

CONCOURS GÉNÉRAL DES LYCÉES

SESSION 2014

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES EN LABORATOIRE

PREMIÈRE PARTIE

Durée : 5 heures

Si au cours de l'épreuve un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale dans sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre pour cela.

Le sujet comporte trois parties indépendantes présentées sur 25 pages, y compris celle-ci. Les candidats doivent rédiger chacune de ces trois parties (A, B et C) sur des feuilles différentes.

Il est souhaitable qu'un futur lauréat du concours général montre sa maîtrise dans les différents domaines de la chimie et de la physique. Il lui est donc fortement conseillé d'aborder toutes les parties.

À l'exclusion de tout autre matériel électronique, l'usage de la calculatrice est autorisé conformément à la circulaire n°99-186 du 16-11-1999.

Thème général : L'énergie, entre conversion, optimisation et innovation

La demande mondiale croissante en énergie et l'épuisement annoncé des ressources d'origine fossile amènent de très nombreux scientifiques - chercheurs, ingénieurs et techniciens - à chercher à améliorer les procédés et dispositifs existants ou à en développer de nouveaux. Le sujet explore des optimisations et innovations dans le domaine de l'énergie.

A. Les énergies fossiles carbonées, un ultime effort d'optimisation

- I. Traitement du gaz naturel brut
- II. Combustion du gaz et centrales à cycle combiné gaz

B. L'énergie nucléaire, de la fission aux espoirs suscités par la fusion

- I. De l'uranium naturel au combustible des centrales nucléaires
- II. Des centrales nucléaires actuelles au projet ITER
- III. Des traitements de la thyroïde après un accident nucléaire

C. L'énergie solaire, Solar Impulse, l'avion électro-solaire pouvant voler de nuit !

- I. Besoins énergétiques
- II. Accumulateurs
- III. Cellules solaires
- IV. Moteurs et hélices
- V. Chaîne énergétique

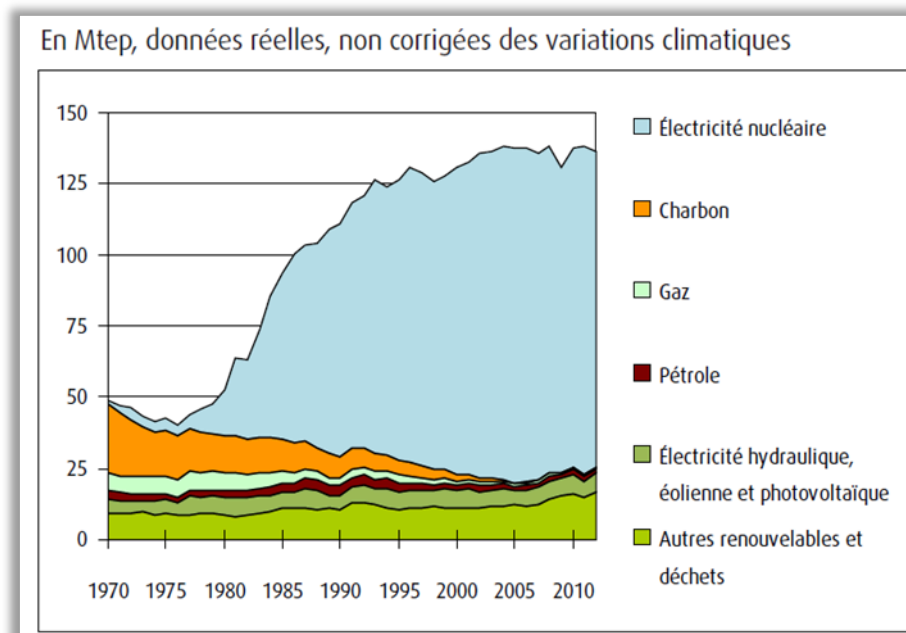
A. Les énergies fossiles carbonées, un ultime effort d'optimisation

On désigne par les termes "énergies fossiles" un ensemble de matières formées dans un passé très lointain suite à diverses transformations physico-chimiques. L'expression

s'applique aussi bien aux gisements d'uranium qu'aux nappes de pétrole. La formation de ces matières s'est faite sur des temps très longs et leur consommation accélérée, depuis le milieu du XIXe siècle, conduit à penser que leur épuisement va intervenir à plus ou moins long terme, même si de nouveaux gisements sont découverts régulièrement.

L'énergie fossile est en fait l'énergie que l'on peut récupérer lors de la transformation de cette matière fossile. Dans une optique d'épuisement progressif des stocks, il convient, entre autres, de rechercher à optimiser les techniques de conversion pour chercher à récupérer le maximum d'énergie de la transformation de la matière. Si ceci ne résout en rien le problème de l'épuisement, au moins cette stratégie contribue-t-elle à assurer une transition énergétique vers des solutions plus pérennes.

Document 1 : Part des différentes sources dans la production d'énergie en France entre 1970 et 2012.



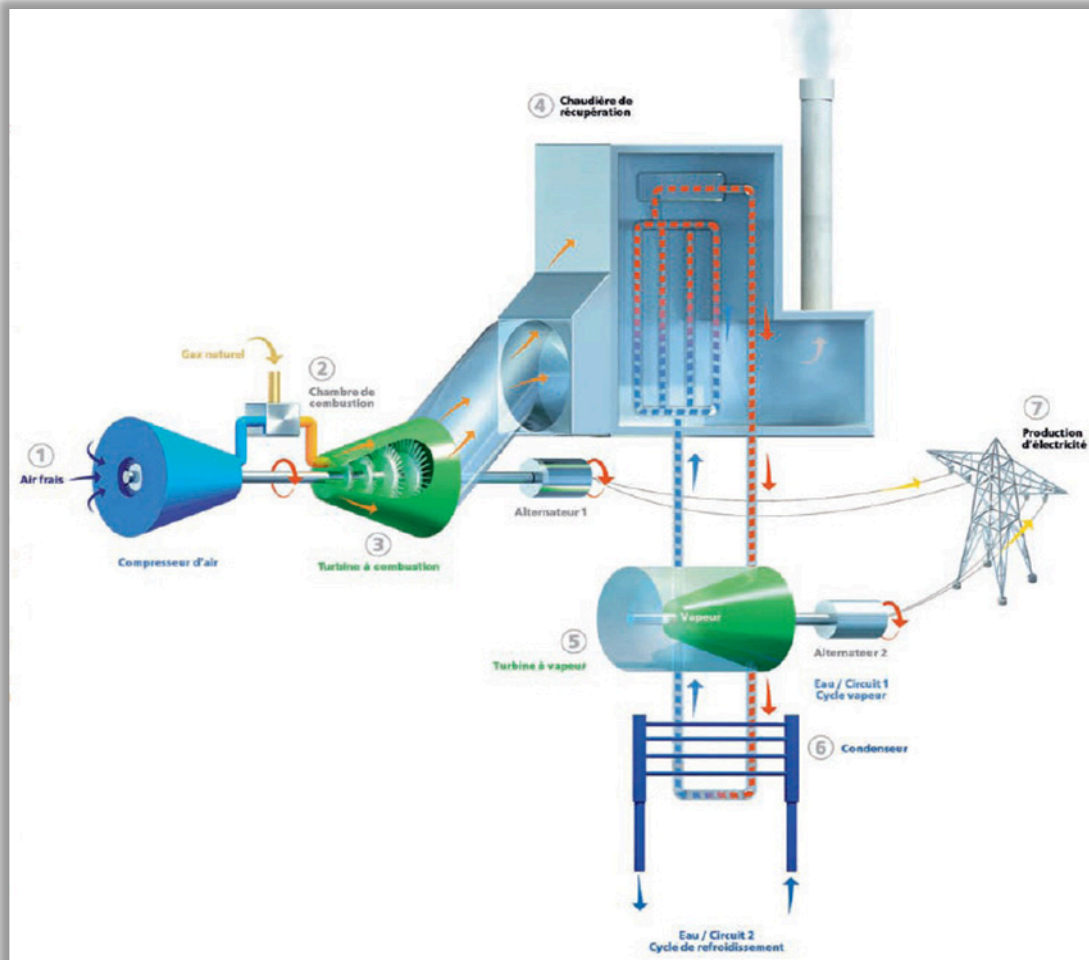
Source : ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, juillet 2013

Les centrales électriques à gaz servent aujourd'hui en Europe dans la régulation de la production d'électricité car elles présentent une grande souplesse d'utilisation et leur puissance peut être ajustée pour compenser les irrégularités des productions éoliennes et solaires.

On s'intéresse dans cette partie du sujet à une optimisation de l'utilisation du gaz naturel au sein de centrales électriques. Plusieurs centrales sont en cours de conversion en France, passant d'une alimentation au charbon vers une alimentation au gaz naturel. De nouveaux opérateurs énergétiques ont aussi investi dans la construction de ces installations dites centrales à gaz à cycle combiné (Combined Cycle Gas Turbine ou CCGT) et décrites dans le document 2.

Document 2 : Centrale thermique à cycle combiné gaz (CCGT)

Une centrale à cycle combiné, généralement appelée CCGT (Combined Cycle Gas Turbine), ou TGV (Turbine Gaz-Vapeur), est une centrale thermique qui associe deux types de turbines : une turbine à combustion et une turbine à vapeur.



