

# Énergie électrique : Explications

Comprendre les fondements de la théorie sur la  
mesure des énergies

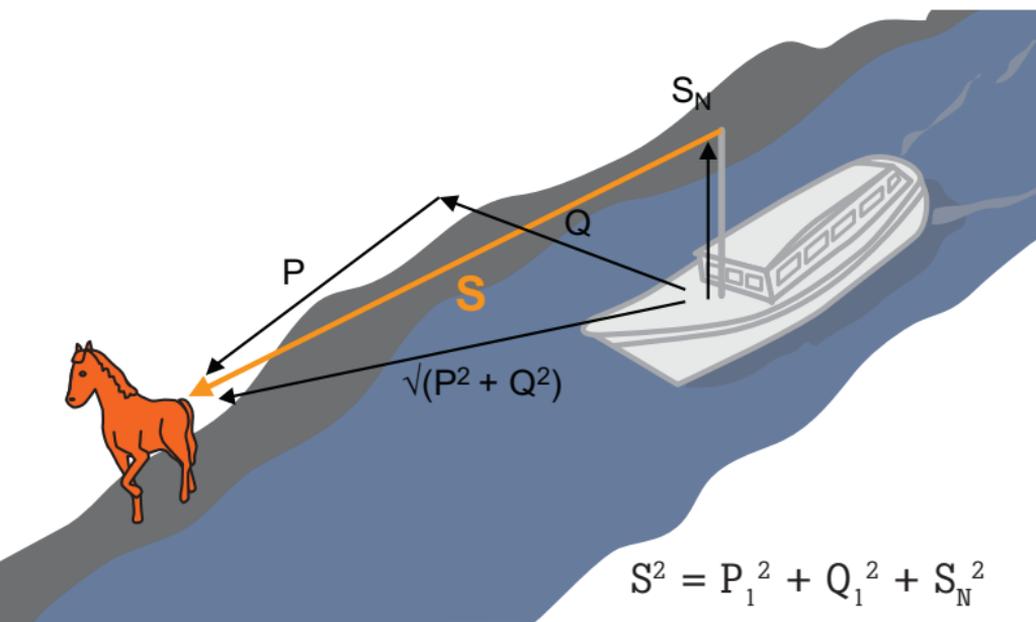




## Introduction

Les applications électriques évoluent rapidement. L'éclairage LED détrône les ampoules à incandescence, les moteurs à vitesse variable remplacent directement les moteurs électriques couplés et les installations photovoltaïques et autres éoliennes génèrent une puissance électrique supplémentaire. Cela signifie que la charge pesant sur le réseau électrique n'est également plus la même. On observe davantage d'harmoniques et le risque de déséquilibre électrique s'en trouve augmenté. Cette énergie « parasite » coûte de l'argent et représente un vrai gâchis énergétique.

Pour résoudre ce problème, nous devons mieux comprendre les perturbations que subit le réseau électrique. Et c'est exactement pour cela que le document « Énergie électrique : Explications » a été rédigé. Il reprend la théorie de base pour comprendre ce qui se passe au niveau des applications électriques d'aujourd'hui.



