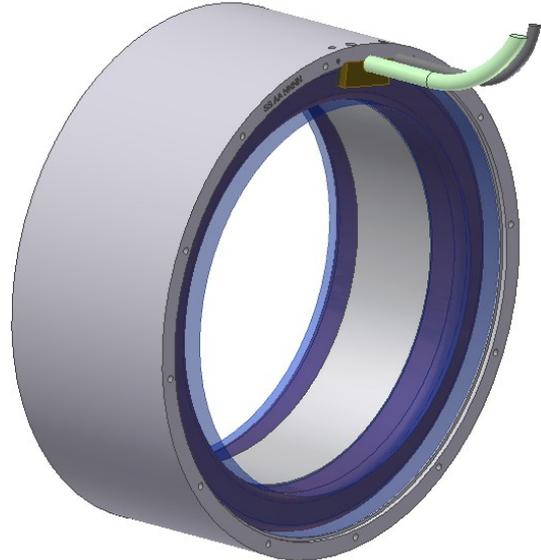


**NOTE D'APPLICATION:  
LES KITS D'ALTERNATEURS ALXION STK POUR ENTRAINEMENT DIRECT D'EOLIENNES**

1-Constitution des Kits

Les kits se composent d'une partie fixe ou stator et d'une partie tournante ou rotor.

Le stator est constitué d'une carcasse extérieure en alliage d'aluminium portant les toles magnétiques et le bobinage triphasé ainsi que le câblage de puissance et le câblage des sondes de température. Les têtes de bobines sont encapsulées dans une résine chargée d'assurer leur protection ainsi que d'abaisser leur résistance thermique par rapport à l'ambiante. La surface périphérique de la carcasse supporte l'environnement extérieur sauf dans des cas extrêmes d'atmosphère très salée où une enveloppe extérieure est dans ce cas recommandée.



*Stator*

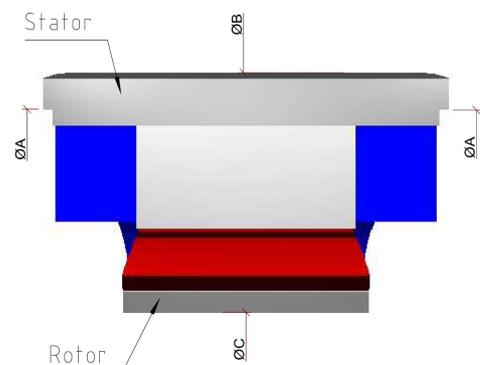


*Rotor*

Le rotor est constitué d'un moyeu rotorique en acier formant culasse magnétique sur lequel sont solidarisés les aimants permanents terres rares phosphatés d'origine et revêtus de plus d'un vernis anti-corrosion. Le moyeu rotorique est protégé de la corrosion par une couche de graisse.

Interface pour le client:

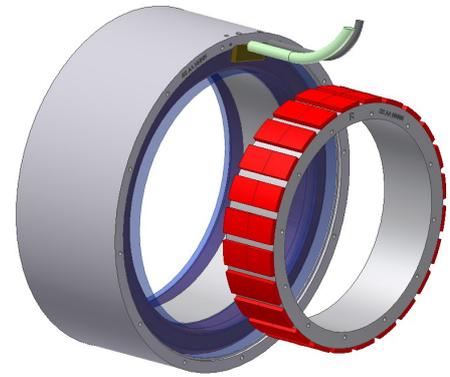
- Le stator comporte un diamètre de centrage extérieur  $\varnothing B$  et deux cordons de centrage latéraux  $\varnothing A$ .
- Le rotor présente un diamètre de centrage intérieur  $\varnothing C$ .
- Les fixations ont lieu par l'intermédiaire de trous taraudés dans les faces rotoriques et statoriques



*Interface pour le client*

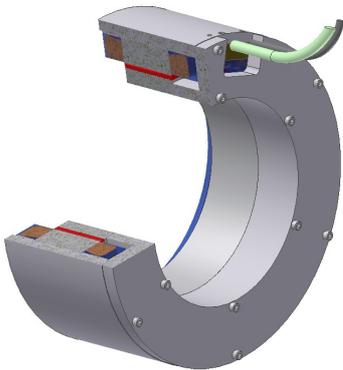
## Livraison des Kits:

- En standard, le stator et le rotor sont livrés en vrac séparément et le montage est fait par l'utilisateur.

