Dans le photon, tout est bon !

conte écrit par Jean-Pierre Bourdier, F6FQX

Il était une fois un jeune OM qui n'avait jamais compris comment marche une antenne.FQX (c'était son nom) rêvait de devenir minuscule pour pouvoir se faufiler entre les atomes de son antenne et voir ce qui s'y passait. Il y parvint grâce à la potion magique d'un vieil OM, un peu sorcier…

Dialogue avec les électrons

FQX sut d'instinct qu'il était juste à l'extérieur de son antenne : c'était comme un terrain de sport avec une multitude de joueurs agités n'arrêtant pas de projeter dehors une nuée de javelots. « Qui êtes-vous ? Que faites-vous ? Pourquoi le faites-vous ? » demanda-t-il à l'électron le plus proche.

« Nous sommes des électrons et que nous jetons des photons ! Si nous ne le faisions pas, votre antenne ne rayonnerait pas » répondit l'électron.

« Bravo les électrons, vous êtes vraiment très forts pour trouver en vous autant d'énergie et tous ces photons ; vous n'êtes donc jamais fatigués ? »

« Tu sais bien que rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme. Notre propre excitation, ainsi que les photons que nous jetons, c'est toi qui nous les envoies depuis ton émetteur via le tuyau que tu appelles coaxial ; et en amont de l'émetteur, cette énergie vient de… »

« Inutile de me faire un cours en remontant aux lignes électriques, aux centrales, à l'uranium, etc. Ce qui m'intéresse, c'est ce qui se passe dans l'antenne »

« Alors, rentre-s-y dans l'antenne et tu verras qu'il ne s'y passe rien… »

FQX fit alors un pas à l'intérieur de l'antenne, et là, surprise ! Aucun électron agité, aucun photon baladeur, rien que de bon gros atomes immobiles. Quel contraste avec la frénésie de la surface ! FQX pensa tout haut « je n'y comprends rien, on m'avait pourtant dit qu'un métal sous tension grouillait d'électrons s'agitant en cadence, et que ce grouillement cadencé s'appelait courant électrique. Ou êtes-vous donc passés, les électrons ? »

« Ici, tous en première ligne, au contact air-antenne » répondirent en chœur les lanceurs de photons, dont il venait de refranchir la ligne, « dès que tu nous envoies un signal via ton coax, nous nous précipitons tous au front, dès que tu cesses de nous envoyer un signal, nous retournons à l'intérieur»

« Mais pourquoi agir ainsi ? » rétorqua FQX, consterné par ces moutons de Panurge d'électrons.

« Tu te prends pour le Petit Prince qui demande à l'allumeur de réverbères pourquoi il ne cesse d'allumer ou d'éteindre les réverbères ? Nous agissons pour la même raison que lui : parce que c'est la consigne. »

« Admettons la consigne, je récapitule ce que vous m'avez appris sur le fonctionnement des antennes, et vous me dites si j'ai bien compris :

1 - une antenne c'est du métal, c'est comme une cage où, en absence d'excitation extérieure se prélassent des oiseaux appelés électronsu signal, c'est-à-dire dès que de l'énergie arrive par le tuyau appelé coax, tous ces oiseaux se précipitent sur les parois extérieures de la cage ; ils s"y trémoussent en cadence (leur danse s'appelle courant), et projettent dehors l'énergie (reçue avec le signal) sous forme de photons »

2 - au signal, c'est-à-dire dès que de l'énergie arrive par le tuyau appelé coax, tous ces oiseaux se précipitent sur les parois extérieures de la cage ; ils s"y trémoussent en cadence (leur danse s'appelle courant), et projettent dehors l'énergie (reçue avec le signal) sous forme de photons »

Réponse de l'électron : « Pas mal, FQX, mais sois plus précis ; quand tu parles du courant que nous formons en dansant, dis 'courant de conduction'».

« Ah bon, parce qu'il existe d'autres courants ? » questionna FQX, intrigué.

