

FICHE DE BONNE PRATIQUE SUR L'ÉNERGIE REACTIVE DES COURANTS ALTERNATIFS

GT Cogénération

TABLE DES MATIERES

La théorie.....	1
En pratique	2
La cogénération	4
Plage de consigne	4
Réglages.....	5
Cas particuliers.....	7
Le photovoltaïque autoconsommé.....	7
Cas de plusieurs moteurs sur un même site.....	8
Bonnes pratiques d'exploitation :.....	8

LA THEORIE

Un courant électrique fournit une énergie active, c'est la partie de l'énergie électrique convertie en énergie mécanique et/ou chaleur. Ce même courant émet également une énergie réactive, celle-ci correspond à l'énergie stockée dans les champs électriques et magnétiques générés.

En courant alternatif, il existe trois types de récepteur :

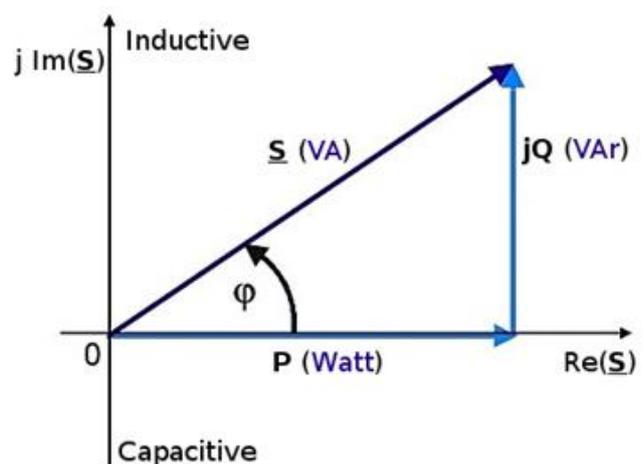
- Des résistances, qui génèrent une énergie active
- Des inductances, ou circuits inductifs qui « consomment » une énergie réactive. Par convention elle est positive ;
- Des condensateurs ou circuits capacitifs, qui génèrent une énergie réactive. Par convention elle est négative.

Par simplification un moteur (pompe, compresseur, broyeur) est composé d'une inductance et d'une résistance. En plus de la puissance active il y a donc une émission de puissance réactive lorsque le moteur fonctionne.

La puissance apparente S , du moteur, est représentée dans le diagramme ci-contre. Elle se décompose en puissance active P et en puissance réactive Q . Le déphasage φ matérialise la répartition entre les deux puissances :

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$Q = S \times \sin \varphi$$



Réalisation

- Adrien DAIN
07 64 75 40 91 – adrien@aamf.fr

Avec la participation de

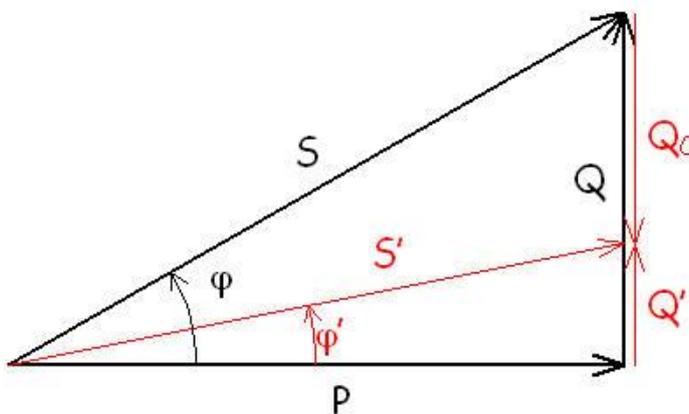
- Adrien Dupont – Clarke Energy
- SARL GAZEA

La valeur de la $\tan \varphi$ explicite le rapport entre l'énergie réactive et l'énergie active.

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

Le réseau exige une puissance réactive faible, notamment pour limiter les pertes et les échauffements dans les câbles et les transformateurs. Le gestionnaire de réseau indique la phase φ à avoir au poste d'injection ou de soutirage. La génératrice possède également une phase φ qu'il est possible de moduler.

