

BE Mini éolienne

Essais et expérimentations
autour de la production
d'énergie éolienne







Edité par la Sté A4

Tél. : 01 64 86 41 00 - Fax. : 01 64 46 31 19
www.a4.fr

SOMMAIRE

Présentation générale	02 - 03
Présentation du produit	02
Principaux intérêts pédagogiques	03
Dossier Technique	04 - 21
Perspective ; éclaté ; nomenclature	04 - 05
Nomenclature de l'éolienne livrée en kit	06 - 07
Fiches de montage	08 - 11
Dessins de pales	12
Dessins d'empennages	13
Les modules complémentaires	14 - 21
Module voltmètre	14 - 15
Module son et lumière	16 - 17
Module stockage de l'énergie	18 - 19
Module de couplage	20 - 21
Pistes pédagogiques - Fiches élèves et corrigés	22 - 35
Identifier les principaux sous-ensembles	22 - 23
Repérer les pièces sur la vue éclatée	24 - 25
Monter l'éolienne	26
La fonction de l'hélice	27
Les fonctions de l'alternateur et du régulateur	28 - 29
La fonction de l'empennage	30
Les fonctions du mât et du socle	31
Comment augmenter la production d'énergie	32 - 33
Représenter la chaîne énergétique d'un système éolien - Stocker l'énergie	34 - 35
Annexes	36 - 38
Une activité en utilisant un anémomètre et un compte tour	36
Quelques données sur l'énergie éolienne	37
Une sélection de liens sur internet	37
Une idée de réalisation	38

CONTENU DU CDRom

Le CDRom de ce projet est disponible au catalogue de la Sté A4 (réf "CD-BE-MINIEOL-A).

Il contient :

- Le dossier en versions FreeHand et PDF.
- Des photos du produit, des images.
- **La modélisation 3D complète** avec des **fichiers** aux formats SolidWorks, Parasolid et eDrawings.

Ce dossier et le CDRom sont duplicables pour les élèves, en usage interne au collège*

*La duplication de ce dossier est autorisée sans limite de quantité au sein des établissements scolaires, à seules fins pédagogiques, à la condition que soit cité le nom de l'éditeur : Sté A4. La copie ou la diffusion par quelque moyen que ce soit à des fins commerciales n'est pas autorisée sans l'accord de la Sté A4.

La copie ou la diffusion par quelque moyen que ce soit en dehors d'un usage interne à l'établissement de tout ou partie du dossier ou du CDRom ne sont pas autorisées sans l'accord de la Sté A4 .

Le produit

Eolienne miniature équipée d'un alternateur et d'une carte électronique de régulation du courant.

Associé à différents modules externes, ce matériel permet de reproduire en miniature un système éolien de production d'électricité.

On pourra réaliser des tests et mesures pour comprendre les problèmes posés et les solutions techniques actuelles de production et stockage d'énergie électrique à partir de l'énergie du vent.

Intérêts du produit

La similitude avec le réel

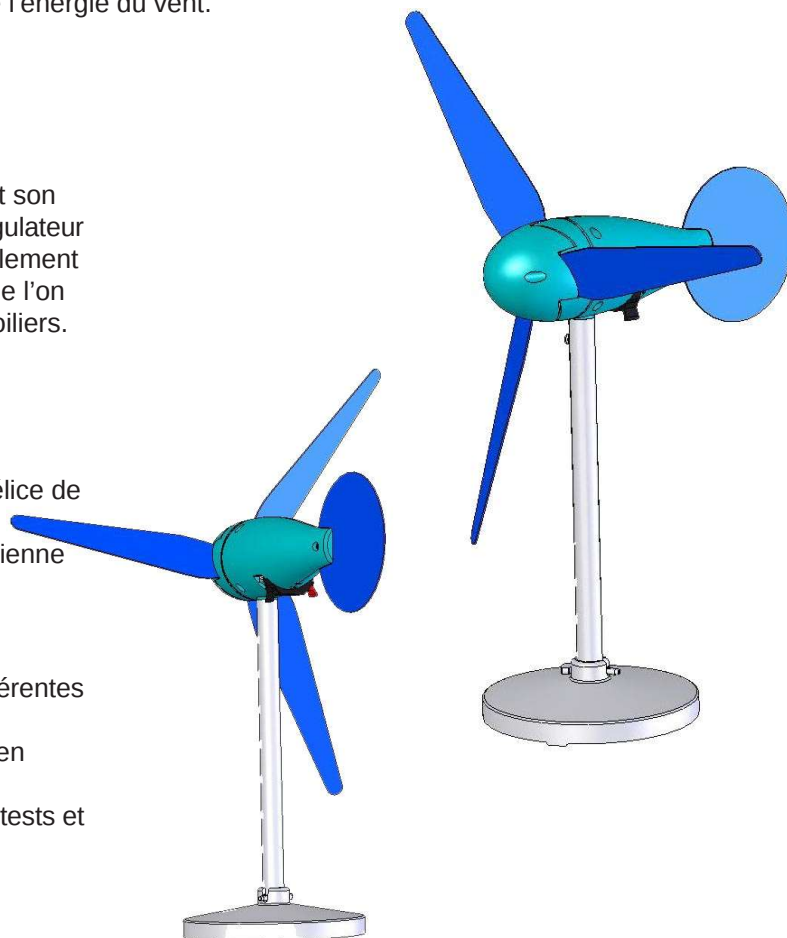
Dans sa forme (nacelle pivotante avec empennage) et son principe de fonctionnement (alternateur couplé à un régulateur électronique), ce matériel de laboratoire reproduit fidèlement le fonctionnement des éoliennes de moyenne taille que l'on utilise pour la production domestique ou à bord des voiliers.

La simplicité pour l'investigation

- Montage et démontage faciles et rapides.
- Connexions électriques sur borniers rapides.
- Un simple ventilateur d'intérieur suffit à entraîner l'hélice de l'éolienne.
- Le socle lourd et stable évite d'avoir à maintenir l'éolienne par un support.

Le potentiel pédagogique

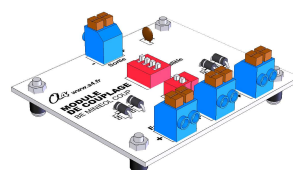
- Possibilité de réaliser et tester des pales d'hélice différentes en polypropylène ; on peut monter 3 ou 6 pales.
- Possibilité de réaliser et tester une dérive différente en polypropylène.
- Les modules externes qui permettent d'effectuer des tests et mesures et de reproduire un champ éolien.



Les modules externes

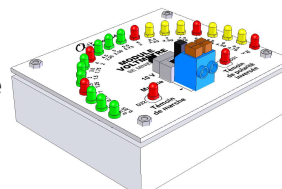
Module de couplage

- Il permet de coupler en parallèle ou en série jusqu'à 3 éoliennes pour constituer un champ éolien miniature.



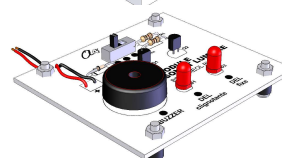
Module voltmètre

- Il permet d'effectuer des mesures avec un appareil dédié et directement compatible avec la connectique des mini-éoliennes.



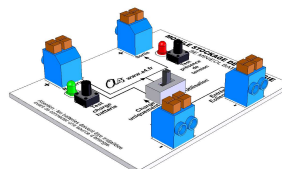
Module son et lumière

- Il permet de consommer et mettre en évidence l'énergie produite et de comparer la puissance produite selon la vitesse de rotation du rotor ou la force du vent.



Module de stockage de l'énergie

- Il permet de mettre en évidence le problème majeur de l'énergie électrique : la nécessité et la difficulté de la stocker.
- L'éolien n'est pas une source fiable d'énergie car imprévisible ; d'où la nécessité de pouvoir stocker l'énergie produite.



Activités proposées

Identifier les principaux sous-ensembles de l'éolienne

- Sur une vue en perspective, identifier et nommer les sous ensembles principaux. Donner leurs fonctions. P 22-23.

Identifier les pièces de l'éolienne

- A partir de la nomenclature, retrouver les pièces sur une vue en éclaté. Donner les fonctions de chaque pièce.

Par la suite on vérifiera par des tests les fonctions des pièces "actives" (générateur, régulateur, hélice, empennage). P 24-25.

Monter l'éolienne - La faire fonctionner

- Monter / démonter l'éolienne. La faire fonctionner pour la tester. P 26.

Identifier / vérifier les fonctions réalisées par les pièces principales

- **L'hélice** : tests avec différentes pales en utilisant un ventilateur et un voltmètre. On met en évidence la fonction de captation du vent. On suggère de tester des pales différentes fabriquées par les élèves. P 27.

- **L'alternateur** : tests avec une LED et l'alternateur seul. On met en évidence la production de courant lorsque l'alternateur tourne. P 28-29.

- **Le régulateur** : test avec une LED et l'alternateur couplé au module électronique. On met en évidence la fonction de redressement et de régulation du courant. P 28-29.

- **L'empennage** : test avec un ventilateur, en montant ou non l'empennage. On met en évidence la fonction d'orientation par rapport au vent. P 30.

On pourra tester des empennages différents fabriqués par les élèves.

- **Le mât et le socle** : les élèves devront exprimer pourquoi le socle doit être lourd et pourquoi le mât doit être haut. P 31.

Mesurer l'énergie produite. Chercher le moyen d'augmenter sa production.

- Test avec plusieurs éoliennes couplées sur le même réseau au moyen du module de couplage.

On met en évidence que plusieurs éoliennes produisent plus d'énergie qu'une seule.

On montre aussi que le montage des éoliennes en parallèle est plus intéressant que le montage en série. P 32-33.

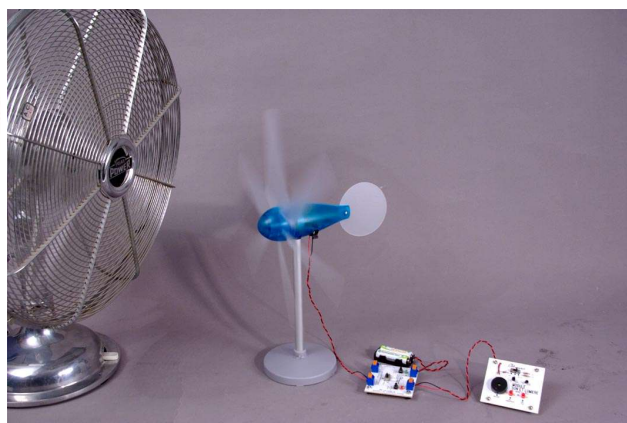
Représenter la chaîne énergétique. Stocker l'énergie produite

- Test avec une éolienne et le module "stockage de l'énergie".

On met en évidence le rôle de régulation instantanée des batteries et le fait qu'elles permettent de disposer de l'énergie à tout moment. P 34-35.

Produire du vent pour les tests en classe

Pour les tests en fonctionnement, le plus simple et pratique est d'utiliser un ventilateur de bureau. Il en existe de nombreux modèles ; tous feront l'affaire.



Compte-tours laser

Pour mesurer la fréquence exacte de rotation de tout objet tournant.

Permet par exemple de mettre en évidence la relation entre fréquence de rotation de l'éolienne et tension produite.



Modèle présenté :
RPM-LASER-299K

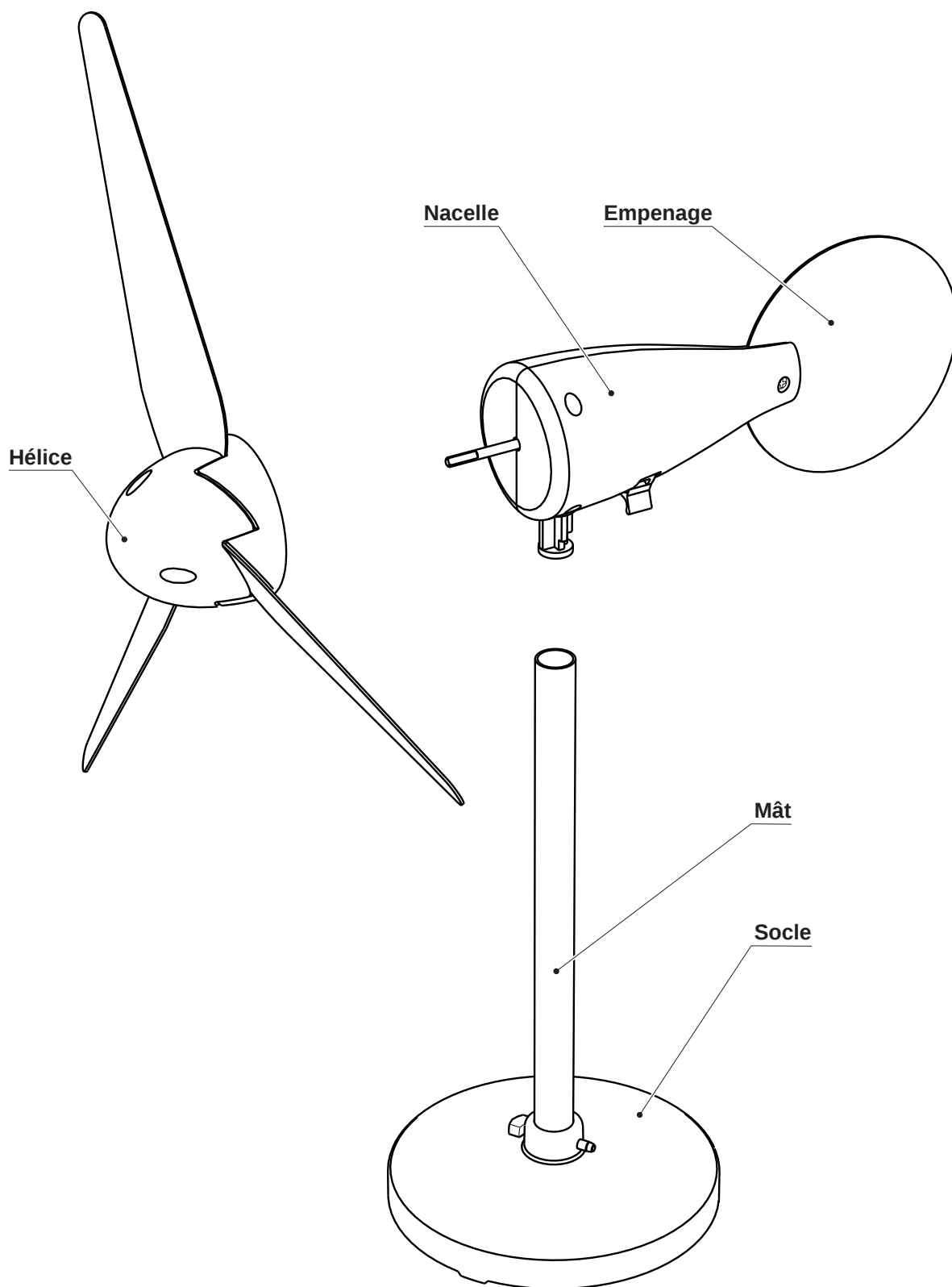
Anémomètre

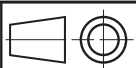
Pour mesurer la vitesse du vent.

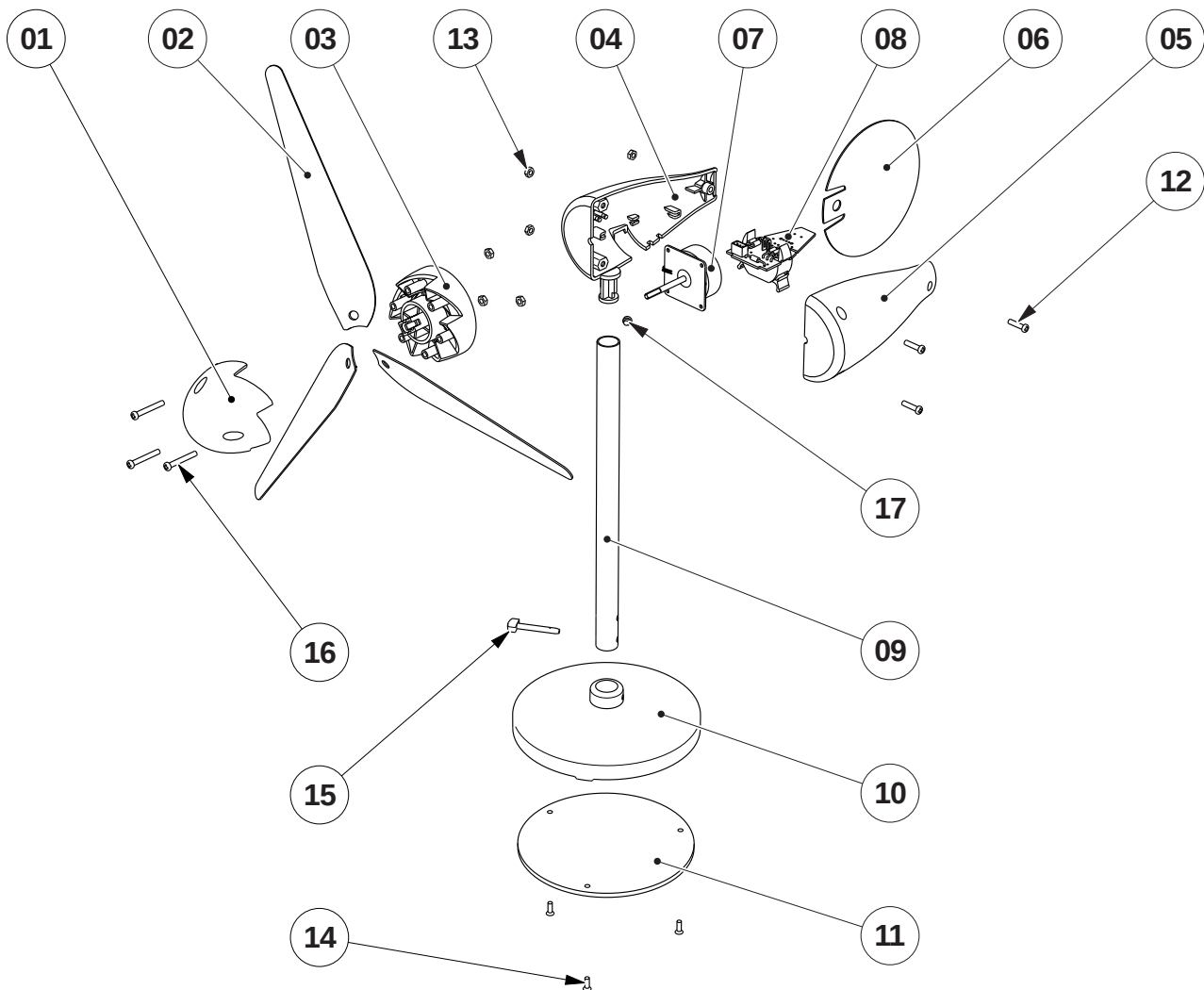
Permet par exemple de vérifier le rapport entre vitesse du vent, fréquence de rotation de l'éolienne et tension produite.



