

# **De la Cybernétique aux Systèmes Complexes, un Hommage à Heinz von Förster**

*(Université Paris VII, 26 octobre 2004)*

## **Rencontres avec Heinz von Förster : des « eigen-values » à la remise d' une medaille d'or**

**Robert Vallée**

**<r.vallee@afscet.asso.fr>**

### **Résumé**

On évoque la mémoire de Heinz von Förster à travers deux rencontres : l'une intellectuelle liée aux « Eigen-Values » et l'autre survenue à l'occasion de la remise d'une médaille d'or. La première se situe dans le sillage de la cybernétique de Norbert Wiener qui contenait en germe les éléments de la cybernétique du second ordre, prélude à la prise en considération de la complexité. Elle s'organise autour de ce que nous avons appelé « opérateurs d'observation ». La seconde a lieu à un congrès de l'American Society for Cybernetics, à Chicago en 1995, lors de la remise à Heinz von Förster, conjointement avec Stafford Beer, en présence, entre autres, de Humberto Maturana et de Gordon Pask, de la Norbert Wiener Gold Medal, périodiquement attribuée par la World Organisation of Systems and Cybernetics.

### **Abstract**

The memory of Heinz von Förster is recalled thanks to two encounters: an intellectual one connected to "Eigen-Values", and the other one, with the presentation of a gold medal. The first one is linked to Norbert Wiener's cybernetics, root of the second order cybernetics, leading to the consideration of complexity. It is organized around what we have called "observation operators". The second meeting took place at a congress of the American Society for Cybernetics (Chicago 1995). Together with Stafford Beer, we presented the Norbert Wiener Memorial Gold Medal (periodically awarded by the World Organisation of Systems and Cybernetics) to Heinz von Förster, in the presence, among others, of Humberto Maturana and Gordon Pask.

### **I.- Des « Eigen-Values » ...**

1.- La cybernétique de Norbert Wiener (1948) proposait un programme pluridisciplinaire fondé sur la recherche d'isomorphismes entre des domaines différents (électromécanique, biologie, sociologie...) où interviennent régulation et communication. Le paradigme fondamental était fondé sur la rétroaction négative illustré par la métaphore de la conduite d'un navire. Lorsque celui-ci s'écarte de la trajectoire choisie, une manoeuvre compensatrice du gouvernail tend à l'y ramener. Il y a là, en germe, tous les éléments d'une cybernétique où interviennent un observateur qui évalue, au mieux, l'écart entre la position actuelle du navire et celle qu'il devrait occuper, un décideur qui choisit la correction à apporter à l'orientation du gouvernail et un acteur qui l'effectue. Ces trois fonctions peuvent

être celles d'un seul observateur-décideur-acteur ou, pour être bref, d'un seul observateur-acteur qui peut se réduire, dans les cas les plus simples, à un dispositif automatique. Ce système cybernétique s'observe lui-même ainsi que son environnement et il agit aussi sur ces derniers. Ce sont ces remarques qui m'avaient conduit à proposer, sous l'égide de Louis de Broglie, la notion mathématique « d'opérateur d'observation » (1951, 1955) complétée par celle « d'opérateur pragmatique » et de « transfert inverse de structures » (1974) réalisant la synthèse de l'observation et de la décision, point de départ de ce que j'ai appelé « épistémopraxéologie » (1987,1995). C'est de cette façon que, sans le savoir, j'ai travaillé dans une direction qui me rapprochait, jusqu'à un certain point, de la pensée de Heinz von Förster dont je ne devais faire la rencontre que plus tard, en lisant « Objects : tokens for (Eigen-) Behaviors » (1976) dont la version française a pour titre « Formalisation de certains aspects de l'équilibration des structures cognitives ».