Une solution pour absorber la puissance réactive inductive et de générer une puissance réactive capacitive donc de signe opposé. Cette nouvelle puissance « corrige » la valeur de puissance réactive sans altérer la puissance active.



Ci-contre la nouvelle puissance apparente S' après ajout d'un condensateur.

Le condensateur apporte une puissance réactive Q_c inférieure à Q dans l'absolu et de charge opposée. Le conducteur supposé idéal n'a pas de puissance active.

Ainsi on observe une nouvelle phase φ'

EN PRATIQUE

Dans le cas d'un soutirage (consommation d'énergie par un moteur de pompe, compresseur, ...) la puissance totale S (en kVA) a deux composantes, la puissance active, en Watt, et la puissance réactive, en kilo voltampère réactif (kVAR). Sont facturées :

- La consommation de la puissance active P (kWh)
- Ainsi que l'abonnement à la puissance totale S dite puissance souscrite.

Total EDF Electricité		⚡	
Abonnement électricité (HT)	Période	Prix unitaire HT	
Abonnement	du 01/01/2022 au 31/01/2022	56,67 €/mois	
Consommation (HT)	Période	Conso 21 452 kWh	Prix unitaire HT
Electricité Pointe	du 01/12/2021 au 31/12/2021	3 141 kWh	18,694 c€/kWh
Electricité Heures Pleines Hiver	du 01/12/2021 au 31/12/2021	9 041 kWh	13,228 c€/kWh
Electricité Heures Creuses Hiver	du 01/12/2021 au 31/12/2021	9 270 kWh	8,702 c€/kWh

- Une facturation de l'énergie réactive générée (kVARh) a également lieu pour incitation à la baisse.

En d'autres termes tendre la phase φ vers zéro a pour effet de réduire 2 lignes de la facturation (puissance souscrite S et énergie réactive Q).

Pour un autodiagnostic : **Il faut reprendre sa facture, si une ligne « composante réactive » apparaît dans la section « acheminement » ou « utilisation du réseau » c'est qu'il y a un déphasage (énergie réactive).**



Utilisation du réseau de distribution et prestations techniques (identique pour l'ensemble des fournisseurs)

		Quantité
Tangente Phi : 1	du 01/12/2021 au 31/12/2021	
Composante réactive facturée	du 01/12/2021 au 31/12/2021	27 kVArh
Éléments de calcul, pour information	45 kWh (6h-22h)	45kVArh (6h-22h)

C'est sur cette ligne du document que tous les mois **plusieurs centaines d'euros peuvent être facturés** et donc économisés avec les solutions adaptées.

On peut également observer l'énergie réactive émise sur son compteur 4Q (4 cadrans) Enedis. À différencier du compteur de facturation pour l'injection de la cogénération.



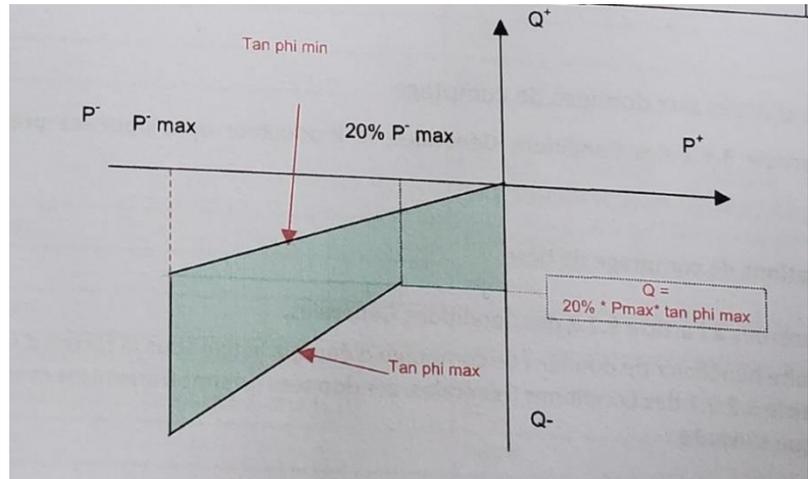
Cette puissance réactive dégage de la chaleur qui peut détériorer le matériel. Il y a également un enjeu sur la prévention de pannes d'équipements électriques dues à l'échauffement.