Modèle présenté :
ANEMO-0230



			A4	PROJET BE Mini éolienne	PARTIE Mini éolienne
	Collège	Classe		TITRE DU DOCUMENT	
Nom	Date		Sous ensembles		



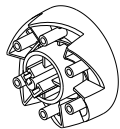
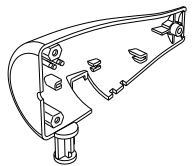
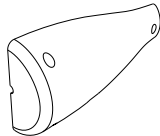
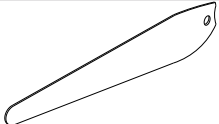
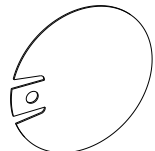
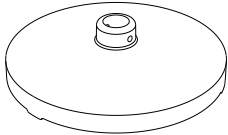
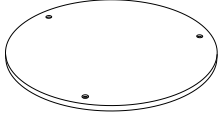
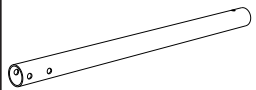
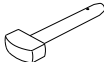
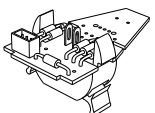
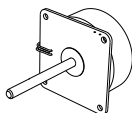
17	01	Vis (blocage du mât)	Acier zingué, tête cylindrique Ø 3 x 2 mm.
16	03	Vis (assemblages du cône d'hélice)	Acier zingué, tête cylindrique Ø 2,5 x 18 mm.
15	01	Tenon (blocage du mât)	PS injecté Ø 3 x longueur 30 mm.
14	03	Vis (assemblages du socle)	Acier zingué, tête fraisée Ø 2,5 x 10 mm.
13	06	Ecrous	Acier zingué, Ø 2,5 mm.
12	03	Vis (assemblages des flancs)	Acier zingué, tête cylindrique Ø 2,5 x 10 mm.
11	01	Poids	Métal, Ø 104 mm.
10	01	Socle	PS injecté Ø 110 mm.
09	01	Mât	Tube aluminium, Ø 12,7 x 200 mm.
08	01	Module régulateur	Redresseur - Tension de sortie non stabilisée.
07	01	Alternateur	Mini alternateur 3 phases pour mini éolienne, axe Ø 3 mm.
06	01	Empennage	Polypropylène Ø 80 mm.
05	01	Flan gauche	PS injecté 100 x 50 x 25.
04	01	Flan droit	PS injecté 100 x 50 x 25.
03	01	Support des pales	PS injecté Ø 50 mm.
02	06	Pales	Polypropylène, 147 x 35 x épaisseur 0,8.
01	01	Cône d'hélice	PS injecté Ø 50 mm.

REPERE	NOMBRE	DESIGNATION	CARACTERISTIQUES	
			PROJET	PARTIE
			BE Mini éolienne	Mini éolienne
Nom		Date	TITRE DU DOCUMENT	
			Eclaté et nomenclature	

Description de l'éolienne livrée en kit

La mini-éolienne (BE-MINIEOL-A) est livrée en kit de pièces à assembler.

Temps de montage : environ 5 minutes au moyen d'un tournevis. Aucune opération de façonnage ou brasage.

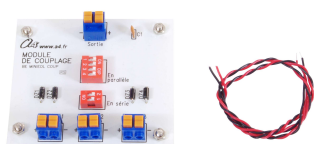
Désignation des pièces	Quantité	Repère	Dessin
Cône d'hélice, PS injecté Ø 50 mm.	01	01	
Support de pales, PS injecté Ø 50 mm.	01	03	
Flan droit, PS injecté 100 x 50 x 25.	01	04	
Flan gauche, PS injecté 100 x 50 x 25.	01	05	
Pales, Polypropylène, 147 x 35 x épaisseur 0,8.	06	02	
Empennage, Polypropylène Ø 80 mm.	01	06	
Socle, PS injecté Ø 110 mm.	01	10	
Poids, Métal, Ø 104 mm.	01	11	
Mât, Tube aluminium, Ø 12,7 x 200 mm.	01	09	
Tenon (blocage du mât), PS injecté Ø 3 x longueur 30 mm.	01	15	
Module régulateur	01	08	
Mini alternateur, 3 phases pour mini éolienne, axe Ø 3 mm.	01	07	

(Suite)

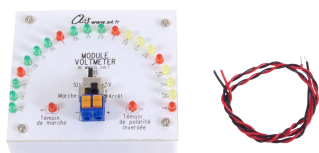
Désignation des pièces	Quantité	Repère	Dessin
Vis (assemblages des flancs) Acier zingué, tête cylindrique Ø 2,5 x 10 mm.	03	12	
Vis (assemblages du cône d'hélice) Acier zingué, tête cylindrique Ø 2,5 x 18 mm.	03	16	
Ecrous, acier zingué, Ø 2,5 mm.	06	13	
Vis (assemblages du socle) Acier zingué, tête fraisée Ø 2,5 x 10 mm.	03	14	
Vis (blocage du mât) Acier zingué, tête cylindrique Ø 3 x 2 mm.	01	17	

Les modules externes

Livrés montés, prêts à l'emploi.



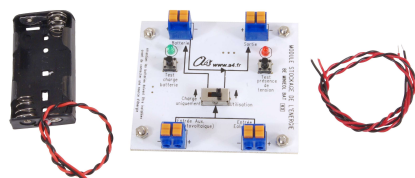
Module de couplage
Réf. : BE-MINIEOL-COUP



Module Voltmètre
Réf. : BE-MINIEOL-VOLT



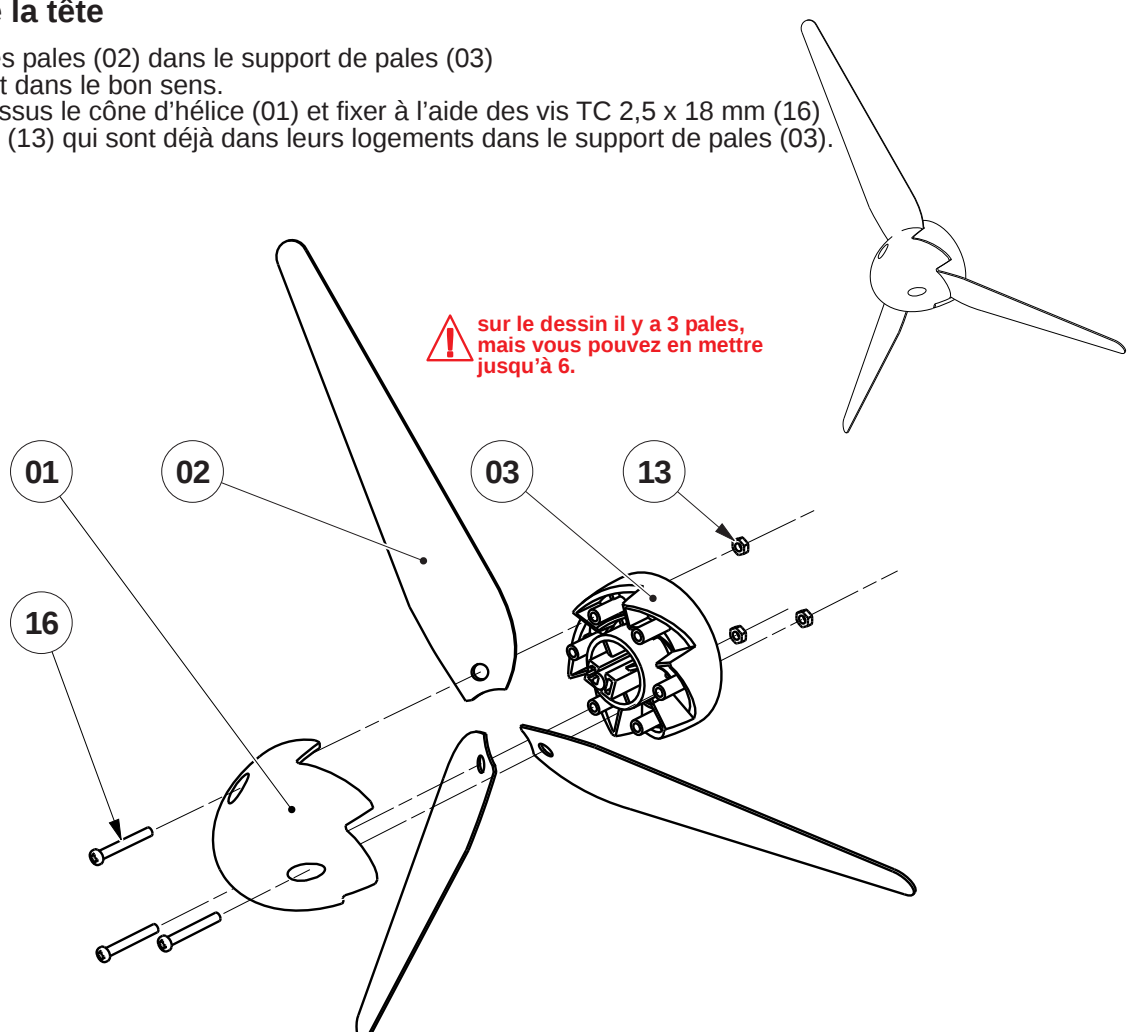
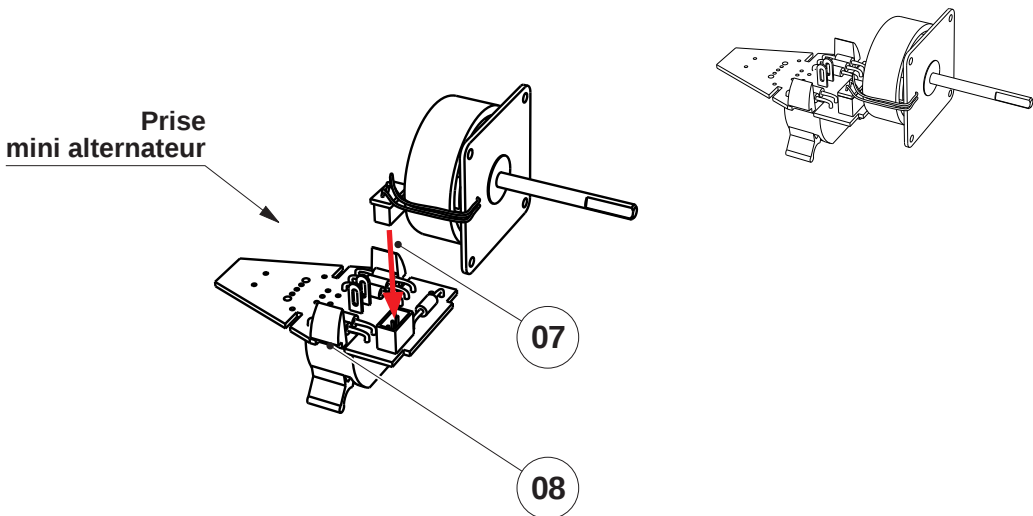
Module Son et lumière
Réf. : BE-MINIEOL-BUZ



Module Chargeur*
Réf. : BE-MINIEOL-BAT

* Attention les batteries ne sont pas comprises. Utiliser 2 accus AA (R06).

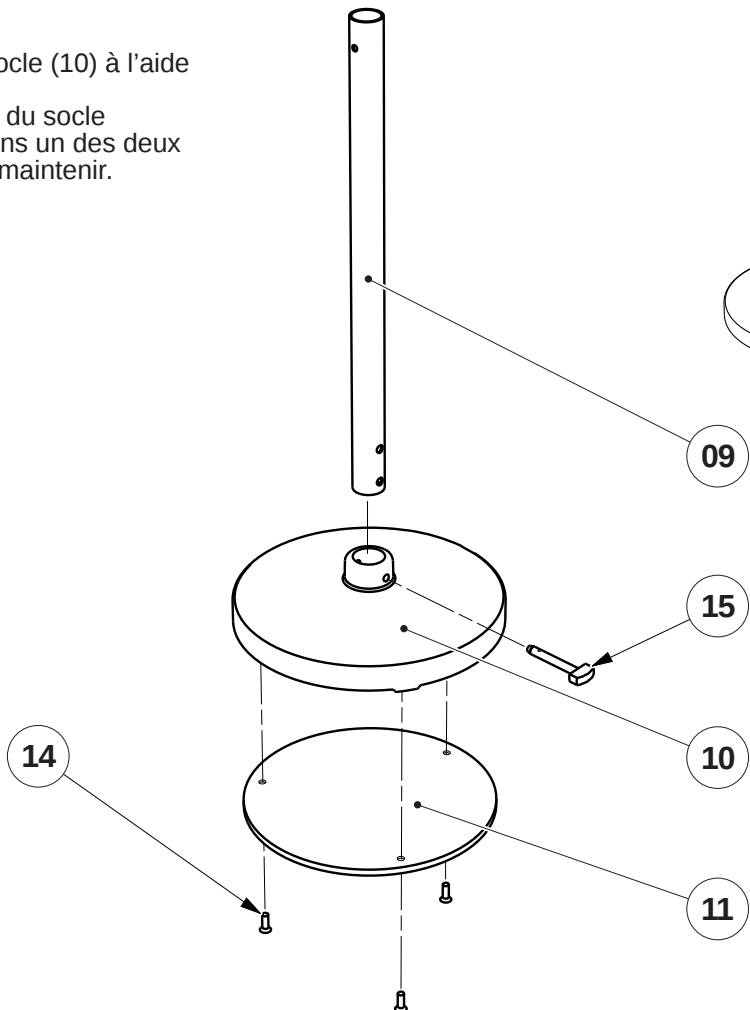
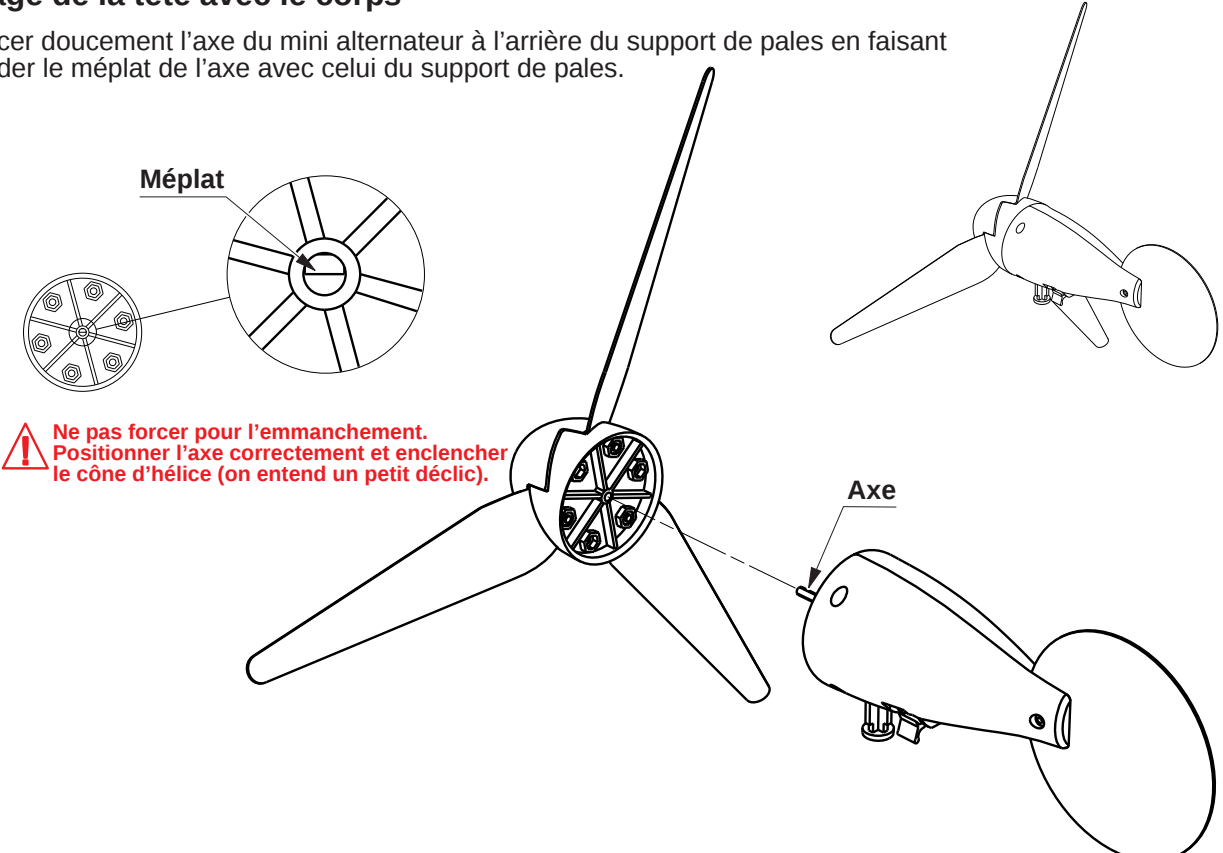
Fiche de montage 1/4

Phases	Opérations
10	Montage de la tête Positionner les pales (02) dans le support de pales (03) en les mettant dans le bon sens. Mettre par dessus le cône d'hélice (01) et fixer à l'aide des vis TC 2,5 x 18 mm (16) et des écrous (13) qui sont déjà dans leurs logements dans le support de pales (03). 
20	Montage du mini alternateur et du module régulateur Brancher la prise du mini alternateur (07) sur le module régulateur (08). 

