



# Energie éolienne

## I. Etats physiques de la matière et changements d'états



### 1. Rappels : les trois états physiques de la matière

La matière, quelle que soit sa nature, peut exister sous \_\_\_\_\_ états physiques : état \_\_\_\_\_, état \_\_\_\_\_, état \_\_\_\_\_.

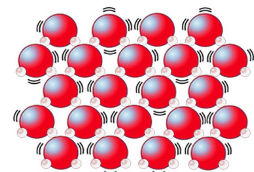
Les solides ont une \_\_\_\_\_ propre. Les liquides n'ont pas de forme propre, ils prennent la forme du \_\_\_\_\_ qui les contient. La surface \_\_\_\_\_ d'un liquide au repos est plane et \_\_\_\_\_.

Un gaz n'a pas de forme propre, il occupe tout le \_\_\_\_\_ qui lui est offert. Un gaz est facilement \_\_\_\_\_ : sous l'effet de contraintes extérieures, son volume peut être aisément modifié.

### 2. Description microscopique des trois états de la matière

#### a) état solide

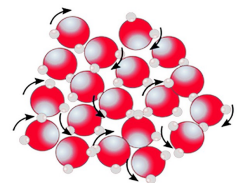
Les particules constituant le solide sont \_\_\_\_\_ entre elles. Elles ne sont pas libres de se \_\_\_\_\_, elles vibrent autour de leur position d'équilibre. L'état solide est un état compact et ordonné.



eau solide

#### b) état liquide

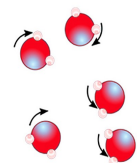
Les particules d'un liquide sont proches les unes des autres et agitées. Les particules sont faiblement liées et peuvent \_\_\_\_\_ les unes sur les autres. L'état liquide est compact et \_\_\_\_\_.



eau liquide

#### c) état gazeux

Un gaz ne possède ni volume propre, ni forme propre. Un gaz prend la forme du récipient qui le contient et occupe tout \_\_\_\_\_ disponible. Au niveau microscopique, les molécules d'un gaz sont en \_\_\_\_\_ permanent. Leur vitesse augmente avec la \_\_\_\_\_ du gaz. Les chocs des molécules de gaz sur les parois de l'enceinte qui le contient sont responsables de la \_\_\_\_\_ du gaz.



vapeur d'eau



Modifier les paramètres de la modélisation puis compléter le cours

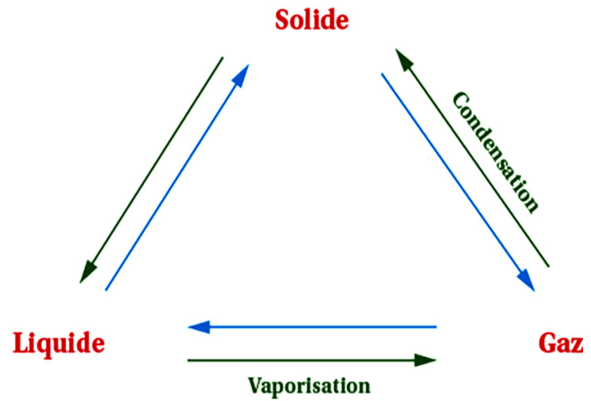


### 3. Changements d'état (Rappels)

#### a) Noms des changements d'état

Sous l'effet d'une modification de température ou de pression, un corps peut changer d'état physique. Les six changements d'états possibles se nomment : **fusion – solidification ; vaporisation – liquéfaction ; condensation - sublimation**

(identifier ces changements d'état en complétant le diagramme ci-contre).



#### b) Températures de changement d'état d'un corps pur

Un corps pur est une substance ne comportant qu'une seule sorte d'\_\_\_\_\_ à la différence d'un mélange. On peut associer une \_\_\_\_\_ chimique à un corps pur. Un corps pur possède des \_\_\_\_\_ de changement d'état qui le caractérisent.

La température de fusion d'un corps est identique à sa température de \_\_\_\_\_. De même les températures de vaporisation et de \_\_\_\_\_ sont identiques pour un corps pur donné.

