

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/283462535>

Ondes échelle II. Aperçu de théorie non-linéaire et d'applications biologiques.

Data · May 1994

CITATION

1

READS

468

1 author:



[Joël Sternheimer](#)

Genodics

34 PUBLICATIONS 41 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



[Genodic View project](#)

O N D E S D ' É C H E L L E . II.

THÉORIE NON-LINÉAIRE ET APPLICATIONS BIOLOGIQUES

Joël Sternheimer

1. Dans l'article précédent ⁽¹⁾, nous avons montré qu'à une particule est associé tout un spectre d'harmoniques. Deux types de spectre peuvent apparaître dans une théorie linéaire causale: $m = m_0 e^{\alpha n}$ et $m = m_0 (1 + \alpha n)$. Le passage de l'un à l'autre peut être compris comme une déformation de l'algèbre de Lie du groupe de Weyl sur une algèbre de dimension 15 qui est elle-même une contraction de celle du groupe conforme ⁽²⁾. Mais d'autre part, à chacun de ces spectres est associé, ainsi que nous l'avons montré dans ⁽¹⁾, un profil d'onde d'échelle différent: de ce point de vue, le passage de l'un à l'autre peut être compris à l'aide d'une généralisation non-linéaire de l'équation (1) de cet article, que l'on peut donc interpréter comme traduisant la rétroaction des niveaux d'échelle effectifs sur les particules elles-mêmes. Ceci nous permet de calculer le coefficient du terme non-linéaire dans cette équation: comme on le sait -- ainsi que l'ont montré Thomas Branson et Yvette Kosmann-Schwarzbach ⁽³⁾ --, la seule généralisation non-linéaire (sur les coordonnées d'espace-temps) covariante conforme (donc ⁽⁴⁾ causale) de l'équation de Klein-Gordon est de la forme

$$\square \Psi = m^2 \Psi (1 + \kappa \Psi^2)$$

L'équation des ondes d'échelle correspondante sera donc (avec l'opérateur de masse exponentiel dans l'échelle)

$$\square e^{-2\alpha i \partial_s} \Psi = m^2 \Psi (1 + \kappa \Psi^2) \quad (2)$$

et la condition pour que le terme non-linéaire rende compte de la déformation du spectre de masse exponentiel en un spectre linéaire (spectre d'harmoniques vrais, soit correspondant à l'équation $\square (1 - 2i\alpha \partial_s) \Psi = m^2 \Psi$) s'écrira, en développant $e^{-2i\alpha \partial_s}$:

$$-4\alpha^2 \square \partial_s^2 \Psi \simeq m^2 \kappa \Psi .$$

Ainsi κ est négatif et proportionnel au carré de la portée de l'échelle: l'équation (2) admet alors, dans l'espace-temps, comme solution des "paquets d'ondes" conservatifs en forme de "Tour Eiffel" (avec un profil de sécante hyperbolique), de la forme

$$\Psi = \Psi_0 / \text{ch}((|x| + |y| + |z| - vt)/a)$$

avec $\Psi_0 = \sqrt{-8\pi}$ et $a = 1/m$, c'est-à-dire gaussien au voisinage de l'origine et exponentiel à l'infini. Les profils (en x par exemple) des ondes d'échelle elles-mêmes seront donc des sommes de termes de la forme

$$\Psi_0 e^{2\pi \ell s / a - \text{Logch}(|x|/a)} \quad (3)$$

où ℓ est entier.

2. Donnons de suite une application de ce résultat: un bon exemple de système quantique à plusieurs échelles se trouve dans le processus d'élongation protéique, dans lequel un acide aminé (de masse $\approx 10^2$ daltons) se trouve d'abord fixé sur un ARN de transfert (de masse $\approx 10^2$ fois plus grande) puis ce dernier sur un ribosome (de masse encore plus de 10^2 fois supérieure au précédent). Comme l'acide aminé n'est relié à l'ARN de transfert que par un seul degré de liberté, lorsqu'il s'y fixe il conserve une relative autonomie tout en étant déjà fortement ralenti par rapport à l'agitation thermique; sa longueur d'onde broglieenne h/mv n'est donc plus négligeable en regard de sa taille. Lorsque de plus l'ARN de transfert se fixe sur le ribosome, il est lui-même fortement ralenti; on peut donc prévoir qu'à ce moment les propriétés ondulatoires de l'acide aminé vont devenir très importantes. Mais comment pouvons-nous les calculer?

Si $v = \sqrt{kT/M}$ où T est la température absolue, $\lambda = (h/m)\sqrt{M/kT}$; mais doit-on prendre pour M la masse du support (le ribosome), ou celle de l'acide aminé? On comprend bien qu'en pratique il faudrait prendre une masse intermédiaire, mais comment l'évaluer?

