

Les trois parties de ce DS sont indépendantes

I. PREMIERE PARTIE : Chimie (Mines-Ponts MP-PSI extrait)

Le strontium (symbole chimique Sr) est l'élément situé à la 5^{ème} ligne et 2^{ème} colonne de la classification périodique des éléments (classification comportant dix-huit colonnes numérotées de 1 à 18).

On trouve le strontium dans des minerais comme la strontianite, $\text{SrCO}_3(\text{s})$, mais également sous forme soluble dans l'eau de mer.

Sydney Ringer a montré, il y a plus de cent ans, que le strontium se substituait au calcium dans les os et provoquait des troubles osseux.

Des chercheurs ont récemment utilisé l'isotope 90 du strontium, comme source d'énergie dans une pile.

Cet énoncé est divisé en 5 parties indépendantes : A) et B) en page 1, C) et D) en page 2, et finalement E) en page 3 et 4.

Des données utiles pour la résolution du problème sont fournies à la fin de l'énoncé en pages 4 et 5.

A) Structure électronique

1. Quelle est la configuration électronique à l'état fondamental de l'atome de strontium ? Quelle est la configuration électronique attendue pour l'élément situé juste au-dessus du strontium dans la classification périodique ? Pourquoi le strontium peut-il se substituer au calcium dans les os ?
2. Le strontium est généralement présent sous forme d'ions Sr^{2+} . Expliquer.
3. La strontianite est la forme naturelle du carbonate de strontium SrCO_3 . Donner un schéma de Lewis de l'ion carbonate.

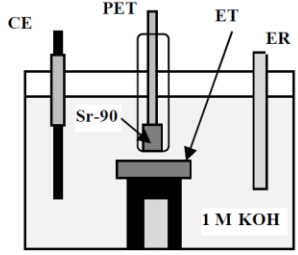
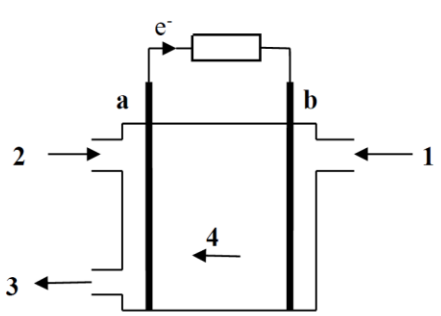
B) Cristallographie

Le fluorure de strontium 90 a été utilisé en Russie comme vecteur de radioisotopes dans des générateurs thermoélectriques. Le fluorure de strontium cristallise dans une structure de type fluorine : les cations Sr^{2+} occupent un réseau cubique à faces centrées (CFC), les anions F^- occupant tous les sites tétraédriques.

4. Pourquoi les sites tétraédriques sont-ils tous occupés ?
5. Dessiner la maille en perspective ou en utilisant une projection cotée ; indiquer la coordinence entre ions de charge opposée.
6. Le paramètre de maille vaut $a = 576 \text{ pm}$, le rayon ionique de l'anion fluorure, $R = 132 \text{ pm}$. Déterminer la valeur r du rayon ionique de l'ion strontium.

E) Une batterie nucléaire à base d'eau

Des chercheurs de l'Université du Missouri ont concentré leurs recherches sur l'isotope 90 du strontium, qui permet de stimuler l'énergie électrochimique dans une solution à base d'eau. La batterie, équipée d'une électrode de dioxyde de titane nanostructuré et d'un revêtement de platine, peut ainsi recueillir et convertir efficacement l'énergie en électrons. Ces appareils sont prometteurs pour des applications spatiales, des dispositifs marins éloignés, etc.

	
PET : polyethylene terephthalate(film plastique) Document 1 : vue schématique du dispositif	Document 2 : schéma de principe d'une pile AFC

17. Expliquer à partir du document 1 comment tracer expérimentalement des courbes intensité-potentiel à la surface de l'électrode désignée par ET, proposer une signification pour les électrodes désignées par CE et ER.

Il y a une cinquantaine d'années les piles à combustibles alcalines (pile AFC, document 2) ont été développées pour les programmes spatiaux.

Par réaction entre du dioxygène gazeux et du dihydrogène gazeux en milieu alcalin ($\text{pH} = 14$), on produit de l'eau et un courant électrique. Cette pile a un rendement de 50 %.

On suppose que $P(\text{O}_2) = P(\text{H}_2) = 1 \text{ bar}$ et que la pile est utilisée à une température de 25°C .

18. Déterminer, les réactions à l'anode et à la cathode ainsi que l'équation globale de fonctionnement de la pile.
19. Nommer les espèces chimiques 1 à 4 et affecter les termes d'anode et de cathode aux électrodes a et b du document 2.
20. Calculer les potentiels à $\text{pH}=14$ de chacune des électrodes. Quelle est la valeur de la force électromotrice théorique de la pile ? Pourquoi est-elle en réalité plus faible ?
21. Donner l'allure des courbes intensité-potentiel décrivant cette pile, en précisant les valeurs des potentiels caractéristiques.
22. Quelle est la valeur de la tension à vide ? Commentez.
23. Une pile lithium-ion utilisée dans un pacemaker délivre un courant d'environ $20 \mu\text{A}$ et peut fonctionner 8 ans. Quel serait le volume de dioxygène nécessaire pour faire fonctionner la pile à combustible dans les mêmes conditions ?

Données à 298 K :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,3 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Constante de Faraday : $F = 96500 \text{ C.mol}^{-1}$.

Volume molaire des gaz : $V_m = 25 \text{ L.mol}^{-1}$.

Numéro atomique : C : 6 ; O : 8 ; Ca : 20 ; Y : 39.

Constante de Nernst : $\frac{RT}{F} \ln 10 \approx 0,06V$.