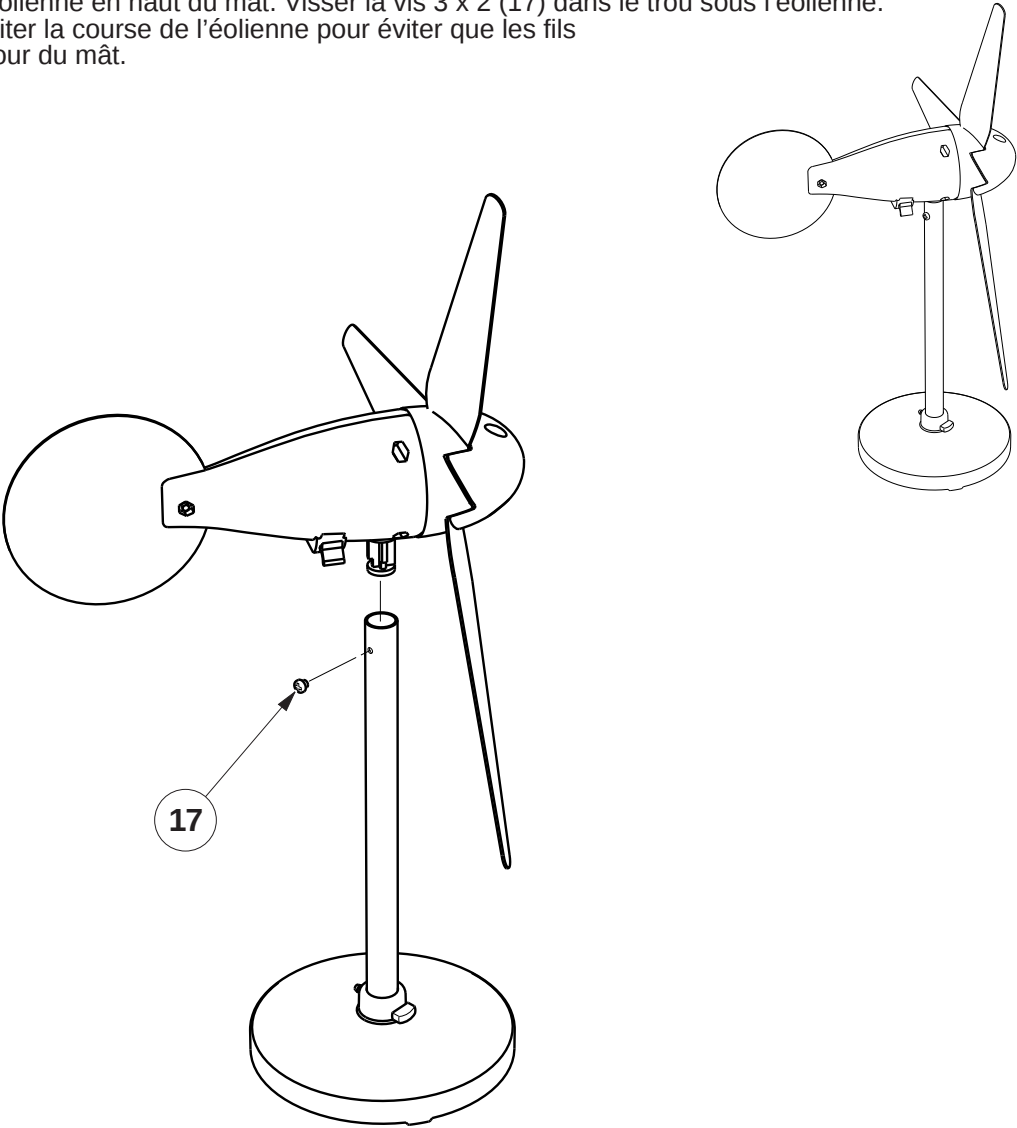
Fiche de montage 2/4

Phases	Opérations
30	Montage du corps Mettre en place le mini alternateur (07) et le module régulateur (08) dans les encoches à l'intérieur du flanc droit (04). Mettre en place l'empennage (06) et placer le flanc gauche (05). Fixer à l'aide des vis TC 2,5 x 10 (12) et des écrous (13). ⚠ Penser à intercaler l'empennage (06) entre les 2 flancs.

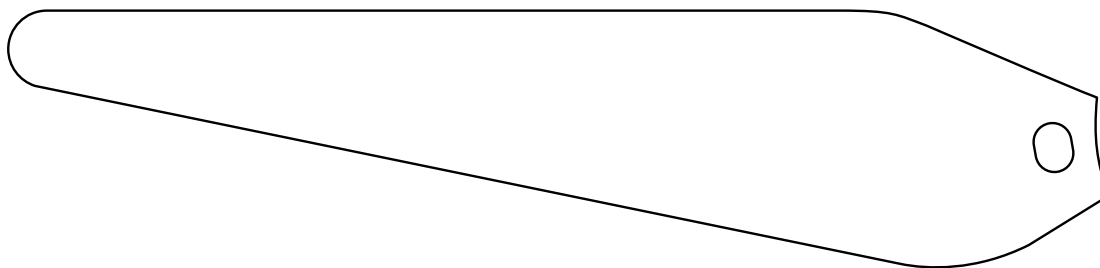
Fiche de montage 3/4

Phases	Opérations
40	Montage du pied Assembler le poids (11) et le socle (10) à l'aide des vis TF 2,5 x 10 (14). Emboîter le mât (09) au centre du socle et faire passer le tenon (15) dans un des deux trous à la base du mât pour le maintenir. 
50	Montage de la tête avec le corps Enfoncer doucement l'axe du mini alternateur à l'arrière du support de pales en faisant coïncider le méplat de l'axe avec celui du support de pales.  ⚠ Ne pas forcer pour l'emmanchement. Positionner l'axe correctement et enclencher le cône d'hélice (on entend un petit déclic).

Fiche de montage 4/4

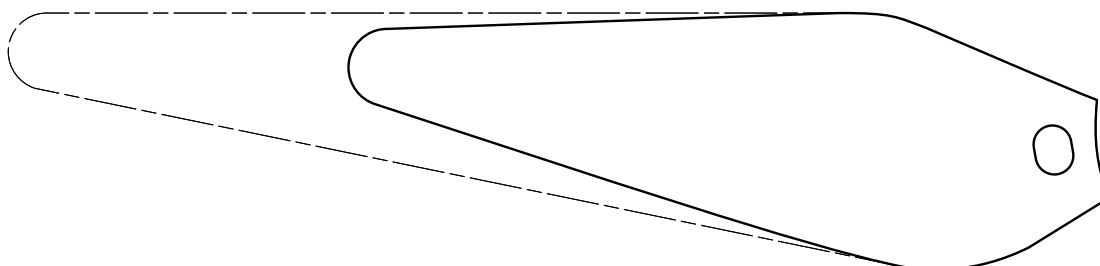
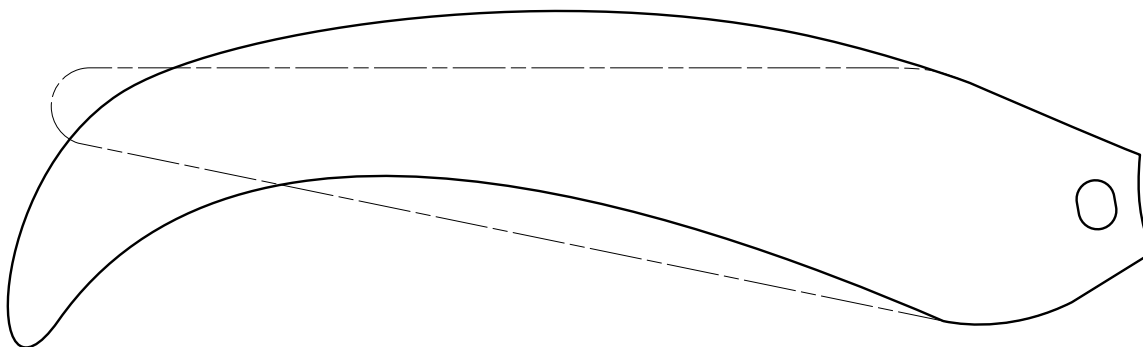
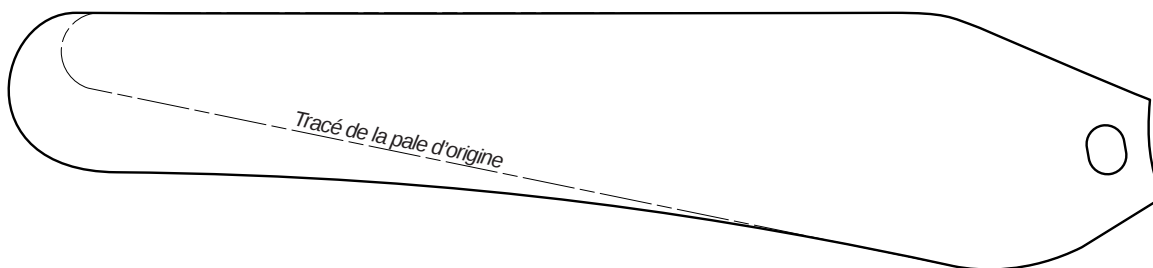
Phases	Opérations
60	Montage de l'éolienne sur son mât Mettre en place l'éolienne en haut du mât. Visser la vis 3 x 2 (17) dans le trou sous l'éolienne. Cette vis sert à limiter la course de l'éolienne pour éviter que les fils ne s'enroulent autour du mât.  Note Il arrive que les pales de l'hélice touchent le mât. C'est un petit problème récurrent sur cette éolienne qui peut être dû à un mauvais montage dans le cône d'hélice (mauvaise mise en place ou montage à l'envers). On peut y remédier en tordant un peu les pales. On constate que le plus souvent, dès que l'hélice tourne au vent, le problème disparaît. Les pales se redressent sous l'effet de la force centrifuge.

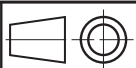
Pale d'origine



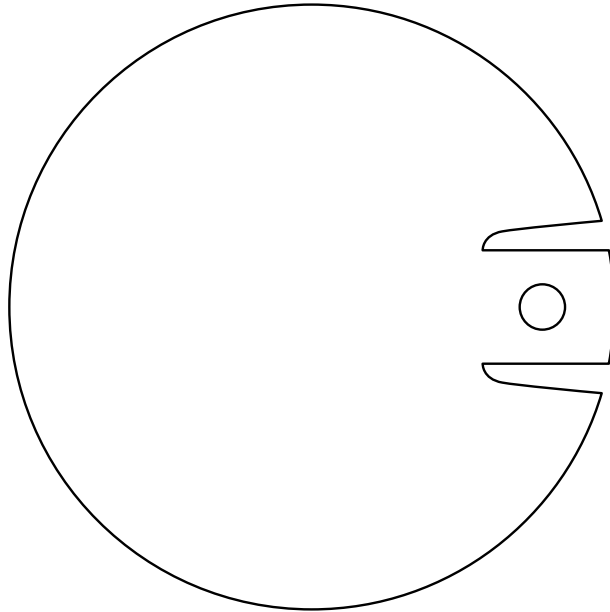
Exemples de pales modifiées

Il est impératif de conserver le dessin du pied de pale pour la fixation dans le cône d'hélice



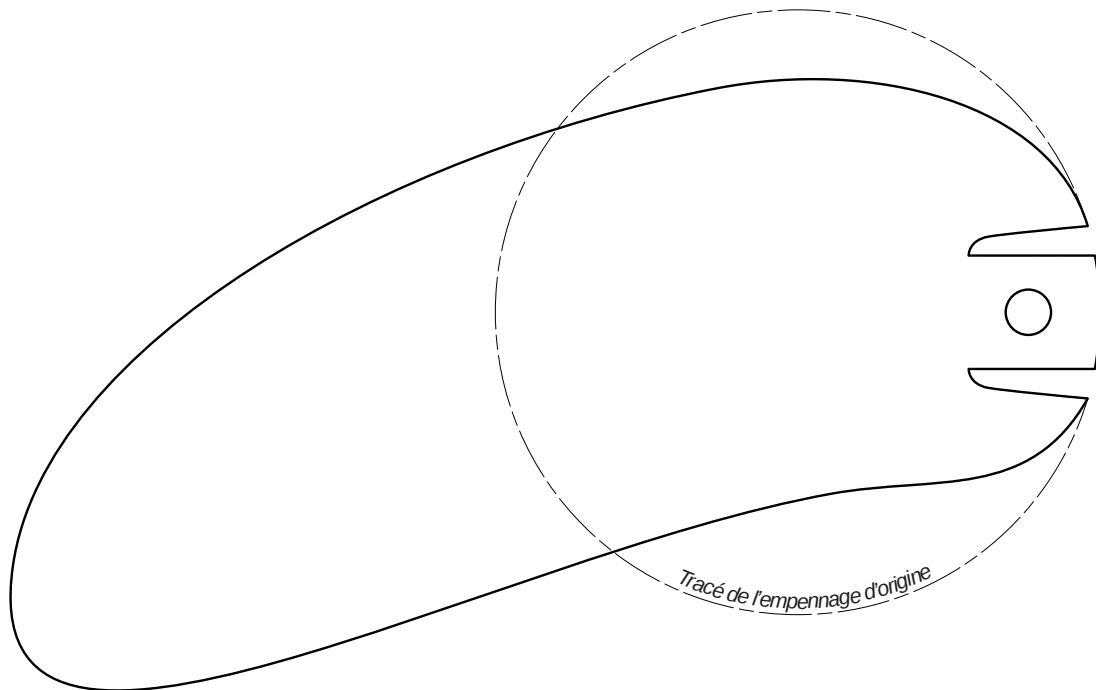
	Echelle 1 : 1		A4	PROJET BE Mini éolienne	PARTIE Mini éolienne
	Collège	Classe	TITRE DU DOCUMENT Pale d'hélice		
Nom	Date				

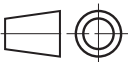
Empennage d'origine

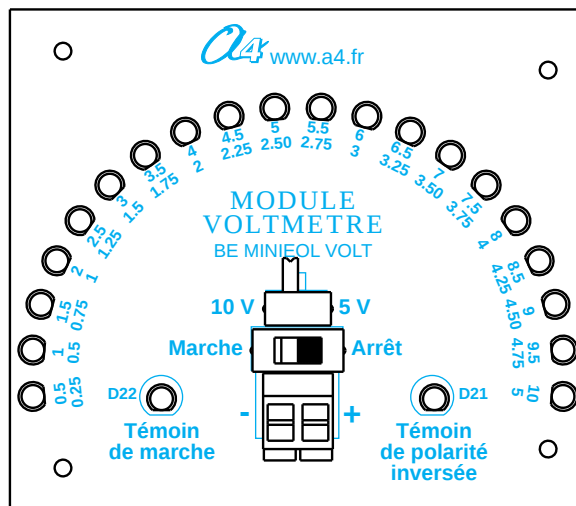
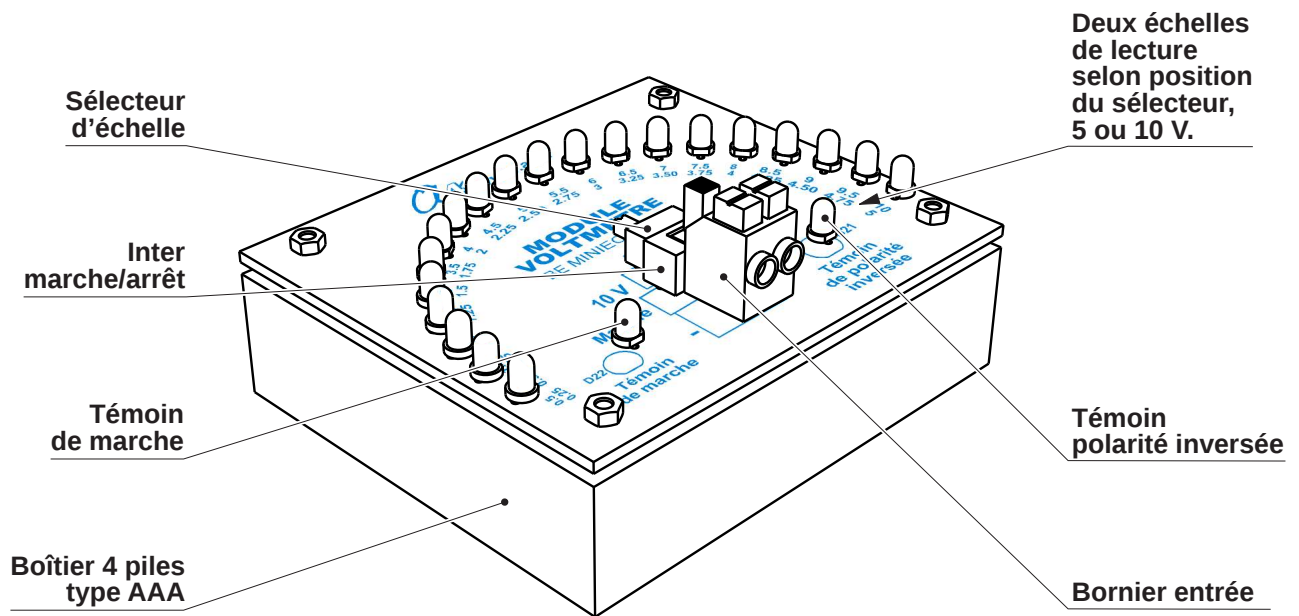


Exemple d'un empennage modifié

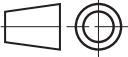
Il est impératif de conserver le dessin du pied de l'empennage pour sa fixation dans la nacelle.