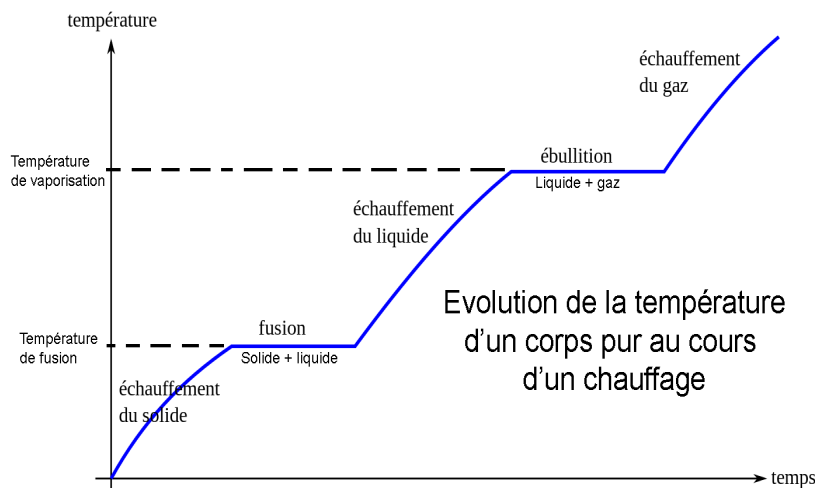
Substance	Fusion Solidification	Vaporisation Liquéfaction
Eau pure	0 °C	100 °C
Fer	1 535 °C	2 750 °C
Éthanol	-117 °C	79 °C
Dioxygène	-218 °C	-183 °C
Plomb	327 °C	1 749 °C
Cyclohexane	6 °C	81 °C



La mesure de la température de changement d'état d'un corps pur permet de l'identifier (Exemple : mesure d'une température de fusion à l'aide d'un banc \_\_\_\_\_ vidéo à regarder à partir de 2 min 17 s).

#### c) Existence de paliers de température ( voir TP 2.1 )

Sur le graphique représentant les variations de la température d'un corps \_\_\_\_\_ au cours d'un chauffage, le changement d'état se traduit par la présence d'un \_\_\_\_\_ de température. Le **changement d'état** d'un corps pur s'effectue à température \_\_\_\_\_. Pour un mélange ( pour de l'eau \_\_\_\_\_ par exemple ) on n'observe pas de \_\_\_\_\_ de température de façon notable.





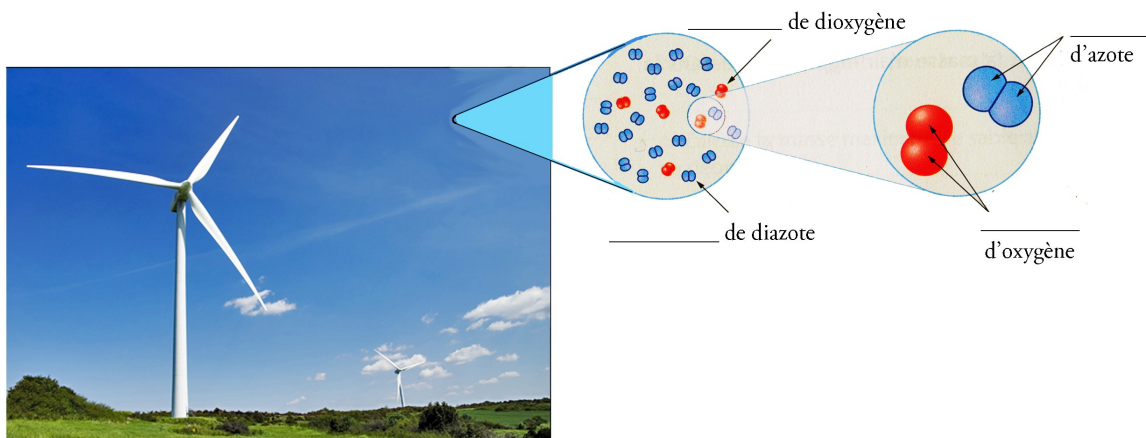
## II. Composition de l'air : description microscopique

### 1. Composition de l'air : étude documentaire

*C'est le vent, c'est-à-dire le déplacement de masses d'air, qui permet la mise en rotation des pales d'une éolienne. Mais qu'est-ce que l'air au juste ? Quelle est sa composition chimique ?*

