

# AFSCET

## Res-Systemica

Revue Française de Systémique  
Fondée par Evelyne Andreewsky

Volume 12, novembre 2014  
Modélisation des Systèmes Complexes

### Res-Systemica, volume 12, article 02

Rencontres avec Norbert Wiener,  
père de la cybernétique,  
et quelques aspects de ses travaux

Robert Vallée

article reçu le 14 septembre 2014  
exposé du 11 mai 2009



Creative Commons

AFSCET, Modélisation des systèmes complexes (François Dubois),  
CNAM 11-05-09

## RENCONTRES AVEC NORBERT WIENER, PÈRE DE LA CYBERNÉTIQUE, ET QUELQUES ASPECTS DE SES TRAVAUX

Robert Vallée

[r.vallee@afscet.asso.fr](mailto:r.vallee@afscet.asso.fr)

### 1. Rencontres à Paris, à Cambridge et dans le New Hampshire

Norbert Wiener (Columbia, É.-U., 1894-Stockholm 1964) est surtout connu comme le fondateur de la cybernétique contemporaine (Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine, 1<sup>ère</sup> édition, Hermann et Cie, Paris 1948). Ayant fondé en 1949 le Cercle d'Etudes Cybernétiques (CECyb) dont le président d'honneur était Louis de Broglie, c'est à ce titre que j'ai rencontré Wiener pour la première fois, en février 1951 à Paris où il était venu participer à un congrès sur les machines à calculer et donner des conférences. C'était son second séjour en France après la deuxième guerre mondiale. Une autre rencontre eut lieu en 1953, ce qui m'aida à participer à une école d'été au Massachusetts Institute of Technology (Foreign Students Summer Project, juillet-septembre 1954) au cours de laquelle je devais avoir des contacts avec Wiener.

J'arrivai donc début juillet à Cambridge (Massachusetts), époque où sévissait encore le McCarthysme avec lequel Wiener eut d'ailleurs quelques difficultés. Je rencontrai rapidement Wiener et son collaborateur Armand Siegel, professeur de physique à l'Université de Boston. A cette époque Wiener (60 ans) était dispensé par le MIT de toute tâche d'enseignement, à charge pour lui de se consacrer aux activités de recherche et de publication son choix.

Wiener et son épouse quittèrent Cambridge fin juillet pour se rendre, comme tous les ans, dans leur maison de campagne, Tamarack cottage, à South Tamworth près de Sandwich dans le New Hampshire où je les rejoignis. Mrs Margaret Wiener veillait à la santé de Norbert qui avait eu récemment un infarctus, essayant de lui éviter tout surmenage. Néanmoins Wiener était souvent fatigué : « I am tired and I don't know why ; it is the punishment of pride ». Mrs Wiener s'intéressait aussi à la façon dont

Norbert s'habillait, préoccupation qui le laissait assez indifférent : « I would like to have the most handsome husband in the world ». Elle parlait très bien le français et avait, avant son mariage, commencé à l'enseigner. Mais elle s'était consacrée à ses deux filles, mariées à cette époque, et à son époux : « What he does is so important ! »

Je passais une partie des après-midi dans la terrible chaleur du grenier où Wiener me présentait, au tableau noir, quelques-unes de ses idées sur la mécanique quantique qu'il mettait au point avec Armand Siegel. Il m'avait confié in 1953, avec un certain humour : « I have lost enough time with cybernetics, it is time that I come back to serious things ! »

Au cours des soirées Wiener révélait, incidemment, quelques traits de sa personnalité. Il parlait plusieurs langues couramment sinon parfaitement : « I have a facility to learn languages, at least up to a certain point » et il ajoutait « One cannot understand a nation without knowing its language ». Il était très francophile, comme bien des intellectuels des Etats-Unis, et aimait parler et écrire en français, ce qui explique en partie pourquoi il publia plusieurs fois des notes dans les Comptes Rendus de l'Académie de Sciences, fait qui lui fut reproché par certains collègues. Cela permet aussi de comprendre comment il se laissa persuader par M. Freyman, de publier le fameux « Cybernetics », en anglais il est vrai, aux éditions Hermann et Cie à Paris en 1948 (conjointement avec The Technology Press, Cambridge (EU) et John Wiley, New York ; seconde édition : The MIT Press, Cambridge (EU) 1961) fait largement oublié en France et très souvent ignoré aux Etats-Unis. Pour résumer je dirai j'ai eu parfois l'impression que Wiener aurait aimé être un mathématicien français, comme Hadamard en particulier.

