

Cette notice est en licence libre, vous êtes libre de l'utiliser et de la modifier (voir modalités en dernière page), d'exercer votre esprit critique et de nous faire part de vos remarques constructives.

Atelier mini-éolienne

TEMPS DE RÉALISATION
3 heures

COÛT INDICATIF
30 euros

DIFFICULTÉ
★☆☆☆☆



Introduction

Cette notice présente la construction d'une mini éolienne, sous la forme d'un atelier pédagogique de 2h à 3h avec le public. Elle s'adresse à la personne qui va encadrer l'atelier, mais aussi au particulier pour sa construction personnelle. Selon l'âge et les connaissances des participants, nous laissons le soin au formateur de l'adapter à son public.

Cet atelier, d'une durée de 2 heures, permet de comprendre comment on va pouvoir capter l'énergie du vent pour l'exploiter et par exemple la transformer en énergie électrique. Il aborde des notions physiques comme la résistance à l'air et la génération d'un courant électrique et des notions politiques comme la place de l'énergie dans notre vie. Ces notions sont mises en application lors de la réalisation du petit prototype d'éolienne Savonius.

L'atelier se divise en deux parties : une introduction théorique et une partie pratique. Les différents points abordés dans l'introduction théorique sont détaillés dans la partie conception de cette notice. Chaque point pouvant faire l'objet d'un atelier à lui tout seul, nous vous invitons à choisir parmi eux lesquels méritent d'être plus amplement traités.

La partie pratique consiste en la réalisation de l'éolienne. En tant qu'animateur-trice, vous devrez préparer certains éléments de l'atelier pour permettre sa tenue dans les temps : 2h sans la construction du générateur, 3h avec la construction du générateur. Le générateur étant difficile à réaliser, on réservera cette partie de l'atelier pour un public adolescent ou adulte.

Conception

Au début de l'atelier, on interroge les participants sur les différentes sources de production de l'électricité. Pour info, les principales sont le gaz, le pétrole, le charbon, l'uranium, le vent, le soleil, l'eau, la géothermie et la biomasse. Au fur et à mesure de leurs réponses, on range ces sources (on peut les représenter par des vignettes, des dessins...) dans les catégories « renouvelable » ou « périssable ». Ici, il faudra bien expliquer la différence entre les deux et insister sur le risque que crée notre dépendance aux sources périssables (vous trouverez des ressources très intéressantes en regardant la conférence gesticulée d'Anthony Braud, le lien est à la fin de la notice). On peut également expliquer, selon le temps et les connaissances dont on dispose, le mécanisme de production d'électricité qui va avec la ressource (centrale nucléaire pour l'uranium par exemple). L'objectif ici est bien de faire comprendre les différents mécanismes, pas de faire peur ! On se concentre ensuite sur le mécanisme de l'éolienne.

Comment ça marche ?

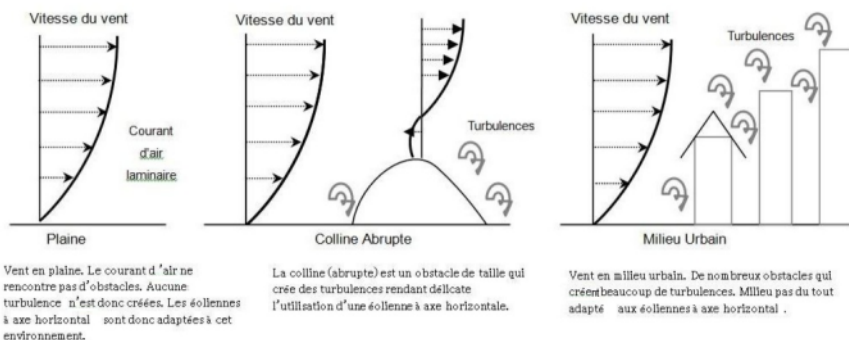
Qu'est-ce que le vent ?

Le vent résulte d'une différence de pression entre deux points. Une masse d'air va alors se déplacer du point où résulte la plus forte pression vers le point de plus faible pression. L'absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère engendre des différences de température et de pression qui mettent les masses d'air en mouvement et créent le vent (on peut dire que l'énergie du vent est une énergie dérivée de l'énergie du soleil).

