

Trente ans après ses premiers tours de pales, Hugh Piggott continue de diffuser son savoir faire. Lentement mais sûrement, l'éolienne Piggott s'améliore et se développe aux quatre coins du globe dans un esprit coopératif. Ainsi, elle pulvérise le credo selon lequel il ne pourrait y avoir de perfectionnement technique sans concurrence.

Conçue pour être accessible au plus grand nombre, sa fabrication est l'occasion de s'initier à des connaissances et des techniques très variées. Autant de perspectives qui rendent cette aventure contagieuse et passionnante.

Avec le vent comme complice.



Le premier stage d'Hugh Piggott, en France, remonte à 2004. Rapidement, des stagiaires se mobilisent pour multiplier les stages et les réalisations. Depuis sept ans, l'association Tripalium s'active dans ce sens. Elle s'est progressivement transformée en un réseau d'acteurs.

**Tripalium** est un mot latin désignant un instrument de torture à trois pieux qui était utilisé par les Romains de l'antiquité pour punir les esclaves rebelles. Ce même instrument servait aussi à ferrer de force les chevaux rétifs. Ce vocable a donné naissance au mot travail, lui conférant ainsi un caractère pénible, de contrainte, d'assujettissement.

*L'instrument de torture* : pour transformer le travail qui asservit l'homme en activité qui le libère. Au-delà de l'autonomie énergétique, construire son outil de production c'est conquérir un pouvoir. *Les chevaux rétifs* : C'est le vent qui ne se laisse pas facilement apprivoiser. Fabriquer une éolienne qui résiste dans la durée n'est pas une mince affaire.

[www.tripalium.org](http://www.tripalium.org)

ISBN 978-2-9547893-0-9



20€

CONSTRUIRE UNE ÉOLIENNE

# CONSTRUIRE UNE ÉOLIENNE



HUGH PIGGOTT  
RÉSEAU TRIPALIUM

# Sommaire

## Introduction

## Préliminaires

Comment choisir son éolienne 9  
 Au boulot ! 11  
 Travailler en sécurité 11

## Pales

Principe 13  
 Choisir le bois 13  
 Gabarit 14  
 Intrados 15  
 Extrados 17  
 Profil de l'extrados 17  
 Assemblage des pales 18  
 Assemblage de l'hélice 19  
 Équilibrage de l'hélice 20  
 Finitions de l'hélice 24

## Mécanique

Composants mécaniques 27  
 Moyeu 27  
 Nacelle 29  
 Safran 34  
 Plaque du safran 36  
 Finitions 37

## Génératrice

Principe de fonctionnement 39  
 Dimensionnement de la génératrice 40  
 Fabrication du bobineur 41  
 Première bobine 42  
 Connexion des bobines 44  
 Fabrication des rotors 45  
 Moule du rotor 48  
 Moule du stator 49  
 Résine 51  
 Montage et test de l'alternateur 54

## 1m20

Fabrication des pales 60  
 Mécanique 61  
 Stator 63  
 Rotor 64  
 Safran 65  
 Montage et test de la génératrice 66

## Mât

Choix du site 69  
 Implantation 70  
 Réalisation des massifs 71

4 Mât 72  
 Montage 74  
 Finitions 77

## 8 Installation 78

9 Site isolé 79  
 11 Site raccordé réseau 83  
 11 Choix des câbles électriques 84

## 12 Alternateur 86

13 Couple hélice/alternateur 87  
 13 Puissance de l'hélice 88  
 14 Tension de sortie/vitesse de rotation 89  
 15 Section du fil de cuivre et pertes de puissance 90  
 17 Estimation de la vitesse de rotation 93  
 18 Éléments de conception d'un alternateur 95

## 22 Annexes 97

A1 - «Fausses bonnes idées» 98  
 26 A2 - Dimensionnement et batteries 100  
 A3 - Raccordement au réseau 102  
 27 A4 - Coûts détaillés 103  
 27 A5 - Diagnostic et maintenance 104  
 29 A6 - Outillage 106  
 34 A7 - Liste du matériel 108  
 36 A8 - Dimensions des disques des rotors 109  
 37 A9 - Plus petit et plus grand 110  
 38 A10 - La galaxie Piggott 112

## 38

39  
 40  
 41  
 42  
 44  
 45  
 48  
 49  
 51  
 54

## 58

60  
 61  
 63  
 64  
 65  
 66

## 68

69  
 70  
 71

Au niveau du pied de pale, à la sixième station, tracez une ligne qui fait un angle de 45° avec le bord d'attaque (cf. schéma 8). Cette ligne coupe l'arête de la pièce de bois côté bord de fuite en 1 point. Rejoignez ce point avec la dernière chute marquée.

