

Concours externe du Capes et Cafep-Capes

Section Physique-chimie

Exemples de sujets (Épreuves d'admissibilité et d'admission)

À compter de la session 2014, les épreuves du concours sont modifiées. L'arrêté du 19 avril 2013, publié au journal officiel du 27 avril 2013, fixe les modalités d'organisation du concours et décrit le nouveau schéma des épreuves.

CAPES physique-chimie

Sujet zéro pour l'admissibilité

Epreuve 1 : Composition

Texte d'accompagnement du sujet zéro

Rappel du texte règlementaire

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>

1° Composition.

Durée : cinq heures ; coefficient 1.

Cette épreuve repose sur la maîtrise des savoirs académiques et de la pratique d'une démarche scientifique ; elle peut être complétée par une exploitation dans le cadre des enseignements au collège ou au lycée.

Le programme des épreuves d'admissibilité est constitué des programmes de physique et de chimie du collège, du lycée (voies générale et technologique) et des enseignements post-baccalauréat (STS et CPGE). Les notions traitées dans ces programmes doivent pouvoir être abordées au niveau M1.

Présentation de l'épreuve

La première épreuve d'admissibilité "composition" peut porter sur de la physique, de la chimie ou sur les deux disciplines. Les parts de physique et de chimie sont équilibrées sur l'ensemble des deux épreuves d'admissibilité.

Comme le précise le texte règlementaire, cette épreuve vise à évaluer les savoirs académiques - connaissances, savoir-faire associés, aptitude à s'approprier progressivement une problématique complexe - et sur la pratique de la démarche scientifique.

Le sujet s'articule autour d'une thématique ; celle-ci est l'occasion d'explorer plusieurs champs disciplinaires et de diversifier ainsi les capacités évaluées. Ressemblant fortement aux épreuves d'admissibilité des sessions précédentes, il fait largement appel au formalisme dédié à la physique et à la chimie, contient des questions plus ou moins ouvertes qui intègrent des démarches de résolution de problème faisant désormais partie des apprentissages et des évaluations en terminale scientifique et en classes préparatoires aux grandes écoles et déjà présentes dans les sujets 2013.

Le sujet propose des questions fermées, guidant étape par étape vers une solution, pour lesquelles l'initiative est plus limitée, et des questions plus ouvertes pour lesquelles le candidat doit faire preuve d'autonomie dans la démarche de résolution et être capable d'explicitier la stratégie choisie pour apporter une réponse.

Certaines questions constituent de véritables tâches à effectuer, relevant de l'analyse et de l'exploitation de documents fournis avec le sujet ou d'une communication rigoureuse et scientifique adaptée à un public expert ou à un public d'élèves de collège ou de lycée.

Le sujet est divisé en plusieurs parties largement indépendantes.

On attend du candidat :

- une maîtrise des contenus scientifiques au programme du concours : les grandeurs, les lois, les modèles et leur domaine de validité, la capacité à les contextualiser à différents niveaux ...
- une mise en œuvre rigoureuse du formalisme utilisé en physique et chimie et une aisance dans son usage ;
- la capacité à exploiter des données et à mener à son terme une étude quantitative avec analyse critique des résultats numériques obtenus ;
- la capacité à expliciter par des phrases une démarche de résolution et la signification scientifique d'une étude ou des résultats auxquels elle conduit ;
- la maîtrise de tous les outils de communication utilisés par les scientifiques (schémas, graphes, tableaux, ...) et la capacité à en effectuer un choix pertinent pour répondre à une problématique ;
- une maîtrise des compétences de la démarche scientifique appliquée à la résolution de problème : appropriation d'une problématique, analyse, mise en œuvre d'une démarche de résolution et validation du résultat obtenu ;
- la capacité à transposer pour des élèves de lycée un contenu scientifique prenant ses racines au-delà du baccalauréat ;
- une maîtrise de la langue au service de l'exposition de contenus scientifiques (voir texte d'accompagnement de l'épreuve d'admissibilité 2) ;
- de la rigueur et de l'honnêteté scientifique mais aussi la capacité à jeter un regard critique sur les contenus des documents proposés ;
- une qualité rédactionnelle et organisationnelle de la composition en adéquation avec le métier envisagé.

SUJET ZÉRO

CAPES EXTERNE DE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES SESSION 2014

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ N°1

COMPOSITION

<h3>THÈME : L'ÉNERGIE</h3>

Certaines lois physiques ont un caractère universel, parmi celles-ci, la loi de conservation de l'énergie, vérifiée aussi bien à l'échelle microscopique, qu'à l'échelle humaine ou astronomique, a un statut tout particulier, car elle concerne tous les domaines de la physique.

L'énergie est aussi un produit industriel et commercial, qui a pris une importance grandissante au cours des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles. Cette énergie-là se produit et se consomme ; il ne s'agit donc pas de la même que celle du physicien, qui se conserve. Le physicien verra, dans cette production ou cette consommation d'énergie, des transformations d'une forme d'énergie en une autre forme d'énergie.

Le développement de notre civilisation et de la qualité de vie s'est traduit par un accroissement exponentiel et récent des besoins en énergie. La facilité du stockage, du transport et de l'utilisation des énergies fossiles expliquent l'importance de leur consommation actuelle. La conséquence en est l'épuisement progressif du stock d'énergies fossiles, et la détérioration de notre environnement.

Désormais, il nous faut penser à l'utilisation rationnelle du stock disponible, et exploiter les ressources énergétiques renouvelables que sont les énergies de flux : hydraulique, éolien, solaire,.... Cela passe notamment par un stockage de l'énergie lorsqu'elle est produite de façon intermittente.

L'objet de ce problème est d'aborder quelques unes des multiples facettes de ce très vaste sujet qu'est **l'énergie**, telles son origine, ses transformations et son stockage.

Dans ce sujet, un certain nombre de questions nécessitent une réponse argumentée, sous forme d'un texte produit par le candidat, qu'il accompagnera éventuellement de schémas. De façon à limiter l'ampleur de ces textes, il est précisé la longueur maximum des réponses attendue (exprimée en nombre de mots)

Des données, un formulaire et des extraits de programmes, rassemblés en fin d'énoncé, pourront être utiles pour répondre à certaines questions de ce sujet.

Les questions sont numérotées par une lettre (allant de A à F) et un chiffre ; les six groupes de questions (groupes A à F) ont des importances sensiblement voisines.

1. L'énergie qui nous vient du soleil

1.1. Quelques données globales

A-1- On considère que le Soleil se comporte comme un corps noir à la température T_S , température de surface du Soleil.

Proposer une expérience permettant de déterminer la température T_S de la surface du Soleil. (*réponse en 100 mots maximum*)

A-2- Cette expérience conduit à une valeur de T_S égale environ à $T_S = 5800$ K. Calculer la puissance P_S rayonnée par le Soleil.

A-3- Calculer la puissance P_r reçue par la Terre de la part du Soleil.

A-4- A partir de vos connaissances, proposer une valeur de la température moyenne de la surface de la Terre, puis calculer la puissance P_T rayonnée par la Terre (la Terre étant assimilée à un corps noir).

A-5- Comparer la puissance reçue par la Terre et celle rayonnée par la Terre. Vos commentaires porteront sur deux points :

- la Terre est-elle en équilibre thermique ?
- dans le bilan de puissance échangé par la Terre, a-t-on oublié des contributions importantes ? Si oui, lesquelles ?

A-6- La puissance moyenne rayonnée par le Soleil est telle qu'au niveau de la surface de la Terre, la puissance moyenne absorbée par unité de surface de la Terre est $\Phi_r = 2,4 \cdot 10^2 \text{ W.m}^{-2}$. En déduire l'albédo moyen A de la Terre ?

L'albédo mesure la fraction de l'énergie solaire réfléchiée par la surface de la Terre.

1.2. Combien de photons sur un pixel d'appareil photo ?

Une deuxième façon d'aborder l'énergie qui nous vient du Soleil est de la considérer comme la somme des quanta d'énergie transportés par les photons qui la constituent. Nous allons ici considérer le cas de la photographie numérique, avec comme objectif la détermination du nombre de photons par pixel nécessaires à la réalisation d'une photographie de qualité.

A-7- À partir des documents ci-dessous et en introduisant toute grandeur pertinente utile à votre résolution, déterminez un ordre de grandeur du nombre de photons qui, en plein jour, parviennent sur un pixel de l'appareil photo envisagé. On explicitera la démarche et on analysera soigneusement le résultat obtenu.

Certaines informations données ne sont pas directement utiles à la résolution et d'autres, qui relèvent de la culture générale, ne sont pas rappelées ; le candidat devra donc faire preuve d'initiative.

Document numéro 1 :

Les données techniques relevées sur le site d'un revendeur d'appareils photos, concernant un appareil réflex moyenne gamme sont :

Taille du capteur C.C.D. : $18 \times 13,5 \text{ mm}^2$

Nombre de pixels : 12 millions

Focale de l'objectif : 50 mm

Ouverture de l'objectif : $f/3,5-5,6$

Vitesse d'obturation : de 60 à $1/4000$ sec.

Document numéro 2 :

D'après l'article "La lumière, c'est combien de photons" ; Pour la Science ; Octobre Décembre 2006.

Texte 1 :

Compter les photons à l'unité c'est ce que réalisent les détecteurs des appareils de photo numériques : les C.C.D. (*charge coupling device*). Le détecteur C.C.D. est un damier de détecteurs élémentaires, les photosites. Chacun d'eux est composé d'une jonction de matériaux semi-

conducteurs. Chaque photon incident extrait un électron de l'un des matériaux de la jonction. L'électron libéré traverse la jonction et est collecté dans un condensateur électrique associé à chaque photosite.

Texte 2 :

L'énergie solaire qui nous parvient du Soleil atteint un kilowatt par mètre carré lorsque le Soleil est au zénith. Lors d'une prise de vue de jour, les objets éclairés renvoient dans toutes les directions la lumière solaire. Le flux de photons nous parvenant de ces objets vaut un centième du flux solaire.

Texte 3 :

Les photons arrivent au hasard sur le détecteur, à la manière des gouttes de pluies sur une vitre de voiture. Le nombre de photons reçus par pixel fluctue d'une grandeur égale à la racine carrée de la moyenne de ce nombre. Si l'on photographie une page uniformément blanche de sorte que 100 photons arrivent en moyenne sur un pixel, on constate que le nombre de photons reçus par pixel varie de 90 à 110. De telles variations de 10 % sont visibles sur l'image. En revanche pour 10000 photons en moyenne les fluctuations typiques sont de 100, soit de un pour cent : elles restent invisibles à l'œil.

Document numéro 3 :



Figure 1 : Photo de l'appareil photo.

2. Sources primaires d'énergie

L'énergie qui nous vient du Soleil sous forme électromagnétique est ensuite transformée par différents processus. Les sources primaires d'énergie que nous utilisons (voir tableau ci dessous) sont très souvent le résultat de ces transformations plus ou moins longues et plus ou moins anciennes.

Sources primaires d'énergie	Production 2008 (Mtep)
Pétrole	3930
Gaz naturel	2770
Charbon, lignite	3320
Biomasse	1280
Energie nucléaire	620
Hydraulique	696
Eolien	60
Solaire photovoltaïque	0,68
Autres (géothermie, énergie animale, houle, marée)	
Total	12700

B-8- Parmi les sources primaires d'énergie, citer, en argumentant, celles qui ne peuvent pas être considérées comme le résultat d'une transformation de l'énergie du rayonnement solaire. (réponse en 200 mots maximum)

B-9- Le pétrole est très largement utilisé comme source primaire d'énergie. Il en a résulté une nouvelle unité d'énergie, la tonne d'équivalent pétrole (ou tep). Elle correspond à l'énergie dégagée par combustion d'une tonne de pétrole, en moyenne. Une valeur arrondie de cette unité est la suivante :

$$1 \text{ tep} = 42 \text{ GJ}$$

En vous aidant des données utiles (dont certaines peuvent être trouvées dans l'annexe « données numériques » en fin d'énoncé) et en explicitant votre démarche, retrouver un ordre de grandeur de la valeur arrondie de la tonne d'équivalent pétrole ; on veillera à commenter le résultat obtenu.

Pour cette détermination, le candidat pourra s'appuyer sur certaines informations fournies dans l'annexe « données numériques et formulaire » et sur sa culture générale ; le candidat peut donc être amené à faire preuve d'initiative.

3. Conversions d'énergie

3.1. Conversion d'énergie interne en énergie mécanique

Les installations motrices à vapeur sont des machines à apport de chaleur externe, fournie soit par réaction nucléaire, soit par combustion. Au cœur de ces installations se trouve un fluide, de l'eau, auquel on fait subir une succession de transformations formant un cycle. Au cours de ce cycle, l'eau se transforme en vapeur, à haute pression, sa détente met en rotation une turbine qui entraîne un alternateur qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.

Le cycle de base, ou cycle de Rankine, est proche d'un cycle de Carnot qui fera l'objet de notre étude. Pour simplifier, toutes les transformations envisagées dans cette partie seront supposées réversibles. Les propriétés thermodynamiques de l'eau, dont nous aurons besoin sont fournies dans le tableau suivant :

	T (°C)	P (kPa)	h_l (kJ.kg ⁻¹)	h_v (kJ.kg ⁻¹)	s_l (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	s_v (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	c_{pl} (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	c_{pv} (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
I	21	2,47	87,5	2540	?	8,65	4,18	1,91
II	251	4030	1090	2800	2,81	6,07	4,88	4,03
III	374	22100	2080	2080	4,41	4,41	-	-
IV	477	4030	-	-	-	-	-	-

Tableau : Données thermodynamiques de l'eau

h_l et h_v , s_l et s_v , c_{pl} et c_{pv} sont respectivement les enthalpies massiques, les entropies massiques et les capacités calorifiques massiques à pression constantes de l'eau liquide saturant et de l'eau vapeur saturante dans les conditions de température T et de pression P indiquées. Le symbole « - » signifie que la grandeur de la colonne n'est pas définie dans la ligne correspondante.

C-10- Enthalpie massique d'un corps pur fluide

C-10-1- Exprimer l'enthalpie massique h d'un fluide en fonction de son énergie interne massique u , de sa pression P et de sa masse volumique μ .

C-10-2- On considère le cas où le fluide est un corps pur diphasé, à l'équilibre à la température T , composé d'une phase liquide et d'une phase vapeur et on note x la fraction massique de vapeur. Exprimer l'enthalpie massique h du système en fonction de x , de l'enthalpie massique de la phase vapeur $h_v(T)$ et de l'enthalpie massique de la phase liquide $h_l(T)$.

C-11- Premier principe de la thermodynamique appliqué aux fluides en écoulement permanent unidimensionnel.

Un fluide quelconque s'écoule de façon permanente dans une conduite, depuis la section d'entrée (où toutes les grandeurs sont indicées d'un "e") jusqu'à la section de sortie (où toutes les grandeurs sont indicées "s").

On note T_e , P_e et μ_e respectivement la température, la pression et la masse volumique à l'entrée, et en sortie les grandeurs homologues T_s , P_s et μ_s . Les énergies cinétiques massiques sont supposées négligeables, l'énergie potentielle massique ne varie pas entre l'entrée et la sortie.

Les enthalpies massiques du fluide à l'entrée et à la sortie sont notées respectivement h_e et h_s .

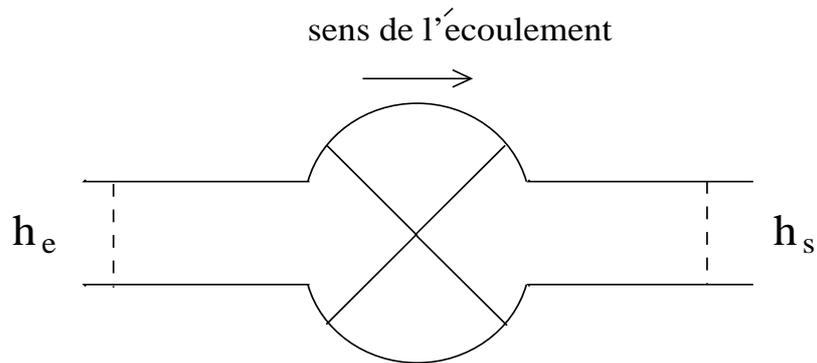


Figure 2 – Coupe d'un dispositif où s'écoule un fluide

Au centre du dispositif de la figure 2, le renflement marqué d'une grande croix représente le cœur du dispositif, là où le fluide qui passe peut recevoir le travail massique utile w_u , qui représente le travail massique reçu autre que celui des forces de pression à l'entrée et à la sortie, et la chaleur massique q_{th} . Ces deux grandeurs w_u et q_{th} sont les énergies reçues par le fluide au passage par le renflement, ramenées à l'unité de masse de fluide.

C-11-1- Quelle relation entre les grandeurs d'entrée et de sortie du dispositif traduit le premier principe ?

C-11-2- Si le fluide évolue de façon adiabatique, que représente $h_s - h_e$?

C-11-3- Si le fluide s'écoule dans un échangeur thermique, dans lequel il n'échange aucun travail utile, que représente $h_s - h_e$?

C-12 - Entropie massique d'un corps pur fluide et lecture du diagramme entropique T(s)

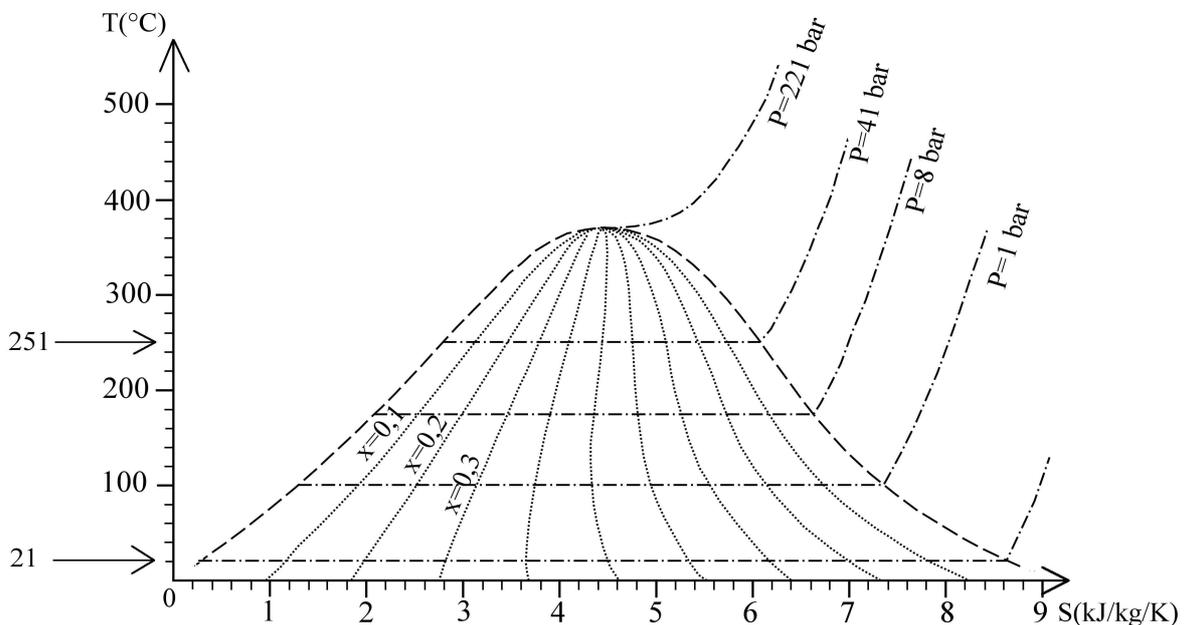


Figure 3 : Diagramme entropique de l'eau

C-12-1 - Le diagramme entropique de l'eau de la figure 3 est la représentation de l'évolution de la température, ici en °C, placée en ordonnée en fonction de l'entropie d'un système composé d'une unité de masse d'eau au cours de **transformations isobares**. En tirets gras est représentée la courbe de saturation qui limite le domaine où existe l'équilibre entre la vapeur et le liquide. Sont représentées en pointillés fins les courbes le long desquelles la fraction massique x de vapeur est constante, pour $x = 0,1$, $x = 0,2$, $x = 0,3$, etc.

- i- Sur un diagramme entropique que vous aurez reproduit schématiquement, placer les domaines de coexistence du liquide et de la vapeur, d'existence de la phase gazeuse, et d'existence de la phase liquide.
- ii- Justifier l'existence d'un palier sur une isobare dans un diagramme entropique.

C-12-2 - Si le fluide est diphasé à la température T , composé d'une phase liquide et d'une phase vapeur, de sorte que la fraction massique de vapeur soit notée x , exprimer l'entropie massique s du système en fonction de x , de l'entropie massique de la phase vapeur $s_v(T)$ et de l'entropie massique de la phase liquide $s_l(T)$.

C-12 -3- En considérant la vaporisation complète d'un kilogramme d'eau, dont l'état initial est liquide saturant, isotherme à la température T , établir le lien entre $s_l(T)$, $s_v(T)$, $h_l(T)$, $h_v(T)$ et T .

C-13- Le tableau fourni comprend quatre lignes.

C-13-1- En vous servant des données du tableau, compléter la colonne s , du tableau pour la ligne I. Comparer la valeur obtenue à celle lue directement sur le diagramme entropique fourni en figure 3.

C-13-2- Commenter les données numériques fournies dans les lignes III et IV du tableau des données thermodynamiques de l'eau.

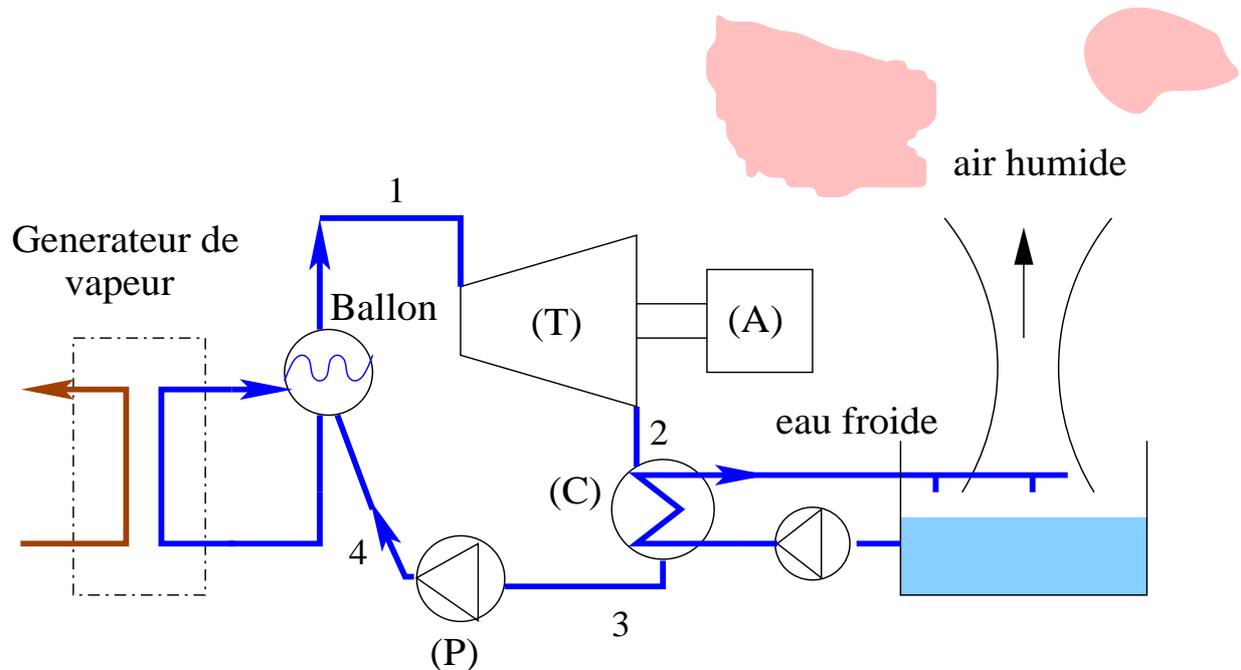


Figure 4 : Installation Motrice à Vapeur : I.M.V.

