

## LA COMMANDE

**L**es Anciens sont moins vieux qu'on ne le croit. Ils avaient déjà compris que la technique de la commande s'adressait à l'artificiel, aux "man-made systems", et deviendrait la régulation, tandis que l'art de la commande s'adressait aux hommes, et deviendrait le commandement. De maître de l'art on passe alors à l'art d'être maître.

La commande demande une **intention**, et celle-ci doit être au moins du niveau de l'ordre 4, dit l'éthologie cognitive, la science des comportements mentaux :

L'ordre 1 est celui de la **réponse** mécanique à un stimulus. C'est le conditionnement, c'est-à-dire la loi d'apprentissage entre les stimuli et les réponses, ce qui n'est qu'un comportement d'érotomane, stéréotypé par un passé phylogénétique ;

L'ordre 2 est celui du **désir** issu d'un espoir propre ou qui serait satisfait par un environnement immédiat : qu'un fruit tombe, qu'on gagne au loto, que l'adversaire fasse une triple faute au tennis.

L'ordre 3 est celui **d'intentions** dont on n'est pas le client, victime ou bénéficiaire, par exemple induire un comportement de tiers.

Au niveau 4, le sujet veut obtenir un comportement de la part d'un autre, donc par une induction, une **influence** qu'il exerce avec jésuiticité, ou de façon déclarée, en dépit des résistances et des aléas. Cela, c'est la vraie commande, celle du Chef.

La commande de systèmes humains demande donc de penser, de se créer un état mental, ce qui implique la formation de représentations et le traitement de symboles, donc d'élucubrer mentalement le système-objet et le simuler pour en prendre la maîtrise par des moyens adéquats. Ces moyens sont déjà fort bien suggérés dans «Le Prince» de Machiavelli. Elle n'est à confier, dès lors, qu'à des **systemiciens**. Mais...

«Et si nous ne pouvons commander à nos pleurs  
Que la gloire du moins soutienne nos douleurs  
Et que tout l'univers reconnaisse sans peine  
Les pleurs d'un empereur, et les pleurs d'une reine»

Jean RACINE, Titus et Bérénice



# LA COMMANDE

## Sommaire

1	Configurations de processus sous consigne .....	5
1.1	Définitions .....	5
1.2	L'art de la régulation .....	6
1.3	Le modèle de la consigne .....	8
1.4	Les problématiques de la commande .....	10
2	Le modèle du processus à feed-back .....	13
2.1	Rétromettance .....	13
2.2	Trois notions fondamentales de la théorie du feed-back .....	19
3	La régulation .....	23
3.1	Le paradigme .....	23
3.2	Exemples de régulateurs dans le domaine physique .....	24
3.3	La régulation organiciste .....	27
4	Transposition de la régulation en gestion .....	32
4.1	Le calibrage .....	32
4.2	Modèle minimal de gestion de stock à feed-back négatif .....	34
4.3	La réponse "contrôlée" dans le domaine de la gestion .....	36
4.4	Transposition de la forme canonique d'un régulateur à la gestion .....	38
5	Le procès chinois .....	41



# 1 Configurations de processus sous consigne

## 1.1 Définitions

### a Commande

Les commandes sont les grandeurs que l'on a choisies pour réaliser une tâche donnée. C'est sur elles que l'on peut agir pour modifier l'évolution des outputs.

### b Politique

On appelle politique l'évolution des commandes dans le temps.

### c Horizon

La durée temporelle prospective couverte par la politique d'un ensemble donné de commandes s'appelle l'horizon. Comme l'horizon est une ligne qui se recule dès qu'on veut l'approcher, une politique n'est établie que jusqu'aux prochaines élections.

### d Consigne

La consigne est un ensemble de contraintes établies sur les outputs d'un processus.

### e Régulation

La régulation est un modèle où les commandes d'un processus sous consigne sont informées des outputs par des capteurs transmettant des signaux via une rétroaction.

### f Interférence

Les interférences sont des signaux issus d'une source différente de celle de la référence ou de l'input physique d'un processus, et qui affectent des éléments d'un système – ses processus, ses outputs, ou les observations qui y sont prises. Elles peuvent être de nature physique, d'information (bruit, parasites, influences), aléatoires ou non.

