

# AFSCET

## Res-Systemica

Revue Française de Systémique  
Fondée par Evelyne Andreewsky

Volume 23, printemps 2022

Systemique quantique

Res-Systemica, volume 23, article 01

Systemique quantique : pléonasme ou périssologie

Olivier Maurice

8 pages

contribution reçue le 27 mars 2022



Creative Commons

# AFSCET-ANDÉ 2022 : Systémique Quantique : pléonasme ou périssologie

Olivier MAURICE

27 mars 2022

## 1 Résumé

Nous précisons d'abord le sens que nous allouons aux deux mots pléonasme et périssologie pour préciser le sens que nous attachons au titre et au contenu de cet article. Nous présentons ensuite l'analyse d'un système imaginé mais représentatif des systèmes actuels, intégrant entre autre une électronique de pilotage. En étudiant ce système, nous présentons l'interaction entre ce système et son environnement et introduisons les concepts de petits et grands modes. A l'issue de cette réflexion nous déduisons que tout système électronique est forcément pour partie quantique. Nous discutons en conclusion de l'extension de l'analyse à des systèmes différents dans leurs natures.

## 2 Justification du titre

En Grec, pléonasmós signifie l'excès, l'exagération. Perissologia signifie superflu. Repartant de ces racines, la systémique quantique devient un pléonasme si parler de systémique quantique est exagéré : à savoir que la systémique n'est pas quantique. Ou bien une périssologie si au contraire il est superflu de parler de systémique quantique est que la systémique est forcément quantique. Ces interprétations des sens de pléonasme et périssologie sont discutables, mais ce n'est pas l'objet de cet article d'en débattre et l'interprétation proposée constitue notre hypothèse. Dans ce dernier cas, précisons le sens de la *Systémique Quantique*. La systémique est l'étude des systèmes. La systémique quantique renvoie à l'étude des systèmes quantiques. Si la systémique quantique est une périssologie, alors la systémique aborde forcément les aspects quantiques des systèmes.

## 3 Système étudié

Nous imaginons en le simplifiant, un système de transport sur rail, équipé d'une électronique de puissance pilotant les moteurs électriques de traction. La mission de transport est assurée par cette électronique de puissance, les moteurs sur les roues, le châssis portant les passagers et les éléments périphériques d'interfaces mécaniques. Une électronique de commande dirige l'électronique de puissance et recueille les demandes d'un conducteur du moyen de transport.

L'électronique de puissance est un onduleur à deux bras qui pilote une machine électrique. L'électronique de commande prend en charge la loi de commande de l'onduleur. Le schéma 1 montre notre système et les impédances associées à ses éléments, ainsi que les choix des deux courants  $J^1$  et  $J^2$  circulant depuis la source d'énergie jusqu'à la motrice. Les quatre commutateurs de  $C_1$  à  $C_4$  sont commandés par l'électronique de pilotage de telle sorte que  $C_1$  et  $C_2$  sont rendus passant simultanément alors que  $C_3$  et  $C_4$  sont bloqués, puis inversement,  $C_3$  et  $C_4$  sont rendus passant pour  $C_1$  et  $C_2$  bloqués.

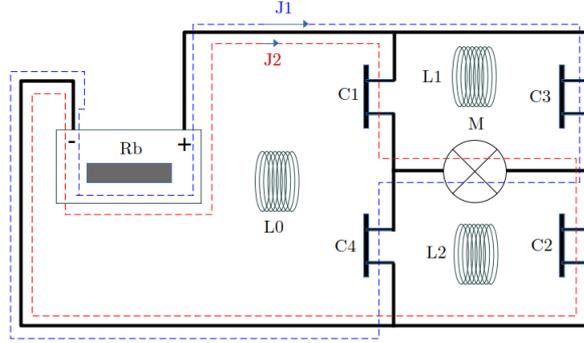


FIGURE 1 – Système étudié

De ce schéma que nous étudions sous le formalisme de l'analyse tensorielle des réseaux, nous déduisons la métrique suivante :

