A)$ obtenue précédemment ?
III.22. Une seule particule ${}^{1}_{0}n$ figure dans les réactifs, tandis qu'on en compte deux dans les produits. Une fois la réaction amorcée, quel type de déroulement devient possible pour la réaction ?
III.23. Sur la base de ce qui précède, en quoi diffèrent les conditions de mise en œuvre de ces réactions dans les domaines civil et militaire (en une ou deux phrases) ?
III.24. Calculer l'énergie de liaison par nucléon $\varepsilon_\ell = \dfrac{B(A,Z)}{A}$ de chacun des noyaux intervenant dans la réaction de fission ci-dessus.
III.25. En déduire l'énergie libérée par cette réaction, qui est égale à la différence entre les énergies de liaison finales et initiales (résultat à donner en MeV).
III.26. La valeur usuellement retenue est 185 MeV ; commenter la pertinence du modèle de la goutte.

Fusion nucléaire

III.27. En quoi consiste une réaction de fusion nucléaire ?
III.28. On propose l'équation ${}^{3}_{1}X + {}^{2}_{1}Y \rightarrow {}^{a}_{b}Z + {}^{1}_{0}n$. La réécrire en précisant les symboles X, Y, Z, a et b.
III.29. Au regard des questions précédentes, comment interpréter le fait que cette réaction libère de l'énergie ? On admettra que l'allure de $\varepsilon_\ell = f(A)$ reste valable ; mais aucun calcul numérique n'est demandé, car la formule ci-dessus est trop approximative pour des faibles nombres de nucléons (entre autres, l'hypothèse de sphéricité du noyau est peu pertinente ici).
III.30.a. Où, dans l'Univers, ce type de réaction a-t-il lieu ?
III.30.b. Et dans le système solaire ?
III.30.c. Y a-t-il un lien historique avec le nom donné au noyau produit ?
III.31. Sous quelle(s) forme(s) l'énergie est-elle alors dégagée ?

Aspects environnementaux

III.32. Quelles précautions nécessitent la récupération et le stockage des déchets produits dans un réacteur nucléaire (on limitera la réponse à une ou deux phrases) ?
III.33. Comment nomme-t-on le temps caractéristique utilisé pour estimer la durée de nocivité d'une des substances produites ?
III.34. Dans le cas de la fission et dans le cas de la fusion, les problèmes de disponibilité des matières premières (abondance, épuisement) sont-ils identiques ?

IV. Autres ressources énergétiques disponibles sur Terre

Un des grands enjeux actuels réside dans la recherche de solutions alternatives, permettant d'offrir

Tournez la page S.V.P.

d'autres modes de production d'énergie. La suite du problème vise à examiner les principes et quelques propriétés caractéristiques de certaines solutions.

IV.A. Rayonnement solaire

Une part importante de l'énergie disponible sur Terre provient du rayonnement du Soleil. Celui-ci émet en effet des ondes électromagnétiques, dont de la lumière visible, de manière isotrope, c'est-à-dire identique dans toutes les directions.
Dans toute cette partie, **la température est exprimée en kelvins**.

Puissance surfacique de rayonnement solaire

Le Soleil suit de manière satisfaisante un modèle très simple, qui suppose que chaque élément de sa surface émette une puissance surfacique $\varphi = \sigma T_S^4$, où $\sigma = 5{,}67.10^{-8}\,W.m^{-2}.K^{-4}$ est appelée constante de Stefan. T_S est la température de la surface du Soleil.

IV.A1. A l'aide des données fournies en annexe, calculer la puissance P_e émise par le Soleil.

IV.A2. Le modèle évoqué ici implique une autre loi, qui veut que le domaine spectral du rayonnement émis soit lié à la température de surface. Le **spectre continu** d'émission présente en effet un **maximum** à une longueur d'onde notée λ_m, qui est liée à la température T du corps par la loi de Wien. Celle-ci stipule que le produit $\lambda_m T$ est une **constante universelle**, de valeur numérique 3.10^{-3} en unités internationales.

IV.A2.a. Préciser cette unité.

IV.A2.b. Calculer λ_m pour le soleil.

IV.A3. Dans quel domaine spectral se situe le rayonnement émis par le Soleil ? Commenter.

IV.A4.a. Justifier que, bien que l'on néglige toute absorption de l'onde à l'extérieur du Soleil, la puissance surfacique φ reçue à une distance d du centre du Soleil dépende de d.

IV.A4.b. Proposer une loi donnant $\varphi(d)$ en fonction de T_S, R_S, d et de la constante σ.

IV.A5. D désignant la distance entre Terre et Soleil, calculer $\varphi(D)$.

Rôle de l'atmosphère

IV.A6. Si l'on considère D très supérieure au rayon de la Terre R_T, on peut considérer que la Terre intercepte le rayonnement solaire par un disque de rayon R_T. Sachant que 34% du rayonnement ainsi reçu est réfléchi par l'atmosphère, quelle est la puissance totale reçue du Soleil sous forme de rayonnement ?

IV.A7. L'énergie mise en jeu par les activités humaines est estimée à $1{,}4.10^{14}$ kWh pour une année. Quel est l'ordre de grandeur du rapport entre l'énergie annuelle reçue du soleil et cette énergie associée aux activités humaines ?

IV.A8. La majeure partie du rayonnement visible provenant du Soleil et non réfléchi par l'atmosphère traverse celle-ci et parvient à la surface de la Terre. Par ailleurs, la surface terrestre émet elle aussi un rayonnement thermique qui suit la loi de Wien énoncée ci-dessus. En prenant une valeur raisonnable pour la température moyenne de la surface de la Terre, estimer dans quel domaine spectral se situe la longueur d'onde du maximum d'émission du rayonnement terrestre.

IV.A9. L'atmosphère n'est pas transparente dans ce domaine, elle réalise ainsi une sorte de piège à rayonnement en laissant entrer le rayonnement solaire et en piégeant le rayonnement terrestre. Comment appelle-t-on cet effet ?

IV.A10. Cet effet a-t-il pour conséquence une augmentation ou une diminution de la température terrestre ?

IV.A11. Certaines activités humaines utilisent le même effet, en exploitant la propriété du verre d'être transparent dans le visible et absorbant dans le domaine de rayonnement des corps à température ambiante. Citer un exemple.