Il faut savoir que ce déplacement de l'air peut se faire de manière laminaire (régulière) ou turbulente. Cela dépend des obstacles que va rencontrer le vent et de la hauteur à laquelle on va placer l'éolienne. Plus on a d'obstacles et plus on est bas dans le ciel, plus le courant d'air va être perturbé (sur le toit d'une maison ou en montagne, par exemple). Inversement, moins il y a d'obstacles et plus on est haut dans le ciel, plus on aura un courant d'air laminaire (en plaine ou en haut d'un mât de 100m, par exemple ①).

Comment produire de l'électricité avec le vent ?

Cette masse d'air, lorsqu'elle se déplace assez rapidement, va entraîner le rotor (la partie qui tourne) de l'éolienne et permettre de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation. Une fois qu'on a transformé notre énergie cinétique du vent en énergie mécanique, on peut transformer celle-ci en énergie électrique via un générateur. Un générateur est constitué de bobines de fil de cuivre devant lesquelles on va faire passer des aimants. Le passage alternatif des aimants va créer un courant induit alternatif dans les bobines. Pour illustrer la création d'un courant induit lors du passage d'un aimant devant une bobine, on peut faire une petite expérimentation avec une bobine reliée à un voltmètre devant laquelle on va faire passer un aimant. Lorsque l'aimant s'approche de la bobine, on crée une tension, qui s'annule lorsque l'aimant est immobile, et lorsque l'aimant s'éloigne de la bobine, on crée une tension dont la polarité est opposée à la précédente. L'amplitude de cette variation de tension dépend de la vitesse de déplacement de l'aimant

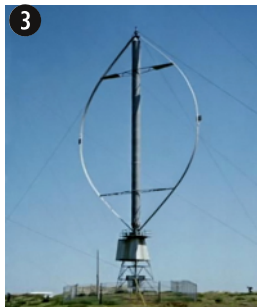


Qu'est ce qu'une éolienne Savonius ?

Il existe deux types d'éoliennes, les éoliennes à axe horizontal (2) et les éoliennes à axe vertical (3). Les éoliennes à axe horizontal sont les plus utilisées car elles ont un bon rendement, ce qui leur permet de produire plus d'énergie qu'une éolienne à axe vertical. Par contre, elles sont plus complexes à fabriquer et nécessitent d'être placées haut dans le ciel (jusqu'à 100 m) pour bénéficier d'un courant d'air laminaire. En effet, si le courant d'air est turbulent, l'éolienne se casse. Les éoliennes à axe vertical ont un rendement moins élevé que leurs cousines à axe horizontal. Elles sont par contre plus simples à fabriquer et plus solides, ce qui leur permet de résister à des courants d'air turbulents. On va donc pouvoir les placer près du sol sans qu'elles ne se cassent.



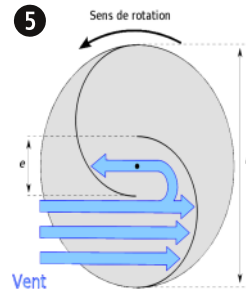
Éolienne à axe horizontal



Éolienne à axe vertical



Éolienne Savonius XXL



Fonctionnement de l'éolienne

Nous allons réaliser lors de cet atelier une éolienne à axe vertical de type Savonius (4). Cette éolienne a été inventée par l'ingénieur finnois Sigurd Savonius en 1924. Elle est constituée d'un rotor qui va transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation. Le fonctionnement du rotor Savonius est basé sur un couple aérodynamique induit par la déflexion de l'écoulement (5) sur les pales. L'éolienne placée dans un écoulement d'air va dévier les lignes de courant arrivant sur la pale motrice vers la pale freinante. Ainsi, il se crée une différence de pression entre la partie concave et la partie convexe des pales et la machine est mise en rotation. Cela est aussi dû au fait que les parties concave et convexe n'ont pas la même résistance à l'air. Pour se rendre compte de cette différence, on pourra prendre une demi-bouteille par le bout des doigts et la faire bouger rapidement. Suivant le sens dans lequel on fait bouger la bouteille, on va ressentir plus ou moins de résistance à l'air. La partie concave présente plus de résistance que la partie convexe.