Source : energie.edf.com, octobre 2013

Dans la chambre de combustion (2), le gaz naturel est mélangé à de l'air préalablement comprimé par le compresseur (1). La combustion entraîne un échauffement des gaz qui sont détendus en traversant une turbine à combustion (ou turbine à gaz) (3), entraînant sa mise en rotation. La turbine entraîne un alternateur qui produit le courant électrique. Elle entraîne également le compresseur qui apporte l'air nécessaire à la combustion (l'ensemble est amorcé grâce à un moteur qui est ensuite arrêté une fois le système parvenu à son régime permanent).

À la suite de cette détente, les gaz encore chauds sont mis à profit dans un deuxième cycle : dans une chaudière (4), ils permettent la formation de vapeur d'eau qui est détendue au sein d'une turbine à vapeur (5) montée sur un autre arbre, relié à un 2^e alternateur produisant du courant électrique. La vapeur est ensuite condensée grâce à un circuit de refroidissement (6) et l'eau est renvoyée à la chaudière.

Ce type d'installation permet d'atteindre un rendement de l'ordre de 60 % d'après les fournisseurs d'électricité : la centrale consomme l'équivalent de 25×10^9 kWh de gaz naturel par an et produit 15×10^9 kWh d'électricité. Un tiers de l'électricité provient de la turbine à vapeur et le reste, de la turbine à gaz. La centrale rejette un mélange gazeux comportant 4 % (en quantité de matière) de CO_2 , le reste étant de l'air humide.

Données thermodynamiques :

Enthalpie standard de combustion du méthane : $\Delta_r H^\circ = -2,2 \times 10^{-1} \text{ kWh.mol}^{-1}$

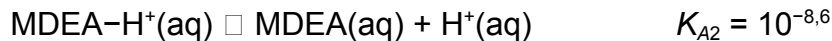
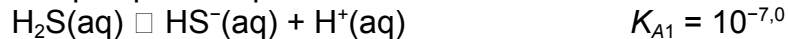
Capacité thermique molaire :

- mélange de gaz issu de la combustion d'une mole de méthane en l'absence de gaz inerte : $C_m = 2,8 \times 10^{-5} \text{ kWh.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
- air : $C_m = 8,1 \times 10^{-6} \text{ kWh.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Pouvoir calorifique inférieur (PCI) de quelques alcanes à l'état gazeux :

alcane	PCI (kWh.kg ⁻¹)
méthane	13,9
propane	12,9
butane	12,7
heptane	12,4

Constante d'acidité de quelques couples acide/base :



MDEA : méthyldiéthanolamine, $(\text{CH}_3)\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_2$

$$T (\text{K}) = \theta (^\circ\text{C}) + 273$$

I. Traitement du gaz naturel brut

Le gaz naturel contient essentiellement du méthane, mais sa composition est variable selon les gisements ; la présence d'autres gaz, comme par exemple le sulfure d'hydrogène H_2S , peut être problématique et le gaz naturel doit donc être traité avant utilisation comme combustible.

En effet, le sulfure d'hydrogène présente deux caractéristiques qui justifient qu'on veuille l'éliminer :

- il possède des propriétés acides susceptibles d'endommager les matériaux utilisés pour son transport ou dans la centrale ;
- sa combustion libère des oxydes de soufre toxiques et éventuellement responsables de pluies acides.

Le mélange de H_2S et CO_2 constitue ce qu'on appelle usuellement le gaz acide. Il est extrait du gaz naturel brut par un procédé utilisant des amines comme l'éthanolamine $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ ou la méthyldiéthanolamine (MDEA) en solution aqueuse.

Lors de la dissolution du sulfure d'hydrogène H_2S dans une solution aqueuse, un équilibre s'établit entre le gaz dissous dans l'eau $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ et le gaz en contact avec la solution $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$.

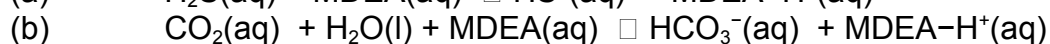
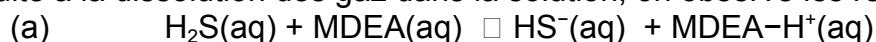
Cet équilibre est régi par une relation entre la pression de H_2S et sa concentration dans la solution. Le rapport de ces deux grandeurs à l'équilibre définit la constante de Henry, notée k_H :

$$k_H = \frac{[H_2S(aq)]}{P_{H_2S}}$$

La valeur de k_H à la température de l'expérience est de $0,10 \text{ mol.L}^{-1}.\text{bar}^{-1}$.

La pression totale du gaz est portée autour de 70 bar lors de la désulfuration. La pression de H_2S au sein du mélange gazeux est variable selon la composition du gaz d'origine.

Suite à la dissolution des gaz dans la solution, on observe les réactions suivantes :



Étant donnée la forte concentration en MDEA dans les solutions utilisées, le pH de la solution est très peu affecté par les réactions (a) et (b) et reste voisin de 11,5.

Les produits sont ensuite récupérés pour valoriser le soufre sous forme d'acide sulfurique.

1. Indiquer quel est le rôle de l'amine dans les réactions (a) et (b) en identifiant l'origine de cette réactivité au niveau moléculaire.

2. Expliquer pourquoi l'éthanolamine est très soluble dans l'eau.

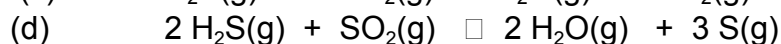
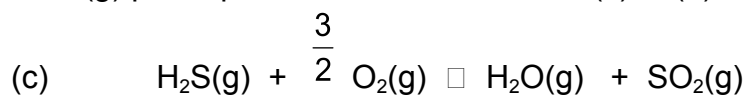
3. Exprimer $K_{(a)}^\circ$, constante d'équilibre thermodynamique de la réaction (a) à l'aide des constantes d'acidité K_A des couples mis en jeu. Déterminer la valeur de $K_{(a)}^\circ$ et commenter sa valeur en lien avec le but recherché lors de ce traitement.

4. Pour un gaz contenant 3 % (en quantité de matière) de H_2S , la pression de H_2S au sein du mélange gazeux est voisine de 2 bar lors de la désulfuration. Estimer la concentration totale en espèce soufrée que l'on peut extraire du gaz par la solution de MDEA.

5. À partir du résultat précédent, estimer le volume de solution de MDEA nécessaire à la désulfuration du gaz nécessaire au fonctionnement annuel de la centrale étudiée si celui-ci contient 90 % de méthane.

6. Proposer un traitement envisageable pour libérer à nouveau H_2S après la séparation entre la solution et le gaz naturel purifié. On pourra s'appuyer sur un diagramme de prédominance des espèces présentes en fonction du pH.

Le sulfure d'hydrogène récupéré est oxydé en présence de dioxygène pour donner du soufre $S(g)$ par le procédé Claus : réactions (c) et (d).



Le soufre $S(g)$ réagit avec $O_2(g)$ pour donner du trioxyde de soufre $SO_3(g)$: réaction (e). Le trioxyde de soufre est ensuite transformé en acide sulfurique $H_2SO_4(l)$ par réaction avec l'eau : réaction (f).

7. Écrire les équations des réactions (e) et (f).

8. Une solution d'acide sulfurique pourrait être obtenue par oxydation de $H_2S(aq)$. Indiquer quel peut être l'avantage principal de la série de réactions (c) à (f).

II. De la combustion du gaz à la centrale thermique à cycle combiné gaz

9. Définir le terme combustion et justifier en quoi l'appellation combustible est discutable dans le cas de l'uranium utilisé dans les centrales nucléaires pour la production électrique.

10. Écrire l'équation de la réaction de combustion complète du méthane à une température supérieure à 100°C en précisant les états physiques des différentes espèces chimiques impliquées.

11. En supposant que l'énergie libérée au cours de la combustion est intégralement transférée aux gaz produits, déterminer la valeur de la variation de température des gaz formés lors de la combustion. Commenter le résultat.

- 12.** La combustion est rarement mise en œuvre avec des réactifs purs : l'air est utilisé comme comburant. Dans ces conditions la variation de température du mélange gazeux obtenu en fin de réaction est plus faible que celle calculée précédemment et la température atteinte par les gaz produits est environ 500 °C. Indiquer quels autres phénomènes sont susceptibles de diminuer la variation de température du mélange gazeux obtenu.
- 13.** Citer deux raisons justifiant l'utilisation du méthane de préférence à d'autres hydrocarbures gazeux dans ce type d'installation.
- 14.** Par une analyse des transferts énergétiques mis en jeu dans la turbine à gaz, indiquer quels sont les paramètres qui peuvent être optimisés pour son bon fonctionnement.
- 15.** Estimer la quantité de matière totale de gaz (air humide et dioxyde de carbone) rejetée par la centrale à cycle combiné gaz décrite dans le document 2. En déduire le transfert thermique cédé par le mélange gazeux (qu'on assimilera à de l'air) au sein de la chaudière et le rendement de l'ensemble {chaudière – turbine à vapeur – alternateur n°2} en admettant que les gaz d'échappement atteignent une température d'environ 20 °C à la sortie de l'installation.

B. L'énergie nucléaire, de la fission aux espoirs suscités par la fusion

...