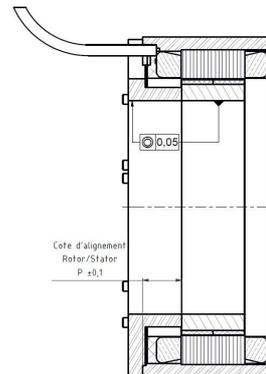


*Livraison standard du kit*

- Optionnellement le kit peut être monté sur flasque de montage FMDT avec rotor à l'intérieur du stator, centré et aligné (voir Notices de montage). Attention, ce flasque de montage FMDT est seulement un outil destiné à faciliter le montage. Une fois le rotor et le stator solidarisés avec la turbine, le flasque de montage FMDT sera démonté.



*Livraison avec FMDT*



## 2-Les atouts des kits d'alternateurs à aimants ALXION STK dans les applications d'éoliennes

Les kits d'alternateurs ALXION STK présentent les caractéristiques remarquables suivantes:

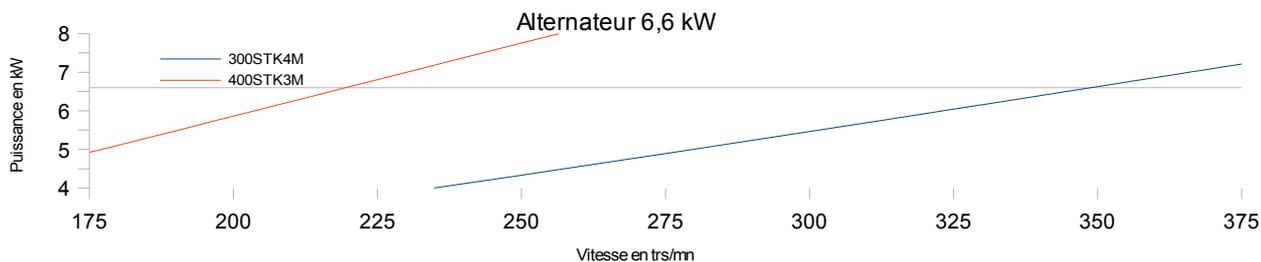
- compacité et puissance massique et volumique exceptionnelles permettant le recours à **l'entraînement direct des éoliennes sans multiplicateur de vitesse**: jusqu'à 600 W/Kg d'alternateur et 2500 W/dm<sup>3</sup> d'alternateur;
- Pertes limitées et rendement élevé à vitesse nominale bien que la vitesse de rotation soit faible: rendement jusqu'à 94% pour certains kits .
- Démarrage par vent très faible grâce à un couple de « frottement magnétique » (cogging) très réduit par conception: de l'ordre de 1% du couple permanent
- Bilan énergétique exceptionnel grâce une caractéristique de charge élevée même à vitesse intermédiaire: jusqu'à 50% de la puissance nominale disponible à mi-vitesse.
- Fiabilité et longévité élevées: un MTBF de 100 000 heures et au-delà peut être pris en considération

## 3-Concevoir son éolienne équipée d'un kit d'alternateur STK en entraînement direct

Nous souhaitons donner deux conseils importants liés à la conception de l'éolienne au plan d'une part de sa vitesse de rotation et d'autre part de l'intégration mécanique de l'alternateur:

**Choix de la vitesse de rotation:** à puissance donnée, un alternateur à aimants permanents sera de taille plus petite et donc moins coûteux si la vitesse de rotation à laquelle on souhaite cette puissance est plus élevée. En effet, la taille d'un alternateur en première approche est caractérisée non pas par sa puissance mais par son couple. Afin de s'orienter vers la solution la moins coûteuse, le concepteur d'éolienne devra rechercher son point de fonctionnement nominal à la vitesse la plus élevée possible, tout en restant compatible avec un fonctionnement en entraînement direct sans multiplicateur de vitesse

Prenons l'exemple d'une application d'éolienne de puissance utile de l'ordre de 6 KW obtenue pour une vitesse qui pourrait être de l'ordre de 250 à 350 mn-1. Deux modèles pourraient être envisagés dans le catalogue ALXION: le 300STK4M délivrant 6,6 KW à 350 mn-1 avec un poids de 31Kg et le 400STK3M délivrant 6,6 KW à 220 mn-1 avec un poids de 46 Kg. Il faut donc choisir le 300STK4M qui est de taille plus réduite et moins cher que le 400STK3M.