Matériel

- Tasseau de sapin sect. 26 x 13 mm longueur 810 mm
- Tige Ø 6 mm longueur 330 mm
- 2 Disques contreplaqués ép. 5 mm et de Ø 130 mm
- Planche de contreplaqué ép. 10 mm de dimensions 260 x 140 mm
- Fil de cuivre Ø 0,3 mm
- Crochet Ø 6 mm
- Clou Ø 4 mm
- 2 Équerres 30 mm
- 4 Vis Ø 3 mm longueur 25 mm
- 9 Vis Ø 3mm longueur 10mm
- 2 Bouteilles de marque Christaline ou Montcalm
- 5 Rondelle Ø 22 mm,
- 5 Aimants n Ø 20 mm et 5 mm d'ép.
- Une LED basse consommation
- De la colle (pour coller de l'acier sur du bois)
- Une boussole (facultatif).

Outils

- Scie à métaux
- Scie à onglet
- Agrafeuse
- Mèche à bois Ø 2, 3 et 6 mm
- Perceuse visseuse
- Cale martyre
- Équerre
- Trois serre-joints
- Ciseau
- Tourne vis PZ1
- Crayon
- Cutter
- Poinçon
- Boîte à coupe sécurisée

Réalisation

Les ateliers sont un lieu d'apprentissage de l'autonomie. Nous encourageons donc la personne qui anime à s'imposer une présence discrète, à respecter le droit à l'erreur des participants et à ne pas faire à leur place.

Préparation de l'atelier

Pour que l'atelier rentre dans un temps de deux heures, vous devrez préparer en amont quelques-uns des éléments.

Tout d'abord, préparez la base du châssis (pièce 3 de l'annexe A) aux bonnes dimensions. Ensuite, usinez autant de disques en bois (pièce 4) qu'il faudra pour réaliser vos éoliennes (2 disques par éolienne). Percez les trous dans l'un qui servira de modèle pour le perçage des autres. Enfin, vous pouvez également préparer à l'avance le générateur.

Au début de l'atelier, après les points théoriques sur l'énergie, on peut créer deux groupes qui travailleront en parallèle : l'un construit le châssis pendant que l'autre s'occupe du rotor. Les plans en annexe seront distribués aux groupes pour éveiller les participants à la lecture d'un plan technique.

1. Le châssis

👁 ANNEXE A

Il est composé : d'une base réalisée avec un morceau de contreplaqué ép. 10 mm de dimension 26 cm par 14 cm ; de deux montants de 30 cm (de section 26 x 13 mm) qui sont liés à la base par l'intermédiaire de 2 équerres vissées et d'une traverse de longueur 20 cm vissée sur les deux montants (annexe A).

On commence par couper tous les morceaux aux bonnes dimensions. On pourra pour cela s'aider de la boîte à coupe sécurisée (6) que l'on aura fixée à l'aide de deux serre-joints sur une table. Le morceau à scier est fixé dans la boîte à coupe à l'aide d'un serre-joint. La traverse est ensuite percée de quatre trous (positionnés selon le plan en annexe A) du diamètre des vis (Ø 3 mm). Pour ne pas abîmer la table, on se mettra sur une cale martyre (7). La traverse est ensuite vissée sur les deux montants avec 4 vis Ø 3 mm longueur 25 mm selon les plans donnés en annexe A. On vient ensuite fixer les équerres sur le cadre en utilisant 4 vis Ø 3 mm longueur 10 mm (8). La vis (Ø 3 mm longueur 10 mm) qui servira de pivot à la turbine est fixée au centre de la base. Le crochet est vissé à la moitié de la traverse (soit à 10 cm du bord), il servira à guider en rotation l'axe de la turbine (9). Enfin, le cadre est fixé sur la base (10 et 11), on utilise pour cela 4 vis Ø 3 mm longueur 10 mm.



6 Sciage des montants et traverses avec la boîte à coupe sécurisée



7 Perçage des traverses sur une cale martyre



8 Vissage des équerres fixées à la table avec un serre-joint



9 Vissage du crochet



10 Traçage positionnement des équerres



11 Fixation des équerres sur la base

2. La turbine

Elle est composée de deux disques en bois de 13 cm de diamètre que l'on découpera avec une scie à chantourner ou une scie sauteuse. Le centre de chaque disque est percé d'un trou de 6 mm de diamètre (12) correspondant au diamètre de l'axe. Une marque est faite sur un côté de chaque disque. Ensuite, les disques sont juxtaposés de façon à ce que les deux marques soient mises face à face et douze trous de 2 mm de diamètre sont percés selon le plan donné en annexe A (13).