2.- Ce dernier travail, « a seed, alas, not yet a flower » selon les propres termes de Förster, écrit à l'occasion du 80<sup>ème</sup> anniversaire de Jean Piaget, donne les grandes lignes de l'épistémologie försterienne, en partie inspirée par un formalisme, dû à Piaget, concernant « L'Équilibration des structures cognitives » (1975). Un des traits les plus saillants de cette épistémologie est l'introduction des « Eigen-Functions » (Fonctions-Propres), avec des majuscules pour éviter toute confusion avec les eigen-fonctions (ou fonctions propres) des opérateurs (hermitiens) rencontrés en particulier en mécanique quantique. Mais nul doute que ces derniers ont inspiré Heinz von Förster, d'autant plus qu'ils jouent un rôle central dans ce que l'on peut appeler l'épistémologie quantique où les valeurs observables  $\lambda$  d'une grandeur  $g$  sont telles que

$$G \varphi = \lambda \varphi,$$

où  $G$  est l'opérateur représentant  $g$ ,  $\varphi$  une de ses fonctions propres et  $\lambda$  la valeur propre associée. Chez Förster les Eigen-Functions (appelons les  $\Phi$ ) sont telles que

$$\text{COORD } \Phi = \Phi,$$

où COORD est un opérateur dont nous parlerons plus loin. On pourrait dire que  $\Phi$  est une fonction propre de l'opérateur COORD avec la valeur propre un, si COORD était un opérateur linéaire. Ici la fonction  $\Phi$  est un point fixe de COORD : l'action de l'opérateur sur la fonction ne modifie pas celle-ci. Le concept introduit par Heinz von Förster est très général. L'opérateur COORD peut agir, selon le cas considéré, sur une fonction, comme nous venons de le voir, donnant naissance à une « Eigen-Function ». Si cette fonction décrit plus particulièrement un comportement nous avons un « Eigen-Behavior » (Comportement-Propre). Si l'opérateur agit sur un autre type d'élément il donne naissance à ce que l'on pourrait appeler un « Eigen-Element » (Elément-Propre). Pour couvrir tous ces cas, Förster avait choisi de dire « Eigen-Value » (Valeur-Propre), expression que nous n'avons pas voulu présenter en premier, pour éviter toute confusion avec la notion de valeur propre  $\lambda$  d'un opérateur linéaire.

Il nous faut maintenant présenter l'opérateur COORD lui-même, introduit par Piaget. Il se présente dans le cadre d'une interaction sensori-motrice concernant un sujet  $S$  et des objets  $O$ . Pour un observateur extérieur, Obs.S représente ce qui est observable de l'action du sujet et Obs.O ce qui est observable des objets, ce couple est désigné par obs

$$\text{obs} = (\text{Obs.S}, \text{Obs.O}).$$

Parallèlement si Coord.S représente les opérations de « coordination » effectuées par S concernant ses actions et Coord.O celles entre objets O, leur couple est désigné par COORD

$$\text{COORD} = (\text{Coord.S}, \text{Coord.O}).$$

COORD est alors un opérateur capable d'agir sur l'ensemble de tous les obs possibles, tels qu'ils sont définis par l'observateur extérieur sous forme de fonctions, de nombres, d'éléments quelconques...

Heinz von Förster introduit un temps discret et obs(0) désigne obs à l'instant initial 0. L'opérateur COORD, agissant sur obs(0), donne obs à l'instant suivant soit obs(1)

$$\text{COORD obs}(0) = \text{obs}(1) = \text{COORD obs}(0).$$

Le processus itératif se poursuivant, on a successivement

$$\text{COORD obs}(1) = \text{obs}(2) = \text{COORD COORD obs}(0) = \text{COORD}^2 \text{obs}(0),$$

$$\text{COORD obs}(2) = \text{obs}(3) = \text{COORD}^3 \text{obs}(0),$$

$$\text{COORD obs}(n-1) = \text{obs}(n) = \text{COORD}^n \text{obs}(0) \dots$$

Ce que l'on peut écrire

$$\text{COORD}(\text{obs}(0), \text{obs}(1), \text{obs}(2), \dots) = (\text{obs}(1), \text{obs}(2), \dots).$$

Ou encore, obs(0) jouant le rôle d'un simple paramètre, si on désigne par obs la fonction  $n \rightarrow \text{obs}(n)$  pour  $n = 1, 2, \dots$ , fonction définie par la suite (obs(1), obs(2), ...),

$$\text{COORD}_{\text{obs}(0)}(\text{obs}) = \text{obs}$$

qui montre que obs est point fixe, ou Eigen-Fonction de  $\text{COORD}_{\text{obs}(0)}$ .