Potentiels standard à $\text{pH} = 0$:

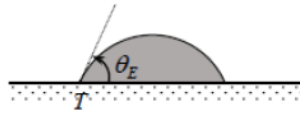
$E^\circ(\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})) = 1,23 \text{ V}$; $E^\circ(\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})) = 0,00 \text{ V}$.

Surtensions sur électrode de platine pour les couples de l'eau (en valeur absolue) :

$\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l}) : 0,5 \text{ V}$; $\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g}) : 0,1 \text{ V}$.

II. PARTIE II : Physique 1 (CCINP PC – Extrait)

Grâce à des effets de surface (non étudiés dans ce DS), une goutte d'eau au contact d'une surface plane peut y rester accrochée. C'est notamment le cas des gouttes de pluie sur une vitre ou un pare-brise. Mais certaines surfaces sont connues pour laisser glisser très facilement l'eau de pluie. L'exemple le plus connu est celui des feuilles de lotus.



À l'image de la constitution de celle-ci, rendre la surface rugueuse par l'adjonction de micro-textures a permis d'observer à l'échelle macroscopique des angles de contact apparent pouvant avoisiner 180° . On parle alors de superhydrophobie ou encore d'effet lotus.

Fig 1 angle de contact d'une goutte d'eau

L'étude d'écoulements au sein de microsystemes, c'est-à-dire de canaux de taille de l'ordre de quelques dizaines de micromètres, présente aujourd'hui un enjeu industriel majeur. Des recherches portent sur l'utilisation de surfaces hydrophobes texturées pour lesquelles l'expérience met en évidence des propriétés de glissement des liquides à l'échelle de la microfluidique, donc une réduction des effets de friction de l'écoulement sur les parois solides.

On propose dans cette sous-partie d'étudier l'influence du glissement d'un liquide sur une paroi solide dans le cas d'un écoulement de Poiseuille plan.

Le liquide considéré est assimilé à un fluide newtonien de masse volumique ρ et de viscosité dynamique η . L'écoulement est stationnaire, incompressible et unidirectionnel. Il s'effectue entre deux plans, fixes dans le référentiel d'étude galiléen, de longueur L selon $\vec{u}_x$, de largeur considérée comme infinie selon $\vec{u}_y$, situés en $z = -h/2$ et $z = +h/2$ (figure 9).

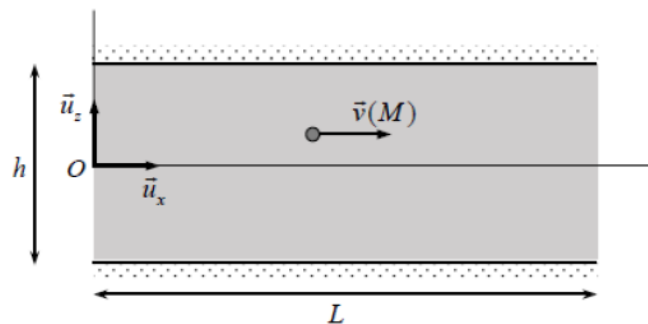


Figure 9 - Écoulement dans un canal rectangulaire (écoulement de Poiseuille plan)

L'écoulement est induit par un gradient de pression horizontal, appliqué parallèlement à la direction $\vec{u}_x$, de la forme $\frac{\partial P}{\partial x} = -K$ où K est une constante positive. Les effets de la pesanteur sont par ailleurs négligés. Dans ces conditions, le champ des vitesses en tout point M entre ces deux plans est de la forme $\vec{v}(M) = v_x(z)\vec{u}_x$

Données viscosité dynamique de l'eau à 20°C sous 1 bar : $\eta = 1,00 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Q30. Rappeler le sens de l'accélération locale et du terme convectif présent dans l'expression de l'accélération de la particule de fluide.

Q31. Démontrer que la densité volumique de forces de pression s'écrit

$$\vec{f}_{v,p} = -\vec{\text{grad}}(P)$$

Q32. Montrer que la résultante des forces de viscosité s'exerçant sur la particule de fluide s'écrit:

$$\vec{f}_{v,v} = \eta \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \vec{u}_x$$

Q33. Calculer le nombre de Reynolds Re pour un écoulement d'eau dans un canal d'une hauteur de $10\mu\text{m}$ à une vitesse typique de $1\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Comment se simplifie dans ces conditions l'expression de l'accélération?

Q34. Justifier que la forme supposée du champ des vitesses (écoulement parallèle) conduit à la même simplification et ce, indépendamment de la valeur du nombre de Reynolds.

Q35. Montrer finalement que l'équation du mouvement se réduit ici à : $-\frac{\partial P}{\partial x} + \eta \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} = 0$.

L'équation du mouvement est appelée équation de Navier-Stokes en mécanique des fluides

La condition de non glissement habituellement adoptée dans les écoulements à une échelle macroscopique suppose la vitesse relative liquide-solide nulle. L'existence d'un glissement observé à l'échelle micrométrique impose de fait une modification des conditions aux limites pour le champ des vitesses en $z = \pm h/2$. Navier puis Maxwell ont proposé d'écrire ces conditions sous la forme :

$$v_x(z = +h/2) = -L_g \left. \frac{\partial v_x}{\partial z} \right|_{z=+h/2} \quad \text{et} \quad v_x(z = -h/2) = +L_g \left. \frac{\partial v_x}{\partial z} \right|_{z=-h/2}$$

où la longueur L_g est appelée longueur de glissement.

Q36. Dédurre de ces conditions aux limites que $v_x(z) = \frac{KL_g h}{2\eta} + \frac{K}{2\eta} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right)$.