IV.B. Cellules photovoltaïques

L'énergie solaire peut être utilisée directement sous forme d'énergie thermique pour chauffer de l'eau ou des locaux ; mais il peut être souhaitable de convertir cette puissance reçue par rayonnement en une puissance électrique. Alimenter un moteur électrique, un ordinateur ou un dispositif d'éclairage, recharger un accumulateur, constituent en effet des exemples d'applications nécessitant une conversion en un signal électrique. On étudie ici les aspects électriques caractéristiques d'une cellule photovoltaïque.

Figure 3 : Panneau de cellules photovoltaïques

Caractéristique d'une cellule unique

IV.B1. La figure 4 représente une caractéristique schématisée tension – intensité pour une cellule photovoltaïque élémentaire, éclairée avec un rayonnement d'*éclairement* (puissance par unité de surface) E fixé. Les conventions d'**orientation** des tension et intensité sont indiquées sur cette figure, on sera attentif à leur **sens**.

On branche un voltmètre continu aux bornes de la cellule considérée, recevant un éclairement E. On appelle *tension à vide*, ou *tension de circuit ouvert*, la valeur V_{co} mesurée. En reproduisant la caractéristique sur la copie, faire figurer la valeur V_{co}.

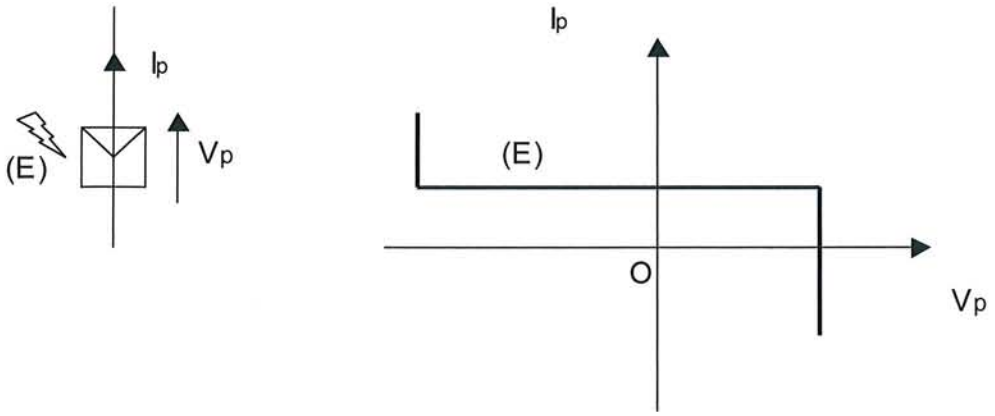

Figure 4

IV.B2. Ayant débranché le voltmètre, on mesure *l'intensité de court-circuit* I_{cc} à l'aide d'un ampèremètre continu branché aux bornes de la cellule, celle-ci recevant toujours l'éclairement E. Faire figurer I_{cc} sur la caractéristique précédente.

IV.B3. Mettre en évidence (colorier ou surligner ...) la portion de la caractéristique correspondant à un fonctionnement de la cellule en **générateur électrique**, c'est-à-dire où la puissance électrique fournie par le dipôle est positive.

Tournez la page S.V.P.

IV.B4. Quel est le point de la caractéristique où cette puissance fournie est maximale ? On l'indiquera par la lettre M.

Lorsque l'éclairement E varie, la caractéristique évolue et on indique schématiquement sur la figure 5 un **réseau simplifié** de caractéristiques, paramétré par différentes valeurs de E (E"> E'> E > 0).

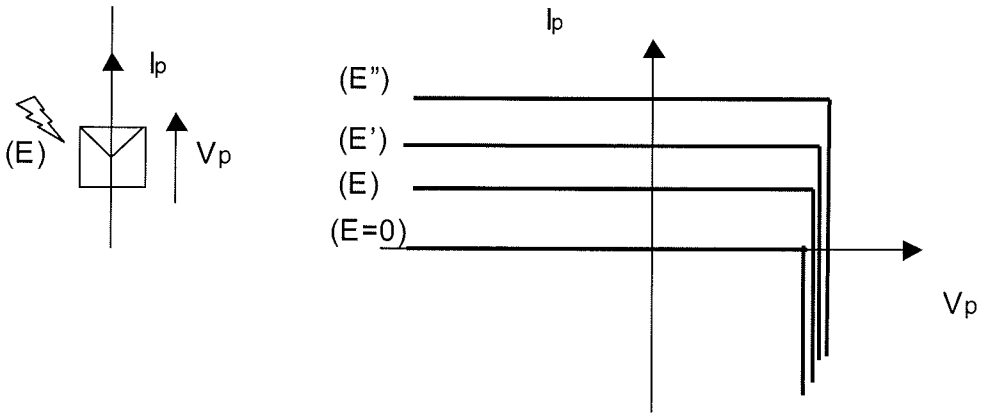

Figure 5

On peut proposer une expression de l'intensité $I_p = g.E - I_s\left[\exp\left(\frac{V_p}{V_T}\right) - 1\right]$, où exp(x) est la fonction *exponentielle*, réciproque de la fonction *logarithme népérien*.

- g est un coefficient qui tient compte de l'aire de la cellule et du matériau, il rend compte de *l'effet photovoltaïque*, nous le prendrons ici égal à $g = 4{,}0.10^{-4}\ A.W^{-1}.m^2$.
- V_T est un paramètre homogène à une tension qui ne dépend que de la température, il vaut $V_T = 0{,}025\,V$ à $T = 300\,K$. Nous supposerons cette valeur constante dans la suite.
- I_s est une intensité caractéristique, que nous supposerons constante, égale à $I_s = 1{,}0.10^{-10}\ A$.

IV.B5.a. Comment s'exprime l'intensité de court-circuit I_{cc} en fonction de l'éclairement E ? Faire l'application numérique pour $E_1 = 100\,W.m^{-2}$, puis $E_2 = 400\,W.m^{-2}$ et enfin $E_3 = 700\,W.m^{-2}$ (mettre les résultats dans un tableau).

IV.B5.b. Comment s'exprime la tension de circuit ouvert (tension à vide) V_{co} en fonction de E et des paramètres ? Faire l'application numérique pour E_1, E_2 puis E_3 (mettre les résultats dans un tableau).

Dans la suite, on considérera dans les graphiques la tension de circuit ouvert constante, notée $U_0 = 0{,}50\,V$.