*L'air que nous respirons est en fait un mélange de plusieurs gaz. Il est principalement composé de 78% de diazote et de 21% de dioxygène. Le 1% restant est composé d'une multitude d'autres gaz comme l'argon ( Ar ), le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau ainsi qu'un certain nombre de gaz issus de la pollution industrielle ( méthane (  $\text{CH}_4$  ), dioxyde de soufre (  $\text{SO}_2$  ), dioxyde d'azote (  $\text{NO}_2$  ) etc.).*

*A l'échelle microscopique, l'air est donc constitué des molécules de ces gaz. La composition de l'air en molécules est identique à celle en volume. On pourra donc considérer en première approximation que dans un volume d'air quelconque une molécule sur 5 est une molécule de dioxygène (soit 20% des molécules) et que 4 molécules sur 5 sont des molécules de diazote ( 80% ).*



### 2. Questions

- Rappeler la formule des deux principaux gaz constituant l'atmosphère terrestre.
- Quelle est la constitution atomique de ces molécules ?

---



---

- Un volume microscopique d'air contient 30 molécules en tout. Représenter ces molécules dans le cadre ci-contre en adoptant pour les atomes le code de couleur vu en cours.



### III. Interprétation microscopique de la pression de l'air



#### 1. Le verre d'eau renversé

Réaliser l'expérience présentée dans la vidéo. La schématiser puis proposer une interprétation microscopique du phénomène.

#### 2. La canette chauffée

Schématiser l'expérience présentée par le professeur. Proposer une interprétation.

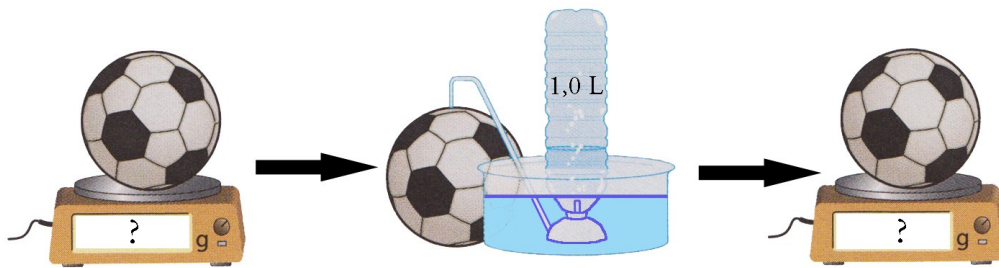


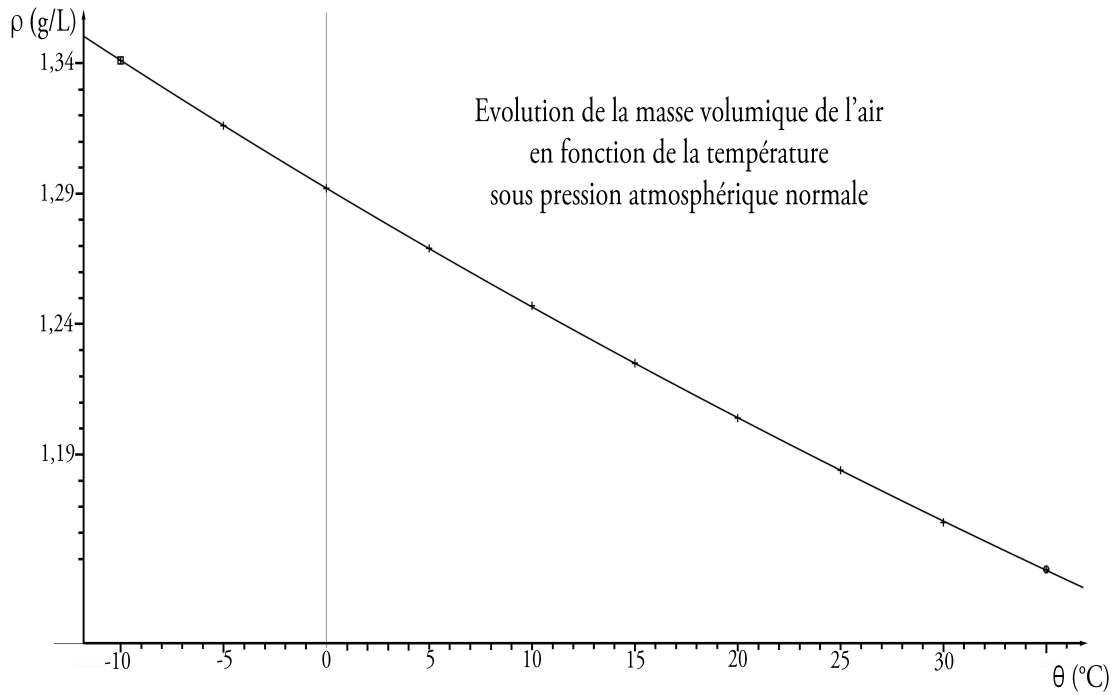
## IV. Masse volumique de l'air ( TP 2.3 )