LA COGENERATION

PLAGE DE CONSIGNE

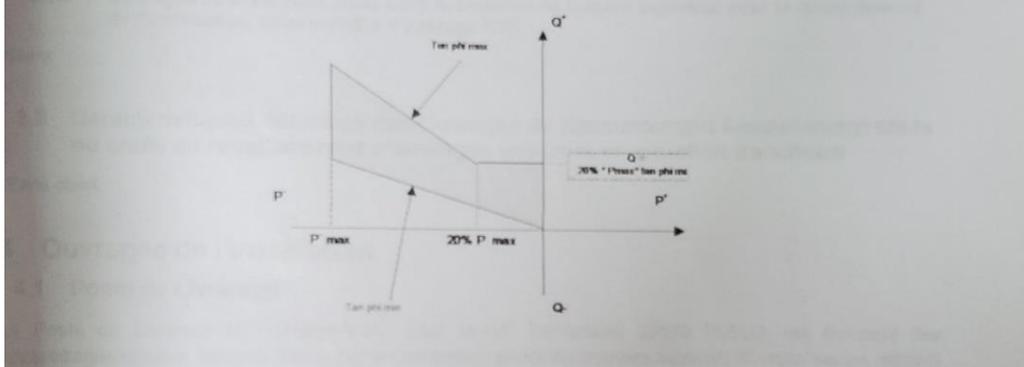
Votre gestionnaire de réseau (Enedis ou autres ELD) impose une plage de $\tan \phi$ à respecter. Celle-ci est normalement indiquée dans votre CARD-i (Contrat d'accès au Réseau Public de Distribution en injection).

Exemples ci-après :



L'énergie active injectée et les énergies réactives injectée et/ou soutirée en période de production sont mesurées et contrôlées pour la période horosaisonnaire spécifiée à partir des index mensuels.

Consigne	Période horosaisonnaire	Coefficient de faible production	Valeur inférieure du seuil (tan phi min)	Valeur supérieure du seuil	
				Plage forte production (tan phi max)	Plage faible production Q (kVAR)
Soutirer	Annuelle	20 %	0.25	0.35	341



La $\tan \phi$ de votre courant injecté peut être lui aussi constatée au niveau du compteur 4Q:



Pour chaque plage de tan φ il est possible de déterminer la phase φ et le cos φ cible avec dans Excel :

	A	B
1	=ATAN(0,31)	0,30060567
2	=cos(B1)	0,95515733

La fonction ATAN() renvoie la valeur de la phase φ . Pour la photo du compteur ci-dessus, le cos φ est de 0,955 (un réglage au millième est préférable).

De manière plus théorique il est possible d'utiliser la feuille de calcul Excel « Simulation tan φ » lié à cette fiche de bonne pratique et disponible sur l'espace adhérent. Le fichier Excel permet de trouver la valeur de cos φ en fonction de plusieurs hypothèses. Pour un site il faut renseigner les cellules violettes :

