

# Notice d'utilisation du tableur de pertes en ligne

## Tripalium

31 mai 2016

Vous trouverez dans ce document les informations nécessaire pour l'utilisation du tableur ainsi que les quelques calculs effectués.

## 1 Introduction

Le document permet de calculer rapidement :

- Les pertes en ligne pour des installations de petites éolienne
- Le dimensionnement des batterie pour une installation en site isolé

Les calculs effectués ne permettent d'avoir qu'une estimation de façon à cibler les ordres de grandeurs mis en jeu mais ne constitue pas une étude poussée de l'installation. L'installation type d'une petite éolienne raccordée au réseau est présentée sur la figure 1. L'éolienne délivre un courant alternatif à trois phase qui passe par un redresseur (par exemple un pont de diode) pour obtenir une tension continue et enfin un onduleur va permettre d'obtenir une tension alternative 220 V qui peut être injectée sur le réseau ou utilisée pour connecter des appareils électroniques. Il est possible d'ajouter une batterie sur le bus continu pour stocker l'énergie. C'est ce schéma que nous utiliserons pour nos calculs.

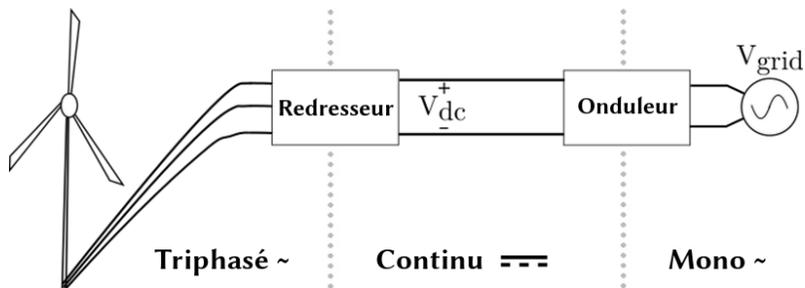


FIGURE 1 – Schéma type d'une installation de petit éolien raccordé au réseau

## 2 Onglet Calcul Pertes

### 2.1 Paramètres

Ce premier onglet permet le calcul des pertes dans les câbles. On peut se placer dans 3 modes de fonctionnement que l'on retrouve sur la figure 1 :

- Triphasé alternatif, avant le redresseur
- Monophasé continu, entre le redresseur et l'onduleur
- Monophasé alternatif, après l'onduleur

Les différents paramètres sont récapitulés dans le tableau suivant :

Puissance	Puissance de l'installation en Watts
Fonctionnement*	Mode de fonctionnement choisi
Matériau*	Matériau de composition des câbles (Cuivre ou Aluminium)
Longueur	Longueur des câbles en mètres
Cos phi	Facteur de puissance de l'installation
Tension Vdc	Tension en sortie du redresseur en Volts
Nombre de câbles	>1 si plusieurs câbles sont mis en parallèle
Type de câble*	Utilisé dans le calcul de la Réactance linéique
Section*	Section du câble en mm <sup>2</sup>

Les paramètres marqués d'une (\*) peuvent être sélectionné à partir d'un menu déroulant. Les valeurs sont compilées dans l'onglet "Caracteristiques cables" qui contient les valeurs standards pour les câbles en aluminium et cuivre vendus dans le commerce.

Les Valeurs calculées par le tableur sont les suivantes :

Tension entre phases	Tension aux bornes des câbles étudiés en Volts
Résistance linéiques	Résistance du câble en Ohms par mètre
Réactance linéiques	En milliohms par mètre
<b>Chute de tension</b>	Chute de tension en Volts
<b>Pertes en ligne</b>	Chute de tension en pourcentage
Courant	Courant qui traverse <b>chaque</b> câble en Ampères
Courant max admissible	En Ampères
Resistance d'un câble	En Ohms
Réactance d'un câble	En Ohms
Puissance dissipée	Puissance dissipée dans les câbles en Watts

## 2.2 Détail des calculs

### – Tension entre phase :

En fonctionnement "Triphasé", la tension en sortie de l'éolienne est donné par la formule de transformation du pont de diode :

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{3}\sqrt{2}}{\pi}V \leftrightarrow V = \frac{\pi}{3\sqrt{3}\sqrt{2}}V_{DC}$$

où  $V$  correspond à la tension efficace en sortie de l'éolienne et  $V_{DC}$  la tension de sortie du redresseur, rentrée en paramètre.