Nous pouvons alors faire l'hypothèse que le système à trois échelles Acide aminé - ARN de transfert - ribosome est lui-même le siège d'ondes d'échelle stationnaires fixant l'ordre de grandeur de ces échelles, dont les rapports successifs sont voisins du résultat théorique $8\pi^2/\text{Log}2 \approx 10^2$ déduit de (1). [Cette hypothèse apparaît d'autant plus justifiée que les électrophorèses bidimensionnelles d'un grand nombre de protéines de la bactérie *E. Coli* par exemple ont mis en évidence l'existence de régularités périodiques précises dans leurs masses, de l'ordre de multiples entiers de $14,6\text{kD}^{(5)}$, soit 113.9 fois la masse moyenne d'un acide aminé (128.16 D), en comparaison avec la valeur exacte $8\pi^2/\text{Log}2 =$

113.91; l'existence de ces régularités apparaissant bien comme un phénomène universel dans les protéines⁽⁶⁾]. Prenant donc dans (3) s comme échelle des masses, il vient $s \approx \text{Logch}(x/a)$ soit $(\lambda)^{-1} \approx \text{Argch } e^m$, d'où précisément

$$\lambda = (h/\sqrt{kTM}) \text{Argch } e^{(M/m)\text{Logch}1}$$

pour la longueur d'onde de la particule de masse m accrochée à la particule plus lourde de masse M dans l'environnement de température absolue T.

Ainsi pour un acide aminé à l'état libre, $M = m \approx 128$ D, il vient $\lambda \approx 0,2$ Å, inférieur d'un bon ordre de grandeur à la taille de l'acide aminé (environ 3 Å); mais sur l'ARN de transfert 75 fois plus lourd en moyenne, cette longueur d'onde devient $\approx 0,84$ Å qui n'est déjà plus négligeable; et sur le ribosome de 280 (chez les procaryotes) à 450 (chez les eucaryotes) fois plus lourd encore, elle devient de 13,8 à 17,5 Å en moyenne, soit environ 4 à 6 fois sa taille: plus exactement de 2 (tryptophane) à 14 (glycine) fois sa taille chez les eucaryotes. En d'autres termes, au moment précis où l'acide aminé porté par son ARN de transfert vient se poser sur le ribosome, les propriétés ondulatoires de l'acide aminé deviennent dominantes, ce qui se traduit par le fait que l'acide aminé émet un signal qui est donc une onde d'échelle.

Comme nous l'avons vu⁽¹⁾, cette onde a des propriétés très particulières en ce qu'elle est réellement constituée d'une *superposition d'ondes de vitesses différentes* sous-multiples entiers de la plus rapide, et qui vont donc relier l'échelle de chaque acide aminé à l'échelle au-dessus (i. e. de la protéine) en des temps multiples entiers du temps mis par cette dernière: on va donc avoir des superpositions périodiques des vibrations (contenant elles-mêmes des harmoniques) associées aux acides aminés, qui vont ainsi induire des propriétés *musicales* dans la succession des fréquences associées aux acides aminés: les chaînes d'acides aminés constitutives des protéines vont donc présenter dans leur succession même, des propriétés musicales d'autant plus élaborées que les contraintes provenant des ondes d'échelle sont plus importantes; c'est-à-dire d'une façon générale, que leur dépendance *épigénétique* (c'est-à-dire non codée dans le génome lui-même) est plus forte.

Dans la mesure où, à l'ensemble des protéines de même nature synthétisées simultanément dans un organisme on peut associer une amplitude quantique dont le carré de la valeur absolue est proportionnel à leur nombre, il en découle que les protéines "musicalement homologues" vont pouvoir entrer en résonance (résonance d'échelle) les unes avec les autres et ainsi stimuler leurs biosynthèses réciproques. Le spectre des fréquences étant exponentiel⁽¹⁾, l'opposition de phase aura lieu lorsque les fréquences seront exactement symétriques par rapport à la fréquence moyenne ou centrale, permettant aux protéines ainsi "anti-homologues" de s'inhiber mutuellement. C'est donc tout un chapitre complètement nouveau de la physiologie moléculaire qui s'ouvre ainsi, avec la prédiction que le processus même de synthèse d'une protéine in situ a des effets prédictibles sur d'autres protéines, et le corollaire qu'il devient possible, en recherchant systématiquement les homologues et anti-homologues musicales d'une protéine donnée dans les banques de données de séquences protéiques, de prédire ses fonctions connaissant simplement sa séquence en acides aminés.

Références

- (1) J. Sternheimer, *Ondes d'échelle I*, 1992.
- (2) J. Sternheimer, *Comptes rendus* 297, 829 (1983); M. Flato et D. Sternheimer, *Commun. Math. Phys.* 12, 293 (1969).
- (3) T. P. Branson et Y. Kosmann-Schwarzbach, *Lett. Math. Phys.* 7, 63 (1983).
- (4) M. Flato et D. Sternheimer, *Comptes rendus* 263, 935 (1966); E. C. Zeeman, *J. Math. Phys.* 5, 490 (1964).
- (5) M. A. Savageau, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 83, 1198 (1986).
- (6) A. L. Berman, E. Kolker et E. N. Trifonov, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 91, 4044 (1994).