Le schéma d'une I.M.V. représenté figure 4 fait apparaître différents éléments :

- Le générateur de vapeur (G.V.), dans lequel le fluide, ici de l'eau, est transformé en vapeur. Les tubes vaporisateurs traversent l'échangeur thermique dans lequel passe aussi le fluide caloporteur issu du cœur de réacteur. L'eau diphasique n'est pas totalement vaporisée dans les tubes, mais les phases vapeur et liquide sont séparées par gravité dans le ballon de sorte que le fluide en 1 soit bien de la vapeur saturante. La transformation de l'eau de 4 à 1 dans le générateur de vapeur et le ballon est isobare.
- La turbine (T) dans laquelle la vapeur se détend de la haute pression à la basse pression. La transformation dans la turbine de 1 à 2 est adiabatique.
- Un condenseur (C) où l'eau se condense par échange de chaleur avec un fluide froid provenant d'un fleuve par exemple. La transformation dans le condenseur de 2 à 3 est isobare.
- Une pompe (P) remet alors le fluide à la pression du fluide qui traverse le générateur de vapeur.

La transformation dans la pompe de 3 à 4 est adiabatique. La puissance nécessaire au fonctionnement de la pompe est prélevée sur l'arbre de la turbine.

- Par ailleurs, la transformation d'énergie mécanique en énergie électrique est effectuée par un alternateur (A), et une alimentation en eau froide provenant d'une rivière assure le refroidissement et la condensation de l'eau après passage par la turbine.

C-14- La figure 5 est la représentation du cycle de Carnot sur le diagramme entropique de l'eau.

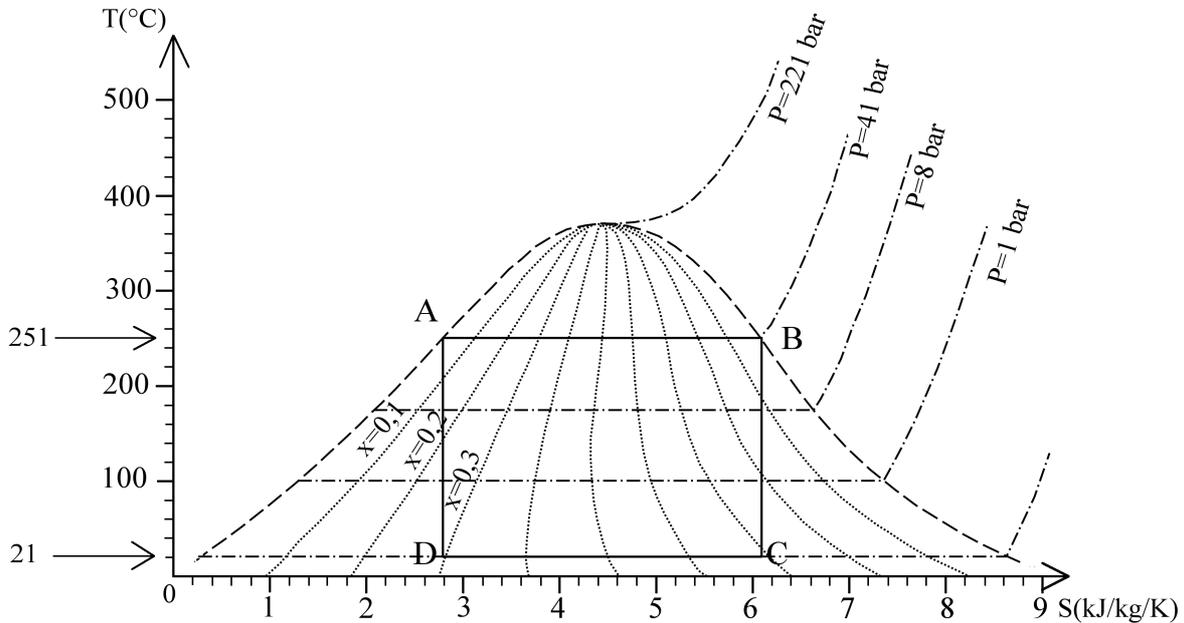


Figure 5 – Cycle de Carnot dans un diagramme entropique de l'eau

C-14-1- Quel est l'état du fluide aux points A, B, C et D ? On précisera dans chaque cas l'état physique, la température, la pression et la fraction massique de vapeur, en utilisant les données du tableau pour obtenir un résultat précis.

C-14-2- Reproduire le cycle de Carnot dans un diagramme entropique avec la température exprimée en kelvin, et placer les numéros 1, 2, 3, 4, des états successifs de l'eau définis dans la description du fonctionnement de la machine sur le cycle.

C-14-3- Quelle est la phase motrice ? Quelle est la phase pendant laquelle le système reçoit de la chaleur ?

C-14-4- Rendement du cycle :

- i- Montrer que l'aire du rectangle ABCD dans le diagramme entropique, affectée du signe correct, peut être interprétée comme le travail utile reçu au cours d'un cycle, ramené à l'unité de masse de fluide.
- ii- Sur le diagramme reproduit à la question 14 - 2, identifier de même l'aire qui correspondrait à la chaleur reçue, ramenée à l'unité de masse, au cours de l'échange thermique dans le générateur de vapeur pendant un cycle.
- iii- Définir, puis calculer le rendement du cycle en fonction des températures extrêmes atteintes par le fluide T_{max} et T_{min} .
- iv- Commenter le résultat obtenu.

Le cycle de Carnot n'est pas réalisé en pratique, à cause de la phase de compression (de 3 à 4) qui aurait lieu sur un système diphasique. Dans une partie ultérieure de ce problème nous étudierons une pompe centrifuge : pour que celle-ci fonctionne correctement le fluide doit être monophasique.

3. 2. Conversion d'énergie mécanique en énergie électrique

Les dispositifs qui permettent de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique sont le plus souvent des machines électriques tournantes. C'est le phénomène d'induction électromagnétique qui permet de comprendre le fonctionnement de la machine.

Aucune connaissance particulière en électrotechnique n'est nécessaire pour aborder cette partie.

La machine que nous étudierons est un alternateur, élément d'une éolienne individuelle susceptible d'alimenter une ferme, un système de pompage ou une habitation. Lorsqu'elle fonctionne de façon optimale, elle fournit une puissance électrique $P_N = 6 \text{ kW}$. Le diamètre de ses pales est 5,6 m, sa vitesse de rotation moyenne est de 150 tr/min. Le vent fait tourner les pales de l'éolienne qui entraînent le rotor de la machine électrique, qui crée alors de l'électricité.

Le constructeur de l'éolienne indique que l'alternateur est à aimant permanent.

Description de l'alternateur (figure 6) :

. Le **rotor** est un solide de moment d'inertie J par rapport à l'axe Oz qui peut tourner autour de son axe Oz . Il est repéré dans le référentiel lié au stator par un angle $\theta(t)$.

Le rotor a des propriétés magnétiques, il peut être vu comme un aimant permanent, caractérisé par son moment magnétique : $\vec{M} = M_0 \vec{n}$ où M_0 est la valeur du moment magnétique de l'aimant et \vec{n} est un vecteur unitaire tournant contenu dans le plan xOy , repéré par l'angle $\theta(t)$ qu'il fait avec l'axe Ox .

Le rotor crée dans son environnement un champ magnétique que l'on notera \vec{B}_r .

Dans notre étude, le rotor est entraîné par un système mécanique non représenté, qui exerce un couple moteur dont le moment par rapport à l'axe Oz est noté $\vec{\Gamma}_m = \Gamma_m \vec{e}_z$ où $\Gamma_m > 0$.

Enfin, on notera le moment du couple de frottements : $\vec{\Gamma}_f = -\Gamma_f \vec{e}_z$ où $\Gamma_f > 0$.

. Le **stator** de l'alternateur est constitué de deux associations de deux bobines (B_1, B'_1) et (B_2, B'_2) . Toutes les bobines sont identiques. Les bobines (B_1, B'_1) ont leur axe commun, et leur sens de bobinage est identique. De même les bobines (B_2, B'_2) sont disposées de la même façon l'une par rapport à l'autre, mais leur axe est décalé d'un angle de $\pi/2$ par rapport à l'axe des bobines (B_1, B'_1) .

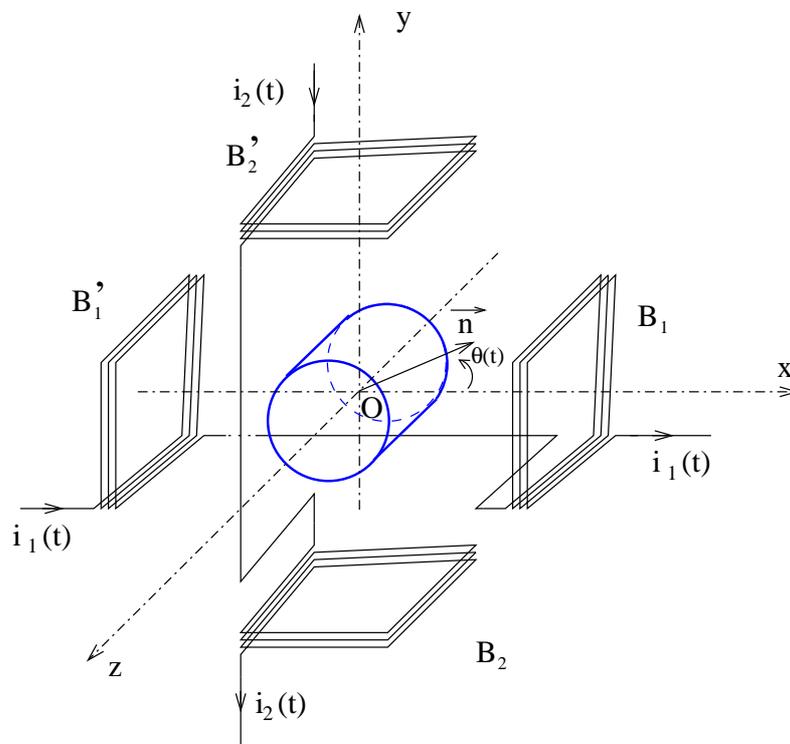


Figure 6 : Schéma de l'alternateur.

Chaque association de bobines forme un circuit qui est fermé sur un récepteur électrique, qu'on assimile ici à une charge purement résistive R_c (figure 7). Chacune des bobines a une résistance $r = 1 \Omega$ et une autoinductance $L = 0,2 \text{ mH}$.

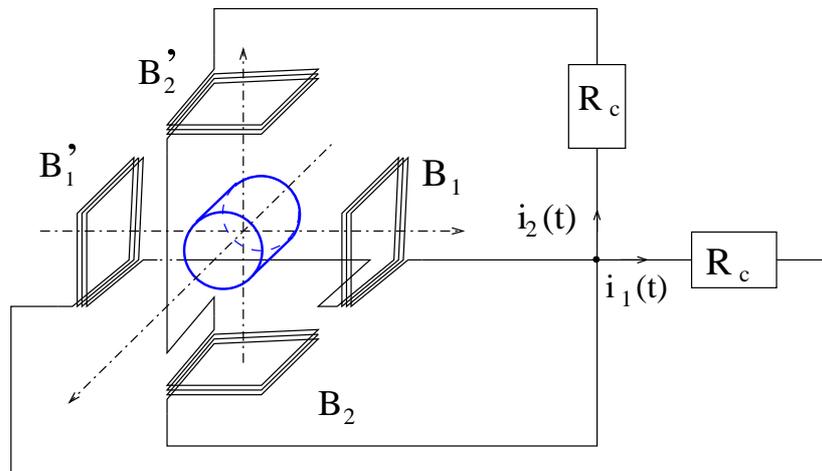


Figure 7 : Schéma de l'alternateur connecté à la charge électrique.

Par la suite, nous ne nous intéresserons qu'au fonctionnement de l'alternateur en régime permanent mécanique, c'est-à-dire lorsque la vitesse de rotation du rotor Ω est une constante positive. L'origine du temps est choisie de sorte que $\theta(t) = \Omega \cdot t$.

D-15- Nous commencerons par étudier le phénomène d'induction qui se produit au stator de l'alternateur.

D-15-1- Soit $\phi(t)$ le flux d'un champ magnétique à travers un circuit électrique filiforme fermé quelconque.

- i- Rappeler la définition du flux $\phi(t)$ du champ magnétique à travers le circuit.
- ii- Énoncer la loi de Faraday qui relie la force électromotrice $e(t)$ induite dans le circuit au flux $\phi(t)$.

Le flux du champ magnétique à travers les bobines (B_1, B_1') est assez difficile à calculer, mais on admet avec une bonne approximation qu'il peut s'écrire comme le produit scalaire suivant :

$$\phi_1(t) = \phi_0 \vec{n} \cdot \vec{e}_x$$

il est donc proportionnel au produit scalaire entre le vecteur \vec{n} qui dirige le moment magnétique porté par le rotor et le vecteur \vec{e}_x normal aux sections des bobines (B_1, B_1'). On définit de manière

analogue le flux $\phi_2(t)$ à travers les bobines (B_2, B_2'), soit : $\phi_2(t) = \phi_0 \vec{n} \cdot \vec{e}_y$

D-15-2- Justifier l'orientation selon $+\vec{e}_x$ des surfaces des bobines (B_1, B_1').

D-15-3- Exprimer $\phi_1(t)$ et $\phi_2(t)$ en fonction de ϕ_0 et $\theta(t)$.

D-15-4- En déduire les forces électromotrices induites dans les bobines (B_1, B_1') et (B_2, B_2') en fonction de ϕ_0, Ω , et t , elles seront notées respectivement $e_1(t)$ et $e_2(t)$.

D-16- Intéressons nous maintenant à la puissance électrique délivrée à la charge.

D-16-1- Justifier le fait que le schéma électrique équivalent à l'ensemble formé des bobines (B_1, B_1') fermées sur la charge R_c soit conforme à celui de la figure 8.

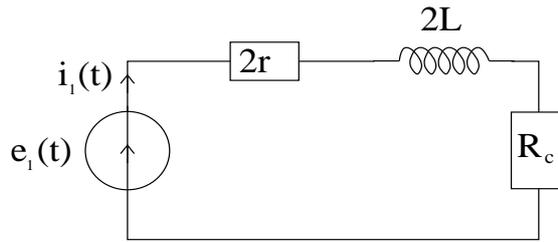


Figure 8 : Schéma équivalent du circuit des bobines (B_1, B'_1).

Le schéma électrique équivalent au circuit des bobines (B_2, B'_2) est similaire à celui des bobines (B_1, B'_1).

D-16-2- Établir les équations électriques qui relient $i_1(t)$ à $e_1(t)$ d'une part et $i_2(t)$ à $e_2(t)$ d'autre part.

Par la suite, on pose : $\phi = \text{Arc tan} \frac{2L\Omega}{2r + R_c}$. On se place en régime établi.

D-16-3- Pour calculer les courants $i_1(t)$ et $i_2(t)$, on utilise la notation complexe. Exprimer l'amplitude complexe associée à $i_1(t)$ et notée I_1 en fonction de ϕ_0, L, r, R_c et Ω . Exprimer de même l'amplitude complexe I_2 associée à $i_2(t)$.

On rappelle que si la grandeur $x(t)$ est sinusoïdale de pulsation Ω et s'écrit $x(t) = X_m \cos(\Omega t + \psi)$, alors son amplitude complexe est $\underline{X} = X_m e^{j\Omega t}$.

À partir des expressions de I_1 et I_2 , on admet les expressions des courants $i_1(t)$ et $i_2(t)$

$$i_1(t) = \frac{\phi_0 \Omega}{\sqrt{(2r + R_c)^2 + (2L\Omega)^2}} \cos(\Omega t - \frac{\pi}{2} - \phi) \quad i_2(t) = \frac{\phi_0 \Omega}{\sqrt{(2r + R_c)^2 + (2L\Omega)^2}} \cos(\Omega t - \pi - \phi)$$

D-16-4- Les courbes (a) et (b) de la figure 9 sont celles des courants $i_1(t)$ et $i_2(t)$ en fonction du temps.

- i- Faire correspondre aux courbes (a) et (b) les courants correspondants, en justifiant la réponse.
- ii- Le courant $i_1(t)$ est-il en avance ou en retard sur $i_2(t)$?
- iii- Dédurre de ces courbes la vitesse de rotation du rotor. Comparer cette valeur à la vitesse de rotation du fonctionnement optimal.

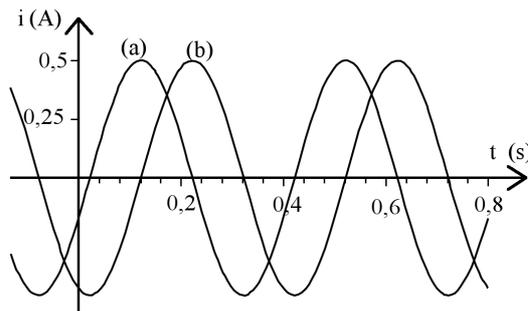


Figure 9 : Évolution des courants $i_1(t)$ et $i_2(t)$ en fonction du temps

D-16-5- On note P_{c1} la puissance électrique moyenne délivrée par les bobines (B_1, B'_1) à la résistance R_c . Donner l'expression de P_{c1} en fonction de ϕ_0, Ω et des éléments du circuit de la figure 8.

Par la suite, on notera P_{c2} la puissance délivrée par les bobines (B_2, B'_2) à la résistance R_c à laquelle elles sont reliées.

D-17- Étudions désormais le phénomène physique qui permet le transfert de l'énergie depuis sa forme mécanique à sa forme électrique.

Pour cela nous considérerons le système mécanique que constitue le rotor. La liaison pivot du rotor sur l'axe Oz est parfaite (son moment par rapport à l'axe ainsi que sa puissance sont nuls). Les bobines (B_1, B'_1) parcourues par le courant $i_1(t)$ et les bobines (B_2, B'_2) parcourues par le courant $i_2(t)$ créent en O et en son voisinage un champ magnétique tournant $\vec{B}_{stat}(t)$, qui tourne la vitesse angulaire Ω . Ce champ magnétique soumet le rotor à un couple de moment :

$$\vec{T} = \vec{M} \wedge \vec{B}_{stat}(t) = T \vec{e}_z$$

D-17-1- En appliquant le théorème du moment cinétique scalaire, relier Γ , Γ_f et Γ_m .

D-17-2- On admet que le couplage électromécanique se traduit ici par l'égalité :

$$\Gamma \Omega + \langle e_1(t) \cdot i_1(t) + e_2(t) \cdot i_2(t) \rangle = 0$$

où $\langle e_1(t) \cdot i_1(t) + e_2(t) \cdot i_2(t) \rangle$ représente la moyenne temporelle de $e_1(t) \cdot i_1(t) + e_2(t) \cdot i_2(t)$.

-i- En déduire la relation :

$$\Gamma_m \Omega = \Gamma_f \Omega + P_{c1} + P_{c2} + P_{joule}$$

où P_{joule} représente la puissance perdue par effet Joule dans les résistances des bobinages.

-ii- Interpréter la relation précédente.

4. Stockage de l'énergie



Figure 10 : couverture d'une revue scientifique « grand public »

E-18- Un numéro récent d'une revue scientifique traite du stockage de différentes « formes » d'énergie. Sa couverture est reproduite ci-dessus (figure 10).

Commentez ce document (en vous adressant par exemple à un élève de terminale S), en vous attachant à définir les termes utilisés, à préciser les « formes » d'énergie stockée, et à mettre en évidence les inexactitudes scientifiques que le service de presse de cet organisme scientifique s'est permises pour rendre son message plus intelligible auprès du grand public.

(réponse en 300 mots maximum).

E-19- L'objet de cette partie est l'étude d'une S.T.E.P., Station de Transfert d'Énergie par Pompage, située à Revin en France, dont la photo est donnée ci-après sur la figure 11, elle est actuellement en activité.



Figure 11 : Photo des réservoirs de la S.T.E.P. de Revin

Elle utilise deux réservoirs. Le réservoir du haut, appelé "les Marquisades" a une superficie de $6,6 \cdot 10^5 \text{ m}^2$ et un volume total lorsqu'il est plein de 8,5 millions de m^3 , le réservoir du bas appelé bassin de "Whitaker" a un volume total de 9 millions de m^3 .

L'altitude de la surface libre du réservoir du haut varie entre sa valeur maximale $Z_{h,max} = 406 \text{ m}$ et l'altitude minimale $Z_{h,min} = 395 \text{ m}$.

La différence d'altitude entre les surfaces libres du réservoir du haut et du réservoir du bas est en moyenne égale à $H = 225 \text{ m}$. L'accélération de la pesanteur est notée g avec $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

La station possède quatre groupes réversibles turbine-pompe identiques. Chaque groupe, en mode turbine, développe une puissance de 180 MW, et en mode pompe, consomme une puissance de 164 MW.

Une S.T.E.P., schématisée sur la figure 12, est une installation qui fonctionne de façon réversible:

- lorsque le réseau produit un excès d'énergie, elle fonctionne comme une pompe qui fait remonter l'eau dans le bassin supérieur,
- lorsque le réseau présente une période de surconsommation qui affecte la tension ou la fréquence délivrée, elle fonctionne comme une turbine qui génère de l'énergie électrique fournie au réseau.

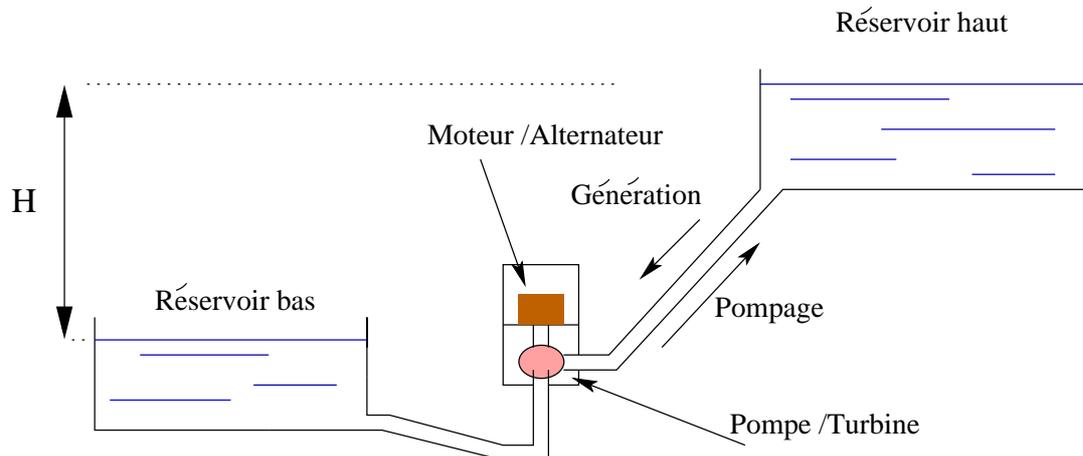


Figure 12 : Schéma global d'une S.T.E.P.

E-20- En mode turbine, le débit volumique Q_T de chaque turbine est de $Q_T = 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La durée maximale de turbinage en continu est de 5 heures.