Les bouteilles de marque "Cristaline" ou "Montcalm" (une occasion de faire un peu de « récup ») sont découpées à 14 cm de leur base (14). On garde la partie basse et on la coupe en deux (15). Le cul de la bouteille étant très épais, on utilisera des ciseaux robustes pour arriver à le découper. On prend ensuite un disque et on le pose sur une table de façon à ce qu'on voie la marque faite précédemment. On place la moitié du "cul" d'une bouteille sur la diagonale du disque. Avec un poinçon, on vient percer le "cul" de la bouteille en appuyant dans les trous de deux millimètres percés précédemment (16). Une fois qu'on a percé les six trous, on fixe à l'aide de petits bouts de fil de cuivre le morceau de bouteille sur le disque. On met pour cela en forme de "U" du fil de cuivre (17) et on vient passer ce "U" dans deux trous d'une bouteille et deux trous d'un disque (18). Le fil de cuivre est ensuite tordu plusieurs fois pour rendre la liaison rigide (19). On opère de la même façon pour les autres liaisons. On fait de même pour l'autre morceau de bouteille et aussi sur l'autre disque. Une fois cela terminé, on va pouvoir présenter les deux disques, avec leurs morceaux de bouteilles, face à face espacés d'une distance de 22 cm. On agrafe ensuite les morceaux de bouteilles entre eux (20).

Pour faire l'axe, on pourra prendre une baguette en bois que l'on taille en pointe à l'aide d'un taille-crayon. Cette solution présente l'inconvénient de s'user rapidement et on préférera prendre un tube en aluminium dans lequel on insère une pointe métallique (un clou dont on a limé la pointe en cône et dont on a coupé la tête) que l'on pourra coller si l'ajustement n'est pas serré.

On peut enfin présenter la turbine sur le châssis et passer l'axe de six millimètres dans le crochet puis la turbine et on fait reposer la pointe de l'axe sur la tête de la vis qui est située au centre de la base (21).



Percage de l'axe de la turbine



Les deux disques percés et marqués par une étoile



Découpe des bouteilles



Découpe des bouteilles



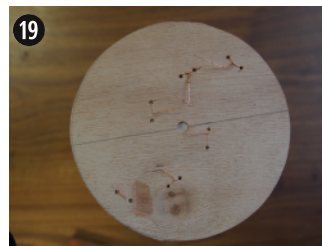
Percage des trous dans la bouteille au poinçon



Un fil de cuivre en U



Utilisation des fils de cuivre en U



Torsade des fils



Fixation des deux pales du rotor.



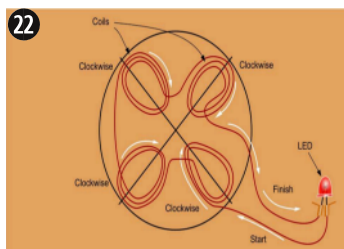
Mise en place de l'axe

3. Le générateur

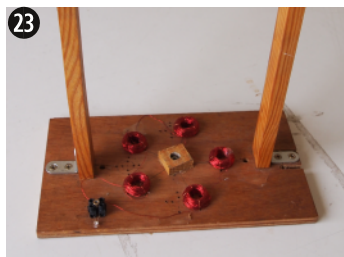
ANNEXES B ET C

Il faudra préalablement tracer les emplacements des bobines sur la base selon le schéma en annexe B et on percera des petits trous de 2 mm qui serviront à fixer les bobines.

Le générateur est constitué d'un stator de cinq bobines et d'un rotor cinq aimants néodyme (ou aimants permanents). Chaque bobine est constituée de deux cents spires de fil de cuivre émaillé de 0,3 mm de diamètre. On enroulera pour cela le fil de cuivre



Enroulage des bobines



Fixation des bobines



Orientation des aimants



Pièce de guidage en rotation de l'axe
(remplace le crochet)

sur un bâton de 1,5 cm de diamètre. On peut faire les cinq bobines sur le même bâton en laissant quelques spires entre chaque bobine. Si on fait les bobines séparément, il faudra penser à relier la sortie de la bobine à l'entrée de la bobine suivante et ainsi de suite. L'entrée et la sortie de ce circuit sont reliées aux bornes de la LED par l'intermédiaire d'un sucre d'électricien.

On place ensuite les bobines sur la base de façon à ce que toutes les bobines soient embobinées dans le même sens (22, aucune importance si le schéma ne comporte que 4 bobines, ce qui compte c'est le sens pratique de l'enroulage). On peut, une fois qu'on a vérifié le sens d'enroulement, fixer les bobines à la base, à l'aide de morceaux de fil de cuivre (23) que l'on passe autour des bobines et à travers la base. On les tord ensuite pour fixer solidement la bobine (comme pour la turbine).