Q37. Déterminer les positions théoriques z_0 des plans au niveau desquels le champ des vitesses devrait s'annuler. Dans l'hypothèse où $L_g \ll h$, montrer que $L_g = |z_0| - \frac{h}{2}$. Justifier alors l'appellation longueur de glissement attribuée à la longueur L_g .

Q38. Exprimer le débit volumique D_v à travers une section droite comprise entre les deux plans et de largeur ℓ selon $\vec{u}_y$.

Q39. Exprimer K en fonction de L et de la perte de charge $\Delta P = P(0) - P(L)$ imposée entre l'entrée ($x = 0$) et la sortie ($x = L$) du canal.

Q40. En déduire que $\Delta P = R_h D_v$. Donner l'expression de R_h en fonction de η , L_g et des dimensions du canal. Justifier par une analogie électrique le nom de « résistance hydraulique » qu'on lui donne.

Q41. En considérant que $L_g/h = 0,5$, calculer le rapport $R_h/R_{h,ng}$ où $R_{h,ng}$ désigne la résistance hydraulique en l'absence de glissement ($L_g = 0$). Conclure.

III. PARTIE III : Physique 2 (Centrale-Supélec PSI – extrait)

Ce problème étudie les contraintes techniques liées à la conception des éoliennes, en accordant — sauf en partie I — une attention particulière aux éoliennes dites de Darrieus de type H (Figure 1b).

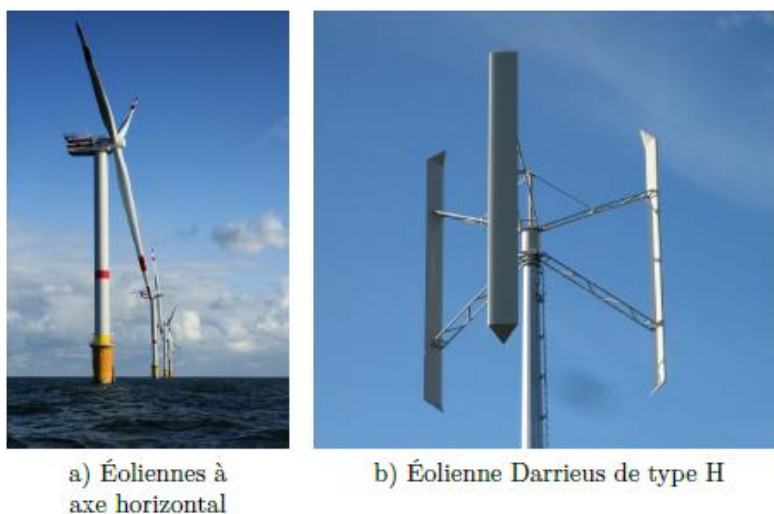


Figure 1 Différents types d'éoliennes

Certaines questions, repérées par une barre en marge, ne sont pas guidées et demandent de l'initiative de la part du candidat. Les pistes de recherche doivent être consignées par le candidat sur sa copie ; si elles sont pertinentes, elles seront valorisées. Le barème tient compte du temps nécessaire pour explorer ces pistes et élaborer un raisonnement, il valorise ces questions de façon très significative.

Des données numériques et un formulaire figurent dans le document réponse. Des documents utiles sont regroupés en fin d'énoncé.

I Enjeux énergétiques

Il est déconseillé de consacrer plus de 20 minutes à la résolution de cette partie pour laquelle on s'appuiera sur les documents 1 à 5 en fin d'énoncé.

Pour diminuer les émissions de CO_2 engendrées par le transport routier, il est envisagé, à terme, de remplacer par des véhicules électriques l'ensemble des véhicules à moteur thermique utilisés par les particuliers.

Q 1. Calculer le supplément de consommation énergétique annuelle que cette conversion au tout électrique occasionnerait. Cela demanderait-il de créer de nouvelles unités de production d'électricité ?

Le passage au tout électrique ne conduit à une diminution significative des émissions de CO_2 que dans la mesure où l'énergie électrique est produite avec un bilan carbone très faible. L'utilisation d'énergie éolienne est, de ce point de vue, une possibilité à étudier en gardant à l'esprit certains ordres de grandeurs évalués dans la question suivante.

Q 2. Quantifier la puissance de crête nécessaire à la recharge de tous les véhicules électriques. Estimer la surface d'un champ éolien permettant d'assurer cette production d'électricité. Commenter.

II Conversion énergie éolienne en énergie mécanique – éolienne type Darrieus

On considère une éolienne à axe vertical, type Darrieus H, FAIRWIND 10 kW, implantée sur un site d'essais dans l'Aude. Celle-ci a fait l'objet d'une étude de contrôle et a donc été instrumentée pour relever :

- la production de l'éolienne sur une période de 6 mois,
- la vitesse du vent à proximité de l'éolienne.

Les mesures effectuées sont reportés sur la figure 2 et synthétisées dans le tableau 1.

Vitesse du vent ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	Puissance moyenne (W)	Nombre de mesures	% du temps
1 à 5	867	8350	37 %
6 à 10	5320	12460	54 %
11 à 15	10236	2060	9 %

Tableau 1 Synthèse des mesures de contrôle sur site de l'éolienne FAIRWIND 10 kW.