	Echelle 1 : 1		A4	PROJET BE Mini éolienne	PARTIE Mini éolienne
	Collège	Classe	TITRE DU DOCUMENT Empennage		
Nom		Date			



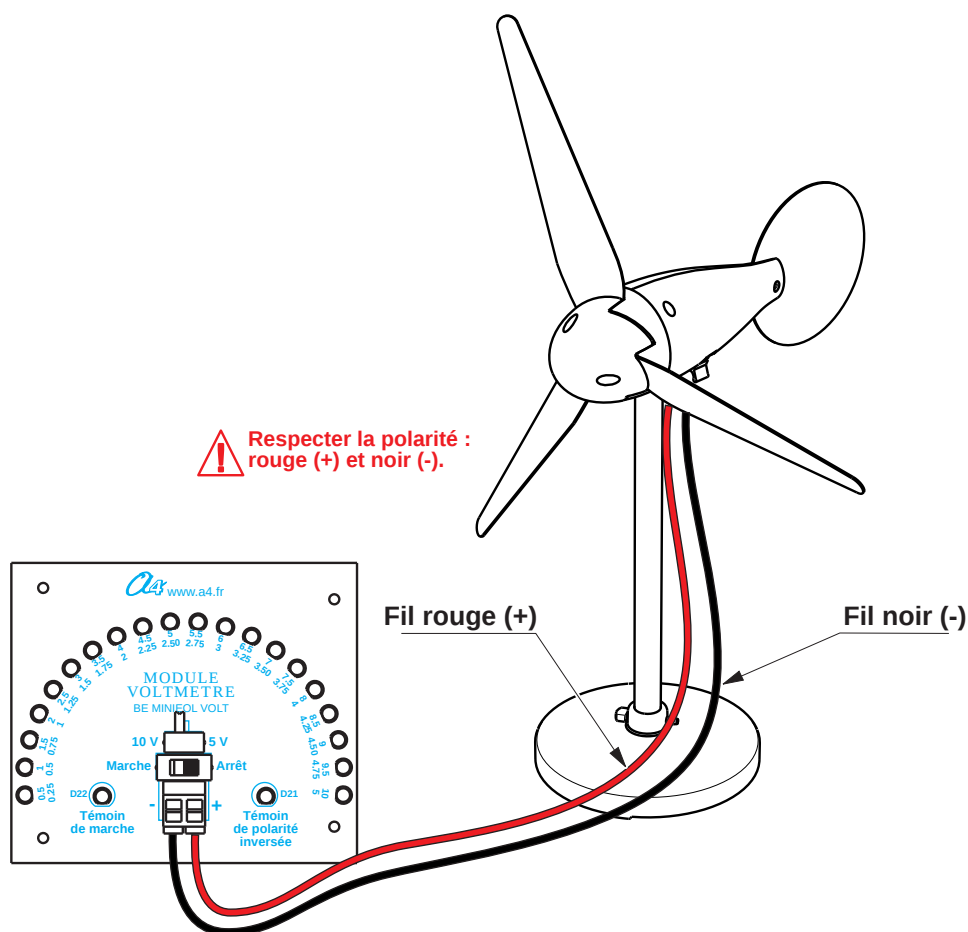
Echelle 1 : 1

		A4	PROJET BE Mini éolienne	PARTIE Modules externes
	Collège	Classe	TITRE DU DOCUMENT Voltmètre	
Nom	Date			

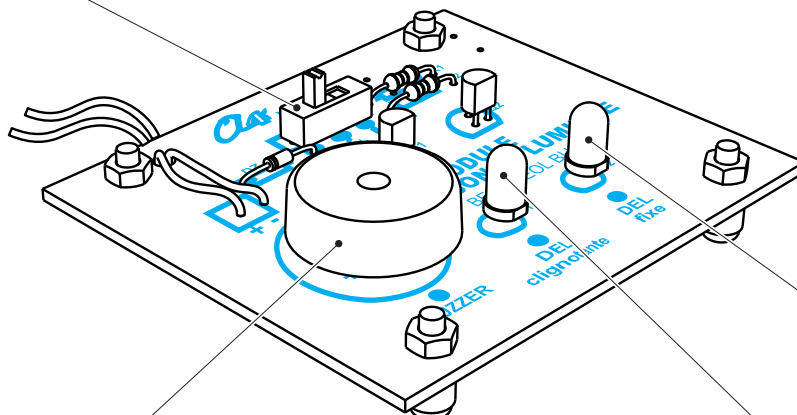
Module “Voltmètre”

Notice d'utilisation

- Placer des piles : 4 piles 1,5 V, type AAA.
- Branchement : brancher le fil rouge et le fil noir sur la mini éolienne (respecter les couleurs le bornier de la mini éolienne à un coté rouge et un coté noir), puis raccorder les deux fils au bornier d'entrée du module.
- Sélecteur d'échelle : 5 ou 10 V.



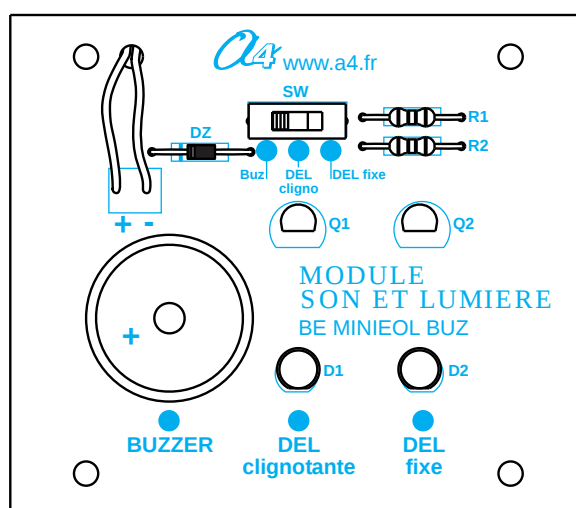
Sélecteur
3 modes



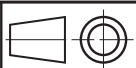
Témoin
lumière fixe

Emission de son
(musique)

Témoin
lumière
clignotante



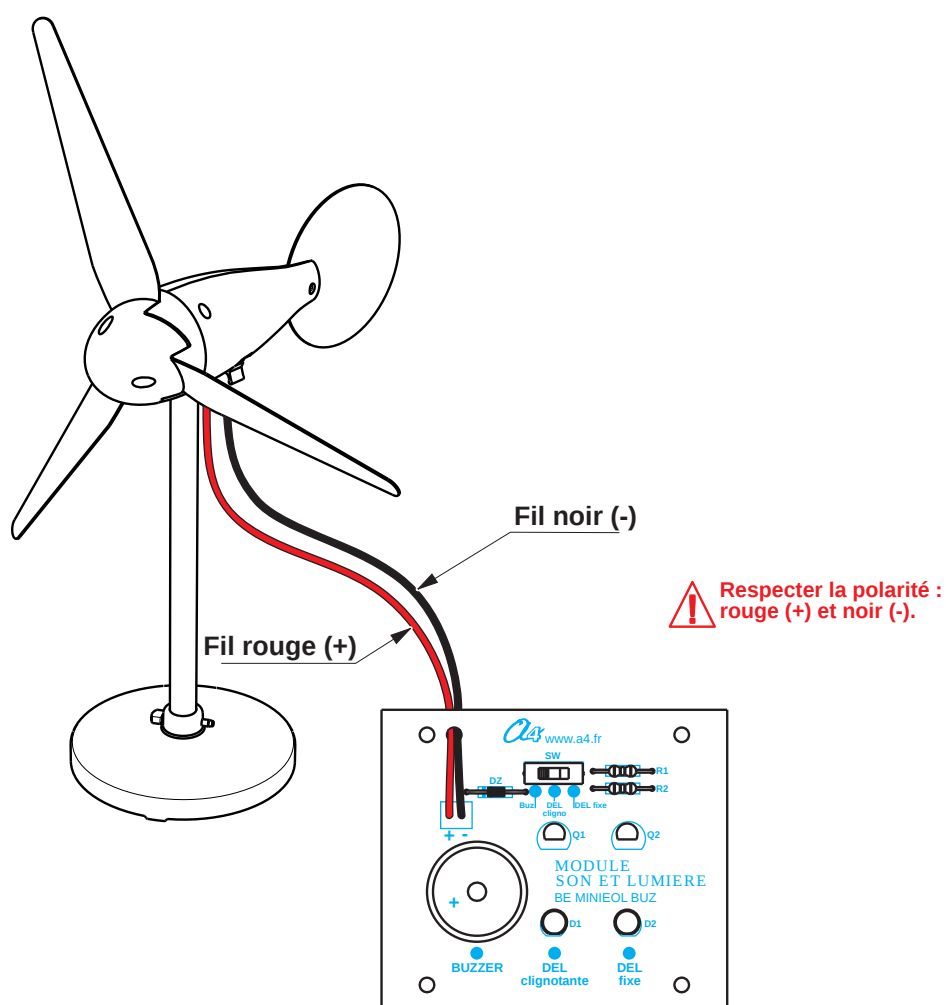
Echelle 1 : 1

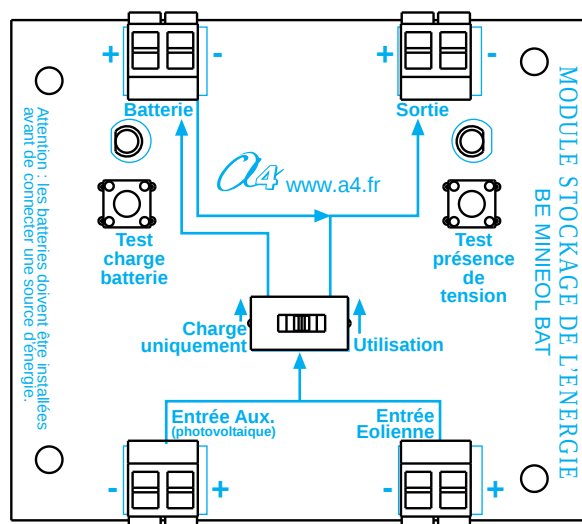
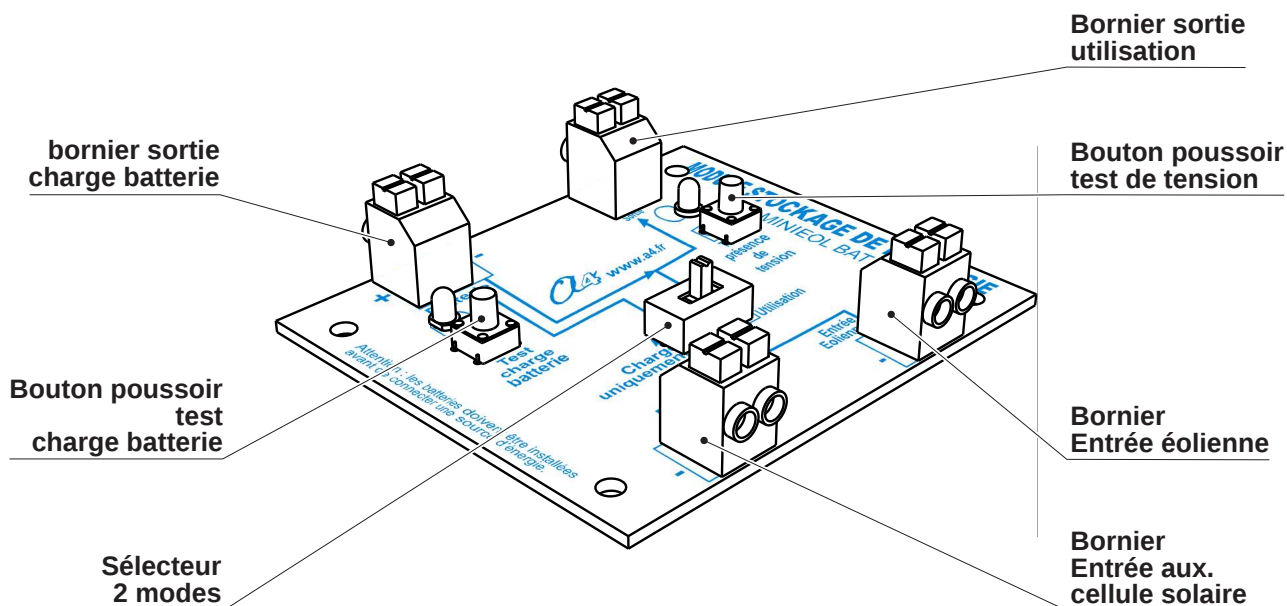
		A4	PROJET BE Mini éolienne	PARTIE Modules externes
	Collège	Classe	TITRE DU DOCUMENT Son et lumière	
Nom	Date			

Module "Son et Lumière"

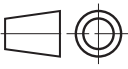
Notice d'utilisation

- Branchement : brancher le fil rouge et le fil noir qui sont connectés au module "Son et Lumière" sur la mini éolienne (respecter les couleurs, le bornier de la mini éolienne à un côté rouge et un côté noir).
- Mode de fonctionnement : selon la position du sélecteur
 - son : émet une musique plus ou moins forte selon la tension.
 - lumière clignotante : le clignotement de la LED est plus ou moins fort selon la tension.
 - lumière fixe : plus l'éolienne tourne vite, plus elle produit de tension pour allumer la LED.





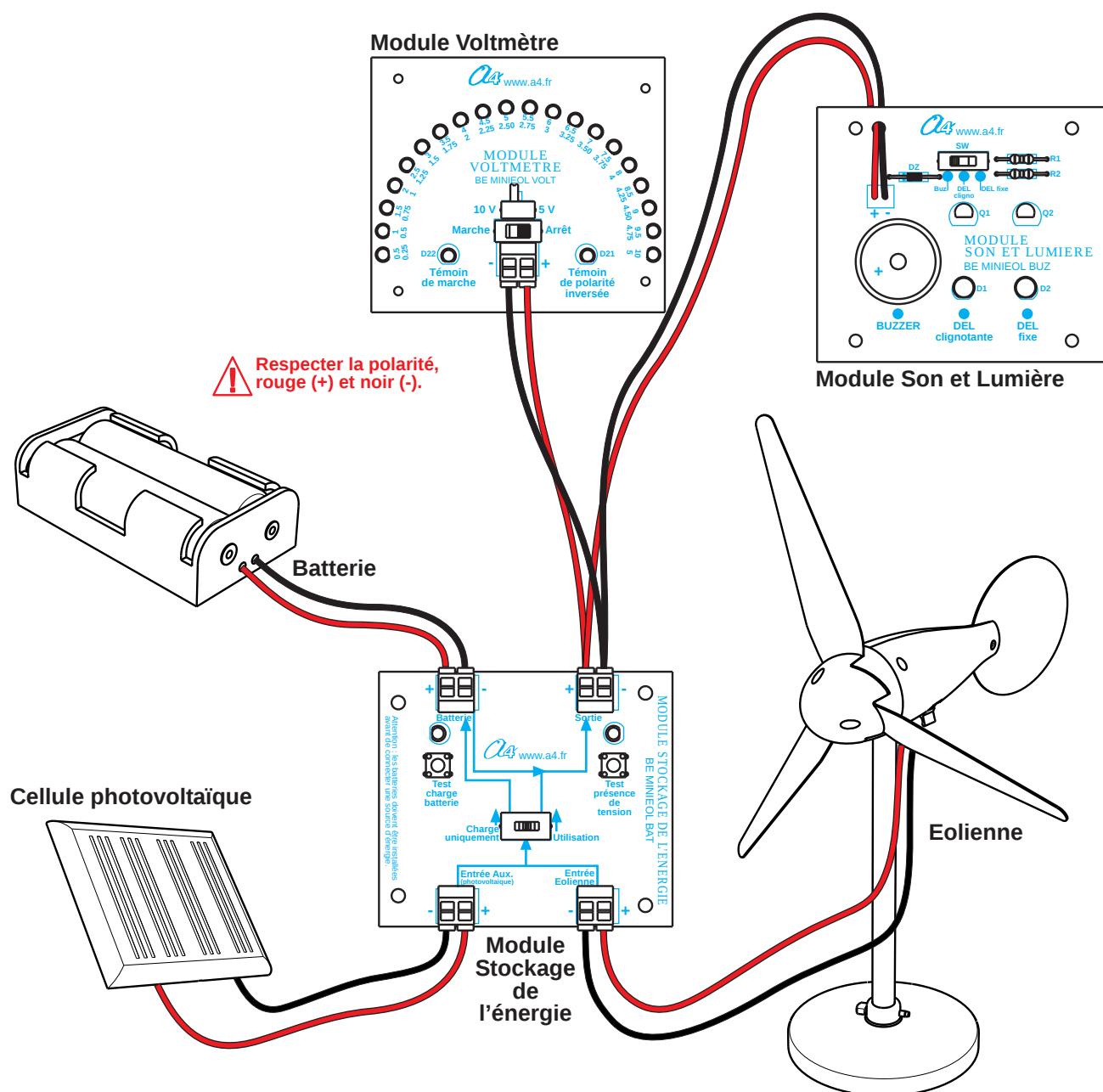
Echelle 1 : 1

		A4	PROJET BE Mini éolienne	PARTIE Modules externes
	Collège	Classe	TITRE DU DOCUMENT Stockage de l'énergie	
Nom		Date		

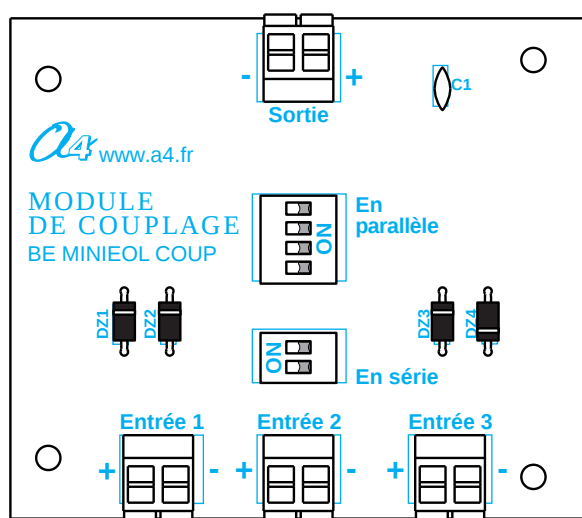
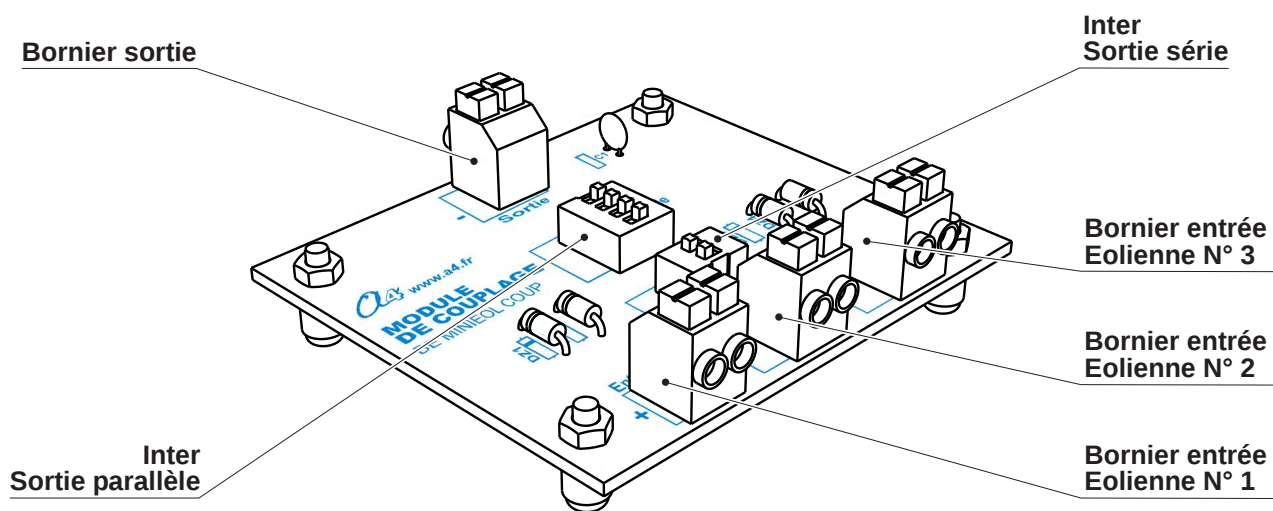
Module "Stockage de l'énergie"

Notice d'utilisation

- Permet de charger une batterie (piles rechargeables) et de restituer l'énergie électrique stockée. Est conçu pour la mini éolienne et peut-être utilisé aussi avec une cellule photovoltaïque.
- Branchement : brancher le fil rouge et le fil noir sur la mini éolienne (respecter les couleurs, le bornier de la mini éolienne à un côté rouge et un côté noir), puis raccorder les deux fils au bornier (Entrée Eolienne) du module "Stockage de l'énergie". Brancher les piles rechargeables sur la sortie (Batterie). Sur le bornier (Sortie), vous pouvez brancher le module "Voltmètre", "Son et Lumière" ou les deux.