### g Contrôle

Le contrôle est un processus d'interaction impliquant au moins une régulation (donc aussi ses composantes citées), qui par une restriction des degrés de liberté transforme des relations d'opposition en des relations d'association. Le contrôle s'adresse aux états, aux processus, aux outputs et/ou sur les ressources exploitées à ces fins – donc peut s'exercer sur l'ensemble du système.

### h Critère

Soit A l'ensemble des objets explorés – aux fins de confrontation – dans un processus de choix. Un critère est une fonction d'évaluation, définie sur A, qui prend ses valeurs dans un ensemble totalement ordonné, et qui représente les préférences du décideur selon un point de vue.

Dans le domaine du contrôle, les "objets" peuvent être des états d'un système que l'on peut atteindre, des outputs réalisables, ou des ressources exploitées à ces fins.

#### i Décideur

Les commandes sont issues d'un processus appelé le décideur, lequel peut être naturel ou artificiel ou, dans certains contextes, surnaturel.

- Un décideur est naturel dans la mesure où il peut avoir des comportements imprévisibles, donc qui ne sont pas exhaustivement engendrés par une prédiction, une heuristique ou un algorithme. Il y intervient donc, par définition, des facteurs naturels, tels que l'intuition et l'émotion – comme dans les systèmes femme-machine?
- Le décideur artificiel est un être suprême dans le domaine de la robotique. Comme ses procédures de commandes sont théoriquement prévisibles par des heuristiques (mais elles peuvent être trop complexes pour l'être pratiquement), la commande y est nécessairement hiérarchisée.
- En gestion seulement, on trouve des décideurs qu'on peut disqualifier de surnaturels :
  - Soit parce qu'ils prennent des décisions sans aucun fondement justifié par la raison, sans perspective ni morale, et même sans avis de systémiciens – ce qui est un comble!
  - Soit qu'ils soient accompagnés de procédures apparentées à l'artificiel, aidant à élucider des choix complexes. De telles approches sont présentées dans l'exposé sur «Vers le Décideur artificiel».

#### j Optimisation

L'optimisation est la recherche d'un extremum sur un ou plusieurs critères par le moyen des commandes. L'optimisation ne porte en général pas à la fois sur des critères d'état, d'outputs et de processus, parce que leur expression en fonction de pénalités à minimiser devient rapidement inextricable. Une telle complexité, complétée par les multiples champs d'incertitude, est inabordable par les formulations de systèmes, et ne peut donc être confiée qu'à des Chefs ou à des gens de la gestion.

### 1.2 L'art de la régulation

À défaut de pouvoir régler le temps – ce que seuls saint Benoît et Einstein ont été proches de réussir – les Anciens ont commencé à se régler sur le temps. Pendant la journée, jusqu'aux premiers brouillards de Londres, on utilisait les cadrans solaires. Si ceux-ci avaient été plus grands, par exemple 1 000 ou 2 000 kilomètres, on aurait pu penser plutôt à la courbure de l'espace-temps et à la géométrie non-euclidienne (non-plane) de Lobatchevski. En effet, l'observation de la projection du long rayon d'ombre (c'est beau, hein?) sur la surface du globe l'aurait rendue apparente à tout esprit tordu.

N'y ayant pas pensé, ces barbares d'Égyptiens, puis les Grecs, depuis sans doute le 17<sup>e</sup> siècle avant J.C., utilisaient la clepsydre pour graduer le temps dans les ombres et la nuit. C'est une horloge à eau, comme l'indique son étymologie: de "kleptein", signifiant dérober (le cleptomane), et "udor", l'eau.

Son principe élémentaire est que l'écoulement régulier de l'eau dans un récipient en fait monter le niveau ; un indicateur flottant sur celui-ci peut alors faire monter une aiguille le long d'un indicateur fixe gradué à cette fin.

La logique aurait demandé que l'indication du temps soit descendante quand il passe, puisque le temps s'écoule, et que d'ailleurs le temps qui nous reste diminue. Ce truc-machin a été maintes fois perfectionné et de multiples façons, techniques et décoratives, y compris le fabuleux cadeau d'une clepsydre du SODIUM HUSSEIN de l'époque, le calife de Bagdad, à CHARLEMAGNE en 806.

Ce qui nous intéresse – on peut toujours le supposer – c'est qu'un très ancien texte arabe mentionne un document de la MIT Press, (Cambridge, USA, 1970) de O. MAUR, intitulé «The origine of Feed-back Control». On y découvre, bien avant les jouets japonais, une clepsydre remontant au 3<sup>e</sup> siècle (une horloge qui remonte le temps ?) construite par un certain KTESIBIOS d'Alexandrie.