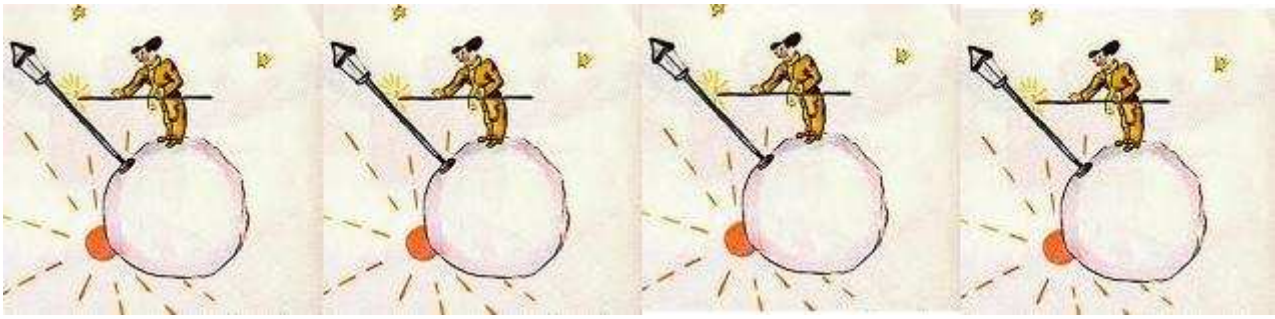
Les électrons : «Stricto sensu, non ! Mais tu as certainement entendu parler de 'courant de déplacement' ? »

« Euh, non ; jamais entendu parler ; si ce courant de déplacement s'appelle courant, c'est que c'est un courant ; et puis, à quel déplacement se réfère-t-on ? »

Les électrons : « Un petit effort d'imagination, FQX ! Aux bornes d'un générateur alternatif, branche en série un ampèremètre, une résistance et un condensateur ; l'ampèremètre t'indique qu'un courant de 10 mA lui passe à travers le corps. En déduis-tu qu'un courant traverse aussi la résistance ? »

FQX : « Je sais que mes connaissances ne volent pas bien haut, mais quand même… Bien sur qu'un courant

traverse la résistance ! Et il traverse aussi le condensateur puisqu'il est en série avec la résistance. »
Les électrons « Bingo, FQX, tu as sauté dans le piège a pieds joints sans même qu'on ait à te le tendre ! Bien sûr que le courant traverse la résistance, mais certainement pas le condensateur puisqu'il y a un isolant, peut-être même du vide, entre ses armatures ; comment des électrons pourraient-ils passer d'une armature à l'autre ? Et s'ils ne passent pas, pas de courant ! »
FQX : « Je suis tombé sur des électrons farceurs ; votre argument du vide entre les armatures du condo ne tient pas, rappelez vous les lampes de la TSF de grand-papa, c'était vide entre cathode et plaque, et pourtant que d'électrons se précipitaient allégrement de l'une vers l'autre »
Les électrons : « Tu mélanges tout, FQX. Dans les lampes circule un courant continu ; essaies donc de faire traverser un condensateur par un courant continu ; essaies aussi d'intercaler un bon isolant entre anode et cathode d'une lampe ; non, dans les condensateurs il ne passe aucun électron d'une armature à l'autre ; ce qui s'y déroule est différent : des qu'un électron de plus vient sur une armature, un autre s'en va de l'armature d'en face, et vice-versa, ce qui fait que tout se passe dans le reste du circuit comme si un courant passait sans qu'il en passe un vraiment ; c'est ce phénomène que, depuis Maxwell, on appelle courant de déplacement (sous-entendu 'de déplacement des charges sur les armatures du condensateur' »