Aujourd'hui, en France, l'essentiel de l'électricité consommée est d'origine nucléaire. Ce sont des réactions de fission de noyaux d'uranium 235 qui fournissent l'énergie nécessaire à la production de cette électricité.

Données

Constante d'Avogadro : $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Célérité de la lumière dans le vide : $2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Unité de masse atomique : $1 u = 1,6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Masses atomiques exprimées en unité de masse atomique :

$^{235}_{92}\text{U}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$	$^{94}_{37}\text{Rb}$	^1_0n	^2_1H	^3_1H	^4_2He
235,0439 <i>u</i>	238,0508 <i>u</i>	136,9071 <i>u</i>	93,9264 <i>u</i>	1,0087 <i>u</i>	2,0141 <i>u</i>	3,0160 <i>u</i>	4,0026 <i>u</i>

Masse de l'électron en unité de masse atomique : $5,5 \times 10^{-4} u$

Accélération de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

I. De l'uranium naturel au combustible nucléaire des centrales

Dans la lithosphère, la teneur en uranium est de l'ordre de 3 à 4 ppm : c'est un élément chimique relativement rare. On le trouve essentiellement sous forme d'inclusions dans certains minéraux. Les réserves sont situées principalement en Australie, aux États-Unis, au Canada et en Afrique du Sud.



Minerai d'uranium

L'essentiel de l'uranium extrait est destiné à la fabrication du combustible nucléaire. En 2012, la production mondiale s'élevait à 37,04 milliers de tonnes d'uranium métallique, les principaux pays producteurs étant le Canada, le Niger, la Russie, le Kazakhstan et la Namibie.

L'uranium naturel est constitué d'un mélange de trois isotopes radioactifs de l'uranium : ^{238}U , ^{235}U et ^{234}U ; ce dernier étant en très faible proportion (0,006 %), on considérera uniquement les deux premiers isotopes dans la suite du problème.

L'uranium 235 est le seul radionucléide naturel qui soit fissile.

16. Donner la constitution des noyaux des isotopes présents dans l'uranium naturel.

17. La masse atomique de l'uranium naturel est égale à 238,0289 u. En utilisant les données fournies, déterminer les pourcentages d'uranium 235 et d'uranium 238 dans l'uranium naturel.

18. Le nombre N de noyaux radioactifs d'une source radioactive diminue au cours du temps selon la loi de décroissance suivante : $N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$ où λ est appelée la constante radioactive du nucléide étudié.

Définir la demi-vie ou période radioactive T d'un nucléide radioactif et montrer que la

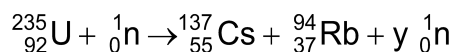
relation entre la constante radioactive λ et la période d'un nucléide est $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$.

19. Lors de la création de la Terre, il y a 4,5 milliards d'années, le rapport du nombre d'isotopes 235 de l'uranium sur le nombre d'isotopes 238 de l'uranium était égal à 0,32. Il y a 2 milliards d'années, la composition isotopique de l'uranium naturel était de 96,3 % d'uranium 238 et 3,7 % d'uranium 235. Sachant que la demi-vie de l'uranium 238 est de 4,5 milliards d'années, déterminer la demi-vie de l'uranium 235.

20. Pour provoquer une réaction de fission nucléaire dans un réacteur à eau pressurisée d'une centrale nucléaire, il faut disposer de combustible à base d'uranium enrichi. Quelle différence y a-t-il entre l'uranium naturel et l'uranium enrichi ?

II. Des centrales nucléaires actuelles au projet ITER

Dans le cœur d'une centrale nucléaire, l'uranium est introduit sous forme de pastilles de dioxyde d'uranium UO_2 contenues dans des tubes en zirconium. La fission d'un noyau d'uranium 235 se produit quand il est bombardé par un neutron lent. Une des réactions de fission possible de l'uranium avec un neutron lent est la suivante :



21. Déterminer le nombre y de neutrons rapides produits à chaque fission. Indiquer la conséquence que cela peut avoir sur le fonctionnement du cœur de la centrale nucléaire

22. Selon la théorie de la relativité, tout système isolé de masse m , au repos dans un référentiel, possède une énergie de masse donnée par la relation d'Einstein $E = mc^2$. Dans une réaction nucléaire, l'énergie libérée est la différence entre l'énergie de masse des noyaux qui réagissent et l'énergie de masse des noyaux qui sont produits.

Évaluer l'énergie libérée, en joules, lors de cette réaction de fission de l'uranium.

Document 3 : Centrale nucléaire de Golfech

La centrale de Golfech est implantée dans le département du Tarn-et-Garonne dans la région Midi-Pyrénées en bordure de la Garonne. Elle comporte deux réacteurs. Chaque réacteur nucléaire de cette centrale fournit une puissance électrique $P = 1300$ MW



Le rendement η de la transformation de l'énergie libérée par la fission nucléaire en énergie électrique est égal à 33 %.

- 23.** Déterminer l'énergie libérée par seconde, puis par an, par les réactions de fission dans un réacteur de la centrale de Golfech et préciser la forme sous laquelle elle est échangée.
- 24.** Vérifier que le nombre N de noyaux d'uranium 235 qui subissent la fission en une seconde au sein du réacteur est $N = 1,5 \times 10^{20}$ noyaux.
- 25.** Déterminer alors la masse d'uranium 235 qui subit la fission en un an pour faire fonctionner un réacteur et assurer une puissance de production d'électricité de 1300 MW.
- 26.** Dans cette centrale, le combustible utilisé est de l'uranium enrichi à 3,0 % en isotope 235. Déterminer alors la masse m de l'uranium nécessaire pour faire fonctionner la centrale pendant un an.
- 27.** Dans l'industrie, il est courant d'utiliser comme unité d'énergie la Tonne Équivalent Pétrole (TEP) qui représente le pouvoir calorifique d'une tonne de pétrole, c'est-à-dire la quantité d'énergie dégagée par la combustion d'une tonne de pétrole. Le gazole a un pouvoir calorifique qui équivaut à 1 TEP. Le pouvoir calorifique volumique du gazole est $38 \times 10^3 \text{ kJ.L}^{-1}$ et la masse volumique du gazole est 845 kg.m^{-3} . Calculer le pouvoir calorifique du gazole en J.kg^{-1} .
- 28.** Déterminer la masse m' de pétrole (en tonnes) nécessaire pour obtenir, par combustion, la même quantité d'énergie par an que celle obtenue grâce aux réactions de fission dans la centrale.
- 29.** Actuellement, les recherches visent à savoir s'il est possible de remplacer les réactions de fission qui sont nécessaires pour faire fonctionner les centrales nucléaires par des processus de fusion : ces recherches s'effectuent dans le cadre du projet ITER.

La réaction de fusion dont on étudie la mise en œuvre dans ce projet est décrite par l'équation suivante : ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$.

- 30.** Traduire cette équation par une phrase.
- 31.** Citer un endroit dans l'Univers où ce type de réaction a lieu.
- 32.** La réaction de fusion donnée ci-dessus libère une énergie de $2,82 \times 10^{-12} \text{ J}$. Déterminer la masse m'' de mélange deutérium/tritium nécessaire pour obtenir la même quantité d'énergie par an que celle obtenue grâce aux réactions de fission dans la centrale de Golfech. Comparer cette masse à celles trouvées pour l'uranium et le pétrole. Conclure.
- 33.** Expliquer en quelques lignes pourquoi la fusion suscite beaucoup d'espoir.

III. Des traitements de la thyroïde consécutifs à un accident nucléaire

Document 4. Accident nucléaire : de l'iode pour prévenir le cancer de la thyroïde*

En cas d'accident nucléaire majeur, les risques d'être atteint par les rayonnements qu'émettent les particules radioactives sont de deux ordres.

Premièrement, un risque d'irradiation à proximité de la source de rayonnement, qui concerne en premier lieu le personnel des installations nucléaires ou les sauveteurs. Deuxièmement, un risque de contamination des populations voisines ou plus lointaines, si les vents s'en mêlent, par des poussières ou des gaz radioactifs.

Cette contamination est externe lorsque des poussières sont déposées sur la peau. Elle est interne lorsque les éléments radioactifs pénètrent dans le corps par la respiration, l'absorption d'aliments ou de boissons contaminés, ou par une plaie.

Les conséquences dépendent de la dose absorbée, laquelle est elle-même fonction de l'intensité de la source radioactive, de sa proximité, de la nature des rayonnements émis et du temps d'exposition.

Lorsqu'un très grave accident survient, plusieurs éléments radioactifs très nocifs (césium, strontium, gaz rares tels le krypton et le xénon) sont susceptibles d'être rejetés dans l'atmosphère. Tous ces produits augmentant la possibilité de mutations dans les cellules qu'ils irradient, le risque principal en cas de contamination est de développer un cancer. A cet égard, le danger le plus grand est sans conteste celui d'une contamination par de l'iode radioactif.

Émis sous forme gazeuse, l'iode inhalé a la propriété de se fixer très rapidement sur la thyroïde, provoquant son irradiation. Lorsque la population menacée n'a pas pu être évacuée, hormis le confinement, le moyen de prévention le plus efficace est la distribution de pastilles d'iode en priorité aux bébés, aux jeunes et aux femmes enceintes.