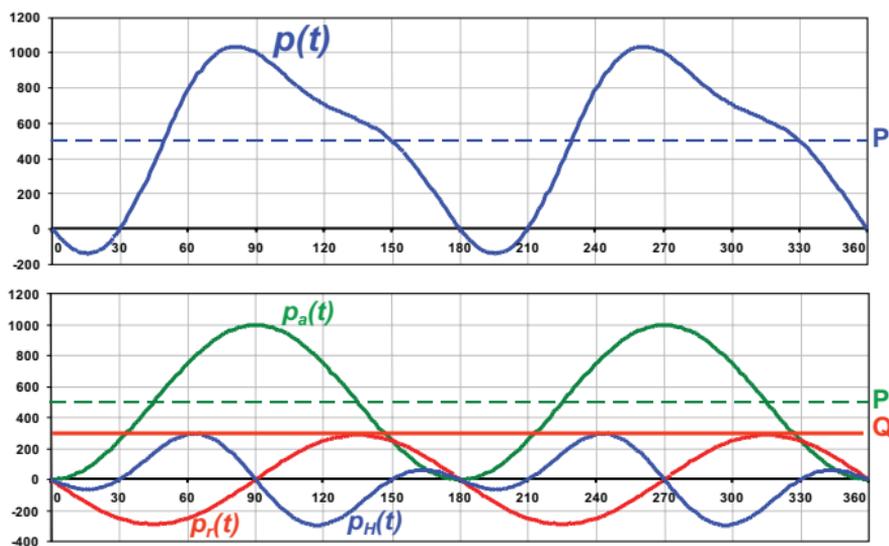
## Puissance apparente

Pour comprendre la relation entre la puissance active  $P$ , la puissance réactive  $Q$  et la puissance apparente  $S$ , analysons cette métaphore bien connue du halage d'un bateau naviguant sur un canal. Le bateau représente la charge électrique, le cheval fait office de générateur et le câble reliant le cheval et le mât correspond au réseau électrique.

Étant donné que le cheval ne tire pas exactement dans l'axe du bateau, mais avec un certain angle, il doit faire face à deux forces : la force  $P$  vers l'avant (désirée) et la force  $Q$  latérale (non désirée). La pression exercée sur le câble, selon Pythagore, est égale à la racine carrée de la somme de  $P$  au carré et de  $Q$  au carré.

De façon similaire, le réseau électrique doit faire face à deux puissances s'il existe un certain angle entre la tension et le courant de charge : la puissance active  $P$ , qui effectue le travail, et la puissance réactive  $Q$ , qui gaspille les ressources du réseau.

Pour compliquer les choses, des composantes harmoniques (SN) sur le réseau, symbolisées par le clapotis des vagues sous le bateau, tirent davantage sur le câble reliant le cheval et le bateau, c'est-à-dire le réseau électrique. Le cheval se fatigue plus rapidement et nous payons ce gaspillage d'énergie électrique.



## Harmoniques

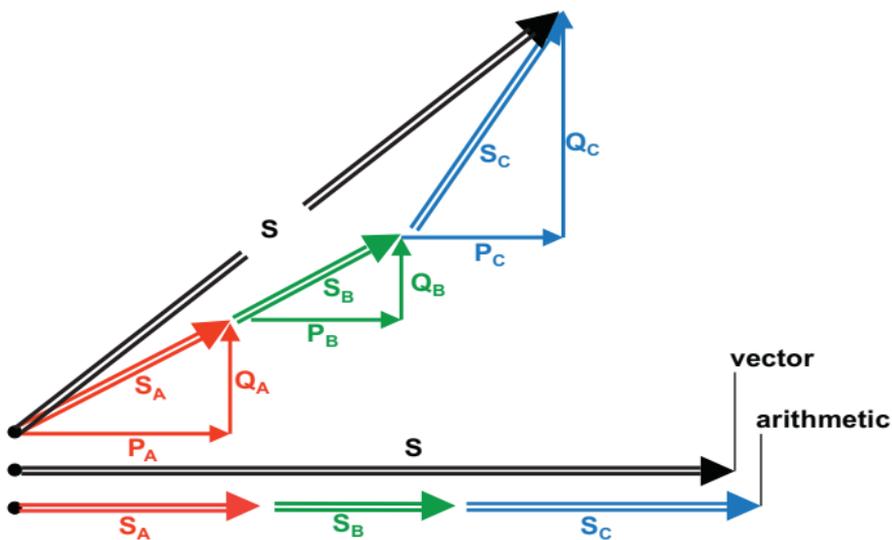
Pour pouvoir palier à ce gaspillage d'argent et d'énergie, nous devons tout d'abord être capables de faire la distinction entre les harmoniques et le déphasage.

Ces phénomènes perturbateurs exigent de mettre en place différentes mesures correctives. Grâce à l'analyse de Fourier, nous pouvons distinguer la puissance fondamentale et les harmoniques. La puissance fondamentale peut être divisée en une partie active  $p_a(t)$  et une partie réactive  $p_r(t)$ . Une fois la puissance fondamentale isolée, il reste les harmoniques  $p_H(t)$ .

La partie active effectue le travail : elle transfère l'énergie utile du générateur à la charge. La partie réactive fait juste rebondir l'énergie entre la charge et le générateur : elle recharge le réseau mais ne contribue pas au transfert d'énergie utile.