Après tant d'années (55 ans) il m'est difficile de dire quand telles ou telles paroles qui m'impressionnèrent particulièrement, furent prononcées. C'est néanmoins au cours d'un de ces après-midi passés dans le grenier qu'il me dit : « I want to be the master of nobody ». Dans une autre circonstance, à South Tamworth, révélant ses préférences philosophiques : « I do not understand Pascal » et, plus explicitement, à Cambridge : « I know who is dead but I do not dare to tell » ou encore, au sujet des armes nucléaires : « One must not let children play with razors ».

A la fin de juillet, ayant reçu de François Le Lionnais une lettre lui demandant un article, chose peu appréciée par Mrs Wiener, pour son recueil « La méthode dans les sciences modernes » (Editions Science et Industrie, Paris 1958), il me dicta très rapidement un texte intitulé « Logics, probabilities and mathematics in physical sciences ». J'eus quelque peine à

l'enregistrer sans commettre d'erreurs et, de retour à Paris fin septembre, je le traduisis en français.

## 2. La cybernétique

Norbert Wiener est souvent connu comme « père de la cybernétique ». Il s'agit évidemment de la cybernétique contemporaine. Car il y a aussi celle de Platon ou art du gouvernement, de κυβερνήτική, technique de l'homme de barre chargé de manœuvrer le gouvernail du navire de façon à le mener à bon port, idée reprise par Ampère dans son dictionnaire philosophique. Bien que la cybernétique contemporaine ne rejette pas l'interprétation comme art du gouvernement, elle traite principalement, comme l'indique le titre du livre de Wiener, de la commande et de la communication chez l'animal et dans la machine, complétées par des considérations sur les ordinateurs et des applications aux sociétés. Le problème de la commande fait une très large place à la notion de rétroaction ou feedback. Cette rétroaction, négative, permet lorsqu'une consigne de comportement a été imposée à un mécanisme et qu'il s'en écarte pour quelque raison de le ramener dans le droit chemin par une commande de retour d'autant plus forte que l'écart est plus grand. Elle a un effet stabilisateur. On la rencontre dans de nombreux mécanismes (régulateur de Watt), dans le comportement réflexe animal ou humain. L'autre point très important est la communication ou transmission d'information aussi importante dans les machines (mécaniques ou électroniques) que chez les êtres conscients et dans la stabilité des organismes sociaux. Ces idées ont eu et ont toujours un succès mérité en dépit d'extrapolations hasardeuses ou d'oppositions dogmatiques. Une voie de recherche pour la cybernétique est, à mon avis, celle de la modélisation du processus « perception-décision-action », de la « connaissance par l'action » que j'appelle « épisrémo-praxéologie ».

Wiener a tenu compte du point de vue humain, en réponse aux dérives du tout robotique, dans « The Human Use of Human Beings », Houghton Mifflin, Boston 1950 (traduction française : « Cybernétique et société », Union Générale d'Éditions, Paris 1971). Il s'est penché aussi sur certaines implications philosophiques dans « God & Golem Inc. », The MIT Press, Cambridge (Mass.) 1964 (traduction française : « God & Golem Inc. », L'Éclat, Paris 2000).

## 3. Analyse harmonique généralisée

L'analyse harmonique généralisée (Generalized harmonic analysis, *Acta Mathematica*, vol.55, pp.117-258, 1930) joue un rôle central dans l'œuvre mathématique de Wiener : filtrage et prévision des signaux, mouvement

brownien, essai sur la mécanique quantique. On la retrouve aussi dans la cybernétique (problèmes de communication).

Le point de départ est la considération de signaux définis sur  $]-\infty, \infty[$  par une fonction  $f$  du temps à valeurs complexes (pour plus de généralité) dont l'intégrale du carré du module est infinie. On dit que l'« énergie totale » de ces signaux est infinie. Des exemples en sont fournis par les fonctions périodiques et par les fonctions presque périodiques et plus généralement par toute réalisation d'une fonction aléatoire stationnaire (donc dont les propriétés statistiques sont invariables dans le temps).