Catherine Vincent (Le Monde, 14 mars 2011)

** La thyroïde est une glande, située dans la région cervicale antérieure, appliquée contre le larynx et la partie supérieure de la trachée. La fonction principale de cette glande est la sécrétion des hormones thyroïdiennes à partir de l'iode alimentaire qui se fixe temporairement sur cette glande. De petite taille, elle n'est normalement pas palpable. Mais elle peut s'hypertrophier, soit de manière plus ou moins diffuse et homogène, soit de manière localisée avec la formation de nodule(s).*

Ces nodules peuvent principalement être de deux sortes, hypofixant ou hyperfixant : un nodule est dit hypofixant s'il fixe peu d'iode par rapport au reste de la thyroïde et inversement, il est dit hyperfixant s'il fixe plus d'iode que le reste de la thyroïde.

1. Saturation de la thyroïde par l'iodure de potassium

L'iode 131 est sans doute l'un des plus dangereux nucléides radioactifs qui peuvent être rejetés dans l'atmosphère lors d'un incident nucléaire.

Document 5 : conséquences de l'accident nucléaire de Fukushima en 2011



Épinards contaminés à l'iode-131

Ces épinards produits dans le nord-est du Japon ont été contaminés par de la radioactivité lors de l'accident de Fukushima en mars 2011. Des poussières radioactives ont déposé des atomes d'iode-131 sur les larges feuilles du légume, conduisant à l'interdiction de sa commercialisation. L'iode-131 constitue le rejet radioactif le plus redouté lors d'un accident nucléaire du fait de sa fixation par la thyroïde. Mais - contrepartie de sa forte radioactivité - la quantité d'iode-131 est divisée par 2 tous les 8 jours, par 2500 tous les trimestres et au bout d'un an il n'en reste plus trace dans les aliments.

© Eugene Hoshiko / AP



Contrôles de contamination sur un enfant

Contrairement à ce qui s'était passé à Tchernobyl, les autorités japonaises ont pris très tôt les précautions nécessaires. La plus essentielle était d'éviter l'ingestion ou l'inhalation de matières radioactives, une exposition interne étant de loin la plus dangereuse. Ces techniciens en tenue de radioprotection contrôlent la présence de contamination radioactive sur ce petit garçon originaire de la zone évacuée autour de la centrale de Fukushima.

© Asahi Shimbun, via Reuters

La fixation de l'iode 131 par la thyroïde peut mener à des cancers de la thyroïde. En saturant celle-ci avec de l'iode non radioactif, avant exposition, par ingestion de comprimés d'iodure de potassium $K^{127}I$, on observe une diminution de l'absorption d'iode radioactif d'un facteur supérieur ou égal à 90.

Document 6 : comprimé d'iodure de potassium

En France, les comprimés d'iodure de potassium $K^{127}I$ sont préparés par la Pharmacie Centrale des Armées sous la forme de plaquettes de 10 comprimés sécables dont la durée de conservation est de 5 ans.

Chaque comprimé contient 130 mg d'iodure de potassium.



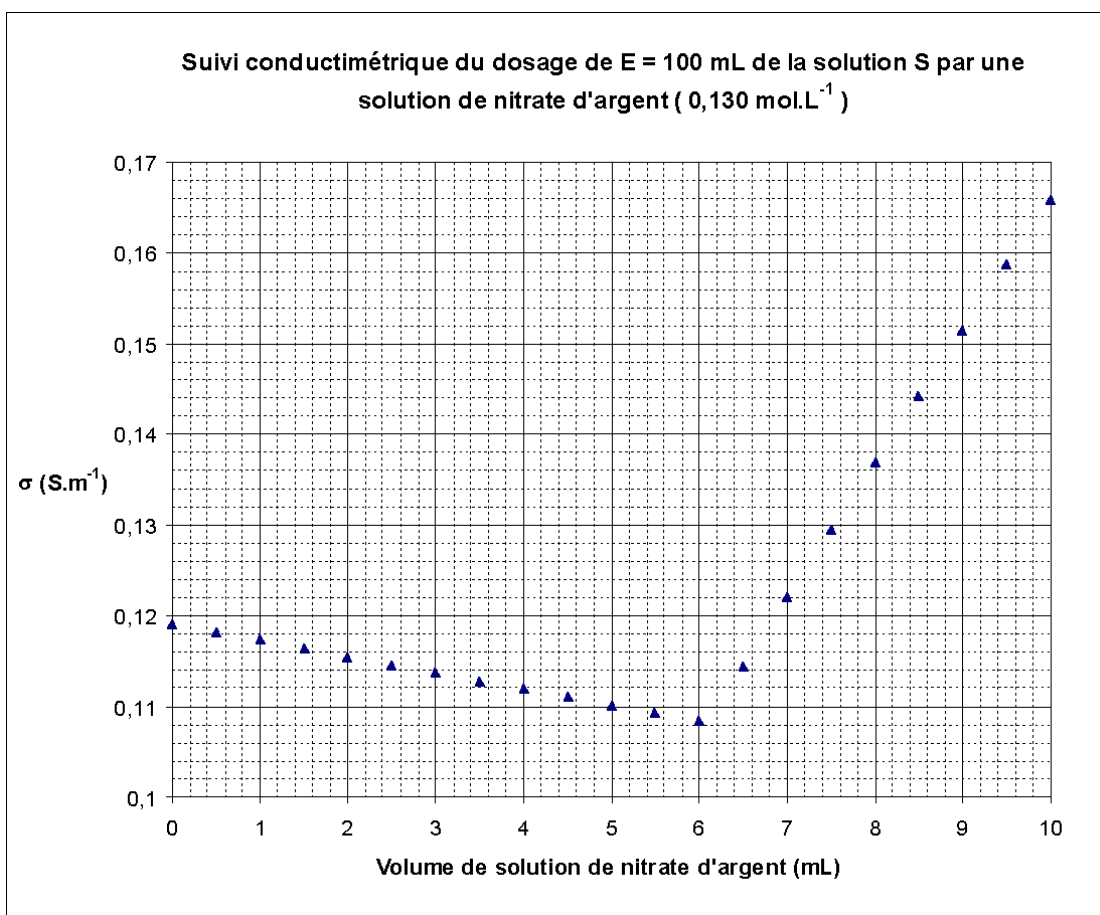
34. D'après les informations données dans les documents, déterminer la période (temps de demi-vie) de l'iode 131. Que pensez vous de l'affirmation trouvée dans un des documents « au bout d'un an il n'en reste plus trace dans les aliments ».

On se propose de doser les ions iodure contenus dans un comprimé, de façon à vérifier la qualité des comprimés dans une plaquette donnée. Dans ce but, on effectue un dosage à l'aide d'une solution étalonnée de nitrate d'argent.

L'iodure d'argent AgI est un solide ionique jaune très peu soluble dans l'eau dont le produit de solubilité pK_s vaut 16,2 à 25 °C.

Par dissolution de dix comprimés d'iodure de potassium préparé par la Pharmacie Centrale des Armées dans un volume $V_0 = 1000$ mL d'eau, on obtient la solution S.

On dose les ions iodure contenus dans une prise d'essai $E = 100$ mL de solution S à l'aide d'une solution de nitrate d'argent de concentration $C_{Ag} = 0,130$ mol.L⁻¹ placée dans une burette. On effectue un suivi de la conductivité de la solution contenue dans le bécher et on obtient la courbe représentée ci- dessous.



- 35.** Écrire l'équation de la réaction support du titrage et déterminer la valeur de la constante d'équilibre de cette réaction. Commenter.
- 36.** Justifier qualitativement l'allure de la courbe et la position du point d'équivalence.
- 37.** En déduire, à l'aide d'une démarche décrite précisément, la valeur de la masse m d'iodure de potassium contenue dans un comprimé. Ce résultat est-il conforme à l'inscription figurant sur la boîte ?

Données

Masse molaire de l'iodure de potassium KI : $M = 166,00 \text{ g.mol}^{-1}$

Conductivités ioniques molaires :

ion	Ag ⁺ (aq)	NO ₃ ⁻ (aq)	I ⁻ (aq)	K ⁺ (aq)
$\lambda_i^0 / \text{mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$	6,19	7,14	7,68	7,35

2. Étude de la L-thyroxine, hormone secrétée par la glande thyroïde

La thyroxine, hormone secrétée par la glande thyroïde, a été isolée en 1910, à partir de trois tonnes de thyroïde de porc par Edward Calvin Kendall, biochimiste américain qui reçut le prix Nobel de médecine en 1950. En 1930, Charles Robert Harington et Williams Thomas Salter, chimistes britanniques, ont identifié la thyroxine naturelle à l'isomère L.

La synthèse de la L-thyroxine, constituant principal du lévothyrox® utilisé comme traitement substitutif pour remplacer la thyroxine naturelle lorsque celle-ci n'est plus sécrétée en quantité suffisante par la thyroïde, a été réalisée à partir de la L-tyrosine en 1949.



Étude spatiale de la L-tyrosine

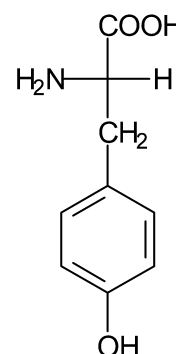
La L-tyrosine est représentée ci-contre.