### 1. Approche expérimentale

*Vous disposez d'un ballon gonflé, d'une balance de précision, d'un tuyau muni d'une aiguille de gonflage, d'une bouteille de volume 1,0 L , d'un thermomètre et d'une bassine.*

En vous inspirant du schéma ci-dessous et en utilisant le matériel mis à votre disposition, mettre en œuvre une expérience permettant de déterminer le plus précisément possible la masse d'un litre d'air. Préciser votre démarche et noter vos mesures dans le cadre ci-dessous.





Les mesures précédentes permettent d'estimer la valeur de la « **masse volumique** » de l'air. La masse volumique est notée avec la lettre grecque  $\rho$  et s'exprimera ici en gramme par Litre (g/L). Par lecture graphique, déterminer la valeur théorique de la masse volumique de l'air dans les conditions de votre expérience :

$\theta$  (°C) = \_\_\_\_\_

$\rho_{air}$  = \_\_\_\_\_

**La masse volumique de l'air, sous pression atmosphérique normale, à une température de \_\_\_\_\_ vaut environ \_\_\_\_\_ .**

Déterminer le **pourcentage d'erreur**  $\epsilon$  entre la valeur expérimentale de la masse volumique de l'air que vous avez trouvée et la valeur théorique attendue en effectuant le calcul suivant :

$$\epsilon = \frac{\rho_{théorique} - \rho_{expérimental}}{\rho_{théorique}} \times 100$$

**Commenter le résultat obtenu.**





## 2. Masse volumique de l'air : Interprétation microscopique

Sous pression atmosphérique normale (1,013 bar) à 20 °C, 1,0 litre d'air contient environ  $2,5 \times 10^{22}$  molécules. La masse d'un atome d'oxygène vaut environ  $2,7 \times 10^{-23}$  g, celle d'un atome d'azote  $2,3 \times 10^{-23}$  g. On peut considérer que l'air est composé de 20% de dioxygène et de 80% de diazote.

**Compléter le raisonnement suivant pour déterminer à partir de ces données la masse volumique de l'air sous pression atmosphérique normale à 20°C. Vérifier la cohérence de votre résultat avec celui établi précédemment.**

1. *Nombre de molécules de diazote dans 1,0 L d'air*

$$N_{N_2} =$$

2. *Nombre de molécules de dioxygène dans 1,0 L d'air*

$$N_{O_2} =$$

3. *Masse des molécules de diazote dans 1,0 L d'air*

$$m_{N_2} =$$

4. *Masse des molécules de dioxygène dans 1,0 L d'air*

$$m_{O_2} =$$

5. *Masse totale des molécules présentes dans 1,0 L d'air*

$$m =$$

6. *Conclusion : masse volumique théorique de l'air à 20°C*

$$\rho_{air} =$$



## V. Masse volumique de l'air : applications

### 1. Masse volumique : généralisation

On définit plus généralement la masse volumique  $\rho$  d'un matériau comme le rapport de la masse  $m$  d'un objet constitué de ce matériau par le volume  $V$  qu'il occupe.

Formule à connaître :

$$\rho =$$

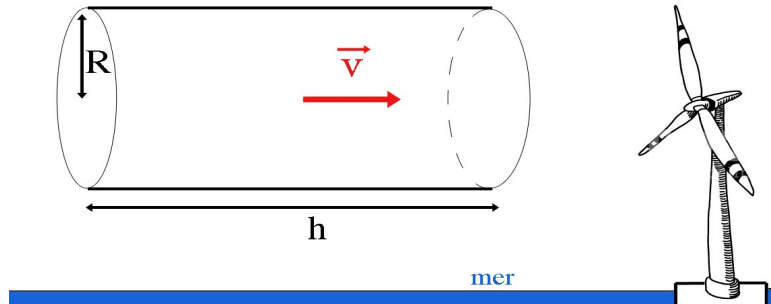
Autres expressions déduites de cette formules :

$$m =$$

$$V =$$

### 2. masse d'air passant entre les pales d'une éolienne

Une masse d'air contenue dans un cylindre de rayon  $R = 15$  m et de hauteur  $h = 30$  m se déplace horizontalement à une vitesse de 36 km/h par rapport à la mer. Cette masse d'air va passer intégralement entre les pales d'une éolienne (voir schéma ci-dessous).



