

TEST DE DDS

ETUDE DE L'EOLIENNE WM300

Documents autorisés : Uniquement le cours
 Les parties sont indépendantes
 Durée : 3h → 4h

L'énergie éolienne est produite par la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice. Cette hélice est montée sur un arbre qui peut être relié soit à des systèmes mécaniques qui servent à moulinier le grain (Les moulins à vent par exemple) ou à pomper de l'eau, soit à un générateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique (Les éoliennes)

Il existe plusieurs types d'éolienne. Les photos ci-dessous présentent quelques-unes des technologies existantes :



Type I



Type II



Type III



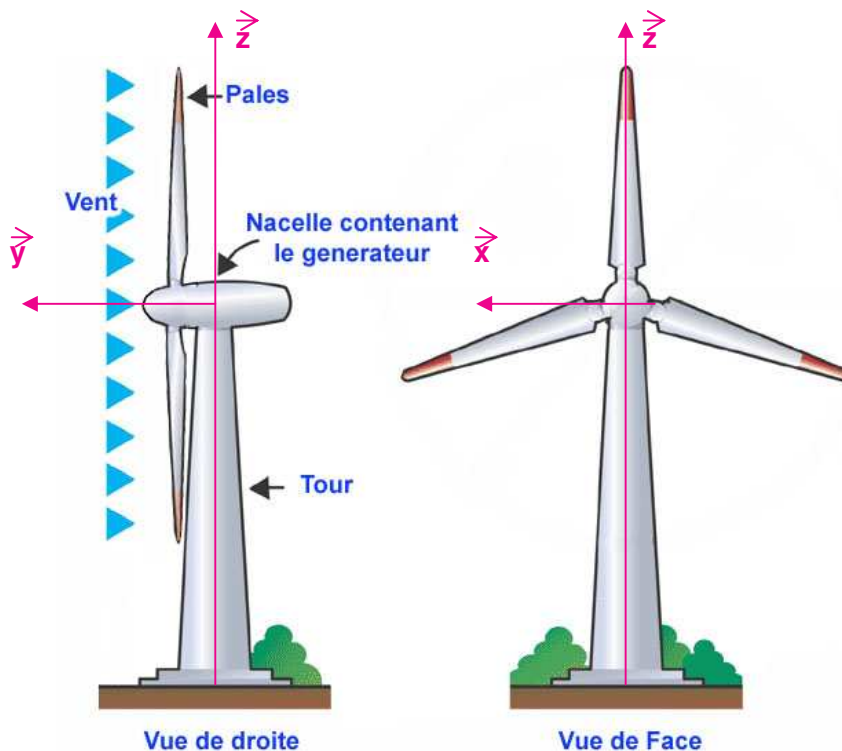
Type IV



Type V

Pour cette étude nous nous intéresserons aux éoliennes de **type I** et plus particulièrement au modèle WM300 dont une description rapide est faite ci-dessous.

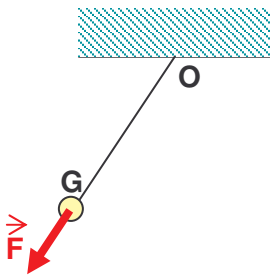
EOLIENNE WM300 - DESCRIPTIF TECHNIQUE



ETUDE 2 : EFFETS CENTRIFUGES SEULS

RAPPEL DE DYNAMIQUE

Une bille assimilable à un point matériel G de masse m est suspendue à un point fixe O par un fil inextensible de longueur L . La bille oscille dans un plan vertical.



Les effets d'inertie induisent une force centrifuge :