38. Que signifie le « L » dans L-tyrosine ?

39. Quelle particularité possède ce composé ?

40. Représenter la D-tyrosine.

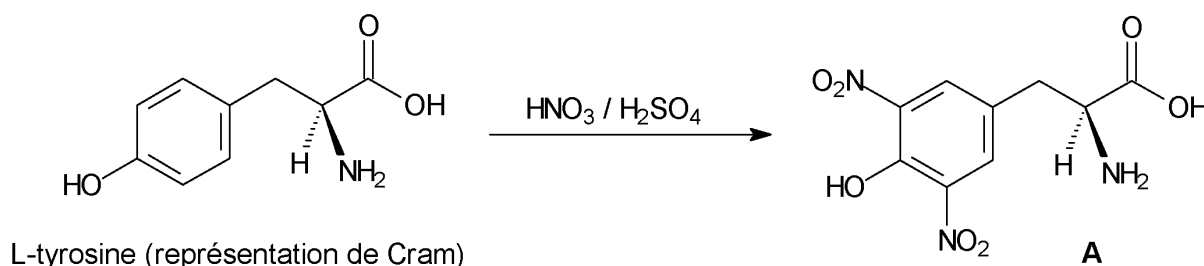
41. Quelles sont les analogies et les différences dans les propriétés physiques et chimiques de la L-tyrosine et à la D-tyrosine.



Étude de quelques étapes de la synthèse chimique de la L-thyroxine

La première étape de la synthèse chimique de la L-thyroxine consiste à faire réagir la L-tyrosine avec un mélange sulfonitrique (mélange acide sulfurique concentré – acide nitrique concentré) à 0 °C puis à traiter le milieu réactionnel par de la soude (hydroxyde de sodium) jusqu'à un pH voisin de 7.

Après purification, on obtient un solide **A** dont la formule semi-développée est donnée ci-dessous :



L-tyrosine (représentation de Cram)

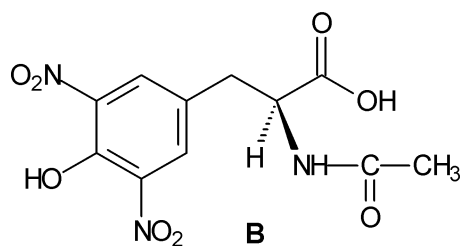
A

42. Écrire l'équation de la réaction de formation de **A**.

43. Préciser la nature de cette réaction.

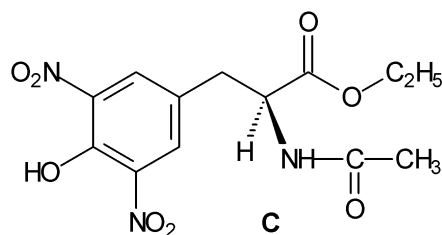
44. Lors de cette réaction, l'entité réactive est l'ion nitronium NO_2^+ . Sachant que les numéros atomiques respectifs des éléments azote N et oxygène O sont 7 et 8, établir une structure de Lewis de cet ion, indiquer sa géométrie et la représenter.

La deuxième étape de la synthèse consiste à faire réagir l'anhydride acétique (anhydride éthanoïque) sur **A**. Après divers traitements, on obtient **B**, représenté ci-dessous :

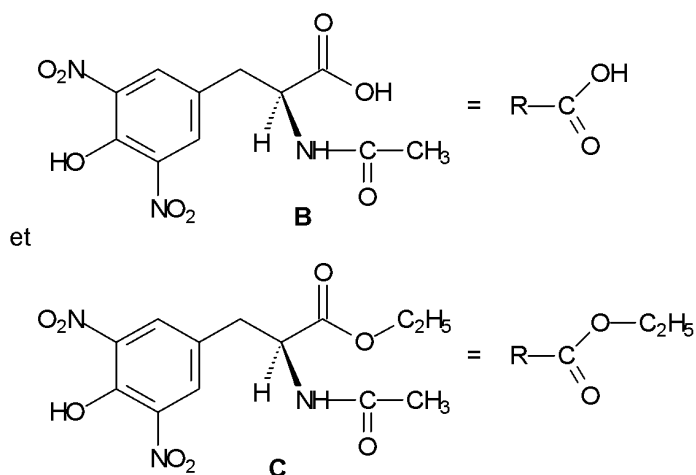


45. Donner le nom de la nouvelle fonction créée.

Lors de la troisième étape, on réalise l'estérification de **B** avec de l'éthanol absolu (éthanol de pureté 100 %), en présence d'un acide fort. Après extraction et purification, on obtient **C**, représenté ci-dessous :

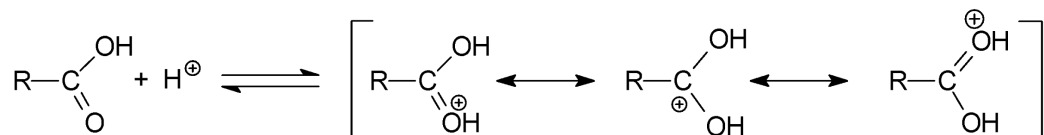


Un mécanisme de la réaction d'estérification est proposé. Pour simplifier l'écriture de ce mécanisme, on pose :



Mécanisme proposé :

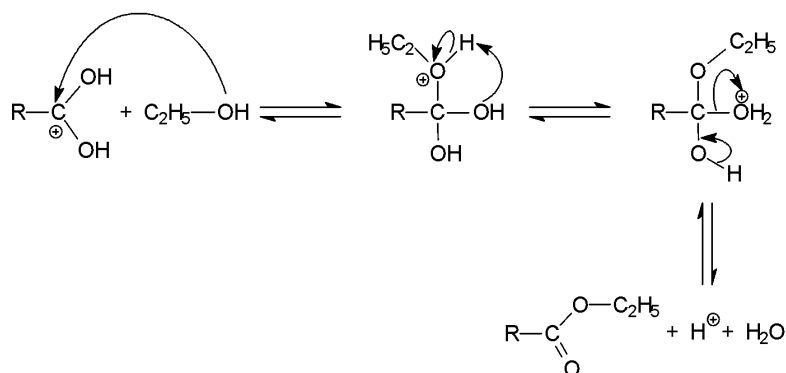
- Étape préliminaire :



$\text{R}-\text{C}(\text{OH})=\text{OH}^+$, $\text{R}-\text{C}^+(\text{OH})\text{OH}$ et $\text{R}-\text{C}(\text{OH})=\text{OH}^+$ sont trois formes mésomères. Les trois représentations correspondent

à une seule et même entité chimique et permettent de mettre en évidence l'exaltation du caractère électrophile du carbone du groupe carboxyle en milieu acide.

Puis :

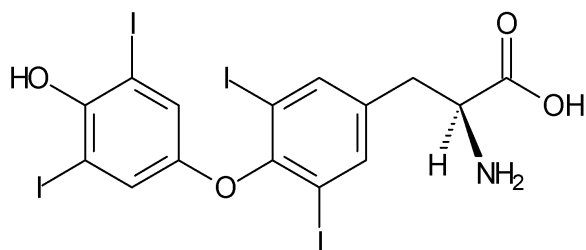


46. À l'aide du mécanisme ci-dessus, écrire l'équation de la réaction d'estérification (on adoptera les notations simplifiées données ci-dessus pour **B** et **C**).

47. Toujours à l'aide du mécanisme ci-dessus, préciser le rôle de l'acide fort et citer au moins deux composés chimiques (formule et nom) permettant d'apporter dans le milieu réactionnel des ions H^+ .

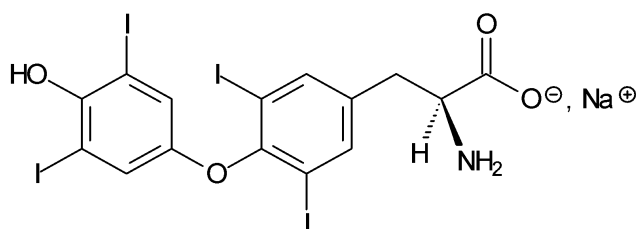
48. Justifier le fait que le carbone du groupe carboxyle ($-COOH$) est électrophile. Pourquoi peut-on affirmer que ce caractère électrophile est renforcé en milieu acide ?