IV.B6.a. On branche la cellule sur un dipôle extérieur imposant une tension constante $V_e = 0{,}45\,V$ (caractéristique représentée sur la figure 6). Comment évolue l'intensité qui circule dans le circuit lorsque l'éclairement E varie ? Comment s'appelle une loi de ce type ?

IV.B6.b. Application numérique pour E_1, E_2 puis E_3.

IV.B6.c. Esquisser le graphe donnant l'intensité en fonction de l'éclairement.

IV.B7. La cellule considérée a une surface éclairée $S = 10\,cm^2$.

IV.B7.a. Déterminer, pour les valeurs d'éclairement E_1, E_2 puis E_3, la puissance électrique P_e donnée par la cellule au circuit extérieur.

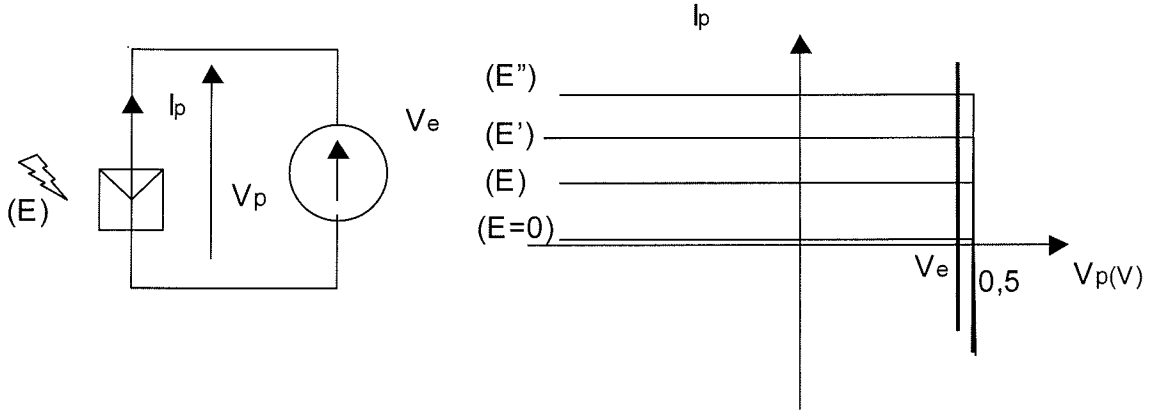

Figure 6

IV.B7.b. Déterminer la puissance P_r reçue par éclairement et définir un rendement. Donner sa valeur numérique pour E_1, E_2 puis E_3 (résultats en tableau).

IV.B7.c. Que devient l'énergie reçue par rayonnement qui n'est pas convertie en énergie électrique ?

Association de cellules

On souhaite examiner l'intérêt et les propriétés des *associations* de cellules photovoltaïques identiques en parallèle ou en série. Chacune a individuellement la caractéristique représentée sur la figure 4 et leur éclairement est supposé identique.

IV.B8.a. On associe en *série* (figure 7a) deux cellules ; représenter la caractéristique de l'association.

IV.B8.b. Préciser les éventuelles nouvelles valeurs de I_{cc} et V_{co}.

IV.B8.c. Que deviennent I_{cc} et V_{co} si l'on met en série n cellules ?

Figure 7

IV.B9. Mêmes questions (9.a, 9.b et 9.c) pour une association en *parallèle* (figure 7b).

IV.B10.a. Partant de la caractéristique d'une cellule (figure 4), représenter la caractéristique d'une association, en parallèle, de p blocs composés chacun d'un nombre n de cellules en série (figure 8).

IV.B10.b. Préciser l'intensité de court-circuit I_{cc} et la tension en circuit ouvert V_{co} de l'association.

IV.B11. On considère ici qu'une cellule individuelle a une tension à vide égale à 0,5 V. Le panneau sur lequel sont fixés les p blocs de n cellules totalise 72 cellules. Il est connecté à un dipôle externe de tension caractéristique V_e légèrement inférieure à 18V, dont on néglige la résistance interne. Proposer des valeurs de p et de n permettant l'association dans de bonnes conditions de fonctionnement.

Tournez la page S.V.P.

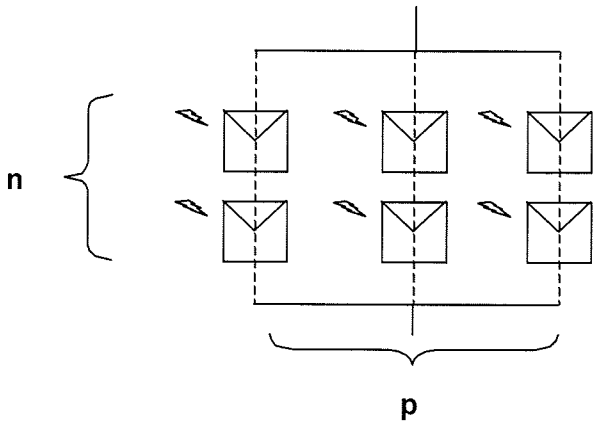

Figure 8

IV.B12.a. Si chaque cellule de l'association précédente reçoit individuellement $P_r = 0{,}70\,W$ solaires convertis avec un rendement de 17 %, quelle est la puissance cédée au dipôle extérieur ?
IV.B12.b. Quelle est l'intensité du courant qui circule entre le panneau et le dipôle ?
IV.B12.c. Quelle est l'allure du graphe donnant la puissance électrique cédée par la cellule au circuit externe, en fonction de l'éclairement incident ?
IV.B13. Si le dipôle extérieur est une batterie d'accumulateurs permettant le stockage de l'énergie convertie, il peut être intéressant de prendre en compte sa résistance interne. Proposer un schéma faisant apparaître la caractéristique modifiée de ce dipôle et indiquer qualitativement comment est affecté le graphe précédent.
IV.B14. En cours d'utilisation de l'association précédente, la surface du panneau n'est pas uniformément propre, ce qui a pour effet de masquer quelques-unes des cellules de l'un des blocs. Ces cellules individuelles ne reçoivent ainsi plus l'éclairement E, mais une valeur E' nettement inférieure à E. Proposer une description de l'état de fonctionnement des cellules mal éclairées et des phénomènes qui s'ensuivent (on attend ici un raisonnement qualitatif).
N.B. : En pratique, les constructeurs sont amenés à modifier sensiblement la structure électrique des associations de cellules individuelles pour pallier d'éventuelles inhomogénéités d'éclairement, de température ou pour prévenir une défaillance de quelques-unes des cellules.