- Sélecteur :
 - Position charge uniquement : toute l'énergie des deux entrées, éolienne et cellule photovoltaïque est dédiée à la charge de la batterie. On ne peut pas utiliser le courant sur la sortie.
 - Position utilisation : on peut utiliser l'énergie. On consommera donc l'énergie stockée dans la batterie et l'énergie produite par l'éolienne ou la cellule photovoltaïque. Si l'éolienne (ou la cellule) ne produit pas assez d'énergie, on consomme la batterie.



Echelle 1 : 1

Parallèle / Série

- Pour que les entrées soient câblées en série, il faut que les interrupteurs du bloc "En série" soient sur ON et que les 4 interrupteurs du bloc "En parallèle" soient sur OFF.
 - Pour que les entrées soient câblées en parallèle, il faut que les interrupteurs du bloc "En parallèle" soient sur ON et que les 4 interrupteurs du bloc "En série" soient sur OFF.
- (Sur le dessin ci-contre, on est en mode "parallèle").

NOTA : ce module de couplage peut servir pour différentes applications (éolien, solaire, etc). Pour l'utilisation avec les mini-éoliennes on se rend compte que le mode "En série" n'est pas pertinent. En effet l'éolien est très aléatoire et plusieurs éoliennes pourtant proches ne tournent pas forcément à la même vitesse, occasionnant des variations de tension importantes si elles sont montées en série. Au contraire si elles sont montées en parallèles, les variations de tension tendent à se lisser.

		A4	PROJET BE Mini éolienne	PARTIE Modules externes
	Collège	Classe	TITRE DU DOCUMENT Couplage	
Nom	Date			

Module "Couplage"

Notice d'utilisation

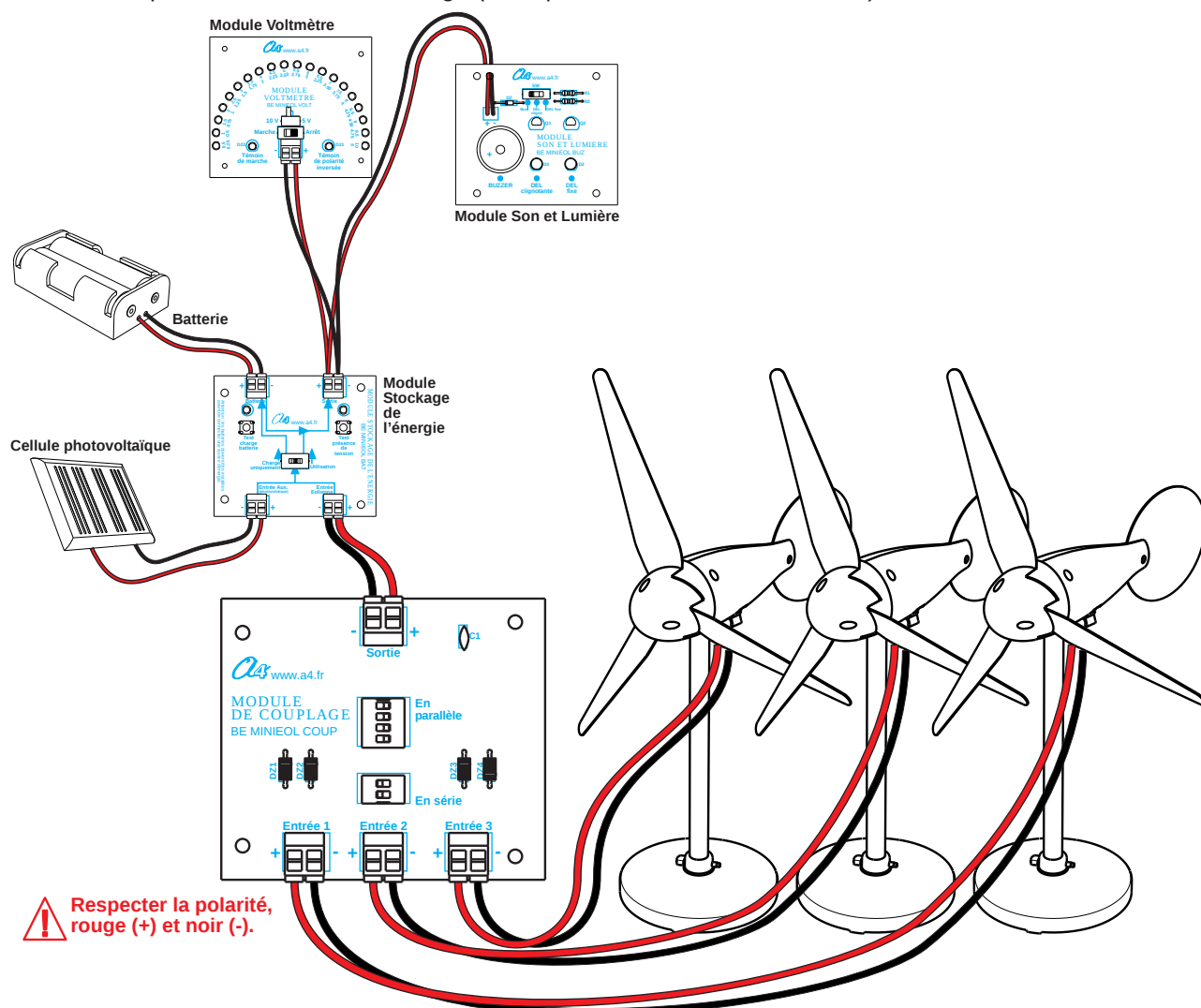
- Permet de coupler jusqu'à 3 éoliennes (soit en série, soit en parallèle) et de restituer l'énergie produite vers une seule sortie.
 - en connectant les éoliennes en série, on va augmenter la tension ;
 - en connectant les éoliennes en parallèle, on va augmenter l'intensité.

Nota : pour le montage en série, il est nécessaire de connecter les trois éoliennes ou à défaut de remplacer une éolienne par un cavalier sur le bornier d'entrée du module de couplage. Pour le montage en parallèle, si une éolienne manque, le circuit quand-même opérationnel.

Dans la réalité les éoliennes sont acouplées en parallèle.

Ce module permet de mettre en évidence l'avantage du montage en parallèle. En effet le montage en série suppose que toutes les éoliennes soient connectées sans quoi le circuit est interrompu.

- Branchement : connecter chacune des trois mini-éoliennes à un des 3 borniers du module de couplage. Utiliser 2 fils (rouge et noir) pour chaque mini-éolienne. Respecter les polarités : rouge (+) et noir (-). Utiliser la sortie pour connecter tout montage (exemple sur le schéma ci-dessous).



Sélection des modes parallèle ou série

Mode parallèle

Position des interrupteurs pour le branchement en parallèle.

Parallèle

1 ON

2 ON

3 ON

4 ON

Série

ON 1

ON 2

⚠ Pour que les éoliennes soient en parallèle, il faut que les interrupteurs "série" soient sur arrêt.

Mode série

Position des interrupteurs pour le branchement en série.

Parallèle

1 ON

2 ON

3 ON

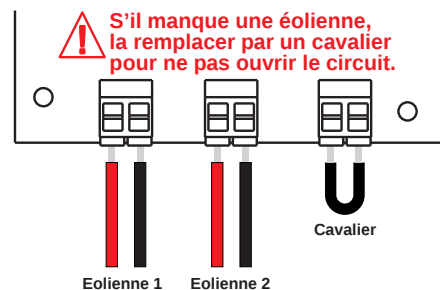
4 ON

Série

ON 1

ON 2

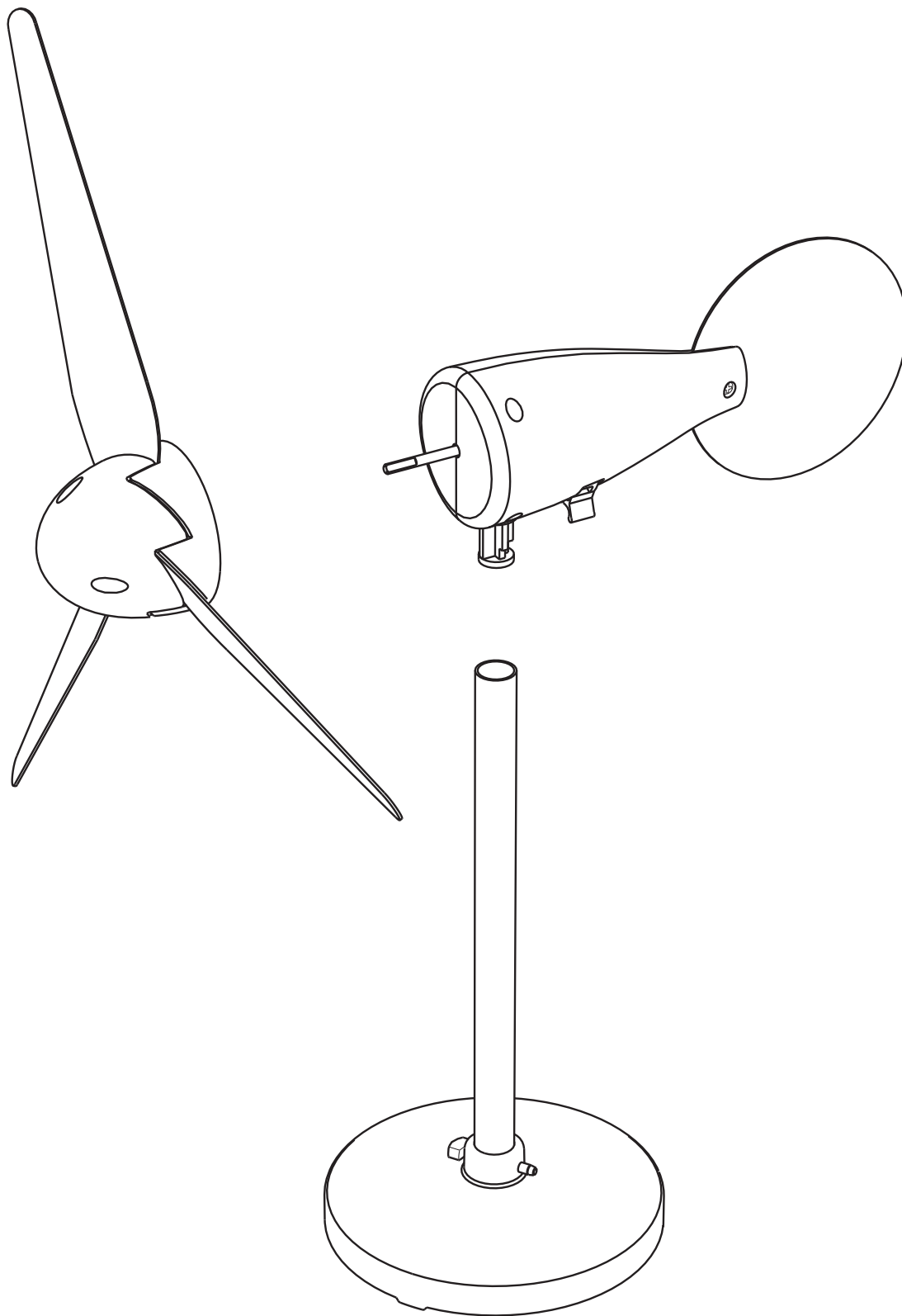
⚠ Pour que les éoliennes soient en série, il faut que les interrupteurs "parallèle" soient sur arrêt.



Identifier les Principaux sous-ensembles de l'éolienne

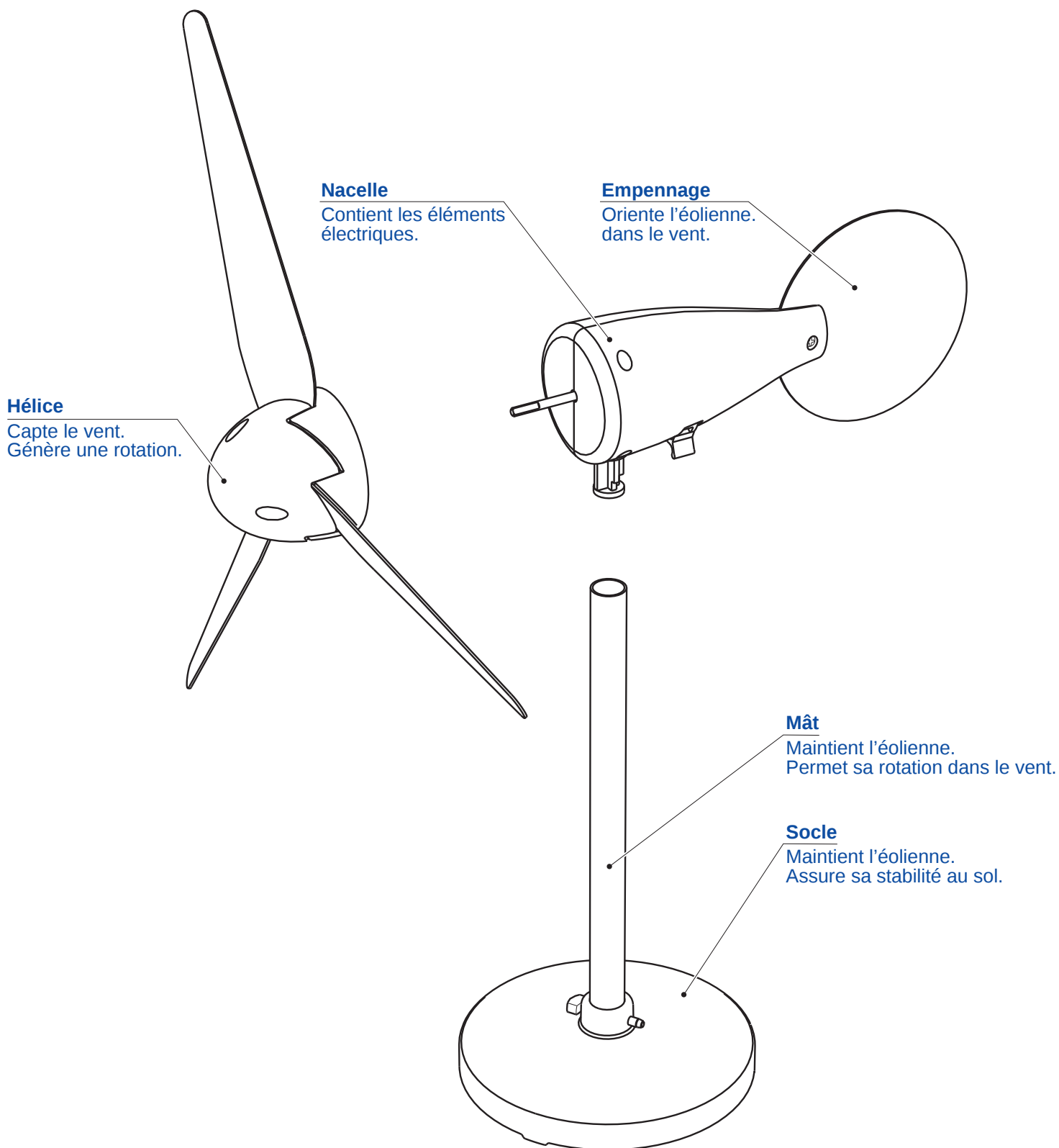
Identifier et nommer les principaux éléments de la mini-éolienne