FQX : « Maxwell, quelle horreur ! Je n'ai jamais rien compris à la façon dont il parlait à ses équations, comme il disait ; mais faut-il vraiment en parler pour expliquer ce 'courant de déplacement' ? »Les électrons : « Non, bien sûr ; disons seulement que ce savant a su analyser ce phénomène du 'courant-qui-ne-traverse-pas-un-condensateur-tout-en-donnant-l'impression-qu'il-le-traverse' »
FQX : « OK ; maintenant, je suis un expert en Maxwell ; le courant de déplacement est au courant de conduction (le seul vrai courant d'appellation contrôlée) ce qu'est le Canada Dry à l'alcool ; il a les effets d'un courant, mais n'est pas un courant, puisqu'il est 'sans électrons' ; c'est une sorte de 'courant light' ; il me vient une idée : je vais inventer une antenne qui fonctionne avec beaucoup de 'courant de déplacement' et presque pas de 'courant de conduction'. Une vraie 'antenne light'. Moins besoin de courant, moins besoin d'énergie, moins besoin de centrales. Révolutionnaire, non ? »
Les électrons : « Tu peux être fier de toi, mais si un prix Nobel te guette, ce n'est pas celui de physique. Tu nous fais penser à ces inventeurs d'antennes extraordinaires dont l'indépendance d'esprit à l'égard des lois de la physique est prodigieuse… Etant trop partiaux, nous ne te suivrons pas sur ce terrain, et préférons que tu t'adresses à un photon ; il en connaîtra sûrement un rayon en matière d'énergie ».
FQX : « ça tombe bien, j'ai justement plein de questions à poser au photon ; je le sais champêtre (on m'a dit qu'il prospérait dans les champs) et hésitant (on m'a aussi dit qu'il pouvait être actif ou réactif), mais rien de plus. En tout cas, merci les électrons pour votre patience »
Dialogue avec les photons
Et FQX se tourna vers les photons. Il commença par les observer, et ne put s'empêcher de penser que si les électrons étaient agités, voire fébriles, les photons, eux, étaient carrément 'speed'.
Un photon, qui avait lu dans les pensées de FQX, lui dit : « Tu l'as dit, nous sommes speed, imbattables en vitesse, toutes catégories confondues ! De la Terre à la Lune en une seconde, de la Terre au Soleil en 8 minutes, et certains d'entre nous tiennent ce rythme-là depuis la naissance de l'univers, il y a 15 milliards d'années. »

FQX : « Salut, photon ! C'est l'électron qui m'envoie pour vous poser une question, dont j'ai compris qu'il la trouvait stupide : peut-on imaginer une antenne fonctionnant avec presque uniquement du courant de déplacement, c'est-à-dire sans beaucoup de courant de conduction, donc sans beaucoup d'électrons ? D'après Maxwell, cela semble possible puisqu'il dit que les deux formes de courant ont le même effet.»
Le photon : « De deux choses l'une, FQX, soit tu as trop forcé sur le Maxwell (les équations, pas le café), soit tu es un piètre expérimentateur, et dans les deux cas ce n'est pas bien, venant d'un OM. Il est impossible de modifier son antenne pour 'produire plus de champ électrique et moins de champ magnétique' (ce qui correspond a ton idée de 'plus de courant de déplacement et moins de courant de conduction'). Si tu ne dois retenir qu'une seule chose de Maxwell, retiens que ses équations permettent de conclure que ton antenne, quelle qu'elle soit, ne rayonne pas un champ magnétique et un champ électrique séparés,