Les harmoniques permettent parfois de transférer une certaine énergie vers certaines charges, mais le réseau ne peut pas travailler efficacement en présence d'harmoniques, et cela peut endommager les machines tournantes et les transformateurs.

La puissance réactive peut être compensée avec des condensateurs et les harmoniques avec des filtres passifs ou actifs.



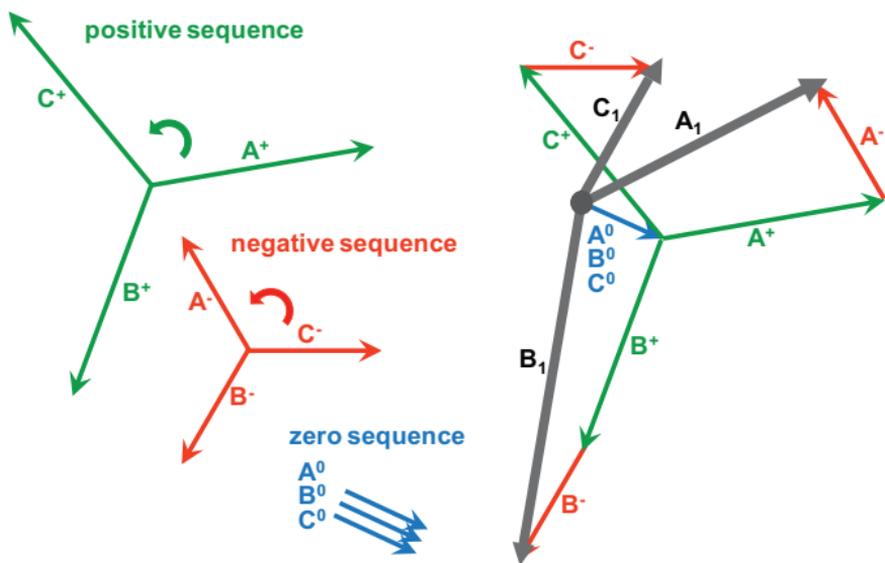
## Déséquilibre

Établir un système à 3 phases est souvent plus compliqué que d'ajouter simplement les résultats de phases distinctes.

Ce schéma illustre les puissances  $P$ ,  $Q$  et  $S$  d'un système à 3 phases déséquilibré. Il montre qu'on obtient une mauvaise réponse quand on calcule la puissance apparente  $S$  d'un système à 3 phases déséquilibré en ajoutant simplement les résultats des différentes phases pour  $S$ . On nomme cela la somme arithmétique.

Bien que nous puissions toujours ajouter les puissances actives  $P$  et les puissances réactives  $Q$ , l'ajout des puissances apparentes  $S$  n'a de sens que si le système est parfaitement équilibré et dépourvu d'harmoniques. Si ce n'est pas le cas, calculer une valeur précise pour la puissance apparente  $S$  du système à 3 phases n'est pas si insignifiant.

Ceci étant dit, d'après ce schéma simplifié, il semble que la somme vectorielle soit la bonne réponse pour  $S$ . On verra toutefois que même cette méthode est un peu trop simpliste. Le déséquilibre engendre une puissance déséquilibrée, ce qui augmente la valeur de  $S$ .



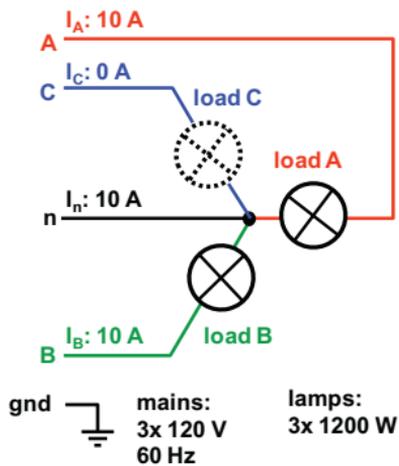
## Composantes symétriques

Si nous voulons étudier l'effet du déséquilibre dans un système à 3 phases, nous avons besoin d'un outil mathématique : la théorie des composantes symétriques élaborée par C.L. Fortescue en 1918.