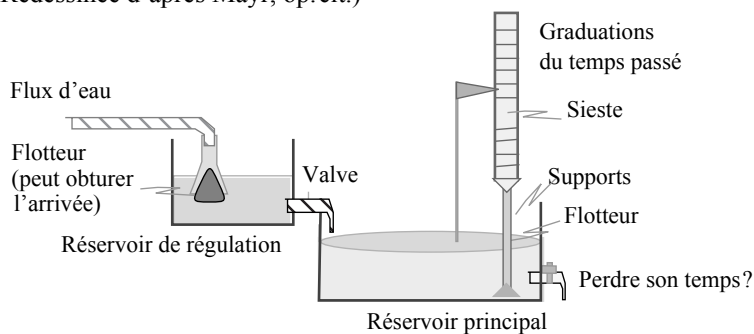
Celle-ci préfigure un des fleurons de cet exposé, la chasse de toilette, ce qui est déjà glorieux, mais ne suffit pas encore : comme autre qualité, elle paraît être le premier dispositif physique vivant effectuant une régulation automatique, d'où sa situation ici bien en vue à l'étalage de la culture systémique.

En effet, à part sa mission prophétique, cette horloge à eau montrait le temps "écoulé" selon le schéma de la Figure 1, redessinée d'après MAYR. On admirera la finesse du réservoir régulateur, permettant d'éviter un continuel déversement de l'excès d'eau, par la présence d'un flotteur avec obturateur dans le bac, et ainsi de réguler le faible débit d'eau sans qu'on s'en occupe, ce qui est le problème posé.

Décidément, il y avait déjà du système dans l'eau...

Figure 1. La clepsydre de Ktesibios et son régulateur

(Redessinée d'après Mayr, op.cit.)



C'est pas beau, ça ?

## 1.3 Le modèle de la consigne

### 1.3.1 Consigne

Un processus est défini ici comme activé s'il utilise de l'énergie extérieure; il est dit actif lorsqu'il peut engendrer lui-même une telle énergie. Cette énergie peut être sous forme d'information; si cette information concerne l'output à transférer on parlera de consigne.

Donc la consigne est un ensemble d'attributs assignés à l'output d'un processus; elle n'en est cependant pas la mission ou l'objectif "libre", car la consigne est nécessairement associée à des contraintes. Ces contraintes peuvent être exprimées par des bornes ou des spécifications de l'output, mais peuvent aussi inclure des restrictions sur la quantité ou la nature (la "déontologie") des moyens et ressources exploités à cette fin.

Les attributs faisant l'objet de la consigne peuvent être des qualités ou des indicateurs numériques dans les situations familières; ils peuvent aussi être autre chose dans des situations qui ne sont pas encore abordées ici. Par exemple, la consigne peut être que les entités de l'output soient bleues, ou pourries, ou encore de peinture 39. Encore que la généralité soit permise par la définition, on préférera parler de consigne lorsqu'un seul attribut est considéré. Le gain en clarté est évident et il est plus clair aussi d'associer de façon univoque un seul processus à une seule consigne, quitte à faire le design ou l'analyse de plusieurs processus concurremment.

On poursuivra donc ici avec une consigne unique, mais la généralisation ultérieure de la consigne dans le domaine de la gestion relèvera de la téléonomie, où plusieurs attracteurs (et répulseurs) seront présents simultanément.

Un processus sous consigne doit donc produire celle qui est assignée à l'output. Ceci peut s'obtenir (quand tout va bien) par les facteurs de design et de contrôle, lesquels sont réunis dans la régulation.

### 1.3.2 Valeur-cible

Une valeur-cible est une grandeur numérique assignée comme consigne à un processus. Elle est dès lors une expression la moins complexe de la téléonomie de norme, figurant d'ailleurs à cette place sur les facteurs de complexité. La valeur-cible peut être exprimée de quatre façons différentes, desquelles dépendent le comportement et le contrôle du processus chargé de l'atteindre:

- La borne inférieure: on veut "au moins" cette valeur, et il n'est pas pénalisant de la dépasser;
- La borne supérieure: il est pénalisant de dépasser cette valeur;
- Un intervalle: c'est l'extension de la notion de cible à ses bornes simultanément. La capacité d'un système de maintenir des variables dans des intervalles spécifiés est une forme (simplifiée) de l'homéostasie, que l'on va retrouver au cours de cet exposé;
- La cible au sens strict: les écarts sont pénalisés, qu'ils soient par excès ou par défaut.