mais qu'elle rayonne un champ électromagnétique unique dont on dit par facilité de langage qu'il comprend une partie magnétique et une partie électrique ; ces deux parties sont d'ailleurs identiques, énergétiquement parlant, quelle que soit l'antenne ; vouloir jouer sur ces deux parties, c'est un peu comme prendre une paire de chaussures et vouloir jouer sur la dimension de la chaussure gauche sans agir sur celle de la droite pour améliorer la dite paire…
Mais venons-en au terrain de l'expérimentation ; comment ferais-tu pour produire du champ électrique variable sans courant électrique ? En chargeant et déchargeant un condensateur, mais il te faudrait des fils pour relier le condensateur au générateur (sans compter que le champ électrique est confiné dans le condensateur) ; en ouvrant et fermant (à fréquence hertzienne ?), comme un livre, un condensateur chargé, mais alors les charges vont s'approcher et s'éloigner de l'axe, et tu auras encore créé un courant. »
FQX : « si je comprends bien, on n'a encore rien inventé de mieux que du courant dans des conducteurs pour faire des antennes ; alors à quoi bon se casser la tête avec ces histoires de courant de déplacement, quand on parle d'antenne ? »
Le photon : « et tu sais qu'il s'en est construit des millions d'antennes en un siècle de radio ; mais il faut quand même s'intéresser au courant de déplacement quand on monte en fréquence car alors les conducteurs ont tendance à se déguiser en diélectriques : le cuivre par exemple, autour d'une centaine de GHz est parcouru par un courant de conduction et un courant de déplacement de même importance, et il faut bien tenir alors compte des deux. »
FQX : « je conçois qu'à de telles fréquences, on puisse faire mieux comme antenne qu'une demi-onde tendue entre deux arbres… Mais j'ai une dernière question qui concerne l'énergie que tu propages. On m'a dit qu'elle se mesurait en 'vecteur de Poynting' (d'ailleurs, pourquoi ne pas faire comme tout le monde en la mesurant en Joules ou en kWh ?), et que Poynting c'était comme le cholestérol : il y aurait le bon et le mauvais, l'actif et le réactif ; donc, comme pour le cholestérol, une thérapie de l'aérien transformerait le mauvais en bon, et rendrait l'antenne plus efficace. Qu'en pensez-vous docteur ? »
Le photon : « le cholestérol, ce n'est pas mon rayon, par contre, l'énergie, si ! D'ailleurs, je ne suis que de l'énergie ! Et tout ce qu'on a pu te raconter en matière d'énergie qui serait tantôt active (sous-entendu, bonne), tantôt réactive (sous-entendu, mauvaise), est absurde. L'énergie que je propage sous forme d'onde hertzienne est 'toute bonne' ».
FQX : « autrement dit, dans le photon, tout est bon ! Mais alors, que signifie cette façon de mesurer ton énergie en vecteur de Poynting ? Pourquoi dit-on qu'il peut être actif ou réactif ? Explique-moi ça sans mathématiques, s'il te plait. »
Le photon : « Sans maths, promis ; en fait, mon vecteur de Poynting est ma carte d'identité ; elle contient au moins trois données me concernant
1- la quantité d'énergie que je transporte,
2 - la route que j'emprunte pour la transporter
3 - le sens dans lequel je circule sur cette route

Pour bien comprendre, imagine toi que je suis un camion de transportant 3 tonnes de bananes de Paris à Lyon par l'autoroute A6 et que je suis à Beaune à l'instant actuel ; si tu dessines sur une carte routière. à Beaune, une flèche de 3 cm de long tangente à l'autoroute et dirigée vers Lyon, tu retrouves mon vecteur de Poynting : sa longueur (3 cm) représente la quantité de bananes (3 t) que je transporte, son parallélisme à l'A6 indique la route que j'empruntela flèche (vers Lyon) indique dans quel sens je l'emprunte?
Remplace le camion par un photon (ou une onde, puisque c'est la même chose), les bananes par de l'énergie, etc. et le tour est joué. »
FQX : « Admettons, mais à quoi correspondraient des bananes réactives, qu'on transformerait en bananes actives, en organisant autrement le départ du camion a Paris (c'est-à-dire l'antenne) ? Comment des bananes pourries au départ peuvent-elles devenir bonnes en route ? »
Le photon : « Tu as raison ; si je délivre a Lyon de bonnes bananes, forcément elles étaient bonnes au départ ; je ne propage que de la bonne énergie, donc elle était bonne au départ de ton antenne »
FQX : « Alors, l'énergie réactive, cela n'existe pas ? Tu ne serais pas en train de me refaire le coup du courant de déplacement qui n'est pas un courant, etc. »
Le photon : « Hélas, je crains que si ! Back to basics, FQX ! En physique, on appelle énergie quelque chose de bien précis qui peut prendre plusieurs formes : chaleur, travail, etc. qui se mesure en joules, kWh, électrons-Volts, etc. Ce n'est que par facilité (et donc abus) de langage qu'on emploie l'expression 'il y a de l'énergie réactive en tel point de l'espace' pour dire qu'en ce point le champ magnétique et le champ électrique ne sont pas en phase »
FQX : « Tu m'avais pourtant promis de ne pas parler mathématiques. »
Le photon : « Certes, mais en tant qu'OM, tu dois quand même entendre le mot phase, non ? Je t'explique la chose autrement ; branche une résistance de 10 kOhms à une prise du secteur (220 Volts) : elle sera traversée par un courant de 22 mA, et dissipera par seconde une énergie de 4,84 Joules, c'est-à-dire une puissance de 4,84 Watts, fournie par le secteur. »
FQX : « Et je peux qualifier cette énergie d'active ? »
Le photon : « Si cela te fait plaisir, pourquoi pas, mais cela n'ajoute rien ; en revanche, refais l'expérience en branchant , à la place de la résistance, un condensateur tel que l'ampèremètre indique 22 mA ; tu sais qu'alors tension et courant sont déphasés de 90º, donc qu'aucune énergie n'est dissipée par le condensateur, donc que le secteur ne fournit aucune énergie au condensateur, et pourtant, par analogie avec le cas de la résistance, tu diras 'le condensateur ayant étant traverse par 22 mA et ayant 220 Volts à ses bornes, dissipe une puissance réactive de 4,84 VAR, que lui fournit le secteur' (note bien les VAR, pour Volts Ampères Réactifs, au lieu des watts) ».
FQX : « Si maintenant je transpose ça à l'antenne, j'obtiens quoi ? Résonante, elle rayonne des Watts, non résonante, elle rayonne des VAR ? »
Le photon : « Non, ce serait trop simple ; une antenne, résonante ou pas, se comporte globalement, vue de son entrée, comme une résistance, une self et un condensateur, et dire qu'elle est résonante signifie seulement que 'sa self' et 'son condensateur' ont même impédance »
FQX : « Donc on peut en retirer la self et le condensateur, et tout se passera de la même façon ? »
Le photon : « Certainement pas ! Si, sous prétexte que tout de passera de la même façon, dans tes émetteurs et tes récepteurs tu enlèves selfs et capacités chaque fois que, dans un même circuit, elles ont même impédance, tu vas au devant de déconvenues…. Résumons nous :