Pour réaliser le rotor du générateur, on colle 5 rondelles en acier de 22 mm de diamètre sur la base de la turbine en suivant le schéma (annexe C). Une fois la colle sèche, on peut mettre les aimants. Il faudra veiller à ce que tous les pôles soient du même côté, par exemple tous les pôles sud du côté des bobines. On pourra pour cela s'aider d'une boussole (24) ou d'un autre aimant. On présente la boussole devant chaque aimant et on vérifie que l'aiguille est toujours orientée de la même manière. Ou si on prend un aimant, on vérifiera qu'il se comporte toujours de la même façon (attiré ou repoussé) à l'approche des autres aimants.

On place ensuite la turbine, munie de ses aimants, sur les bobines. Il faut maintenant régler la distance entre les aimants et les bobines : on appelle cette distance "l'entrefer". Celle-ci doit être la plus faible possible sans que les aimants touchent les bobines lors de leur rotation. Pour cela, on pourra régler la hauteur du rotor en vissant ou dévissant la vis située au centre de la base sur laquelle tourne l'axe de la turbine. Pour régler le parallélisme entre le rotor et le stator, on replacera le crochet vissé dans la traverse par une pièce permettant ce réglage (25).

Résolution de pannes

Concernant la partie mécanique, il faut vérifier qu'il y a pas de frottement lors de la rotation de la turbine. Ceux-ci peuvent provenir de l'œil du crochet qui est trop petit. Il faudra pour y remédier l'agrandir en l'ouvrant. Une autre source de frottement peut provenir d'un mauvais réglage de l'entrefer ou du parallélisme entre les aimants et les bobines.

Concernant la partie électrique, il se peut que la LED ne s'allume pas, il faudra alors vérifier les points suivants :

- Est-ce que les pôles des aimants sont bien orientés tous de la même manière ?
- Est-ce que le sens d'enroulement des bobines est bien identique pour chaque bobine lorsqu'on regarde le stator ? Si une ou plusieurs bobines ont des sens d'enroulement différents, les courants produits vont s'annuler.
- Est-ce que le fil de l'entrée d'une bobine est relié au fil de la sortie de la bobine suivante ? Si une ou plusieurs bobines sont mal connectées, les courants produits vont s'annuler.
- Est-ce que le circuit des bobines forme bien une boucle fermée ? Pour vérifier on peut mettre à la place de la LED un ohmmètre et vérifier qu'il y a bien une résistance.
- Est-ce que la LED fonctionne ? On peut la tester avec une pile de 1,5 volt.



Avantages

- C'est une éolienne robuste, facile à construire et qui ne nécessite pratiquement pas de colle lors de sa construction.



Inconvénients

- L'éolienne Savonius possède un mauvais rendement et une vitesse de rotation faible. Cependant, elle a un fort couple, ce qui la destine plutôt à des opérations de pompage de l'eau et pas à de la production d'électricité.



Optimisations possibles

- Le rendement de l'éolienne peut être optimisé en faisant varier le rapport "e/D" qui est ici de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{6}$, "D" étant le diamètre du rotor et "e" la largeur du chevauchement des demi-cylindres de bouteilles.
- On peut aussi augmenter le nombre d'aimants et de bobines pour que la LED s'allume à des vitesses de vent plus faibles.
- Au niveau pédagogique, nous imaginons en ce moment même augmenter la portée de notre intervention pour faire réfléchir les participants sur leurs besoins en énergie en général (et non plus seulement en électricité), et aux moyens mis en œuvre pour y répondre, l'objectif étant de prendre conscience de la nécessité d'une réflexion et d'une action collectives pour ne pas subir trop radicalement la crise énergétique.