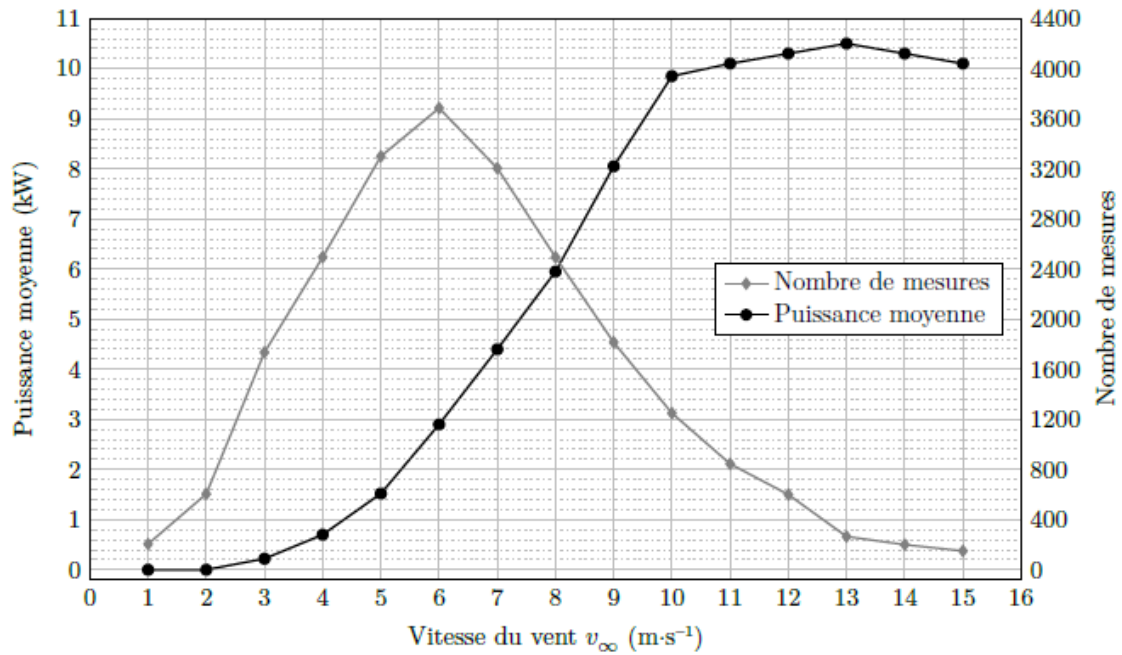


Figure 2 Mesures de contrôle sur site de l'éolienne FAIRWIND 10 kW.

Q 3. Quelle est l'énergie produite par cette éolienne sur une année ? Justifier votre raisonnement. Quelle est la puissance moyenne produite sur une année.

On s'intéresse à la conversion de l'énergie éolienne en énergie mécanique sur cet exemple simple d'éolienne Darrieus. Pour ce type d'éolienne, les pales sont verticales. La surface qu'elles décrivent lors de leur rotation est un cylindre, appelé « cylindre éolien », de rayon R et de hauteur L .

L'étude suivante porte sur une éolienne à trois pales identiques.

L'éolienne est soumise à un vent constant de vitesse $\vec{v}_\infty = v_\infty \vec{e}_x$. Après un régime transitoire, les pales tournent à la vitesse angulaire $\omega = \dot{\theta} > 0$ constante autour de l'axe Oz . Dans toute la suite de l'étude, le régime est supposé permanent.



Éolienne Fairwind 10 kW

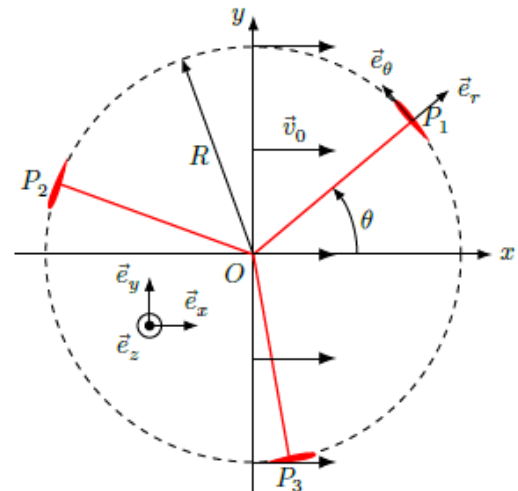


Schéma vu de dessus

Figure 3 Paramétrage de l'éolienne type Darrieus H

On définit de plus (figure 3) :

- le centre de poussée P_i où s'appliquent les forces subies par la pale numéro i ;
- le référentiel $\mathcal{R}_0 = (O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ associé au sol auquel est ancré le mât de l'éolienne ;
- le référentiel $\mathcal{R}_1 = (P_1, \vec{e}_r, \vec{e}_\theta, \vec{e}_z)$ associé à la pale n°1.
- la vitesse du vent au niveau de l'éolienne dans le référentiel $\mathcal{R}_0$ est supposée uniforme et vaut $\vec{v}_0$ avec $\vec{v}_0 = v_0 \vec{e}_x = (1 - a)v_\infty \vec{e}_x$ où a est appelé facteur d'interférence entre le vent et l'éolienne ;
- la vitesse de P_1 dans le référentiel $\mathcal{R}_0$ est notée $\vec{u}$;
- la vitesse apparente du vent dans le référentiel $\mathcal{R}_1$ au voisinage de P_1 est notée $\vec{w}$ et est donnée par $\vec{w} = \vec{v}_0 - \vec{u}$.

On définit le coefficient de vitesse de l'éolienne (TSR pour Tip Speed Ratio en anglais) comme $\lambda = \frac{R\omega}{v_\infty}$. Pour

l'étude suivante, on prendra $\lambda = 2,4$, $a = 0,37$ et $v_\infty = 6,0 \text{ m.s}^{-1}$.

Nous étudions dans un premier temps la pale n°1.

Q 4. Représenter sur la figure A du document réponse, pour chaque position de la pale, les vecteurs $\vec{v}_0$, $-\vec{u}$ et $\vec{w}$.

Q 5. Montrer que la norme de $\vec{w}$ s'exprime par

$$w = v_0 \sqrt{1 + 2\lambda_0 \sin \theta + \lambda_0^2}$$

avec $\lambda_0 = \lambda/(1-a)$.