$$\zeta = \begin{bmatrix} R_b + C_3 + C_4 + M + sL_0 + sL_1 & R_b - M + sL_0 \\ R_b - M + sL_0 & C_1 + C_2 + R_b + sL_2 + M + sL_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Les sources d'énergie étant  $T = \begin{bmatrix} E & E \end{bmatrix}$ . Le problème se résout en calculant  $T_a = \zeta_{ab} J_b$ . Les commutateurs  $C_i$  sont des résistances pilotées par la loi de commande qui guide le fonctionnement de la machine électrique. Le courant dans la machine M est à l'image de la mission du système de transport. Le déplacement du moyen de transport est décrit par les fonctions du temps  $C_i(t)$ . La collection de fonctions  $(C_i(t), J\nu(t))$  représente la vie de ce système et ce que nous appellerons ses *grands modes*. Ce terme désigne des fonctionnalités visibles, macroscopiques. Et pourtant, pour être observables, ces modes sont localisés. Le terme "grands modes" n'est en rien à l'image d'une taille du système mais au sens de cette visibilité première.

Nous allons étudier les interactions de ce système avec son environnement et plus particulièrement avec l'univers !

## 4 Interaction ions lourds - système

Des ions lourds, extrêmement énergétiques et provenant de diverses sources dans l'univers peuvent atteindre un composant électronique sur Terre. Leur énergie cinétique étant très grande (quelques GeV), leur trajectoire dans le composant est rectiligne. La formule de BETHE donne la profondeur de pénétration dans la jonction du composant en fonction de l'énergie des particules et des matériaux. L'interaction ions - matière est dénotée 'LET' pour Linear Energy Transfer et donne le dépôt d'énergie dans la jonction par unité de longueur ( $LET = dE/dx$ ). Si  $X$  est la profondeur atteinte dans le composant, l'énergie déposée est définie par :

$$E = \int_X dx LET(x) \quad (2)$$

Cette énergie se traduit par l'injection de porteur dans la jonction du commutateur qui réduit brutalement sa résistivité, comme si la jonction était pilotée vers un état passant. Nous modélisons ce phénomène par une résistance  $R_i$  mise en parallèle de la résistance de jonction pilotée  $C_i$ . La résistance résultante pour un commutateur devient :

$$R_c = \frac{R_i C_i}{R_i + C_i} \quad (3)$$

Nous connaissons, pour un type d'ion et un composant donnés, l'énergie déposée. Lorsque le commutateur devient anormalement passant, le courant maximum délivré par le système est  $J_{max}$ . De fait :

$$R_c = \frac{E}{J_{max}^2} \quad (4)$$

La résistance  $R_c(i)$  dépend du temps et est hors impact avec un ion égale à  $C_i$ . Lors d'un impact, elle devient pratiquement égale à  $R_i$  et prend une valeur donnée par 4.

## 5 Probabilité de la perturbation

L'activité de l'électronique de transport peut être représentée sur une abscisse temporelle par des points indiquant les instants d'activité, ici les états passant des commutateurs. L'ensemble est comme une partition de musique de période  $T$ . Si l'activité s'étend sur  $N$  échantillons de temps, la probabilité d'impacter 1 échantillon est  $1/N$ . Si la source émet  $M_s$  particules (ici des ions) par seconde à une distance  $R$  de la Terre, le flux de particules est :

$$\phi = \frac{M_s}{4\pi R^2} [m]^{-2} [s]^{-1} \quad (5)$$

Si  $S_c$  est la section efficace de l'électronique, le nombre de particules captées  $e_v$  par l'électronique pendant son activité est :

$$e_v = \int_T dt \int_{S_c} ds \frac{M_s}{4\pi R^2} \quad (6)$$

et la probabilité d'un événement perturbé est :

$$P_{ev} = \frac{e_v}{N} = \frac{TS_c}{N} \frac{M_s}{4\pi R^2} \quad (7)$$

Le niveau et la gravité de la perturbation dépend de l'énergie  $E$  des ions, qui est aussi probabiliste suivant le type de source (quasar, etc.).