Après six autres étapes à partir de **C**, on obtient la L-thyroxine dont la formule est représentée ci-dessous :



49. Quelle particularité structurale, par rapport à la L-tyrosine, la L-thyroxine synthétisée possède-elle ?

Le principe actif du lévothyrox® est la lévothyroxine sodique représentée ci-dessous :

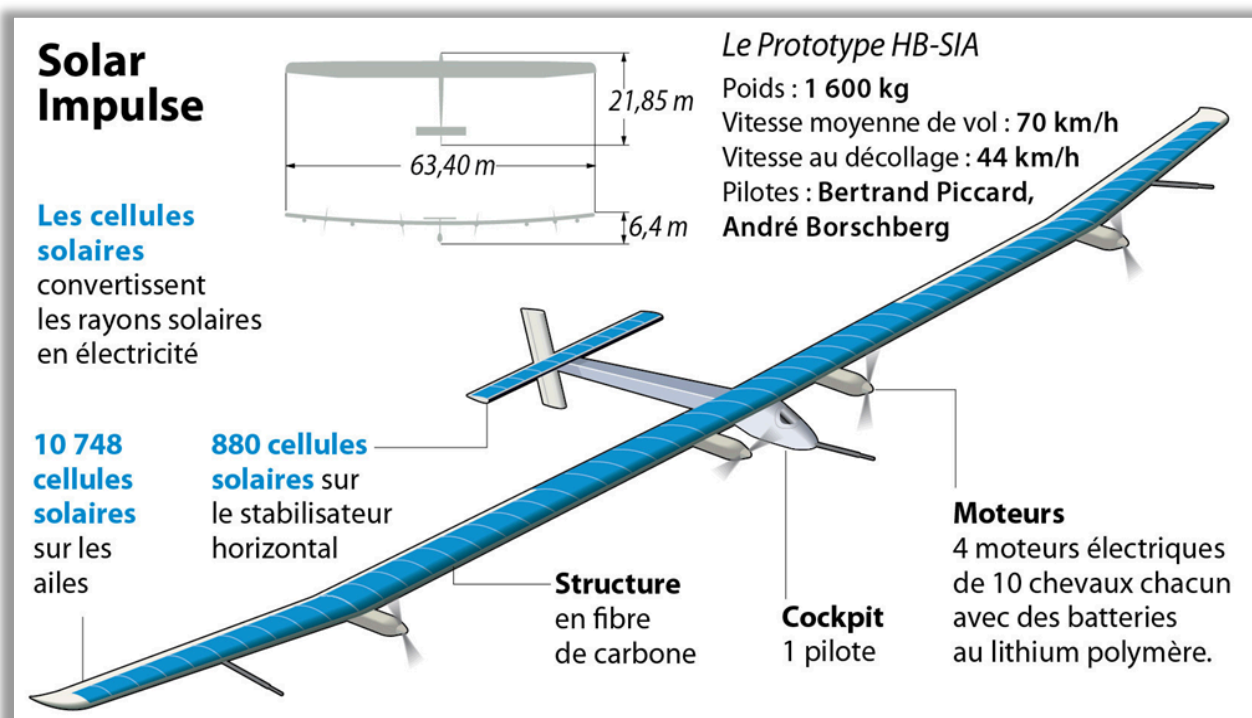


50. Proposer une explication au fait que le lévothyrox® soit administré sous cette forme.

C. L'énergie solaire, Solar Impulse, l'avion électro-solaire pouvant voler de nuit !

Le premier avion électro-solaire Solar Impulse HB-SIA décolle de Payerne en Suisse le 7 juillet 2010 à 6 h 51, piloté par André Boschberg. Toute la journée, Solar Impulse HB-SIA est monté pour atteindre 8500 m d'altitude en fin d'après-midi, chargeant ses 400 kg de batteries à l'aide des 11628 cellules solaires installées sur ses 63,40 m d'envergure. Au coucher de soleil, l'avion solaire, privé de son énergie, a ensuite converti l'énergie potentielle accumulée en énergie cinétique, ce qui lui a permis de planer lentement. Puis, parvenu à l'altitude de 1500 m vers 23 h, il a ensuite volé jusqu'au matin en utilisant une partie de l'énergie stockée dans la journée dans les 400 kg de batteries embarquées. Pour la première fois, un aéronef piloté a volé plus de 24 h en utilisant directement ou indirectement l'énergie solaire.

L'expérience acquise par l'équipe est maintenant mise au service de la construction du Solar Impulse HB-SIB qui devrait faire le tour de la planète en 2014.



I. Besoins énergétiques

Le document 7 qui suit, fournit les besoins énergétiques du Solar Impulse HB-SIA en fonction de la plage horaire.

Document 7 : Caractéristiques énergétiques du prototype HB-SIA

Pour une vitesse moyenne de 70 km.h^{-1} , les caractéristiques énergétiques très simplifiées sont les suivantes :

Horaires	Puissance radiative moyenne reçue (en W.m^{-2})	Puissance consommée par :		
		Un des moteurs (en kW)	Le système de communication (en W)	Le reste des appareils embarqués (en W)
De 0 h à 6 h	0	3,0	50	250
De 6 h à 20 h	250	6,9		
De 20 h à 24 h	0	3,0		

51. Expliquer en quoi le document 7 ne correspond pas vraiment à la réalité d'un vol électro-solaire et n'en décrit qu'un modèle très simplifié.

52. Déterminer en heures les durées totales :

Δt_N pendant laquelle l'avion fonctionne grâce à l'énergie solaire seule,

Δt_J pendant laquelle l'avion fonctionne grâce aux accumulateurs.

53. Les moteurs ne fonctionnent pas de manière continue, mais se coupent régulièrement pour éviter une surchauffe. En moyenne sur la durée totale, ils ne fonctionnent que pendant un quart de la durée Δt_N ou Δt_J . Pendant toute la durée où l'avion est privé de son énergie solaire, calculer la valeur de l'énergie totale W_N nécessaire à son bon fonctionnement.

Même question lorsque celui-ci fonctionne avec l'énergie solaire (on appellera W_J cette énergie).

II. Accumulateurs

Le défi majeur à relever est le stockage de l'énergie solaire sous forme électrique dans les batteries d'accumulateurs pour que l'avion puisse voler de nuit. De jour, l'avion capte l'énergie solaire nécessaire à son vol, mais doit aussi en stocker suffisamment dans ses batteries pour son vol de nuit.

Document 8 : Batteries lithium-polymère embarquées sur le HB-SIA

Les batteries lithium-polymère embarquées au côté de chaque moteur p société Kokam. Elles possèdent une densité énergétique $w = 200 \text{ Wh}$ produire chacune une tension nominale $U = 4,35 \text{ V}$.

Les 400 kg d'accumulateurs, embarqués dans le Solar Impulse, sont montés en série.



Source : <http://www.solarimpulse.com/fr/>

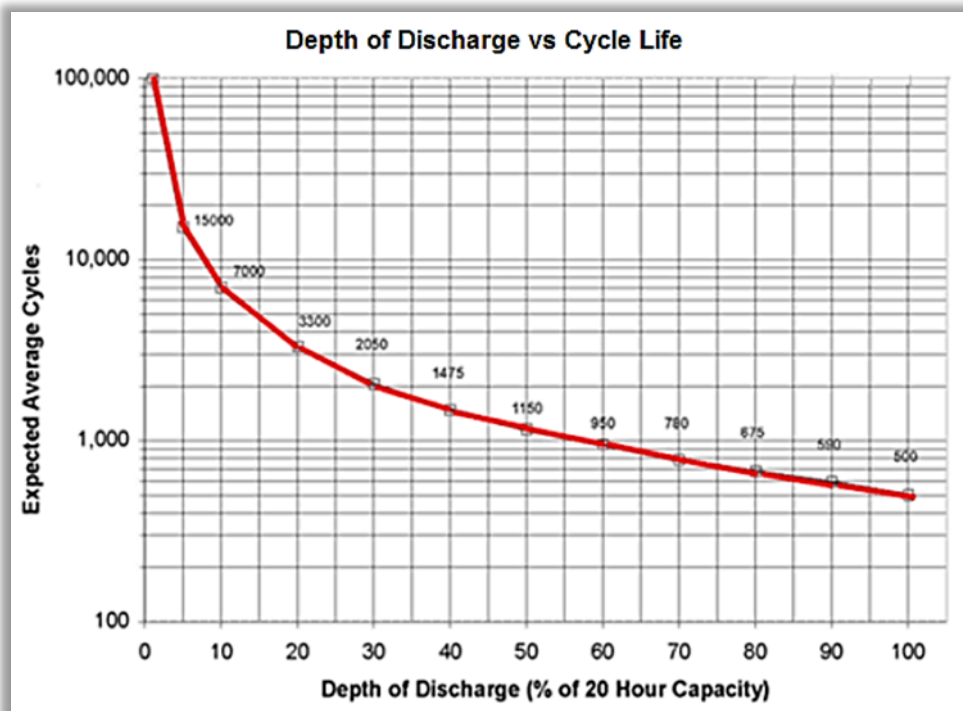
54. Déterminer l'énergie totale W_{Li-po} disponible grâce aux accumulateurs embarqués.

55. Comparer la valeur de cette énergie à celle de l'énergie totale W_N calculée précédemment.

Quelle est l'utilité d'une telle différence ? Calculer alors la durée de vol autonome Δt_A du Solar Impulse privé de son énergie solaire. Combien de vols de nuit cette quantité représente-t-elle ?

56. Quelle est lors de chaque utilisation, la profondeur de décharge P_d des batteries embarquées, c'est-à-dire le rapport exprimé en pourcentage de l'énergie consommée W_N sur l'énergie stockée W_{Li-po} .

Le graphe suivant donne, en termes de cycles, la durée de vie maximale d'une batterie lithium-polymère en fonction de la profondeur de charge.



57. Déterminer le nombre de cycles possibles pour les batteries embarquées. En déduire le temps de vol de nuit Δt_R correspondant, avant le remplacement des batteries.