E-20-1- Calculer numériquement l'énergie qui a été déstockée pendant les cinq heures de turbinage, soit E_{STEP} . Pour faire ce calcul, on considèrera que la masse d'eau qui a quitté le réservoir du haut était à une altitude moyenne de 225 m au dessus du point qui sert de référence pour l'énergie stockée.

E-20-2- Estimer numériquement la puissance moyenne récupérable par chaque turbine, comparer cette valeur à la valeur annoncée de 180 MW. Commenter.

E-21- Dans sa fonction de pompage, le S.T.E.P. a pour but de faire passer l'eau du réservoir bas vers le réservoir haut.

Considérons un groupe turbine-pompe, notons P_0 la puissance développée par le moteur qui actionne la pompe lorsque le régime permanent de pompage est établi, et le débit volumique correspondant est Q_0 .

E-21-1- Soit H_{th} la hauteur de pompage théorique qui serait obtenue s'il n'y avait absolument aucune perte d'aucune sorte dans les tuyaux. En raisonnant sur le système composé de toute l'eau comprise dans les deux réservoirs et les tuyaux, entre deux instants très voisins, exprimer H_{th} en fonction de P_0 , μ_0 , Q_0 et de g .

E-21-2- Quelle est la relation d'ordre entre H et H_{th} ?

E-21-3- Pour interpréter la différence entre ces deux hauteurs, on prend en compte l'ensemble des pertes qui peuvent se produire, soit P_p la puissance totale perdue pour une pompe.

Établir le lien entre P_0 , P_p , H et H_{th} .

E-21-4 - Par la suite, on définira le rendement de la pompe $\eta = \frac{H}{H_{th}}$.

- i- Calculer η en fonction de P_0 , P_p .
- ii- Le rendement de la pompe vaut $\eta = 95\%$. En déduire H_{th} et le débit volumique Q_0 , sachant que $P_0 = 164$ MW et $H = 225$ m.

Examinons désormais le fonctionnement interne de la pompe centrifuge (représentée ci-dessous figure 13). Le fluide pompé est de l'eau, on adoptera pour l'eau le modèle du fluide parfait incompressible. L'axe de la pompe est vertical, de sorte que le fluide pompé s'écoule pratiquement dans un plan horizontal, on négligera toujours les effets de la pesanteur sur le fluide dans la pompe.

Les trois éléments essentiels de la pompe sont :

- la roue, sur laquelle sont fixées des aubes qui entraînent le fluide. Elle tourne à la vitesse angulaire ω autour de son axe,
- le diffuseur, partie fixe dans laquelle le fluide est ralenti et la pression augmentée,
- la volute, en forme de spirale qui assure l'arrivée du fluide dans le réservoir récepteur.

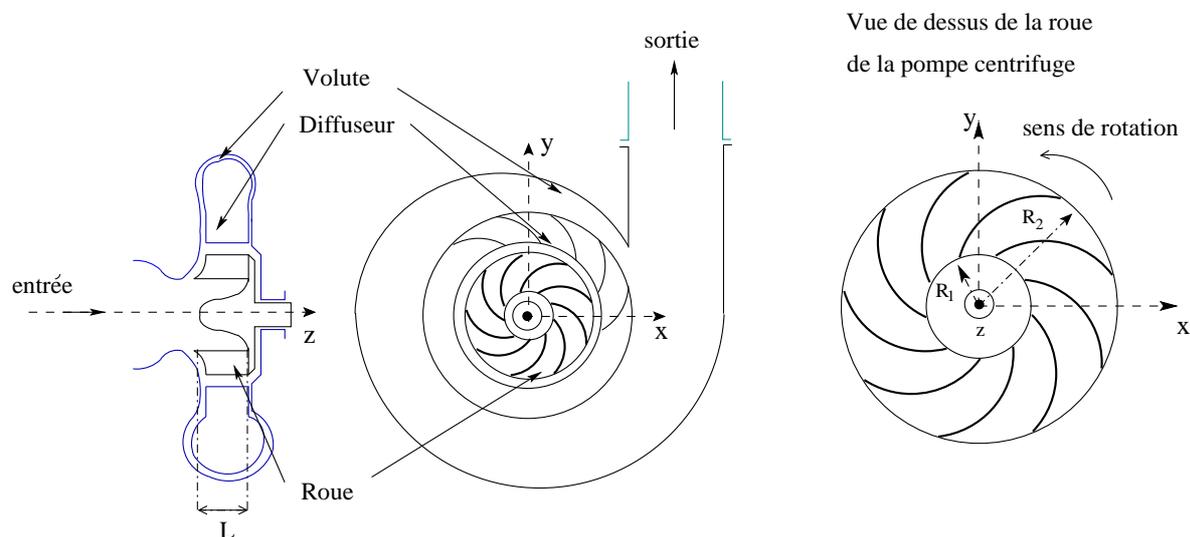


Figure 13 : Représentation schématique d'une pompe centrifuge

Nous n'étudierons que l'évolution du fluide dans la roue, dont on reproduit une photo ci-dessous, afin d'établir la puissance du couple qui s'exerce sur elle au cours du pompage, en régime permanent. Il faudra donc distinguer deux référentiels, celui lié à la roue \mathcal{R}_r et celui lié au corps de la pompe \mathcal{R}_p .



Figure 14 : Photo d'une roue à aubes

Quelques notations :

- la roue possède N aubes,
- l'indice 1 est réservé aux grandeurs liées au fluide à l'entrée de la roue, l'indice 2 aux mêmes grandeurs en sortie de la même roue,
- la vitesse absolue, soit la vitesse dans \mathfrak{R}_p , d'une particule de fluide sera notée \vec{V} , sa vitesse relative ou vitesse dans le référentiel \mathfrak{R}_r sera notée \vec{W} ,
- la vitesse d'entraînement d'une particule de fluide est notée \vec{U} ,
- les rayons intérieur et extérieur de la roue sont R_1 et R_2 . La profondeur de la roue est notée L ,
- on adopte les coordonnées polaires pour repérer une particule le long de sa trajectoire dans le référentiel relatif.

F-22- Étude cinématique du fluide dans la roue.

F-22-1- Le référentiel \mathfrak{R}_p est supposé galiléen. Qu'en est-il du référentiel \mathfrak{R}_r ?

F-22-2- Exprimer les vitesses \vec{U}_1 et \vec{U}_2 en fonction de ω , R_1 et R_2 , dans la base polaire, on peut se référer à la figure 15.

La figure 15 représente la trajectoire de A_1 à A_2 d'une particule de fluide dans \mathfrak{R}_r , entre deux aubes consécutives. A_1 est le point où la particule entre dans la roue, et A_2 le point auquel elle en sort. Les aubes sont suffisamment proches les unes des autres pour que l'on puisse considérer que l'écoulement entre deux aubes consécutives est unidimensionnel ; ici cela revient à considérer, pour simplifier, que toutes les particules de fluide situées entre deux aubes consécutives et situées à une même distance r de O ont la même vitesse, et sont soumises à la même pression.

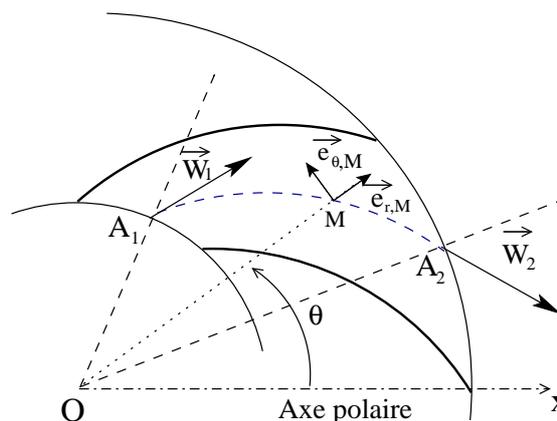


Figure 15 : Trajectoire d'une particule de fluide dans le référentiel lié à la roue

Lorsque la pompe fonctionne de façon optimale, la trajectoire relative d'une particule suit la forme des aubes. On a représenté les vitesses relatives en entrée et en sortie de la roue, \vec{W}_1 et \vec{W}_2 .

F-22-3- La figure 16 représente la base polaire locale en A_1 , on y peut voir en pointillé le bord intérieur par où l'eau pénètre dans la roue, les aubes n'ont pas été représentées.

- i- Après avoir reproduit la figure 16 sur votre copie, construire le triangle formé par les vitesses \vec{U}_1 , \vec{V}_1 et \vec{W}_1 (pour la figure, et pour la figure seulement, on adoptera pour le module W_1 de la vitesse relative \vec{W}_1 un vecteur de longueur égale à la longueur de \vec{U}_1 , et on inclinera la vitesse relative comme le sont les aubes de la roue qui guident le fluide).
- ii- Vous ferez apparaître l'angle aigu α_1 que fait la vitesse absolue \vec{V}_1 avec la tangente en A_1 au cercle de rayon R_1 , ainsi que l'angle aigu β_1 que fait la vitesse relative \vec{W}_1 avec la même tangente.
Montrer alors les relations suivantes :

$$V_1 \cdot \sin(\alpha_1) = W_1 \cdot \sin(\beta_1) \text{ et } U_1 = V_1 \cdot \cos(\alpha_1) + W_1 \cdot \cos(\beta_1)$$
où V_1 et U_1 sont respectivement les normes des vecteurs \vec{V}_1 et \vec{U}_1 .

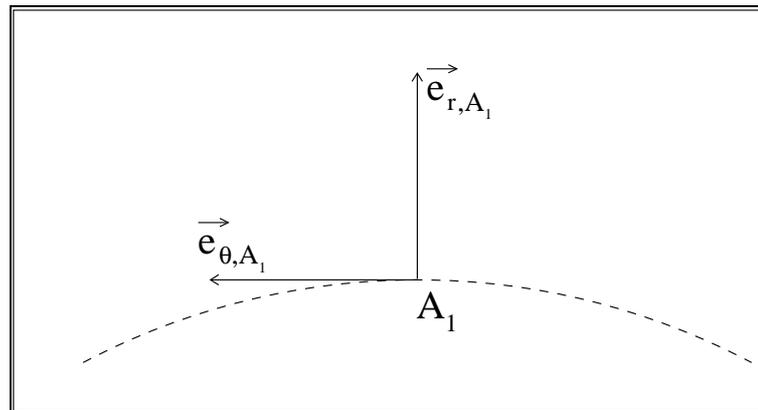


Figure 16 – Figure à reproduire

On admet qu'en sortie, les relations similaires existent :

$$V_2 \cdot \sin(\alpha_2) = W_2 \cdot \sin(\beta_2) \text{ et } U_2 = V_2 \cdot \cos(\alpha_2) + W_2 \cdot \cos(\beta_2)$$

les angles α_2 et β_2 étant définis de façon similaire.

F-22-4- Calculer le débit volumique de fluide q_1 rentrant dans la roue en empruntant le tube de courant entre deux aubes consécutives, dans le référentiel \mathfrak{R}_p , en fonction de V_1 , R_1 , L , N et α_1 . En déduire le débit volumique total Q_1 qui rentre dans la roue.

F-22-5- Exprimer de même le débit volumique total Q_2 qui sort de la roue dans le référentiel \mathfrak{R}_p .

F-22-6- Soient les débits volumiques totaux Q'_1 et Q'_2 rentrant et sortant de la roue dans le référentiel \mathfrak{R}_r . Montrer que $Q_1 = Q'_1 = Q_2 = Q'_2$.

Désormais on notera Q_0 le débit volumique

F-22-7- Applications numériques :

- i- On admet que $\alpha_1 = \pi/2$ car l'eau pénètre radialement dans la roue si elle n'a pas été mise en rotation préalablement, calculer V_1 pour $L = 20$ cm, $R_1 = 1,0$ m. On adoptera $Q_0 = 71 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- ii- Pour $\beta_1 = 1,2$ rad, calculer W_1 et en déduire ω (qu'on exprimera en $\text{tr} \cdot \text{min}^{-1}$).
- iii- Le dimensionnement de la roue est tel que $\frac{R_2}{R_1} = 0,4$. Calculer U_2 .

Pour un angle de sortie $\beta_2 = 1,0$ rad, on calcule $W_2 = 26,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, $V_2 = 46,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $\alpha_2 = 0,51$ rad.

F-23- L'eau est considérée comme un fluide parfait, homogène et incompressible.

F-23-1- Soit une particule de fluide de masse dm située au point M , considérée dans le référentiel de la roue \mathcal{R}_r . Faire l'inventaire des forces auxquelles cette particule est soumise. Représenter sur un schéma les forces d'inertie qui agissent sur la particule située au point M . Justifier le nom de pompe centrifuge attribué à ce type de pompe.

F-23-2- On admet la relation suivante, qui relie les pressions P_1 et P_2 au niveau des points A_1 et A_2 respectivement, aux vitesses définies en entrée et sortie de la roue :

$$P_2 - P_1 = \frac{\mu_0}{2} \left((W_1)^2 - (W_2)^2 + (U_2)^2 - (U_1)^2 \right)$$

Donner une interprétation énergétique de cette équation.

Annexe : Données numériques, formulaire et programmes officiels

Constantes fondamentales

Célérité de la lumière : $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1}$; on prendra $c = 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Constante de Planck : $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$

Constante de Stefan : $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

Charge élémentaire : $e = 1,60.10^{-19} \text{ C}$

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$

Constante de Boltzmann : $k_B = 1,38.10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$

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

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

Masses molaires atomiques (en g.mol^{-1})

H	C	O
1,0	12	16

Données astronomiques

Rayon du Soleil : $R_S = 7,0.10^5 \text{ km}$

Distance Terre-Soleil : $D = 1,5.10^8 \text{ km}$ (= 1 unité astronomique)

Rayon (moyen) de la Terre $R_T = 6,4.10^3 \text{ km}$

Données sur le corps noir

Loi de Planck : La densité spectrale d'énergie (énergie par unité de volume et de fréquence) d'un rayonnement en équilibre thermique à la température T est

$$u_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3 \left(\exp\left(\frac{h\nu}{k_B T}\right) - 1 \right)}, \text{ où } \nu \text{ est la fréquence.}$$

Loi de Wien : La longueur d'onde λ_m du maximum de l'émissivité spectrale u_ν du corps noir à la température T est inversement proportionnelle à la température T . On a : $\lambda_m.T = 2898 \mu\text{m.K}$

Loi de Stefan : La puissance rayonnée par unité de surface d'un corps noir de température T est $\Phi = \sigma.T^4$ (où σ est la constante de Stefan : $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$).

Extraits du programme de première S

Formes et principe de conservation de l'énergie	
<p>Energie d'un point matériel en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme : énergie cinétique, énergie potentielle de pesanteur, conservation ou non conservation de l'énergie mécanique.</p> <p>Frottements : transferts thermiques ; dissipation d'énergie.</p> <p>Formes d'énergie</p> <p>Principe de conservation de l'énergie.</p> <p>Application à la découverte du neutrino dans la désintégration β.</p>	<p>Connaître et utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation et de l'énergie potentielle de pesanteur d'un solide au voisinage de la Terre.</p> <p><i>Réaliser et exploiter un enregistrement pour étudier l'évolution de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique d'un système au cours d'un mouvement.</i></p> <p>Connaître différentes formes d'énergie.</p> <p>Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie.</p>
Convertir l'énergies et économiser les ressources	
<p>...</p> <p>Ressources énergétiques renouvelables ou non :</p>	<p>...</p> <p>Recueillir et exploiter des informations pour</p>

durées caractéristiques associées. Transport et stockage de l'énergie ; énergie électrique. ...	identifier des problématiques : - d'utilisation des ressources énergétiques ; - du stockage et du transport de l'énergie. Argumenter en utilisant le vocabulaire scientifique adéquat. ...
---	--

Extrait du programme de terminale S

<p>Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique.</p> <p>Capacité thermique.</p> <p>Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique. Résistance thermique. Notion d'irréversibilité.</p> <p>Bilans d'énergie.</p>	<p>Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques.</p> <p>Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé.</p> <p>Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique. Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces.</p> <p>Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.</p>
---	---

CAPES DE PHYSIQUE-CHIMIE

Sujet zéro pour l'admissibilité

Épreuve 2 : exploitation d'un dossier documentaire

Texte d'accompagnement du sujet zéro

Rappel du texte réglementaire :

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>

[...]

2°- Épreuve deux : Exploitation d'un dossier documentaire. Durée : cinq heures ; coefficient 1.

Le sujet peut porter, au choix du jury, soit sur la physique pour l'une des épreuves et sur la chimie pour l'autre épreuve, soit associer de manière équilibrée ces deux disciplines dans les épreuves.

[...]

La seconde épreuve s'appuie sur l'exploitation d'un dossier. Elle vise à évaluer les capacités d'analyse, de synthèse et d'argumentation ainsi que l'aptitude à mobiliser des savoirs disciplinaires et didactiques dans une activité d'enseignement.

Le programme des épreuves est constitué des programmes de physique et de chimie du collège, du lycée (voies générale et technologique) et des enseignements post-baccalauréat (STS et CPGE). Les notions traitées dans ces programmes doivent pouvoir être abordées au niveau M1.

Présentation de l'épreuve

La seconde épreuve d'admissibilité « exploitation d'un dossier documentaire » peut porter sur de la physique, de la chimie ou sur les deux disciplines. Les parts de physique et de chimie sont équilibrées sur l'ensemble des deux épreuves d'admissibilité.

Cette épreuve établit un premier lien entre le « savoir savant » acquis lors des études universitaires et les compétences qui sont visées pour les élèves de collège et de lycée. Le candidat n'est pas encore un professeur confirmé et expérimenté aussi la transposition didactique qui lui est demandée vise un premier niveau d'appropriation des méthodes, des objectifs et des contenus des enseignements de lycée.

Le sujet de cette épreuve s'appuie sur une thématique scientifique ou sur un objet technologique faisant appel à des concepts, des lois de physique et/ou de chimie. Il se décline en deux parties :

- Un premier document précisant la problématique du thème abordé, sa présentation et une feuille de route : questions auxquelles le candidat est invité à répondre, tâches à exécuter... ;
- Un dossier rassemblant un ensemble de documents de nature diverse sur lesquels le candidat devra s'appuyer :

- Des documents officiels : éléments de programme et compétences associées, compétences transversales visées dans les enseignements, socle commun, référentiels d'examen,...
- Des documents de nature pédagogique : activités pédagogiques, protocoles expérimentaux, exercices ou évaluations, extraits de manuels ou de sites internet,...
- Des documents scientifiques et techniques : données sur des grandeurs, des lois, des domaines d'application de celles-ci, données techniques sur l'objet technologique étudié, articles plus ou moins spécialisés de la presse scientifique, résultats numériques d'expériences, données économiques ou sociétales...

Si le sujet porte sur un objet technologique, il n'en développera pas les fonctionnalités, les fonctions ou les prolongements trop techniques ou trop spécifiques qui relèveraient d'autres disciplines (SI ou SVT).

Les programmes de collège et de lycée ne sont pas à savoir dans le détail par le candidat ; les parties nécessaires à l'épreuve seront fournies. Pour autant il est recommandé de ne pas les découvrir au moment du concours.

Le texte règlementaire précise que l'épreuve vise à évaluer « *l'aptitude à mobiliser des savoirs disciplinaires et didactiques dans une activité d'enseignement* ». Des tâches ou des questions peuvent donc porter sur des parties du programme du concours qui ne sont pas pour autant des points des programmes des lycées, mais ces études ne seront pas déconnectées d'une exploitation au niveau lycée ou collège.

Il peut ainsi être demandé au candidat :

- une étude à un niveau supérieur pour obtenir des résultats, un modèle, des précisions sur un principe de fonctionnement, une analyse qualitative, en vue d'une exploitation ou d'un réinvestissement dans une activité d'enseignement au collège ou au lycée ;
- de se projeter sur une exploitation pédagogique envisageable dans une classe d'un niveau donné ;
- d'envisager des difficultés que pourraient rencontrer des élèves en raison d'une inadéquation entre le contenu scientifique d'un article de presse ou d'une évaluation proposée et celui visé dans les programmes du secondaire ;
- de s'interroger sur la pertinence d'un protocole expérimental proposé ou sur sa faisabilité, l'intérêt qu'il présente dans une activité d'enseignement ou son adéquation aux programmes ;
- de mettre en œuvre une démarche de résolution d'un problème scientifique susceptible de dépasser le niveau lycée en vue d'une exploitation du résultat ou d'une transposition à ce niveau-là ou encore d'exécuter une "tâche complexe"¹ au sens didactique de l'expression ;
- d'identifier les connaissances ou les capacités présentes dans les programmes qui pourraient être développées ou évaluées à partir de certains documents du dossier ;
- de rechercher des erreurs dans une production d'élèves et de les corriger ;

Il ne sera pas demandé, dans le temps imparti, d'élaborer une séquence ou une séance d'enseignement.

L'épreuve se propose d'évaluer « *les capacités d'analyse, de synthèse et d'argumentation* » du candidat. Cette évaluation ne prendra pas pour autant la forme d'une « dissertation » scientifique.

L'analyse est à comprendre comme la capacité à :

- s'approprier une problématique en étant capable de lui associer une ou plusieurs questions scientifiques et d'apprécier les enjeux qu'elle pose ;
- mettre en perspective et poser un regard critique sur les différentes thèses qui peuvent être présentes dans des articles du dossier ;
- réinvestir ses propres connaissances scientifiques pour critiquer ou discuter une solution technologique ou une assertion scientifique ;

¹ Tâche complexe (au sens didactique, en physique-chimie). Tâche faisant appel à des compétences multiples – scientifiques, organisationnelles, stratégiques, linguistiques... – pour laquelle une démarche n'est pas donnée. Le résultat de la tâche complexe est la tâche elle-même – démarche entreprise et explicitation de celle-ci, conclusion ou résultat scientifique... Le résultat final n'est pas nécessairement une valeur numérique. Une « résolution de problème » est un exemple de tâche complexe, la réponse à apporter à une problématique à l'aide de documents scientifiques est aussi une tâche complexe dans la mesure où il n'y a pas de guidage. Une tâche complexe n'est pas nécessairement une tâche compliquée ; la complexité est à appréhender au sens de la diversité des compétences mises en jeu pour la résoudre.

- justifier un protocole expérimental, une hypothèse, une démarche, un résultat.

La synthèse est un travail d'écriture de dix à trente lignes qui peut être demandé dans différentes situations :

- exposer synthétiquement les thèses, idées, résultats scientifiques de différents articles, les arguments convergents et les arguments divergents ;
- répondre à une question précise en prenant appui sur les éléments du dossier et sur l'étude complémentaire conduite dans le cadre de l'épreuve ; faire également appel à ses propres connaissances ;
- rédiger un ou plusieurs paragraphe(s) mettant en exergue un contenu scientifique exigible à un niveau de classe donné en fonction du programme associé (trace écrite susceptible de figurer dans un cahier d'élève).

Enfin, l'argumentation est présente tout au long de l'épreuve et peut être diverse : preuve par calcul formel, représentation graphique, exploitation de résultats de mesure... mais aussi référence à des documents du dossier ou à ses propres connaissances.

La langue de scolarisation – le français – est à la fois indispensable pour "bien dire la science" mais aussi un instrument pour bien « faire de la science »², utiliser ses codes, expliciter le passage d'une forme sémiotique à une autre – relation formelle, représentation graphique, tableau de mesures, schéma, équation de réaction chimique... – expliquer le niveau de contextualisation et l'apport de chacune de ces formes.

On attend d'un futur professeur un bon niveau de maîtrise de cette langue, un discours clair et rigoureux aussi bien dans le lexique utilisé (lexique spécifique à la discipline) que dans l'architecture des phrases et des paragraphes (enchaînements, déductions, mise en évidence des relations causes - conséquences...) témoignant d'une bonne compréhension du sujet traité et de qualité d'exposition des contenus.