Il est aisé d'assigner des valeurs-cible à un système symbolique, s'il a les propriétés d'être identifiable et contrôlable. Ainsi, soit la consigne naïve  $y=2x$  dans un processus disposant d'un input  $x$  et d'une "boîte" de transformation produisant  $y$  : il suffit de mettre un opérateur " $*2$ " dans la boîte de transformation.

Toutefois le problème change de nature quand il s'agit de mettre en œuvre réellement un processus qui exécute physiquement une telle opération symbolique. Ainsi il n'est pas commode de doubler la taille d'une personne qui mesure déjà 170 cm, ou de doubler le profit d'une entreprise par un tour de magie comme le font des programmes de simulation ou de jeux d'entreprise qui se vendent cher. La gageure est donc de former un design qui soit cohérent, donc que les processus et valeurs conviennent les uns aux autres, recommandation à répéter à des Chefs dans toutes les paroisses de la gestion et d'ailleurs.

### 1.3.3 Comparateur

Pour qu'un processus soit à même d'obtenir la consigne, il faut l'en informer. Cette information doit être transmise au dispositif, mais la configuration qui est cohérente pour des connexions d'information n'est en général pas la même que celle qui convient pour les flux physiques :

- L'information est issue d'un émetteur qui "dit" la consigne. Il le fait en envoyant un signal " $r$ ", dit signal de référence ;
- Ce signal arrive à un récepteur qui doit être capable de le reconnaître, puis de le transmettre au foncteur physique qui effectue la transformation ; soit  $L$  une telle entité.

Dans le cas présent, l'input de ce processus d'information est donc la référence " $r$ ", et l'entité " $L$ " doit pouvoir traiter des informations libellées par exemple comme ceci :

"si  $r = y^+$  alors..." , et "si  $r = y^-$  alors..." .

Une telle entité n'a pas été baptisée nommée ici " $L$ " par hasard ; en effet elle doit disposer de la capacité d'effectuer un choix Logique, et cette propriété lui donne pour promotion d'être la première généralisation du répartiteur, un être dont les médias avaient déjà annoncé la présence dans l'exposé sur «Les Modèles de processus».

Dans les configurations d'Ensembles d'Activités Humaines (qui se dessinent à présent dans un certain avenir probable, comme on dirait en politique), la notion de comparateur sera généralisée en lui donnant une portée qui va bien au-delà de la confrontation numérique. En augmentant sa complexité, notamment en y admettant des fonctions naturelles telles que le jugement, la possibilité d'inputs multiples et de plusieurs critères de confrontation simultanément, ce simple comparateur postulera le statut d'évaluateur, exerçant bien évidemment la fonction d'évaluation, à laquelle un exposé spécifique est consacré.

### 1.3.4 Interférence

Jusqu'à présent, rien n'empêche d'obtenir l'output désiré si l'ajustement, la cohérence et le calibrage sont assurés et que l'ensemble ne se détériore pas. Cependant, des flux extérieurs à l'assemblage peuvent intervenir et modifier la relation globale établie entre le signal de référence et l'output ou le résultat obtenu. Ces interventions issues d'une source différente

de celle du signal de référence, ou de l'input physique, portent le nom générique d'interférence. Ce nom deviendra plus spécifique (par exemple "perturbation") dans des contextes et configurations particulières.

L'interférence peut affecter différentes composantes de l'assemblage :

- Des entités de transformation, donc les opérateurs et les exécutifs du processus;
- Des relations, en pratique des flux transférés;
- De l'énergie ou de l'information, en particulier les communications.

Les cas les plus clairs sont ceux où l'interférence affecte la transformation ou directement l'output final. En effet, s'il y a plusieurs transformations en séquence et que l'interférence affecte des entités intermédiaires, elle se transmet dans la séquence et les choses deviennent complexes. D'autre part, si des interférences affectent le signal ou l'entité de commande, celle-ci devient difficile à... maîtriser!