Ouvrages de référence

- D. Le Gourières; Les éoliennes, Théorie, conception et calcul pratique, Éditions du Moulin Cadiou, Diffusion Eyrolles, 2008
- Dave Mussell; Build Your Own Wind Turbine, The Pembina Institute, 2006
- Pierre Le Chapellier; Éoliennes et habitat
Revue L'Affranchi, numéro spécial 55, troisième édition
- Sur la crise énergétique et ses conséquences; Anthony Braud – SCOP Le Pavé
<http://www.scoplepave.org/4-le-plein-d-energie>
- Concernant le fonctionnement du générateur électrique : vidéo: http://www.canal-u.tv/video/tele2sciences/principe_de_fonctionnement_d_un_generateur_electrique.8941

Cette notice est mise à disposition gratuitement par l'association

Entropie

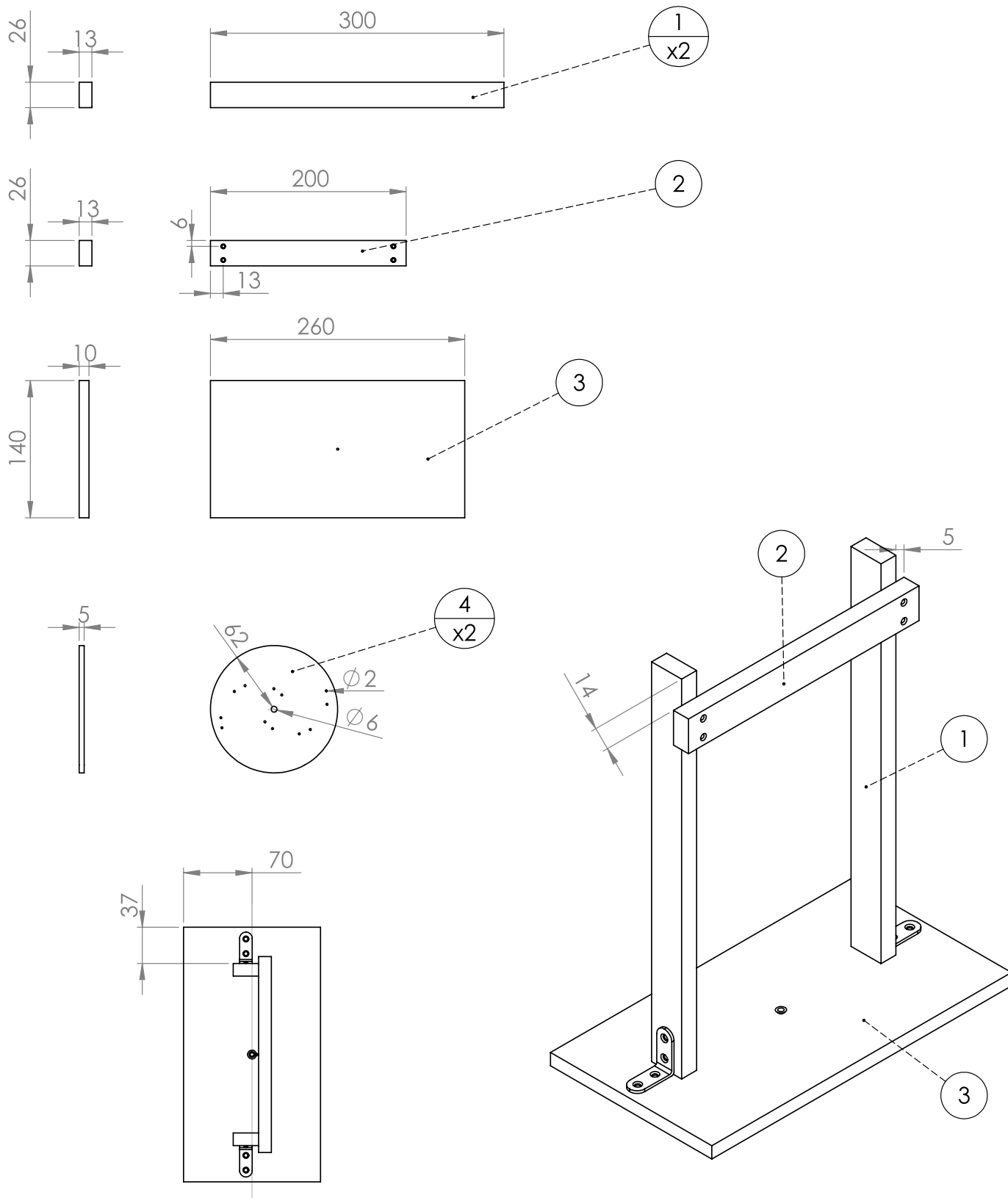
Nous vous incitons cependant, selon vos moyens, à *faire un don* à l'association pour que nous puissions continuer à vous faire part de nos recherches. Nous pensons que l'entraide et la collaboration doivent être les valeurs de la société de demain. Vous pouvez nous envoyer un chèque à l'ordre de l'association Entropie à l'adresse suivante : 15 rue Georges Jacquet 38000 Grenoble.