Le CAPES de physique - chimie ne recrute pas des professeurs de Lettres, le niveau de langue est néanmoins apprécié dans un contexte de médiation et d'exposition de contenus scientifiques.

Organisation de l'épreuve et du sujet

L'épreuve d'exploitation d'un dossier documentaire dure cinq heures. Elle est affectée d'un coefficient un.

Le sujet est remis sous la forme de deux documents : la feuille de route et le dossier documentaire proprement dit. Ces deux documents sont séparés pour en faciliter l'exploitation.

Des documents réponses à rendre avec la copie peuvent être associés à la feuille de route.

Les sujets des épreuves du concours sont prévus pour des candidats de première année de master. Le jury n'est donc pas en attente d'une professionnalisation affirmée, ni de compétences didactiques approfondies. Le candidat doit cependant connaître les principaux objectifs des programmes d'enseignement de la physique et de la chimie – qui ne se limitent pas aux seuls savoirs et savoir-faire mais explorent également les méthodes de la science – et il doit être capable de faire face aux différents types d'évaluation auxquels sont confrontés les élèves de collège ou de lycée.

Les contenus scientifiques exigibles sont ceux figurant dans le texte réglementaire ; les sujets de cette épreuve ne se limitent au pas, d'un point de vue scientifique, au niveau terminale mais explorent et font appel à des savoirs universitaires.

² « Langues et matières scolaires », Conseil de l'Europe, www.coe.int/lang/fr

SUJET ZÉRO

CAPES EXTERNE DE SCIENCES PHYSIQUES ET CHIMIQUES SESSION 2014

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ N°2

EXPLOITATION D'UN DOSSIER DOCUMENTAIRE

THÈME : LA PILE À COMBUSTIBLE (PAC)

Ce sujet propose différentes études scientifiques et activités pédagogiques autour de la pile à combustible. Il s'appuie sur un dossier documentaire organisé autour de trois types de documents : textes réglementaires et officiels, documents supports à l'enseignement et productions d'élèves, documents scientifiques et techniques liés au thème du sujet.

Le sujet comporte quatre fascicules :

- un premier document présentant la problématique du thème abordé et décrivant les tâches successives à réaliser par le candidat ;
- trois annexes constituant le dossier documentaire sur lequel le candidat doit s'appuyer :

- ✚ Annexe 1. Textes réglementaires et officiels
 - Annexe 1.1 : Extrait du B.O. spécial n° 8 du 13 octobre 2011 relatif au programme de l'enseignement de spécialité de physique-chimie en classe terminale de la série scientifique
 - Annexe 1.2 : Extrait du B.O. spécial n° 8 du 13 octobre 2011 relatif au programme de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire (SPCL) en classe terminale de la série sciences et technologies de laboratoire
 - Annexe 1.3 : Extrait de la note de service n°2012-035 du 6-3-2012 définissant l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales dans la série sciences et technologies de laboratoire
 - Annexe 1.4 : Compétences expérimentales évaluées lors de l'épreuve pratique des baccalauréats S et STL
- ✚ Annexe 2. Documents supports à l'enseignement et productions d'élèves
 - Annexe 2.1 : PAC et émission de dioxyde de carbone
 - Annexe 2.2 : Extrait de TPE d'un binôme d'élèves de Première S
 - Annexe 2.3 : Activité expérimentale autour de la production du dihydrogène comme combustible pour la PAC
- ✚ Annexe 3. Documents scientifiques et techniques liés au thème du sujet
 - Annexe 3.1 : Le reformage du méthane
 - Annexe 3.2 : Performances de la PAC de type PEMFC
 - Annexe 3.3 : Le Nafion, électrolyte référence de la PAC de type PEMFC
 - Annexe 3.4 : Données numériques

LA PILE À COMBUSTIBLE (PAC)

Une pile à combustible est un système où l'énergie libérée lors de la réaction entre un combustible et un comburant (en général le dioxygène), stockés de façon indépendante et renouvelable, est convertie directement en énergie électrique.

Ce sujet est consacré à la pile utilisant comme combustible le dihydrogène. Il aborde la comparaison entre un moteur thermique et un moteur alimenté par une pile à combustible vis-à-vis des émissions de dioxyde de carbone (1), la mise en œuvre expérimentale d'une pile à combustible dans le cadre d'un TPE (2), la production de dihydrogène dans l'industrie et au laboratoire (3), le fonctionnement du cœur de la pile (4) et une synthèse de l'ensemble des travaux (5).

Les parties 1 à 4 du sujet sont consacrées plus particulièrement à l'analyse de certaines annexes mais l'ensemble des informations contenues dans ces annexes peut être utile dans l'intégralité du sujet.

1. Pile à combustible et émission de dioxyde de carbone

L'annexe 2.1 présente une activité de résolution de problème proposée à des élèves dans le cadre de l'enseignement de spécialité physique-chimie de Terminale S.

1.1. En vous appuyant sur les données qualitatives et quantitatives des documents de l'annexe 2.1, proposez une solution à la résolution de problème proposée aux élèves : à partir des documents fournis et de vos connaissances, comparer la production de dioxyde de carbone d'un véhicule alimenté avec une pile à combustible et d'un véhicule à essence.

1.2. Indiquez trois difficultés que les élèves pourraient rencontrer et proposez les aides associées à leur fournir.

1.3. D'autres données pourraient-elles être utiles pour affiner cette comparaison entre les deux types de véhicule ? Dans l'affirmative, citer lesquelles ?

2. La pile à combustible, l'énergie de demain

Le document fourni en annexe 2.2 est adapté d'un extrait de TPE intitulé : « Pile à combustible ; l'énergie de demain ».

Vous êtes enseignant de physique-chimie en classe de Première S et vous avez un entretien avec un groupe d'élèves à propos de leur dossier de TPE avant qu'ils ne le finalisent et le présentent à l'oral.

2.1. Dans le paragraphe « Principe de la pile à combustible », les élèves ont commis un certain nombre d'erreurs. Identifiez-les et corrigez-les.

2.2. Les élèves vous interrogent sur le paragraphe « Comment produire de l'hydrogène » dans la mesure où ils ne sont pas convaincus des informations qu'ils ont trouvées sur la toile.

Que leur répondez-vous ? Vous développerez chaque point qui, selon vous, mérite une précision, une explication ou une correction.

2.3. La production des élèves ne mentionne aucune expérience. Proposez une expérience à leur conseiller pour conférer à leur travail une composante expérimentale habituellement attendue dans les travaux personnels encadrés de la série scientifique. Listez le matériel et les produits nécessaires, les mesures à effectuer et les éventuelles précautions à prendre relatives à la sécurité.

2.4. Dans le paragraphe « le système des piles à combustibles », on lit que de nombreuses recherches visent à optimiser certains dispositifs présents dans la pile, notamment le compresseur d'air et le sous-système de refroidissement. En vous aidant du schéma fourni dans le document (nommé « Figure 4 » dans l'annexe 2.2), indiquez la fonction de ces deux dispositifs et le rôle

qu'elles jouent dans l'optimisation du fonctionnement d'un moteur alimenté par une pile à combustible.

3. Production et purification de dihydrogène pour la pile à combustible

L'annexe 3.1 propose une analyse du procédé industriel de reformage du méthane

3.1. Pourquoi le texte de l'annexe 3.1 précise-t-il que « le taux d'hydrogène par rapport au carbone dans le méthane est le plus important par rapport aux autres hydrocarbures » ?

Le tableau 1 de l'annexe 3.1 indique la composition des gaz « en sortie de vaporeformage » du méthane.

3.2. Proposez une justification au fait que la vapeur d'eau n'y figure pas.

3.3. En raisonnant sur une quantité $n = 100$ mol de gaz en sortie de reformage et sachant que la composition indiquée est obtenue à partir d'un mélange de méthane (1,0 équivalent) et d'eau (4,0 équivalents), retrouvez les avancements approximatifs des deux réactions principalement mises en jeu lors du reformage : (1) et (2).

3.4. À l'aide de données thermodynamiques relatives aux espèces mises en jeu, peut-on en déduire si les équilibres traduits par les deux équations (1) et (2) sont établis dans le réacteur de reformage du méthane à 850 °C sous 24 bar ? Des arguments qualitatifs sont attendus.

3.5. Proposez une explication du principe de l'élimination du dioxyde de carbone par « les carbonates ».

3.6. Proposez deux raisons justifiant la nécessité de l'élimination du monoxyde de carbone pour l'utilisation de dihydrogène dans une pile à combustible PEMFC (dont le principe est présenté en annexe 3.3).

3.7. Justifiez le fait que l'étape de purification par méthanation soit mise en œuvre à une température plus basse que le vaporeformage du méthane.

L'annexe 2.3 est une activité expérimentale issue d'un manuel scolaire

3.8. Le Bulletin Officiel (annexe 1.2) identifie cinq capacités exigibles dans le bloc « électrolyse, électrosynthèse, photosynthèse » de l'enseignement « Sciences physiques et chimiques en laboratoire » la classe de Terminale STL SPCL. Sont-elles toutes évaluables à l'aide de l'activité expérimentale proposée dans l'activité 2 de l'annexe 2.3 ? Dans le cas contraire, proposez des questions complémentaires permettant de les évaluer.

3.9. Identifiez les capacités expérimentales mobilisées dans cette activité. Dans la perspective de la préparation à l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales du baccalauréat en série STL (annexes 1.3 et 1.4), comment pourrait-on modifier le sujet pour enrichir les compétences mises en œuvre, en particulier l'autonomie et l'initiative ?

4. Fonctionnement du cœur de la pile à combustible

L'annexe 3.2 décrit les performances classiques d'une pile à combustible PEMFC.

4.1. Un prototype est constitué par un assemblage en série de 50 piles à combustible PEMFC de section $S = 100 \text{ cm}^2$ fonctionnant chacune au « point nominal » de la figure 6 de l'annexe 3.2 (tension $u = 0,70 \text{ V}$, densité de courant $j = 0,45 \text{ A.cm}^{-2}$). Quelle est la puissance fournie par ce prototype ? Quel doit-être le débit massique de dihydrogène pour assurer ce fonctionnement ?

L'annexe 3.3 est consacrée à l'étude de la structure et des propriétés du Nafion.

4.2. À partir de la structure de la macromolécule de Nafion (figure 1.2 de l'annexe 3.3), identifiez le(s) monomère(s) conduisant au Nafion par polymérisation.

4.3. Montrez que l'information « $x = 7$ » relative à la structure du Nafion est compatible avec « $M_{eq} = 1\,100 \text{ g.eq}^{-1}$ ».

4.4. Démontrez la relation 1.7 de l'annexe 3.3 exprimant le paramètre λ .

4.5. Un élève de Terminale S vous interroge sur la pertinence du dessin de la figure 1.17 de l'annexe 3.3 : que lui répondez-vous ?

4.6. Expliquez qualitativement l'allure de la courbe donnant le logarithme de la conductivité en fonction de λ (figure 1.15 de l'annexe 3.3).

4.7. Évaluez la tension (« chute ohmique ») créée par le passage d'un courant dont la densité est $j = 0,45 \text{ A.cm}^{-2}$ dans une membrane de Nafion 117 d'épaisseur $e = 175 \text{ }\mu\text{m}$, de section $S = 100 \text{ cm}^2$ et de conductivité $\sigma = 7.10^{-3} \text{ S.cm}^{-1}$. Commentez le résultat.

4.8. Comparez l'ordre de grandeur de la conductivité du Nafion hydraté à celle d'une solution d'acide chlorhydrique à $1,0 \text{ mol.L}^{-1}$. Pourquoi utiliser ce polymère très coûteux plutôt qu'une solution aqueuse d'acide chlorhydrique dans une pile PEMFC ?

Fonctionnement de la pile à combustible

4.9. Interprétez l'allure de la caractéristique V, I (figure 6 de l'annexe 3.2) de la pile à combustible.

5. En guise de conclusion

Pensez-vous que, dans les dix ans à venir, la voiture à pile à combustible soit en mesure de répondre aux questions posées par la circulation automobile en ce début de troisième millénaire ? À l'aide des documents proposés, des différentes études menées et de vos connaissances, vous justifierez votre réponse par un paragraphe de 20 lignes maximum en vous appuyant, entre autres, sur les réflexions que vous avez eues lors de la réponse aux questions précédentes.

DOSSIER DOCUMENTAIRE

Annexe 1 – Textes réglementaires et officiels

ANNEXE 1.1 – Programme de spécialité physique-chimie en Terminale S

Extrait du B.O. spécial n° 8 du 13 octobre 2011 relatif au programme de l'enseignement de spécialité de physique-chimie en classe terminale de la série scientifique.

ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

L'enseignement de spécialité de physique-chimie prépare l'élève à une poursuite d'études scientifiques dans ce domaine en consolidant son choix d'orientation. Il lui permet en effet d'affirmer sa maîtrise de la démarche scientifique ainsi que celle des pratiques expérimentales et lui offre le moyen de tester ses goûts et ses compétences.

En plaçant l'élève en situation de recherche et d'action, cet enseignement lui permet de consolider les compétences associées à une démarche scientifique. L'élève est ainsi amené à développer trois activités essentielles chez un scientifique :

- la pratique expérimentale ;
- l'analyse et la synthèse de documents scientifiques ;
- la résolution de problèmes scientifiques.

Pour cela, le programme de spécialité fait appel à l'étude de trois thèmes, un thème de chimie (l'eau), un thème de physique (son et musique) et un thème (matériaux) qui conjugue des apports de chimie et de physique.

Pour chacun des trois thèmes, le professeur aborde tous les domaines d'étude en développant son enseignement à partir de quelques mots-clés choisis parmi ceux de la colonne de droite du programme.

Ces mots-clés sous-tendent des connaissances nouvelles complétant l'enseignement spécifique. Nécessaires à la compréhension des sujets étudiés, elles ne sont cependant pas exigibles au baccalauréat.

La pratique expérimentale doit être soutenue et diversifiée et favoriser l'initiative des élèves. Pour chaque thème, elle doit prendre en compte leurs centres d'intérêt.

L'analyse et la synthèse de documents scientifiques prolongent les compétences « extraire et exploiter » mises en œuvre dans l'enseignement spécifique. Elles conduisent l'élève à présenter de façon objective et critique, structurée et claire, les éléments qu'il aura extraits et exploités des documents scientifiques mis à sa disposition.

Lors de la démarche de résolution de problèmes scientifiques, l'élève analyse le problème posé pour en comprendre le sens, construit des étapes de résolution et les met en œuvre. Il porte un regard critique sur le résultat, notamment par l'évaluation d'un ordre de grandeur ou par des considérations sur l'homogénéité. Il examine la pertinence des étapes de résolution qu'il a élaborées et les modifie éventuellement en conséquence. Il ne s'agit donc pas pour lui de suivre les étapes de résolution qui seraient imposées par la rédaction d'un exercice, mais d'imaginer lui-même une ou plusieurs pistes pour répondre à la question scientifique posée. C'est sur la façon d'appréhender une question scientifique, sur le choix raisonné de la méthode de résolution et sur les moyens de vérification qu'est centrée la formation de l'élève lors de la démarche de résolution de problème.

Les situations rencontrées par l'élève en cours de formation ainsi qu'au baccalauréat se limiteront aux domaines d'étude des trois thèmes de l'enseignement de spécialité. Le professeur fera largement appel à des situations comportant une dimension expérimentale.

Thème 1 : l'eau

Domaines d'étude	Mots-clés
Eau et environnement	Mers, océans ; climat ; traceurs chimiques. Érosion, dissolution, concrétion. Surveillance et lutte physico-chimique contre les pollutions ; pluies acides.
Eau et ressources	Production d'eau potable ; traitement des eaux Ressources minérales et organiques dans les océans ; hydrates de gaz.
Eau et énergie	Piles à combustible. Production de dihydrogène.

Thème 2 : son et musique

Domaines d'étude	Mots-clés
Instruments de musique	Instruments à cordes, à vent et à percussion. Instruments électroniques. Acoustique musicale ; gammes ; harmonies. Traitement du son.
Émetteurs et récepteurs sonores	Voix ; acoustique physiologique. Microphone ; enceintes acoustiques ; casque audio. Reconnaissance vocale.
Son et architecture	Auditorium ; salle sourde. Isolation phonique ; acoustique active ; réverbération.

Thème 3 : matériaux

Domaines d'étude	Mots-clés
Cycle de vie	Élaboration, vieillissement, corrosion, protection, recyclage, élimination.
Structure et propriétés	Conducteurs, supraconducteurs, cristaux liquides. Semi-conducteurs, photovoltaïques. Membranes. Colles et adhésifs Tensioactifs, émulsions, mousses.
Nouveaux matériaux	Nanotubes, nanoparticules. Matériaux nanostructurés. Matériaux composites Céramiques, verres. Matériaux biocompatibles, textiles innovants.

ANNEXE 1.2 – Programme de SPCL en Terminale STL

Extrait du B.O. spécial n° 8 du 13 octobre 2011 relatif au programme de l'enseignement de sciences physiques et chimiques en laboratoire (SPCL) en classe terminale de la série sciences et technologies de laboratoire

[...]

Développer l'approche par compétences de l'enseignement

Comme le programme de première, celui de terminale se présente sous la forme d'un tableau à deux colonnes : les notions et contenus qui sont abordés et les capacités dont la maîtrise est exigible des élèves en fin d'année scolaire.

Les capacités exigibles des élèves regroupent les connaissances et les capacités, notamment expérimentales, des élèves, exprimées pour le professeur sous la forme de verbes d'actions : exprimer, citer, définir, relier, réaliser, déterminer expérimentalement, etc. Ces capacités bornent les savoirs et les savoir-faire qui sont attendus à la fin de la classe terminale. Elles ne constituent ni une progression, ni un plan de cours et ne résument pas la construction de séquences pédagogiques. Dans le cadre de son enseignement, le professeur, libre de ses choix pédagogiques, distingue les objectifs plaçant les élèves dans une démarche scientifique de ceux de nature cognitive construits ou appliqués lors de la séquence. L'acquisition de connaissances et le développement de capacités sont logiquement évalués sous la forme de niveaux de compétences atteints.

Cet enseignement de spécialité doit contribuer à la réussite des études dans l'enseignement supérieur. Aussi le professeur doit-il être sensible à développer, chez les élèves, l'autonomie, la responsabilité et la prise d'initiative. La démarche scientifique et la conduite de projet participent à un tel développement par les choix qu'elles imposent lors de leur mise en œuvre, par les méthodes de travail qui y sont développées, par les contraintes qui doivent être prises en compte et par l'indispensable respect d'autrui et de l'environnement.

Claude Bernard, médecin qui a posé les premières bases de la démarche scientifique, ne disait-il pas au sujet de cette dernière : « Pour être digne de ce nom, l'expérimentateur doit être à la fois théoricien et praticien. [...] Une main habile sans la tête qui la dirige est un instrument aveugle ; la tête sans la main qui réalise reste impuissante. »

[...]

Des synthèses forcées

Notions et contenus	Capacités exigibles
Électrolyse, électrosynthèse, photosynthèse.	<ul style="list-style-type: none"> - Réaliser expérimentalement et interpréter quelques électrolyses, dont celle de l'eau. - Identifier expérimentalement ou à partir du schéma du circuit électrique la cathode et l'anode d'un électrolyseur. - Prévoir les réactions possibles aux électrodes, les couples mis en jeu étant donnés. - Identifier et/ou caractériser expérimentalement les espèces chimiques formées aux électrodes. - Écrire les équations des réactions aux électrodes connaissant les produits formés.
Transformation forcée : apport d'énergie et évolution hors équilibre du système.	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguer le caractère forcé des électrolyses et des photosynthèses, du caractère spontané d'autres transformations, en comparant l'évolution du quotient de réaction par rapport à la constante d'équilibre. - Repérer la source d'énergie mise en œuvre dans une transformation forcée.
Bilan de matière lors d'une électrolyse. Applications courantes des électrolyses à la synthèse.	<ul style="list-style-type: none"> - Prévoir les quantités de produits formés dans des cas simples et confronter les prévisions du modèle aux mesures. - Déterminer le rendement d'une électrosynthèse. - Citer quelques applications courantes des électrolyses : synthèse de métaux, de produits minéraux et organiques, stockage d'énergie, analyse et traitement de polluants. - Analyser différentes voies de synthèses et montrer que l'électrolyse peut permettre de respecter quelques principes de la chimie verte (matières premières renouvelables, non-consommation de ressources fossiles, absence de sous-produits carbonés).

ANNEXE 1.3 – Évaluation des compétences expérimentales dans la série STL

Extrait de la note de service n°2012-035 du 6-3-2012 définissant l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales dans la série sciences et technologies de laboratoire

La présente note de service définit l'épreuve d'évaluation des compétences expérimentales dans la série STL du baccalauréat technologique à compter de la session 2013 de l'examen.

L'épreuve porte sur les programmes de l'enseignement spécifique à la spécialité (sciences physiques et chimiques en laboratoire ou biotechnologies) en classes de première et terminales et de l'enseignement de mesure et instrumentation en classe de première dans la série STL.

Rappel du règlement d'examen

Épreuve pratique

Durée : 3 heures

Coefficient : 6

1. Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

L'épreuve a pour objectif d'évaluer le candidat dans le cadre d'une démarche scientifique menée au laboratoire de physique-chimie.

Le candidat est évalué sur les six compétences suivantes :

- s'approprier : le candidat s'approprie la problématique du travail à effectuer et l'environnement matériel à l'aide d'une documentation ;
- analyser : le candidat justifie ou propose un protocole, propose un modèle ou justifie sa validité, choisit et justifie les modalités d'acquisition et de traitement des mesures ;
- réaliser : le candidat met en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité ;
- valider : le candidat identifie des sources d'erreur, estime l'incertitude sur les mesures à partir d'outils fournis et analyse de manière critique la cohérence des résultats ;
- communiquer : le candidat explique ses choix et rend compte de ses résultats sous forme écrite et orale ;
- être autonome et faire preuve d'initiative : le candidat exerce son autonomie et prend des initiatives avec discernement et responsabilité.

Organisation de l'épreuve

Une banque nationale de sujets est constituée. Pour chaque session, un ensemble de sujets est tiré au sort au niveau national et communiqué aux établissements au début du troisième trimestre.

Chaque sujet décrit la situation expérimentale dans laquelle le candidat est évalué et est accompagné d'un modèle de fiche d'évaluation individuelle adapté à la situation d'évaluation. Les établissements choisissent dans cet ensemble les situations d'évaluation qu'ils mettent en œuvre, en veillant à offrir un juste équilibre entre les différentes composantes de l'enseignement de spécialité.

Au début de l'épreuve, le candidat tire au sort la situation dans laquelle il est évalué.

Un examinateur évalue simultanément quatre candidats au maximum.

Les possibilités d'accueil et d'encadrement des candidats nécessitent que l'épreuve se déroule à une période distincte de celle des épreuves écrites. Pour les candidats scolarisés dans les établissements publics ou privés sous contrat, l'épreuve de la session normale a lieu dans le courant du troisième trimestre, dans le cadre habituel de formation du candidat.

Évaluation

Les professeurs examinateurs disposent d'une fiche d'évaluation, correspondant à la situation d'évaluation, au nom de chaque candidat. Cette fiche sert de support à l'évaluation du candidat ; elle porte la note qui lui est attribuée avec, éventuellement, un commentaire qualitatif. Ce document ainsi que la feuille réponse rédigée par le candidat ont le statut de copie d'examen.

