

# La fin des électrons et des photons ?

Jean-Pierre Bourdier F6FQX

Felix qui potuit rerum cognoscere causas<sup>1</sup>  
Virgile, Géorgiques, (29 avant J.C.)  
Goscinny et Uderzo, Astérix en Corse, page 22 (1973)  
et La Galère d'Obélix, page 41 (1996)



Electron et photon chassés du paradis (des manuels de Terminale) par l'ange gardien des programmes scolaires ?

Parmi les professeurs de physique court le bruit que le comité des programmes de Terminale S envisage de supprimer à partir de la rentrée 2017 l'enseignement du concept onde-particule pour le remplacer par celui de théorie quantique des champs (QFT)<sup>2</sup>. Cette modification aurait deux raisons : prendre en compte l'évolution des connaissances en matière de physique subatomique et simplifier la description des phénomènes à cette échelle. En tant que radioamateurs, nous n'avons pas à juger de la pertinence d'une telle modification des programmes.

En revanche, nous pouvons nous interroger sur notre capacité à attirer des jeunes vers notre hobby si, au sein des radio-clubs, nous ne parlons plus le « langage électromagnétique » qu'ils auront appris au lycée. Dit autrement, si, pour ces jeunes, les mots « électrons, photons, etc. » n'évoquent que des « vieilles lunes », saurons-nous communiquer avec eux ?

La scène se déroule un samedi après-midi de décembre 2017 dans un radio-club avec trois protagonistes : une nouvelle élève qui prend sa première leçon de technique, Léa (17 ans, élève de Terminale S depuis quelques semaines, qui veut devenir radioamateur) ; un OM « mûr » ; Marc (45 ans, formateur au club et professeur de physique « dans le civil »), un « vieil » OM, Michel (75 ans, formateur aussi, ancien technicien en électricité).

**Marc :** Bonjour Léa, bienvenue au club et dans le monde des radioamateurs. Ton grand-père, OM lui-même, nous a annoncé ta venue. Grâce à lui, tu dois déjà savoir beaucoup de choses.

**Léa :** Bonjour à vous deux, Michel et Marc. Mon grand-père est un passionné ; il m'a fait lire beaucoup d'articles de Radio-REF, en particulier ceux de F5NB et de F6FQX. Leurs articles, comme la passion de mon grand-père, m'ont donné envie de me mettre aussi à la radio.

**Michel :** Super ! Ton niveau scientifique va nous faciliter la tâche. Mais si nous te disons quelque chose qui n'est pas clair, n'hésite pas à nous interrompre. La radio, c'est fondamentalement une histoire de photons et d'électrons...

**Léa :** Stop ! les électrons et les photons, ça n'existe plus. Pourquoi en parler encore ?

**Michel :** Pardon... ?

**Léa :** Au lycée, le prof de physique nous l'a dit. Depuis la dernière rentrée, plus de photons, plus d'électrons, puisque ça correspond à des théories anciennes et dépassées.

**Michel :** Si c'est ton prof qui te l'a dit, c'est que c'est vrai, mais je vais passer la parole à Marc ; ça tombe bien, il est lui-même prof de physique.

**Marc :** Léa, s'il te plaît, sans formules mathématiques (nous les avons bannies au radio-club, car elles font l'effet d'épouvantails sur les élèves), peux-tu nous dire en quelques mots ce qu'a dit ton prof, car je doute quand même qu'il ait été aussi abrupt que ça ?

**Léa :** il a dit qu'il suivrait le nouveau programme à la lettre...

**Michel :** Voilà un prof sérieux !

**Léa :** il a dit aussi qu'il faut vivre avec son temps, qu'en physique les théories évoluaient avec le progrès des connaissances et que l'enseignement devait coller à ce progrès...

**Marc :** de plus en plus sérieux, ce prof !

**Léa :** il a dit que quantum et théorie quantique des champs remontent quand même à 1929 (Heisenberg et Pauli), et qu'il est donc normal qu'enfin on l'enseigne puisque cette théorie n'a jamais été prise en défaut, malgré d'innombrables expériences.



Wolfgang Pauli, prix Nobel de physique (1945), et Daniel Craig, acteur, vedette de « Quantum of Solace » (2008) ont en commun d'avoir fait connaître au public la notion de « Quantum », Pauli en physique, Craig en réconfort (en anglais, « solace » pour James Bond.