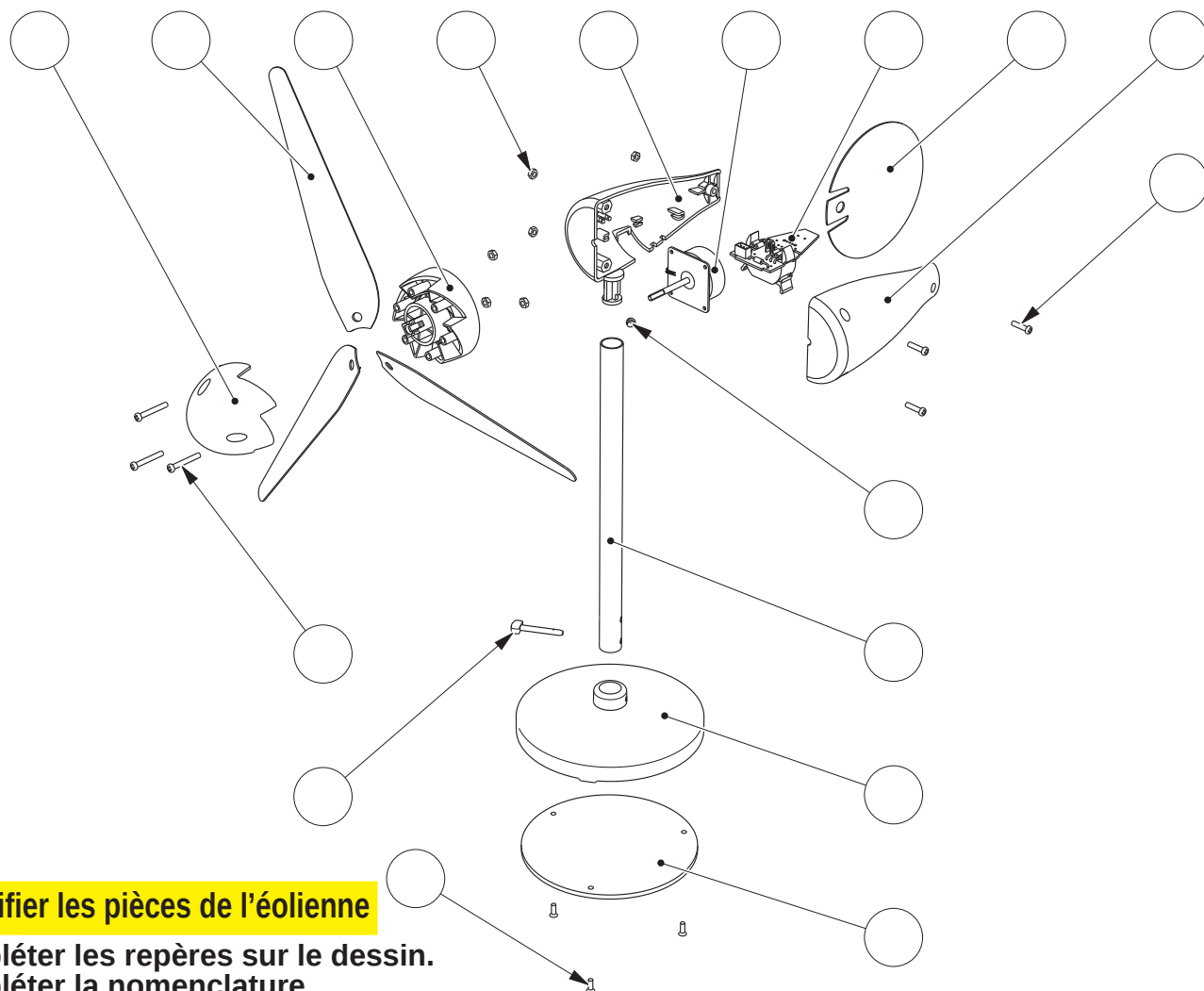
Sur le dessin, nommer les éléments et les indiquer par des flèches.
Préciser pour chaque élément sa fonction principale.



Identifier les Principaux sous-ensembles de l'éolienne

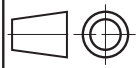
EXEMPLE DE CORRIGÉ





Identifier les pièces de l'éolienne

Compléter les repères sur le dessin.
Compléter la nomenclature
(colonne "matériau - Fonction").

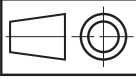
17	01	Vis (blocage du mât)		
16	03	Vis (assemblages du cône d'hélice)		
15	01	Tenon (blocage du mât)		
14	03	Vis (assemblages du socle)		
13	06	Ecrous		
12	03	Vis (assemblages des flancs)		
11	01	Poids		
10	01	Socle		
09	01	Mât		
08	01	Module régulateur	Circuit électronique - Redresse le courant électrique	
07	01	Alternateur		
06	01	Empennage		
05	01	Flan gauche		
04	01	Flan droit		
03	01	Support des pales		
02	06	Pales		
01	01	Cône d'hélice		
REPERE	NOMBRE	DESIGNATION	MATERIAU - FONCTION	
			PROJET	PARTIE
		Collège	BE Mini éolienne	Mini éolienne
Nom		Date	TITRE DU DOCUMENT	
			Eclaté et nomenclature	

EXEMPLE DE CORRIGÉ

Identifier les pièces de l'éolienne

Compléter les repères sur le dessin.
Compléter la nomenclature
(colonne "matériau - Fonction").

17	01	Vis (blocage du mât)	Acier zingué - Maintien du mât
16	03	Vis (assemblages du cône d'hélice)	Acier zingué - Maintien de l'assemblage du cône d'hélice
15	01	Tenon (blocage du mât)	Plastique (PS) injecté - Maintien du mat sur le socle
14	03	Vis (assemblages du socle)	Acier zingué - Maintien de l'assemblage du socle
13	06	Ecrous	Acier zingué - Maintien de l'assemblage des flancs
12	03	Vis (assemblages des flancs)	Acier zingué - Maintien de l'assemblage des flancs
11	01	Poids	Acier - Permet la stabilité du socle
10	01	Socle	Plastique (PS) injecté - Maintien de l'éolienne
09	01	Mât	Tube aluminium - Maintien de l'éolienne
08	01	Module régulateur	Circuit électronique - Régule le courant électrique
07	01	Alternateur	Métal - Produit le courant électrique
06	01	Empennage	Plastique (polypropylène) - Oriente l'éolienne dans le vent
05	01	Flan gauche	Plastique (PS) injecté - Maintien l'alternateur et le module
04	01	Flan droit	Plastique (PS) injecté - Maintient l'alternateur et le module
03	01	Support des pales	Plastique (PS) injecté - Maintien les pales d'hélice
02	06	Pales	Plastique (polypropylène) - Capte le vent
01	01	Cône d'hélice	Plastique (PS) injecté - Maintien les pales d'hélice

REPERE	NOMBRE	DESIGNATION	MATERIAU - FONCTION	
			PROJET	PARTIE
	Collège	Classe	BE Mini éolienne	Mini éolienne
Nom		Date	TITRE DU DOCUMENT	
			Eclaté et nomenclature	

Monter / démonter l'éolienne - Vérifier son fonctionnement

Matériel nécessaire

Pour le montage / démontage :

- tournevis cruciforme.



Pour les tests :

- ventilateur d'appartement pour animer l'éolienne
- 1 LED quelconque pour tester la production électrique.



Travail à faire

Monter une éolienne

Monter une éolienne pour qu'elle puisse fonctionner.
Travailler d'après l'éclaté et la nomenclature générale.



Tester l'éolienne réalisée

Utiliser le ventilateur pour animer le rotor de l'éolienne :

- l'hélice doit tourner librement dans le vent (si elle touche le mât, il faut vérifier le montage des pales et éventuellement les contraindre en les tordant un peu).

Connecter une LED sur le bornier rapide de l'éolienne (attention à la polarité (broche longue sur le bornier rouge) :

- La LED doit s'allumer lorsque l'hélice de l'éolienne tourne.



Conclusion

Quelle est la fonction de cette éolienne ; que produit-elle ?

EXEMPLE DE TRAVAIL ATTENDU DANS LE CAHIER

Type de réponses attendues

1) On vérifiera que le montage est correct et que l'éolienne fonctionne.

2) On pourra faire noter dans le cahier : "L'éolienne produit de l'électricité à partir de la force du vent.

Dès que son hélice tourne, entraînée par la force du vent, elle produit de l'électricité qui doit pouvoir allumer une LED."

Quelle est la fonction de l'hélice ?

Matériel nécessaire

- Plusieurs éoliennes,
ou une éolienne et plusieurs hélices
- le module voltmètre (ou un autre voltmètre),
- un ventilateur,
- un tournevis pour changer les pales.

Travail à faire

Tester l'éolienne avec différentes hélices.

Préparer plusieurs éoliennes ou plusieurs hélices :

- avec 3 pales d'origine,
- avec 6 pales d'origine,
- si possible autres modèles avec pales réalisées par vous-même*.

Les tester tour à tour dans les mêmes conditions, en les connectant au Voltmètre pour visualiser la force électromotrice (en Volt) du courant produit :

Nota : pour chaque test, utiliser le même ventilateur, à la même distance de l'éolienne testée.

Dresser un tableau des résultats des tests.

Conclusion

- Que peut-on constater et quelle conclusion peut-on en tirer, en particulier sur le rôle de l'hélice ?

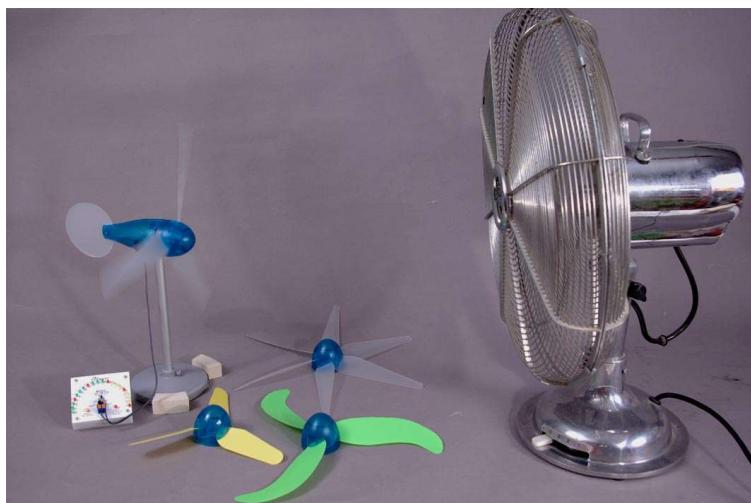
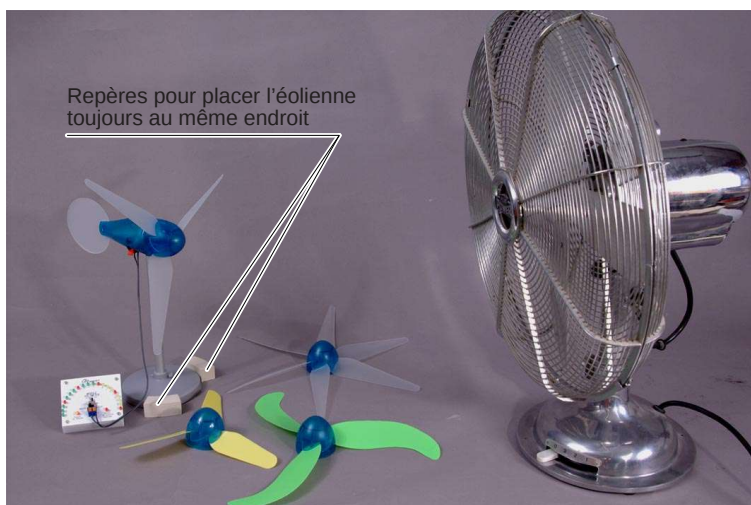


* Nota

On peut réaliser et tester des pales découpées dans une feuille de polypropylène épaisseur 0,5 ou 0,8 mm.

Tous les essais sont permis. Le seul impératif est de respecter le dessin du pied de pale (partie qui s'accroche dans le cône d'hélice). Pour cela utiliser une des pales d'origine comme gabarit pour tracer le pied de pale.

Voir aussi le dessin de la pale d'hélice, page 12.



Type de réponses attendues

EXEMPLE DE TRAVAIL ATTENDU DANS LE CAHIER

Type d'hélice montée	Production de courant en Volt avec ventilateur sur vitesse lente	Production de courant en Volt avec ventilateur sur vitesse rapide
Hélice avec les 3 pales d'origine	1,75 V	2,5 V
Hélice avec les 6 pales d'origine	1,75 V	2,75 V
Hélice n° 1 de ma fabrication (3 pales courtes)	2,25 V	3,5 V
Hélice n° 2 de ma fabrication (3 pales longues et larges)	3,25 V	4,50 V

Selon le type d'hélice montée, l'éolienne produit plus ou moins de courant.

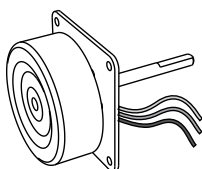
Les tests effectués montrent que c'est davantage la forme des pales que leur nombre qui est déterminante.

L'hélice de l'éolienne sert à capter le vent. Elle utilise l'énergie du vent pour produire un mouvement (faire tourner plus ou moins vite le générateur de l'éolienne).

Quelles sont les fonctions de l'alternateur et du régulateur ?

Matériel nécessaire

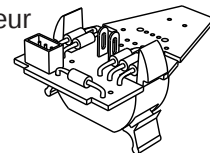
- L'alternateur seul de la mini-éolienne,



une LED quelconque,



La carte régulateur

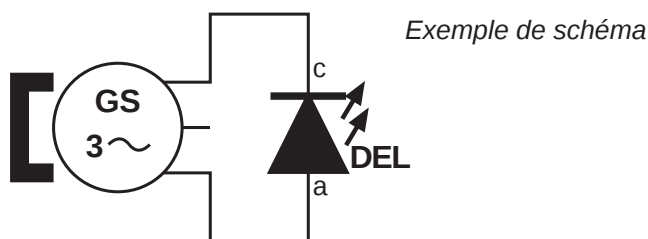
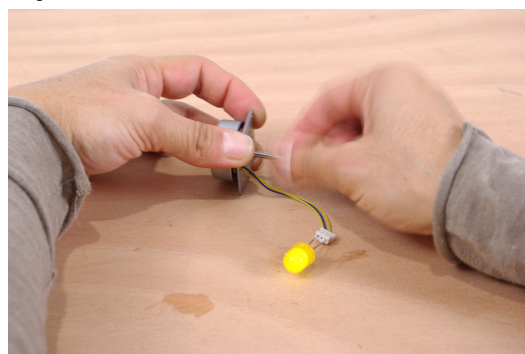


Travail à faire

1- Tester l'alternateur

Les 3 fils qui sortent de l'alternateur sont reliés à une fiche dans laquelle on peut enficher les broches de la LED. Cela permet de vérifier qu'un courant est produit lorsque l'on fait tourner l'axe de l'alternateur à la main.

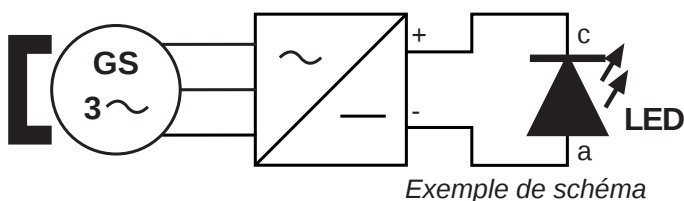
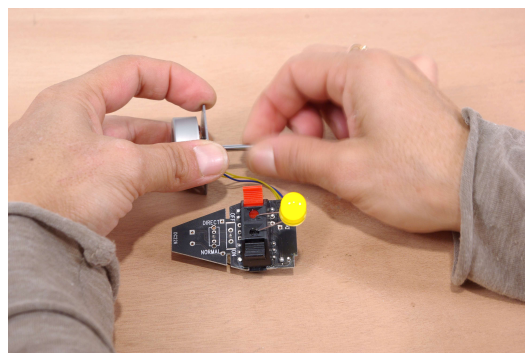
- Représenter en schéma ou dessin les différentes possibilités de connection de la LED. Combien y a-t-il de possibilités ?
- La LED s'éclaire t-elle dans tous les cas ? Que peut-on en conclure ?
- La LED s'éclaire t-elle de façon continue ? Que peut-on en conclure ?
- Quelle est la fonction de l'alternateur ?



2 - Tester le module régulateur

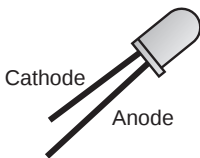
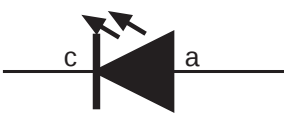
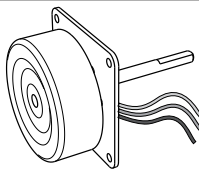
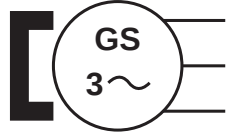
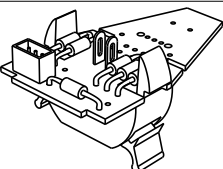
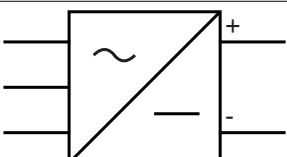
Connecter l'alternateur sur le module régulateur (la connectique est prévue pour cela).

- Représenter en schéma ou dessin les différentes possibilités de connection de la LED. Combien y a-t-il de possibilités ?
- La LED s'éclaire t-elle dans tous les cas ? Que peut-on en conclure ?
- La LED s'éclaire t-elle de façon continue ? Que peut-on en conclure ?
- Quelle est la fonction du régulateur ?



Aide pour vos dessins

Dessins et schémas des pièces utilisées

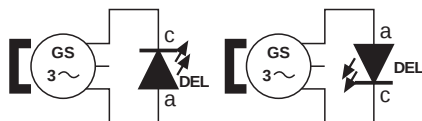
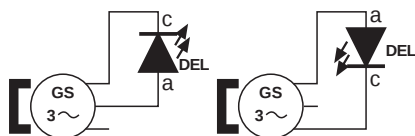
Composant	Dessin	Symbole
DEL (LED)		
Alternateur		
Redresseur régulateur		

Quelles sont les fonctions de l'alternateur et du régulateur ?