$$F = m \cdot L \cdot \omega^2$$

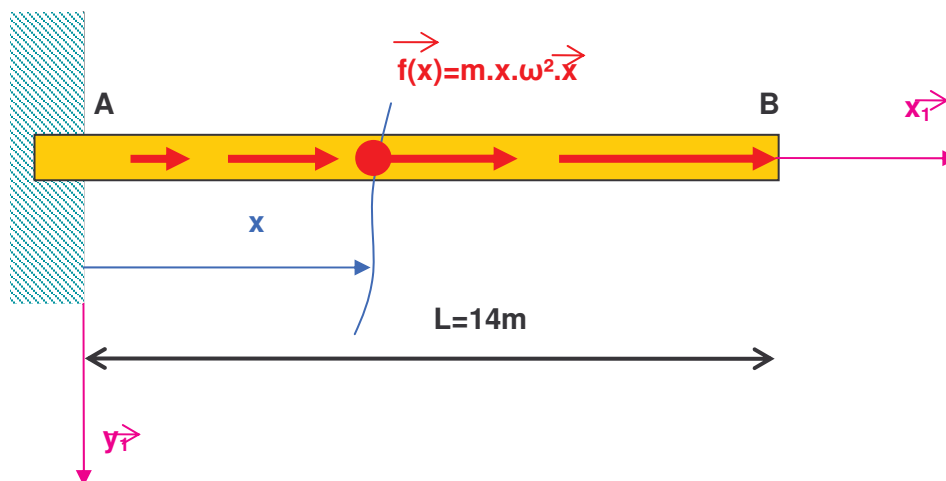
m : masse de l'élément

L : longueur du fil

ω : vitesse angulaire

Pour réaliser l'étude d'une des pales soumises aux **effets centrifuges seuls**, on propose d'étudier le problème équivalent suivant :

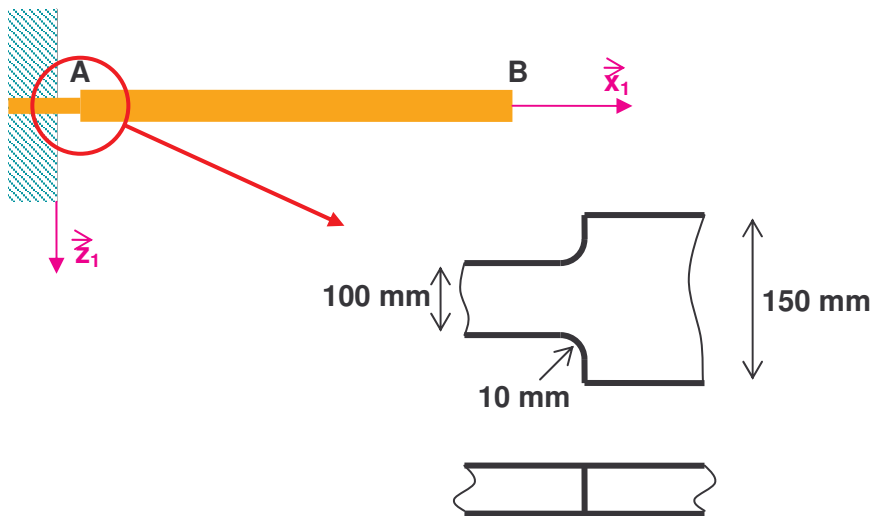
- On lie le repère à la pale.
- La poutre est encadrée au niveau de l'axe de rotation de la nacelle en A.
- Chaque élément de matière est soumis aux effets d'inertie. On modélise cette sollicitation par une **charge répartie f** (N/m) tel qu'au point d'abscisse x on est $f(x) = m \cdot x \cdot \omega^2$ suivant l'axe x_1 .
- On néglige le poids propre de la pale devant les effets d'inertie.