En bref, elle indique que vous pouvez construire n'importe quel système à 3 phases non symétrique à partir de 3 systèmes symétriques : un système direct (ou séquence positive) avec A, B, C, un système inverse (ou séquence négative) avec A, C, B et un système homopolaire (séquence neutre) dans lequel A, B et C pointent tous dans la même direction.

Le schéma illustre parfaitement la théorie. Notez que les systèmes direct et inverse sont symétriques.

Le système homopolaire est une sorte de système monophasé standard. Le système direct est le seul système qui transfère de l'énergie utile. Il peut faire tourner un moteur. Le système inverse agit comme le frein du moteur et le système homopolaire ne fait que produire de la chaleur. Le système inverse et le système inverse homopolaire additionnés l'un à l'autre aboutissent à un déséquilibre électrique. C'est ce déséquilibre qui augmente la puissance apparente du système en cas de déséquilibre. Un tel déséquilibre dans un système à 3 phases équivaut donc à un gaspillage d'énergie !



2 - lamps (phase)			
	A	B	C
P	1200	1200	0
Q	0	0	0
S	1200	1200	0

2 - lamps (system)			
	Classical	IEEE	UPM
P	2400	2400	2400
Q	0	0	0
S	2400	3600	2939
$S_{IU}$	-	2683	1697

## Méthodes classiques IEEE-UPM

Cet exemple illustre la manière avec laquelle la puissance  $S_{1U}$  influence la puissance apparente  $S$ .

Trois spots de 1200 W sont reliés à un système à 3 phases. Dans une situation d'équilibre, cela signifie 3600 W de puissance active et 3600 VA de puissance apparente. Il n'y a pas de déphasage, donc pas de puissance réactive  $Q$ . C'est alors qu'un des spots grille complètement. La puissance  $P$  restante est égale à 2400 W, mais la puissance apparente  $S$  qui en résulte dépend de la méthode de calcul utilisée.

La méthode classique ignore totalement le déséquilibre. C'est évidemment une erreur car il faut absolument le prendre en compte ! La méthode IEEE en arrive à la conclusion surprenante que la puissance apparente  $S$  ne change pas en présence d'un grand déséquilibre de la puissance  $S_{1U}$ . La méthode UPM (Unified Power Measurement) mène à des valeurs plus modérées pour la puissance apparente et le déséquilibre.

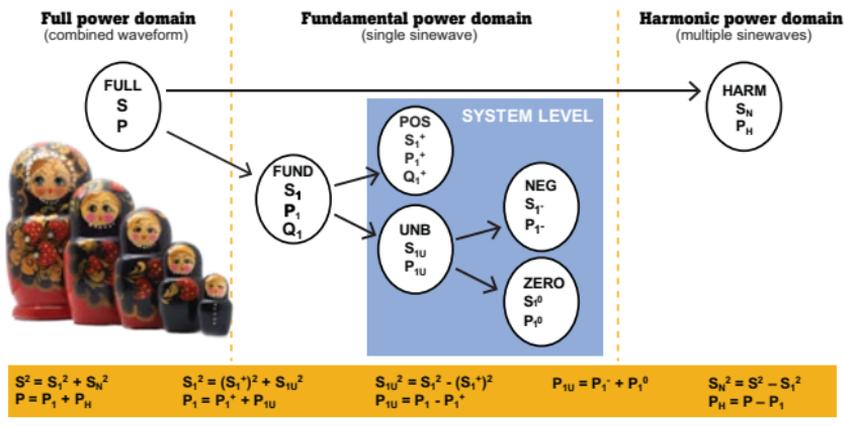
Laquelle des deux est la meilleure ? Difficile à dire. Le débat scientifique autour de la définition de la puissance apparente dans des conditions extrêmes se poursuit encore. Heureusement, les résultats des théories avancées tendent à s'homogénéiser dès que les conditions deviennent moins extrêmes.

## Puissance

Cette image montre comment les puissances peuvent être décomposées en unités plus petites, chacune affichant des caractéristiques spécifiques. Ce procédé permet d'analyser les problèmes de puissance.

Les composantes de puissance s'imbriquent les unes dans les autres, à la manière de poupées russes. Prenons toutes les puissances en jeu, et séparons d'abord les composantes fondamentales. Le reste forme les éléments non-fondamentaux, dont les harmoniques.