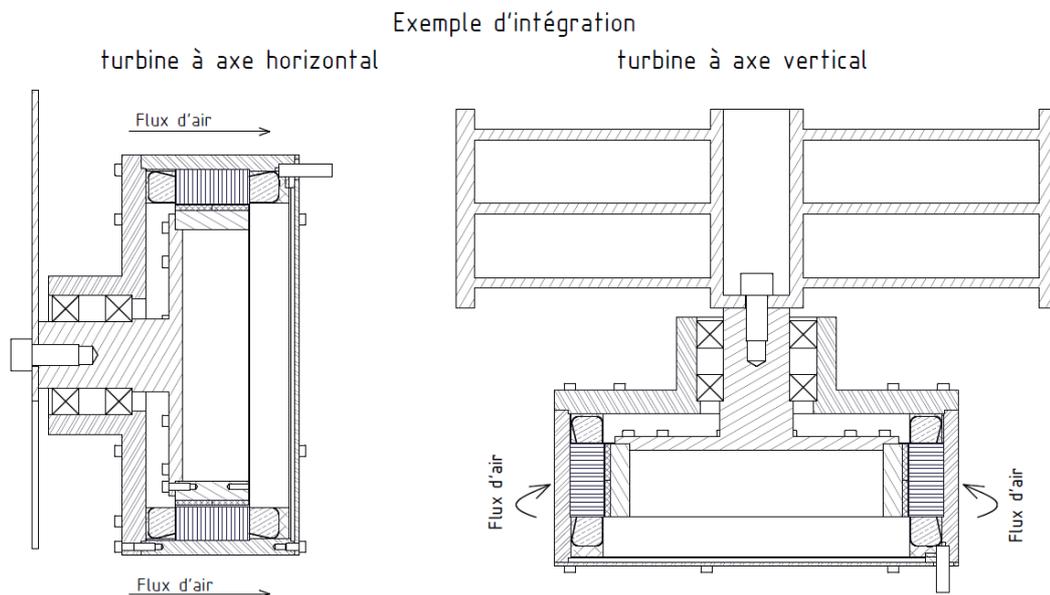


Dans le combat entre éoliennes à axe horizontal et éoliennes à axe vertical, on sait que ces dernières tournent en général à vitesse plus réduite. De ce fait, à puissance donnée, l'alternateur sera plus coûteux pour une éolienne à axe vertical que pour une éolienne à axe horizontal. Cependant, la spécialisation de ces différents types d'éoliennes en fonction de l'environnement fait que les éoliennes à axe vertical seront malgré tout retenues lorsqu'il s'agit d'installations sur un bâtiment ou en milieu urbain.

**Intégration mécanique de l'alternateur:** dès lors que la compacité et le rendement des kits d'alternateurs à aimants permanents ouvrent la possibilité de réaliser des éoliennes avec alternateur en entraînement direct sans multiplicateur de vitesse, il convient de repenser la structure de l'éolienne pour la simplifier, la rendre plus fiable et moins coûteuse. Pourquoi rajouter un alternateur complet avec ses roulements à billes, ses flasques et arbre et les pièces d'interface nécessaires avec la structure de l'éolienne et son arbre principal quand un kit roto-statorique d'alternateur peut être intégré simplement en minimisant le nombre de roulements et les pièces d'interface ainsi que les alignements et concentricités multiples?

Avec les kits roto-statoriques d'alternateurs STK, on peut donc envisager de solidariser le rotor avec l'arbre principal de l'éolienne. Les roulements de l'arbre principal de l'éolienne peuvent porter de l'autre côté le rotor de l'alternateur en porte-à-faux si le guidage assuré par les roulements principaux est suffisamment précis et les tolérances de réalisation mécanique suffisamment précises pour assurer un entrefer sécuritaire à cet assemblage. La surface périphérique du stator du kit est dans l'air ambiant et se raccorde avec le flasque formant boîte à roulements de l'éolienne. Dans ce cas, seul un couvercle de fermeture sans précision est nécessaire à l'arrière. L'étanchéité de la partie interne de l'alternateur est à assurer.

On réalise ainsi une intégration simple avec le minimum de pièces et d'interfaces. Cependant la mécanique d'intégration doit être précise. Les prescriptions relatives à l'intégration des kits sont données dans les Notices de montage spécifiques à chaque gamme.



## 4-Gamme et modèles

Il existe 6 gammes de kits d'alternateurs caractérisées par le diamètre extérieur de carcasse: 145STK, 190STK, 300STK, 400STK, 500STK, 800STK.