En fonctionnement "Continu", la valeur est directement celle rentrée en paramètre et en fonctionnement "Monophasé",  $V = 220V$ .

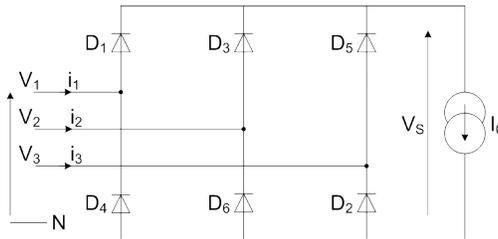


FIGURE 2 – Pont de diode utilisé dans le redresseur

### – Courant :

Le courant est calculé avec la Puissance en fonctionnement. En triphasé :

$$P = 3VI\cos(\phi) = \sqrt{3} \times UI\cos(\phi) \leftrightarrow I = \frac{P}{U\cos(\phi)\sqrt{3}}$$

En monophasé (continu ou alternatif) :

$$I = \frac{P}{U\cos(\phi)}$$

Cette valeur correspond au courant total qui doit transiter. Dans le cas où plusieurs câbles sont utilisés, pour connaître le courant qui passe dans un câble, il faut diviser cette valeur par le nombre de câbles utilisés. Le courant max admissible dans le câble est repris dans les valeurs de l'onglet "Caracteristiques cables".

### – Résistance et Réactance :

La valeur de résistance linéique est reprise dans l'onglet "Caracteristiques cables", la Réactance linéique vaut  $0.13 \text{ m}\Omega/\text{m}$  pour un câble

monoconducteur et  $0.08 \text{ m}\Omega/\text{m}$  pour un câble multiconducteur. Les impédances totales sont ensuite donnés par :

$$Z_{total} = Longueur \times Z_{linéique}$$

– **Chute de tension :**

En monophasé, la chute de tension est simplement donnée par :

$$\Delta U = |Z|i = i\sqrt{R^2 + X^2}$$

ou X est la réactance du câble. Ce terme n'intervient pas lorsque l'on travaille en continu.

En triphasé, on se place dans le cas présenté sur la figure 3. Le

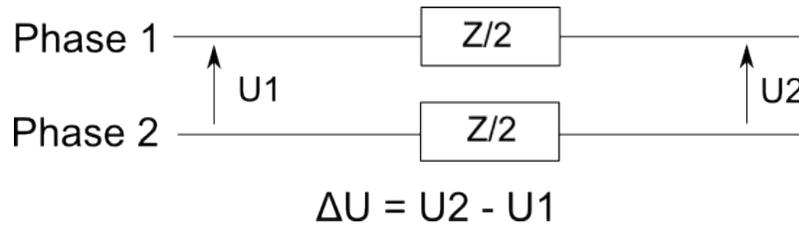


FIGURE 3 – Chute de tension entre 2 phases en triphasé

calcul effectué est alors :

$$U_1 - \frac{Z}{2}i_1 - U_2 + \frac{Z}{2}i_2 = 0$$

$$\rightarrow U_2 = U_1 - \frac{Z}{2}(i_1 - i_2) = U_1 - \Delta U$$

$$\rightarrow |\Delta U| = \frac{|Z|}{2}|i_1 - i_2| = \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{2} \times i|1 - e^{-2j\pi/3}|$$

$$\rightarrow |\Delta U| = \frac{\sqrt{3}}{2}i\sqrt{R^2 + X^2}$$

– **Puissance :** La puissance totale dissipée dans l'installation est donnée par :

$$P = R \times i^2 \times \text{Nombre de câbles}$$

### 3 Onglet Calcul Batterie

Cet onglet permet de dimensionner un parc de batterie pour son installation. Plusieurs références de batteries Plomb ouvert et gel utilisées par Ti'éole ont été rentrées et l'on peut directement les utiliser dans les calculs. Il est aussi possible de rentrer les caractéristiques d'une batterie définie par l'utilisateur.