Les composantes fondamentales peuvent être encore décomposées, avec un système direct et une partie déséquilibrée. Ce déséquilibre est composé du système inverse et du système homopolaire. En effectuant cette décomposition, nous pouvons analyser les effets individuels des déséquilibres et des harmoniques sur un système d'alimentation. Cela nous permet donc de mettre en place des mesures efficaces pour palier à ces puissances « parasites ».

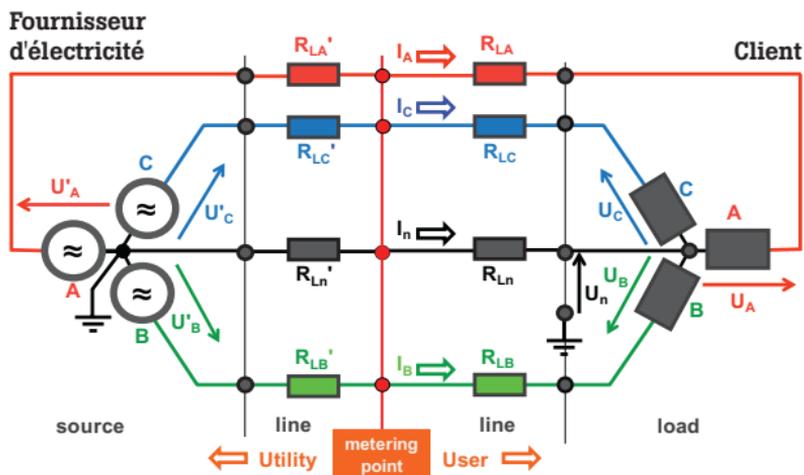


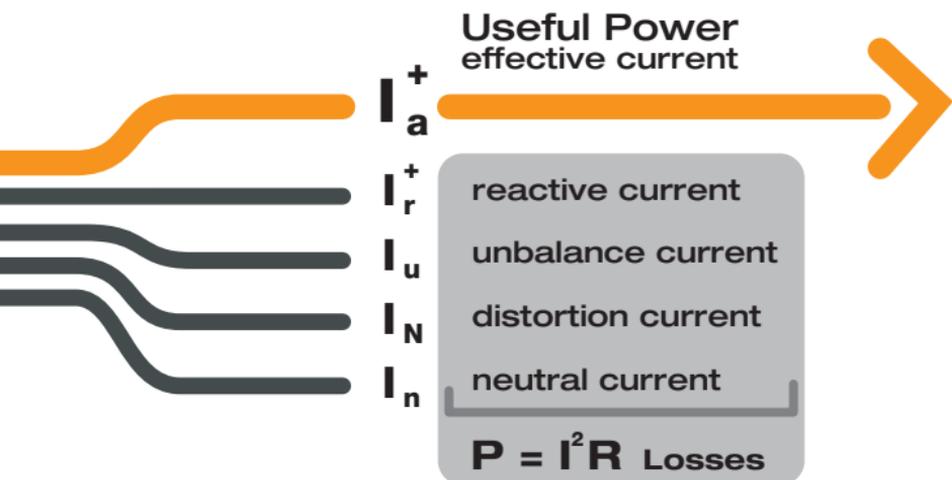
## Fournisseur/Client

La partie Fournisseur du réseau est séparée de la partie Client par le point de mesure. C'est à cet endroit que la quantité d'énergie fournie est mesurée et facturée au Client.

Toute l'énergie qui est payée n'est pas forcément utilisée efficacement. Les courants circulant à travers les fils d'une habitation avec une résistance finie engendrent des pertes  $I^2R$  sous forme de chaleur. Ces pertes sont enregistrées au niveau du point de mesure en tant que puissance active fournie, alors qu'elles ne contribuent pas à la puissance fournie à la charge. Vous payez donc de l'énergie qui chauffe vos fils !

Le Fournisseur inclut l'argent gaspillé dans sa partie du réseau dans le tarif énergétique. Pour minimiser tout ce gaspillage, nous avons besoin d'en savoir plus sur la composition des courants circulant dans les fils. Cela nous aidera alors à mettre en place des mesures correctives efficaces.