## 6 Petits modes

L'expression de notre métrique devenue probabiliste est :

$$\zeta(P_{ev}, P(E)) = \begin{bmatrix} R_b + 2R_c(E) + M + s(L_0 + L_1) & R_b - M + sL_0 \\ R_b - M + sL_0 & 2R_c(E) + R_b + s(L_2 + L_0) + M \end{bmatrix} \quad (8)$$

Mais cette description ne se suffit pas à elle-même. Lorsque nous regardons la relation d'EULER-POINCARÉ du circuit, nous trouvons 3 mailles définies par 6 branches, 4 nœuds et 1 circuit. Nous n'avons écrit que les équations de deux mailles, car les conditions des commutateurs font que la définition d'une troisième maille conduit à un courant de valeurs très faibles, par exemple  $(C_1, C_2, C_3, C_4)$ , puisque deux commutateurs sont fermés quand deux autres sont passant. Au contraire, si nous sommes dans une phase où  $(C_3, C_4)$  sont passant et  $C_2$  est rendu passant par un bombardement d'ion, nous comprenons que les deux courants  $J^1$  et  $J^2$  tels qu'ils sont choisis rendront mal compte de l'écoulement non voulu d'un courant dans  $C_3$  et  $C_2$ . La modification profonde de la topologie induite par l'ion implique l'intervention d'une nouvelle définition de courant, respectant cette fois l'imposition de la loi d'EULER-POINCARÉ, la simplification première n'étant plus admissible. Néanmoins pour garder la précision dans la résolution du problème, à savoir une métrique suffisamment faible pour bien calculer les courants, nous pouvons aussi rendre mobile la définition du courant rajouté. Si  $C_1$  ou  $C_4$  sont perturbés :  $J^3 \leftarrow (R_b, C_1, C_4)$ . Au contraire, si  $C_2$  ou  $C_3$  sont perturbés, alors  $J^3 \leftarrow (R_b, C_2, C_3)$ . Deux métriques résolvent le problème suivant le cas de perturbation étudié. Pour le premier cas :

$$\zeta(C_1, C_4) = \begin{bmatrix} R_b + 2R_c(E) + M + s(L_0 + L_1) & R_b - M + sL_0 & R_b + sL_0 \\ R_b - M + sL_0 & 2R_c(E) + R_b + s(L_2 + L_0) + M & R_b + sL_0 \\ R_b + sL_0 & R_b + sL_0 & R_b + 2R_c + sL_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

et pour le second cas :

$$\zeta(C_2, C_3) = \begin{bmatrix} R_b + 2R_c(E) + M + s(L_0 + L_1) & R_b - M + sL_0 & R_b + s(L_0 + L_1) \\ R_b - M + sL_0 & 2R_c(E) + R_b + s(L_2 + L_0) + M & R_b + s(L_0 + L_2) \\ R_b + s(L_0 + L_1) & R_b + s(L_0 + L_2) & R_b + 2R_c + s(L_0 + L_1 + L_2) \end{bmatrix} \quad (10)$$

Comme la branche en court-circuit ne voit pas son courant limité par la charge  $M$ , sa valeur peut devenir très importante. L'action de l'ion qui est vue comme un **petit mode**, c'est à dire une intervention invisible à la perception commune de l'échelle du système, peut fondamentalement modifier son fonctionnement. Ce n'est pas l'aspect statistique éventuel qui donne une trace de ces petits modes, mais leur caractère intrinsèquement probabiliste. La mécanique quantique intervient dans le petit mode par la formule de BETHE et à l'émission des ions par les sources dans l'univers. L'échauffement des commutateurs se calcule par des modèles thermiques qui sont issus de la physique statistique. Pour

autant ces modèles engendrent des grands modes directement perceptibles : que ce soit par la température sensible qu'atteignent les commutateurs en fonctionnement ou par leur destruction par sur-échauffement sous perturbation ionique.

## 7 Régime thermique

Chaque commutateur de résistance propre  $R_c$  ou  $R_i$  développe une puissance  $R_c(J^\alpha)^2$  ou  $R_i(J^\alpha)^2$ . Ces sources de courant thermique (puissances) peuvent échanger un flux thermique avec l'environnement, souvent via des radiateurs de refroidissement. Une résistance thermique d'échange  $\mathcal{R}_\alpha$  peut être définie pour chaque commutateur telle que :

$$\Delta T = \mathcal{R}_\alpha \left[ R \left\{ \begin{array}{c} c \\ i \end{array} \right\} (J^\alpha)^2 \right] \quad (11)$$

La référence étant la température de l'air ambiant. Les équations du problème définies par 9 et 10 sont complétées de l'équation thermique résumée par

$$\Delta T_\alpha = \mathcal{R}_{\alpha\beta} \left[ R \left\{ \begin{array}{c} c \\ i \end{array} \right\}_\sigma (J^\sigma)^2 \right]^\beta$$

Cette équation supplémentaire n'est pas probabiliste et peut être vue comme une dimension supplémentaire apportée au problème mais qui sous cette forme ne relève pas de la mécanique quantique. Couplée, cette équation constitue un mode supplémentaire du fonctionnement de notre système, mais complètement perceptible et en ce sens, un grand mode.