La chute détermine l'angle d'incidence de la pale. Cet angle est un paramètre très important. Soyez le plus précis possible dans les cotes et dans le marquage, surtout en bout de pale.

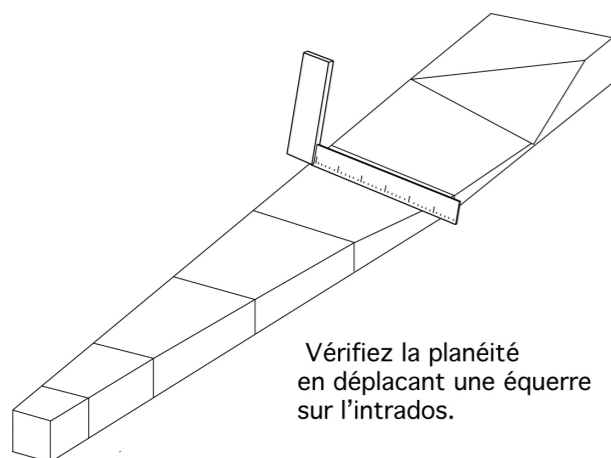
Taillez le bois pour former une face plane. **Attention à ne pas entamer les traits du bord d'attaque et du bord de fuite.**

L'angle augmente le long de la pale à mesure que l'on se rapproche du pied de pale comme sur le schéma.

Faites un trait à la scie au niveau de la sixième station entre le bord d'attaque et le bord de fuite. Utilisez une plane pour cette partie.

Une autre technique consiste à faire des coupes espacées de 3 cm avec une scie égoïne en s'approchant de la ligne du bord de fuite puis d'attaquer au ciseau à bois.

Pour un travail plus précis au niveau de la planéité, utilisez une wastringue.



Vérifiez la planéité en déplaçant une équerre sur l'intrados.

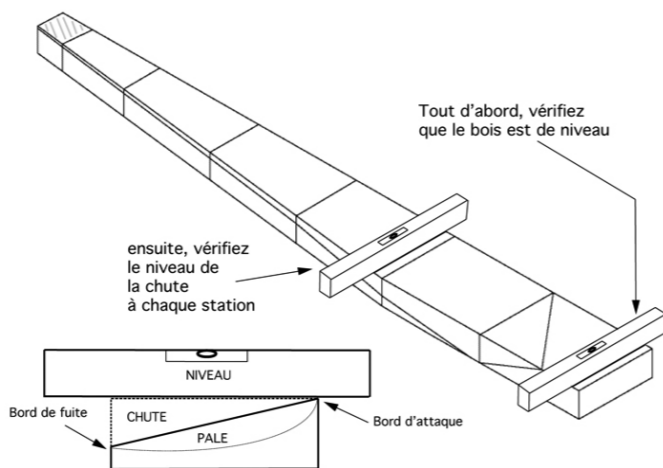
9 - Vérification de la planéité

Pour le bout de pale, le rabot donnera un rendu lisse et droit.

Une plane bien affûtée ou un racloir sont les meilleurs outils pour effectuer rapidement une bonne finition.

Du papier de verre peut également être utilisé. Attention à ne pas utiliser d'outil tranchant après le passage du papier de verre.

Reportez-vous aux règles de travail du bois énoncé dans la partie outillage (cf. «A6 - Outillage», page 106).



10 - Méthode pour les pièces de bois non dégauchies

Pour les pièces de bois non dégauchies, vérifiez que l'intrados n'est pas vrillé, ce qui risquerait de fausser l'épaisseur totale de la pale. Dans ce cas, utilisez un niveau à bulle.