**Estimer la masse de l'air contenue dans ce cylindre.**

Données : Volume d'un cylindre :  $V = \pi \times R^2 \times h$  ; Masse volumique de l'air :  $\rho_{air} = 1,2 \text{ kg/m}^3$





## VI. Energie éolienne ( Cours 3.5 )

### 1. Energie d'une masse d'air passant entre les pales d'une éolienne

Un objet en mouvement possède, du fait de son mouvement, **une énergie nommée « énergie cinétique »**. Cette énergie cinétique est donnée pour un mobile de masse  $m$  animé d'une vitesse  $v$  par :

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

avec  $E_c$  en Joule ( J ),  $m$  en kilogramme ( kg ) et  $v$  en mètre par seconde ( m/s ).

**Estimer l'énergie cinétique de la masse de l'air contenue dans le cylindre de l'exercice précédent.**

**Rappel :**  $1,0 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$

### 2. Conversion d'énergie réalisée par un alternateur

#### a) Une expérience historique

*« En 1830, Michael Faraday, le célèbre physicien anglais, étudie l'influence des aimants sur les courants électriques. Il constate au cours de nombreuses expériences que, lorsqu'il approche un barreau aimanté d'une bobine de fil métallique dont les deux bornes sont reliées, un courant électrique se met à circuler dans la bobine. Seulement, ce courant galvanique\* ne dure qu'un instant. Il cesse dès que le barreau ne bouge plus par rapport à la bobine. Lorsqu'il retire le barreau aimanté de la bobine, en revanche, il observe à nouveau un courant tout aussi éphémère mais orienté dans l'autre sens. »*



Texte extrait du Bulletin de l'Union des Physiciens n°801 (février 1998)

*\*galvanique : historiquement, Faraday a mis en évidence l'existence de ce courant électrique à l'aide d'un galvanomètre. Il lui a ainsi donné le nom de « courant galvanique ». On préfère simplement parler aujourd'hui de « courant électrique ».*

– Quels sont les deux éléments du dispositif de Faraday permettant de produire un courant électrique ?

---

– A quelle condition un courant électrique circule-t-il dans la bobine ?

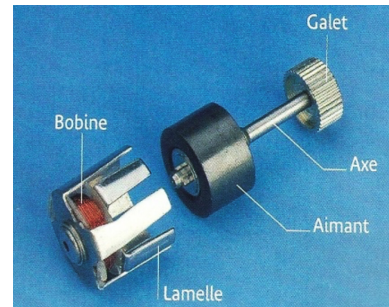
---



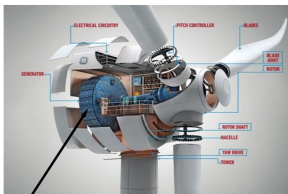
**b) L'alternateur. Principe de fonctionnement et exemples de réalisations.**

Un alternateur est un dispositif dans lequel un aimant est constamment en mouvement à proximité d'une bobine. Dans un alternateur, l'aimant n'est jamais immobile par rapport à la bobine, si bien qu'un courant circule en permanence dans le circuit relié à la bobine. Le courant produit change de sens régulièrement, c'est

un courant « alternatif ». Ce dispositif permet de **convertir de l'énergie cinétique en énergie électrique**. L'alternateur de bicyclette ( voir photos ci-contre) est un modèle réduit des alternateurs des centrales électriques ou des éoliennes. Sur une bicyclette, l'alternateur joue le rôle d'un générateur et permet d'alimenter la lampe du phare. Dans un alternateur, il y a toujours **une partie fixe, appelée stator** et **une partie mobile, appelée rotor**.