Avec des hypothèses de convergence adéquates, il vient aussi, en faisant tendre n vers l'infini, dans  $\text{COORD obs}(n-1) = \text{obs}(n)$ ,

$$\text{COORD obs}(\infty) = \text{obs}(\infty).$$

Partant de la situation initiale obs(0), l'itération des coordinations sensori-motrices, qui s'inscrit dans la dynamique propre du sujet, a conduit à la situation obs(∞). Cette situation est un point fixe de COORD ou encore un Élément-Propre. Si l'on part d'un autre obs(0) on obtient le même obs(∞), pourvu que le nouveau point de départ ne soit pas trop éloigné du premier, qu'il appartienne à ce que l'on appelle le bassin d'attraction de obs(∞). Ainsi obs(∞) est une situation stable. Cette situation finale est indépendante de la situation de départ (pour un bassin d'attraction donné), elle est auto-définie, auto-engendrée, par l'opérateur COORD dont la nature dépend du seul sujet. Elle représente l'expérience sensori-motrice finale que le sujet a de l'objet, expérience purement subjective. C'est l'objet tel que le sujet l'a « saisi » ou « construit », fondement de l'épistémologie de Heinz von Förster,

présentée aussi dans « On constructing a reality » (1973) où il aime d'ailleurs, à l'instar de Warren McCulloch (1969), invoquer l'arc réflexe pressenti par Descartes (1664).

3.- Les idées précédentes de Heinz von Förster, dont je pris connaissance au début des années 80, peuvent, dans une certaine mesure, être rapprochées d'idées personnelles auxquelles j'ai fait allusion plus haut. Pour en donner une idée je dois brièvement les présenter. Au départ il y a la notion d' « opérateur d'observation », opérateur mathématique  $O$  qui modélise l'appareil sensoriel global du système considéré (Vallée, 1951, 1955). C'est un opérateur héréditaire (causal) en ce sens qu'il agit seulement sur le passé et le présent du signal global d'entrée, émanant du système lui-même et de son environnement, qui se présente à l'appareil sensoriel.

Ce signal  $\xi$  qui décrit l'évolution conjointe du système et de son environnement, c'est-à-dire de l'univers entier, est essentiellement une fonction du temps  $t$  (mais il peut aussi dépendre d'une variable d'espace  $x$ ), soit  $t \rightarrow \xi(t)$ . Agissant sur  $\xi$ , l'opérateur  $O$  donne une nouvelle fonction du temps  $\eta$ , soit  $t \rightarrow \eta(t)$ ,

$$O(\xi) = \eta.$$

Cette fonction  $\eta$  est le signal tel qu'il est perçu, ou fonction des perceptions. Elle est en général différente de  $\xi$ , en d'autres termes l'opérateur  $O$  n'est pas nécessairement muni d'un inverse.. On peut ici invoquer, mythe prenant le relais de la pure raison, la métaphore platonicienne de la caverne ou du moins sa partie terminale : passage des objets défilant en haut du muret à leurs ombres sur la paroi (Platon, « la République », livre VII). La structure même de cette paroi-écran n'est pas sans influence. Ce phénomène illustre ce que l'on peut appeler « transfert inverse » (Vallée, 1974) par l'opérateur image réciproque de  $O$  de la structure de l'ensemble de toutes fonctions  $\eta$  possibles (distance, ordre etc.) pressenti de façon qualitative par Condillac (1754) et annoncé, dans un cadre statique, par Léon Motchane (1958). L'opérateur image réciproque de  $O$  est noté  $O^{-1}$ , il existe toujours, au contraire de l'opérateur inverse que l'on peut noter  $(O)^{-1}$ . Si  $O(\xi) = \eta$ ,  $O^{-1}(\eta)$  est l'ensemble de tous les  $\xi$  dont l'image par  $O$  est  $\eta$ .

