

CAPES physique-chimie

Sujet zéro pour l'admissibilité

Epreuve 1 : Composition

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>

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 réglementaire, 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

THÈME : L'ÉNERGIE

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 réfléchie 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 .

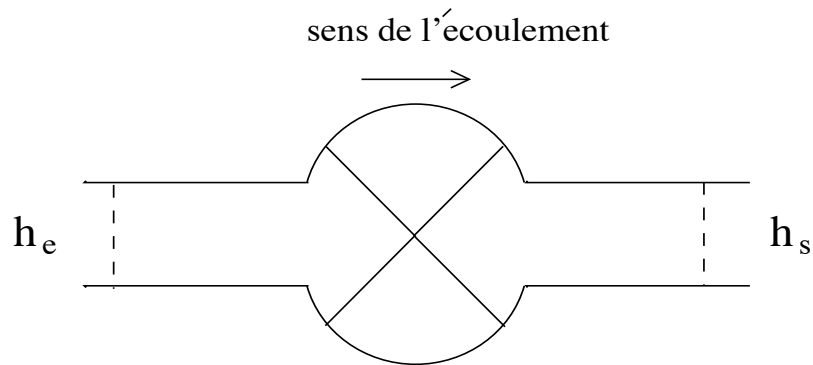


Figure 2 – Coupe d'un dispositif où s'écoule un fluide

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)

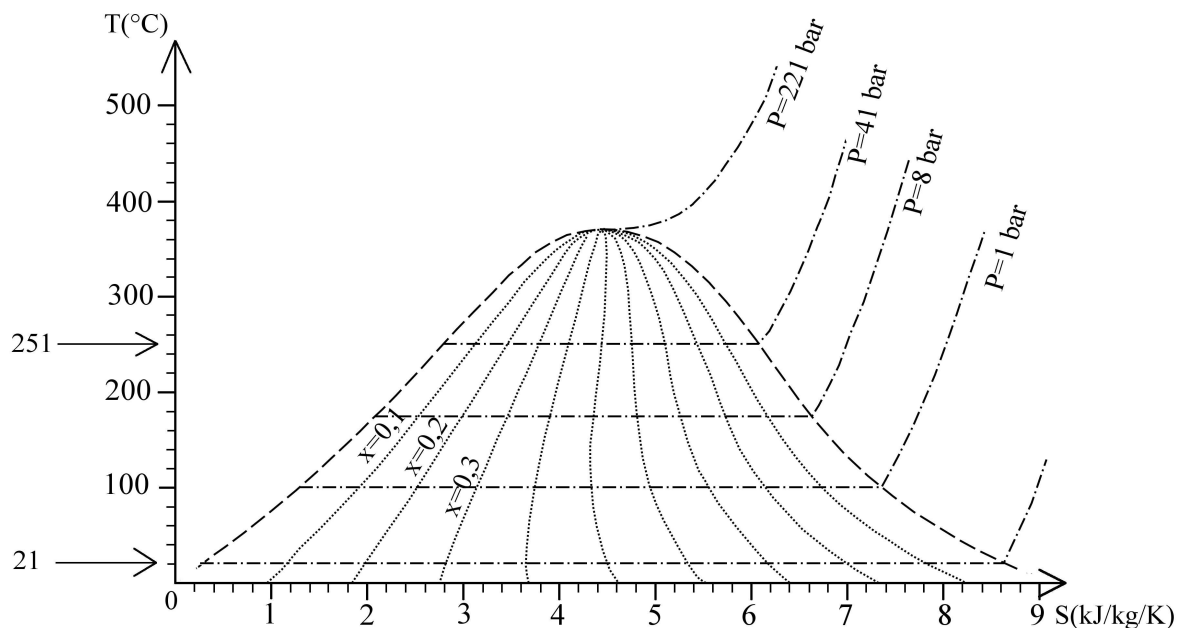


Figure 3 : Diagramme entropique de l'eau

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_i 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.