### Longueur et nombre de rangées d'aimants:

L'appellation de chaque modèle fait suivre les digits XM où X peut être égal de 1 à 9 selon les gammes. Le sigle XM représente le nombre X de rangées d'aimants au rotor dans le sens axial.

Dans les gammes 145, 190, 300, 400 et 800 on n'assiste dans les tableaux de données qu'à des valeurs XM où X est pair (sauf pour le 400STK3M qui est un alternateur très utilisé ainsi que le 300STK1M, le 500STK3M et le 800STK1M); cependant les modèles avec X impairs existent également; ils n'ont pas été mentionnés par souci de clarification du catalogue. Les puissances peuvent être en première approche interpolées entre 2 modèles XM où X est pair. Vous pouvez demander également à ALXION les données techniques relatives aux modèles comportant un nombre impair de rangées d'aimants.

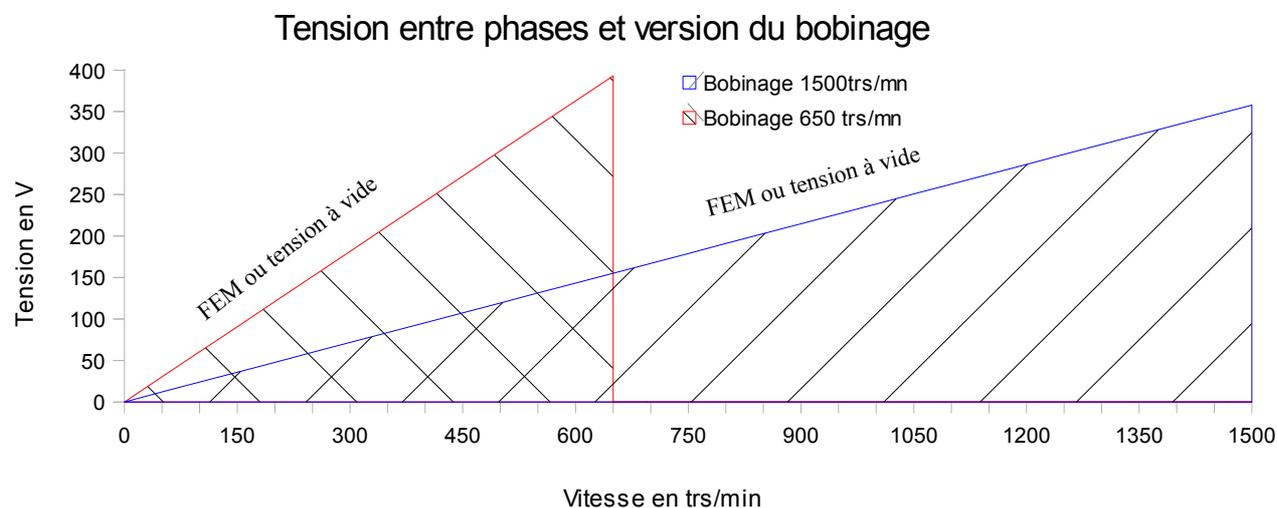
Les dimensions sont données dans le tableau des dimensions pour tous les XM pairs et impairs.

### Deux versions de bobinage:

Pour chaque modèle XM, il existe 2 versions différentes au catalogue caractérisées par 2 vitesses nominales différentes. Ces 2 versions diffèrent seulement sur leur bobinage et leur câblage.

En effet le principe est que les tensions en charge au régime nominal et à la charge nominale soient de l'ordre de 230 V entre phases. A la vitesse nominale supérieure, la puissance est supérieure et, comme la tension au point de fonctionnement nominal est la même sur chaque version, le courant nominal pour la version de vitesse plus élevée est donc supérieur.

On peut prendre l'exemple à titre d'illustration du 145STK4M, disposant d'une version de bobinage 650 mn-1 et d'une version de bobinage 1500 mn-1. La version 650 mn-1 délivre une puissance nominale de 1307 W à 3,2A alors que la version de bobinage 1500 mn-1 délivre une puissance de 3389 W à 8,0 A.



## 5-Characterisation de la puissance nominale, du couple d'entrée et du rendement:

Les conditions de fonctionnement sont les suivantes:

- la charge est considérée comme résistive avec facteur de puissance unitaire et tension sinusoïdale
- la température ambiante est égale à 40°C
- un flux d'air d'une vitesse de 10 m/s baigne la carcasse et la refroidit.

La puissance nominale mentionnée correspond à la puissance électrique maximale délivrable en continu à régime thermique établi pour un alternateur entraîné à la vitesse nominale mentionnée.