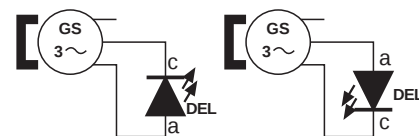
1 - Test de l'alternateur avec une LED

Il y a 6 façons différentes de connecter une LED sur les 3 fils de l'alternateur :

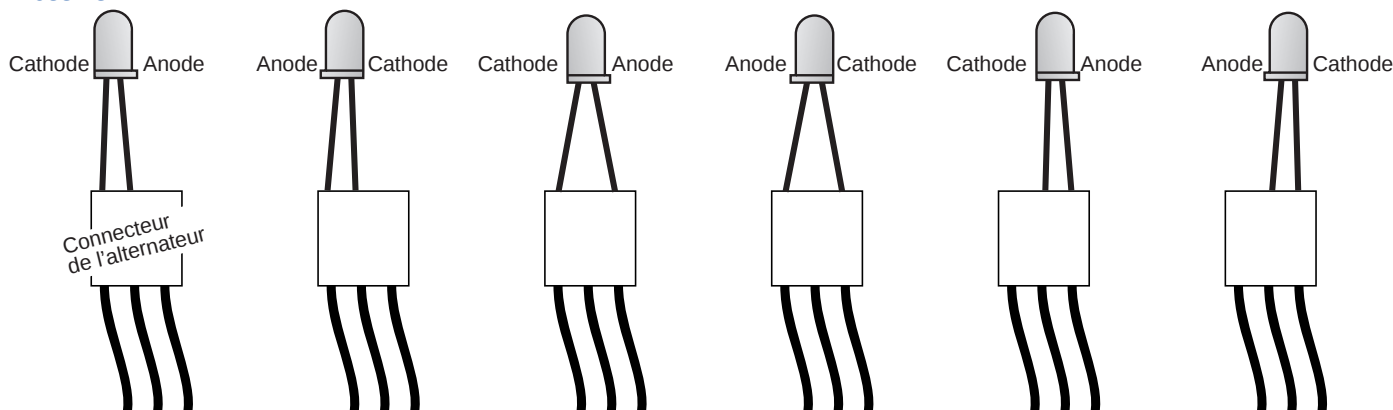
- Schémas



EXEMPLE DE CORRIGÉ



- Dessins



- La LED s'éclaire quel que soit son branchement lorsque l'on fait tourner l'axe de l'alternateur. Cela signifie qu'il y a du courant entre tous les fils de l'alternateur et que ce courant n'est pas polarisé (une LED ne s'éclaire que lorsqu'elle est traversée par un courant dans son sens de conduction).

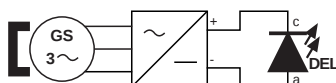
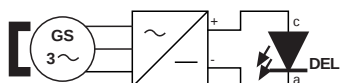
- La LED s'éclaire en scintillant. Cela signifie que le courant n'est pas régulier.

- L'alternateur sert à produire du courant. Ce courant change de polarité en permanence (d'où l'effet scintillant de la lumière). C'est un courant alternatif.

2 - Test du module régulateur

On peut connecter la LED dans deux sens sur les 2 bornes du régulateur :

- Schémas



- La LED ne s'éclaire que si elle est connectée dans le bon sens : anode sur la borne rouge du régulateur. Cela signifie que le courant qui sort du régulateur est polarisé (+ et -).

(Une LED ne s'éclaire que lorsqu'elle est traversée par un courant dans son sens de conduction).

- La LED s'éclaire sans scintiller. Cela signifie que le courant est régulier.

- Le régulateur sert à redresser le courant et à le réguler.

Quelles est la fonction de l'empennage ?

Matériel nécessaire

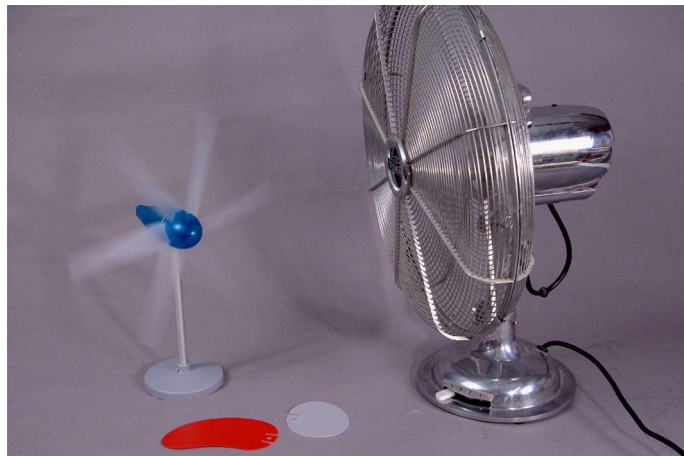
- Une mini éolienne et un ventilateur.
- Si possible différents empennages*.

Travail à faire

Tester le rôle de l'empennage

Dans le vent du ventilateur, tester tour à tour l'éolienne avec et sans son empennage. Si possible tester un empennage différent que celui d'origine*.

- Quelle différence peut-on constater dans le comportement de l'éolienne selon qu'on monte ou non un empennage ?
- Quelle est la fonction de l'empennage ?
- Différentes formes d'empennage font-elles varier significativement le comportement de l'éolienne ?
- Quelle conclusion peut-on tirer de cette expérimentation ?

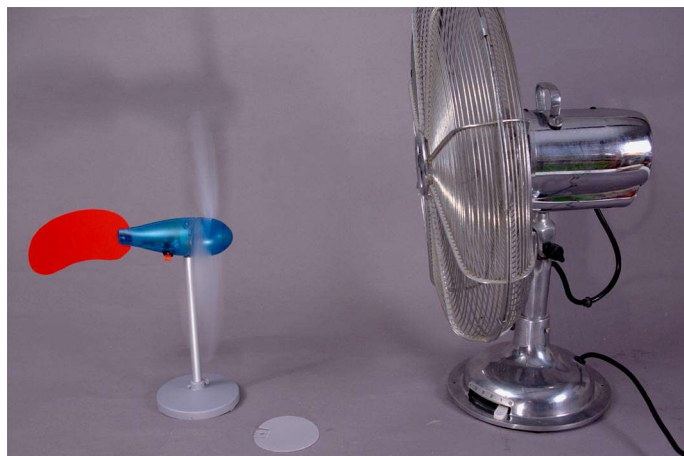


Eolienne montée sans empennage

* Nota

On peut réaliser et tester des empennages découpés dans une feuille de polypropylène épaisseur 0,5 ou 0,8 mm. Tous les essais sont permis. Le seul impératif est de respecter le dessin du pied de l'empennage (partie qui s'accroche dans la nacelle de l'éolienne). Pour cela utiliser l'empennage d'origine comme gabarit pour tracer le pied de l'empennage.

Voir aussi le dessin de l'empennage, page 13.



Eolienne montée avec un empennage personnalisé

EXEMPLE DE TRAVAIL ATTENDU DANS LE CAHIER

Type de réponses attendues

EXEMPLE DE CORRIGÉ

Lorsque l'éolienne n'a pas d'empennage, elle ne s'oriente pas face au vent. Au contraire, elle a tendance à "fuir" le vent en s'orientant de côté par rapport au vent. Dès lors l'hélice ne tourne pas ou tourne doucement et sans force.

L'empennage sert à orienter l'éolienne automatiquement face au vent, comme une girouette. Les très petits empennages ne sont pas efficaces. Un empennage plus grand oriente bien l'éolienne par vent faible. Au delà d'une certaine taille, la forme de découpe ne change pas grand chose sinon l'esthétique de l'éolienne.

En conclusion : l'empennage est indispensable au fonctionnement de l'éolienne, pour qu'elle s'oriente automatiquement face au vent ; il doit être suffisant pour être efficace mais sa forme a une importance davantage esthétique que technique.

Quelles sont les fonctions du mat et du socle ?

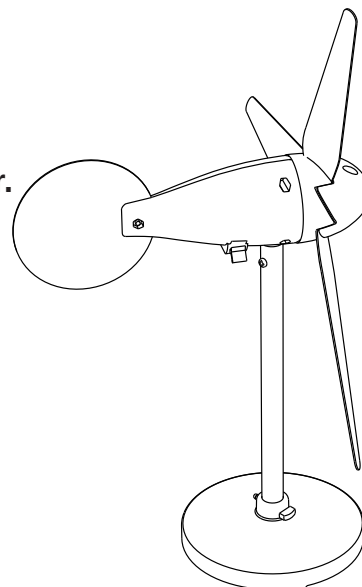
Matériel nécessaire

- Une mini éolienne.

Travail à faire

Observer la mini éolienne et répondre aux questions dans le cahier.

- Quelle est la fonction du socle ? Pourquoi est-il lourd ?
- Quelle est la fonction du mât ? Pourquoi est-il haut ?
- Quel mouvement l'éolienne peut-elle avoir sur le mât ? Pourquoi ?
- Dessiner ou schématiser l'éolienne pour indiquer son mouvement sur le mât.



Type de réponses attendues

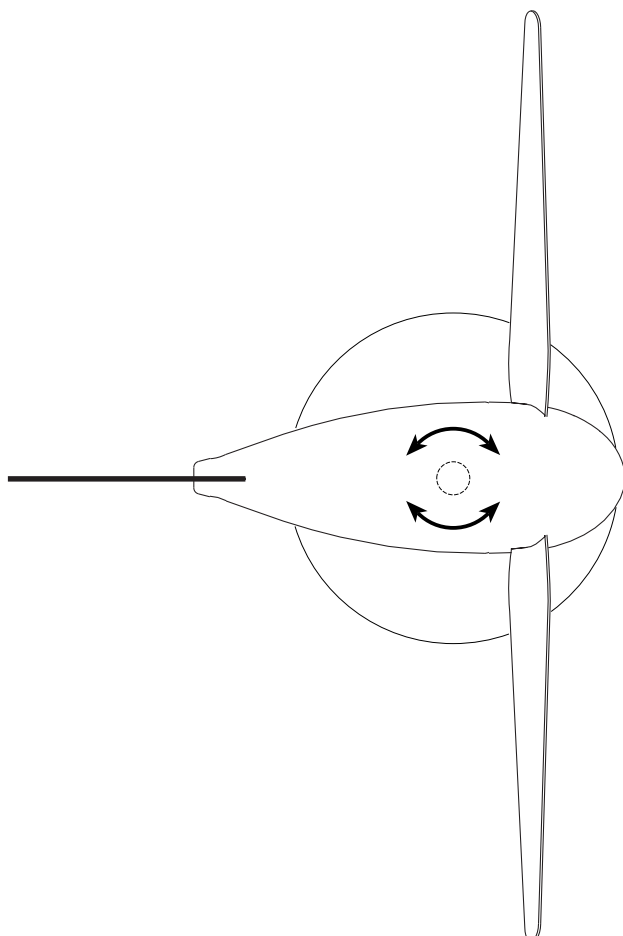
EXEMPLE DE TRAVAIL ATTENDU DANS LE CAHIER

Le socle assure la stabilité de l'éolienne. Il doit être lourd pour que le vent ne renverse pas l'éolienne.

Le mât sert à positionner l'éolienne en hauteur, dans le vent. Il doit être assez haut pour que les pales ne touchent pas le sol.

*L'éolienne peut tourner autour de l'axe vertical du mat.
Cela permet qu'elle s'oriente pour capter le vent.*

EXEMPLE DE CORRIGÉ



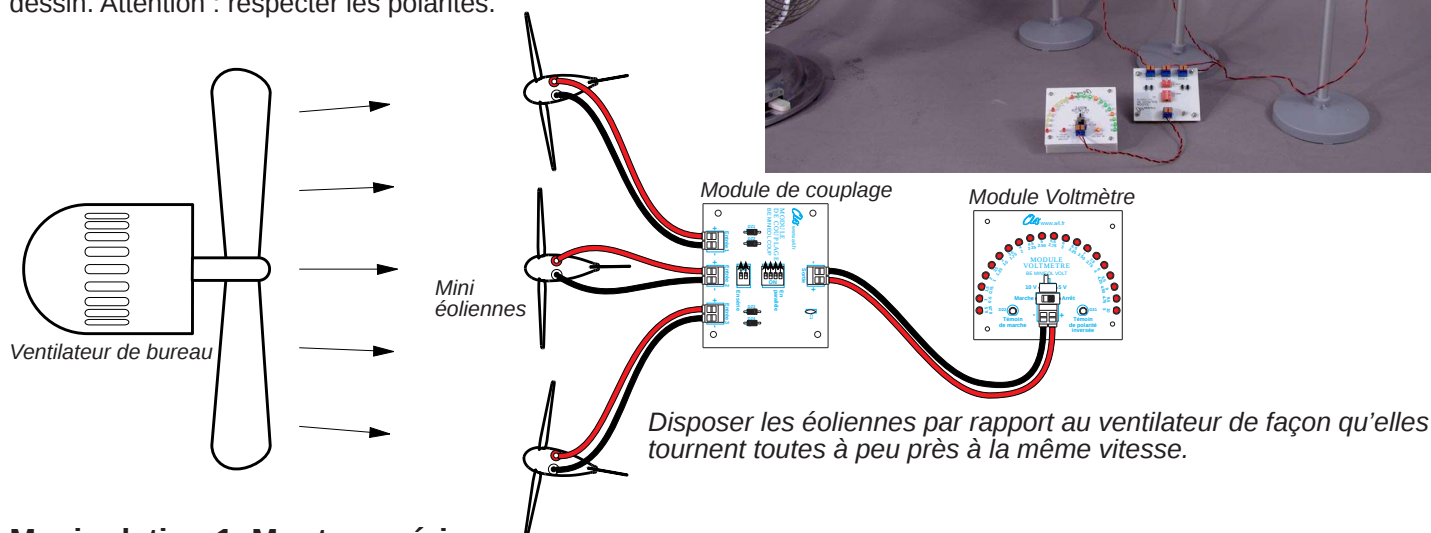
Comment augmenter la production d'électricité ?

Matériel nécessaire

- trois mini éoliennes + un ventilateur,
- le module de couplage,
- le module Voltmètre,
- le module son et lumière.

Installation

Disposer 3 éoliennes devant le ventilateur ; les relier au module de couplage et au Voltmètre comme indiqué sur la photo et le dessin. Attention : respecter les polarités.



Manipulation 1. Montage série.

Positionner les interrupteurs du module pour que les éoliennes soient câblées en série.
Faire tourner les éoliennes dans le vent du ventilateur.
Relever les différentes valeurs en Volt selon que l'on laisse tourner de 1 à 3 éoliennes

Interrupteurs tous vers la gauche
sur le module de couplage

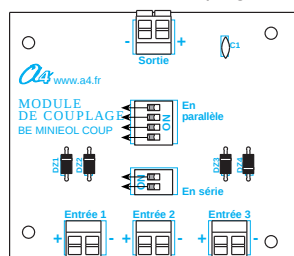
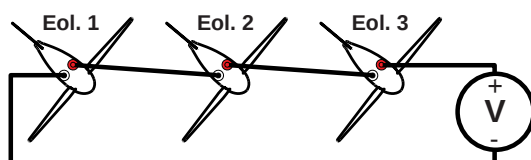


Schéma de principe



Modèle de tableau de relevé de mesures

Eol. 1	Eol. 2	Eol. 3	Valeur en Volt
Libre	Libre	Libre	
Libre	Libre	bloquée	
Libre	bloquée	Libre	
Libre	bloquée	bloquée	
bloquée	Libre	Libre	
bloquée	Libre	bloquée	
bloquée	bloquée	Libre	
bloquée	bloquée	bloquée	

Que peut-on déduire des résultats obtenus ?

Manipulation 1. Montage parallèle.

Positionner les interrupteurs du module pour que les éoliennes soient câblées en série.
Faire tourner les éoliennes dans le vent du ventilateur.
Relever les différentes valeurs en Volt selon que l'on laisse tourner de 1 à 3 éoliennes

Interrupteurs tous vers la droite
sur le module de couplage

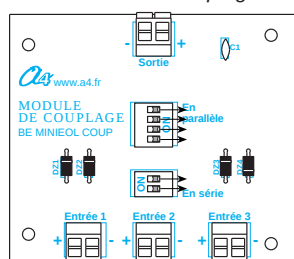
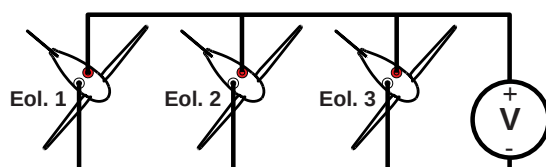


Schéma de principe



Modèle de tableau de relevé de mesures

Eol. 1	Eol. 2	Eol. 3	Valeur en Volt
Libre	Libre	Libre	
Libre	Libre	bloquée	
Libre	bloquée	Libre	
Libre	bloquée	bloquée	
bloquée	Libre	Libre	
bloquée	Libre	bloquée	
bloquée	bloquée	Libre	
bloquée	bloquée	bloquée	

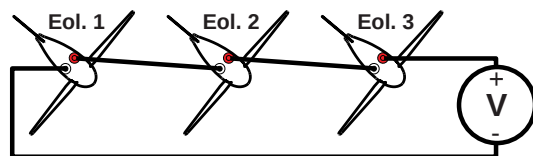
Que peut-on déduire des résultats obtenus ?

Comment augmenter la production d'électricité ?

EXEMPLE DE CORRIGÉ

Montage série.

Schéma de principe



Relevé de mesures

Eol. 1	Eol. 2	Eol. 3	Valeur en Volt
Libre	Libre	Libre	9,5 V
Libre	Libre	bloquée	7 V
Libre	bloquée	Libre	5,5 V
Libre	bloquée	bloquée	3 V
bloquée	Libre	Libre	6,5 V
bloquée	Libre	bloquée	4 V
bloquée	bloquée	Libre	2,5 V
bloquée	bloquée	bloquée	0 V

A noter pour mieux comprendre les écarts de mesures.