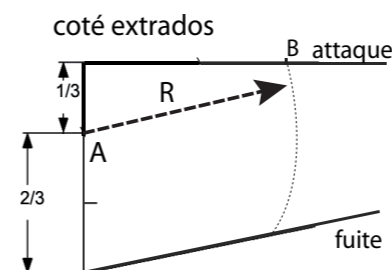
Mettez la planche de bois de façon à ce que la zone du pied de pale soit de niveau. Vérifiez le niveau de la chute à chaque station. Ensuite, déplacez le niveau à l'aide d'un réglet jusqu'à obtenir un niveau correct quand vous marquez la mesure.

Cette méthode peut être utile pour retrouver la ligne du bord de fuite qui aurait été mangée lors du façonnage.

## Extrados

### Pied de pale

Avant d'attaquer le côté bombé/convexe, il faut sculpter une face parallèle à l'intrados ayant une épaisseur qui varie à chaque station ; excepté près du pied de pale.



12 - Centre du cercle de rayon R

Divisez la largeur de la pale par 3. Repérez le point A à 1/3 du bord d'attaque, ce sera le centre de l'hélice.

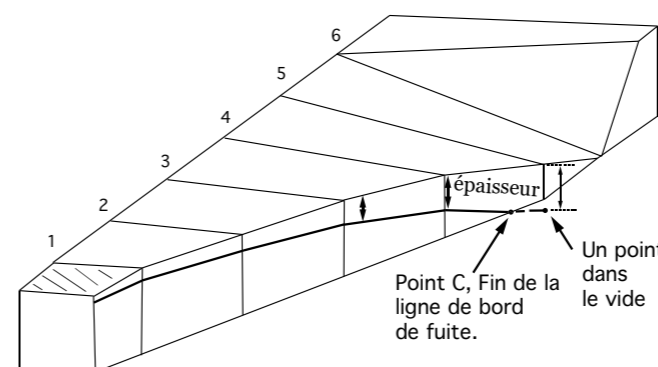
À partir de ce centre tracez l'arc de cercle de rayon R.

Le point de jonction entre cet arc de cercle et le bord d'attaque est le point B.

Tableau 4 : Rayon R (mm)

Ø Hélice	1m80	2m40	3m	3m60	4m20
Rayon R	100	125	150	188	225

### Bord de fuite



13 - Épaisseur sur le bord de fuite

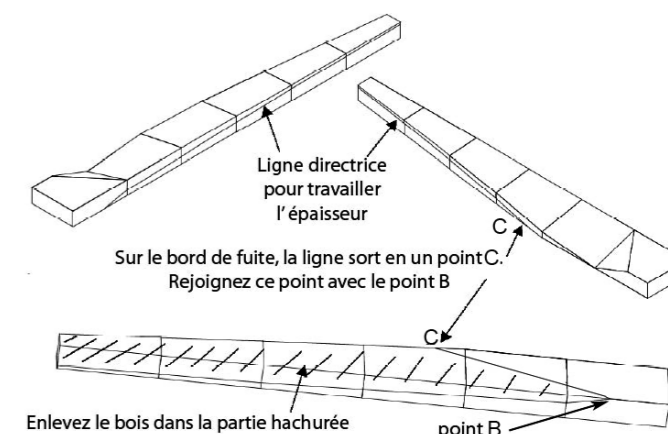
Marquez l'épaisseur à chaque station sur le bord de fuite en prenant l'intrados comme référence. Tracez une ligne reliant ces points.

Au niveau de la station 4, tracez la ligne qui rejoint les épaisseurs des stations 4 et 5, la station 5 se situant hors du bois. Vous obtenez le point C à l'intersection de la ligne et du bord de fuite.

Tableau 5 : Épaisseur à chaque station (mm)

Ø Hélice	1m80	2m40	3m	3m60	4m20
Station 1	6	6	7	8	10
Station 2	8	9	11	14	16
Station 3	11	14	17	20	24
Station 4	14	19	23	28	33
Station 5	20	27	34	41	47
Station 6	Pas d'épaisseur sur cette station, voir point B				

### Bord d'attaque



14 - Épaisseur sur le bord d'attaque

Marquez l'épaisseur à chaque station sur le bord d'attaque. Tracez une ligne reliant les points. Reliez la cote de la cinquième station au point B. Tracez la ligne BC qui délimite la zone de travail.

Sur le dessin ci-dessus, la partie hachurée montre le surplus de bois que vous allez enlever. En bout de pale, vous enlevez quasiment tout le bois.