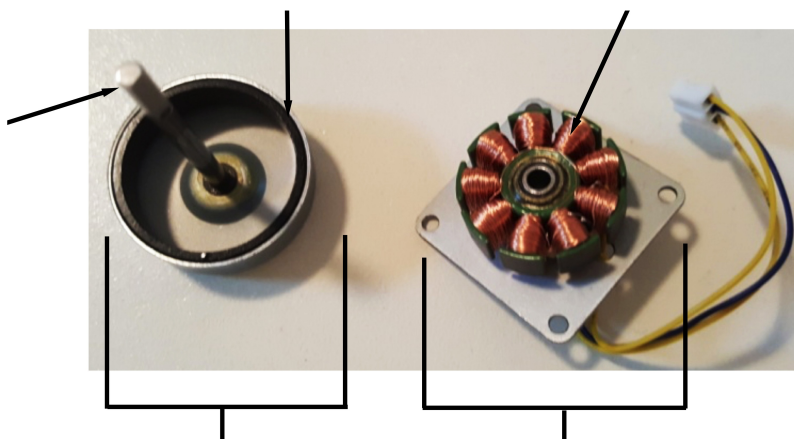
- Dans l'alternateur de bicyclette, quels éléments constituent le stator et le rotor ?  
\_\_\_\_\_
- Dans l'alternateur de démonstration photographié ci-contre, quels éléments constituent le stator et le rotor ?  
\_\_\_\_\_



Alternateur

**c) L'alternateur de l'éolienne**

Une éolienne est un dispositif qui convertit l'énergie \_\_\_\_\_ du vent en énergie \_\_\_\_\_. Une éolienne comporte donc nécessairement un \_\_\_\_\_.



- Légendez la photo ci-contre de l'alternateur de la maquette d'éolienne démonté avec les termes : aimant, bobine, axe de l'éolienne, stator, rotor.

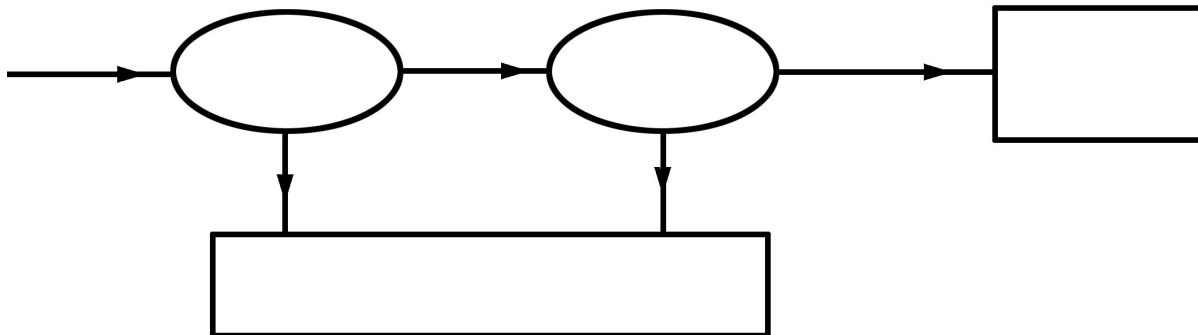


**d) Chaîne énergétique d'un alternateur**

- Consulter la vidéo du cours.



- Compléter la chaîne énergétique d'un alternateur à manivelle relié à une lampe ( L3 ).



- Montrer, en utilisant le matériel disponible, que plus l'énergie cinétique transférée à l'alternateur est grande, plus l'énergie électrique transférée à la lampe est grande.

**3. Conversion d'énergie réalisée par une éolienne de démonstration**

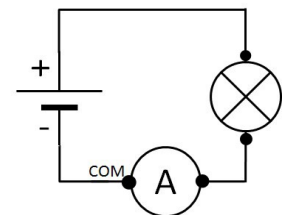
Lorsqu'un dipôle est parcouru par un courant électrique, on peut estimer **l'énergie électrique qu'il reçoit chaque seconde** en mesurant **simultanément l'intensité du courant qui le traverse et la tension électrique à ses bornes.**

**a) Rappels : Mesure de l'intensité du courant électrique traversant un dipôle**

L'**intensité du courant** traversant un dipôle se mesure à l'aide d'un \_\_\_\_\_ placé en \_\_\_\_\_. L'intensité du courant électrique se note  $I$  et s'exprime en \_\_\_\_\_ ( de symbole \_\_\_\_ ). L'ampèremètre affiche une valeur positive si le courant électrique rentre par la borne \_\_\_\_\_ et ressort par la borne \_\_\_\_\_ sinon il affiche une valeur négative.