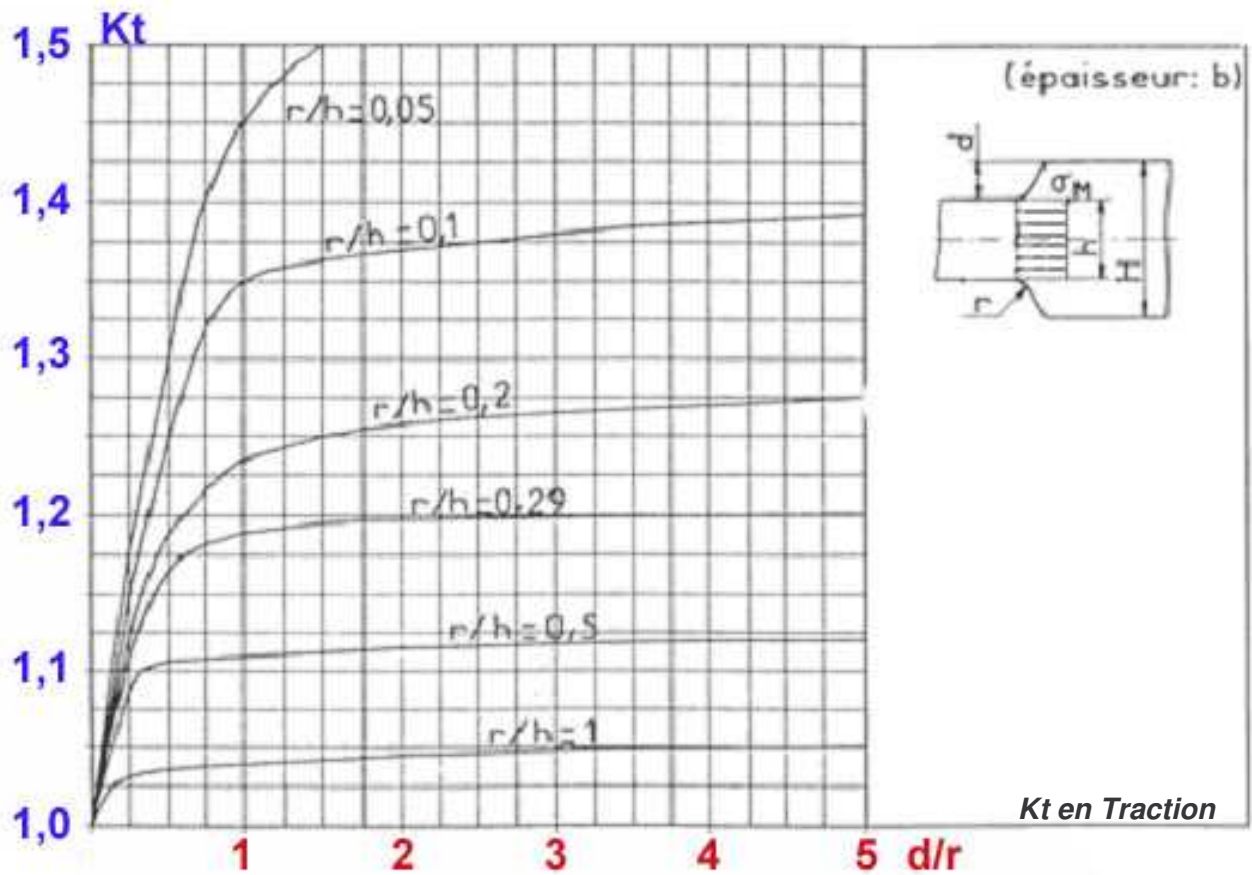
Question 2. : Exprimer les éléments du tenseur des actions de cohésion et tracer les diagrammes relatifs.

Question 3. : Exprimer l'allongement ΔL de la pale en fonction des données. Faire l'application numérique.

Question 4. : Au niveau de la fixation à l'encastrement, il y a une réduction de section. Il apparaît alors une concentration de contraintes.



En utilisant l'abaque ci-dessous, calculer la contrainte maximum en A, en déduire la vitesse de rotation maximum ω_{\max} autorisée par la pale pour ne pas dépasser la contrainte admissible $\sigma_{\text{adm}} = 70 \text{ MPa}$.



ETUDE 3 : EFFET DU VENT SEUL

RAPPEL DE MECANIQUE DES FLUIDES

La relation de Bernoulli permet, entre autres, d'estimer la force du vent sur une façade.

La relation de Bernoulli, sous certaines hypothèses qui sont les nôtres, est :

$$P_i + \rho \cdot g \cdot z_i + \frac{1}{2} \rho \cdot V_i^2 = \text{constante}$$

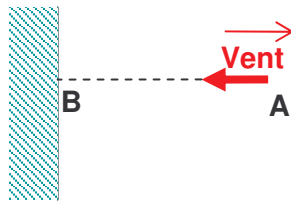
En appliquant cette formule entre les points A et B, on obtient la relation suivante :

$$P_B = \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} \cdot V_A^2$$

ρ_{air} est la masse volumique de l'air ($1,204 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

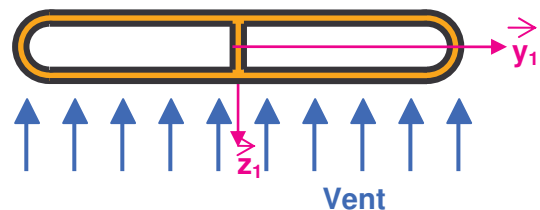
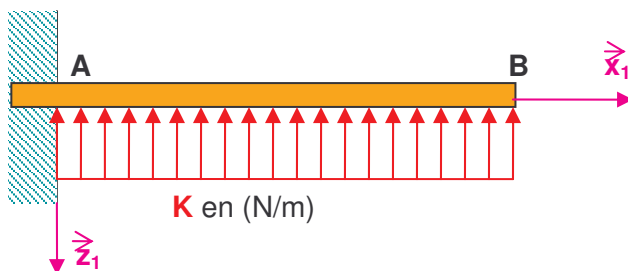
P est la pression (en bar)

V est la vitesse (en m/s)



Pour réaliser l'étude d'une des pales soumises au vent seul dans sa position la plus critique, on propose d'étudier le problème équivalent suivant :

- On lie le repère à la pale.
- La poutre est encadrée au niveau de l'axe de rotation de la nacelle en A.
- On modélise la sollicitation du vent sur la structure par une charge répartie (N/m) d'intensité $K = 0,881 \cdot \rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{max}}^2$ (en N/m) suivant l'axe $-z_1$.
- On néglige le poids propre de la pale devant les effets du vent.