Pour dégrossir, taillez à la plane ou encore découpez à la scie égoïne tous les 3 cm et débitez au ciseau à bois. Prenez une marge de sécurité par rapport au trait lorsque vous travaillez au ciseau car le sens du fil peut faire plonger l'outil.



11 - Mesure avec un compas d'épaisseur

**Tableau 1 : Moyeux recommandés**

Ø Hélice	1m80-2m40	3m	3m60-4m20
Véhicules	Polo Punto Golf Corsa Ibiza	Ford Courier	Boxer Jumper Ducato J5 C25

## Roulements

Commencez par nettoyer l'intérieur du moyeu et extraire les roulements.

Il est préférable de changer les roulements en achetant un kit de roulements neuf.

Attendez d'avoir équilibré l'hélice avant de graisser, modérément, le moyeu.

## Joint spi

C'est un joint en caoutchouc avec un ressort qui assure l'étanchéité du moyeu. Parce qu'il frotte contre la base de la fusée, il freine légèrement la rotation de l'hélice.

Vous pouvez soit enlever le ressort soit découper la lèvres afin de faciliter le démarrage par vents faibles.

Vous devrez alors augmenter la fréquence de graissage du moyeu (min 6 mois). Un graisseur installé sur la cloche, entre les deux roulements, simplifie la maintenance.

## Serrage et blocage

Le sens du filetage diffère entre la roue droite et la roue gauche pour éviter l'auto desserrage en roulant. Préférez le moyeu arrière droit, qui correspond au sens de rotation de l'éolienne.

Les moyeux à roulements cylindriques (Ford Courier) nécessitent un serrage complet.

Pour les autres moyeux à roulements coniques, la technique de serrage consiste à venir en butée puis de desserrer d'un quart de tour ; le moyeu tourne librement avec un jeu imperceptible.

Après un changement des roulements, serrez fort avant le quart de tour en arrière pour assurer une bonne mise en place des cages et des roulements.

Le blocage (impératif) s'effectue par goupille ou par martelage de l'écrou.

## Fixations

La fusée est boulonnée sur la nacelle. Des tiges filetées sont boulonnées sur la collerette de la cloche pour accueillir les rotors et les pales.

Contrôlez et ajustez le diamètre des trous (cf. Tableau 2).

Enfin, vérifiez la portée des écrous, à l'arrière de la cloche, qui, suivant le type de moyeu, n'est pas plate. Meulez si nécessaire.

**Tableau 2 : Taille boulons et tiges filetées (mm)**

Ø Hélice	1m80-2m40	3m	3m60-4m20
Fixation fusée	Ø 10	Ø 12	Ø 14
Cloche	Ø 12	Ø 12	Ø 14

## Nacelle

La nacelle est l'élément sur lequel se fixent tous les autres composants : moyeu, génératrice et safran.

Trois parties :

- Le **berceau** qui porte le moyeu et la génératrice.
- Le **tube pivot de la nacelle**.
- Le **tube pivot intérieur du safran**.

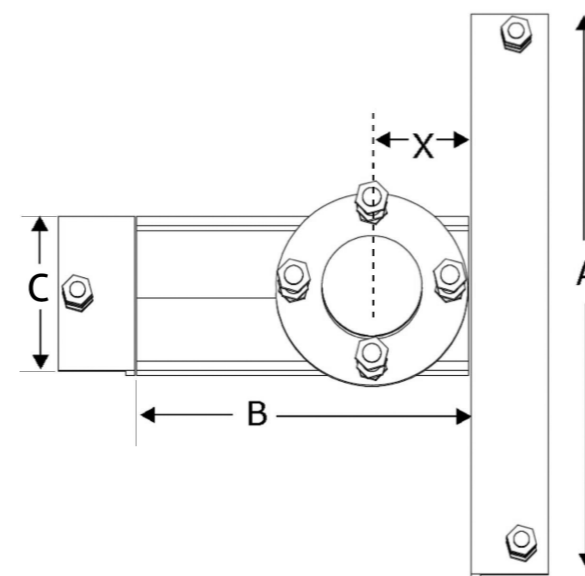
## Berceau

Le berceau, réalisé en cornière, accueille le moyeu (donc les rotors et l'hélice) et le stator.