Un article

Dans un quotidien national, un article présente une des plus grandes centrales solaires photovoltaïques du monde, qui se trouve au Portugal (Amareleja). La puissance affichée est 46 mégawatts, pour 2520 modules photovoltaïques de 74 m^2 qui suivent le soleil dans sa rotation apparente. Avec 2800 heures de soleil par an, la production de cette centrale doit faire économiser 86000 tonnes de gaz à effet de serre.
IV.B15.a. Compte tenu des diverses valeurs indiquées et des calculs effectués précédemment, la puissance de $46\,MW$ est-elle plausible ?
IV.B15.b Comment doit-on comprendre l'affirmation concernant une *économie* de gaz à effet de serre ?

V. Energie éolienne

On considère ici la conversion d'énergie mise en œuvre dans un aérogénérateur, également appelé éolienne. Les hypothèses d'étude sont les suivantes : le vent est assimilé à un écoulement d'air à vitesse constante v, en amont de l'éolienne. L'air est assimilé à un gaz parfait de masse molaire M, de composition molaire approximative : 80% de N_2, 20% de O_2.
La **température est supposée constante**, égale à T (exprimée en kelvins).
On souhaite estimer la puissance maximale que l'on peut espérer convertir en puissance électrique,

avec un aérogénérateur dont la longueur des pales est L.

Figure 9 : Parc d'aérogénérateurs

Propriétés de l'air

V.1. Rappeler la relation entre pression P, volume V, nombre de moles n et température T d'un gaz parfait, en notant R la constante $R = 8{,}32\ J.K^{-1}.mol^{-1}$.

V.2. Déterminer la masse d'une mole d'air.

V.3. En déduire une valeur de la masse volumique ρ d'un gaz parfait en fonction de P, T, M et R. Faire l'application numérique dans le cas de l'air dans les conditions $P = 1{,}00.10^5\ Pa$ et $T = 300\ K$.

Puissance disponible

On cherche à exprimer l'énergie cinétique associée au vent, considéré comme un écoulement d'air.

V.4. Dans toute la suite, **on considérera la masse volumique de l'air comme une constante**, égale à $\rho = 1{,}2\ kg.m^{-3}$, ce qui revient à négliger la compressibilité de ce fluide. Cette hypothèse est valable tant que la vitesse de l'écoulement reste très inférieure à la vitesse du son dans le fluide au repos. Dans l'air, cette célérité est donnée par la relation $c = \sqrt{\frac{7RT}{5M}}$; calculer sa valeur numérique, ainsi que celle du nombre de Mach, défini comme $M_a = v/c$, pour un vent de vitesse v =10 m/s à $T = 300\ K$. Conclure.

V.5. Considérons le disque de rayon L balayé par les pales sur un tour (Fig. 10, où la perspective rend le disque ellipsoïdal). Exprimer son aire S. Si l'on fait abstraction de la modification de l'écoulement due à l'éolienne (on suppose celle-ci absente), exprimer la masse m d'air qui traverse S pendant une durée t en fonction de t, S, de la vitesse v et de la masse volumique ρ. En déduire l'expression du **débit massique** $D_m = \frac{m}{t}$ en fonction de v, S et ρ.

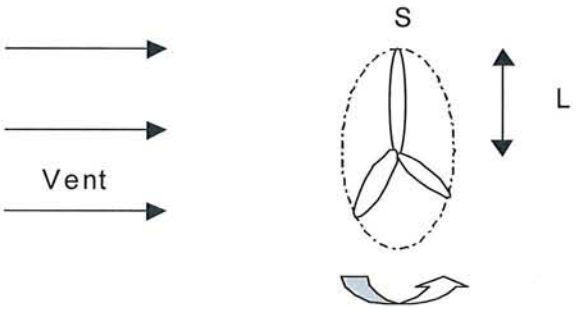

Figure 10

Tournez la page S.V.P.

V.6. Donner l'expression de l'énergie cinétique E_c de la masse m, si l'on considère qu'elle s'écoule à la vitesse v malgré la présence de l'éolienne. En déduire l'expression de la puissance $P_0 = E_c / t$.

V.7. Pour les valeurs L = 39 m et v = 10 m/s, calculer la puissance P_0 dans le cas de l'air dans les conditions données ci-dessus.

En pratique, cette puissance n'est pas récupérable intégralement, puisqu'il y a nécessairement interaction de l'aérogénérateur et du vent. On examine un modèle simple illustrant ce fait (Fig. 11) et prenant en compte la déviation des lignes de courant par l'hélice. Si l'on note v' la vitesse du vent en aval de l'éolienne, on peut considérer que toute l'énergie cinétique E_c calculée ci-dessus n'est pas convertie : l'écoulement de l'air conserve une certaine énergie cinétique E'_c en aval.

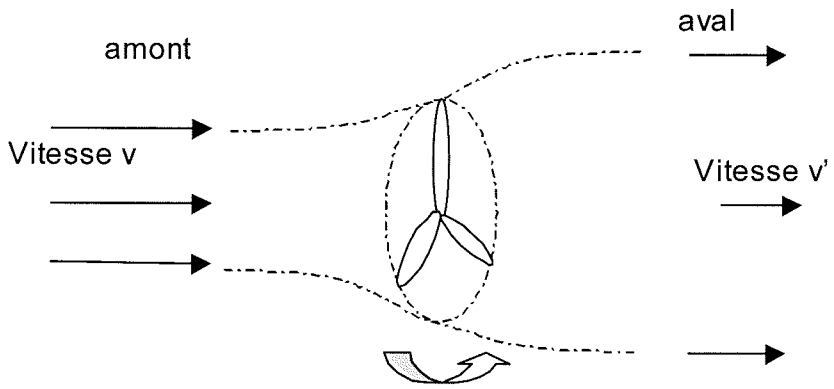

Figure 11

V.8. Pour une durée t, la masse d'air m mise en jeu se conserve entre l'amont et l'aval, exprimer la différence d'énergie cinétique $E'_c - E_c$ en fonction de m, v et v'.