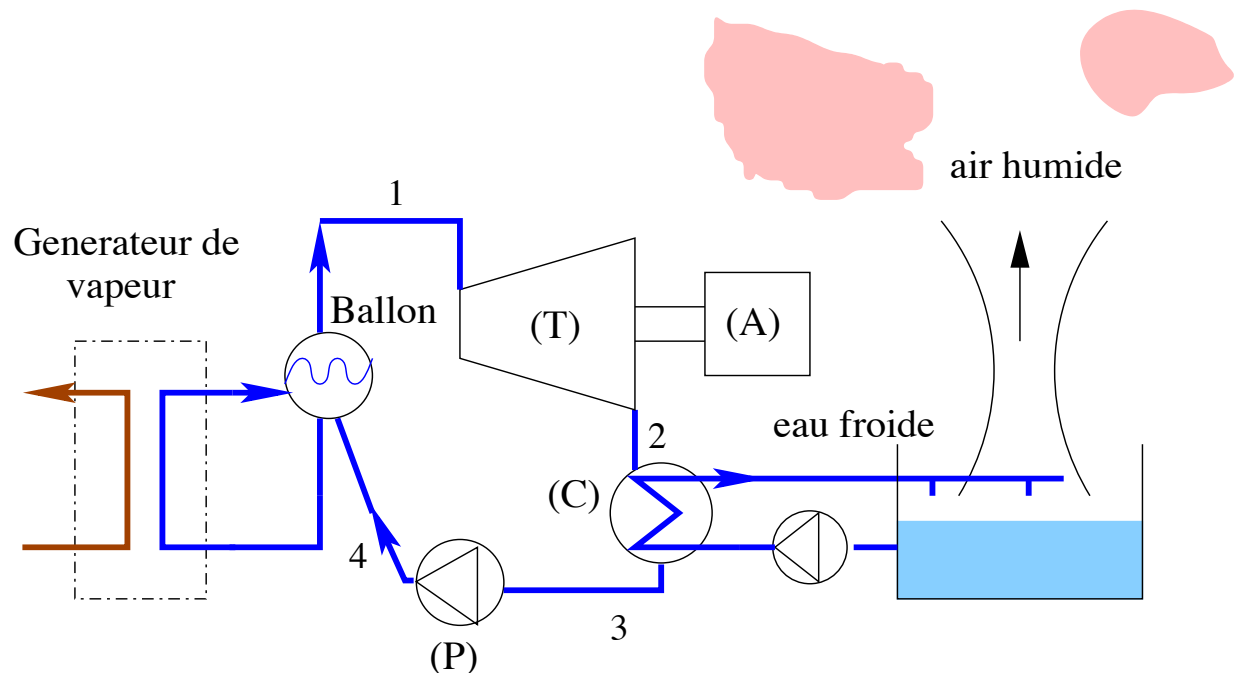


Figure 4 : Installation Motrice à Vapeur : I.M.V.

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.

- 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-14-1- 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-14-3- Quelle est la phase motrice ? Quelle est la phase pendant laquelle le système reçoit de la chaleur ?

- 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.

Page 9 sur 20

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).

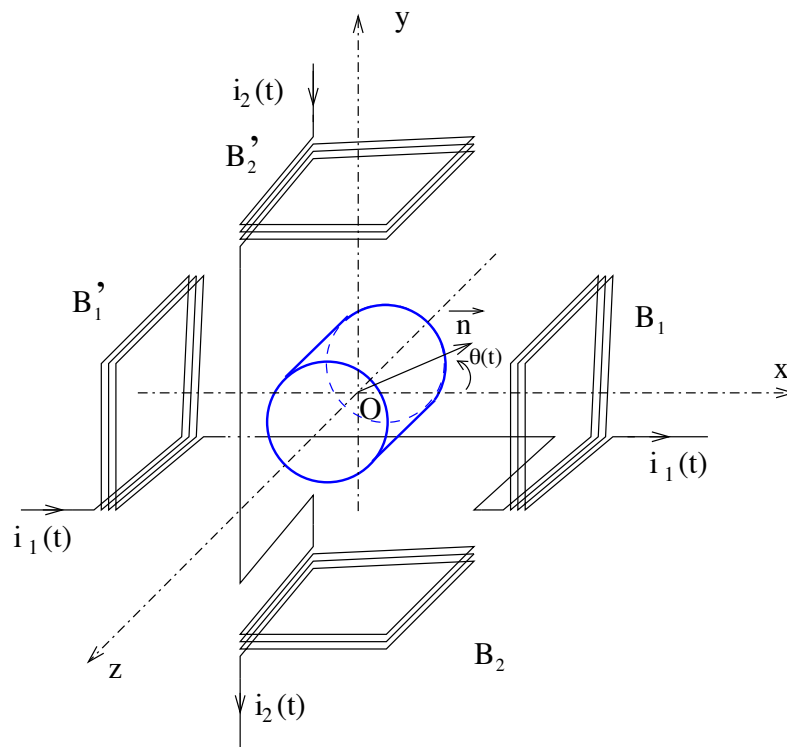


Figure 6 : Schéma de l'alternateur.

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 $L = 0,2 \, \text{mH}$.