On note α l'angle d'attaque, l'angle entre l'opposé de la direction du vent et de la direction tangente à la pale, tel que $\alpha = (\vec{e}_\theta, -\vec{w})$. La vitesse relative du vent définit l'angle d'attaque (figure 4).

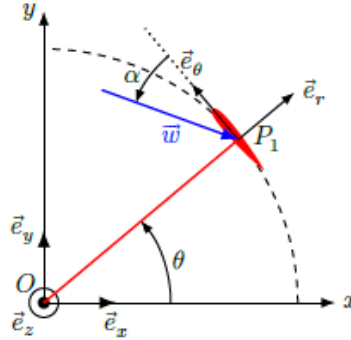


Figure 4 Définition de l'angle d'attaque α

Q 6. Montrer que $\tan \alpha = \frac{\cos \theta}{\sin \theta + \lambda_0}$.

Q 7. De façon qualitative, tracer α en fonction de θ . Obtenir numériquement l'intervalle des variations de α . Chaque pale a un profil d'aile symétrique de type NACA 0012.

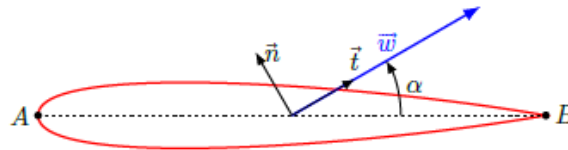


Figure 5 Définition de la corde $AB = \ell$ (en pointillés), de $\vec{n}$ et de $\vec{t}$ pour le profil NACA 0012.

La résultante des forces exercées par le vent sur la pale est notée $\vec{F}$ et se décompose en une force de traînée $\vec{F}_D$ (*Drag*) dans la direction de l'écoulement et une force de portance $\vec{F}_L$ (*Lift*) dans la direction perpendiculaire à l'écoulement :

$$\vec{F} = \vec{F}_L + \vec{F}_D.$$

Les coefficients aérodynamiques de portance C_L et de traînée C_D sont définis par

$$\begin{cases} \vec{F}_L = \frac{1}{2} C_L \rho S w^2 \vec{n} \\ \vec{F}_D = \frac{1}{2} C_D \rho S w^2 \vec{t} \end{cases}$$

où $\vec{t}$ est le vecteur unitaire dans la direction et le sens de la vitesse relative du vent $\vec{w}$ et $\vec{n}$ est le vecteur normal à $\vec{t}$ dans le plan perpendiculaire à l'axe Oz , orienté vers l'extérieur de l'éolienne. On note ρ_{air} la masse volumique de l'air et S est la surface alaire de l'aile, c'est-à-dire la projection de l'aile sur le plan contenant la corde.

Les coefficients aérodynamiques dépendent de l'angle d'attaque. Les courbes donnant $C_L(\alpha)$ et $C_D(\alpha)$ sont données figure 6 pour différentes valeurs du nombre de Reynolds Re . Pour une aile, on précise que la distance caractéristique intervenant dans le nombre de Reynolds est la corde ℓ .

Q 8. Justifier que, dans le cas des pales de l'éolienne et pour la valeur de λ_0 considérée, on peut écrire en première approximation que $C_L(\alpha) \approx k\alpha$ et $C_D \ll C_L$. Estimer k .

Sauf mention contraire, on prendra dans la suite $C_D = 0$ et $C_L(\alpha) = k\alpha$.

Q 9. Exprimer la force $\vec{F}_1$ exercée par le vent sur la pale n°1 dans la base $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$. Commenter l'effet de chacune des composantes sur la rotation de l'éolienne.

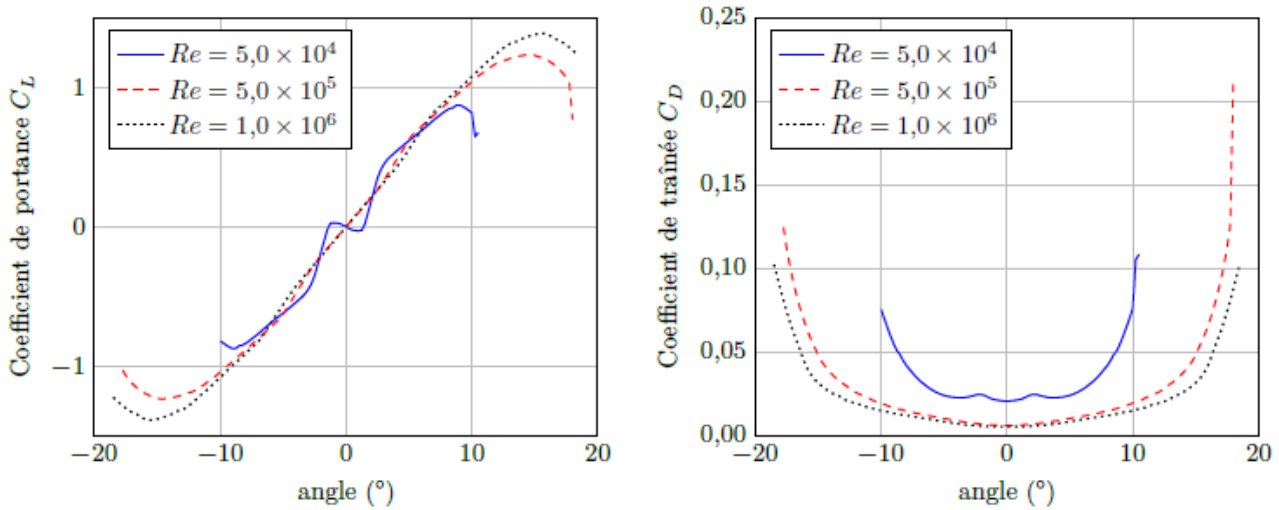


Figure 6 Coefficients de portance (*Lift*) et de trainée (*Drag*) en fonction de l'angle d'attaque exprimé en degrés pour trois valeurs du nombre de Reynolds

Q 10. Exprimer $\mathcal{M}_{z,1}$, moment de la force $\vec{F}_1$ par rapport à l'axe Oz et montrer que

$$\mathcal{M}_{z,1} = \kappa f(\theta)$$

où $f(\theta) = (1 + 2\lambda_0 \sin \theta + \lambda_0^2) \frac{\cos^2 \theta}{(\lambda_0 + \sin \theta)^2}$. En déduire κ .