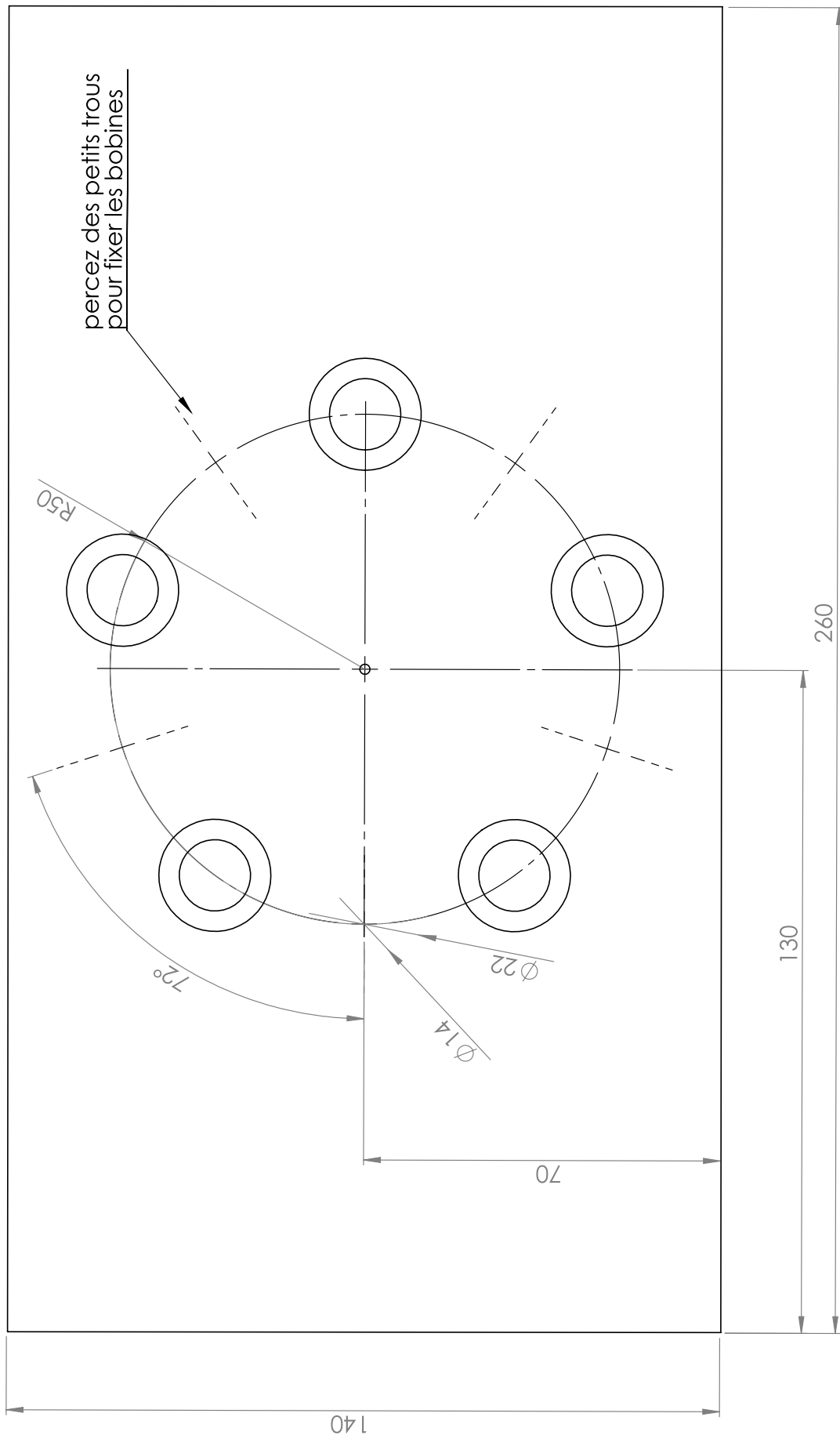
Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Art Libre. Vous êtes libre de la partager, reproduire, distribuer ; la remixer, l'adapter ; l'utiliser à des fins commerciales. Selon les conditions suivantes : l'attribution, vous devez attribuer l'œuvre de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous approuvent, vous ou votre utilisation de l'œuvre) ; le partage dans les mêmes conditions, si vous modifiez, transformez ou adaptez cette œuvre, vous n'avez le droit de distribuer votre création que sous une licence identique ou similaire à celle-ci.