L'épreuve est notée sur 20 points.

ANNEXE 1.4 – Compétences expérimentales évaluées lors de l'épreuve pratique des baccalauréats S et STL

Extrait du cahier des charges des épreuves pratiques de baccalauréat S et STL

Compétence	Conditions de mise en œuvre	Exemples de capacités et d'attitudes (non exhaustifs)
S'approprier	Cette compétence est mobilisée dans chaque sujet sans être nécessairement évaluée. Lorsqu'elle est évaluée, l'énoncé ne doit pas fournir les objectifs de la tâche.	<ul style="list-style-type: none"> - rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation, - énoncer une problématique, - définir des objectifs.
Analyser	Le sujet doit permettre une diversité des approches expérimentales et le matériel à disposition doit être suffisamment varié pour offrir plusieurs possibilités au candidat. Les documentations techniques seront mises à disposition.	<ul style="list-style-type: none"> - formuler une hypothèse, - proposer une stratégie pour répondre à la problématique, - proposer une modélisation, - choisir, concevoir ou justifier un protocole / dispositif expérimental, - évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	Le sujet doit permettre à l'examineur d'observer la maîtrise globale de certaines opérations techniques et l'attitude appropriée du candidat dans l'environnement du laboratoire.	<ul style="list-style-type: none"> - évoluer avec aisance dans l'environnement du laboratoire, - suivre un protocole, - respecter les règles de sécurité, - utiliser le matériel (dont l'outil informatique) de manière adaptée, - organiser son poste de travail, - effectuer des mesures avec précision, - reporter un point sur une courbe ou dans un tableau, - effectuer un calcul simple.
Valider	Le sujet doit permettre à l'examineur de s'assurer que le candidat est capable d'identifier des causes de dispersion des résultats, d'estimer l'incertitude à partir d'outils fournis, d'analyser de manière critique des résultats et choisir un protocole plus approprié parmi deux possibles.	<ul style="list-style-type: none"> - exploiter et interpréter des observations, des mesures, - utiliser les symboles et unités adéquats, - vérifier les résultats obtenus, - valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi, ... , - analyser des résultats de façon critique, - proposer des améliorations de la démarche ou du modèle, - utiliser du vocabulaire de la métrologie.
Communiquer	Cette compétence est transversale. Elle est mobilisée sur l'ensemble de l'épreuve sans être nécessairement évaluée. Si on choisit de l'évaluer, le support de communication doit être imposé dans le sujet. Elle ne peut alors se réduire à une observation de la maîtrise de la langue au cours de quelques échanges avec l'examineur. Il s'agit de construire ici une argumentation ou une synthèse scientifique en utilisant l'outil de communication imposé par le sujet (un poster, une ou deux diapositives, un enregistrement sonore ou une vidéo, ...). Ce temps de communication ne pourra pas excéder 2 à 3 minutes en cas d'une communication orale imposée. Le contenu devra être en cohérence avec la réflexion et les résultats obtenus par le candidat.	<ul style="list-style-type: none"> - utiliser les notions et le vocabulaire scientifique adaptés, - présenter, formuler une proposition, une argumentation, une synthèse ou une conclusion de manière cohérente complète et compréhensible.
Être autonome, faire preuve d'initiative	Cette compétence est transversale. Elle est mobilisée sur l'ensemble de l'épreuve en participant à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences.	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul, - demander une aide pertinente.

DOSSIER DOCUMENTAIRE

Annexe 2 – Documents supports à l’enseignement et productions d’élèves

ANNEXE 2.1 – PAC et émission de dioxyde de carbone

Terminale S spécialité Activité : résolution de problèmes

Pile à combustible et automobile

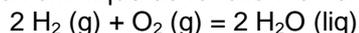
Problématique : En raison de l'épuisement des ressources en pétrole et de la nécessité de réduire la pollution atmosphérique, les constructeurs automobiles cherchent de nouveaux modes de propulsion. La pile à combustible pourrait-elle contribuer à la réduction des émissions de CO₂ ?

À partir des documents fournis et de vos connaissances, comparer la production de dioxyde de carbone d'un véhicule alimenté avec une pile à combustible et d'un véhicule à essence.

Doc 1 : Principe de la pile à hydrogène

Source : <http://eduscol.education.fr/>

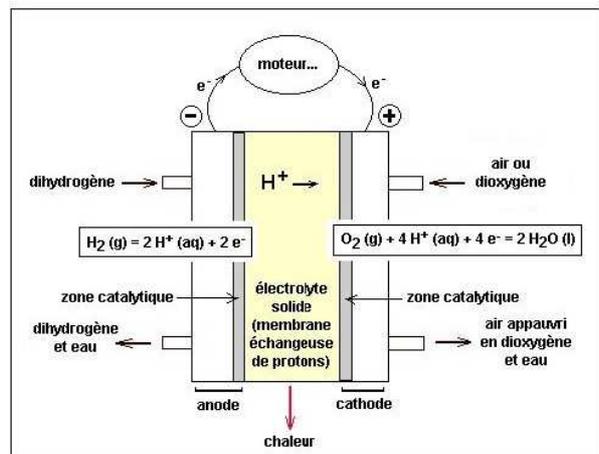
La pile à hydrogène est une pile à combustible utilisant le dihydrogène. Il s'agit d'une combustion électrochimique et contrôlée de dihydrogène et de dioxygène, avec production simultanée d'électricité, d'eau et de chaleur, selon la réaction chimique de fonctionnement de la pile :



Pour mettre en œuvre cette réaction, on dispose de deux électrodes, l'anode et la cathode, séparées par un électrolyte (milieu bloquant le passage des électrons mais laissant circuler les ions). Cette réaction est déclenchée en utilisant un catalyseur, en général du platine.

À la cathode, pôle positif de la pile, le comburant mis en jeu est toujours le dioxygène du couple O₂ (g) / H₂O (liq), selon la demi-équation électronique : $\text{O}_2 (\text{g}) + 4 \text{H}^+ (\text{aq}) + 4 \text{e}^- = 2 \text{H}_2\text{O} (\text{liq})$.

À l'anode, pôle négatif de la pile, le combustible utilisé est le dihydrogène H₂ du couple H⁺ (aq) / H₂ (g), selon la demi-équation électronique : $\text{H}_2 (\text{g}) = 2 \text{H}^+ (\text{aq}) + 2 \text{e}^-$



Doc. 2 : Vers une production d'énergie propre

Source : <http://www.largus.fr>

Lorsqu'il utilise une pile à combustible et de l'hydrogène comme carburant de base, un véhicule ne pollue plus du tout, les émissions à l'échappement se résumant à... de l'eau.

On pourrait donc croire qu'il s'agit là de la solution miracle. Malheureusement, ce n'est pas si évident que cela. En effet, il faut désormais penser autrement en matière de pollution et parler de bilan énergétique global. C'est-à-dire qu'il faut non seulement tenir compte de la pollution au niveau de la voiture, mais aussi tout au long de la chaîne de production et de la mise en service du carburant de base. [...]

Il résulte que, si la pile à combustible est effectivement une solution pour réduire la pollution des automobiles, il faut désormais déplacer le problème et l'étendre aux diverses filières de production de l'énergie.

Doc. 3 : L'Opel Zafira Hydrogen 3

Source : <http://www.moteur-nature.com>

Un défaut est cependant que l'autonomie est encore faible. Elle est en effet de seulement 400 km. C'est pourtant avec un réservoir d'un volume de 68 litres, mais il ne peut contenir que 4,6 kg d'hydrogène liquide, qu'il conserve ainsi grâce à une double paroi d'acier qui le fait accuser 90 kg sur la bascule (!).

Doc. 4 : Consommation de carburant de l'Opel Zafira 1,6 ECOTEC

Source : <http://www.opel.fr>

Consommation de carburant	
Moteurs	Essence 1.6 ECOTEC® (85 kW/115 ch)
Norme de pollution	Euro 5
Transmission	BVM 5
Consommation l/100 km ¹	
Urbaine ¹	9,3
Extra urbaine ¹	5,8
Mixte ¹	7,1

¹En Litres conformément à la norme 1999/100/EC.

Doc. 5 : La production d'hydrogène

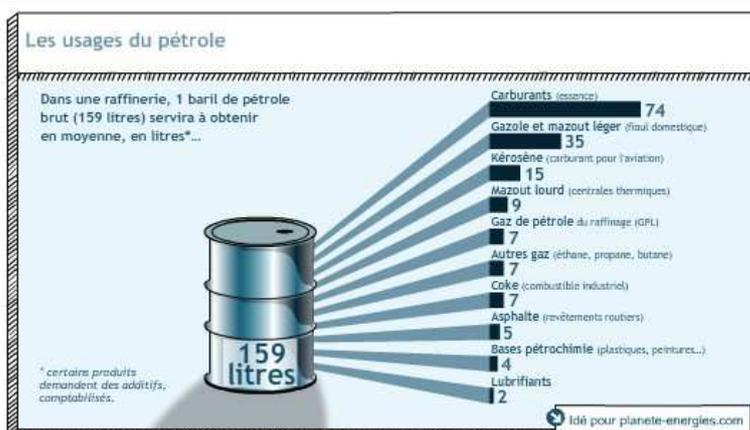
Adapté du site : <http://www.afh2.org>

Consommation d'énergie (en kJ) et émissions de CO₂ pour la production d'hydrogène

Matière première Procédé	Énergie consommée (kJ/mole)
H ₂ O Électrolyse ou dissociation thermique	282 kJ/mole (Cette énergie est à fournir sous forme électrique, pour une électrolyse à température ordinaire)
CH ₄ + H ₂ O Reformage à l'eau	CH ₄ + H ₂ O (liq) = CO + 3 H ₂ CO + H ₂ O (liq) = CO ₂ + H ₂ Bilan : 244 kJ pour 4 H ₂ , soit 61 kJ/mole
C + H ₂ O Réaction du gaz à l'eau	C + H ₂ O (liq) = CO + H ₂ CO + H ₂ O (liq) = CO ₂ + H ₂ Bilan : 170 kJ pour 2 H ₂ , soit 85 kJ/mole
C ₆ H ₉ O ₄ (biomasse) Gazéification à l'eau	C ₆ H ₉ O ₄ + 2 H ₂ O (liq) = 6 CO + 6,5 H ₂ 6 CO + 6 H ₂ O (liq) = 6 CO ₂ + 6 H ₂ Bilan : 880 kJ pour 12,5 H ₂ , soit 70 kJ/mole

Doc. 6 : Les usages du pétrole

Source : <http://www.planete-energie.com>



Doc. 7 : Évolution des émissions de CO₂ du raffinage français

Source : <http://www.aftp.net>

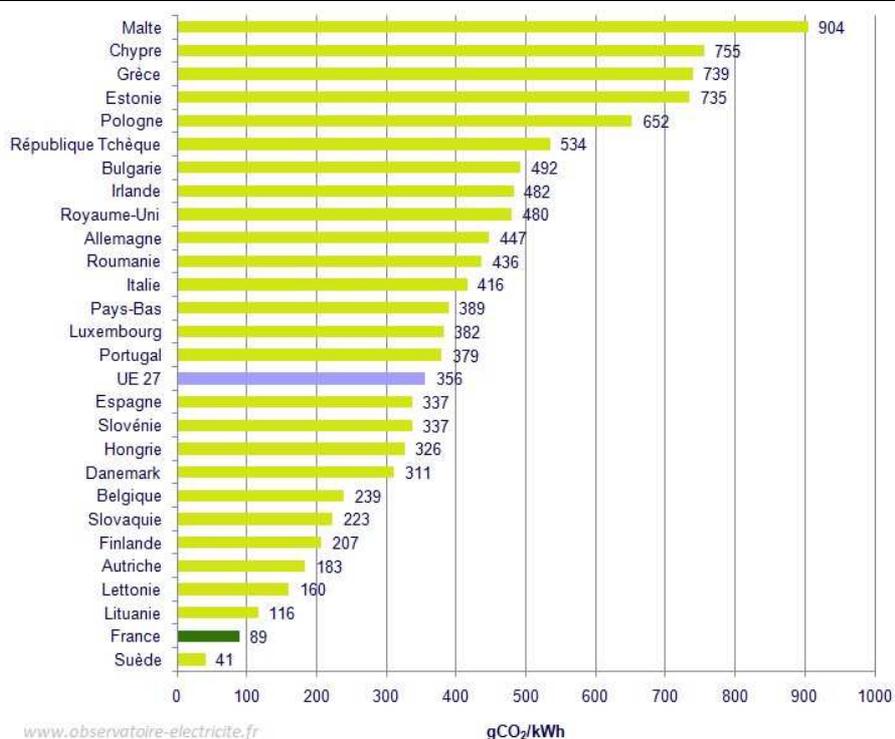
	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CO ₂ émis	16,79 MT	17,06 MT	17,33 MT	17,65 MT	17,73 MT	17,9 MT
Brut traité	86,2 MT	86,8 MT	85,3 MT	84,02 MT	82,53 MT	84,25 MT
T CO ₂ /t de Brut	0,195	0,197	0,203	0,210	0,215	0,212

Avec des quotas de 16,54 MT, dès 2008, le raffinage français est déficitaire de 1 à 1,5 MT de quotas.



Doc. 8 : Émission moyenne de CO₂ pour l'énergie électrique

Source : <http://www.observatoire-electricite.fr>



Doc. 9 : Données diverses

On peut considérer que l'essence, de masse volumique 0,75 kg.L⁻¹, est principalement composée d'octane, de formule brute C₈H₁₈.

1 Wh correspond à 3,6 kJ.

ANNEXE 2.2 – Extrait du TPE d'un binôme d'élèves de Première S

Principe de la pile à combustible

Comme les piles alcalines du commerce (piles au Zinc Zn et à l'oxyde de fer Fe₂O₃), le principe des piles à combustible est de transformer de l'énergie chimique en énergie électrique à la seule différence près que la pile à combustible est fournie en combustible de manière continue, et le rendement ne dépend pas du cycle de Carnot.

Question : Comment une pile à combustible transforme-t-elle de l'énergie chimique en énergie électrique ?

Une pile à combustible convertit l'énergie chimique en énergie électrique par une réaction d'oxydoréduction. Dans la pile il y a deux électrodes :

Une anode (pôle +) qui est alimentée par le combustible (souvent du dihydrogène mais aussi des alcools comme le méthanol), il s'y passe une oxydation d'équation : $\text{H}_2 \rightarrow 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$

Une cathode (pôle -) alimentée par un oxydant (du dioxygène par exemple), il s'y passe une réduction d'équation : $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$.

Les deux électrodes sont séparées par un électrolyte qui assure la diffusion des protons H^+ et des électrons e^- de la réaction de réduction du dihydrogène. C'est une étape intermédiaire à la réaction d'oxydoréduction.

Au niveau des électrodes, les réactions d'oxydoréduction ont normalement une cinétique très lente qui dépend de l'état de la surface des électrodes. Par exemple pour que le dihydrogène soit réduit, il faut la présence d'un catalyseur (platine Pt, rhodium Rh, ou palladium Pa) qui permet l'accélération de la réaction en facilitant les échanges électroniques.

Accolées à l'anode et la cathode, il y a des plaques bipolaires qui jouent plusieurs rôles importants dans la pile à combustible. Tout d'abord elles doivent être conductrices du courant, permettre une diffusion homogène des gaz jusqu'aux électrodes mais aussi intervenir dans la gestion de l'eau. Ce sont les plaques bipolaires qui permettent le passage des électrons de l'anode vers la cathode.

Au niveau de la cathode, les molécules de dioxygène sont réduites par les électrons qui arrivent et l'équation de cette réaction est $\text{O}_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{O}_2^-$. Et l'arrivée des protons H^+ produit une réaction acido-basique d'équation $\text{O}_2^- + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$.

Ainsi on peut dire qu'en sus de produire de l'énergie électrique, la pile à combustible ne produit que de l'eau !

Réponse : Après une réduction du dihydrogène, les protons H^+ passent par l'électrolyte et les électrons e^- passent eux par les plaques bipolaires et c'est lors de ce passage des électrons que l'on peut récupérer une énergie électrique et alimenter un ou plusieurs récepteur(s).

Le système des piles à combustibles

Pour permettre à une pile à combustible de fonctionner et de remplir son rôle, il faut un système mettant les différents composants et sous-systèmes en relation. Il faut donc élaborer un dispositif qui puisse acheminer le combustible vers le cœur de la pile dans lequel la réaction entre les réactifs se produit, et ensuite acheminer le plus efficacement possible l'énergie produite par cette réaction vers la « sortie », où l'on puisse la récupérer pour un usage quelconque nécessitant de l'électricité.

C'est pour cela que de nombreuses recherches s'orientent vers l'optimisation des composants et des architectures de circuit afin de diminuer la consommation et la mise au point de sources d'énergie miniaturisées nettement plus performantes que les accumulateurs actuels. Pour ce faire, on distingue plusieurs parties vitales à optimiser : le réservoir de combustible, le compresseur d'air, le sous-système de refroidissement et le convertisseur.

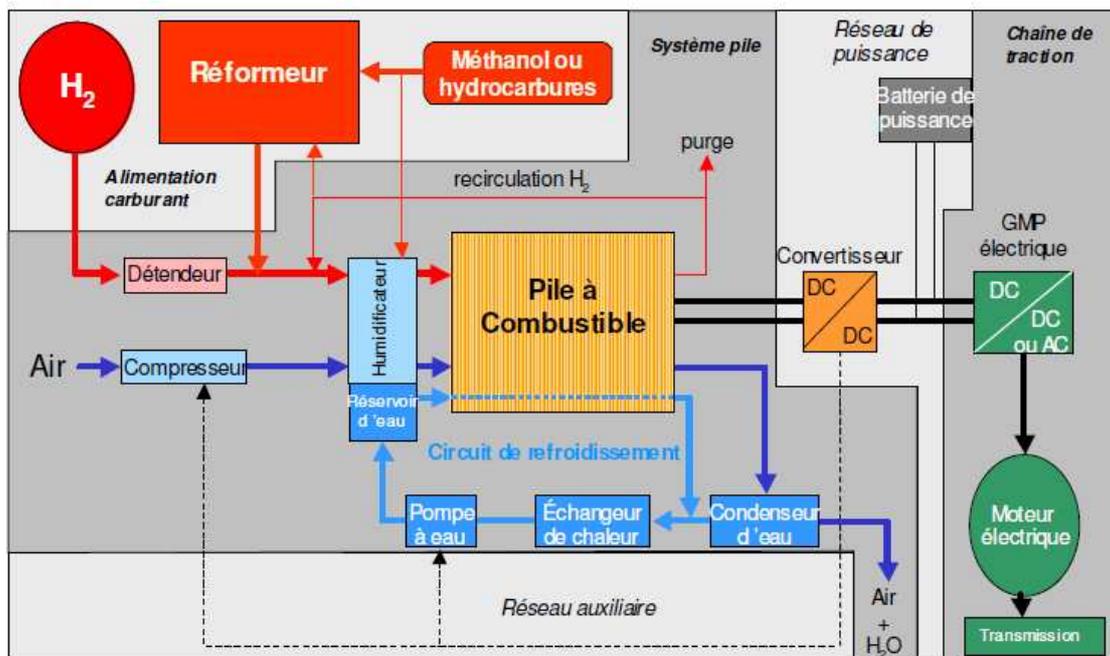


Figure 4 - Schéma général d'un véhicule à pile à combustible - Source Renault – PSA, 1998

Comment produire de l'hydrogène ?

On peut voir dans l'hydrogène une source d'énergie inépuisable et propre. En effet, l'hydrogène est l'élément le plus abondant de l'univers ! Néanmoins, bien qu'il soit très présent sur Terre, il n'existe pas en tant que tel : on le trouve en fait principalement dans les molécules d'eau. Il est également présent dans toutes les matières organiques et il est pour l'instant principalement extrait des carburants fossiles (hydrocarbures). Il existe néanmoins d'autres moyens de production :

- L'électrolyse de l'eau qui présente peu d'intérêt car elle utilise de l'énergie électrique.
- Les réacteurs nucléaires de 4ème génération fabriquent de l'hydrogène à partir de l'hélium.
- Le reformage : fabrication de l'hydrogène à partir de la combustion d'alcool donnant H et CO₂.
- Enfin, certaines algues vertes et bactéries mises en culture produisent de l'hydrogène pouvant servir aux piles.

Il apparaît donc que ces algues semblent être la clé du problème. Néanmoins cette découverte est apparemment récente et on ne peut pas vraiment connaître son efficacité.

Stockage de l'hydrogène

À l'heure actuelle, l'hydrogène est principalement distribué sous forme liquéfiée (– 253 °C) et comprimée. Mais il y a d'autres formes de stockage :

- Le NaBH₃ : ce stockage est fondé sur la réaction entre le borohydure de sodium NaBH₃ et l'eau donnant de l'hydrogène (et du borate de sodium NaBO₂), cette réaction nécessite la présence d'un catalyseur qui peut être à base de cobalt ou de ruthénium. Quand on a besoin d'hydrogène, on pompe la solution pour qu'elle entre en contact avec le catalyseur.
- Hydrure métallique : certains métaux ou alliages peuvent stocker des atomes d'hydrogène entre leurs atomes et créer des liaisons chimiques. Il s'agit par exemple du palladium Pa, du magnésium Mg, ou d'alliages comme Mg-Mg₂Ni. Le stockage s'effectue à haute pression (entre 2 et 10 bars) avec apport de chaleur (jusqu'à 100 °C). Le déstockage a lieu à basse pression avec évacuation de chaleur.

Les difficultés liées au stockage de l'hydrogène restent un des principaux freins au développement de la pile à combustible.

ANNEXE 2.3 – Activité expérimentale autour de la production de dihydrogène comme combustible pour la PAC

Extrait de « Physique-Chimie Terminale S spécialité », Hachette Éducation.

2 Étude d'une pile à combustible

Les piles à combustibles sont de plus en plus utilisées pour alimenter en électricité les équipements électroniques mobiles, des relais téléphoniques, certains bâtiments, mais aussi des voitures, des bateaux, etc. Les recherches sont très actives pour améliorer leurs performances et leur coût. Des modèles réduits sont maintenant disponibles et permettent d'étudier leur fonctionnement.

→ Analyse doc. 3, p. 52 → Problème 1, p. 58

A Production du combustible et du comburant de la pile

La pile à combustible étudiée est une PEMFC (*proton exchange membrane fuel cell*) : elle est constituée de deux électrodes séparées par une membrane polymère qui laisse passer les protons.

De l'eau distillée a été introduite dans la pile de façon à ce que la membrane polymère ne puisse pas sécher et le réservoir d'eau est rempli.

Une électrolyse réalisée avec la cellule permet de préparer le dihydrogène et le dioxygène nécessaires au fonctionnement de cette même cellule en tant que pile à combustible (voir la **fiche 13**, p. 213).

L'énergie nécessaire à cette électrolyse est fournie par un panneau solaire éclairé par une lampe.

► Remplir d'eau distillée les deux réservoirs O_2 et H_2 dans lesquels ont été insérées les cloches (**doc. 4**).

► À l'aide d'une seringue branchée à l'extrémité du tuyau relié au réservoir O_2 , aspirer jusqu'à ce que l'eau remplisse tout le tuyau.

Ôter la seringue en serrant avec les doigts l'extrémité du tuyau, puis l'insérer sur l'embout O_2 de la pile.

Opérer de même avec le réservoir H_2 et l'embout H_2 de la pile.