Les éoliennes 1m80, 2m40 et 3m00 possèdent un berceau en T pour un stator à 3 points de fixation. Le stator des 3m60 et 4m20, à 4 points de fixation, requiert un berceau en H.

Pour la réalisation du berceau, la principale difficulté est d'obtenir un travail bien plan. Choisissez une surface de travail bien plate, bridez les pièces, pointez, vérifiez la planéité et corrigez si nécessaire. Les nacelles subissent de fortes contraintes mécaniques, les soudures doivent être parfaitement réalisées. Pensez notamment à bien nettoyer les pièces avant la soudure.

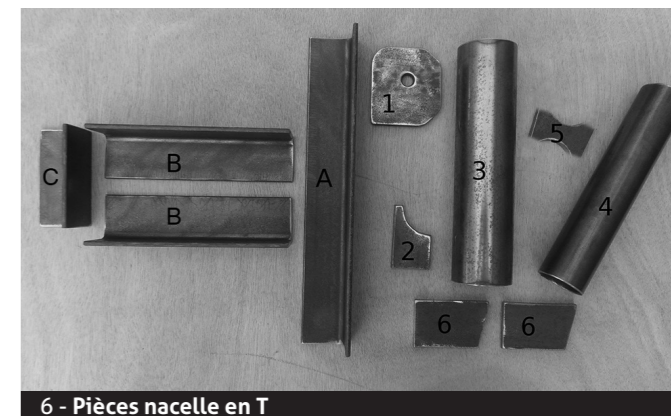
## Berceau en T



**5 - Cotes du berceau en T**

**Tableau 3 : Cotes berceau en T. Cornière 50x50x6mm**

Ø Hélice	1m80	2m40	3m
A	344	353	411
B	2x203	2x216	2x267
C	100	100	100
X	57	65	82



- A, B, C : Cornières formant le berceau
- 1 : Plaque haute
- 2 : Plaque basse
- 3 : Tube pivot de la nacelle
- 4 : Tube pivot du safran
- 5 : Pièce de jonction
- 6 : Renforts

Commencez par pointer les deux cornières B. Après vérification de la planéité, pointez A et C. Pensez à bien centrer la cornière A. Bridez l'ensemble à l'aide de serre-joints. A ce stade, avant soudure, positionnez et pointez la fusée sur la face arrière du berceau en respectant la cote X.

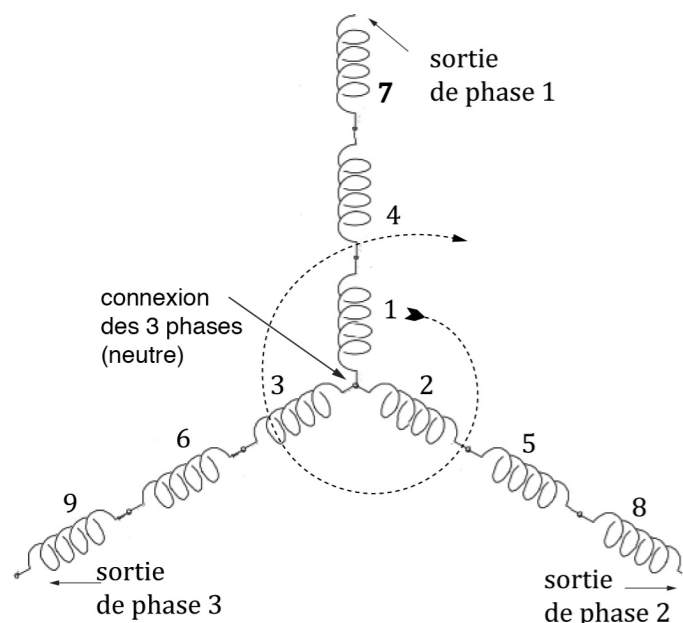


Percez les quatre trous de fixation à travers les trous de la fusée. (cette méthode n'est pas valable pour toutes les fusées, vérifiez la symétrie des trous de fixation) Boulonnez ensuite la fusée à sa place, protégez-la