On peut aborder ces fonctions en considérant des valeurs moyennes qui leur sont attachées. Tout d'abord la valeur moyenne sur  $]-\infty, \infty[$  du carré du module et plus généralement la « fonction d'autocorrélation »  $\varphi$ . On se borne alors aux fonctions pour lesquelles ces moyennes existent (l'existence de la fonction d'autocorrélation entraîne évidemment celle de la valeur moyenne du carré du module). Nous avons pour  $f(t)$  : l'« énergie totale », soit  $f^*(t)$  : complexe conjugué de  $f(t)$ )

$$\int_{-\infty, \infty} f(t) f^*(t) dt = \int_{-\infty, \infty} |f(t)|^2 dt = \infty,$$

la « fonction d'autocorrélation »

$$\varphi(s) = \lim_{T \rightarrow \infty} 1/2T \int_{-T, T} f(t) f^*(t+s) dt,$$

et la « puissance totale »

$$\lim_{T \rightarrow \infty} 1/2T \int_{-T, T} f(t) f^*(t) dt = \varphi(0).$$

Le cas des fonctions périodiques ou presque périodiques peut être abordé par la théorie des distributions qui permet de leur attribuer des transformées de Fourier ce qui facilite la mise en œuvre du formalisme de l'« analyse harmonique généralisée ». Dans ce cas simplifié, nous avons pour la fonction presque périodique ( $\Sigma$  par rapport à  $k$ )

$f(t) = \Sigma c_k \exp(i\omega_k t)$ , les  $\omega_k$  étant incommensurables, les résultats suivants

$$\varphi(s) = \Sigma |c_k|^2 \exp(i\omega_k s) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\infty, \infty} \exp(i\omega s) S'(\omega) d\omega,$$

où  $S'(\omega)$  est la « densité spectrale de puissance ». C'est la transformée de Fourier de  $\varphi$ . On a,  $\delta$  étant l'impulsion unité (ou delta de Dirac),

$$S'(\omega) = 1/\sqrt{2\pi} \int_{-\omega, \omega} \exp(-i\omega s) \varphi(s) ds = \Sigma |c_k|^2 \delta(\omega - \omega_k),$$

C'est la dérivée, au sens des distributions, de la « fonction de répartition spectrale de puissance »  $S(\omega)$  qui s'écrit,  $U$  étant l'échelon unité (ou fonction de Heaviside)

$$S(\omega) = \sum |c_k|^2 U(\omega - \omega_k)$$

et

$$S(-\infty) = 0.$$

Le cas plus général considéré par Wiener suppose néanmoins que la fonction d'autocorrélation  $\phi$  est continue à l'origine. Il introduit alors ce qu'il appelle la « transformée 'intégrale' de Fourier »  $\sigma$  de  $f$  soit

$$\begin{aligned} \sigma(\omega) = \lim_{A \rightarrow \infty} & 1/\sqrt{2\pi} [\int_{-A, -1} + \int_{1, A}] f(t) \exp(-i\omega t) / -it \, dt \\ & + 1/\sqrt{2\pi} \int_{-1, 1} f(t) (1 - \exp(-i\omega t)) / it \, dt, \end{aligned}$$

dont la dérivée, si elle existait, serait la transformée de Fourier de  $f$ , d'où la dénomination d'« analyse harmonique généralisée ». Il démontre alors, non sans difficulté, que l'on a

$$\phi(s) = \lim_{\eta \rightarrow 0} 1/4\pi\eta \int_{-\infty, \infty} |\sigma(\omega + \eta) - \sigma(\omega - \eta)|^2 \exp(i\omega s) \, d\omega$$

et que la « fonction de répartition spectrale de puissance »  $S(\omega)$  se déduit, à une constante additive près, de  $\phi(s)$  par un calcul de limite identique à celui qui nous a donné  $\sigma(\omega)$  à partir de  $f(t)$  (remplacer  $s$  par  $t$  et  $f$  par  $\phi$ ). Si la constante est choisie de telle façon que  $S(-\infty) = 0$ , alors  $S(\omega)$  est la « fonction de répartition spectrale de puissance » de  $f$ .

#### 4. Filtrage et prévision des signaux

Les signaux considérés par Wiener sont du type qui intéresse l'analyse harmonique généralisée. Ce sont des réalisations de fonctions aléatoires stationnaires dont on connaît les propriétés statistiques. Dans le cas du filtrage le signal intéressant est souillé par un signal additif parasite ou bruit. Se plaçant dans le cadre des opérateurs linéaires, Wiener montre qu'il existe un filtre de fréquences (opérateur agissant par convolution sur le passé)

$$\int_{0, t} f(s) K(t-s) \, ds,$$

qui réalise, au mieux d'un certain critère (quadratique), la séparation du signal utile et du bruit. En ce qui concerne la prévision, le but est, connaissant le passé du signal jusqu'à l'instant  $t$ , d'obtenir la meilleure estimation, au sens d'un certain critère, de la valeur de la fonction à un

instant ultérieur  $t+a$ . Il existe là aussi un filtre de fréquences optimal. L'essentiel de ces résultats a été publié en 1942 (« secret défense ») et se retrouve dans « Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series », MIT Press, Cambridge, MA, John Wiley and Sons, New York, NY, 1948. Une version préliminaire avait été diffusée sous une couverture jaune et avait appelée « The yellow peril ». Tout à fait indépendamment A.N.Kolmogoroff a publié en 1941, « Interpolation und Extrapolation von stationären zufälligen Folgen », Bulletin de l'Académie des Sciences de l'URSS, Sér.Math.5, pp.3-14.