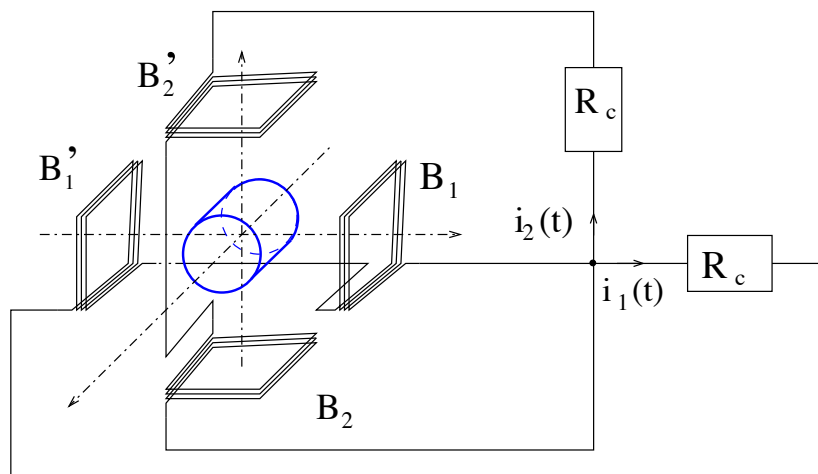


Figure 7 : Schéma de l'alternateur connecté à la charge électrique.

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.

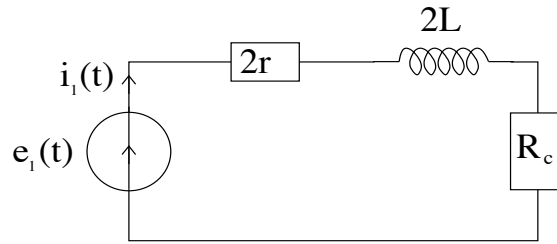


Figure 8 : Schéma équivalent du circuit des bobines (B_1 , B'_1).

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 $\underline{X} = X_m e^{j\psi}$.

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.

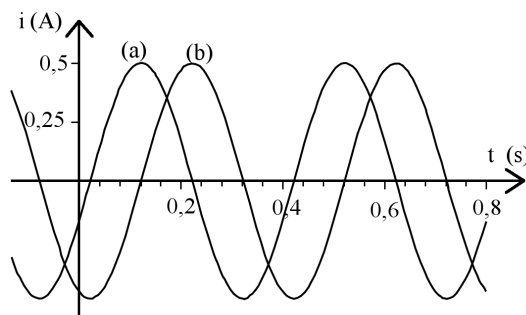


Figure 9 : Évolution des courants $i_1(t)$ et $i_2(t)$ en fonction du temps

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 :

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

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'Energie 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.

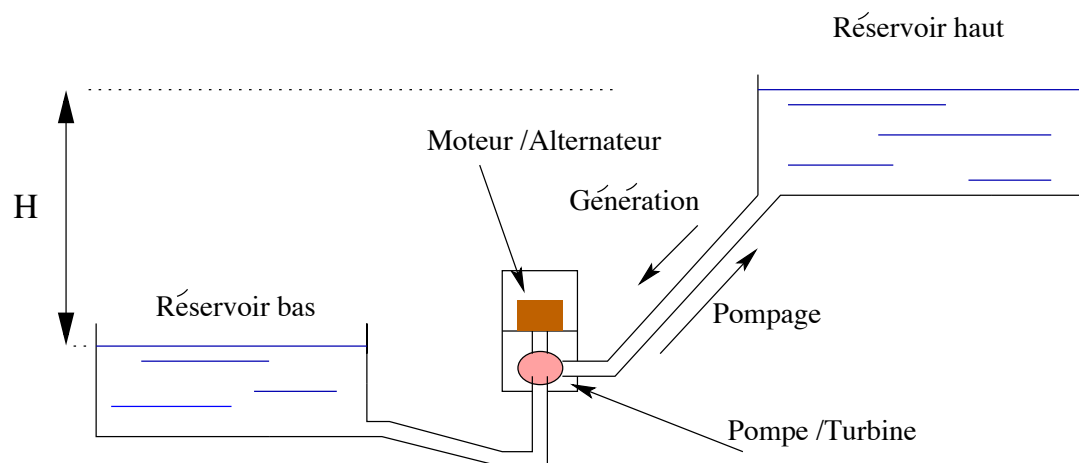


Figure 12 : Schéma global d'une S.T.E.P.

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 considérera 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.