#### 3.1 Utiliser le tableur avec les références proposées

Pour utiliser cet onglet, il faut commencer par rentrer les paramètres de la demande c'est à dire de la consommation. Il faut pour cela définir quel est votre consommation journalière moyenne en énergie ainsi que les puissances moyenne et maximum de vos installations électrique. Ensuite, l'autonomie du système représente le nombre de jours pendant lesquels la batterie pourrait suffire à la consommation si l'éolienne ne produit pas.

Autonomie du système	Temps pendant lequel la batterie peut suffire aux besoins des appareils électriques
Consommation moyenne	L'énergie moyenne en Wh consommée par jour : multiplier la puissance de chaque appareil par la durée d'utilisation par jour
Tension de fonctionnement	Tension du bus continu en Volts (multiples de 12 en général)
Puissance Max	Puissance maximum en watts (tous les appareils sont branchés)
Puissance Moyenne	En Watts. La puissance moyenne des installations

Ces paramètres vont nous permettre d'obtenir les résultats suivants :

Energie nécessaire	Autonomie × Conso moyenne en kilowatts heure
Capacité nécessaire	La capacité nécessaire pour le parc de batteries
Régime de courant moyen	Le courant moyen fourni par la batterie. Ce régime permet de déterminer le temps de décharge de la batterie
Courant max nécessaire	Le courant max qui doit être fourni par la batterie

Ces paramètres permettent de prendre à la fois en compte **l'énergie totale** que la batterie peut donner et la **puissance instantanée maximum** qu'elle doit fournir.

Il suffit ensuite d'utiliser les différentes références dans le tableau de droite. Un menu déroulant vous permet de sélectionner le modèle. Pour certains modèles, il y a plusieurs capacités nominale disponible. Pensez bien à rentrer la valeur de capacité souhaitée à l'aide du second menu déroulant. Les deux cases suivantes sont ensuite automatiquement remplies, seul le

rendement peut être modifié par l'utilisateur.

Type de batterie	Modèle de batterie parmi les modèles disponibles
Capacité nominale 10h	La capacité à choisir parmi les capacités disponible
Tension de fonctionnement	en Volts, se remplit automatiquement
Décharge max	Courant max que la batterie peut donner en Ampères
State Of Charge minimum	Niveau à partir duquel la batterie est déconnectée*
Pertes	Pertes de la batteries**

\* Les batteries ne sont jamais déchargées en entier et sont coupées de leur charge à partir d'un certain seuil. En mettant par exemple 40% comme State of charge minimum, cela implique que l'on n'utilise que 60% de la totalité de la batterie.

\*\* Le rendement des batterie n'est pas de 100%, en général on compte 10 à 20% de pertes. Ces données peuvent être précisées par le constructeur.

Le fichier va ensuite calculer les différents paramètres du parc :

Régime de courant	Sélectionne parmi les régime de courant disponibles*
Capacité pour ce régime	La capacité de la batterie dépend du régime de courant on a ici la capacité pour le régime en Ampère heure
Capacité réelle	Capacité diminuée par les pertes et le SOC minimum
Nombre d'éléments en série	Pour respecter la tension de fonctionnement
Nombre d'éléments en parallèles	Pour respecter l'énergie totale nécessaire
Surdimensionnement en	Indique le surdimensionnement du parc **
Capacité totale	Capacité du parc de batteries
Courant Max	Courant max pouvant être délivré par le parc
Tension	Tension du parc en volts
Puissance Max totale	Puissance pouvant être délivrée par le parc
Energie totale	Energie pouvant être délivré par le parc

\* Pour chaque batterie, certains régime sont présenté sur la datasheet du constructeur, le fichier sélectionne la valeur la plus proche de celle calculée dans la tableau de droite. Plus les valeurs sont éloignées, plus le résultat est approximatif (cf figure 4).