Le calibre utilisé sur le multimètre devra être celui immédiatement \_\_\_\_\_ à la valeur mesurée.

Dans le circuit schématisé ci-contre, l'ampèremètre est placé de façon à mesurer \_\_\_\_\_ du \_\_\_\_\_ traversant la lampe.

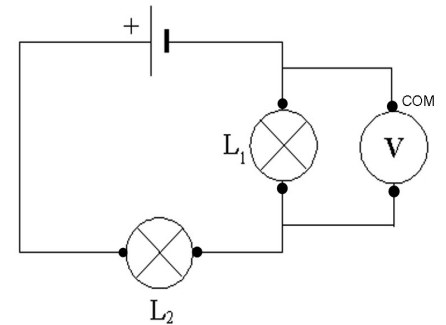




**b) Rappels : Mesure de la tension aux bornes d'un dipôle**

Chaque dipôle parcouru par un courant électrique est soumis à une certaine **tension électrique**.

La tension électrique aux bornes d'un dipôle se mesure à l'aide d'un \_\_\_\_\_ placé en \_\_\_\_\_. La tension électrique se note  $U$  et s'exprime en \_\_\_\_\_ (de symbole \_\_\_\_\_). La tension aux bornes d'un dipôle est une différence de \_\_\_\_\_ électrique. Le voltmètre affiche une valeur positive si sa borne V est reliée au point de plus haut potentiel ( du côté de la borne \_\_\_\_\_ du générateur ) et sa borne COM au point de plus faible potentiel (du côté de la borne \_\_\_\_\_ du générateur).



Dans le circuit schématisé ci-contre, le voltmètre est placé de façon à mesure la \_\_\_\_\_ aux \_\_\_\_\_ de la lampe L1.

**c) Calcul de la puissance électrique reçue par un dipôle**

On appelle puissance électrique reçue par un dipôle, l'énergie électrique reçue par ce dipôle par seconde. La puissance électrique reçue par un dipôle se note  $P$  et s'exprime en Watt (  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$  ). La puissance reçue par un dipôle soumis à une tension  $U$  et parcouru par un courant d'intensité  $I$  est donnée par :

$$P = U \times I$$

$P$  s'exprime en Watt (W) si  $U$  est exprimé en Volt (V) et  $I$  en Ampère (A)

Pour estimer la puissance électrique reçue par un dipôle, **il faut donc mesurer à la fois la tension  $U$  à ses bornes et l'intensité  $I$  du courant qui le traverse.**

**Exemple de mesure de puissance :**

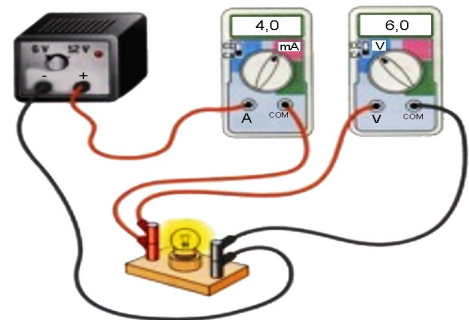
Soit le circuit électrique représenté sur le dessin ci-contre :  
L'intensité du courant circulant dans la lampe vaut ici :

$I =$  \_\_\_\_\_ mA = \_\_\_\_\_ A

La tension aux bornes de la lampe vaut :  $U =$  \_\_\_\_\_ V

La puissance électrique reçue par la lampe vaut :

$P =$  \_\_\_\_\_



**La lampe reçoit donc une énergie électrique de \_\_\_\_\_ J par seconde.**

**d) Application : mesure de la puissance électrique fournie par une pile à une lampe.**

Déterminer expérimentalement la puissance électrique transférée par une pile à une lampe (  $L1$  ). Schématiser **sur une feuille de cours** le montage réalisé, noter les valeurs des grandeurs mesurées. Effectuer le calcul de la puissance électrique transférée à la lampe. En déduire l'énergie reçue par la lampe chaque seconde dans ces conditions.



