



## Champ proche et interprétation quantique de la diffraction de Rayleigh

Jean-François LAHAEYE, 13 mars 2013  
édité en septembre 2014

CopyrightFrance.com

La reproduction des articles, images ou graphiques de ce site, pour usage collectif, y compris dans le cadre des études scolaires et supérieures, est INTERDITE. Seuls sont autorisés les extraits, pour exemple ou illustration, à la seule condition de mentionner clairement l'auteur et la référence de l'article.

La diffraction en zone de Rayleigh (ou en champ proche) peut être considérée comme une sorte de limite quantique au-delà de laquelle il y a violation des relations de Heisenberg, à moins d'admettre l'existence d'une sorte de particule d'interaction en champ proche, différente du photon ordinaire: on peut y voir le *photon virtuel* de Feynman, et peut-être autre chose encore...

\*  
\* \*

Dans mon article sur le paradoxe de la diffraction de Rayleigh (référence [1]), j'avais montré que ce problème nécessite de sonder le système rayonnant au niveau de la particule élémentaire (sous peine de ne voir dans le champ proche que le *champ moyen* de milliards de particules, comme dans le cas d'une antenne) et c'est en partie de là que j'avais tiré quelques conjectures <sup>1</sup>, en m'appuyant par ailleurs sur mes considérations sur la cohérence des systèmes d'unités physiques <sup>2</sup>.

Cependant j'avais négligé d'exposer le rôle des relations d'incertitude de Heisenberg dans ce paradoxe en ce qui concerne une onde électromagnétique, alors que c'est pourtant là sans doute le véritable point de départ de mon raisonnement initial:

Pour mesurer une longueur d'onde  $\lambda_0$  à mieux que  $\Delta\lambda$  près, il faut connaître l'impulsion du photon  $p_x = h/\lambda$  telle que  $\Delta p_x \Delta x \geq h$  avec  $\Delta p_x = h/\Delta\lambda$ , soit  $(h/\Delta\lambda)\Delta x \geq h$  et  $\Delta x \geq \Delta\lambda$ .

Si  $\Delta x$  est l'incertitude sur la position du photon, la longueur d'onde est d'autant mieux connue que la position de l'onde s'étale sur l'infini et alors  $\Delta\lambda$  tend vers zéro. A grande distance de la source, cette interprétation de la relation de Heisenberg ne pose pas de problème particulier. On n'y relève pas de paradoxe spécial, ou du moins, pas plus qu'on n'en voulut voir à l'origine des relations dites d'incertitude, avant d'y voir de simples relations d'indétermination.

Mais dans une mesure de champ proche, on essaye de mesurer la position d'une onde ou d'un photon avec  $\Delta x$  qui tend vers zéro, alors qu'on suppose la longueur d'onde connue avec une indétermination *qui reste proche de zéro, en violation flagrante des relations d'indétermination*. C'est donc ici que le

1 Voir « Le paradoxe de la diffraction de Rayleigh » (réf. [1]) où j'envisageais une « antenne de Hertz » à deux particules telle qu'une annihilation de paires et d'autres systèmes qui pourraient être apparentés (désintégration électromagnétique du pion neutre, par exemple). J'avais esquissé par ailleurs, vainement et sans grande utilité, une recherche sur d'éventuels tests de structure fine: vainement, parce que cette recherche est restée inachevée, et sans utilité, parce qu'il semble qu'une analyse de mesures de la série de Balmer ou de Lyman du positronium ou même de l'hydrogène pourrait fournir des tests beaucoup plus simples et peut-être praticables (à suivre?).

2 Voir l'article [2].

paradoxe commence vraiment. L'onde est forcément étalée au moins sur une longueur d'onde entière et l'on essaye de voir ce qui se passe à moins d'une longueur d'onde de la source. On est en fait ici devant une variante de l'expérience de pensée dite du microscope de Heisenberg <sup>3</sup>.

On peut ici s'essayer à raisonner comme certains physiciens du monde quantique: les relations d'indétermination peuvent être violées pourvu que ce viol ne dure pas trop longtemps. Si le viol est surpris, il en résulte une particule réelle qui abolit le viol.

En théorie classique des ondes, on admet que pour mesurer une longueur d'onde, il faut disposer d'une règle graduée au moins en demi longueurs d'onde. C'est en quelque sorte une version géométrique du théorème d'échantillonnage de Shannon. Dans les situations usuelles d'observation des ondes, on peut s'approcher autant qu'on veut de la limite quantique microscopique, tant que l'on ne contredit pas les relations d'indétermination. Mais vouloir mesurer  $\Delta x \leq \Delta \lambda$  est impossible sans modifier  $\lambda_0$ , c'est-à-dire sans choisir un rayonnement plus énergétique et de plus courte longueur d'onde pour observer, ou alors, si on conserve la fréquence et la longueur d'onde sans violer des relations d'indétermination en sorte que:

$$\Delta x \leq \frac{hc}{\Delta m_0 c^2} = \frac{h}{\Delta p_X}$$

en introduisant la perte de masse  $\Delta m_0$  par la source de rayonnement.

On peut alors imaginer l'existence d'un boson de masse  $m_0$  de portée  $\lambda_0$  et vérifiant la relation masse-portée:  $m_0 = h/\lambda_0 c$ . Il pourrait donc exister une certaine analogie avec le potentiel de Yukawa <sup>4</sup>, bien que le potentiel électrique (qui est un potentiel newtonien) ne suive pas une décroissance exponentielle <sup>5</sup> du moins dans les situations ordinaires <sup>6</sup>. Ce qui suggère que l'analogie pourrait néanmoins être pertinente, c'est que divers phénomènes suggèrent effectivement l'intervention d'un photon spécial à très courte distance: ce sont les *conversions internes* dans les énergies nucléaires, les transitions non radiatives dans les atomes, et finalement tous les échanges d'énergie à fréquence bien définie dans les systèmes dits quasi-stationnaires (alternateurs, moteurs, transformateurs, pendules électriques, etc.). Il convient en outre de noter que le caractère dipolaire des champs électromagnétiques s'efface au profit d'une symétrie sphérique (au moins statistiquement, car chaque interaction individuelle semble ponctuelle). L'idée de considérer un boson de spin zéro n'est donc pas étrange.

J'ignore à quel point ce raisonnement peut être poussé. Mais si l'onde « classique » en champ proche n'est pas tout à fait ordinaire (en théorie classique on dit que l'onde n'est pas formée) il ne semble pas absurde à ce stade de considérer qu'en descendant au niveau microscopique, les paradoxes du champ proche appellent un raisonnement proprement quantique pas tout à fait ordinaire, lui non plus.

## Références:

[1] Jean-François Lahaeye: *Le Paradoxe de la diffraction de Rayleigh* – site: <http://fred.elie.free.fr>, 22 mai 2010

[2] Jean-François Lahaeye: *Système d'unités: reconsidérations* - site: <http://fred.elie.free.fr>, 6 février 2011

<sup>3</sup> On pourrait certes raccourcir la longueur d'onde, mais dès lors on cesserait d'observer en champ proche...

<sup>4</sup> Prix Nobel de physique, 1949.

<sup>5</sup> Le potentiel de Yukawa (pour l'interaction forte) est de la forme  $V(x) = \text{constante} \frac{\exp(-\mu x)}{x}$  où  $\mu = mc/h$

<sup>6</sup> En fait on peut considérer que la décroissance en  $1/x$  du potentiel newtonien est un potentiel de Yukawa où l'exponentielle est réduite à une constante égale à l'unité.