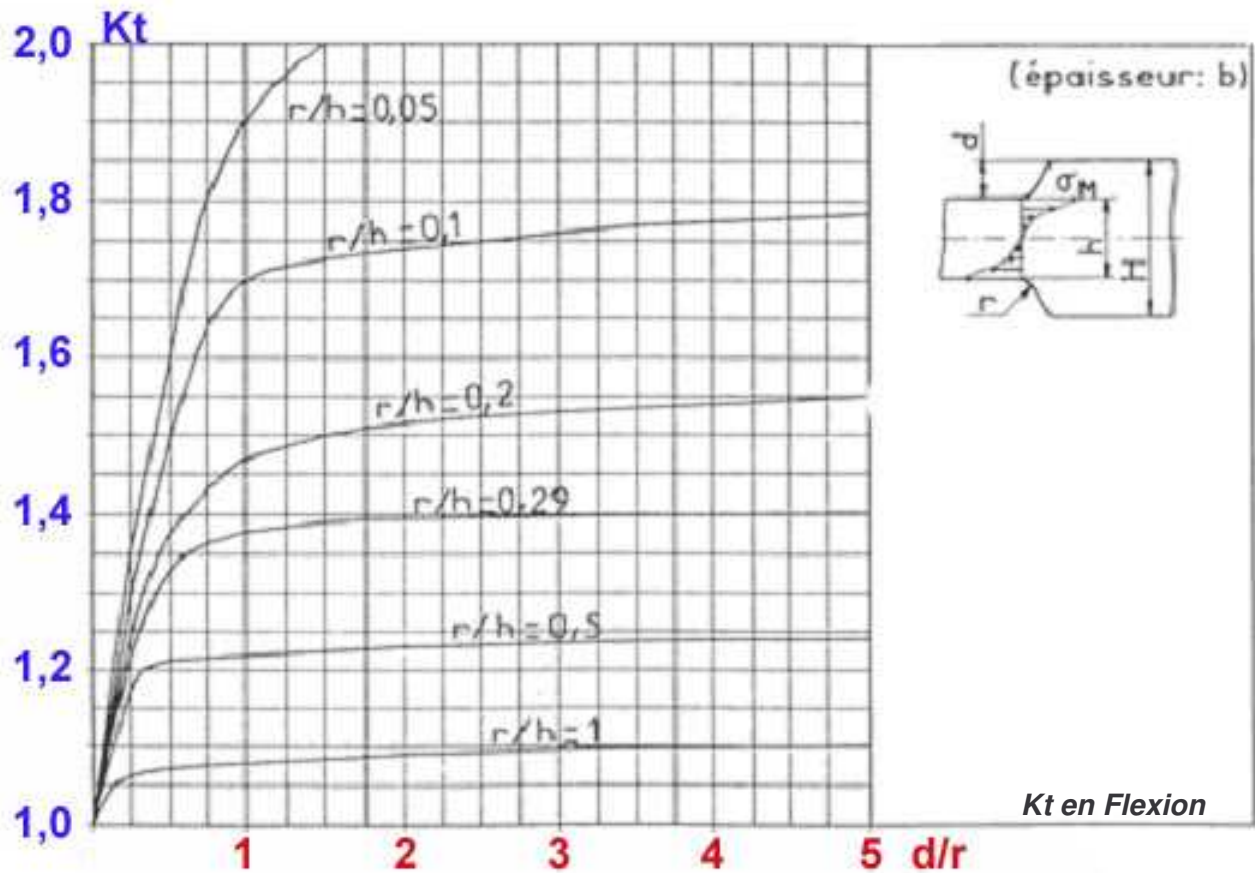


Question 5. : Retrouver l'expression de K.

Question 6. : Exprimer les éléments du torseur des actions de cohésion puis tracer les diagrammes relatifs au torseur des actions de cohésion.