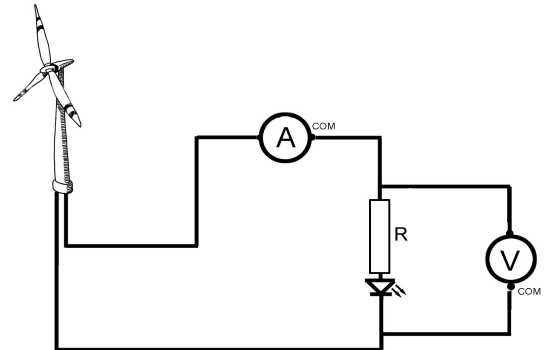


Séquence N°4

#### 4. Mesure de l'énergie électrique fournie par l'éolienne de démonstration (TP 3.5)

Réaliser le montage schématisé ci-contre. Positionnez votre éolienne à 30 cm environ du ventilateur. Allumez le ventilateur en positionnant le sélecteur de vitesse de rotation sur la position 2.

Mesurer la tension aux bornes de l'association DEL-résistance ainsi que l'intensité du courant circulant dans le circuit.



**Mesures:**  $U = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V} ; I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

Estimer la puissance électrique fournie par l'éolienne à l'association DEL-résistance

$$P = U \times I$$

; $P = \underline{\hspace{1cm}} \times \underline{\hspace{1cm}} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ W} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ mW}$   
*P s'exprime en Watt (W) si U est exprimé en Volt (V) et I en Ampère (A)*

La puissance calculée correspond à l'énergie électrique fournie par l'éolienne au reste du circuit chaque seconde. Dans ces conditions, l'éolienne fournit donc au circuit une énergie électrique  $E_{elec} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mJ}$  chaque seconde.

Mettre en place l'anémomètre de façon à mesurer la vitesse d'écoulement de l'air au niveau des pales de l'éolienne. Modifier la distance entre le ventilateur et l'éolienne ainsi que la position du sélecteur de vitesse de façon à effectuer au moins cinq mesures différentes de vitesse et de puissance.

Vitesse $v$ d'écoulement de l'air (m/s)	$U$ (V)	$I$ (mA)	Puissance électrique $P$ fournie par l'éolienne (mW)
0			

Représenter sur la feuille de papier millimétré au verso l'évolution de la puissance électrique fournie par l'éolienne en fonction de la vitesse d'écoulement de l'air passant entre ses pâles  $P = f(v)$ .

**Vérifier graphiquement que lorsque la vitesse d'écoulement de l'air est multipliée par deux, la puissance électrique fournie est à peu près multipliée par quatre.**









**b) Fréquence de rotation des pales de l'éolienne**

La fréquence de rotation des pales est le nombre de tours effectués par les pales chaque seconde. La fréquence s'exprime en Hertz (Hz) dans les USI.

Elle est liée à la période T de rotation par la relation :  
T doit être exprimée en seconde.

$$f = \frac{1}{T}$$

- Estimer la fréquence de rotation des pales de l'éolienne de démonstration dans les conditions précédentes.

Calcul de f à partir du pointage vidéo réalisé :

f =

La fréquence de rotation des pales d'une éolienne industrielle vaut 0,2 Hz environ.  
Cette valeur correspond-elle à celle que vous avez déterminée pour l'éolienne de démonstration ?

La fréquence de rotation des pales d'une éolienne industrielle est-elle aussi celle de son alternateur ?  
Expliquez.

**VII. CONCLUSION ( à compléter et à retenir )**

L'air est un mélange de \_\_\_\_\_. Il est principalement constitué de molécules de \_\_\_\_\_ ( environ 80% ) de formule  $N_2$  et de molécules de \_\_\_\_\_ ( environ 20 % ) de formule \_\_\_\_\_. L'air possède une masse. Un Litre d'air à 20°C pèse environ \_\_\_\_\_. La \_\_\_\_\_ de l'air vaut donc  $\rho_{air} = 1,2 \text{ g/L} = 1,2 \text{ kg/m}^3$ . Le vent est un mouvement de masses d'air.  
Lorsqu'une masse d'air est en mouvement, elle possède une énergie \_\_\_\_\_.

Une éolienne permet de \_\_\_\_\_ une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie \_\_\_\_\_. Le dispositif, au cœur de l'éolienne, assurant cette conversion se nomme \_\_\_\_\_.