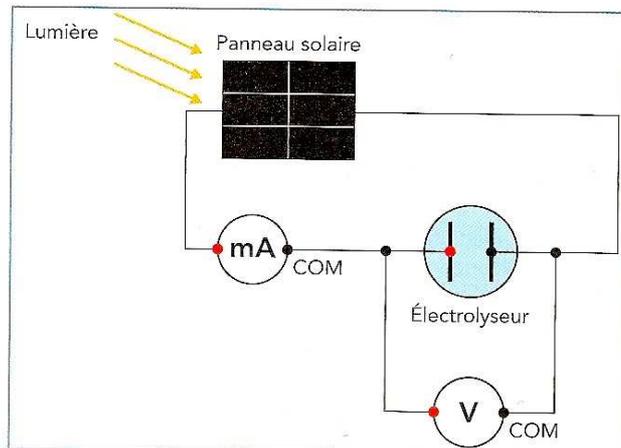
► Avec la seringue, faire coïncider le niveau de l'eau distillée dans chacun des réservoirs avec la graduation 0.

► Réaliser le circuit du **document 5** en commençant par brancher le panneau solaire. Déclencher le chronomètre en branchant la pile à combustible et en respectant la polarité indiquée par les couleurs.

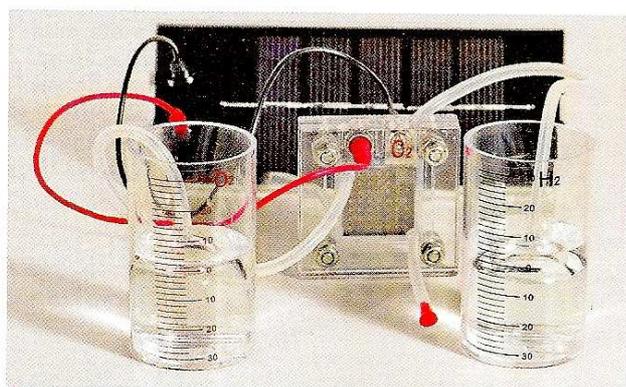
► Noter les valeurs de la tension U aux bornes de la cellule et de l'intensité I du courant qui traverse alors la

cellule. Vérifier que ces valeurs restent à peu près stables au cours de l'électrolyse.

► Débrancher la pile et arrêter le chronomètre lorsque le volume de dihydrogène obtenu est égal à 10 mL. Noter la durée Δt correspondante.



Doc. 5 Production du dihydrogène et du dioxygène.



Doc. 4 Cellule constituant la pile à combustible.

1 Sachant que l'électrolyte est acide et laisse passer les protons, H^+ , écrire l'équation de la réaction électrochimique traduisant l'obtention à partir d'eau :

- de dihydrogène à une électrode ;
- de dioxygène à l'autre électrode.

2 En déduire l'équation de la réaction traduisant le bilan de l'électrolyse réalisée.

Les volumes de dihydrogène et de dioxygène obtenus sont-ils en accord avec cette équation ?

3 Déterminer la quantité de dihydrogène obtenue, $n(H_2)_{\text{obt}}$, lors de l'électrolyse en considérant que le volume V_m occupé par une mole de gaz dans les conditions de l'expérience est voisin de $V_m = 24 \text{ L}$.

4 Déterminer la charge électrique, Q (ou quantité d'électricité), qui a traversé le circuit lors de l'électrolyse.

En déduire la quantité de dihydrogène attendue, $n(H_2)_{\text{att}}$.

5 Calculer le quotient $\rho = \frac{n(H_2)_{\text{obt}}}{n(H_2)_{\text{att}}}$.

Commenter le résultat obtenu.

Donnée : la charge $Q_m = 96,5 \text{ kC}$ correspond à l'échange d'une mole d'électrons à chaque électrode.

DOSSIER DOCUMENTAIRE

Annexe 3 – Documents scientifiques et techniques liés au thème du sujet

ANNEXE 3.1 – Le reformage du méthane

D'après un extrait du rapport d'étude de l'INERIS n°DRA-08-95313-07833B du 10 juin 2008 : les techniques de production de l'hydrogène et les risques associés.

4. LES TECHNIQUES DE PRODUCTION AU STADE INDUSTRIEL

Actuellement, 95% de l'hydrogène est produit à partir des hydrocarbures, en raison tout d'abord de leur intégration dans l'industrie pétrolière qui est l'une des premières consommatrices d'hydrogène. Les autres raisons sont, bien entendu, leur disponibilité actuelle ainsi que leur réactivité chimique et le coût global de production. La matière première prédominante est logiquement le gaz naturel constitué principalement de méthane (de formule chimique CH_4 soit 4 atomes d'hydrogène pour 1 atome de carbone, ce taux d'hydrogène par rapport au carbone est le plus important par rapport à tous les autres hydrocarbures). D'autres hydrocarbures peuvent aussi être utilisés.

Les principales voies de production à partir des hydrocarbures retenues au stade industriel passent par la production de syngaz, ou gaz de synthèse, qui est un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone ($\text{H}_2 + \text{CO}$). Actuellement l'hydrogène est utilisé comme matière première dans l'industrie chimique et pétrochimique. Sa production est donc généralement associée à d'autres unités présentes pour minimiser les coûts énergétiques et matériels. Par exemple dans la production d'ammoniac, CO_2 issu des étapes précédentes de fabrication d'hydrogène est utilisé pour produire de l'urée à partir de l'ammoniac.

4.1 LE VAPOREFORMAGE

Le vaporeformage, ou reformage à la vapeur, consiste à transformer les hydrocarbures en gaz de synthèse par réaction avec de la vapeur d'eau et en présence d'un catalyseur à base de nickel, à haute température (840 à 950 °C) et à pression modérée (20 à 30 bar). Le gaz de synthèse obtenu n'est pas un mélange simple d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Du fait des différentes réactions mises en jeu, il contient également du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau ($\text{H}_2 + \text{CO} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$) ainsi que des hydrocarbures résiduels.

Le vaporeformage est généralement effectué à partir de gaz naturel. Il peut également l'être à partir de méthane ou de naphtha. Selon la nature des hydrocarbures utilisés, appelés charge de vaporeformage, et la pureté d'hydrogène souhaitée, différents procédés existent.

4.1.1 CHARGE DE VAPOREFORMAGE

Les charges classiquement utilisées sont les hydrocarbures légers qui incluent le gaz naturel, le GPL et le naphtha jusqu'à des points d'ébullition de 200 à 220 °C. On peut également utiliser des alcools comme le méthanol ou l'éthanol.

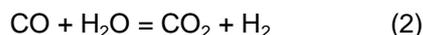
Ces différentes charges hydrocarbonées contiennent généralement du soufre, qui est un poison pour le catalyseur utilisé dans l'opération de vaporeformage. Avant l'étape de vaporeformage proprement dite, il est donc nécessaire de procéder à une désulfuration de la charge pour atteindre des teneurs en soufre inférieures à 0,5 ppm en masse. L'opération de désulfuration consiste à faire réagir la charge avec de l'hydrogène pour obtenir des hydrocarbures et du sulfure d'hydrogène.

4.1.2 PROCÉDÉ DE VAPOREFORMAGE

Une fois la charge désulfurée, la réaction de vaporeformage du méthane est la suivante :



Cette réaction s'accompagne d'un certain nombre de réactions secondaires conduisant à la formation de méthane CH_4 , de dioxyde de carbone CO_2 et de carbone C, dont la réaction dite « Water Gas Shift » qui consiste à convertir le monoxyde de carbone CO en dioxyde de carbone CO_2 selon l'équilibre suivant :



La quantité d'hydrogène produit dépend de la charge de vaporeformage. Des compositions type des gaz en

sortie de vaporeformage sont données dans le Tableau 1.

Composition (% volumique)	Méthane	Gaz naturel	GPL	Naphta
CH ₄	3,06	2,91	2,39	2,12
CO	12,16	12,62	13,62	14,17
CO ₂	9,66	10,40	12,73	14,19
H ₂	75,12	73,98	71,86	69,52
N ₂	–	0,09	–	–

Tableau 1 : Composition de gaz après vaporeformage en fonction des charges utilisées (Pression : 24 bars, température : 850 °C, H₂O/C=4)

[...]

4.4 PURIFICATION DE L'HYDROGÈNE

Parmi les techniques de production de l'hydrogène au stade industriel, le procédé de vaporeformage (cf. paragraphe 4.1) donne en produit de sortie un mélange de gaz contenant de l'hydrogène mais aussi du monoxyde de carbone CO et du dioxyde de carbone CO₂. Afin d'obtenir de l'hydrogène pur, il est nécessaire de rajouter une étape de purification.

4.4.1 APRÈS VAPOREFORMAGE

Après l'étape de vaporeformage et une étape spécifique de Water Gas Shift, il reste de l'ordre de 1 % de monoxyde de carbone et entre 16 et 20 % de dioxyde de carbone CO₂.

4.4.1.1 DIMINUTION DE LA TENEUR EN DIOXYDE DE CARBONE CO₂

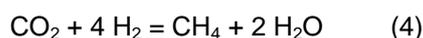
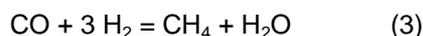
Le dioxyde de carbone CO₂ peut être éliminé par des procédés chimiques utilisant les éthanolamines ou les carbonates. Ainsi la monoéthanolamine (MEA) a été longtemps utilisée avant d'être remplacée par la méthyl-diéthanolamine (MDEA). Le principe de la purification réside dans l'adsorption du dioxyde de carbone CO₂ dans la MDEA (liquide dans les conditions de température et de pression du procédé).

Cette technique permet d'atteindre des puretés en dioxyde de carbone CO₂ de l'ordre de 0,1 vol% (1000 ppm). Dans le cas des carbonates, le dioxyde de carbone CO₂ est dissous à chaud dans une solution de carbonate de potassium. Les optimisations successives du procédé permettent actuellement d'atteindre des taux de dioxyde de carbone résiduaire de 0,005 vol% (50 ppm).

4.4.1.2 DIMINUTION DES TENEURS RÉSIDUAIRES EN MONOXYDE ET DIOXYDE DE CARBONE

Pour obtenir des puretés d'hydrogène encore plus élevées, le monoxyde de carbone CO et le dioxyde de carbone CO₂ résiduaire peuvent être éliminés par une étape de méthanation ou par adsorption sélective des impuretés sur des lits de tamis moléculaire (PSA, Pressure Swing Adsorption).

La purification par méthanation consiste à faire réagir le monoxyde ou le dioxyde de carbone avec l'hydrogène selon les équations (3) et (4) :



Cette réaction a lieu en présence d'un catalyseur nickel entre 300 et 340°C. Les teneurs résiduaire en monoxyde de carbone CO et en dioxyde de carbone CO₂ sont inférieures à 0,001 vol% (10 ppm).

La purification par adsorption sélective est basée sur le principe de l'adsorption des impuretés sur des lits de tamis moléculaire. L'opération a lieu à température ambiante et sous une pression de 20 à 25 bars. La pureté finale de l'hydrogène est de l'ordre de 99,9999 vol%.

La régénération du tamis moléculaire est obtenue en diminuant la pression au-dessus du lit (d'où la désignation de PSA pour Pressure Swing Adsorption) ou en augmentant la température (TSA, Thermal Swing Adsorption). Il est à noter que les procédés PSA sont plus rapides que les procédés TSA (facteur 8).

ANNEXE 3.2 – Performances de la PAC de type PEMFC

Extrait de la fiche 5.2.2 (révision : mars 2012) du mémento de l'hydrogène, Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible

Les performances de la pile PEMFC (proton exchange membrane fuel cell, pile à combustible à membrane échangeuse de protons) sont résumées sur la figure 6, essentiellement sous la forme de la caractéristique tension – courant (V, I), appelée encore « courbe de polarisation » (courbe en jaune, dénommée V). La tension à courant nul, V_0 , à 25 °C, pour le couple hydrogène-oxygène est de **1,23 Volt**. Le point de fonctionnement nominal d'une cellule est généralement pris autour des valeurs suivantes (point marqué V_N sur la courbe de polarisation) :

$$V_N = 0,7 \text{ Volt et } I_N = 0,45 \text{ A/cm}^2$$

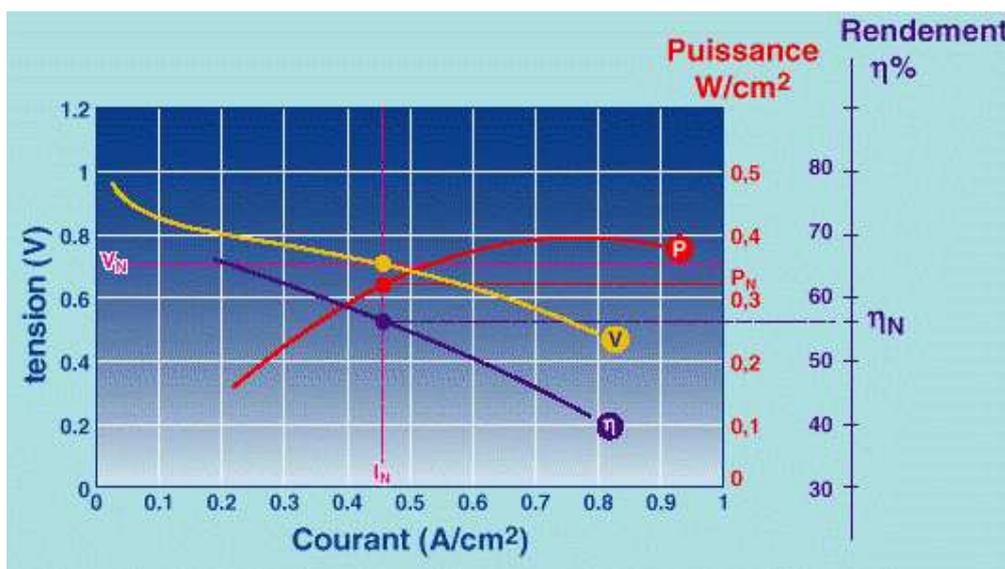


Fig. 6 – Caractéristiques électriques d'une cellule PEMFC

Le rendement énergétique (représenté sur l'échelle de droite de la figure 6) s'exprime par la relation :

$$\eta = 1 - T\Delta S/\Delta H$$

avec :

ΔH , la chaleur de réaction à pression constante et $T\Delta S$ la chaleur isotherme réversible échangée avec le milieu extérieur. Ce rendement s'exprime de façon plus simple, en tout point défini par la tension V, par la relation :

$$\eta = V/V_0 \quad \text{ou } V/1,23 \text{ (pour le couple H}_2/\text{O}_2)$$

Sa variation avec le courant est représentée par la courbe violette, repérée η sur la figure 6. Sa valeur est voisine de 57 % au point nominal choisi sur la figure 6. La puissance P s'exprime par le produit $V \times I$: sa variation est représentée par la courbe rouge, repérée P, sur la figure 6. Sa valeur est voisine de 0,32 W/cm² au point nominal choisi sur la figure 6.

Remarque : le point de fonctionnement nominal choisi n'est pas au point de puissance maximum (comme sur un moteur thermique), car le rendement est alors trop faible, de l'ordre de 40 % ; cette caractéristique permet donc à la pile, en cas de besoin, de fournir environ 25 % de puissance supplémentaire, ce qui est intéressant, en particulier pour les applications automobiles. Le rendement nominal généralement choisi par les constructeurs est voisin de 55 %.

Au plan des performances massique et volumique du module de conversion seul, les valeurs obtenues pour les meilleures technologies (Ballard, General Motors, UTC Fuel Cells...) sont voisines des valeurs suivantes :

2,9 kW/litre et 1,4 kW/kilogramme C'est-à-dire des valeurs voisines de celles d'un moteur thermique.

ANNEXE 3.3 – Le Nafion, électrolyte référence de la PAC de type PEMFC

Extrait de la thèse de doctorat de Jérémy Chabé, Université Joseph Fourier Grenoble I (2008)

1.1 Le Nafion, électrolyte référence de la pile à combustible

1.1.1 La pile à combustible, un système énergétique « propre »

[...]

1.1.2 Principe de fonctionnement d'une PAC de type PEMFC

La PEMFC (proton exchange membrane fuel cell) est la candidate idéale pour les applications portables et mobiles. Elle fonctionne à basse température (60-90 °C) et ne rejette que de l'eau.

La figure 1.1 représente le fonctionnement d'une pile de type PEMFC. Elle est alimentée par un flux d'hydrogène gazeux (H_2) à l'anode et d'oxygène gazeux (O_2) à la cathode. L' H_2 subit une réaction d'oxydation (réaction 1.2) à l'anode. Les protons (H^+) formés traversent l'électrolyte de l'anode vers la cathode et viennent réduire l' O_2 selon la réaction 1.3. Les électrons créés à l'anode sont envoyés vers la cathode à travers un circuit électrique : lampe, moteur...

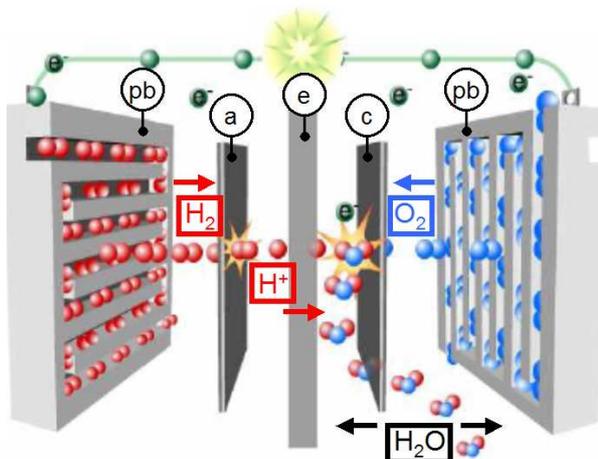
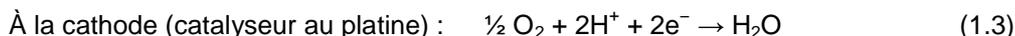


Fig. 1.1 – Principe de la PEMFC, avec : pb : plaque bipolaire, a : anode, e : membrane électrolyte (Nafion), c : cathode



L'électrolyte ((e) sur la figure 1.1) doit assurer les trois fonctions suivantes de manière optimale :

- Il sépare les gaz H_2 et O_2 . Il doit donc être imperméable à ces deux gaz.
- Il doit être stable aux niveaux mécaniques et électrochimiques.
- Il assure la conductivité protonique.

La famille des ionomères perfluorés répond à l'ensemble de ce cahier des charges. Il s'agit de polymères constitués d'une chaîne fluorée sur laquelle sont greffés des chaînons pendants portant des sites ioniques. Les plus connus de ces matériaux sont : le Nafion, fabriqué par Du Pont de Nemours (USA), le Flemion, créé par Asahi Chemical (Japon) et le Dow de Dow Chemical (USA).

Le Nafion (®Du Pont de Nemours) est actuellement l'électrolyte ionomère de référence pour la pile à combustible PEMFC. Il présente les meilleurs résultats en terme de conductivité ($10^{-2} S.cm^{-1}$ à température ambiante et hydratation maximale) et de durée de vie.

1.1.3 Présentation chimique du Nafion

Le Nafion est une membrane polymère échangeuse d'ions. Sa formule chimique est donnée sur la figure 1.2. Ce polymère est constitué majoritairement d'un squelette perfluoré $(CF_2)_n$, qui assure la tenue mécanique du matériau. Il apparaît périodiquement des chaînes pendantes qui partent du squelette perfluoré et se terminent

par des groupes ioniques $\text{SO}_3^- \text{M}^+$, avec M^+ un contre-ion tel Na^+ , K^+ , ou H^+ .

Les contre-ions peuvent être échangés en traitant le polymère dans des solutions données : pour avoir des contre ions Na^+ , le polymère est plongé dans une solution ionique Na^+ , Cl^- . Pour acidifier la membrane, la solution utilisée peut être, par exemple, une solution d'acide chlorhydrique.

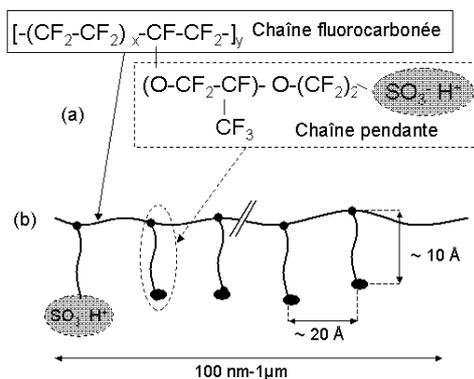


Fig. 1.2 – (a) Formule chimique du Nafion : $5 \leq x \leq 14$ et $100 \leq y \leq 1000$ et (b) Schéma des chaînes pendantes distribuées sur le squelette perfluoré

Dans le cas des membranes acidifiées, le groupe ionique SO_3H est très hydrophile. Le Nafion est en effet fortement acide, avec un pK_A compris entre -1 et $-5,1$. Les groupes sulfoniques SO_3H se dissocient en présence d'eau. Il se forme alors un groupe sulfonate SO_3^- et un ion H^+ . Les ions H^+ assurent la conductivité de la membrane Nafion.

Le squelette polymère est de type Téflon (® Du Pont de Nemours), de nom générique polytétrafluoroéthylène (PTFE), qui est par nature hydrophobe.

Ainsi le squelette est de nature hydrophobe, tandis que les sites ioniques sont hydrophiles.

Lors de la synthèse du Nafion, il est possible de contrôler le taux de charges, c'est-à-dire la quantité de charges dans le Nafion, en agissant sur le nombre d'unités de répétition $-(\text{CF}_2-\text{CF}_2)-$ entre les chaînes pendantes. Le paramètre x (figure 1.2) peut varier de 5 à 14. Ce taux de charge est caractérisé par la masse équivalente (M_{eq}), correspondant à la masse de polymère par mol de sites ioniques. Elle est donnée en gramme par équivalent : $\text{g}\cdot\text{eq}^{-1}$.

La nomenclature des membranes Nafion est représentée par un nombre à trois chiffres. La multiplication par 100 des deux premiers chiffres fournit la valeur de la masse équivalente (en $\text{g}\cdot\text{eq}^{-1}$) et le dernier chiffre correspond à l'épaisseur en millième de pouce. Pour avoir l'épaisseur de la membrane en μm , il faut multiplier ce chiffre par 25. Lors de notre travail de thèse, deux types de membranes ont été étudiés :

- Membranes commerciales Nafion 112 ($1100 \text{ g}\cdot\text{eq}^{-1}$ ($x=7$), $50 \mu\text{m}$) et Nafion 115 ($1100 \text{ g}\cdot\text{eq}^{-1}$, $125 \mu\text{m}$).
- Membranes reconstituées à partir d'une solution de Nafion préparée au laboratoire ($1100 \text{ g}\cdot\text{eq}^{-1}$, environ $5 \mu\text{m}$).

[...]

1.3 Diffusion de l'eau et du proton dans le Nafion

De nombreux travaux ont décrit l'absorption de l'eau puis les processus de diffusion de l'eau et du proton à travers la membrane.