L'électron date de 1897 (avec Thomson) et le photon de 1905 (avec Einstein), ce qui est quand même plus ancien.

**Michel :** le mot « quantum » me fait penser au film de James Bond « Quantum of Solace » avec Daniel Craig en vedette<sup>3</sup>.

**Marc :** entre Einstein et James Bond, il y a de la marge... La notion de champ en physique est encore plus ancienne que celle d'électron et de photon puisqu'on la date généralement de 1861 (Maxwell et ses célèbres équations), voire de Faraday lui-même (1838) ?

**Michel :** Sans parler de la théorie des quanta en 1918 avec Planck (date de son prix Nobel).

**Léa :** C'est bon, cessez de me bizuter ! On m'avait dit que les radioamateurs étaient des vieux (ne se désignent-ils pas eux-mêmes comme des OM ?), sympathiques mais portés à faire étalage de leur science, même si elle date un peu. J'ai donc voulu, moi aussi, pontifier, mais je m'aperçois que vous en savez plus long que ce qu'on m'a dit. Excusez-moi !

**Marc :** Non, Léa, ne t'excuse pas ; par tes questions, tu nous obliges à nous en poser nous mêmes. Et c'est ça qui est bien. Le code de conduite des radioamateurs, écrit en 1928 par Paul Segal (W9EEA) ne dit-il pas que « *The radioamateur is PROGRESSIVE... with knowledge abreast of science, FRIENDLY...with friendly advice and counsel to the beginner... Such are the hallmarks of the amateur spirit* »<sup>4</sup>. N'est-ce pas, Michel ?

**Michel :** Tout à fait d'accord. J'ai commencé la radio il y a plus de 60 ans en remplaçant la 6A7 (quelle belle lampe !) du poste PO-GO de mon grand-père et je n'ai cessé depuis lors d'apprendre avec passion « comment ça marche » comme dit F5NB.

J'ai envie de continuer encore : Marc, dis-nous ce qui se trame derrière ce combat « électrons et photons contre champs quantiques ». Sans maths, et sans remonter au déluge, s'il te plaît !

**Marc :** Le débat ne date pas d'hier puisqu'il renvoie 26 siècles en arrière ; deux thèses philosophiques s'affrontaient alors quant à la nature de la matière : d'un côté, Empédocle puis Démocrite la considéraient comme formée de particules élémentaires insécables qu'ils nomment « atomos » (ce qui signifie « indivisibles » en grec de l'époque), de l'autre côté Aristote affirmait qu'elle était divisible à l'infini. Et c'est finalement le point de vue d'Aristote qui a prévalu pendant plus de 2000 ans, faute de moyens expérimentaux de vérification.

**Léa :** Empédocle, Démocrite, Aristote, si ce n'est pas le déluge, ça n'en est pas loin !

**Marc :** Tu as raison, abrégeons ! Lectrice des articles de Radio-REF, tu as certainement lu ceux qui parlaient des grandes découvertes des XIX<sup>ème</sup> et XX<sup>ème</sup> siècles sur « l'infiniment petit<sup>5</sup> » ; tu en sais donc suffisamment sur la relativité, la dualité ondes-particules, la physique quantique, la pomme de Newton, le démon de Maxwell, le train-fantôme d'Einstein, le chat de Schrödinger...

**Léa :** Stop ! Vous voilà reparti dans un historique de la physique. Votre exposé rappelle les séries policières à la télé quand le commissaire demande au légiste de quoi est morte la victime, et que le docteur se lance dans une longue explication en commençant par faire l'historique des médecines forensiques... La commissaire s'écrie alors : « Stop, toubib ! Au but tout de suite ! »

**Michel :** Je donne raison à Léa. Pourquoi dit-on aujourd'hui « l'électron est mort, place aux champs quantiques » ? Est-ce du lard ou du cochon ?

**Marc :** A deux contre un, je me rends. La physique quantique des champs est aujourd'hui la théorie, jamais encore prise en défaut par l'expérience malgré des résultats qualifiés de contre-intuitifs par certains, qui explique le plus grand nombre de résultats. Mais elle ne condamne pas pour autant photons et électrons comme Léa l'a, semble-t-il, retenu à tort de ses cours de physique (je reviendrai plus tard sur cette problématique de théories qui ont chacune leur « domaine de compétence »).