V.9. Le débit d'air $D_m = \frac{m}{t}$ est également affecté par la présence de l'éolienne. La relation déterminée ci-dessus, entre m, t, S et v, doit également être modifiée. On considérera qu'il suffit de remplacer v par $\frac{v+v'}{2}$: vitesse moyenne entre amont et aval (hypothèse de Betz). Etablir alors la relation donnant la puissance P disponible pour la conversion par l'éolienne, en fonction du rapport des vitesses $r = v'/v$ sous la forme :

$$P = \frac{P_0}{2}(1-r^2)(1+r)$$

On se propose d'examiner les conséquences de cette loi.

V.10. Interpréter les limites r = 0 et r = 1. Vous paraissent-elles plausibles ?

V.11. Tracer le graphe de P/P_0 en fonction de r pour r variant de 0 à 1.

V.12. Déterminer la (ou les) valeur(s) de r donnant P/P_0 maximal et la (ou les) valeur(s) correspondante(s) de P/P_0.

V.13. Pour les conditions de vent et les paramètres caractéristiques de l'aérogénérateur donnés ci-dessus, déterminer la puissance maximale que l'on peut espérer convertir en électricité.

V.14. Les articles et études sur le sujet de la production d'énergie éolienne reprennent parfois la formule suivante : $P = L^2\left(\frac{v_1}{10}\right)^3$ où la vitesse v_1 du vent est exprimée en mètres par seconde, la

longueur L en mètres et la puissance en kilowatts. L'étude précédente permet-elle de rendre compte de ce résultat ?
V.15. Un ordre de grandeur de durée annuelle d'utilisation est 2300 heures par an, que devient alors la puissance moyenne annuelle ?

Recherche de sites propices

V.16. Une étude lancée sur le territoire français pour identifier les sites propices à une installation de *fermes de vent* a mis en évidence une nette prédominance des zones côtières et de la vallée du Rhône. Justifier brièvement ce constat.
V.17. Quelles raisons peuvent expliquer, sur la plupart des sites, la différence de vitesse de vent entre le jour et la nuit ?
V.18. De nombreuses associations s'opposent à l'installation de parcs éoliens en invoquant des nuisances visibles et sonores. Les hélices des éoliennes sont en effet placées sur des mats de grande hauteur, couramment de plusieurs dizaines de mètres. Justifier ce choix alors qu'il ne fait qu'accentuer la visibilité des éoliennes à grande distance ?
V.19. Expliquer brièvement qu'une éolienne puisse être à l'origine d'un son perçu alentour.
V.20. Par rapport au sens du vent, quelle zone est a priori la plus concernée (en amont, en aval, latérale) ? Un raisonnement qualitatif est attendu, en une ou deux phrases.

VI. Energie hydroélectrique

La présence de nombreux cours d'eau à fort débit permet à certains pays, comme le Canada, d'assurer une importante proportion de sa production d'énergie électrique à base d'hydroélectricité. La France a également de nombreux sites de production de cette nature dans les zones montagneuses notamment. Les questions qui suivent visent à examiner comment, par une relation simple, il est possible de donner une estimation de la puissance maximale disponible à partir de quelques grandeurs physiques comme le débit volumique D_v (exprimé en mètres cube par seconde, $m^3.s^{-1}$) et la hauteur de chute H.

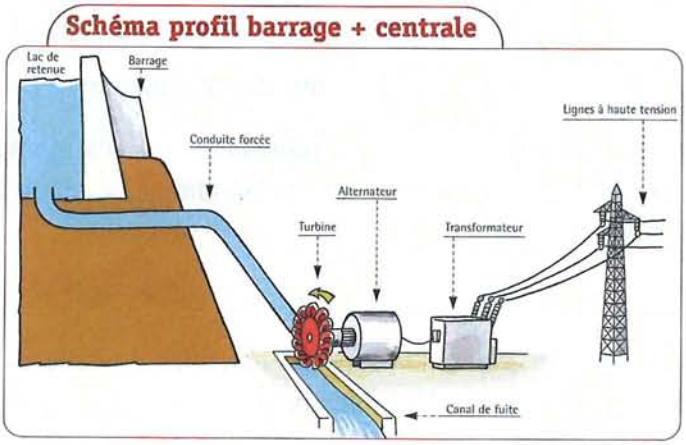

Figure 12

Les applications numériques seront faites avec les valeurs correspondant à la centrale de La Jonche en Isère, pour laquelle le débit maximum est $D_v = 1{,}2\,m^3.s^{-1}$ et la hauteur $H = 237\,m$.
Le site envisagé est modélisé simplement comme indiqué sur la figure 12.

Etude de la chute d'eau

VI.1. En considérant une masse m d'eau qui coule le long d'un plan incliné (Fig. 13) comme le ferait un mobile soumis à son poids et à une force de réaction du plan perpendiculaire à celui-ci, exprimer

Tournez la page S.V.P.

l'accélération $a = \frac{d^2x}{dt^2}$ en fonction de l'accélération de la pesanteur g et de l'angle α d'inclinaison du plan avec l'horizontale. On établira l'expression demandée.

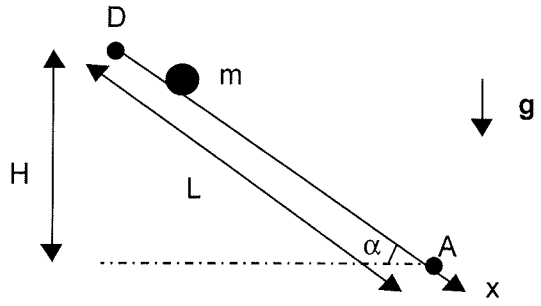

Figure 13

VI.2. A quelle hypothèse correspond le fait de considérer la réaction du plan perpendiculaire à celui-ci ?
VI.3. Pour une vitesse initiale nulle, déterminer, à partir du résultat de la question 1 ou d'un théorème à énoncer, la vitesse V_A atteinte par la masse d'eau lorsqu'elle a parcouru une longueur L sur le plan.
VI.4. En déduire l'expression de l'énergie cinétique correspondante en fonction de m, g et de la hauteur H
VI.5. Retrouver ce résultat en invoquant la conservation d'une grandeur énergétique.
VI.6. En quoi ce résultat donne-t-il la valeur maximale de la vitesse V_A obtenue ?
VI.7. On peut s'interroger sur l'intervention des autres éléments du fluide en écoulement. Pour ce faire, on se propose d'utiliser, sans la justifier, l'équation de Bernoulli qui stipule que dans un écoulement, sous certaines hypothèses que l'on supposera remplies ici, la grandeur $P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho g z$ a même valeur en tous les points de l'écoulement. Dans cette expression, P désigne la pression, ρ la masse volumique de l'eau (constante) , V est la vitesse de l'écoulement et z est l'altitude du point. Sur la figure 12 à reproduire très schématiquement, choisir deux points et montrer que l'on peut retrouver la vitesse finale V_A exprimée ci-dessus.