- toute l'énergie que rayonne une antenne est de l'énergie active, et toute cette énergie lui a été fournie par le coaxial, qui la tient de l'émetteur, qui la tient du secteur, qui la tient des centrales, etc. Bien sûr, il s'en perd un peu en route car rien n'est parfait, mais ces pertes ne sont pas 'de l'énergie réactive'
- mais au voisinage immédiat de l'antenne, mon vecteur de Poynting est 'un peu de travers' (en termes savants, le champ électromagnétique que je porte a ses deux composantes magnétique et électrique non en phase) ; en reprenant l'analogie du camion de bananes entre Paris et Lyon, son vecteur de Poynting n'est pas strictement parallèle à l'autoroute au départ, mais rassure toi, cela ne concerne que le tout-début du trajet et, passé Villejuif, tout est bien en ligne (les mauvaises bananes ont été larguées et ne seront donc pas transportées…)..

FQX aurait bien aimé continuer ses échanges avec les électrons et les photons dans le microcosme des antennes, mais il n'en eut pas le loisir car la potion magique avait des effets limites dans le temps. Il reprit sa taille normale et contempla son antenne, se disant que, finalement, dans le photon tout est bon.

<u>Bibliographie</u> : je recommande, dans Radio-REF, les excellents articles de Robert/F5NB sur ls antennes et la rubrique "comment ça marche" de F6KRK.

J'avoue avoir également commis quelques articles sur des sujets similaires (disponibles sur http://f6fqx.chez-alice.fr/)

Marie, Chang et les photons (radio-REF novembre 1989)
Cécile au pays des électrons et des gluons (Radio-REF juin 1990)
es 4 formules magiques du Professeur Maxwell Radio-REF mars 1991)
Quel champ électromagnétique près d'une antenne ? (2002)
Ondes et électrons ont bien changé en cent ans ... (Radio-REF avril 2003)
Champs électromagnétiques, chats et boussoles (mars 2004)
Anges et antennes (janvier 2005)
Champ magnétique, champ électrique, carottes et pommes de terre (mars 2005)
Champs et potentiels, deux approches de la théorie électromagnétique (avril mai 2007) : phénomènes indépendants du temps, champs et potentiels des éléments dipolaires électrique et magnétique, phénomènes dépendant du temps, théorie de la relativité et ondes électromagnétiques