## Courant

En séparant le courant en différentes composantes auxquelles peuvent être attribués des phénomènes bien spécifiques, nous pouvons traiter chaque composante de courant de la manière la plus efficace qui soit.

Nous pouvons actuellement identifier 5 composantes majeures, chacun engendrant une sorte de perte. Le courant efficace est le seul à assurer le transport d'énergie utile. Les courants réactif, de déséquilibre et de distorsion ne contribuent pas au transfert efficace de l'énergie à la charge. Les courants de déséquilibre et de distorsion conduisent à des courants neutres qui entraînent des pertes dans le conducteur neutre.

Maintenant que nous avons décomposé le courant, nous pouvons traiter les composants indésirables individuellement. Les courants réactifs peuvent être diminués avec des condensateurs à la charge, les courants de déséquilibre avec un équilibrage de la charge ou à l'aide de circuits d'équilibrage réactifs, et les courants de distorsion avec un filtrage actif ou réactif.

Si on diminue le déséquilibre et la distorsion, le courant neutre diminuera également. Dans l'idéal, il faudrait qu'il n'y ait que le courant efficace  $I_a$  qui cause des pertes  $I^2R$ . On ne peut pas faire grand-chose à ce sujet, à part utiliser des lignes de plus faible résistance.

0:00:35

Due to Load Current	Loss	Cost/yr
Effective 25.6 kW	197 W	293.08 Eur
Reactive 9.6 kvar	28 W	41.66 Eur
Unbalance 20.5 kVA	126 W	187.45 Eur
Distortion 25.1 kVA	348 W	517.77 Eur
Neutral 95.7 A	439 W	653.11 Eur
<b>Line loss</b>	<b>1138 W</b>	<b>1695.07 Eur</b>

06/01/16 11:59:52 230V 50Hz 3Ø WYE EN5 60

SETUP GRAPH METER



## Coût de l'énergie

Le calculateur de perte énergétique de la gamme Fluke 430 series II nous permet de voir tous les phénomènes précédemment évoqués en un clin d'œil sur un seul écran.

Les 5 principaux composants du courant : les courants efficace, réactif, de déséquilibre, de distorsion et neutre sont indiqués avec la puissance totale qu'ils représentent et les pertes associées à chaque composant. Cela permet à l'utilisateur d'établir un rapide constat sur l'état du réseau domestique ou de l'application testé(e).

Idéalement, il ne devrait y avoir que des pertes efficaces. Le rapport des diverses pertes vous aide à vous orienter vers le type de mesures à prendre.

De plus, l'argent gaspillé sur une période donnée est évalué pour chaque phénomène. L'estimation de la somme totale perdue sur une année donne une indication pour savoir si les mesures envisagées sont économiquement viables.

Tout cela est possible grâce à un seul outil, sûr, portable et conforme aux normes internationales !

**Vous avez trouvé cet article intéressant ?  
Contactez votre représentant Fluke pour  
obtenir le programme complet et devenir  
un expert en énergie électrique.**

*Soyez à la pointe du progrès avec **Fluke.***

**Fluke France SAS**

20 Allée des érables

93420 Villepinte

France

Téléphone: 01 70 80 00 00

Télécopie: 01 70 80 00 01

E-mail: [info@fr.fluke.nl](mailto:info@fr.fluke.nl)Web: [www.fluke.fr](http://www.fluke.fr)**Fluke Belgium N.V.**

Kortrijksesteenweg 1095

B9051 Gent

Belgium

Tel: +32 2402 2100

Fax: +32 2402 2101

E-mail: [info@fluke.be](mailto:info@fluke.be)Web: [www.fluke.be](http://www.fluke.be)**Fluke (Switzerland) GmbH**

Industrial Division

Hardstrasse 20

CH-8303 Bassersdorf

Tel: 044 580 75 00

Fax: 044 580 75 01

E-mail: [info@ch.fluke.nl](mailto:info@ch.fluke.nl)Web: [www.fluke.ch](http://www.fluke.ch)

©2015 Fluke Corporation. Tous droits réservés.

Informations modifiables sans préavis.

04/2015 6007320a-fre

**La modification de ce document est  
interdite sans l'autorisation écrite de  
Fluke Corporation.**