1.3.1 Capacité de sorption du Nafion

Lorsque la membrane est soumise à un gaz hydraté, elle absorbe une quantité d'eau qui est fonction du degré d'hydratation du gaz. Cette propriété est décrite par une isotherme de sorption. L'isotherme de sorption est la courbe $\lambda = f(\text{RH})$ à température constante T_0 :

- Le paramètre λ est égal au nombre de molécules d'eau par groupe sulfoné :

$$\lambda = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{SO}_3)} \quad (1.5)$$

Avec :

$n(\text{H}_2\text{O})$: quantité d'eau absorbée

$m(\text{H}_2\text{O})$: masse d'eau absorbée

$M(\text{H}_2\text{O})$: masse molaire de l'eau

$n(\text{SO}_3)$: quantité de groupes sulfonés, $n(\text{SO}_3) = \frac{m_0}{M_{eq}}$, en mol

m_0 : masse de polymère après séchage

M_{eq} : masse équivalente, $M_{eq} = 1\ 100\ \text{g}\cdot\text{eq}^{-1}$

• RH (Relative Humidity) est le taux d'hydratation, défini par la relation :

$$\text{RH} = \frac{P(\text{H}_2\text{O})}{P_{\text{sat}}(T_0)} \quad (1.6)$$

Avec :

$P(\text{H}_2\text{O})$: pression partielle en eau

$P_{\text{sat}}(T_0)$: pression de vapeur saturante à la température T_0 de l'expérience

L'isotherme de sorption est réalisée en utilisant une balance de pesée placée dans une enceinte dont la température et le taux de vapeur sont contrôlés.

Pour un échantillon à un taux d'hydratation RH de masse $m(\text{RH})$, λ est alors donné par la relation (1.7) :

$$\lambda = \frac{(m(\text{RH}) - m_0) \cdot M_{eq}}{M(\text{H}_2\text{O}) \cdot m_0} \quad (1.7)$$

Nous avons tracé cinq isothermes de sorption d'un Nafion 1100 $\text{g}\cdot\text{eq}^{-1}$ à 25 °C issues de la littérature (figure 1.13). Elles sont toutes caractérisées par trois régimes :

- la prise en eau est forte en début d'hydratation (RH < 15%), λ augmente rapidement, environ de 0 à 2.
- Sur un domaine de RH de 15% à 75%, λ varie de 2-3 à 6-7. L'absorption d'eau est nettement plus faible.
- Enfin, à haute hydratation (75% à 100%), λ croît très rapidement, passant de 6 à 15.

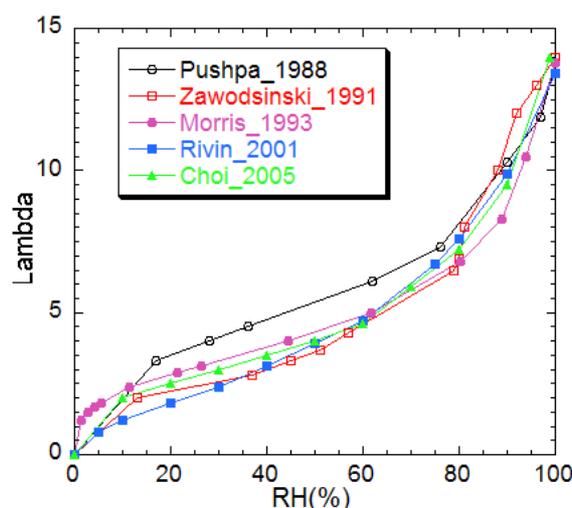


Fig. 1.13 – Isothermes de sorption d'un Nafion 1100 $\text{g}\cdot\text{eq}^{-1}$ à 25 °C

La forme sigmoïdale des isothermes de sorption reste toujours la même (figure 1.13). À très faible hydratation, les premières molécules d'eau viennent dissocier les groupes SO_3H , très hydrophiles. Ensuite, jusqu'à environ 60 % d'hydratation, l'eau absorbée hydrate les groupes ioniques SO_3^- et H_3O^+ . Puis, de 60% à 100 %

d'hydratation, la forme de la courbe est interprétée par l'agrégation des molécules d'eau. [...]

1.3.2 Conductivité de la membrane Nafion et mécanismes de conduction

Conductivité en fonction de la prise en eau

La courbe de conductivité : σ en fonction de λ d'une membrane Nafion 117 à 25 °C est présentée sur la figure 1.15.

Dès $\lambda = 0$, il existe une mesure significative de $\sigma = 10^{-9} \text{ S.cm}^{-1}$.

La conductivité vaut $\sigma = 3.10^{-6} \text{ S.cm}^{-1}$ dès $\lambda = 2$. Il semble ensuite exister deux régimes sur la courbe de conductivité :

- La conductivité augmente de trois ordres de grandeur de $\lambda = 2$ à 6 : $\sigma = 3.10^{-6}$ à $3.10^{-3} \text{ S.cm}^{-1}$
- Cette augmentation est ensuite moins rapide mais toujours constante jusqu'à une hydratation maximale $\lambda = 17$ pour laquelle $\sigma = 7.10^{-3} \text{ S.cm}^{-1}$.

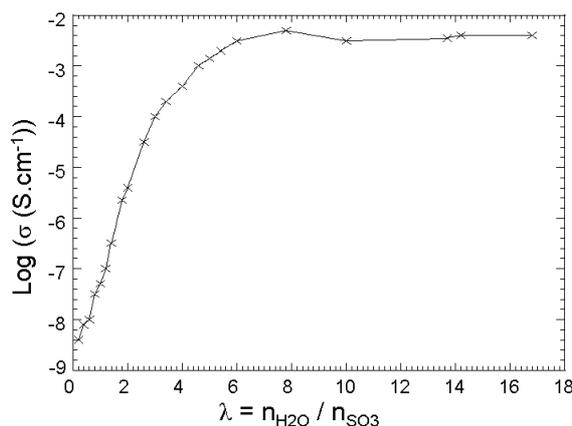


Fig. 1.15 – Conductivité du Nafion 117 en fonction de λ à 25 °C

Plusieurs auteurs ont cherché à modéliser la conduction protonique. Une revue a été rédigée à ce sujet par Kreuer *et al* en 2004. Ils ont d'abord décrit la conduction de l'ion H^+ dans l'eau pour adapter ensuite le modèle à la conduction dans la membrane Nafion.

Mécanismes de conduction protonique en solution aqueuse

Dans une solution contenant des molécules H_2O et des protons, ces derniers peuvent diffuser soit par diffusion « véhiculaire », soit par le mécanisme de Grotthuss.

L'eau est un liquide possédant un coefficient d'autodiffusion élevé ($2.10^{-5} \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$). Dans le cas d'une solution acide, les ions hydronium H_3O^+ peuvent être entraînés par les molécules d'eau. Ce type de diffusion est la diffusion « véhiculaire ».

Le mécanisme de Grotthuss est défini par le saut de l'ion H^+ d'une molécule d'eau à une autre par réarrangement de liaisons hydrogène (liaisons H) (figure 1.17).

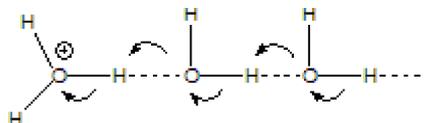


Fig. 1.17 – Mécanisme de Grotthuss

[...]

Mécanismes de conduction protonique dans la membrane Nafion

D'après Kreuer *et al*, à fort degré d'hydratation ($\lambda \geq 12$), l'eau est « bulk » au centre des canaux qui relient les domaines hydrophiles. Les mécanismes de transport sont identiques à ceux décrits en solution aqueuse.

Lorsque le nombre de molécules d'eau diminue, la densité de charges augmente, ce qui réduit les possibilités de réarrangement ionique et donc ralentit la diffusion structurale. La diffusion devient « véhiculaire ».

ANNEXE 3.4 – Données numériques

Données issues de l'*Usuel de chimie générale et minérale* (M. Bernard et F. Busnot, éd. Dunod)

Masses molaires atomiques, M :

H : 1,0 g.mol⁻¹ ; C : 12,0 g.mol⁻¹ ; O : 16,0 g.mol⁻¹ ; F : 19,0 g.mol⁻¹ ; S : 32,1 g.mol⁻¹

Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Constante de Faraday : $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$

pK_a de couples acide-base (à 298 K) :

$\text{CO}_2 / \text{HCO}_3^-$: $pK_a = 6,4$; $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$: $pK_a = 10,3$

Enthalpies standard de formation ($\Delta_f H^\circ$) et entropies standard (S°) (à 298 K) :

	$\Delta_f H^\circ / \text{kJ.mol}^{-1}$	$S^\circ / \text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
CH ₄ (g)	- 74,4	186,3
H ₂ O (g)	- 241,8	188,8
CO (g)	- 110,5	197,7
H ₂ (g)	0	130,7
CO ₂ (g)	- 393,5	213,0

Conductivités molaires ioniques d'ions à dilution infinie en solution aqueuse λ^0 (à 298 K) :

H⁺ : 35,0 mS.m².mol⁻¹ ; Cl⁻ : 7,6 mS.m².mol⁻¹

CAPES physique-chimie

Sujets zéros pour l'oral d'admission

Epreuve 1 : mise en situation professionnelle

Texte d'accompagnement des sujets zéros

Rappel du texte réglementaire :

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>

Epreuve 1 : Mise en situation professionnelle.

Préparation : quatre heures

Épreuve : une heure (présentation : trente minutes maximum ; entretien : trente minutes maximum) ; coefficient 2.

Le candidat élabore une séquence pédagogique à caractère expérimental sur un sujet proposé par le jury. Il met en œuvre des expériences de manière authentique, dans le respect des conditions de sécurité et en effectue une exploitation pédagogique pour les classes de collège et de lycée. Une au moins de ces expériences doit être quantitative et une au moins doit utiliser les technologies de l'information et de la communication. L'entretien avec le jury lui permet de justifier ses choix didactiques et pédagogiques.

Présentation de l'épreuve

L'épreuve de mise en situation professionnelle revêt un caractère expérimental qui constitue le cœur de l'épreuve.

Le texte réglementaire précise que "**le candidat élabore une séquence pédagogique**". On nomme séquence pédagogique, un ensemble de séances constituant un tout et traitant une partie bien délimitée d'un programme. Une séquence peut être composée de plusieurs séances de durée limitée – de 1h à 2h - de natures éventuellement différentes chacune ayant ses objectifs propres : mise en place d'une problématique et travaux de recherche, caractère expérimental, travaux sur documents, évaluation, cours ...

Dans cette **mise en situation professionnelle**, le candidat met en œuvre "*des expériences de manière authentique*". Le caractère "authentique" signifie qu'il ne limite pas son exposé à des expériences de pensée ou des expériences fictives dont des résultats numériques, tout aussi fictifs, seraient donnés et exploités.

Les expériences proposées peuvent jouer plusieurs rôles :

- qualitatif pour découvrir, montrer, établir des analogies, appliquer, élaborer un modèle qualitatif, ... ;

- quantitatif pour mesurer, pour vérifier, établir ou montrer les limites d'un modèle quantitatif, une loi ou la dépendance de paramètres ... L'expérience quantitative nécessite une prise en compte des incertitudes liées aux erreurs de mesures.

Les expériences peuvent être positionnées en tant qu'expériences de cours ou qu'expériences réalisées par des élèves, individuellement ou en groupe.

Le texte réglementaire précise qu'une au moins des expériences doit être quantitative mais rien n'interdit le candidat d'en proposer plusieurs.

La séquence pédagogique ne se limite pas au caractère expérimental. Les expériences n'existent pas isolées de toute étude, mais font partie intégrante d'une démarche scientifique promue au collège et au lycée ; elles constituent un moyen de découvrir un fait qui sera problématisé, d'apporter une réponse à un questionnement en physique-chimie, un moyen d'infirmer ou de confirmer d'une hypothèse.

Le candidat doit donc inscrire sa présentation dans une séquence conçue en vue d'atteindre des objectifs d'apprentissage fixés par les programmes de collège et de lycée.

La séquence pédagogique est une séquence d'apprentissage destinée à un public. La liberté pédagogique est laissée au candidat, les sujets n'imposant ni le nombre d'expériences à mettre en œuvre, ni leur(s) rôle(s) et ni le déroulement pédagogique de la séquence. En trente minutes, il ne peut pas présenter une séquence complète et doit donc faire des choix. Le jury attend néanmoins que soient précisés :

- les objectifs d'apprentissage visés ;
- l'architecture de la séquence : les objectifs "élèves" (situation déclenchante) et la problématisation, la place, le rôle et le positionnement des expériences dans la séquence, les tâches dévolues aux élèves et les compétences mises en œuvre dans la partie présentée ;
- une synthèse scientifique et pédagogique.

Dans l'entretien de trente minutes qui suit la présentation, le jury peut interroger le candidat sur :

- l'organisation et l'architecture de la séquence pédagogique ;
- les compétences développées chez les élèves et leur évaluation ;
- le choix et la pertinence des expériences réalisées au regard de la thématique du sujet et du niveau auquel il est destiné ;
- les méthodes de mesures, le choix du matériel, le principe de fonctionnement d'appareils de laboratoire courants ;
- les conditions d'utilisation des matériels ("matériels" au sens large incluant donc les produits chimiques ...) et la prévention des risques associés à leur utilisation ;
- les lois et les principes physiques mis en œuvre dans les appareils utilisés ou évoqués par le candidat ;

Le texte réglementaire précise qu'au moins une expérience présentée doit utiliser les technologies de l'information. Celles-ci peuvent être présentes à plusieurs niveaux :

- les outils d'acquisition de données ;
- les outils de traitement et de représentation des données ;
- les outils de simulation et de modélisation ;
- les outils de présentation, de communication et d'élaboration de contenus ;

Exemples de sujets

Le texte réglementaire prévoit une "*exploitation pédagogique pour les classes de collège ET de lycée*". Ils peuvent prendre deux formes :

- L'élaboration d'une séquence pédagogique pour un niveau d'enseignement donné (sujet zéro 1 et sujet zéro 2).
- L'élaboration d'une séquence pédagogique couvrant sur un thème donné tout ou partie du cursus d'enseignement de la 5^{ème} à la terminale (sujet zéro 3).

Organisation de l'épreuve

Les sujets de **mise en situation professionnelle** porteront sur les programmes du lycée général et technologique et du collège. Contrairement à l'épreuve d'« exposé avec expérience(s) » du concours précédent, ils ne feront pas l'objet d'une publication officielle.

Le numéro de tirage au sort du candidat détermine le sujet.

Comme dans l'organisation du précédent concours, lors du tirage au sort le candidat signe deux enveloppes contenant respectivement les codes des sujets des deux épreuves orales qu'il découvre lors de la passation de celles-ci. **Aucun choix n'est proposé.** Le sujet de "mise en situation professionnelle" porte sur de la physique ou de la chimie mais, pour des raisons d'organisation du concours, ces deux composantes ne sont pas associées.

Le temps de préparation de l'épreuve est fixé règlementairement à 4 heures. A l'issue de la lecture du sujet, le candidat est accompagné dans une salle de préparation banalisée, lui donnant accès à la bibliothèque du concours pour choisir les ressources qu'il souhaite utiliser, où il prépare pendant au moins une heure.

Au terme de cette première heure, le candidat peut, à sa demande, accéder à une salle spécifique disposant de matériels en vue de la préparation de la partie expérimentale de la séquence qu'il souhaite présenter. Ce local est équipé de matériel numérique - ordinateur et logiciels, vidéoprojecteur, centrale d'acquisition – et de matériels pédagogiques d'expérimentation.

Un technicien est présent pour intervenir à la demande du candidat, lui fournir le matériel, les réactifs et les solutions demandés ou équivalents, ainsi que les notices d'utilisation des appareils. Le technicien vérifie le bon fonctionnement du matériel fourni et le remplace en cas de défaillance. .

En chimie, du matériel lié à la sécurité – gants, lunettes – sera mis à disposition du candidat.

A tout moment, pendant la préparation, le candidat peut demander à retourner en bibliothèque pour emprunter une autre ressource.

La passation de l'épreuve se déroule dans la salle spécifique.

Pendant la passation de l'épreuve, le candidat a la possibilité de garder les ressources empruntées mais il ne peut plus accéder à la bibliothèque.

Le candidat dispose de toute la liberté pour l'organisation de sa présentation, la commission d'évaluation – composée de deux ou trois membres du jury - n'étant pas en attente d'une présentation type mais certains "incontournables" cités plus haut sont à évoquer pour éclairer la commission sur le sens de la présentation et les intentions pédagogiques du candidat.

A l'heure prévue par le numéro de tirage au sort, la commission d'évaluation se rend dans la salle de préparation du candidat. La passation de l'épreuve se déroule en deux étapes décrites plus haut :

- Une présentation du candidat d'une durée de trente minutes maximum ;
- Un entretien avec le jury de trente minutes maximum.

Le CAPES est un concours de recrutement de professeurs. Les capacités liées à la qualité de l'expression orale, à l'aisance, à la rigueur du vocabulaire utilisé, à la conviction affichée et aux capacités d'écoute, de dialogue et d'argumentation, sont évaluées dans cette épreuve au même titre que les compétences scientifiques, didactiques et pédagogiques.

Sitographie et bibliographie

- Eduscol ;

Activités expérimentales, enjeux de formation publication IGEN

- *Mesures et incertitudes* ; publication IGEN
- *Nouveaux Profils des bacheliers scientifiques, formation en physique-chimie au collège et au lycée* ; publication IGEN
- Sujets zéros d'évaluation des compétences expérimentales ;
- Site national de physique-chimie;

SUJET ZERO 1

CAPES EXTERNE DE PHYSIQUE - CHIMIE SESSION 2014

ÉPREUVE DE MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>

Le candidat élabore une séquence pédagogique à caractère expérimental sur un sujet proposé par le jury. Il met en œuvre des expériences de manière authentique, dans le respect des conditions de sécurité et en effectue une exploitation pédagogique pour les classes de collège et de lycée. Une au moins de ces expériences doit être quantitative et une au moins doit utiliser les technologies de l'information et de la communication. L'entretien avec le jury lui permet de justifier ses choix didactiques et pédagogiques.

THÈME : OBSERVER – Ondes et matière

Niveau d'enseignement : **classe de TERMINALE S**

TRAVAIL À EFFECTUER

Élaborer une séquence pédagogique sur la partie du programme :

" Propriétés des ondes : interférences "

SUJET ZERO 2

CAPES EXTERNE DE PHYSIQUE - CHIMIE SESSION 2014

ÉPREUVE DE MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré
<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>

Le candidat élabore une séquence pédagogique à caractère expérimental sur un sujet proposé par le jury. Il met en œuvre des expériences de manière authentique, dans le respect des conditions de sécurité et en effectue une exploitation pédagogique pour les classes de collège et de lycée. Une au moins de ces expériences doit être quantitative et une au moins doit utiliser les technologies de l'information et de la communication. L'entretien avec le jury lui permet de justifier ses choix didactiques et pédagogiques.

THÈME : **SYNTHESES CHIMIQUES**

Niveau d'enseignement : **classe de PREMIERE STL,
spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire**

TRAVAIL À EFFECTUER

Élaborer une séquence pédagogique sur la partie du programme :

" Amélioration des cinétiques de synthèse.

Énergie d'activation d'une réaction.

Catalyse homogène et hétérogène.

Chimie douce, chimie biomimétique"

SUJET ZERO 3

CAPES EXTERNE DE PHYSIQUE - CHIMIE SESSION 2014

ÉPREUVE DE MISE EN SITUATION PROFESSIONNELLE

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>

Le candidat élabore une séquence pédagogique à caractère expérimental sur un sujet proposé par le jury. Il met en œuvre des expériences de manière authentique, dans le respect des conditions de sécurité et en effectue une exploitation pédagogique pour les classes de collège et de lycée. Une au moins de ces expériences doit être quantitative et une au moins doit utiliser les technologies de l'information et de la communication. L'entretien avec le jury lui permet de justifier ses choix didactiques et pédagogiques.

THÈMES : OBSERVER ET COMPRENDRE
Niveau d'enseignement : **classe de TERMINALE S**

TRAVAIL À EFFECTUER

Élaborer une séquence pédagogique de synthèse sur :

"Les modèles de la lumière du collège au baccalauréat"

CAPES physique-chimie

Sujets zéros pour l'oral d'admission

Epreuve 2 : Analyse d'une situation professionnelle

Texte d'accompagnement des sujets zéros

Rappel du texte réglementaire

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLien=id>

Épreuve 2 : Analyse d'une situation professionnelle

Préparation : deux heures ; épreuve : une heure (exposé : trente minutes maximum ; entretien : trente minutes maximum) ; coefficient 2.

L'épreuve prend appui sur un dossier réalisé par le jury. Le dossier constitué de documents divers-scientifiques, didactiques, pédagogiques, d'extraits de manuels ou de productions d'élève permet de présenter une situation d'enseignement en collège ou en lycée.

L'entretien permet d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société), et les valeurs qui le portent dont celles de la République.

Présentation de l'épreuve

Il est demandé au candidat d'analyser, de modifier ou de concevoir une situation d'enseignement permettant à un élève d'acquérir les compétences exigibles par le programme.

On nomme « situation d'enseignement » tout ou partie d'une séance visant au développement de compétences liées au programme d'enseignement.

Les situations d'enseignement peuvent prendre plusieurs formes :

- situation d'apprentissage ;
- situation d'évaluation : évaluation diagnostique, formative, sommative ;
- situation de remédiation.

Le thème, le niveau de la classe et le type de situation sont indiqués dans le dossier remis au candidat.

De même, puisque l'acte d'enseigner et la construction de la séance ne peuvent être indépendants du contexte, des éléments liés aux élèves, à la classe, au type d'établissement, ou au projet de celui-ci, etc... sont donnés.

La situation présentée prend appui sur les documents fournis dans le dossier ; le thème peut faire appel à des problématiques actuelles et « sociétales » nécessitant des réponses non binaires et des compromis à

arbitrer. Tous les documents ne sont pas obligatoirement à exploiter ; le candidat est donc invité à s'engager, à faire des choix qu'il doit être en mesure d'argumenter et de défendre lors de la présentation ou de l'entretien. Le candidat peut aussi utiliser une documentation complémentaire mise à sa disposition en bibliothèque.

Le candidat peut avoir le choix de la forme qu'il donne à la situation d'enseignement mais il doit être capable de l'expliquer : activité documentaire, activité expérimentale, situation de recherche, ... On attend qu'il présente les objectifs de la situation d'enseignement en termes d'apprentissages, l'activité – ou les activités – de l'élève et le type de production attendu. Il peut également indiquer des pistes d'interactions possibles avec les autres disciplines.

Contenu du dossier fourni au candidat

Le dossier indique le travail à réaliser par le candidat et contient des documents associés.

Le travail à réaliser précise :

- Le niveau du cursus, collège ou lycée, dans lequel doit être proposée la situation d'enseignement ;
- Le thème et la partie du programme abordés ;
- les consignes : ce que doit préparer et présenter le candidat.

Les documents fournis peuvent porter sur :

- des éléments de contexte de l'établissement, la typologie sommaire des élèves accueillis, des indications sur le projet d'établissement et si nécessaire sur l'environnement du lycée ou du collège ;
- la division dans laquelle va se dérouler la situation : profil particulier, hétérogénéité ... résultats au trimestre précédent et/ou à l'évaluation précédente ;
- des ressources pour concevoir la situation d'enseignement autres que celles mises à disposition en bibliothèque (articles scientifiques, photographies, cartes heuristiques, fiches méthodes, productions ou copies d'élèves, ...).

Exemples de sujets.

- Sujet 1 - Construction d'une situation d'apprentissage. Niveau : terminale S.
- Sujet 2 - Construction d'un scénario pédagogique à partir d'une situation déclenchante et de fiches jokers. Niveau : seconde.
- Sujet 3 - Analyse d'une situation d'évaluation et construction d'une remédiation. Niveau : cinquième.

Ces exemples de sujets sont détaillés ci-après.