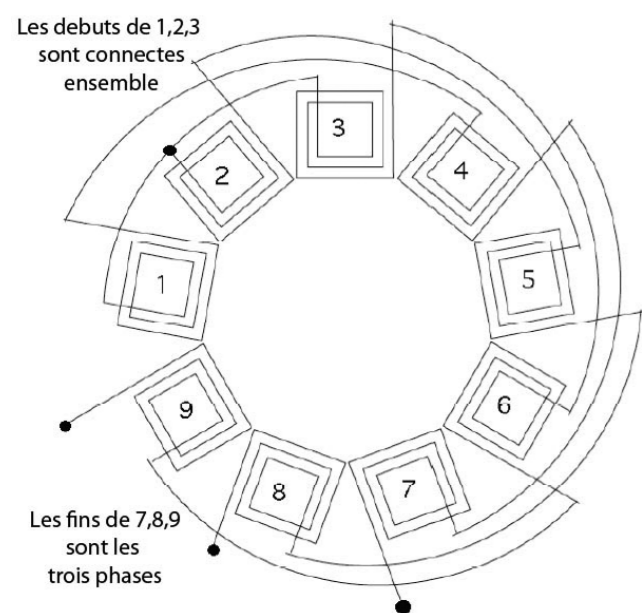
# Connexion des bobines

À l'exception des stators en 12 V, les stators sont connectés en série/étoile.



14 - Montage série/étoile

Le montage en étoile est le meilleur moyen de connecter les 3 phases du courant triphasé. L'autre méthode, en triangle, génère des courants parasites.

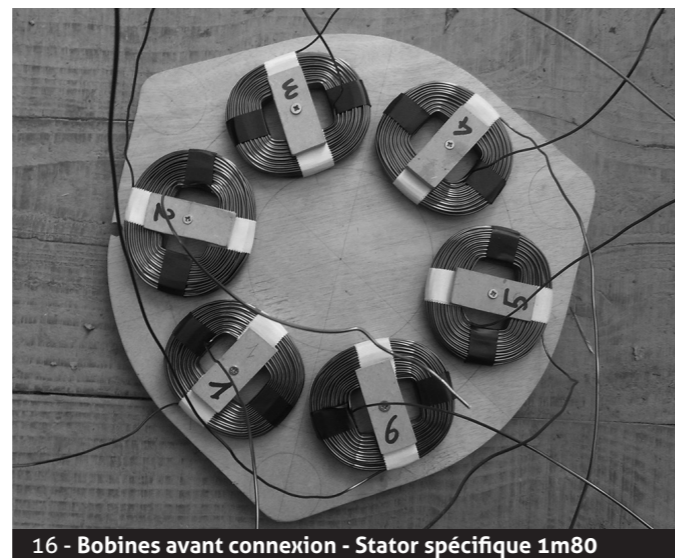


15 - Connexion avec 9 bobines

Les départs des 3 premières bobines sont connectés ensemble et forment le neutre qui reste à l'intérieur du stator. À la fin des séries, les sorties des 3 dernières bobines sortent indépendamment du stator, ce sont les 3 phases. Pour un montage à 12 bobines, il suffit de prolonger les séries.

Lorsque les rotors tournent, les bobines 1, 4 et 7 sont simultanément visitées par le pôle Nord d'un aimant. Puisqu'elles sont branchées en série, leurs tensions s'additionnent.

Sur une plaque de contreplaqué, tracez le cercle de rayon R puis le cercle de rayon C, divisez le cercle avec l'angle  $\alpha$ .



16 - Bobines avant connexion - Stator spécifique 1m80

Positionnez les bobines en fonction du rayon R (cf. schéma 13) en bordure du cercle intérieur en vérifiant qu'elles sont toutes sur la même face : entrée intérieure à gauche et sortie extérieure à droite. Numérotez-les et fixez-les avec des rectangles de contreplaqué souple vissés au centre.

Rejoignez les entrées de 1, 2 et 3 dans l'interstice entre deux bobines. Coupez les fils en gardant un chevauchement de 2 cm. Dénudez ces 2 cm.

Avant de relier les fils, enflez un bout de gaine thermorétractable pour protéger la soudure.



17 - Exemple de soudure

Puis soudez, voir les conseils de soudure dans l'annexe «A6 - Outillage», page 106.