### Courbes Puissance nominale-vitesse:

Ces courbes donnent la puissance électrique maximale délivrable en régime permanent ( $P_n$ ) à la vitesse considérée par un alternateur entraîné avec le couple d'entrée nécessaire ( $C_{pn}$ ), avec un flux d'air de 10 m/s refroidissant la carcasse, un facteur de puissance unitaire et une tension sinusoïdale pour une température ambiante de 40°C. Il ne s'agit pas d'une caractéristique de puissance maximale impulsionnelle mais d'une caractéristique de puissance continue.

### Couple d'entrée et dimensionnement des pales:

Afin de délivrer la puissance nominale mentionnée si la charge le permet, il convient que le couple d'entrée sur le rotor de l'alternateur c'est à dire le couple transmis par l'arbre des pales soit au moins égal au couple d'entrée mentionné. A titre d'illustration, on peut considérer le kit d'alternateur 400STK3M qui délivrera la puissance nominale de 6594 W à 220 mn-1 si la charge le permet pourvu que le couple d'entrée soit égal à 347 Nm. Le concepteur d'éolienne devra donc s'assurer que ses pales sont correctement dimensionnées pour appliquer ce couple.

Outre les 2 valeurs de couple d'entrée à puissance nominale, l'une à vitesse nominale et l'autre à mi-vitesse données dans les tableaux de caractéristiques, les courbes de couple d'entrée ( $C_{pn}$ ) à puissance nominale ( $P_n$ ) en fonction de la vitesse de rotation sont données pour tous les modèles.

### Rendement:

Deux points de rendement du kit d'alternateur sont donnés dans les tableaux de données à puissance nominale, l'un à vitesse nominale, l'autre à mi-vitesse.

Les courbes de rendement en fonction de la vitesse sont paramétrées en fonction de 3 niveaux de charge: charge à puissance nominale ou  $C_{pn}$ , mi-charge  $C_{pn}/2$ , quart de charge  $C_{pn}/4$ .

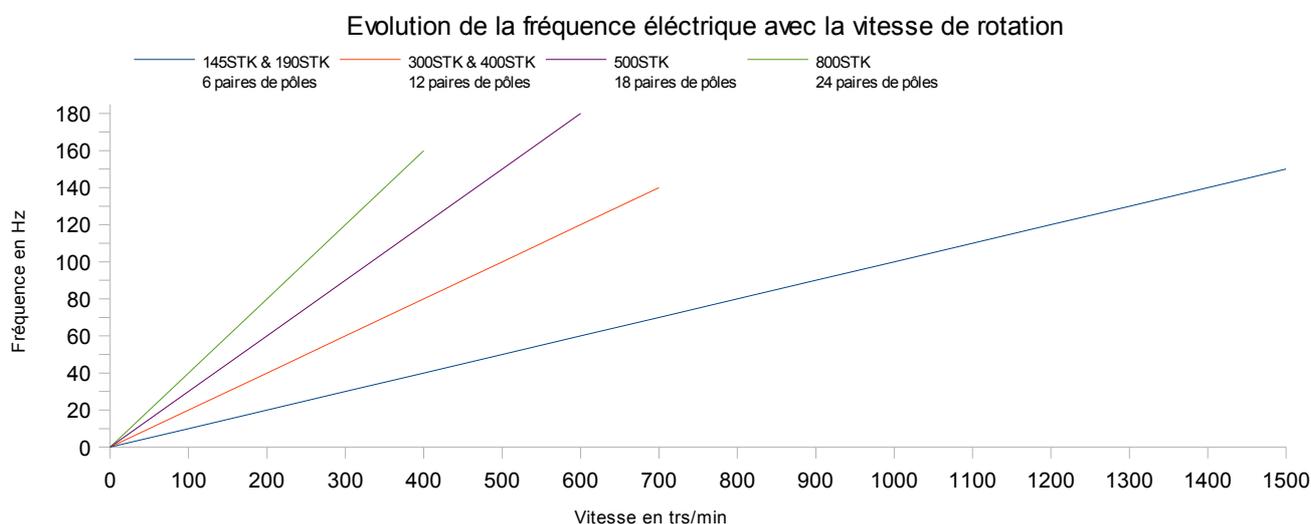
On constate que le rendement maximal n'est en général pas obtenu à la charge à puissance nominale mais plutôt à un couple inférieur.