Q 11. Exprimer le couple Γ_z engendré par les trois pales sur le rotor de l'éolienne.

Le tracé de la courbe $F(\theta) = \sum_{n=0}^2 f\left(\theta + n\frac{2\pi}{3}\right)$ est fourni figure 7.

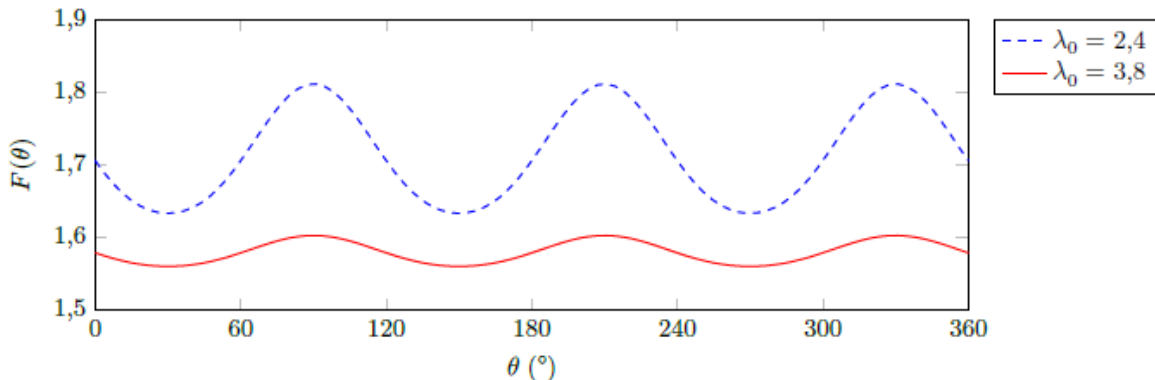


Figure 7 Tracé de $F(\theta) = \sum_{n=0}^2 f\left(\theta + n\frac{2\pi}{3}\right)$

Q 12. La puissance moyenne du couple est $\mathcal{P} = \langle \Gamma_z \rangle \omega$. En déduire la puissance moyenne transférée au rotor dans ce modèle. En donner une estimation numérique dans le cas considéré jusqu'ici. Donner un exemple concret d'objet ou d'installation électrique susceptible d'être alimenté par cette éolienne.

Donnée : $k = 6,3 \text{ rad}^{-1}$.

Q 13. Définir puis déterminer le débit d'énergie cinétique D_{E_c} traversant le cylindre éolien si l'éolienne était absente.

Q 14. Définir le coefficient de puissance η de l'éolienne qui représente le rendement moyen de l'éolienne en énergie. L'exprimer en fonction de k , λ , a et des données géométriques de l'éolienne. Faire l'application numérique. Commenter.

Q 15. Quelle sera(seront) la(les) fréquence(s) des composantes sinusoïdales du couple ? Donner leurs valeurs dans la plage de fonctionnement nominale, pour v_∞ allant de 0 à $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$?

Q 16. Montrer que la puissance de la force de trainée sur un tour est négative. Discuter de l'influence de C_D sur la puissance moyenne que peut fournir une éolienne.

Documents utiles

Document 1

Le tableau ci-dessous concerne les voitures particulières en circulation en France métropolitaine pendant l'année 2017.

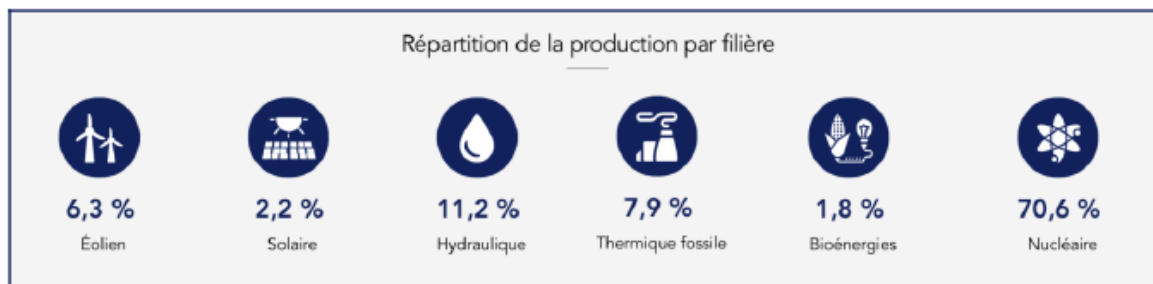
	Essence	Diesel
Nombre	12,7 millions	19,8 millions
Kilométrage annuel moyen	8935 km	15 910 km
Consommation moyenne	7,3 L/100 km	6,1 L/100 km

Avec 43,8 Mtep consommées en 2016, le secteur des transports représente une part croissante de la consommation d'énergie finale de la France : 31 % en 2015 contre 27 % en 1990 et 15 % en 1970. Le transport routier représente à lui seul plus de 80 % des consommations finales en énergie du secteur des transports, largement devant le transport aérien (15 %) et ferroviaire (~ 2 %) et la navigation intérieure (0,4 %). Les consommations du secteur routier proviennent principalement des voitures particulières (62 %), les véhicules utilitaires légers et les camions ne représentant respectivement que 20 % et 14 % des consommations finales d'énergie des transports routiers.

