# Comment ça marche ?

# Le VECTEUR de POYNTING

Par le radio-club F6KRK

***Beaucoup d'OM ont entendu parler du vecteur de Poynting à propos du principe E-H. Qu'est-ce que ce fameux vecteur ? Nous allons essayer d'en parler sans mathématique compliquée.***

**Grandeurs scalaires et grandeurs vectorielles.**

En physique, comme en mathématique, on considère deux sortes de grandeurs :
Les unes sont dites « grandeurs scalaires ». Ce sont celles qui sont susceptibles d'être représentées par un nombre, dès que l'on a choisi une unité de mesure. Telles sont les longueurs, les aires, les volumes, mais aussi, le temps, les flux…
Les autres sont dites « grandeurs vectorielles ». Ce sont celles qui, lorsque l'on a défini une unité de mesure, sont représentées par un vecteur. Telles sont les forces, les champs électriques et magnétiques, la vitesse d'un point mobile…

**Le vecteur**

Soit le vecteur **V**, formé d'un segment de droite **OA** partant du point **O** et allant jusqu'au point **A**. le point **O** est appelé "origine du vecteur" et le point **A** est appelé "extrémité du vecteur". On représente le vecteur par un segment de droite avec une flèche à son extrémité. La longueur du vecteur est appelé « module ». On appelle « direction » du vecteur, la droite orientée qui le supporte. L'orientation de cette droite est définie par rapport à une droite de référence (sur un plan) ou à deux droites orthogonales (dans un volume). Tout ceci est résumé sur la figure 1.

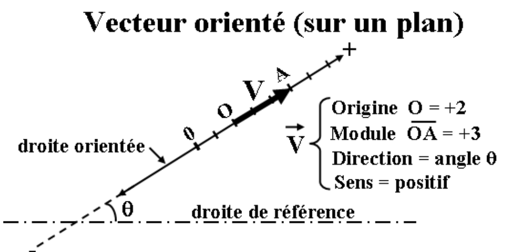


Figure 1.

Les vecteurs peuvent être « libres » si l'on ne tient pas compte de leur origine, et « liés », s'ils ont même origine.
Des vecteurs situés sur un même plan sont dits « coplanaires » et des vecteurs ayant même direction sont dits « colinéaires ».

**Produits de vecteurs.**

Nous laisserons de côté l'addition de vecteurs pour ne nous intéresser qu'à leur produit.

***Produit scalaire.***
On appelle produit scalaire (**V×V'**) des vecteurs **V** et **V'** le produit de leurs modules par le cosinus de l'angle qu'ils font entre eux (compris entre 0 et 180°). En conséquence, le produit scalaire de deux vecteurs orthogonaux ($\theta = 90°$) est nul. Un produit scalaire typique de deux vecteurs est celui qui donne la puissance dissipée par un circuit (partiellement) réactif : **P = U×I×cos(φ)**. Noter qu'ici, φ est un angle de déphasage entre des vecteurs ayant pour modules les scalaires **U** et **I** (1).

***Produit vectoriel.***
Dans un espace orienté, on appelle produit vectoriel (**V∧V'**) de deux vecteurs **V** et **V'**, un vecteur **W** aux propriétés suivantes :

- Son module est égal au produit des modules par le sinus de l'angle que font les vecteurs entre eux.
- Sa direction est perpendiculaire au plan formé par les deux vecteurs.
- Son sens est tel que le trièdre qui le contient avec les autres vecteurs soit positif (2).

Nous avons sur la figure 2 une représentation graphique d'un produit vectoriel.

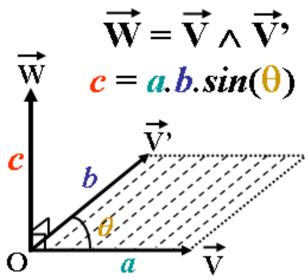


Figure 2.

Noter que si les vecteurs **V** et **V'** sont orthogonaux, le module du vecteur **W** est simplement le produit de leurs modules ($\theta = 90°$ et $\sin(\theta) = 1$).
En électromagnétisme, un produit vectoriel typique est le **vecteur de Poynting**.

**Le vecteur de Poynting**

Le vecteur de Poynting est le produit vectoriel du vecteur champ électrique **E** par le vecteur champ magnétique **H**, tous deux composantes indissociables d'un champ électromagnétique rayonné sous forme d'onde plane (3). La direction du vecteur de Poynting donne la direction de propagation (4) et son module mesure, à une constante près, l'énergie du flux électromagnétique par unité de surface. Si le champ **E** est exprimé en volts par mètre, et le champ **H** en ampères par mètre, l'énergie du flux est obtenue en watts par mètre carré. Noter que le champ électromagnétique n'existe sous forme d'onde plane que loin de la source (à une distance très grande devant lambda) et que cette formule simplifiée du calcul du vecteur de Poynting ne s'applique pas dans la zone proche de la source (l'antenne). En effet, les vecteurs des champs **E** et **H** ne sont ni orthogonaux, ni en phase. On utilise alors une forme complexe (5) du calcul du vecteur de Poynting.

**Le vecteur de Poynting complexe.**

Il est égal à :

$$\vec{\mathbf{R}} = \frac{1}{2}\left[\vec{\mathbf{E}}^{*} \wedge \vec{\mathbf{H}}\right]$$

Ce vecteur comporte donc une partie réelle et une partie imaginaire (par analogie avec les circuits R L C, on dit que la partie réelle correspond à l'énergie active et la partie imaginaire à l'énergie réactive). Le vecteur **E*** est le vecteur conjugué de **E (**c'est-à-dire que si (+φ) est la phase de **E** par rapport à **H**, alors **E*** est déphasé de (– φ) par rapport à **H**). Si les vecteurs **E** et **H** sont en phase, la formule se ramène à celle que nous avons vue plus haut. Si les vecteurs **E** et **H** sont déphasés de 90°, le vecteur de Poynting n'a pas de partie réelle et correspond donc à de l'énergie purement réactive. Si les vecteurs sont déphasés d'un angle compris entre 0 et 90°, le vecteur de Poynting aura alors une partie réelle et une partie imaginaire. La première correspondra à de l'énergie active, la seconde, à de l'énergie réactive (cf. ci-dessus). Le vecteur de Poynting complexe est utilisé pour calculer l'impédance complexe des antennes (en intégrant le vecteur de Poynting, ce qui donne le flux énergétique, qu'on relie ensuite par la loi d'Ohm à l'intensité aux bornes de l'antenne).

**La Rubrique "Comment çà marche" est une activité collective du radio-club F6KRK (http://www.f6krk.org). Pour une correspondance technique concernant cette rubrique : "f5nb@ref-union.org".**

**Notes.**

1) *Le passage entre le temporel et le spatial se fait par l'intermédiaire du cercle trigonométrique qui relie le temps (lié à la vitesse angulaire"ω") à une longueur (celle de l'arc "φ").*
2) *Laissons tomber l'orientation des trièdres pour ne retenir que si l'on inverse la direction d'un vecteur, le vecteur produit inverse sa direction, et si l'on inverse la direction des deux vecteurs, le vecteur produit ne change pas de direction.*
3) *Dans une onde plane, les deux vecteurs champs sont en phase temporellement (sur le même plan) et perpendiculaires entre eux spatialement. Nous avons donc les conditions requises pour effectuer un produit vectoriel.*
4) *La direction de propagation obéit à la règle du tire-bouchon de Maxwell : l'enfoncement du tire-bouchon dans le sens de propagation amène le vecteur E sur le vecteur H.*
5) *Au sens mathématique du terme, comme dans les nombres complexes.*