Puissance récupérable par la turbine

Lorsque l'eau arrive avec la vitesse V_A sur la turbine, les pales de celle-ci exercent une force qui ralentit la vitesse d'écoulement. On se place ici dans le cas idéal où la vitesse finale de l'écoulement est nulle.
VI.8. En raisonnant sur une masse m d'eau qui passe de la vitesse V_A à 0, donner le travail de la force exercée par la turbine (on précisera la loi physique employée et la signification des termes).
VI.9. Déduire de ce résultat la relation qui existe entre la puissance maximale que l'on peut convertir en électricité dans la centrale hydroélectrique, le débit volumique D_v et la hauteur de chute H (d'autres grandeurs de valeurs constantes sont nécessaires).
VI.10. Calculer alors la puissance maximale P_{max} que l'on peut espérer produire dans la centrale de la Jonche.
VI.11. En pratique, la puissance P réellement produite est plus faible ; comment peut-on définir un coefficient sans dimension, de valeur comprise entre 0 et 1, rendant compte de la part de puissance disponible récupérée ?

VI.12. Citer quelques phénomènes qui expliquent l'écart entre ce qui est disponible et ce qui est réellement obtenu.

VII. Géothermie

Lorsqu'il est possible d'accéder dans le sous-sol à des nappes d'eau chaude, on peut envisager de récupérer de l'énergie par un ensemble de procédés qui fondent la *géothermie*. Il est ainsi possible d'utiliser directement, sous forme thermique, une partie de l'énergie récupérée, pour chauffer des habitations ou des locaux industriels ou commerciaux, mais il est également possible d'envisager une production d'énergie électrique. L'Islande est un pays qui a beaucoup développé cette voie ; mais on la rencontre de plus en plus, en France notamment.
Sur un exemple industriel, on envisage ici de montrer que des limites existent et qu'un compromis doit être trouvé entre le rendement de l'installation et sa complexité.

Etude d'une centrale géothermique

Un forage fournit un débit $D = 250\,\text{kg.s}^{-1}$ d'eau chaude à température $\theta_1 = 165°\text{C}$ sous la pression $P_1 = 7{,}0.10^5\,\text{Pa}$. Dans cet état, noté $\langle 1 \rangle$ dans la suite, le fluide extrait est composé d'un mélange d'eau liquide et de vapeur d'eau, dont la composition en masse est définie par le taux de vapeur $x_1 = 0{,}25$, correspondant à 25% de vapeur et 75% de liquide. Le concepteur de l'installation doit alors imaginer un système permettant de tirer le meilleur parti de cette source d'énergie, en vue d'optimiser la puissance électrique récupérée.

Une première contrainte découle de ce qu'il n'est pas équivalent de transformer de l'énergie électrique en énergie thermique et de faire l'inverse. Ainsi, s'il est possible de chauffer de l'eau dans une bouilloire en consommant de l'électricité, il ne suffit pas de verser de l'eau chaude dans la bouilloire pour espérer récupérer de l'énergie électrique en attendant que l'eau refroidisse. On dit que la **transformation n'est pas réversible**.

VII.1. Par quel procédé simple peut-on transformer de l'énergie électrique en énergie thermique (chaleur) ?

Propriétés du mélange eau liquide - vapeur d'eau

VII.2. Si l'on utilise une quantité d'énergie égale à $E = 10^4\,\text{J}$, quelle masse d'eau liquide initialement à $10°\text{C}$ peut-on porter à $100°\text{C}$ (l'eau restant liquide) ?

VII.3. Quelle quantité d'énergie supplémentaire E' faut-il dépenser pour vaporiser cette masse d'eau (la vapeur obtenue étant à $100°\text{C}$). La pression est ici égale à $10^5\,\text{Pa}$.

VII.4. En comparant E et E' des questions précédentes, justifier pourquoi la plupart des machines thermiques mettent en jeu des changements d'état.

VII.5. Une formule approchée donne la pression du changement d'état liquide - vapeur (L=V) de l'eau à la température θ (en °C) : $P_{L=V} = \left(\frac{\theta}{100}\right)^4$. $P_{L=V}$ est donnée ici en atmosphères, que l'on assimilera au bar, c'est-à-dire $10^5\,\text{Pa}$.

VII.5.a. Pour quelle température cette expression a-t-elle manifestement été ajustée ?

VII.5.b. Justifier l'intérêt de fermer un autocuiseur (cocotte - minute) avec un couvercle étanche muni d'une soupape.

VII.5.c. Justifier pourquoi, en haute montagne, il est difficile de faire cuire des pâtes.

VII.6. Quelle valeur de pression de changement d'état aurait donnée la formule approchée pour la

Tournez la page S.V.P.

température θ_1 ?

Récupération de puissance par détente

VII.7. Pour amener 1 kg d'eau liquide initialement à $\theta_0 = 45{,}8°C$ vers l'état $\langle 1 \rangle$ défini ci-dessus, il faut fournir une quantité d'énergie égale à $q = 1{,}02.10^6 J.kg^{-1}$. Si la transformation inverse était possible dans une turbine, c'est-à-dire s'il ne se posait pas de problème de réversibilité, quelle serait la puissance récupérée pour le débit D donné ci-dessus ?

En pratique, il faut renoncer à cette solution. On extrait alors (Fig. 14) la vapeur du mélange issu du forage. L'organe appelé séparateur (séparateur 1) effectue cette séparation sans nécessiter d'énergie et à pression constante. On détend la vapeur obtenue dans une turbine (turbine 1) où l'énergie récupérée par kilogramme de vapeur détendue est $w_1 = 639 kJ.kg^{-1}$.