### 6-Fréquence électrique et nombre de pôles:

La fréquence électrique est donnée par la relation  $f = p * N$   
où  $p$  est le nombre de paires de pôles et  $N$  le nombre de tours par seconde.

Pour les 145STK et 190STK,  $p = 6$ , soit 12 pôles  
pour les 300STK et 400STK,  $p = 12$ , soit 24 pôles  
pour les 500STK,  $p = 18$ , soit 36 pôles  
pour les 800STK,  $p = 24$ , soit 48 pôles

Attention, le nombre de pôles est obtenu en multipliant par 2, les nombres de paires de pôles  $p$  précédents. Ainsi pour un alternateur 400STK3M équipant une éolienne devant débiter sur la bande de vitesse de 70 à 220 mn-1, la fréquence électrique varie entre 14 Hz et 44 Hz.



## 7-Couple d'encochage ou couple de « cogging »

Il existe un couple résistant pour faire tourner un alternateur à aimants permanents à vide que l'on appelle couple d'encochage ou en anglais couple de « cogging ». Ce couple peut être assimilé à un « frottement magnétique »; il provient de l'interaction entre les aimants rotoriques et la denture statorique abritant les bobinages. Les alternateurs STK bénéficient d'un couple d'encochage extrêmement faible par construction, qui est typiquement de l'ordre de 1% du couple permanent. Il s'agit d'une technologie directement héritée des moteurs d'asservissement STK utilisé tous particulièrement dans les machines-outils à commande numérique où l'on doit avoir une rotation extrêmement régulière sans à-coup, aux vitesses de rotation les plus basses, afin d'assurer une précision d'usinage dynamique micrométrique sur des pièces précises. Le catalogue donne le couple d'encochage typique pour chacun des modèles qui peut faire l'objet de dispersions autour de cette valeur.

Grâce à un couple d'encochage extrêmement bas, les alternateurs STK démarrent et commencent à produire de l'énergie électrique avec un vent très faible.

## 8-Tension aux bornes de l'alternateur

L'alternateur est une machine triphasée dont la tension varie en fonction de la vitesse, de la charge et de la température.

Les alternateurs STK sont caractérisés au catalogue par deux tensions:

- Tension à puissance nominale: c'est la tension au point de fonctionnement nominal (vitesse nominale et puissance nominale), à chaud et facteur de puissance unitaire. Comme on l'a déjà vu, cette tension est, sur les modèles du catalogue, de l'ordre de 230 V ac eff. entre phases.
- Force électro-motrice de phase à 20°C: il s'agit de la tension de phase à vide à 20°C, c'est à dire sans charge, à la vitesse nominale. Cette tension est proportionnelle à la vitesse.

**La tension à vide, ou fem, est la tension la plus élevée délivrable par l'alternateur à une vitesse donnée;** lorsque l'alternateur est en charge c'est à dire lorsqu'il délivre de la puissance, sa tension est toujours inférieure à sa tension à vide.

Prenons l'exemple du 400STK3M en version de bobinage 220 mn-1; la tension à puissance nominale est de 247 V entre phases. La tension à vide est de 330 V entre phases. Si l'utilisateur veut commencer à produire à 70 mn-1 (1/3 de la vitesse nominale) et veut produire jusqu'à 220 mn-1, la tension minimale entre phases sera obtenue à 70 mn-1 avec une valeur de  $70/220 * 330$  V soit 105 V et la tension maximale sera obtenue à 220 mn-1 à vide, lorsque l'alternateur ne débite pas, avec 330 V.

Des bobinages avec des niveaux de tension particuliers, différents du catalogue, peuvent être réalisés sur demande; de même des vitesses et charges nominales différentes peuvent être envisagées à la tension nominale souhaitée; il convient alors de contacter ALXION.

### Courbes de tension:

Les courbes de tension donnent la tension à vide à 20°C ainsi que la tension en charge à puissance nominale en fonction de la vitesse pour les 2 versions de bobinage du catalogue, l'une « basse vitesse », l'autre « haute vitesse ».