ADEME, *Climat Air et Énergie – Chiffres clés*, édition 2018

Document 2

La production totale d'électricité en France s'établit à 537,7 TW·h sur l'année 2019, répartie comme indiqué dans le schéma ci-dessous :

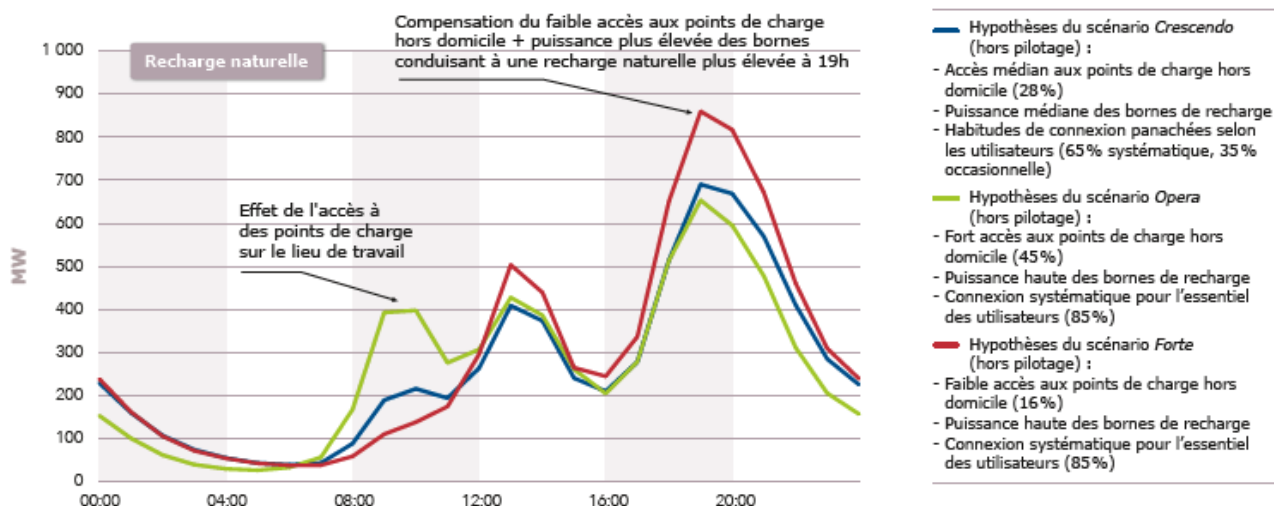


Les pertes représentent principalement l'énergie dissipée par effet Joule lors du transport sur le réseau haute et très haute tension. Elles dépendent essentiellement de la consommation, du plan de production et des échanges transfrontaliers. Les taux de pertes sur le réseau de transport sont compris entre 2 et 3,5 % de la consommation, suivant les saisons et les heures de la journée. En moyenne, en 2019, le taux s'établit à 2,22 %, ce qui représente environ 11 TW·h.

RTE, *Bilan électrique 2019*

Document 3

RTE a étudié l'impact de différents scénarios de développement de l'électromobilité sur le système électrique français. La figure ci-dessous présente la courbe de charge type pour un jour ouvré moyen pour un million de véhicules électriques dans différents scénarios considérés (dans leurs variantes sans pilotage).



RTE, *Enjeux du développement de l'électromobilité pour le système électrique*, mai 2019

Document 4

Le secteur de l'énergie éolienne en France a pris progressivement de l'importance : en 2019, sa part dans la production nette d'électricité du pays atteint 6,3 % et le taux de couverture moyen de la consommation par la production d'origine éolienne a été de 7,2 % contre 5,9 % en 2018.

En 2018, avec près de 8 000 éoliennes terrestres sur 1 380 parcs, la France était au quatrième rang européen pour la production d'électricité éolienne, loin derrière l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Espagne, et au septième rang mondial.