La sortie de 1 rejoint l'entrée de 4, la sortie de 2 avec l'entrée de 5 et ainsi de suite. Les sorties de 7, 8, 9 sont soudées séparément avec du fil isolé souple (2,5 mm<sup>2</sup> et 4 mm<sup>2</sup> pour les grandes machines en basse tension), en prenant soin d'éloigner les soudures les unes des autres.

Les 3 fils souples se rejoignent dans une gaine résistante aux UV avant de sortir du stator.

Les fils de connexion doivent épouser les vagues entre les bobines afin de rigidifier la couronne. En effet, plus l'ensemble est compact et moins il risque de se déformer lors du moulage. D'autre part, une fois résiné, il faut percer les coins du stator sans rencontrer un fil baladeur.



18 - Bobines assemblées

Vous pouvez utiliser des petits colliers plastiques (colsons) pour regrouper les fils, ou même fabriquer une ceinture tout autour des bobines avec un fil de cuivre fin.

Testez la résistance entre chaque phase avec la position ohm du multimètre : vous devez obtenir des valeurs identiques. Une fois terminé, rangez le stator à l'abri de poussières ou de taches de graisse.

## Stator en 12 V

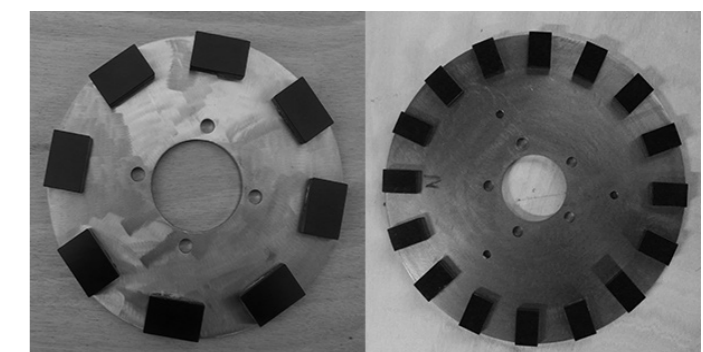
Parce qu'il faut limiter l'échauffement des bobines, les stators 12 V sont connectés en parallèle. Il y a donc autant de phases que de bobines.

Toutes les entrées sont connectées ensemble : le neutre. Concrètement, un fil parcourt la couronne de bobines et collecte les entrées. Ce fil reste à l'intérieur.

Chaque sortie est ensuite connectée à un fil isolé qui sort du stator dans un bout de gaine flexible cannelée.

# Fabrication des rotors

On utilise des disques en acier parce qu'ils conduisent le champ magnétique. L'inox, l'aluminium, le contreplaqué... ne conviennent pas.



19 - Les 2 types de rotors : à gauche le rotor de la 1m80

L'idéal est de les faire découper à l'arc plasma, au jet d'eau ou au laser. Pensez à amener votre cloche de moyeu pour faire découper les trous de montage en même temps (cf. «A8 - Dimensions des disques des rotors», page 109).

Pour protéger les aimants de la corrosion, il est fortement recommandé de galvaniser les disques ou d'appliquer une couche de peinture époxy avant de coller les aimants.

Tableau 4 : Tailles des disques d'acier (mm)

Ø éolienne	1m80	2m40	3m00	3m60	4m20
Épaisseur	6	8	8	10	10
Rayon R	130	150	175	200	225
Ø Trou intérieur	76	76	76	86	86

## Vis d'extraction

Les deux rotors se font face avec des polarités opposées.

3 vis d'extraction permettent de monter et de démonter le deuxième rotor.



20 - Taroudage pour les vis d'extraction

Introduction  
Préliminaires  
Pales  
Mécanique  
Génératrice  
1m20  
Mât  
Installation  
Alternateur  
Annexes

# Installation

Configurer une installation électrique requiert d'abord de déterminer l'emplacement de l'éolienne (cf. «Mât», page 68) et d'avoir dimensionné son installation (cf. «A2 - Dimensionnement et batteries», page 100).

## Site isolé

Sur un site turbulent, installez une prise en pied de mât (cf. «Mât», page 68).