Que dit cette théorie, très grosso modo et presque sans maths, c'est promis :

- la physique est une science expérimentale, dans « l'infiniment petit » comme ailleurs ;
- elle décrit des phénomènes qui se situent dans un espace et un temps donnés ;
- elle les décrit avec des outils mathématiques qui permettent la prévision.

Deux exemples simples pour bien comprendre ce triptyque fondamental :

#### 1- la théorie des lois de Newton sur le mouvement des corps et la gravitation :

- (avec mesures précises) des astres et de la chute des corps ;
- espace/temps : selon Newton, temps et espace indépendants (2 invariants  $X^2 + Y^2 + Z^2$  et  $T$ ) ;
- outils mathématiques : différentielles et intégrales (dérivées espace par rapport au temps).

#### 2- les théories de la relativité restreinte (1905) et générale (1915) d'Einstein :

- expérimentation : expériences électromagnétiques inexplicables « à la sauce Newton » ;
- espace/temps : selon Einstein, temps et espace liés (invariant unique «  $X^2 + Y^2 + Z^2 - c^2.T^2$  ») ;
- outils mathématiques : calcul tensoriel et équations aux dérivées partielles non linéaires.

Dans la théorie quantique des champs, on retrouve ce triptyque :

- expérimentation : innombrables expériences, à commencer par ces particules qu'au LHC<sup>10</sup> on fait se heurter à 99,9999991 % de la vitesse de la lumière pour « en faire naître d'autres » ;
- espace/temps : bien sûr, celui de la relativité (le chiffre qu'on vient de citer l'atteste) ;
- outils mathématiques : c'est là que « le bât blesse » car ils sont à la fois d'un niveau très élevé (BAC +n avec n très grand...) : espaces de Fock, produits tensoriels d'espaces vectoriels, opérateurs hermitiens en dimension infinie, fonctions d'onde, dalembertiens, etc. et sans analogies simples dans les maths élémentaires (celles du lycée par exemple).

De là à dire ou écrire que la physique quantique n'est que « du vent » et que les scientifiques qui s'y adonnent abusent de la crédulité de leurs

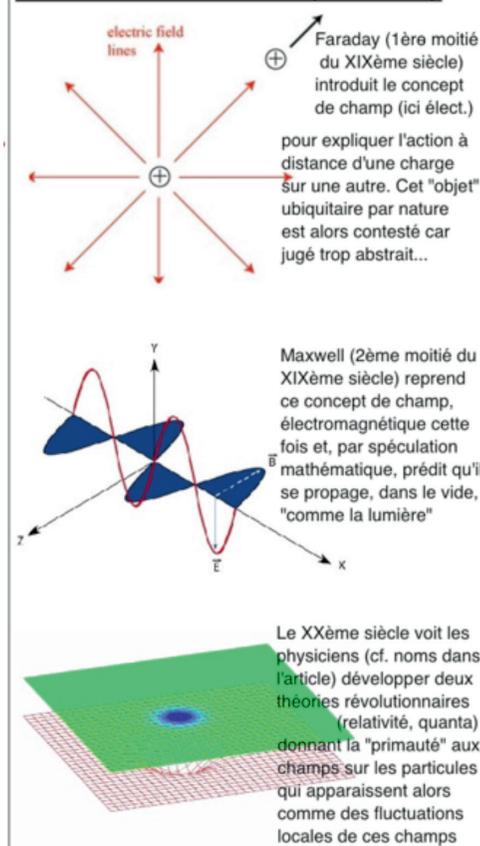
contemporains qui, eux, n'y comprennent rien, il n'y a qu'un pas que certains franchissent allègrement. Ne trouve-t-on pas, sur Internet des sentences au nom de l'ontologie telles « *la physique quantique est un royaume d'ombres parcouru par des imbéciles qui se battent contre d'autres demeurés pour sauvegarder une science absurde et inutile* ». Mais, de tout temps, les progrès techniques ont dû affronter ce genre d'anathème ou d'incompréhension<sup>11</sup>. Plus précisément, en ce qui concerne la science, en réaction à ces critiques, il faut se souvenir que « *la force de la science réside dans sa modestie ; elle ne se hasarde pas à tirer des conclusions sur le réel ou l'irréel ; elle s'en tient à des conclusions pratiques sur la possibilité de faire des prédictions de plus en plus fiables sur la base de modèles de représentation de la nature* ».