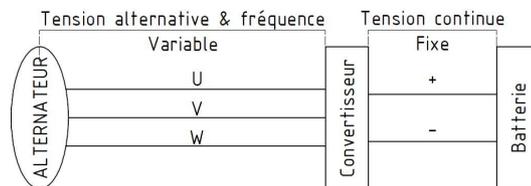
Limite de tension: l'alternateur peut tourner à une vitesse supérieure à la vitesse nominale mentionnée pourvu que sa tension à vide n'excède pas une amplitude de l'ordre de 500 V. Prenons l'exemple du 400STK3M en version de bobinage 220 mn-1; sa tension à vide est de 330 V entre phases à 220 mn-1. On prendra donc soin que la vitesse maximale en fonctionnement n'excède pas  $500 / 330 * 220 = 333$  mn-1

## 9-Applications destinées à la charge de batteries ou au raccordement au réseau

Les considérations du paragraphe 8 montrent que la fréquence varie en fonction de la vitesse et la tension triphasée de l'alternateur est très variable en fonction de la vitesse, de la charge et de la température.

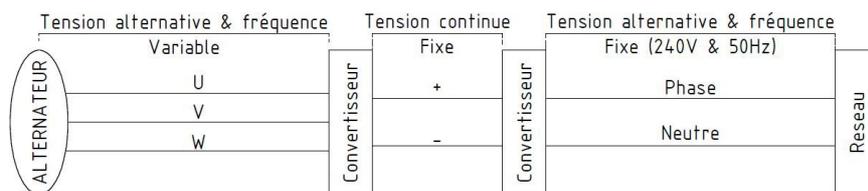
Pour charger des batteries, il faudra donc prévoir un convertisseur électronique d'interface entre l'alternateur et les batteries faisant la conversion suivante: Tension alternative variable / tension continue fixe.

Mentionnons pour mémoire que certains de nos clients utilisent notamment les convertisseurs de POWER ONE, [www.power-one.com](http://www.power-one.com)



Pour le raccordement au réseau, il faudra prévoir un convertisseur électronique d'interface plus sophistiqué entre l'alternateur et le réseau faisant la conversion suivante: Tension alternative variable/Tension continue fixe / Tension alternative et fréquence constantes.

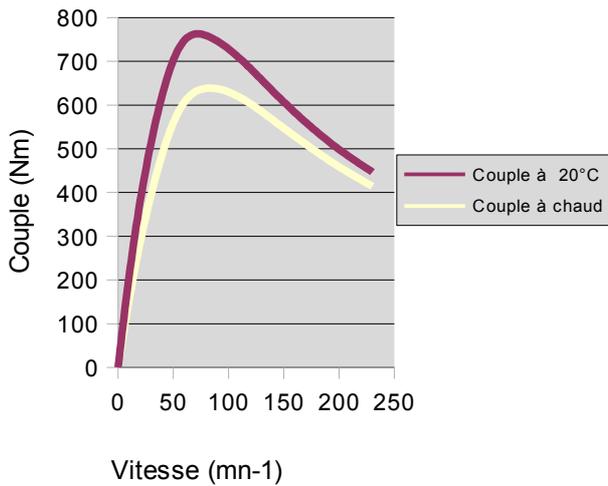
Mentionnons pour mémoire que nos clients dans le domaine éolien utilisent majoritairement les convertisseurs de type redresseur-onduleur et notamment les produits de POWER ONE, [www.power-one.com](http://www.power-one.com). Dans certains cas, les utilisateurs éoliens emploient des variateurs bidirectionnels (permettant le fonctionnement en moteur et en alternateur) à double onduleur pour la connexion au réseau afin de pouvoir avoir un contrôle du couple et une minimisation du bruit. On consultera à ce propos la note d'application sur les moteurs couple ALXION ST et STK.



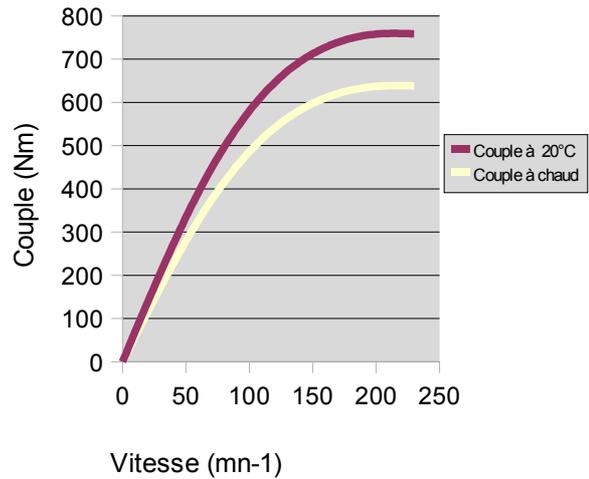
## 10-Freinage par mise en court-circuit des phases d'un alternateur

Il est possible de mettre en court-circuit les phases d'un alternateur afin d'obtenir un couple de freinage. Attention, le court-circuit doit être fait exceptionnellement, de façon impulsionnelle, non-répétitive. Le couple de freinage varie en fonction de l'impédance de charge: court-circuit franc ou court-circuit triphasé sur résistance. De plus, le couple de freinage n'existe que lorsque l'alternateur est en rotation; à l'arrêt le couple est nul. La mise en court-circuit des phases ne saurait donc constituer une alternative à un frein de parking.