Organisation de l'épreuve

Les sujets d'analyse d'une situation professionnelle portent sur les programmes du lycée général et technologique et sur ceux du collège. Ils ne feront pas l'objet d'une publication officielle. Lors du tirage au sort, le candidat signe deux enveloppes contenant respectivement les codes des sujets des deux épreuves orales qu'il découvre, sans possibilité de choix, lors de la passation de celles-ci. Le sujet de "d'analyse d'une situation professionnelle" porte sur de la physique ou de la chimie mais, pour des raisons d'organisation du concours, ces deux composantes ne sont pas associées. Si le sujet d'analyse d'une situation professionnelle porte sur de la chimie, celui de mise en situation professionnelle portera sur de la physique et réciproquement.

Le temps de préparation est de deux heures. A l'issue de la lecture du sujet, le candidat est accompagné dans une salle banalisée située à proximité de la bibliothèque à laquelle il a accès durant toute la préparation de l'épreuve. Toute ressource empruntée est notée sur une fiche portée à la connaissance de la commission d'évaluation. Le candidat ne dispose d'aucune ressource humaine pendant cette préparation, le personnel présent dans la salle se consacre à la surveillance du bon déroulement de celle-ci.

Le candidat dispose de toute la liberté pour sa présentation, la commission d'évaluation – composée de deux ou trois membres du jury - n'étant pas en attente d'une présentation type.

Cinq à dix minutes avant l'heure de passation, le candidat est accompagné dans la salle où se déroulera la présentation devant le jury. Il a la possibilité d'y amener les ressources - manuels ... - qu'il compte utiliser devant la commission d'évaluation mais une fois dans la salle, il n'a plus la possibilité de revenir en bibliothèque.

A l'heure prévue par le numéro de tirage au sort, la commission d'évaluation se rend dans la salle de présentation du candidat.

La passation de l'épreuve se déroule en deux étapes:

- Une présentation du candidat d'une durée de trente minutes maximum ;
- Un entretien avec le jury d'une durée de trente minutes maximum.

Lors de la présentation, la commission d'évaluation n'interrompt pas le candidat durant le temps imparti et le laisse utiliser le tableau ou tout autre dispositif de présentation qui sera mis à sa disposition. Les membres de la commission ont à leur disposition le sujet complet remis au candidat (travail à fournir et documents) mais le candidat est maître de la gestion du temps, les membres de la commission se contentant dans cette partie de lui indiquer si nécessaire le temps restant à l'issue d'environ 25 minutes de présentation.

Dans l'entretien de trente minutes qui suit la présentation, la commission d'évaluation peut interroger le candidat sur :

- l'organisation de la situation professionnelle présentée ;
- les contenus scientifiques abordés ;
- les choix pédagogiques effectués compte tenu du profil de la classe et des objectifs fixés ;
- les compétences développées chez les élèves ;
- le choix et la pertinence des documents utilisés ;
- le prolongement éventuel de la situation professionnelle au-delà de la séance, dans un contexte d'établissement particulier.

Le CAPES est un concours de recrutement de professeurs. Les capacités liées à la qualité de l'expression orale, à l'aisance, à la rigueur du vocabulaire utilisé, à la conviction affichée et aux capacités d'écoute, de dialogue et d'argumentation, sont évaluées dans cette épreuve au même titre que les compétences scientifiques, didactiques et pédagogiques

Sitographie et bibliographie

Eduscol

Introduction des programmes de collège et de lycée.

Nouveaux Profils des bacheliers scientifiques, formation en physique-chimie au collège et au lycée ;

publication IGEN

SUJET ZÉRO 1

CAPES EXTERNE DE PHYSIQUE - CHIMIE SESSION 2014

ÉPREUVE D'ANALYSE D'UNE SITUATION PROFESSIONNELLE

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLi en=id>

Texte réglementaire

L'épreuve prend appui sur un dossier réalisé par le jury. Le dossier constitué de documents divers-scientifiques, didactiques, pédagogiques, d'extraits de manuels ou de productions d'élèves permet de présenter une situation d'enseignement en collège ou en lycée.

L'entretien permet d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société), et les valeurs qui le portent dont celles de la République.

THÈME : COMPRENDRE

Temps, mouvement et évolution

Niveau d'enseignement : classe de TERMINALE S

Sujet : Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé.

TRAVAIL À EFFECTUER

- Construire une situation d'apprentissage permettant d'acquérir certaines des compétences exigibles du programme sur le sujet proposé.
- Le candidat pourra s'appuyer sur tout ou partie des documents fournis et s'attachera à ancrer ses propositions dans le contexte qui lui est suggéré.

Éléments de contexte

Présentation de l'établissement

Le lycée- accueil 800 élèves ; il s'agit d'un lycée polyvalent qui offre les deux voies de formation :

- une voie professionnelle préparant au baccalauréat professionnel « Accompagnement, soins et service à la personne », comptant 120 élèves ;
- une voie générale et technologique constitué :
 - des trois séries générales ES, L et S comptant 440 élèves ;
 - de la série ST2S (sciences et techniques de la santé et du social) comptant 130 élèves et de la série STMG (sciences et techniques du management et de la gestion) comptant 110 élèves ;

Documents

Document 1 : la propulsion par réaction



Ci-dessus : décollage d'un lanceur Ariane 5 (Copyright ESA)

Pour avancer, le rameur prend appui sur l'eau, l'oiseau sur l'air, le piéton sur le sol. Mais comment se déplacer dans le vide de l'Espace, sans aucun support ?

C'est le Russe Konstantin Tsiolkovski qui, à la fin du XIXème siècle, a apporté la solution en imaginant le moteur-fusée, capable de créer sa propre force motrice aussi bien dans l'atmosphère que dans le vide spatial.

Son fonctionnement repose sur un phénomène naturel, celui de l'action et de la réaction, découvert par Isaac Newton deux siècles auparavant. Le principe de l'action et de la réaction selon lequel à toute action correspond une réaction égale et de sens opposé est à l'origine de la propulsion des fusées.

Dans l'Espace, la fusée éjecte des gaz vers l'arrière et se propulse vers l'avant par réaction, sans point d'appui extérieur : au mouvement de la masse de gaz vers l'arrière correspond un mouvement opposé de la fusée vers l'avant. La fusée s'appuie sur les gaz éjectés et fonctionne parfaitement dans le vide.

Extrait de <http://eduscol.education.fr/orbito/lanc/princip/princip1.htm>

Document 2 : propulsion d'un rameur ayant perdu ses rames



Vidéo : http://www.dailymotion.com/video/x32q7i_action-reaction_news (début à 0'45")

Document 3 : extrait du cahier des charges pour la conception des sujets d'Évaluation des Compétences Expérimentales (ECE) en TS –

Compétence	Conditions de mise en œuvre	Exemples de capacités et d'attitudes (non exhaustifs)
S'approprier	Cette compétence est mobilisée dans chaque sujet sans être nécessairement évaluée. Lorsqu'elle est évaluée, l'énoncé ne doit pas fournir les objectifs de la tâche.	<ul style="list-style-type: none">- rechercher, extraire et organiser l'information en lien avec une situation,- énoncer une problématique,- définir des objectifs.
Analyser	Le sujet doit permettre une diversité des approches expérimentales et le matériel à disposition doit être suffisamment varié pour offrir plusieurs possibilités au candidat. Les documentations techniques seront mises à disposition.	<ul style="list-style-type: none">- formuler une hypothèse,- proposer une stratégie pour répondre à la problématique,- proposer une modélisation,- choisir, concevoir ou justifier un protocole / dispositif expérimental,- évaluer l'ordre de grandeur d'un phénomène et de ses variations.
Réaliser	Le sujet doit permettre à l'examineur d'observer la maîtrise globale de certaines opérations techniques et l'attitude appropriée du candidat dans l'environnement du laboratoire.	<ul style="list-style-type: none">- évoluer avec aisance dans l'environnement du laboratoire,- suivre un protocole,- respecter les règles de sécurité,- utiliser le matériel (dont l'outil informatique) de manière adaptée,- organiser son poste de travail,- effectuer des mesures avec précision,- reporter un point sur une courbe ou dans un tableau,- effectuer un calcul simple.
Valider	Le sujet doit permettre à l'examineur de s'assurer que le candidat est capable d'identifier des causes de dispersion des résultats, d'estimer l'incertitude à partir d'outils fournis, d'analyser de manière critique des résultats et choisir un protocole plus approprié parmi deux possibles.	<ul style="list-style-type: none">- exploiter et interpréter des observations, des mesures,- utiliser les symboles et unités adéquats,- vérifier les résultats obtenus,- valider ou infirmer une information, une hypothèse, une propriété, une loi, ...,- analyser des résultats de façon critique,- proposer des améliorations de la démarche ou du modèle,- utiliser du vocabulaire de la métrologie.
Communiquer	Cette compétence est transversale. Elle est mobilisée sur l'ensemble de l'épreuve sans être nécessairement évaluée. Si on choisit de l'évaluer, le support de communication doit être imposé dans le sujet. Elle ne peut alors se réduire à une observation de	<ul style="list-style-type: none">- utiliser les notions et le vocabulaire scientifique adaptés,- présenter, formuler une proposition, une argumentation, une synthèse ou une conclusion de manière cohérente complète et compréhensible.

	la maîtrise de la langue au cours de quelques échanges avec l'examineur. Il s'agit de construire ici une argumentation ou une synthèse scientifique en utilisant l'outil de communication imposé par le sujet (un poster, une ou deux diapositives, un enregistrement sonore ou une vidéo, ...). Ce temps de communication ne pourra pas excéder 2 à 3 minutes en cas d'une communication orale imposée. Le contenu devra être en cohérence avec la réflexion et les résultats obtenus par le candidat.	
Être autonome, faire preuve d'initiative	Cette compétence est transversale. Elle est mobilisée sur l'ensemble de l'épreuve en participant à la définition du niveau de maîtrise des autres compétences.	<ul style="list-style-type: none"> - travailler seul, - demander une aide pertinente.

SUJET ZÉRO 2

CAPES EXTERNE DE PHYSIQUE - CHIMIE SESSION 2014

ÉPREUVE D'ANALYSE D'UNE SITUATION PROFESSIONNELLE

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLi en=id>

Texte réglementaire

L'épreuve prend appui sur un dossier réalisé par le jury. Le dossier constitué de documents divers-scientifiques, didactiques, pédagogiques, d'extraits de manuels ou de productions d'élèves permet de présenter une situation d'enseignement en collège ou en lycée.

L'entretien permet d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société), et les valeurs qui le portent dont celles de la République.

THÈME : La pratique du sport

Niveau d'enseignement : classe de seconde

Sujet : ISOMÉRIE

TRAVAIL À EFFECTUER

- Concevoir un scénario pédagogique utilisant une des deux ou les deux situations proposées dans le diaporama du document 1, pour faire acquérir certaines des compétences exigibles du programme sur le sujet proposé.
- Le candidat pourra s'appuyer sur tout ou partie des documents fournis et s'attachera à ancrer ses propositions dans le contexte qui lui est suggéré.

Éléments de contexte

Au début du troisième trimestre de l'année scolaire, une équipe de professeur d'un lycée a conçu collectivement un diaporama et deux fiches de jokers (documents 1 et 2). Ils souhaitent pouvoir présenter à toutes les classes de seconde de leur établissement une séance impliquant tous les élèves, répondant ainsi à la diversité de leurs projets de poursuite d'étude. Par ailleurs, le projet d'établissement accorde une grande importance à l'éducation à la santé.

Documents

Document 1 : diaporama

Une recherche rapide sur Internet avec le mot clé « C₂₁H₂₈O₂ » donne les résultats suivants :

Le THG (tétrahydrogestrinone), de formule C₂₁H₂₈O₂, a longtemps été considéré comme un produit dopant non détectable, et a été utilisé par de nombreux champions.



Le lévonorgestrel, de formule C₂₁H₂₈O₂ a un effet contraceptif et entre dans la composition de la pilule du lendemain.
(D'après Wikipédia)



En lisant une revue, Noémie a appris que la molécule C₂H₆O était un biocarburant de la famille des éthers. Il est issu de la transformation de matières végétales et assimilé une source d'énergie renouvelable, car ses émissions de dioxyde de carbone sont inférieures de 95 % à celles du gazole.



- Son camarade Tom est surpris, car il a retenu dans son cours de chimie que beaucoup de médicaments contiennent un excipient de la famille des alcools qui a la même formule !



Extrait d'un manuel scolaire – Edition Bordas

Compétences évaluées

S'approprier	Identifier un problème	☺	☹	☒
	Énoncer une problématique	☺	☹	☒
Analyser	Proposer une stratégie pour répondre à la problématique	☺	☹	☒
Valider	Valider l'hypothèse	☺	☹	☒
Communiquer	Formuler une hypothèse complète et compréhensible	☺	☹	☒
Autonomie	Demander une aide pertinente	☺	☹	☒
	S'impliquer dans un travail collectif	☺	☹	☒

Document 2 : fiche de jokers

Ce document propose des "fiches joker" qui peuvent être distribuées aux élèves en fonction de leurs besoins et de l'avancement – ou du non avancement – de leurs travaux.

➤ Jokers utilisés dans la classe de seconde X

JOKER 1

Formuler une ou des hypothèses susceptibles de répondre à la question posée.

JOKER 2

Réaliser le travail nécessaire permettant de valider ou d'invalider l'hypothèse.

JOKER 3

Schématiser les réponses sur votre feuille.

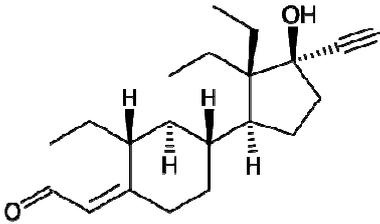
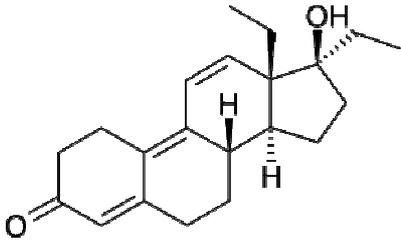
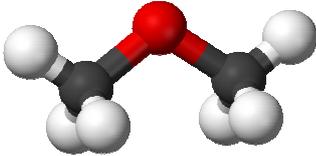
JOKER 4

Rédiger une phrase de conclusion répondant à la question posée.

JOKER 5

Ces molécules sont des **molécules isomères**. En donner une définition.

➤ Jokers utilisés dans la classe de seconde Y

	<p style="text-align: center;">JOKER 1</p> <p>Des isomères sont des molécules ayant la même formule brute mais des formules développées différentes.</p> <p>Des isomères, ont des propriétés physiques, chimiques et biologiques différentes.</p>
	<p style="text-align: center;">JOKER 2</p> <p style="text-align: center;">Levonorgestrel Tétrahydrogestrinone</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"><div style="text-align: center;"></div><div style="text-align: center;"></div></div>
	<p style="text-align: center;">JOKER 3</p> <p>Éther méthylique de formule C_2H_6O :</p> <div style="text-align: center;"></div>

SUJET ZÉRO 3

CAPES EXTERNE DE PHYSIQUE - CHIMIE SESSION 2014

ÉPREUVE D'ANALYSE D'UNE SITUATION PROFESSIONNELLE

Extrait de l'arrêté 14 du 19 avril 2013 fixant les modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat du second degré

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027361553&dateTexte=&categorieLi en=id>

Texte réglementaire

L'épreuve prend appui sur un dossier réalisé par le jury. Le dossier constitué de documents divers-scientifiques, didactiques, pédagogiques, d'extraits de manuels ou de productions d'élèves permet de présenter une situation d'enseignement en collège ou en lycée.

L'entretien permet d'évaluer la capacité du candidat à prendre en compte les acquis et les besoins des élèves, à se représenter la diversité des conditions d'exercice de son métier futur, à en connaître de façon réfléchie le contexte dans ses différentes dimensions (classe, équipe éducative, établissement, institution scolaire, société), et les valeurs qui le portent dont celles de la République.

THÈME : L'eau dans notre environnement – Mélanges et corps purs

Niveau d'enseignement : classe de cinquième

Sujet : Les changements d'état de l'eau – Les grandeurs physiques associées

TRAVAIL À EFFECTUER

- Analyser une évaluation (*ci-dessous, pistes pour cette analyse*):
 - o Nature et diversité des compétences évaluées au regard du programme ;
 - o Production d'un élève et analyse des résultats de la classe ;
 - o Critique du sujet et proposition d'éventuelles modifications ;
- Proposer un barème détaillé pour cette évaluation et noter la copie de Maxime.
- Proposer une situation de remédiation en fonction des difficultés rencontrées par les élèves.

Éléments de contexte

La classe de cinquième concernée a un effectif de 29 élèves. Un professeur de physique-chimie de l'établissement a conçu une évaluation sur "les changements d'état de l'eau". Vous la faites passer à vos élèves (ils doivent répondre sur le sujet).

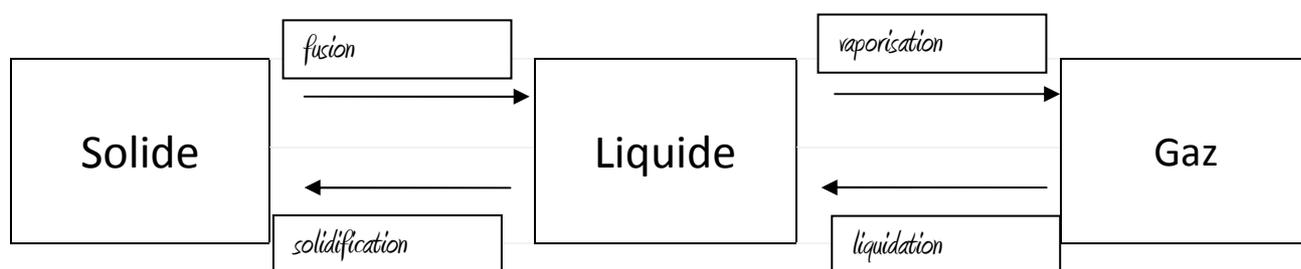
Documents

Document 1 : copie de Maxime

Nom et prénom : ... Maxime

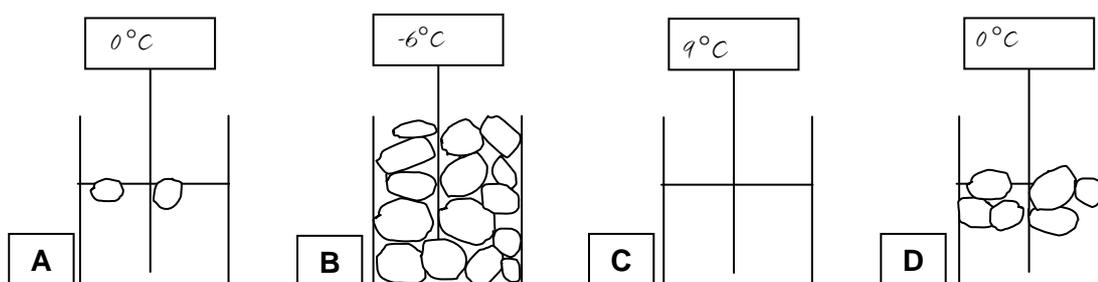
Exercice 1 (4 points) :

Remplis les cases vides du schéma ci-dessous en précisant pour chacune le changement d'état.



Exercice 2 (6 points) :

Les quatre schémas qui suivent représentent dans le désordre de l'eau qui passe de l'état solide à l'état liquide.



Note sur chaque thermomètre la température qui convient en choisissant parmi les valeurs suivantes :

-12°C ; -6°C ; 0°C ; 4°C ; 9°C et **argumente tes choix**.

Tant qu'il y a de la glace, la température est à 0°C . Après, elle monte.

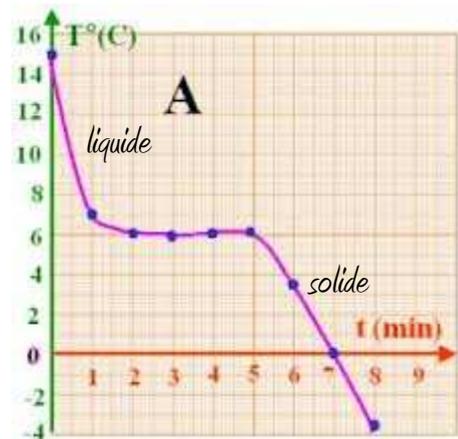
Exercice 3 (4 points).

Solidification du cyclohexane

Lors d'une activité expérimentale, des élèves ont relevé la température d'un échantillon de cyclohexane lors de son refroidissement. Ils ont obtenu la courbe ci-contre (graphique A).

Par, ailleurs, dans wikipedia, ils ont relevé le tableau ci-dessous ([http://fr.wikipedia.org/wiki/Fusion_\(physique\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fusion_(physique))) :

Corps pur	Température de fusion / solidification (°C)	Température d'ébullition / liquéfaction (°C)
Eau	0 °C	100 °C
cyclohexane	6 °C	81 °C
Mercure	-39 °C	357 °C
Fer	1 535 °C	2 750 °C



- a) Donne le nom des états du cyclohexane pour les différentes parties de la courbe (tu n'as pas le droit d'écrire sur le graphique).

Le cyclohexane est d'abord liquide puis solide.

- b) Le cyclohexane est-il un corps pur (tu ne dois pas te contenter d'écrire oui ou non mais tu dois écrire pourquoi) ?

On peut dire qu'il est presque pur parce que la courbe est presque plate entre 2 et 5 minutes.

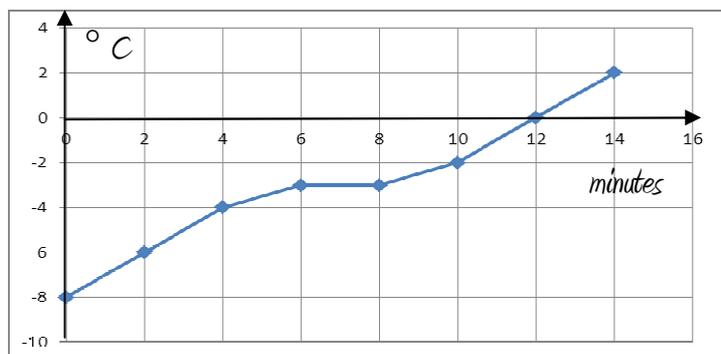
Exercice 4 (6 points).

En camping, Claire et Olivier voudraient rafraîchir une boisson avec des glaçons mais ils ont un doute : "ont-ils été réalisés avec de l'eau douce ou de l'eau de mer ?". Claire propose de relever la température au fur et à mesure du réchauffement de quelques glaçons. Ils rassemblent leurs résultats de mesure dans le tableau ci-dessous.

Temps (minute)	0	2	4	6	8	10	12	14
Température ($^{\circ}\text{C}$)	-8	-6	-4	-3,5	-3	-2	0	2

Peuvent-ils utiliser les glaçons pour rafraîchir leur boisson (tu peux construire une courbe dans le repère ci-dessous) ?

Ils peuvent pas utiliser les glaçons car ça ne fond pas à 0°C



Document 2 : résultats de la classe

EXERCICE 1				
Notes	1	2 ou 3	4	Des erreurs de lexique et de positionnement des noms de changement d'état
Nombre d'élèves	2	18	9	
EXERCICE 2				
Notes	1-2	3-4	5-6	4 températures à noter et 5 choix. Souvent des températures proposées différentes en A et D.
Nombre d'élèves	14	13	2	
EXERCICE 3				
Notes	1	2-3	4	Exercice plutôt bien réussi. Des consignes pas toujours respectées. Parfois des confusions entre les états.
Nombre d'élèves	0	17	12	
EXERCICE 4				
Notes	1-2	3-4	5-6	De nombreuses erreurs dans la représentation graphique qui ont conduit les élèves à un résultat faux. Certains ont inversés les axes, d'autres ont mal positionnés les points. Certains ont répondu sans graphique et souvent faux.
Nombre d'élèves	18	8	3	