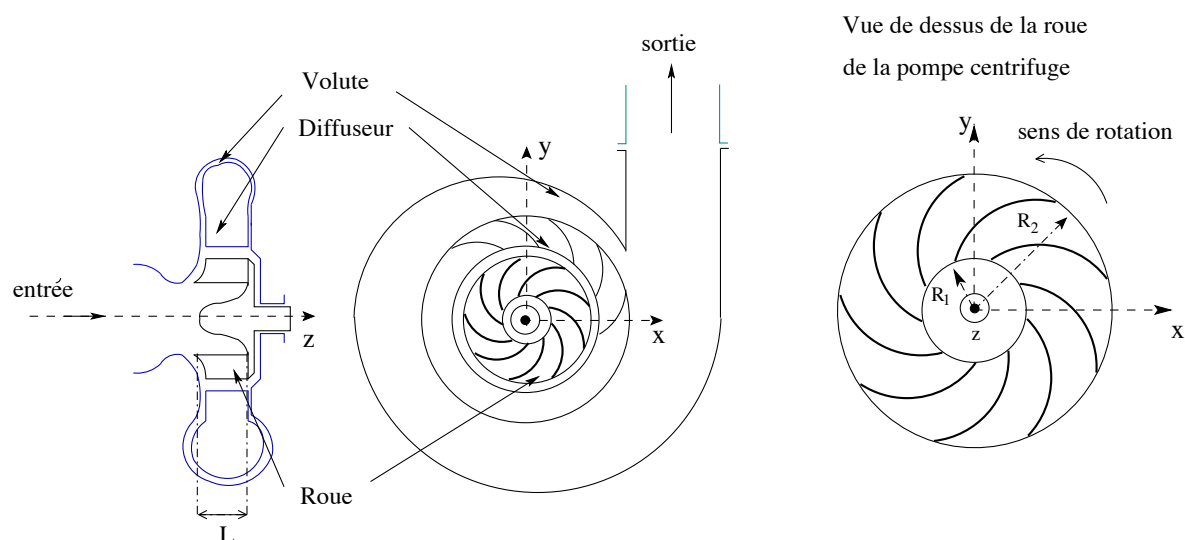


Figure 13 : Représentation schématique d'une pompe centrifuge

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.

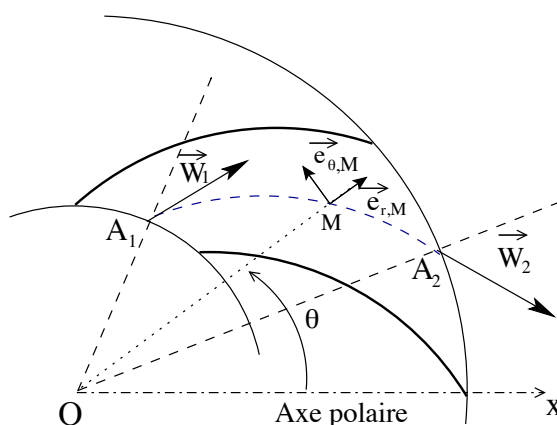


Figure 15 : Trajectoire d'une particule de fluide dans le référentiel lié à la roue

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 :

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

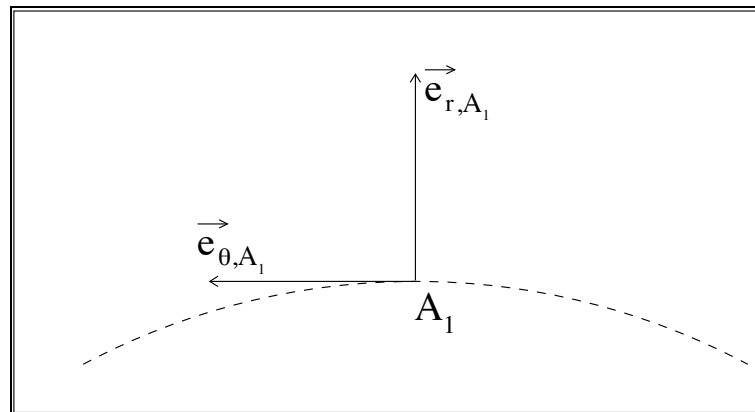


Figure 16 – Figure à reproduire

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

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

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 $\mathfrak{N}_p$, 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 $\mathfrak{N}_p$.

F-22-6- Soient les débits volumiques totaux Q'_1 et Q'_2 rentrant et sortant de la roue dans le référentiel $\mathfrak{N}_r$. 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 :

$$P_2 - P_1 = \frac{\rho_0}{2} \left((W_1)^2 - (W_2)^2 + (U_2)^2 - (U_1)^2 \right)$$

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 : $\lambda_m.T = 2898\text{ }\mu\text{m.K}$

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	
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. Frottements : transferts thermiques ; dissipation d'énergie. Formes d'énergie Principe de conservation de l'énergie. Application à la découverte du neutrino dans la désintégration β.	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. <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> Connaître différentes formes d'énergie. Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie.

Convertir l'énergies et économiser les ressources

...	...
Ressources énergétiques renouvelables ou non :	Recueillir et exploiter des informations pour

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

Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique. Capacité thermique. Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique. Résistance thermique. Notion d'irréversibilité. Bilans d'énergie.	Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques. Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé. 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. Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.
--	---