*l'entraide
vaincra !*

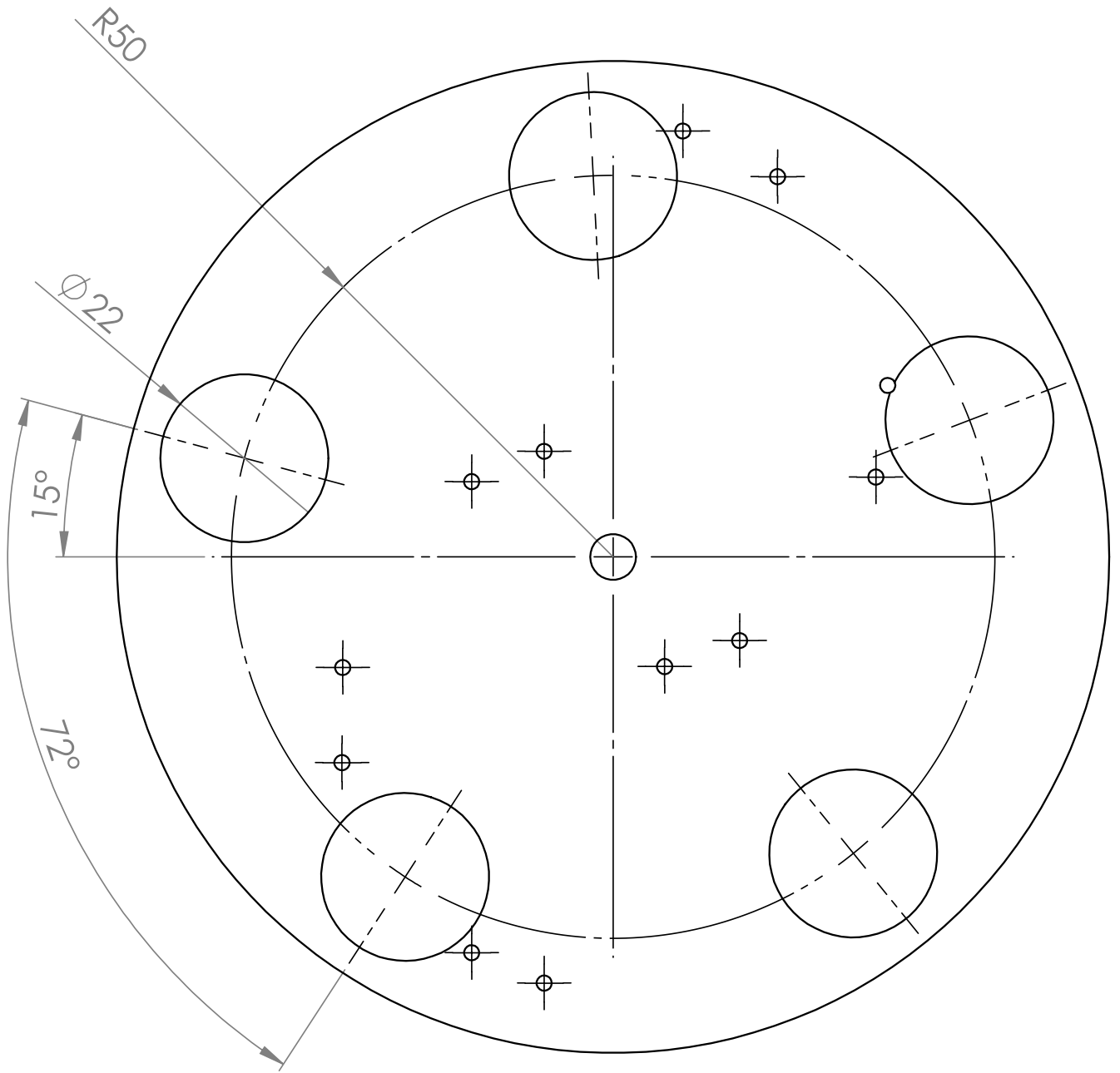
**Association Entropie
Christophe André, Gabrielle Boulanger, Thomas Bonnefoi
et Romain Bousson**



ANNEXE A
 Fiche de Débit



Annexe B
 Positionnement des bobines sur le chassis



ANNEXE C
Position rondelles du générateur