Après l'opérateur d'observation  $O$ , intervient l'opérateur de décision  $D$ , lui aussi héréditaire (causal) Il agit sur  $\eta$  en donnant une fonction du temps  $\zeta$  qui décrit l'évolution des décisions prises

$$D(\eta) = \zeta.$$

Les actions de  $O$  et de  $D$  se conjuguent en une action synthétique unique opérée par l'opérateur produit  $DO$ , ou « opérateur pragmatique »  $P$  (Vallée, 1974) qui fait passer directement de la fonction signal d'entrée  $\xi$  à la fonction de décisions  $\zeta$

$$D(\eta) = D(O(\xi)) = DO(\xi) = P(\xi) = \zeta.$$

La fonction de décisions  $\zeta$  donne une description de la fonction signal d'entrée tout aussi valable que la fonction de perceptions. Elle introduit une connaissance où perception et décision se mêlent. Bien entendu, lorsque  $P$  n'est pas inversible, deux signaux d'entrée distincts peuvent donner la même fonction de décision, ils sont « pragmatiquement indiscernables ». On peut aussi faire allusion ici à un « transfert inverse de structures » par  $P^{-1}$  impliquant les caractères les plus profonds des appareils observationnel et décisionnel. Ce transfert, sorte de projection inverse, attribuée à l'univers observé et agi des caractéristiques propres au système. Il le rend de cette façon plus intelligible au moins en apparence. Il se crée

ainsi une « harmonie non préétablie ». L'univers, devenu pirandellien, apparaît en partie, « comme tu me veux », situation que l'on peut rapprocher de la « projection de soi sur autrui » (Morin, 1986). Compte tenu du rôle joué, à la fois par la perception, la décision et l'action, il y a ici le point de départ de ce que l'on peut appeler une « épistémopraxéologie » (Vallée, 1987, 1995).

On fait maintenant intervenir un opérateur d'action, ou d'effection, E. Il exprime la façon dont la fonction des décisions  $\zeta$  induit les modifications du système et de son environnement (l'univers ici concerné), engendrant ainsi leur évolution conjointe, décrite, comme nous l'avons dit plus haut, par la fonction signal d'entrée  $\xi$ . Nous avons alors  $E(\zeta) = \xi$ . Mais par ailleurs  $\zeta = D(O(\xi))$ , donc,  $E(D(O(\xi)))$  s'écrivant aussi  $EDO(\xi)$ ,

$$EDO(\xi) = \xi.$$

Se présente ainsi une « chaîne épistémopraxéologique » et l'évolution conjointe du système et de son environnement apparaît comme un point fixe de l'opérateur EDO, ou comme un Élément-Propre au sens de Heinz von Förster. C'est une évolution qui résulte des perceptions et actions du système.

Si l'on passe à un temps discret  $n$ , on peut remplacer  $t \rightarrow \xi(t)$  par  $n \rightarrow \xi(n)$ , fonction  $\xi^*$  définie par la donnée de la suite  $(\xi(1), \xi(2), \dots, \xi(n), \dots)$  et il vient alors

$$EDO(\xi(1), \xi(2), \dots, \xi(n), \dots) = (\xi(1), \xi(2), \dots, \xi(n), \dots).$$

On peut rapprocher cette écriture de la suite des COORD  $obs(n-1) = obs(n)$  qui donne

$$COORD(obs(0), obs(1), obs(2), \dots, obs(n), \dots) = (obs(1), obs(2), \dots, obs(n), \dots),$$

Où encore, comme nous l'avons vu, en considérant  $obs(0)$  comme un paramètre,

$$COORD_{obs(0)}(obs) = obs,$$

La fonction  $obs$  étant définie par  $n \rightarrow obs(n)$  pour  $n = 1, 2, \dots$