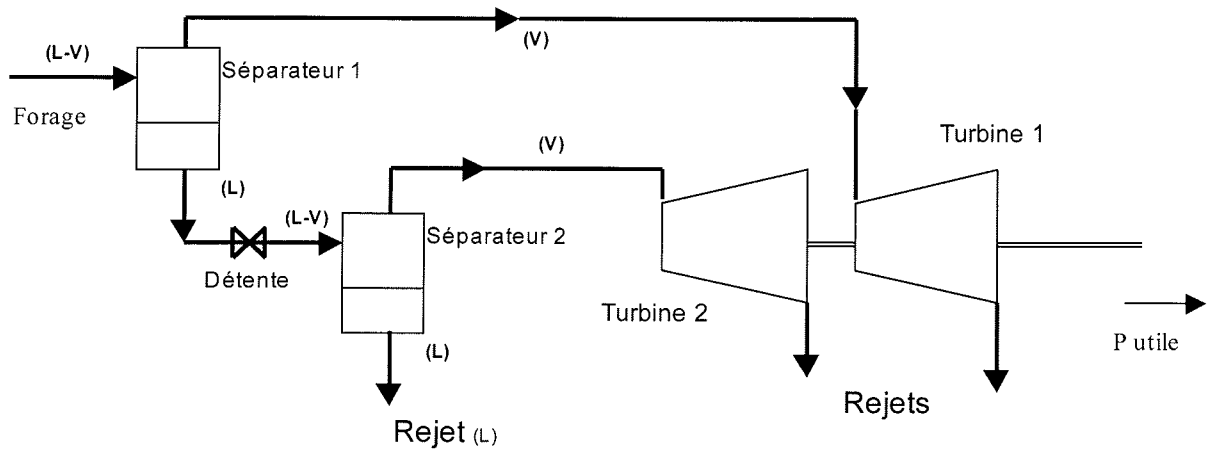

Figure 14 : Centrale géothermique

VII.8.a. A partir de la composition de $\langle 1 \rangle$, calculer le débit massique de vapeur détendue.

VII.8.b. En déduire la puissance utile P_1 récupérée dans la turbine 1. Commenter.

La solution précédente est perfectible, car il est intéressant de tirer également profit de la fraction d'eau liquide chaude qui reste après la première séparation de la vapeur. Une détente de ce fluide permet d'obtenir, avec un même débit massique, un mélange liquide - vapeur dans l'état $\langle 2 \rangle$: $P_2 = 1{,}0.10^5 Pa$, $\theta_2 = 100°C$ et taux de vapeur $x_2 = 0{,}12$. On peut alors séparer la vapeur (séparateur 2) et la détendre dans une seconde turbine, où chaque kilogramme de vapeur détendue fournit $w_2 = 341 kJ.kg^{-1}$.

VII.9.a. Quel supplément de puissance P_2 obtient-on ainsi ?

N.B. : En réalité, l'installation est plus complexe et met en jeu un échange thermique entre les deux circuits.

VII.9.b. Sommer les puissances fournies par les 2 turbines pour obtenir la puissance totale de cette centrale.

Notion de cogénération

Une telle installation fournit de la puissance électrique, mais rejette également de l'eau chaude (reliquat de la séparation de la vapeur), qui apparaît comme une ressource à valoriser. On ne peut souvent pas utiliser cette eau de forage pour un usage domestique, mais récupérer à partir d'elle de l'énergie thermique. On met alors en jeu un échangeur thermique (Fig. 15), dispositif dans lequel l'eau rejetée et l'eau domestique échangent de l'énergie thermique sans se mélanger.

On négligera dans l'étude qui suit toutes les pertes thermiques vers l'extérieur.

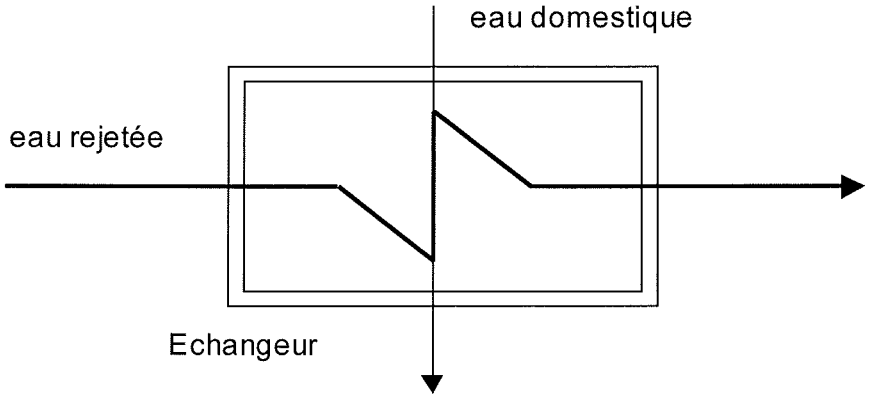

Figure 15

VII.10.a. On suppose qu'un débit D d'eau chaude rejetée, initialement à $\theta_2 = 100°C$, échange avec un même débit D' = D d'eau à usage domestique initialement à $\theta_3 = 5°C$. Si la température de sortie de l'eau domestique est égale à $\theta_4 = 60°C$, quelle sera la température de sortie θ_5 de l'eau rejetée ?

VII.10.b. On détermine les caractéristiques de l'échangeur thermique de telle manière que l'eau rejetée entre à $\theta_2 = 100°C$ et sorte à $\theta'_5 = 10°C$. Si les températures d'entrée et sortie de l'eau domestique restent θ_3 et θ_4 précédentes, calculer le rapport D'/D des débits des deux circuits ?

VIII. Problème du stockage d'énergie

La consommation et la production d'énergie électrique varient au cours du temps, au sein d'une journée, ou au gré des conditions météorologiques. Les producteurs et distributeurs doivent donc constamment ajuster la puissance produite à la puissance consommée. La possibilité de stocker de l'énergie lors des périodes de consommation moindre, pour la mettre à disposition des utilisateurs lors des pics de demande, est essentielle.

VIII.1. Pour chaque type évoqué ci-dessus (énergie fossile, nucléaire, solaire, éolienne, hydroélectrique, photovoltaïque, géothermique), préciser s'il permet aisément un stockage de moyens de production.

Rejet de carbone lors de la production d'électricité

Les différents modes de production d'électricité se distinguent par la grande variabilité de la quantité de carbone qu'ils rejettent, principalement sous la forme d'émission de CO_2.

Le tableau ci-dessous indique, pour chaque mode, la masse d'équivalent carbone (en grammes) libérée par kilowatt heure produit (source *Agence internationale de l'énergie*).

La première ligne indique, lorsqu'il y a lieu, la part due au combustible, la seconde prend en compte la chaîne de fabrication, installation ...