**Léa :** Bon, mais dans tout ça, comme disait Michel, en quoi les champs quantiques sont-ils mieux que les électrons ? Lard ou cochon ?

**Marc :** La théorie des champs quantiques est, pour l'instant, le meilleur cadre de cohérence capable d'expliquer et de prévoir tous les phénomènes observés dans « son domaine de compétence », en particulier l'annihilation de particules, leur création à partir du vide<sup>12</sup>, la dualité onde-particule, l'existence de quanta pour tous les observables y compris les champs eux-mêmes, etc.

D'où l'idée que l'apparition de particules, y compris douées de masse, est due à « un avatar local » des champs : dit autrement, contraire-

#### Très brève histoire du concept de champ



ment au paradigme d'il y a 100 ans et plus, ce ne seraient pas les particules qui engendrent les champs, mais le contraire. Donc, en raisonnant d'abord « champ », on en déduit les particules puisqu'elles en découlent.

**Michel :** Tu sais que ton histoire est un peu celle de la poule et de l'œuf (à défaut de lard et de cochon).

La particule crée un champ qui crée

la particule, qui crée un champ, etc.

**Marc :** Pour élever un peu le débat, disons qu'en physique une théorie a « son domaine de compétence », même si les théories s'emboîtent ou sont « tangentes » les unes aux autres : Einstein n'a pas discrédité Newton, il a fondé une théorie dont celle de Newton était un cas particulier (adapté au cas où les vitesses sont très inférieures à celle de la lumière). Léa, dans ton cours de physique tu entendras certainement parler de théorie quantique des champs, puisque c'est au programme, mais aussi d'électrons et de photons. Chaque outil a sa place, Michel t'expliquera qu'électron et photon sont « de bons outils » pour les radioamateurs.

**Léa :** Merci à vous deux, je sens que je vais avoir des thèmes de discussion intéressants avec mon prof de physique, grâce à vous. On en apprend des choses dans un radio-club !

**Michel :** A ce propos, reprenons.

Je disais donc que la radio, c'est fondamentalement une histoire de photons et d'électrons, sans oublier les champs, eux-aussi...

#### NOTES :

1 - Heureux celui qui a pu pénétrer les causes secrètes des choses.

2 - QFT : Quantum Field Theory (théorie quantique des champs).

3 - Ian Fleming, quand on lui demandait « pourquoi ce titre de « quantum of solace » ? (en français, « quantum de réconfort » répondait « parce que tout être, même Bond, a parfois besoin d'une quantité minimum de réconfort ».

4 - Le radioamateur maintient ses connaissances scientifiques à niveau ; il prodigue amicalement avis et conseils aux débutants ; ainsi se caractérise l'esprit amateur.

5 - Quelques articles qui sont aussi sur mon site 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, mars 1990)

Ondes et électrons ont bien changé en 100 ans (Radio-REF, avril 2003)

Champs et potentiels... théorie de la relativité et ondes électromagnétiques (Radio-REF, 2007)

Radio, ondes, électrons et physique quantique (Radio-REF, juillet-août 2012)

La radio, mère de la radioactivité (Radio-REF, octobre 2012)

6 - Ces personnes devraient peut-être se demander si ce n'est pas leur intuition qui est à questionner plutôt que la physique quantique ? En effet, dire « au nom de mon intuition, je condamne telle science » devient absurde quand on se rappelle la définition du mot intuition (sentiment irraisonné et non vérifiable qu'un évènement va se produire, que quelque chose existe) et la définition du mot science (ensemble cohérent de connaissances relatives à certaines catégories de faits, d'objets ou de phénomènes obéissant à des lois et/ou vérifiées par les méthodes expérimentales).