\*\* Le fichier calcule un nombre d'éléments en série et parallèle qui permettra d'obtenir de meilleurs résultats que la demande. La capacité sera toujours supérieure à la capacité nécessaire de même que la puissance max sera toujours supérieure à la puissance max nécessaire. Comme le besoin est calqué sur l'un ou sur l'autre, un des paramètres est surdimensionné (dans ce genre d'installation, il s'agit en général de la puissance), vous pouvez le vérifier en comparant la puissance maximum du parc à la puissance maximum nécessaire, celle du parc doit être beaucoup plus importante que celle nécessaire. Comparez aussi l'énergie totale à l'énergie nécessaire,

la valeur est parfois beaucoup trop surdimensionnée. En jouant sur les paramètres de la consommation, on peut parfois obtenir des résultats plus proches.

Paramètres de la demande		Paramètres de la batterie	
Autonomie du système	4 jours	Type de batterie	Victron Deep Cycle AGM
Consommation moyenne	1000 Wh / jour	Capacité nominale 10h	120 Ah
Tension de fonctionnement	24 V	Tension de fonctionnement	12 V
Puissance Max	1000 W	Décharge max	678.24 A
Puissance Moyenne	700 W	Rendement	60 %
Energie nécessaire		Régime de courant	33.9 A
Capacité nécessaire		Capacité pour ce régime	101.8 Ah
Régime de Courant moyen		Capacité réelle	61.1 Ah
Courant max nécessaire		Nombre d'éléments en série	2
		Nombre d'éléments en parallèle	3
		<b>Surdimensionnement en</b>	<b>Puissance</b>
		Capacité totale	183.2 Ah
		Courant Max	2034.7 A
		Tension	24 V
		Puissance Max totale	48833.3 W
		Energie totale	4.4 kWh

Ces 2 valeurs doivent être proches.

Les **puissances** et **énergies** de la consommation et du parc de batterie peuvent être comparées.

FIGURE 4 – Exemple d'utilisation du tableur

### 3.2 Rentrer une nouvelle référence

Il est possible de consulter les paramètres des différentes batteries de références utilisées ainsi que de rentrer d'autres paramètres dans l'onglet *Caractéristiques batteries*. Les cases qui apparaissent en jaune peuvent être directement remplies pour être utilisées en choisissant le type de batterie *Définie par l'utilisateur*. Les informations à rentrer sont donc :

- La tension de fonctionnement
- Le courant maximum de décharge
- Les différentes capacités nominale disponibles

Ces trois caractéristiques sont à rentrer dans le deuxième tableau du tableur. Dans le tableau du haut, il faut entrer les temps de décharges pour différents régimes de courants ainsi que les capacités. Il est possible d'utiliser des formules pour calculer ces valeurs en fonction de la capacité nominale choisie dans l'onglet *Calcul Batterie*, c'est le cas pour les modèles Victron dont les capacités sont calculées directement en fonction de la

capacité nominale choisie en amont.

Il est aussi possible de changer directement les valeurs des batteries Rolls et Victron pour constituer une gamme différente de batteries personnalisées. Si les noms sont modifiés, il faut bien penser à modifier le nom en haut à droite de chaque tableau de caractéristique et d'y mettre exactement le même nom que dans les premier et deuxième tableau, sinon les calculs ne fonctionneront plus. Le troisième tableau n'est pas à modifier, il s'actualise automatiquement et est utilisé dans le fléchage des valeurs.

## 4 Contact

Des questions, remarques, ou piste d'améliorations pour ces tableurs ?  
Vous pouvez nous contacter par mail :

*Clem.gangneux@gmail.com    jay@tieole.com*