## II. ... à la remise d'une médaille d'or

J'avais déjà eu l'occasion de contacts avec Heinz von Förster et de correspondre avec lui. Mais c'est lors d'un congrès de l'American Society for Cybernetics (ASC) que se présenta une circonstance plus solennelle. En 1995, l'ASC avait décidé d'organiser, du 17 au 21 mai, son congrès annuel à l'Université d'Illinois à Chicago, sur le thème « Cybernetics and Circularity : a conference on the seeds of cybernetics in the work of Heinz von Förster ». A l'initiative de son président, Stafford Beer, la World Organisation of Systems and Cybernetics (WOSC) décida de décerner à Heinz von Förster sa Norbert Wiener Memorial Gold Medal et de profiter pour cela de la conférence de Chicago. Alors que cette remise de médaille, qui se faisait habituellement lors de l'un des congrès de la WOSC, n'avait pu avoir lieu au cours de son congrès précédent tenu à la Nouvelle Delhi. Je fus chargé, en tant que directeur général, de m'associer à Stafford Beer pour cette cérémonie. Elle eu lieu le soir du 19 mai, sous la forme amusante d'un « processus circulaire » impliquant, outre les deux organisateurs et le récipiendaire : Frank Galuszka, président de l'ASC, Louis Kaufman, Klaus Krippendorff et

Humberto Maturana , en présence de Robert Conant, Herbert Brün, Ernst von Glasersfeld, Gordon Pask et des autres participants au congrès.

La médaille fut décernée par le président de la WOSC après la lecture de la citation et la remise du diplôme par le Directeur général. La cérémonie se termina par les remerciements de Heinz von Förster. Voici, traduit en français, un extrait du texte de la citation : « L'activité scientifique de Heinz von Förster commença par ses contacts avec le Cercle de Vienne, se développa plus tard quand il devint Secrétaire des Conférences Macy sur la cybernétique, se poursuivit avec la fondation du Biological Computer Laboratory de l'Université d'Illinois à Urbana et se traduisit par de remarquables contributions : à la clarification du rapport entre bruit et auto-organisation, à la neuro-cybernétique, à l'étude de la mémoire et de la cognition. Dans ce dernier domaine Heinz von Förster mit l'accent sur le rôle de l'observateur et des processus récursifs, conduisant ainsi à une forme de constructivisme qui demeure une source d'inspiration... »

## Références

- Condillac E. Bonnot de, « Traité des sensations », Paris, 1754.
- Descartes R., « L'Homme », Paris, 1664.
- Förster von H., « Formalisation de certains aspects de l'équilibration des structures cognitives », (1976) in *Hommage à Jean Piaget : Epistémologie génétique et équilibration*, Inhelder B., -Garcias R., Voneche J. (dirs), pp. 76-89, Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, 1977.
- Förster von H., « Objects : tokens for (Eigen)-Behaviors », *Cybernetics Forum*, vol.8, n.3-4, pp. 91-96, 1976.
- Förster von H., "On constructing a reality", in *Environmental Design Research*, F.E. Preiser (ed.), vol. 2, pp. 35-46, Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudberg, 1973.
- McCulloch W.S., "Recollection of the many sources of cybernetics" (1969), *Cybernetics Forum*, vol.5, n.2, 1974.
- Morin E., *La Méthode 3. La connaissance de la connaissance*, Seuil, Paris, 1986.
- Motchane L., «Structures formelles du monde réel» in *La méthode dans les sciences modernes*, Le Lionnais F. (dir), pp.105-110, Editions Science et Industrie, Suresnes, 1958.
- Piaget J., *L'équilibration des structures cognitives*, Presses Universitaires de France, Paris, 1975.
- Vallée R., «Sur deux classes d'«opérateurs d'observation»», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, vol. 233, pp. 1350-1951.
- Vallée R., «Un point de vue algébrique en théorie macroscopique de l'observation», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, vol. 241, pp. 1979-1980.
- Vallée R., "Observation, decision and structure transfers in systems theory"(1974), in *Progress in Cybernetics and Systems Research*, Trapp R., Pichler F. (eds.), vol.1, pp.15-20, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1975.
- Vallée R., « Au sein de la théorie des systèmes : une épistémo-praxéologie », *Lettre Science Culture du GRIT*, vol. 25, n.6.
- Vallée R., « Cognition et système. Essai d'épistémo-praxéologie », *L'Interdisciplinaire*, Limonest, 1995.
- Wiener N., « Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine », Hermann et Cie, Paris, 1948.