Question 7. : En utilisant les résultats de la partie 1, déterminer le lieu et la valeur de la flèche maxi en prenant l'hypothèse qu'il n'y a pas de réduction de section au niveau de la fixation à l'encastrement.

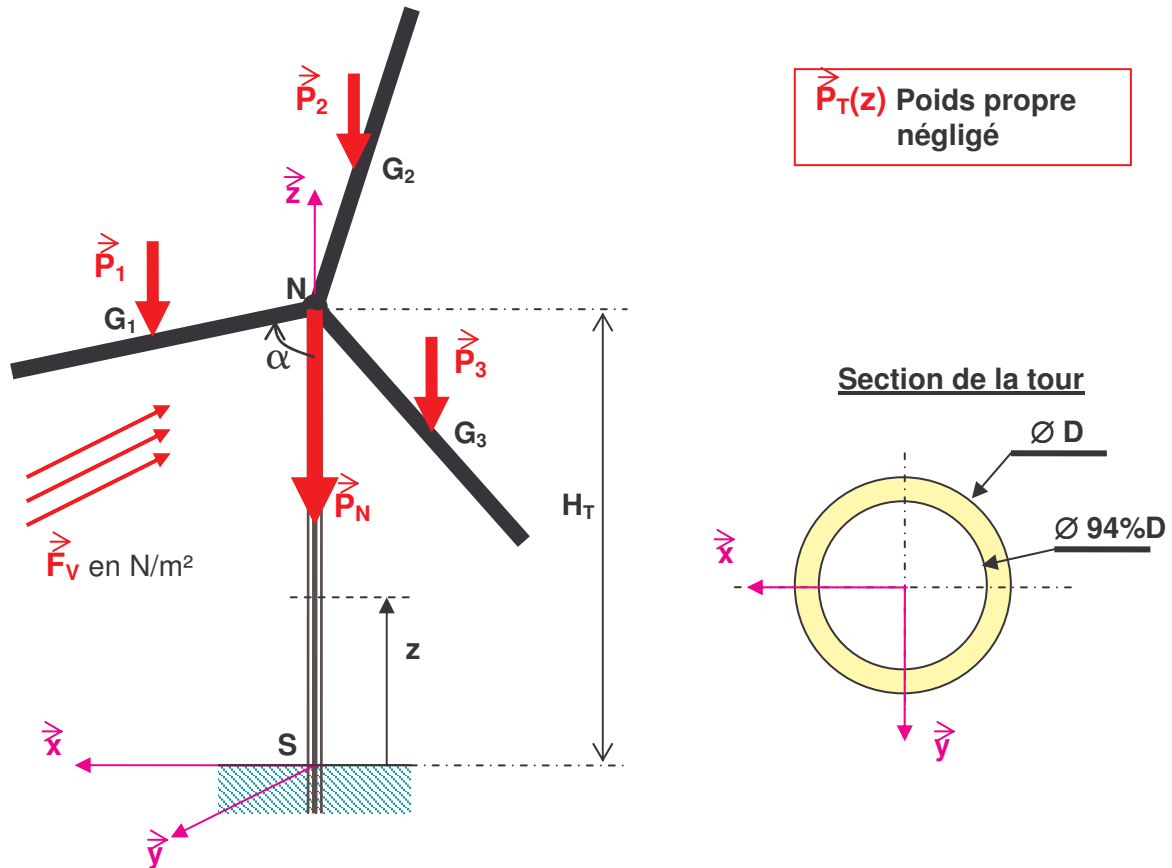
Question 8. : Au niveau de la fixation à l'encastrement, il y a une réduction de section (voir schéma partie 2). Il apparaît alors une concentration de contraintes. En utilisant l'abaque ci dessous, donner le lieu et la valeur de la contrainte maximum.



Question 9. : En déduire la vitesse maximum de vent admissible avant rupture en prenant une contrainte admissible $\sigma_{adm} = 70 \text{ MPa}$.

ETUDE 4 : ETUDE DE LA TOUR

On se propose maintenant de dimensionner la tour supportant la nacelle (P_N) et les 3 pales (P_1, P_2, P_3), l'ensemble étant soumis à un vent latéral (F_V) porté par $-x$. Le poids propre de la tour (P_T) sera négligé devant les autres efforts, les efforts P_1, P_2, P_3 et P_N sont dans le plan $(\vec{x}; \vec{z})$



On modélise la sollicitation du vent sur la structure par une **charge surfacique** (N/m^2) d'intensité $\frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{max}}^2$ suivant l'axe $-y$.

Question 10. : Faire le bilan des actions mécaniques extérieures à la tour.