## 8 métrique et lumière

Nous pouvons choisir les rayons lumineux comme métrique de l'espace et du temps. Et pour aller d'un point A à un point B, La lumière emprunte classiquement le trajet de Descartes. Ce trajet constitue le grand mode de ce voyage. Pourtant, Feynman a montré que la probabilité qu'un photon emprunte ce trajet majoritaire est liée à son action qui apparaît comme la phase de sa fonction d'onde.

Voyons la lumière comme une chaîne d'énergie électromagnétique alternant dérivations spatiales et temporelles du potentiel vecteur. Un graphe représentant cette alternance est celui des télégraphistes ou une inductance représente l'énergie locale du champ magnétique et une capacité représente l'énergie locale du champ électrique. La figure 2 dessine le graphe et sa décomposition en résonateurs successifs, ainsi que le rayonnement de ces résonateurs.

La chaîne continue de propagation de l'énergie peut facilement être coupée en succession de résonateurs en exploitant une propriété topologique qui démontre que la métrique liée à deux résonateurs partageant une branche est identique à celle de deux résonateurs couplés par une corde dont la fonction est la valeur de

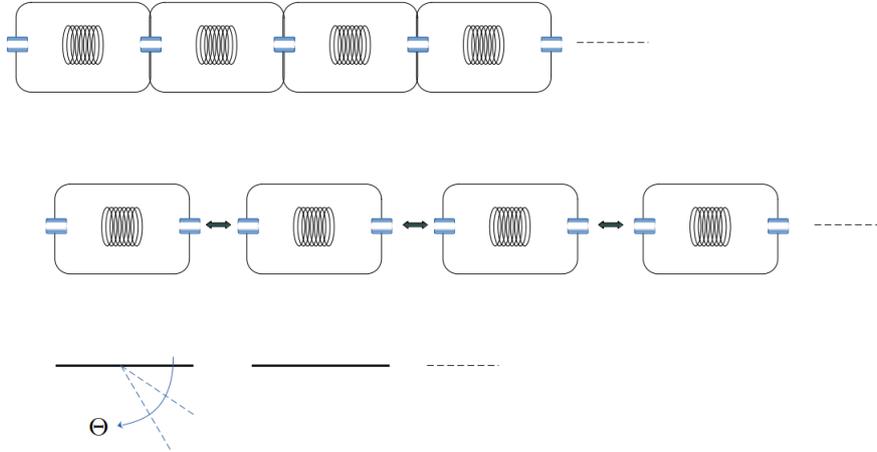


FIGURE 2 – Graphe de lumière

la branche partagée [1]. Si nous étudions le rayonnement d'un résonateur dont l'orientation suit la trajectoire principale de la lumière, ce rayonnement devient nul latéralement, traduisant la décroissance de probabilité pour qu'un photon s'écarte de cette trajectoire principale. La probabilité pour que le photon aille entre deux points par un chemin composé de trajectoires détournées n'est donc pas nulle. Mais plus la trajectoire est tordue, plus cette probabilité est faible, résultant d'un produit de rayonnements plus faibles successifs.

La métrique perceptible associée aux rayons lumineux est donc celle d'un paquet de photons en grand nombre. Le grand mode d'une transmission de lumière entre deux points est donc la trajectoire classique, alors que les petits modes sont les fonctionnements quantiques et détaillés de ce processus.

## 9 Comportement quantique caché

Dans un cristal, la multiplication des modes propres de façon gigantesque vu le nombre d'atomes impliqués, finit par créer des zones d'énergie continue. Ces "bandes" dont de conduction se traduisent macroscopiquement par des propriétés simples comme la conductivité de résistances, etc.

Les  $N$  atomes liés dans le cristal construisent une fonction d'onde du système couplé qui par effet de produits et multiplication des modes propres quitte le comportement discret de ses niveaux d'énergie pour rejoindre une continuité où les particules peuvent prendre toute valeur dans une bande libre. Les petits modes dans ce contexte sont les modes propres des atomes séparés, et leur réunion engendre les grands modes avec la continuité énergétique.