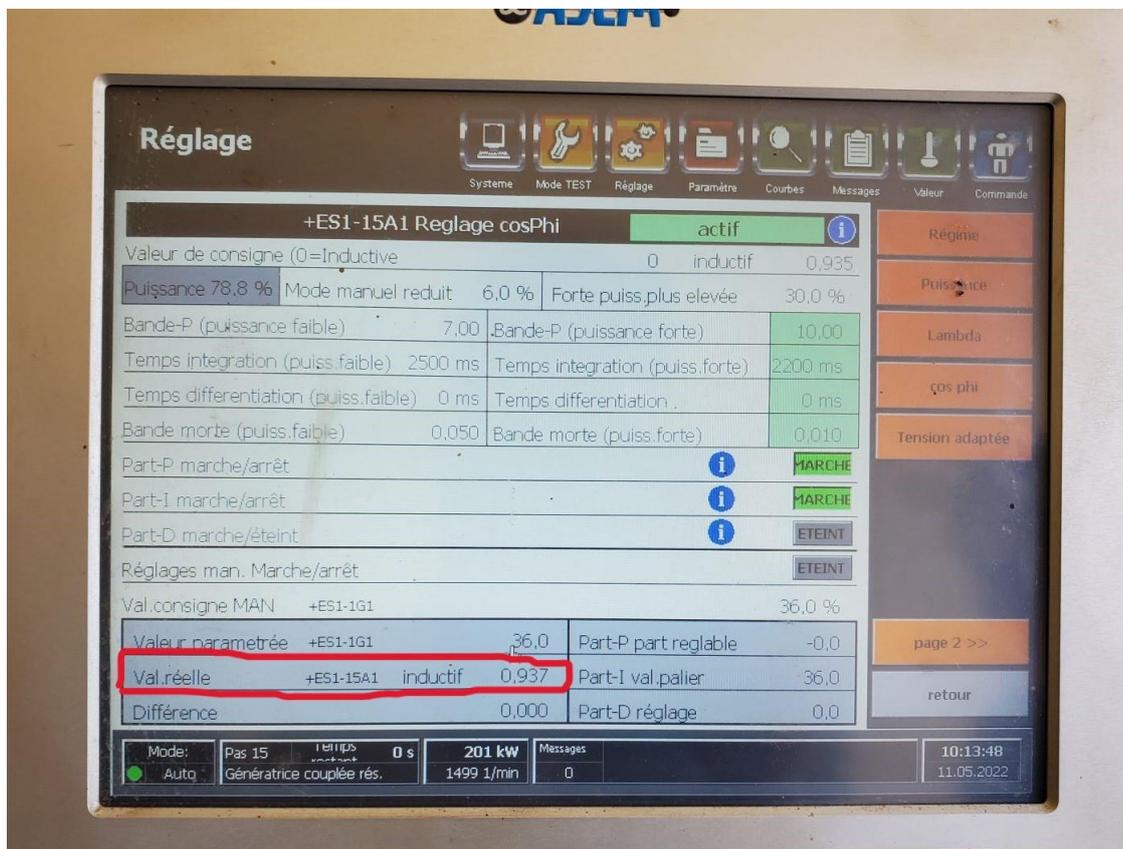
- Puissance du moteur ;
- Puissance des auxiliaires ;
- L'appel de puissance du process et si possible la valeur de son cos φ sinon laisser par défaut 0,86 ;
- La puissance crête des PV s'il y en a ;
- La plage de tan φ souhaitée.

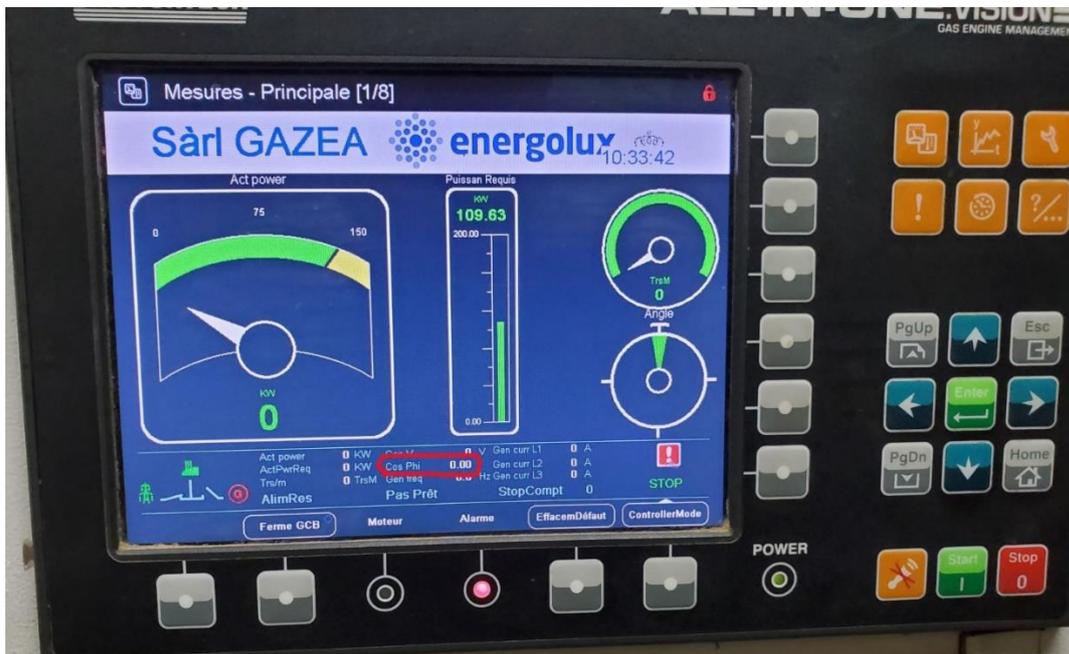
Ce faisant on obtient la tan φ au point de livraison (compteur 4Q) :