## 5. Mouvement brownien

Le mouvement brownien ou mouvement erratique de particules végétales en suspension dans l'eau (Robert Brown, 1827) a été étudié, avant Wiener par Einstein (1905), Perrin (1910) et Smoluchowski (1916). L'apport de Wiener est un approfondissement mathématique de l'aspect mathématique du phénomène. On se place ici, pour simplifier sans dénaturer le problème, dans le cas d'un mouvement brownien monodimensionnel. Le mouvement de la particule est décrit par une fonction continue du temps  $w(t)$ , telle que la loi de probabilité de  $w(t) - w(s)$ , ( $t > s$ ), soit la loi normale (Laplace-Gauss), centrée sur 0 et d'écart type  $t-s$ , donc de densité

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi(t-s)}} \exp(-w^2/2(t-s))$$

$w(t)$  et  $w(s)$  étant indépendantes. La fonction  $w$  est dite processus de Wiener. L'expression formelle (normalisée)

$$d\mu(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-x^2/2) dx$$

est la mesure de Wiener (liée à l'équation de la chaleur, à l'intégrale de Feynman, au bruit blanc...). Une intégrale de Wiener s'écrit

$$\int f(x) d\mu(x).$$

On généralise au cas d'une dimension quelconque, 3 en particulier.

En mécanique quantique, sous sa forme la plus classique, l'état d'un système, à l'instant  $t$ , est représenté par une fonction  $x \rightarrow \psi(x,t)$ , à valeur complexes, définie sur l'espace  $R^3$ , telle que

$$\int \psi(x,t) \psi^*(x,t) dx = 1,$$

cette égalité étant satisfaite, quel que soit  $t$ , si elle l'est pour une valeur particulière de  $t$ , ceci en vertu de l'équation de Schrödinger. À ce point la théorie est parfaitement déterministe, non probabiliste. Mais les probabilités interviennent lorsqu'on ajoute que  $\psi(x,t) \psi^*(x,t) = |\psi(x,t)|^2$  est la densité de probabilité de présence du corpuscule au point  $x$ . La théorie quantique n'est donc pas probabiliste au sens classique. Certains théoriciens (Louis de Broglie, David Bohm (1952) ont pensé qu'une théorie probabiliste classique était possible, moyennant l'introduction de variables cachées, malgré un théorème de John von Neumann qui semble s'opposer à cette hypothèse. Les recherches de Norbert Wiener et Armand Siegel (1953,1955) en mécanique quantique semblent aller dans cette direction. L'intervention de  $|\psi(x,t)|^2$ , carré du module de  $\psi(x,t)$  encourageait Wiener à mettre en œuvre l'analyse harmonique généralisée et sa théorie du mouvement brownien. Cette tentative est demeurée inachevée (Wiener N., Siegel. A., Rankin B., Martin W. T., « Differential Space, Quantum Systems and Prediction », The M.I.T. Press, Cambridge (É.-U.), 1966).

#### Références complémentaires

-Conway F., Siegelman J., « Héro pathétique de l'âge de l'information . En quête de Norbert Wiener père de la cybernétique » traduction de N. Vallée-Lévi, présentation de R. Vallée de « Dark Hero of the Information Age. In Search of Norbert Wiener Father of Cybernetics », Hermann, Paris 2012.

-Vallée R., « A week in New Hampshire with Norbert Wiener », in Cybernetics and Systems'90, Trappl R. ed., pp. 343-347, World Scientific, Singapore 1990.

-Vallée R., « Analyse harmonique généralisée et 'distribution epsilon' », Cybernetica, vol. 37, n.3-4, pp. 381-385,1994.

-Vallée R., «Cognition et système. Essai d'épistémo-praxéologie », Interdisciplinaire, Lyon-Limonest, 1995.

-Wiener N., « La Cybernétique. Information et régulation dans le vivant et la machine », traduction de R. Le Roux, R. Vallée et N. Vallée-Lévi, présentation de R. Le Roux, Le Seuil, Paris 2014.