- 7 - *La méthode expérimentale scientifique consiste à tester par des expériences répétées la validité d'une hypothèse. L'obtention de données nouvelles, qualitatives ou quantitatives, confirme ou infirme l'hypothèse initiale* (Claude Bernard). C'est en s'affranchissant de cette rigueur que des experts auto-proclamés indépendants (indépendants de la science ?) arrivent à des résultats incongrus. Voir à ce sujet mes 2 articles sur <http://f6fqx.chez-alice.fr/>  
Effets des champs électromagnétiques sur la santé (Radio-REF, juillet 1993).  
Principe de précaution et radio (Radio-REF, 2011).
- 8 - Philosophiae naturalis principia mathematica (1687).
- 9 - cf. la célèbre et absurde querelle entre Newton et Leibniz (« recherche en paternité » du calcul intégral...).
- 10 - LHC : (Large Hadron Collider) le plus grand et plus puissant accélérateur de particules au monde (CERN).
- 11 - En 1836, interrogé sur l'opportunité de fonder un chemin de fer allemand, l'Institut médical de Bavière répondit avec le plus grand sérieux : « *Le transport des personnes au moyen de voitures mues par la vapeur doit être prohibé dans l'intérêt de la santé publique, parce que leur mouvement rapide ne peut manquer de provoquer des troubles sérieux dans le cerveau des voyageurs... Dans le cas où les voyageurs persisteraient à en courir le risque, malgré cet avertissement, les simples spectateurs doivent être protégés par tous les moyens possibles. La vue d'un train en marche suffit en effet à provoquer des désordres cérébraux. Cela a été prouvé par l'expérience et par l'observation actuelle. En conséquence, les autorités devront insister pour qu'une clôture en planches ou autres matériaux d'au moins 6 pieds de haut soit placée de chaque côté et tout au long de la voie ferrée* ».
- 12 - En physique quantique, le vide n'est pas le néant (concept plus métaphysique que scientifique) : il est rempli de champs et/ou de particules virtuelles apparaissant pendant un temps très bref (cf. diagrammes de Feynman).

#### BIBLIOGRAPHIE :

Sur internet, en physique comme ailleurs, se côtoient le pire et le meilleur... Les cinq références ci-après font, à mon avis, partie du meilleur. Les trois premières sont assez faciles d'accès, bien que présentées par des savants faisant autorité. Les deux dernières sont des cours de grandes écoles ou universités écrits par des professeurs réputés (on peut s'y reporter pour des points précis, mais sans oublier que le niveau mathématique est élevé) :

- 1 - la transition quantique-classique : physique-mathématiques-philosophie par Thierry Paul, Chercheur au Centre de Mathématiques Laurent Schwartz de l'École polytechnique (en cotutelle avec le CNRS) (les jeudis de la recherche de l'X) [https://www.youtube.com/watch?v=3rtYxoX7\\_M4](https://www.youtube.com/watch?v=3rtYxoX7_M4)
- 2 - le formalisme mathématique de la mécanique quantique par Thierry Paul (cf. 1) <http://www.cmls.polytechnique.fr/perso/paul/ceci.pdf>
- 3 - une vidéo (en anglais) présentant la théorie quantique des champs présentée par le Professeur Don Lincoln de Fermilab (US Department of Energy) <https://www.youtube.com/watch?v=FBeAlt3rxEA>
- 4 - cours de mécanique quantique de l'école polytechnique par Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard, professeurs à l'école polytechnique [https://www.phys.ens.fr/~dalibard/Notes\\_de\\_cours/X\\_MQ\\_2003.pdf](https://www.phys.ens.fr/~dalibard/Notes_de_cours/X_MQ_2003.pdf)
- 5 - théorie quantique des champs, par Jean-Pierre Derendinger, professeur au Laboratoire de physique théorique de l'École normale supérieure de Paris, à l'École polytechnique de Zurich et à l'Université de Neuchâtel <http://197.14.51.10:81/pmb/MECANIQUE/Theorie%20quantique%20des%20champs.pdf>

## Batima, le spécialiste à votre portée !

Antennes, mâts, rotors, alimentations, préamplificateurs, transceivers, récepteurs, coaxiaux, connecteurs, tores, haubanages .... Pour les amateurs et les professionnels

ACOM

FUNcube  
Dongle

ICOM

YAESU

ELECRAFT®

KENWOOD

OM Power

ITB  
Italian Technology Broadcast

INAC

BATIMA  
ELECTRONIC

120 rue du Maréchal Foch – 67380 Lingolsheim  
Tél. : 03 88 78 00 12 – [info@batima-electronic.com](mailto:info@batima-electronic.com)

HAF

Réparations toutes marques  
118 rue du Maréchal Foch – 67380 Lingolsheim  
Tél. : 09 67 36 81 79 – [hfsav@orange.fr](mailto:hfsav@orange.fr)