Question 11. : Exprimer les éléments du torseur des actions de cohésion puis tracer les diagrammes relatifs au torseur des actions de cohésion.

Question 12. : Que remarque t'on au niveau du moment de torsion ?

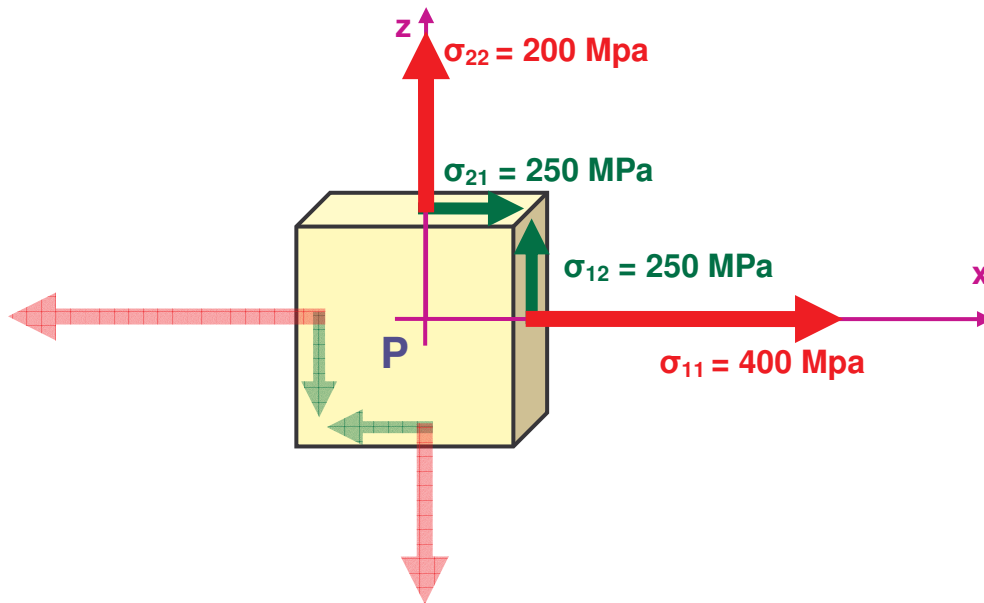
Question 13. : Calculer le diamètre D de la tour à la flexion en prenant une contrainte admissible $\sigma_{\text{adm ALU}} = 300 \text{ MPa}$

Question 14. : Dans la réalité, la tour est de forme conique. Justifier l'utilisation de cette forme par rapport à la forme cylindrique de révolution de notre étude.

ETUDE 5 : JAUGES POUR LE CONTROLE ACTIF

Pour une sécurité optimale, les déformations de la tour sont mesurées en permanence par des jauges d'extensométrie. En cas de danger, les pales sont mises en drapeau.

Soit l'état de contrainte dans la tour suivant, à un instant donné, dans le repère global :



Question 15. : Calculer la position du repère principal et la valeur des contraintes principales de manière analytique.

Question 16. : Retrouver ces valeurs par le tracé du cercle de Mohr.

ANNEXE INFORMATIF : D'où vient l'énergie éolienne ?

Tout comme l'énergie qui se trouve dans les combustibles fossiles, les énergies renouvelables (sauf les énergies marémotrice et géothermique) sont dérivées de l'énergie solaire. En effet, le soleil émet chaque heure quelques 174.423.000.000.000 kilowattheures d'énergie à notre planète. La terre reçoit, en d'autres termes, une puissance équivalente à $1,74 \times 10^{17}$ W.

Environ un à deux pour cent de l'énergie émise par le soleil est convertie en énergie éolienne. C'est entre 50 et 100 fois plus que l'énergie transformée en biomasse par l'ensemble des végétaux de la terre.

Les flux d'air sont produits par la variation des températures

Le soleil réchauffe les régions situées autour de l'équateur, à latitude 0, bien plus qu'il ne réchauffe les autres parties du globe. Sur la photo infrarouge des températures de la surface de la mer (prise en juillet 1984 par un des satellites de NASA, NOAA-7), les régions chaudes sont marquées en rouge, orange et jaune.

Ayant une densité plus faible que l'air froid, l'air chaud s'élève jusqu'à une altitude d'environ 10 km. Ensuite il s'étend vers le nord et le sud. Si la terre ne tournait pas, les courants d'air iraient jusqu'aux pôles Nord et Sud avant de redescendre (suite au refroidissement) et de retourner à l'équateur.