Couple court-circuit 500STK2M 150mn-1  
R cc = 0 Ohm



Couple court-circuit 500STK2M 150mn-1  
R cc = 0,25 Ohm



### 11-Sondes thermiques

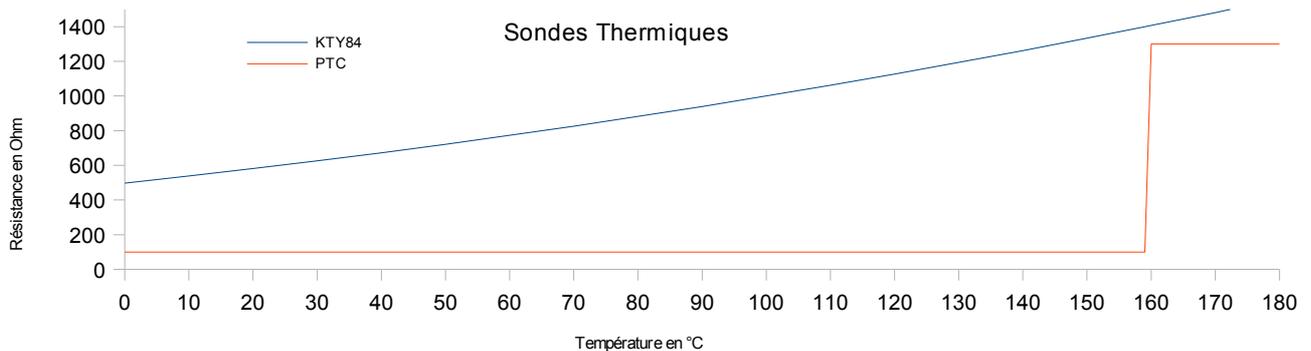
Les kits d'alternateur STK sont équipés en standard de deux types de sonde de température:

- Mesure linéaire de température du bobinage par résistance KTY84 : 575 Ohm à 20°C; 1000 Ohm à 100°C
- Sécurité thermique du bobinage par résistance PTC: résistance inférieure à 100 Ohm en température acceptable; résistance supérieure à 1300 Ohm à partir de 160°C (Température maximum supportée par nos bobinages.)

Les sondes sont connectées à un câble extérieur composé de 2 paires de fils 0,25mm<sup>2</sup>:

KTY84: paire Vert / Jaune

PTC: paire Marron / Blanc



### 12-Principaux utilisateurs des kits d'alternateurs STK

- ENBREEZE, Deutschland, [www.enbreeze.de](http://www.enbreeze.de)
- ENVERGATE Suisse [www.envergate.com](http://www.envergate.com)
- FUTUREENERGY Grande-Bretagne [www.futureenergy.co.uk](http://www.futureenergy.co.uk)
- SEABENERGY Grande-Bretagne [www.seabenergy.com](http://www.seabenergy.com)
- EOLTEC France [www.eoltec.com](http://www.eoltec.com)
- EOLYS-RE France [www.eolys-re.com](http://www.eolys-re.com)
- NHEOLIS France [www.nheolis.com](http://www.nheolis.com)
- FAIRWIND France/Belgique [www.fairwind.be](http://www.fairwind.be)

OCEAN NAVITAS Grande-Bretagne (énergie marémotrice) [www.oceannavitas.com](http://www.oceannavitas.com)  
REWIND Energy Italie [www.rewindenergy.com](http://www.rewindenergy.com)  
MTL-srl Italie [www.mtl-srl.com](http://www.mtl-srl.com)  
SGC ENERGY Portugal [www.sgc.pt](http://www.sgc.pt)  
FINNWIND Finlande [www.finnwind.fi](http://www.finnwind.fi)  
MORPHIC Suède [www.morphic.se](http://www.morphic.se)  
FLEXENCLOSURE Suède [www.flexenclosure.com](http://www.flexenclosure.com)  
VAC DEVELOPMENTS Canada  
WIND SIMPLICITY Canada [www.windsimplicity.ca](http://www.windsimplicity.ca)