D'une manière générale nous pouvons admettre que la construction d'un système à partir de particules abouti au comportement classique par la démultiplication des interactions entre ces particules et par la même la démultiplication des modes propres.

## 10 Système complexe

Un système complexe est un système :

1. comportant de nombreuses interactions ;
2. pour partie stochastique ;
3. faisant démonstration en partie de phénomènes d'émergences.

Suivant notre hypothèse de définition, les propriétés sont applicables aux modèles quantiques et donc nous pouvons dire de base, qu'un système complexe peut de fait contenir des composantes quantiques. Mais la troisième propriété est de façon non évidente celle qui accueille l'implication entre système complexe et systémique quantique. La perception des grands modes d'un système est fondamentalement une succession d'émergences du monde quantique vers le monde perceptible classique.

## 11 Systémique et Big-Bang

Dans les systèmes que nous avons abordés, mécanique quantique et classique cohabitent pour modéliser des interactions arrivant à différentes échelles d'énergies et dimensions. Lorsque les particules sont séparées, elles interagissent principalement par le biais de forces électromagnétiques. Lorsqu'elles sont suffisamment agglomérées, elles interagissent pas les forces de gravitation. C'est typiquement l'histoire d'une étoile qui s'agglomère d'abord à partir de poussières d'étoiles, puis interagit par gravitation, puis après explosion, ré-interagit par électromagnétisme. Les processus d'agrégation puis explosion suivent une succession d'oscillations dans les interactions illustrées figure 3.

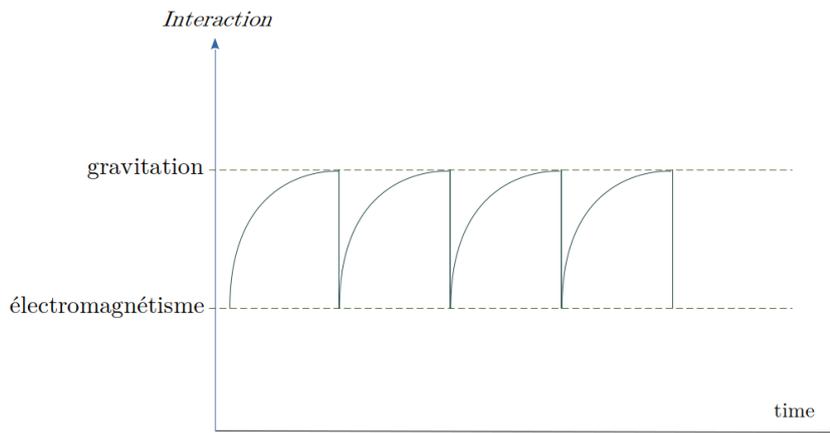


FIGURE 3 – Oscillation des interactions

De ce cycle immuable, la condition limite a été le "big-bang" d'où est issue la première agglomération. L'histoire de l'univers, ici très simplifiée, a donc mêlée dès sa naissance cette dualité entre mécanique quantique et classique, la

première donnant des pistes de modélisation des premiers instants de l'univers, la seconde expliquant la création de l'univers massif.

Les tentatives pour relier les deux mécaniques principalement basées sur une projection de la mécanique quantique vers la gravitation, échouent pour l'instant et de mon point de vue n'aboutiront pas. Hawking travailla avec Penrose sur l'analyse de la singularité nue que présenteraient les conditions initiales de l'univers au démarrage du big-bang. Cette condition initiale de la gravitation doit être brisée pour initiée le rayonnement initial. Ce qui précéda à l'univers électromagnétique était une singularité gravitationnelle. Le terme de big-bang se prête bien (alors qu'il fut ironique initialement) à saut initial entre les deux types d'interactions. Mais comme la finalement noté Hawking, l'idée d'arriver à un modèle unifié avant tout quantique ne pourrait être validé suivant le principe de Gödel. Alors qu'un modèle dual pourrait peut-être ne pas être en contradiction avec le théorème de Gödel.

## 12 Conclusion

Des exemples cités, il est clair que tout système possède une partie quantique soit dans ses détails soit dans ses interactions avec l'environnement. Sous ce jour, il apparaît évident de considérer le titre de *systemique quantique* comme étant une périssologie.

## Référence

1. Olivier MAURICE, *Éléments de théorie en compatibilité électromagnétique* chez Bookelis. 2017.