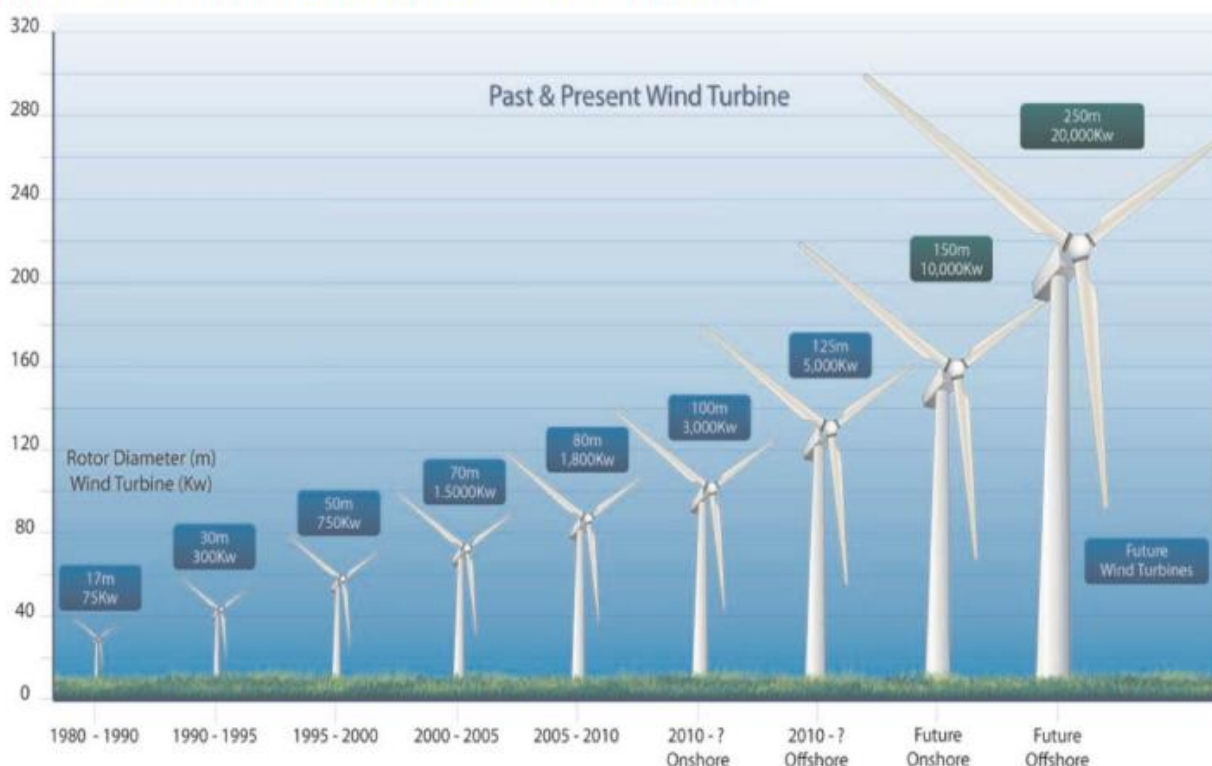
Les éoliennes fonctionnent environ 80 % du temps mais avec une puissance très variable, située entre 0 et (théoriquement) 100 % ; par exemple, en 2019, la puissance éolienne maximale s'est élevée à 13 330 MW le 19 décembre, avec un facteur de charge de 83,8 % ; mais la puissance moyenne mensuelle observée est restée entre 2 207 MW en août et 6 288 MW en décembre, alors que la puissance installée atteignait 16 494 MW fin 2019 ; le taux d'utilisation (facteur de charge) de cette puissance (puissance moyenne/puissance nominale) a été en moyenne de 24,7 % en 2019, en augmentation (22,8 % en 2018) ; sa moyenne a varié de 13,9 % en août à 39,5 % en décembre, et sa valeur maximale de 52,3 % en juillet à 83,8 % en décembre.

Dans la plupart des parcs éoliens à axe horizontal, un espacement d'environ 6 à 10 fois le diamètre du rotor est souvent respecté. Cependant, pour les grands parcs éoliens, des distances d'environ 15 diamètres de rotor devraient être plus économiques, compte tenu des coûts typiques des éoliennes et des terrains.

Wikipedia (Énergie éolienne en France, Wind turbine)

Document 5

Croissance des éoliennes commerciales. L'ordonnée correspond à la hauteur du mât. L'inscription au dessus de chaque éolienne donne le diamètre du rotor et sa puissance nominale.



Silvio Simani, Overview of Modelling and Advanced Control Strategies for Wind Turbine Systems
Energies, 2015, 8, p.13396

• • • FIN • • •

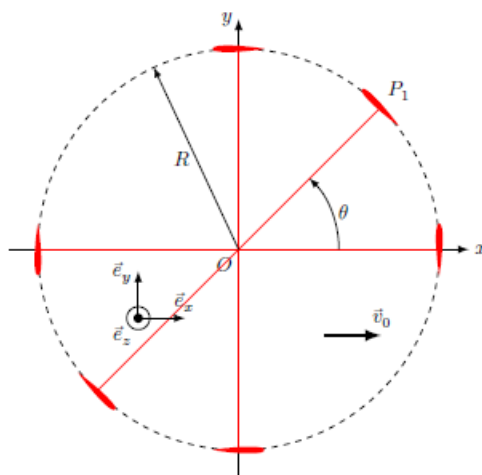


Figure A – à compléter avec les vitesses et à rendre avec la copie – Q4

Données et formulaire

R : certaines données ne concernent pas les questions de ce DS...

Données numériques

Masse volumique de l'air	$\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Viscosité dynamique de l'air	$\eta = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
Masse volumique du nickel	$\rho_{\text{Ni}} = 8,9 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Constante de Faraday	$\mathcal{F} = 9,65 \times 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$
Produit ionique de l'eau à 298 K	$K_e = 10^{-14}$
Constante de Nernst à 298 K	$\frac{RT}{\mathcal{F}} \ln(10) = 0,06 \text{ V}$
Tonne équivalent pétrole	1 tep = 42 GJ
Surface de la France métropolitaine	$S_F = 550\,000 \text{ km}^2$
Préfixe du système international d'unité	T (tétra) = 10^{12}

Caractéristiques de l'éolienne Darrieus H

Rayon	$R = 4,0 \text{ m}$
Corde	$\ell = 0,45 \text{ m}$
Hauteur des pales	$L = 8,0 \text{ m}$
Nombre de pales	$N = 3$

Caractéristiques du générateur

Diamètre	$D_i = 530 \text{ mm}$
Entrefer	$e = 2 \text{ mm}$
Longueur axiale	$L_r = 300 \text{ mm}$

Potentels standard à 298 K

	Zn^{2+}/Zn	Fe^{2+}/Fe	Ni^{2+}/Ni	H^+/H_2	$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$
$E^\circ \text{ (V)}$	-0,76	-0,44	-0,25	0,00	0,77	1,23

Extrait du tableau périodique des éléments

Numéro atomique	1	6	8	28	60
Symbole	H	C	O	Ni	Nd
Masse molaire atomique ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	1,01	12,0	16,0	58,7	144,2

Formules trigonométriques

$$\begin{aligned} \cos a + \cos b &= 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) & \cos a - \cos b &= -2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \sin\left(\frac{a-b}{2}\right) \\ \sin a + \sin b &= 2 \sin\left(\frac{a+b}{2}\right) \cos\left(\frac{a-b}{2}\right) & \sin a - \sin b &= 2 \cos\left(\frac{a+b}{2}\right) \sin\left(\frac{a-b}{2}\right) \end{aligned}$$