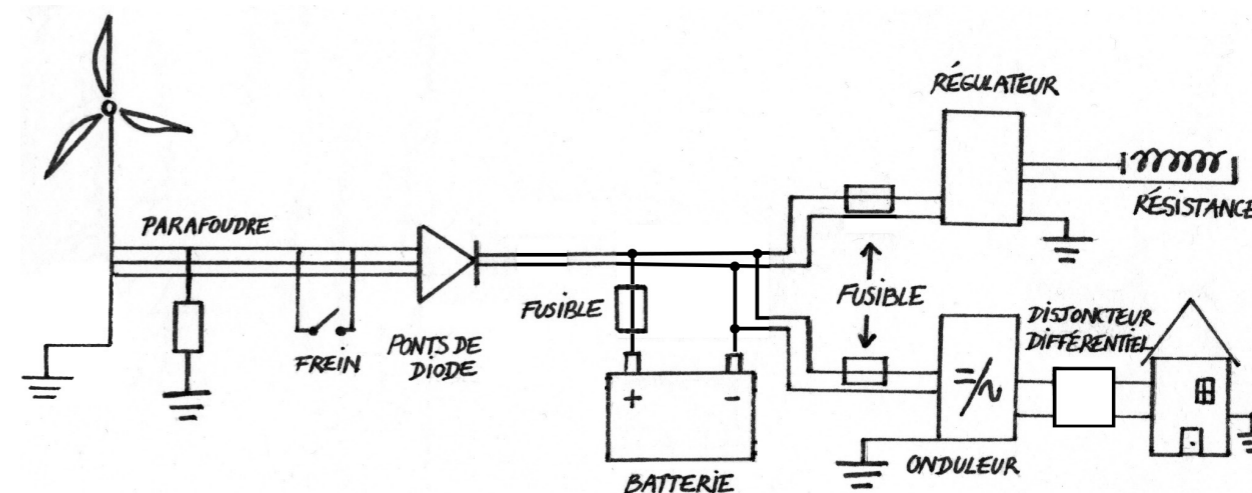
Plus la distance entre le local technique et l'éolienne est importante et plus vous devez augmenter la section des câbles pour limiter les pertes. Le dimensionnement des câbles est abordé à la fin de ce chapitre. Ainsi, il est souvent préférable de construire le local technique à proximité de l'éolienne pour repartir en 230 V (à la sortie de l'onduleur) et rejoindre l'habitation.

### Parafoudre

Il sert à protéger le système électrique contre les fortes surtensions. Il n'est pas obligatoire. En fonction des zones où vous habitez, il y a plus ou moins de risque de foudre. C'est un parafoudre spécifique à la tension de votre installation.

### Frein

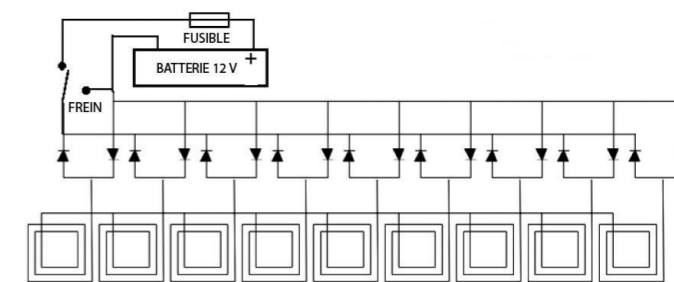
Le frein sert à arrêter l'éolienne. Il met les trois phases en court-circuit ce qui provoque l'arrêt de l'éolienne. Freinez l'éolienne au levage et à la descente. N'utilisez pas le frein par vents très forts, l'éolienne risque de vaincre la résistance électromagnétique et le stator peut griller. Si vous n'avez pas le choix, procédez par petits à-coups pour ralentir la machine avant de l'enclencher définitivement. Utilisez un interrupteur sectionneur.



1 - Site isolé



2 - Interrupteur sectionneur



3 - Connexion du frein pour les stators 12 V

Pour les stators en 12 Volts (hors 1m20), le câblage du frein est spécifique. Le freinage s'effectue en deux étapes : déconnectez d'abord les batteries, actionnez ensuite le frein.

### Pont de diodes ou redresseur

Il transforme le courant triphasé alternatif (CA ou AC en anglais) en Courant Continu (CC ou DC en anglais) pour pouvoir l'injecter dans les batteries. Il empêche également que les batteries ne se déchargent pas dans le stator.

Calculez l'intensité maximale qui traverse votre circuit en courant continu (puissance nominale / tension de l'éolienne) pour dimensionner la taille du pont de diodes.