Document 9 : Comparatif entre accumulateurs

Type de batterie	Plomb	Nickel hydrure métallique	Lithium-ion	Lithium-polymère
Densité énergétique (Wh/kg)	30-50	50-120	110-250	130-200
Tension nominale (V)	2	3,7	3,7	3,7
Incidence du poids à puissance égale	100%	47%	32%	20%
Effet mémoire	Non	Oui	Non	Non
Autodécharge par mois	5 à 30%	>30%	5 à 10%	5 à 10%
Risques (inflammation, explosion) liés à l'endommagement des modules	Non	Non	Oui	Oui
Durée de vie (nombre de cycle de charge et de décharge)	300	500	750	750
Capacité de fonctionnement à -20°C	25%	0%	50%	50%
Température d'utilisation (°C)	-20 à +50	-20 à +60	-20 à +60	-20 à +60

58. Présenter les avantages et les inconvénients de l'utilisation d'une batterie lithium-polymère par rapport aux autres types d'accumulateurs.

III. Cellules solaires

Les cellules solaires du Solar Impulse sont produites par la société américaine SunPower

Document 10 : Cellules solaires SunPower

Matériaux : Silicium monocristallin

Épaisseur : 145 μ m.

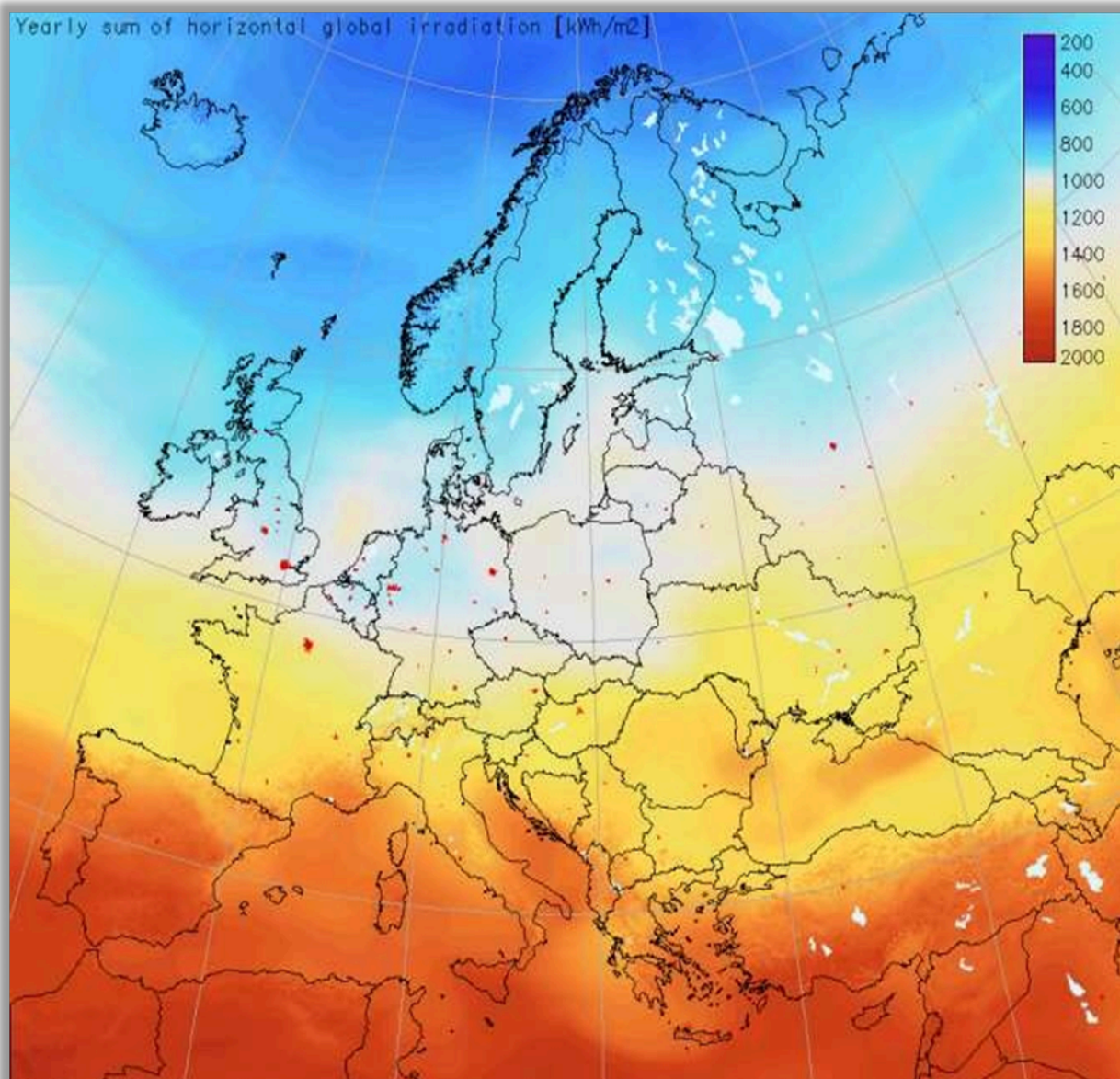
Rendement : $\eta_c = 22\%$

Le HB-SIA comporte 11628 cellules solaires dont 10 748 recouvrent les 200 m² des ailes et 880 recouvrent les 15 m² du stabilisateur horizontal.

Source : <http://www.solarimpulse.com/fr/Sunpower>

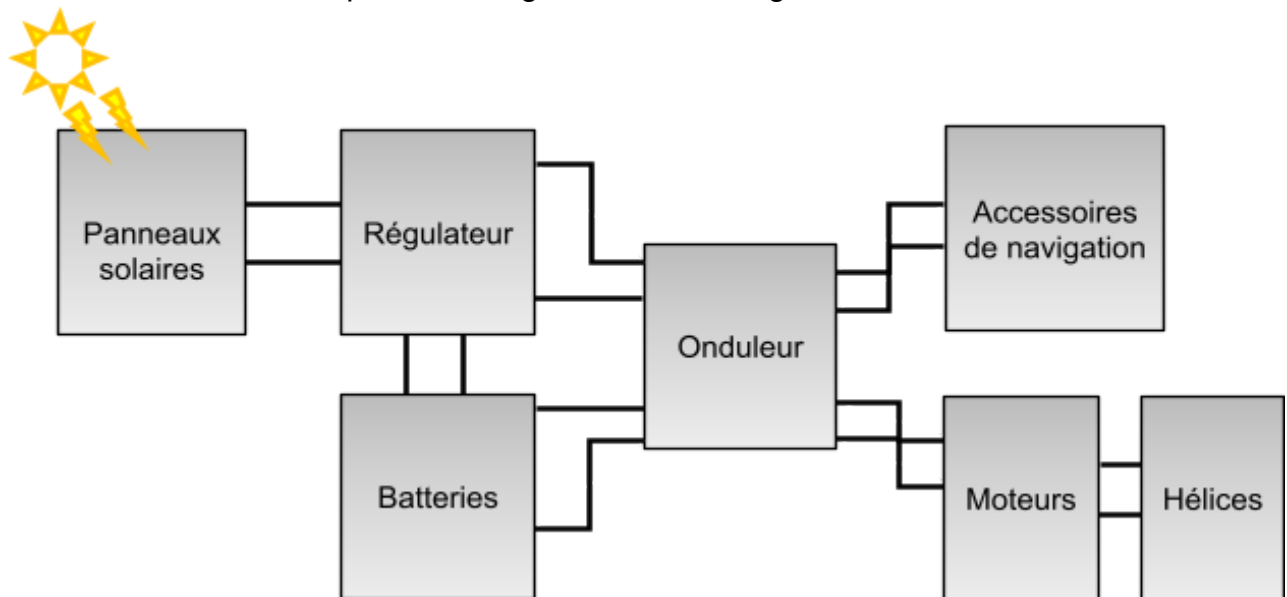


Document 11 : Irradiation moyenne annuelle en europe en 2010 (en kWh.m⁻²)



- 59.** Évaluer la quantité d'énergie électrique moyenne W_P , exprimée en MWh/an, produite par le Solar Impulse basé en Suisse pendant un an.
- 60.** En déduire l'énergie électrique maximale que pourrait produire l'ensemble des cellules du Solar Impulse pendant toute la durée journalière de l'ensoleillement.

Cette énergie sert d'une part à alimenter les moteurs de l'avion pendant la journée, et d'autre part à recharger les batteries de celui-ci. Cette charge ne peut s'effectuer de manière continue et il faut tenir compte de l'état de charge de la batterie. Pour cela, il est nécessaire de mettre en place des régulateurs de charge.



Les batteries à recharger possèdent une tension nominale de 4,35 V et une tension maximale à ne pas dépasser de 4,55 V.

61. Expliquer en quelques phrases le fonctionnement de ce type de régulation en faisant intervenir les notions de consigne et de commande.

62. Indiquer l'utilité de l'onduleur placé en amont des hélices tournantes.

IV. Moteurs et hélices

Le document 12 suivant fournit les caractéristiques de chacun des quatre moteurs équipant Solar Impulse.