- 1 - Il sera quasi impossible de faire tourner toutes les éoliennes à la même vitesse :
 - elles ne sont pas toutes identiques,
 - elles ne sont pas placées au même endroit dans le vent.
 Chaque éolienne produira donc un courant différent. Les écarts peuvent être importants. Il est judicieux de rechercher la meilleure disposition pour limiter les écarts. C'est un problème que l'on peut soumettre aux élèves.
- 2 - Une éolienne laisse passer le vent lorsqu'elle tourne. Mais si on la stoppe, son hélice constitue un obstacle fixe et elle freine beaucoup le vent. Lorsque deux éoliennes sont placées l'une derrière l'autre par rapport au vent, si celle de devant est stoppée, elle coupe le vent de celle de derrière qui du coup tourne moins vite.

Lorsqu'une éolienne s'arrête, la tension chute.

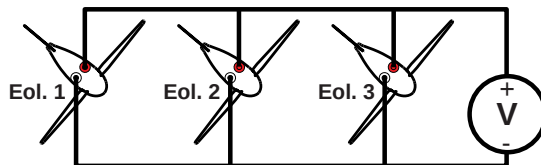
Lorsque les trois éoliennes tournent, la tension totale est à peu près l'addition des 3 tensions fournies par chaque éolienne.

Dans ce type de montage, la tension délivrée est très variable selon le vent sur chaque éolienne.

Nota : si on déconnecte une éolienne, le circuit électrique est ouvert et la production électrique est stoppée.

Montage parallèle.

Schéma de principe



Relevé de mesures

Eol. 1	Eol. 2	Eol. 3	Valeur en Volt
Libre	Libre	Libre	4 V
Libre	Libre	bloquée	4 V
Libre	bloquée	Libre	3 V
Libre	bloquée	bloquée	3 V
bloquée	Libre	Libre	4 V
bloquée	Libre	bloquée	4 V
bloquée	bloquée	Libre	2,5 V
bloquée	bloquée	bloquée	0 V

Lorsqu'une éolienne s'arrête, la tension ne chute pas ou relativement peu.

Lorsque les trois éoliennes tournent, la tension totale est à peu près égale à la tension fournie par l'éolienne qui tourne le plus vite (ici Eol 2).

Dans ce type de montage, la tension délivrée est assez stable car il suffit qu'une éolienne tourne pour que la tension de service soit atteinte.

Nota : si on déconnecte une éolienne, le circuit électrique n'est pas rompu et la production électrique continue.

Conclusion

En partant du principe que quel que soit le type de montage (parallèle ou série), la puissance totale délivrée est identique (puisque les éoliennes produisent chacune la même puissance), on préférera un montage parallèle qui procure un courant plus stable et qui permet de déconnecter une éolienne sans couper le circuit général.

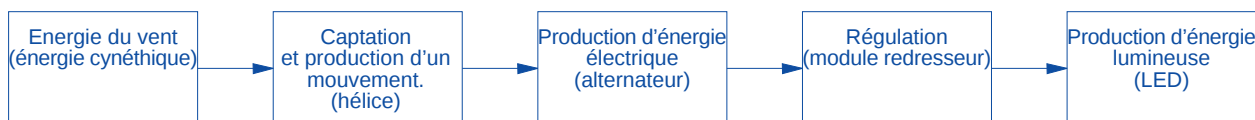
Représenter la chaîne énergétique d'un système éolien

EXEMPLE DE CORRIGÉ

La chaîne énergétique d'un système éolien

1 - Une éolienne sert à capter l'énergie du vent pour réaliser un travail (par exemple animer une pompe) ou produire une énergie (par exemple produire de la lumière).

Voici la chaîne énergétique d'un système éolien destiné à l'éclairage :



Le système représenté par ce schéma sert à produire de l'éclairage à partir de la force du vent.

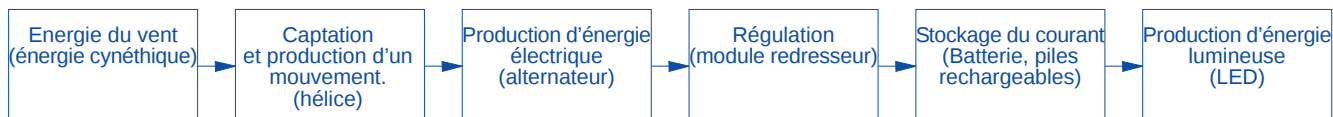
Dans la réalité, le système tel qu'il est ne serait pas opérationnel. Il présente l'inconvénient de ne pas fonctionner lorsqu'il n'y a pas de vent. On ne peut alors pas s'éclairer. De plus l'intensité de l'éclairage varie selon la force du vent. Ce système ne serait donc pas commercialisable pour une utilisation réelle.

Il faudrait pouvoir stocker l'énergie produite et non consommée lorsqu'il y a du vent et pouvoir la restituer lorsque l'on a besoin d'éclairage, même s'il n'y a plus de vent.

On pourrait par exemple stocker l'énergie dans une batterie qui serait chargée lorsque l'éolienne produit du courant.

2 - Lorsque l'on insère le module de stockage du courant (batterie) dans le système, la lumière ne s'éteint plus quand il n'y a plus de vent.

Voici la chaîne énergétique du système amélioré par l'ajout de la fonction stockage de l'électricité :



Lorsqu'il y a du vent, le courant produit peut servir directement à l'éclairage ou à la charge de batterie. Dans la journée, lorsque l'on a pas besoin d'éclairage, on peut diriger la totalité du courant produit par l'éolienne vers la batterie (à ce moment on interdit l'éclairage).

Ce système permet d'emmagasiner l'énergie pour la restituer le soir en éclairage.

Annexe 1 - Activités avec un anémomètre et un compte-tours

Matériel nécessaire

- Une mini-éolienne et le module Voltmètre.
- Un compte-tours laser.
- Un anémomètre.
- Un ventilateur de bureau pour animer l'éolienne.

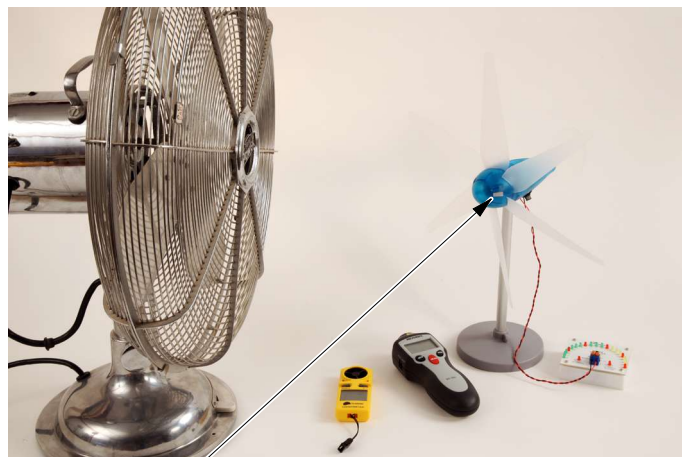
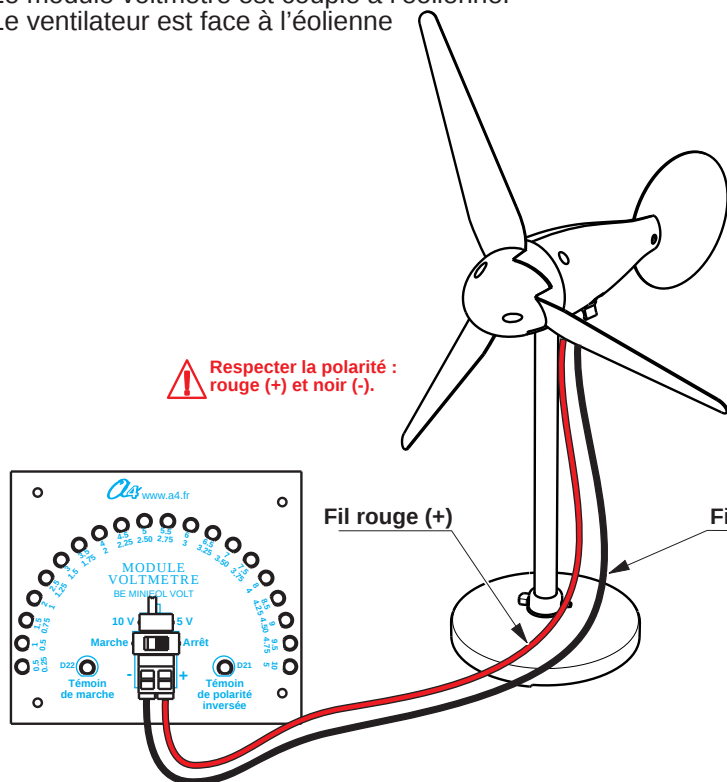
Compte-tours laser
RPM-LASER-299K



Travail à faire

Réaliser le montage décrit ci dessous.

Le module voltmètre est couplé à l'éolienne.
Le ventilateur est face à l'éolienne



Nota
Pour utiliser le compte-tours laser, il faut coller un morceau d'adhésif réfléchissant (fourni avec le compte-tour) sur le cône d'hélice.

Soumettre l'éolienne à des vents de différentes forces* et effectuer des mesures pour vérifier quelle relation il y a entre force du vent, vitesse de rotation et tension électrique produite.

* Pour produire des vents de différentes forces, on peut éloigner ou rapprocher le ventilateur si celui-ci n'est pas équipé d'un variateur.

Vitesse du vent (mètre / seconde)	Fréquence de rotation de l'hélice (Tours / minute)	Tension de sortie (Volt)	Fréquence / Vent	Fréquence / Tension

Quelle(s) conclusion(s) peut-on tirer des mesures effectuées ?

EXEMPLE DE TRAVAIL ATTENDU DANS LE CAHIER

Vitesse du vent (mètre / seconde)	Fréquence de rotation de l'hélice (Tours / minute)	Tension de sortie (Volt)	Fréquence / Vent	Fréquence / Tension
2,5	450	3,5	180	128
2,8	480	3,75	171	128
3	510	4,25	170	120

EXEMPLE DE CORRIGÉ

Type de réponses attendues

Plus le vent augmente, plus l'hélice tourne vite et plus la tension produite est grande.
Il semble qu'il y a une relation directe entre la vitesse du vent, la fréquence de rotation et la tension produite.
En approximation, pour notre éolienne et dans nos conditions de test, on peut énoncer les formules :
Fréquence de rotation = vitesse du vent X 180 (ou 175 pour moyenner les résultats d'expérimentation)
Tension produite à vide = fréquence de rotation / 128 (ou 124 pour moyenner les résultats d'expérimentation)

Annexe 2 - Ressources sur l'éolien

Quelques données sur l'énergie éolienne

Une éolienne est un dispositif muni d'une hélice qui sert à capter l'énergie cinétique du vent pour la convertir en énergie mécanique. Des éoliennes sont utilisées pour actionner des pompes qui puisent l'eau de puits ; aujourd'hui on utilise couramment des éoliennes pour actionner des générateurs qui produisent de l'électricité.

C'est cette catégorie d'éoliennes dont le banc d'essai "Mini-éolienne" permet une étude.

L'énergie éolienne ne produit aucun déchet ; c'est une énergie renouvelable qui ne produit aucun gaz à effet de serre et n'a aucun impact sur la qualité de l'air.

Il existe des éoliennes de production électrique de toutes dimensions :

- Les plus grandes éoliennes ont un rotor qui peut faire 80 m de diamètre ; elles sont montées en haut de mâts qui peuvent atteindre 100 m de hauteur. Leur puissance est d'environ 2 MW (jusqu'à 5 MW). Une installation d'une telle puissance ne présente un intérêt que si l'éolienne est raccordée au réseau électrique (EDF en France).

- Il existe des éoliennes "domestiques" plus petites destinées à une consommation locale privée. Elle peuvent atteindre selon les cas 3 m de diamètre et sont montées sur des mâts qui peuvent aller jusqu'à 15 m. Leur puissance peut aller jusqu'à quelques kW. On les utilise pour l'éclairage dans les régions qui n'ont pas accès au réseau électrique ou comme source électrique d'appoint car l'énergie produite est totalement neutre en terme de pollution de l'air.

- De petites éoliennes sont destinées à produire (ou compléter la production) de l'énergie du bord sur des voiliers voire même des camping cars. Leur diamètre ne dépasse pas 1,50 m et la puissance produite va jusqu'à quelques centaines de Watt.

- On trouve enfin des micro éoliennes, le plus souvent jouets ou gadgets éoliens mais dont certaines ont une véritable fonction utile, comme par exemple la production d'énergie sur un vélo ou... sur un avion. En effet il existe de petites éoliennes de secours pour alimenter les systèmes vitaux d'un avion en cas de panne totale électrique. Sur l'Airbus A380 par exemple, en cas de panne de courant, sort automatiquement une petite éolienne qui fournit le courant suffisant pour garder l'avion pilotable.

Le principal problème de la production d'électricité à partir de l'éolien est le manque de fiabilité de la source d'énergie (on ne peut pas prévoir le vent) et la difficulté de stockage de l'énergie électrique (batteries coûteuses et de faible rendement, faites de matériaux et produits polluants). Aussi, à grande échelle, l'éolien ne peut être considéré aujourd'hui que comme énergie d'appoint qui peut soulager les autres moyens de production et en limiter l'impact écologique, quand il y a du vent.

Les autres problèmes que pose l'installation de grandes éoliennes sont la pollution visuelle et acoustique (bruit généré par la rotation des pales), ce qui rend difficile leur implantation à proximité d'habitations ou sur des sites protégés. On note aussi le risque pour les oiseaux qui peuvent percuter les pales en rotation.

Une sélection de liens sur internet

<https://cler.org/>
<http://www.enr.fr/>
<http://fee.asso.fr/>
<http://www.energies-renouvelable.fr/>
<http://endufut.blogspot.fr/>
<https://www.abo-wind.com/fr/leolien-citoyen/action-eolienne.html>
<http://www.petit-eolien-particulier.fr/eolienne.php>
<https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/eolienne/prix-rentabilite-eolien/>
<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-eolienne>
http://www.energies-renouvelables.org/energie_eolienne.asp

Annexe 3 - Suggestion pour une réalisation

Chargeur éolien d'accus (piles rechargeables).

Un projet sur les thèmes des énergies renouvelables et du développement durable

On a vu qu'une mini éolienne avec le module stockage peut recharger des accus (piles rechargeable) type R6 (AA).

On peut partir de l'ensemble câblé représenté ci-contre

Mais pour être opérationnel comme système de rechargement utilisable au vent, c'est à dire en extérieur, il faut qu'il résiste aux intempéries, au vent, etc.
C'est un problème technique à résoudre qui peut constituer l'objectif de réalisations.

On part du principe que l'éolienne elle-même résiste aux intempéries.

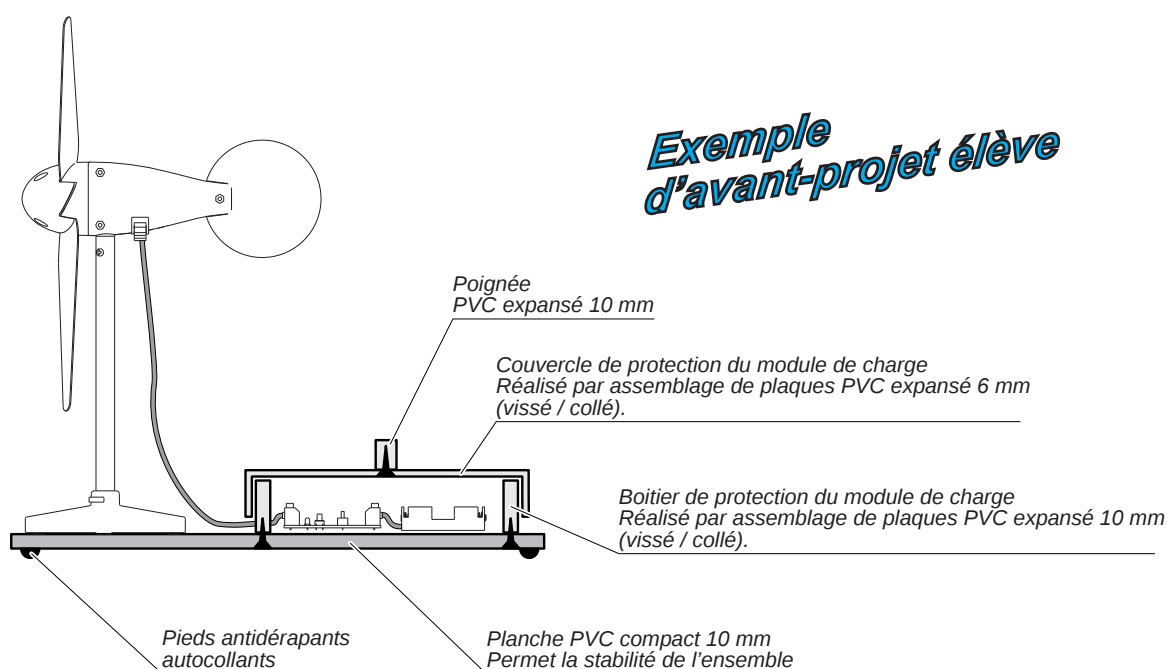
1 - Les élèves vont devoir énoncer la fonction du système et rédiger un petit cahier des charges.

Exemple :

- Le produit doit permettre la recharge de deux accus type AA à partir de l'énergie du vent.
- Le produit doit être utilisé en extérieur, sur un balcon ou une terrasse.
 - * L'éolienne ne doit pas être renversée par le vent.
 - * Le module de stockage ne doit pas être déplacé par le vent.
 - * Le module de stockage et les accus à recharger doivent être protégés des intempéries.
- Le produit doit être pratique à utiliser.
 - * Le produit doit pouvoir se ranger facilement. Il ne doit pas être fixé.
 - * L'accès aux accus doit être rapide, sans avoir besoin d'outil.

2 - Différents avant-projets vont pouvoir être produits par les élèves.

Exemple : à partir de vue extraites de la modélisation 3D (disponible sous eDrawings en téléchargement sur www.a4.fr ou aux formats SW et Parasolid sur le CDRom du projet (Réf CD-BE-MINIEOL-A) :



3 - Réalisation

Les équipes doivent chacune réaliser et présenter le projet répondant au cahier des charges, le plus pratique, efficace et facile à réaliser proprement. On peut aussi tenir compte du critère de coût pour évaluer (ou classer) les différents projets présentés.