tan phi	
0,25<	0,232 <0,35

REGLAGES

Le cos φ est une valeur paramétrable dans l'interface de votre moteur de cogénération relié à la génératrice. À régler en étant guidé par votre motoriste. Exemples d'interface :





CAS PARTICULIERS

Pour certaines génératrices (plus anciennes et sans interface) il faut ajuster la position des potentiomètres à gauche en les tournant : Exiger l'intervention d'un motoriste.



Dans d'autres cas l'énergie réactive à compenser est trop importante pour le moteur en fonctionnement (puissance de l'ordre de 100kWé). Ce qui nécessite l'installation de batterie de condensateurs (capacitif) pour assurer une compensation suffisante. L'actionnement de la batterie de condensateurs se fait par étage, il est moins précis qu'une régulation au moteur.

LE PHOTOVOLTAÏQUE AUTOCONSOMME

La production photovoltaïque est un courant continu. Après passage dans l'onduleur le système PV délivre un courant alternatif de $\cos \phi = 1$ donc uniquement de la puissance active. Des variations dans la journée et en fonction des saisons ont lieu sur cette puissance. Une capacité maximale de production importante (mesurée en kWc) entraîne des variations sur la puissance active tel que ϕ varie au point d'injection et que $\tan \phi$ sort de sa plage cible pour le réseau. Dans ce cas le réactif est également facturé par le gestionnaire du réseau.

À nouveau dans la feuille de calcul « Simulation $\tan \phi$ » on peut renseigner les hypothèses du réseau électrique de son installation. En faisant varier la puissance de production ou *puissance active* du PV (cellule verte) on remarque une forte variation dans la $\tan \phi$. Il conviendra alors de réguler la consigne au moteur sur $\cos \phi$ pour atteindre la valeur de $\tan \phi$ demandée au niveau du compteur 4Q (4 Cardans).

Dans le cas d'une production solaire relativement importante, il n'existe pas de valeur idéale pour la phase de la génératrice. Alors une boucle de régulation peut être installée. Cette régulation permet à la génératrice d'ajuster son cos φ pour permettre de rester dans la plage exigée de tan φ sur le point de livraison malgré une variation de la production du photovoltaïque sur la journée.

La société Clarke Energy donne sur Jenbacher un budget estimatif de <10 k€ pour installer une boucle de régulation sur une installation classique avec une variabilité selon la configuration des lieux.

CAS DE PLUSIEURS MOTEURS SUR UN MEME SITE

Pour un site ayant plusieurs gros moteurs (compresseurs, pompes, broyeurs), leur fonctionnement en simultané entraîne un déphasage important du courant. Il s'agit d'une émission d'énergie réactive inductive. De plus leur consigne en tan φ est différent de celle des injecteurs d'électricité. Ce constat peut arriver sur les gros sites en injection avec une consommation importante d'électricité sur les moteurs pour la compression ou la liquéfaction du gaz.

Encore une fois la batterie de condensateurs est la solution. L'ordre de grandeur de l'investissement pour une batterie est de 10-20 k€.

BONNES PRATIQUES D'EXPLOITATION :

- Relever la tan phi régulièrement (hebdomadaire)
- Relever la tan phi avant/après une maintenance majeure sur l'alternateur
- Faire une audit énergétique sur site