Document 12 : moteur brushless ETEL

Type : brushless sensorless

Vitesse moyenne de rotation du moteur :

$$\omega_m = 4,0 \times 10^3 \text{ tours.min}^{-1}$$

Hélice bipale à pas fixe, de diamètre :

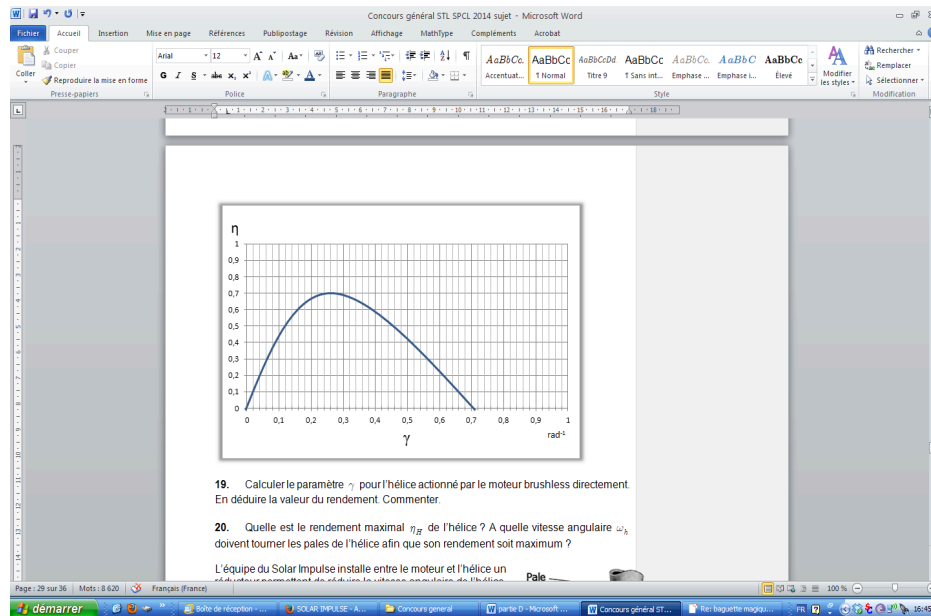
$$d = 3,5 \text{ m}$$

<http://www.solarimpulse.com/fr/avion/hb-sia/>



63. Rappeler la relation entre la puissance P_m fournie par un moteur, la vitesse de rotation ω_m et le couple moteur C_m . Calculer les valeurs de C_m lorsque l'avion vole de jour et lorsque celui-ci vole de nuit.

L'évolution du rendement η de l'hélice bipale actionnée par le moteur en fonction du paramètre γ de fonctionnement de l'hélice est la suivante :



Le paramètre γ de l'hélice s'exprime : $\gamma = \frac{V_a}{\omega_h d}$, avec :

V_a = vitesse de l'avion en m.s^{-1}

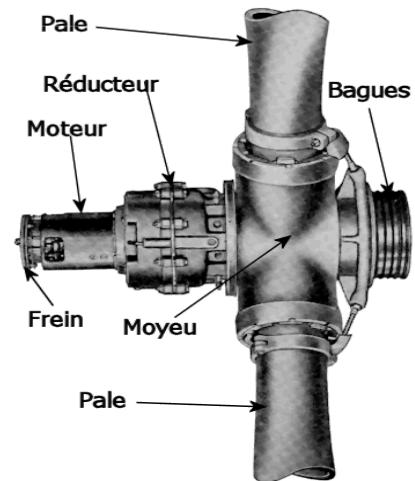
ω_h = vitesse angulaire de rotation de l'hélice en rad.s^{-1}

d = diamètre de l'hélice en m

La vitesse moyenne de l'avion est $V_a = 70 \text{ km.h}^{-1}$.

64. Quel est le rendement maximal η_h de l'hélice ? À quelle vitesse angulaire ω_h doivent tourner les pales de l'hélice afin que ce rendement soit maximal ?

65. Entre le moteur et l'hélice, se trouve un réducteur de vitesse angulaire. Déterminer la valeur du facteur de réduction.



V. Chaîne énergétique

66. A l'aide des données du tableau des caractéristiques énergétiques du prototype HB-SIA (document 7), calculer la valeur du rendement η_m d'un des moteurs.

67. Réaliser un schéma de la chaîne énergétique du Solar Impulse en fonctionnement de jour faisant apparaître :

- les organes de la chaîne : cellules solaires, réducteur/onduleur, moteurs, hélices ;
- les énergies de départ et d'arrivée ;
- les énergies échangées par les différents organes ;
- les rendements de chaque organe.

68. Déterminer la valeur du rendement global η_g de la chaîne, le groupe régulateur/onduleur possédant un rendement de 97 %. Commenter.

69. A l'aide du document 7, calculer la puissance radiative moyenne totale reçue par l'avion et en déduire la puissance moyenne P_H fournie en bout de chaîne par l'ensemble des hélices pour propulser l'avion en fonctionnement de jour.

Conclusion

70. En une vingtaine de lignes maximum, exposer votre vision des sources d'énergie d'ici à 2050.

Fin de l'épreuve

CLASSIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

Période IA

VIIIB

numéro atomique → ← masse atomique en g.mol⁻¹
no m → ↙ symbole

1 couche K	1 H hydrogène																	2 He hélium						
	3 Li lithium	4 Be béryllium																	5 B bore	6 C carbone	7 N azote	8 O oxygène	9 F fluor	10 Ne néon
2 couche L	11 Na sodium	12 Mg magnésium																	13 Al aluminium	14 Si silicium	15 P phosphore	16 S soufre	17 Cl chlore	18 Ar argon
	19 K potassium 37 85,5	20 Ca calcium 38 87,6	21 Sc scandium 39 88,9	22 Ti titane 40 91,2	23 V vanadium 41 92,9	24 Cr chrome 42 95,9	25 Mn manganèse 43 98,0	26 Fe fer 44 101,1	27 Co cobalt 45 102,9	28 Ni nickel 46 106,4	29 Cu cuivre 47 107,9	30 Zn zinc 48 112,4	31 Ga gallium 49 114,8	32 Ge germanium 50 118,7	33 As arsenic 51 121,8	34 Se sélénium 52 127,6	35 Br brome 53 126,9	36 Kr krypton 54 131,3						
3 couche M	37 Rb rubidium	38 Sr strontium	39 Y yttrium	40 Zr zirconium	41 Nb niobium	42 Mo molybdène	43 Tc technétium	44 Ru ruthénium	45 Rh rhodium	46 Pd palladium	47 Ag argent	48 Cd cadmium	49 In indium	50 Sn étain	51 Sb antimoine	52 Te tellure	53 I iode	54 Xe xénon						
	55 Cs césium	56 Ba baryum	57 La lanthane	72 Hf hafnium	73 Ta tantale	74 W tungstène	75 Re rhénium	76 Os osmium	77 Ir iridium	78 Pt platine	79 Au or	80 Hg mercure	81 Tl thallium	82 Pb plomb	83 Bi bismuth	84 Po polonium	85 At astate	86 Rn radon						
4 couche N	87 Fr francium	88 Ra radium	89 Ac actinium	104 Rf rutherfordiu.	105 Ha hahnium	106 Unh unnihexium	107 Ns nielsbohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium															
	111 Nh nihonium	112 Ds darmstadtium	113 Nh nihonium	114 Fl flérovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganesson																
5 couche O	117 Nh nihonium	118 Ds darmstadtium	119 Nh nihonium	120 Fl flérovium	121 Mc moscovium	122 Lv livermorium	123 Ts tennessine	124 Og oganesson																
	121 Nh nihonium	122 Ds darmstadtium	123 Nh nihonium	124 Fl flérovium	125 Mc moscovium	126 Lv livermorium	127 Ts tennessine	128 Og oganesson																
6 couche P	125 Nh nihonium	126 Ds darmstadtium	127 Nh nihonium	128 Fl flérovium	129 Mc moscovium	130 Lv livermorium	131 Ts tennessine	132 Og oganesson																
	131 Nh nihonium	132 Ds darmstadtium	133 Nh nihonium	134 Fl flérovium	135 Mc moscovium	136 Lv livermorium	137 Ts tennessine	138 Og oganesson																
7 couche Q	135 Nh nihonium	136 Ds darmstadtium	137 Nh nihonium	138 Fl flérovium	139 Mc moscovium	140 Lv livermorium	141 Ts tennessine	142 Og oganesson																
	141 Nh nihonium	142 Ds darmstadtium	143 Nh nihonium	144 Fl flérovium	145 Mc moscovium	146 Lv livermorium	147 Ts tennessine	148 Og oganesson																

Lanthanides

Actinides

58 140,1 Ce cerium	59 140,9 Pr praséodyme	60 144,2 Nd néodymium	61 145 Pm prométhium	62 150,4 Sm samarium	63 152,0 Eu europium	64 157,3 Gd gadolinium	65 158,9 Tb terbium	66 162,5 Dy dysprosium	67 164,9 Ho holmium	68 167,3 Er erbio	69 168,9 Tm thulium	70 173,0 Yb ytterbium	71 175,0 Lu lutétium
90 232,0 Th thorium	91 231,0 Pa protactinium	92 238,0 U uranium	93 237,0 Np neptunium	94 242 Pu plutonium	95 243 Am américium	96 247 Cm curium	97 247 Bk berkélium	98 251 Cf californium	99 254 Es einsteinium	100 253 Fm fermium	101 256 Md mendélévii.	102 254 No nobélium	103 257 Lr lawrencium

	protactiniu m												
--	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--