Tournez la page S.V.P.

charbon	Pétrole	Gaz naturel	Solaire thermique	Photo voltaïque	éolien	Géother-mique	nucléaire	hydraulique
270 g	180 g	150 g						
24 g	12 g	35 g	6 g	70 g	10 g	6 g	15 g	50 g

Masse (en grammes équivalent carbone) émis par kWh électrique produit

VIII.2. Pourquoi s'intéresser au gaz CO_2 émis ?

VIII.3. Justifier la conversion proposée pour les combustibles : 1 kg de carbone correspond à 3,66 kg de CO_2.

VIII.4. Quels commentaires peut-on faire sur les colonnes solaire thermique et photovoltaïque ?

Annexe

Energies de liaison chimique ($kJ.mol^{-1}$)

H-H	H-O	O=O	C=O	C-H	C-C
432	459	494	799	411	346

Couples acide/base : $CO_2, H_2O / HCO_3^-$ $pK_{a1} = 6,3$ et HCO_3^- / CO_3^{2-} $pK_{a2} = 10,3$.

Energie thermique (chaleur latente) de changement d'état $H_2O_{(l)} \rightarrow H_2O_{(g)}$: 44 $kJ.mol^{-1}$ (on utilisera cette valeur sans se soucier de la température à laquelle elle est définie).

Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,18.10^3\ J.K^{-1}.kg^{-1}$ (même remarque).

Soleil : température de surface $T_S = 5800\,K$

rayon $R_S = 7,0.10^8\,m$.

Terre : rayon $R_T = 6,4.10^6\,m$

Distance Terre - Soleil : $D = 1,5.10^{11}\,m$.

Accélération de la pesanteur $g = 9,8\,m.s^{-2}$.

légende

masse molaire atomique en g . mol $^{-1}$ (1) → 9,0

numéro atomique → 4

Be ← symbole (2)

Béryllium ← nom

notes : (1) basé sur le ^{12}C

(2) état physique du corps pur simple à 25 °C et 1,013 bar :

noir = solide ; **rouge** = gaz ; **vert** = liquide ; **magenta** = préparé par synthèse

période	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	1,0 **H** 1 Hydrogène																	4,0 **He** 2 Hélium
II	6,9 **Li** 3 Lithium	9,0 **Be** 4 Béryllium											10,8 **B** 5 Bore	12,0 **C** 6 Carbone	14,0 **N** 7 Azote	16,0 **O** 8 Oxygène	19,0 **F** 9 Fluor	20,2 **Ne** 10 Néon
III	23,0 **Na** 11 Sodium	24,3 **Mg** 12 Magnésium											27,0 **Al** 13 Aluminium	28,1 **Si** 14 Silicium	31,0 **P** 15 Phosphore	32,1 **S** 16 Soufre	35,5 **Cl** 17 Chlore	39,9 **Ar** 18 Argon
IV	39,1 **K** 19 Potassium	40,1 **Ca** 20 Calcium	45,0 **Sc** 21 Scandium	47,9 **Ti** 22 Titane	50,9 **V** 23 Vanadium	52,0 **Cr** 24 Chrome	54,9 **Mn** 25 Manganèse	55,8 **Fe** 26 Fer	58,9 **Co** 27 Cobalt	58,7 **Ni** 28 Nickel	63,5 **Cu** 29 Cuivre	65,4 **Zn** 30 Zinc	69,7 **Ga** 31 Gallium	72,6 **Ge** 32 Germanium	74,9 **As** 33 Arsenic	79,0 **Se** 34 Sélénium	79,9 **Br** 35 Brome	83,8 **Kr** 36 Krypton
V	85,5 **Rb** 37 Rubidium	87,6 **Sr** 38 Strontium	88,9 **Y** 39 Yttrium	91,2 **Zr** 40 Zirconium	92,9 **Nb** 41 Niobium	95,9 **Mo** 42 Molybdène	99 **Tc** 43 Technétium	101,1 **Ru** 44 Ruthénium	102,9 **Rh** 45 Rhodium	106,4 **Pd** 46 Palladium	107,9 **Ag** 47 Argent	112,4 **Cd** 48 Cadmium	114,8 **In** 49 Indium	118,7 **Sn** 50 Etain	121,8 **Sb** 51 Antimoine	127,6 **Te** 52 Tellure	126,9 **I** 53 Iode	131,3 **Xe** 54 Xénon
VI	132,9 **Cs** 55 Césium	137,3 **Ba** 56 Baryum	138,9 **La** 57 Lanthane	178,5 **Hf** 72 Hafnium	180,9 **Ta** 73 Tantale	183,9 **W** 74 Tungstène	186,2 **Re** 75 Rhénium	190,2 **Os** 76 Osmium	192,2 **Ir** 77 Iridium	195,1 **Pt** 78 Platine	197,0 **Au** 79 Or	200,6 **Hg** 80 Mercure	204,4 **Tl** 81 Thallium	207,2 **Pb** 82 Plomb	209,0 **Bi** 83 Bismuth	210 **Po** 84 Polonium	210 **At** 85 Astate	222 **Rn** 86 Radon
VII	223 **Fr** 87 Francium	226 **Ra** 88 Radium	227 **Ac** 89 Actinium															

VI	140,1 **Ce** 58 Cérium	140,9 **Pr** 59 Praséodyme	144,2 **Nd** 60 Néodyme	145 **Pm** 61 Prométhium	150,4 **Sm** 62 Samarium	152,0 **Eu** 63 Europium	157,3 **Gd** 64 Gadolinium	158,9 **Tb** 65 Terbium	162,5 **Dy** 66 Dysprosium	164,9 **Ho** 67 Holmium	167,3 **Er** 68 Erbium	168,9 **Tm** 69 Thulium	173,0 **Yb** 70 Ytterbium	175,0 **Lu** 71 Lutétium
VII	232,0 **Th** 90 Thorium	231,0 **Pa** 91 Protactinium	238,0 **U** 92 Uranium	237,0 **Np** 93 Neptunium	242 **Pu** 94 Plutonium	243 **Am** 95 Américium	247 **Cm** 96 Curium	247 **Bk** 97 Berkélium	251 **Cf** 98 Californium	254 **Es** 99 Einsteinium	253 **Fm** 100 Fermium	256 **Md** 101 Mendélévium	254 **No** 102 Nobélium	257 **Lr** 103 Lawrencium