### 1.3.5 Capteur

Le capteur saisit l'output d'un processus ou l'état d'un système et en envoie un signal à l'entité de commande. Un capteur est donc nécessaire pour connaître l'output ou l'état obtenu après l'influence éventuelle d'interférences :

- Si l'information issue du capteur est inutilisée l'output et l'information se perdent hors des bornes;
- Si l'information issue du capteur est transmise à une entité de commande, on entre dans le domaine de la rétroaction, puis celui de la régulation par feed-back.

## 1.4 Les problématiques de la commande

La commande présuppose une téléonomie, donc qu'on a déjà lu l'exposé du Tome Sud qui la concerne. Si, par extraordinaire, ce n'était pas le cas, il faudra se contenter d'une version simpliste, genre livre de gestion en américain. La téléonomie développée est un ensemble de variations sur les thèmes de "on veut, on voudrait ou on doit" ou, d'autre part, "on ne veut pas ou on ne peut pas"; dans cette section, elle sera concentrée sur seulement "on devrait", disons la consigne.

Dans le problème officiel de la théorie du contrôle (de systèmes formels), ce sont plutôt des états que l'on cherche à atteindre ou à maintenir – on parlera un jour d'homéostasie, quand les petits seront au lit; ceci donnera des épanchements de cybernétique, dont on fera des prélèvements en son temps. Il faudra donc y décrire et reconnaître les états existants ou obtenus, lesquels peuvent être affectés par des aléas ou masqués à l'observateur: leur reconnaissance est connue sous le nom d'"estimation d'état".

Dans le contexte de la commande, la consigne concerne plutôt les outputs, la commande s'adressant en principe aux engins qui les fournissent. Ici se pose donc le problème d'observation ou d'estimation des outputs. De plus, comme dans la problématique plus générale du contrôle, il convient de connaître les propriétés fonctionnelles de l'engin et les facteurs d'influence, lesquels peuvent affecter la commande. C'est le problème de l'identification du système.

La problématique typique est dès lors de choisir la politique  $m(t)$  conduisant le système à produire les outputs les plus satisfaisants possibles ; c'est un standard du management, mais en systémique c'est un sport de bon niveau, car tout y est toujours plus compliqué du fait qu'on ne s'y contente jamais du bon sens ou de l'intuition qui donnent les solutions évidentes. De plus, il lui faut toujours une bonne dose d'artificiel, sinon l'homme doit tout faire soi-même, et il n'y a plus de "système".

S'il n'y a pas de meilleur résultat, ou de meilleure politique, la commande est optimale.

#### a Le problème de base de la commande

La version de base implique que la relation entre les inputs de commande et les outputs soit stable et déterministe, ce qui implique la connaissance fiable de l'engin. Le modèle de base est à boucle ouverte – la commande peut être de la nature d'un "calibrage".

#### b L'observation et estimation

L'output issu de l'engin est transféré à un instrument d'observation ou de mesure. Celui-ci peut subir des perturbations ou des influences, de sorte qu'à l'issue du processus on dispose de l'output "observé".

#### c Rétromettance

Si la commande est fonction de l'output observé, le processus est "à boucle fermée".

#### d Commande stochastique

Soit que l'engin ne soit pas déterministe, à savoir qu'il peut être perturbé par des interférences. On ne peut maîtriser ces interférences – par définition hors du contrôle – mais des procédures en décrivent des propriétés statistiques. Lorsqu'il y a à la fois des influences aléatoires sur le processus de transformation et des perturbations sur l'observation de l'output, le problème de commande est dit "stochastique". Dans ce cas, les propriétés statistiques des outputs doivent aussi être décrites pour pouvoir élaborer la meilleure politique des commandes.

Plus généralement, lorsque le processus global est formé d'une succession d'états et de transformations et que chacune de ces phases peut être affectée d'une influence aléatoire, le traitement du problème quitte l'artisanat de la gestion et il faut se rendre dans les services de la programmation mathématique et spécifiquement y chercher dans les couloirs les plaques des bureaux somptueux de Richard BELLMAN, Ronald HOWARD et leurs salles de soins intensifs.

#### e L'élucidation externe

Les problématiques citées jusqu'ici supposent que l'engin est de processus connu et invariant. Cela n'est plus le cas si l'engin lui-même peut être affecté par des influences telles que ses caractéristiques peuvent varier au cours du temps, ou lors des appels successifs qui y sont faits, l'engin n'est alors plus "invariant", et sa réponse aux mêmes inputs peut ne pas être constante.

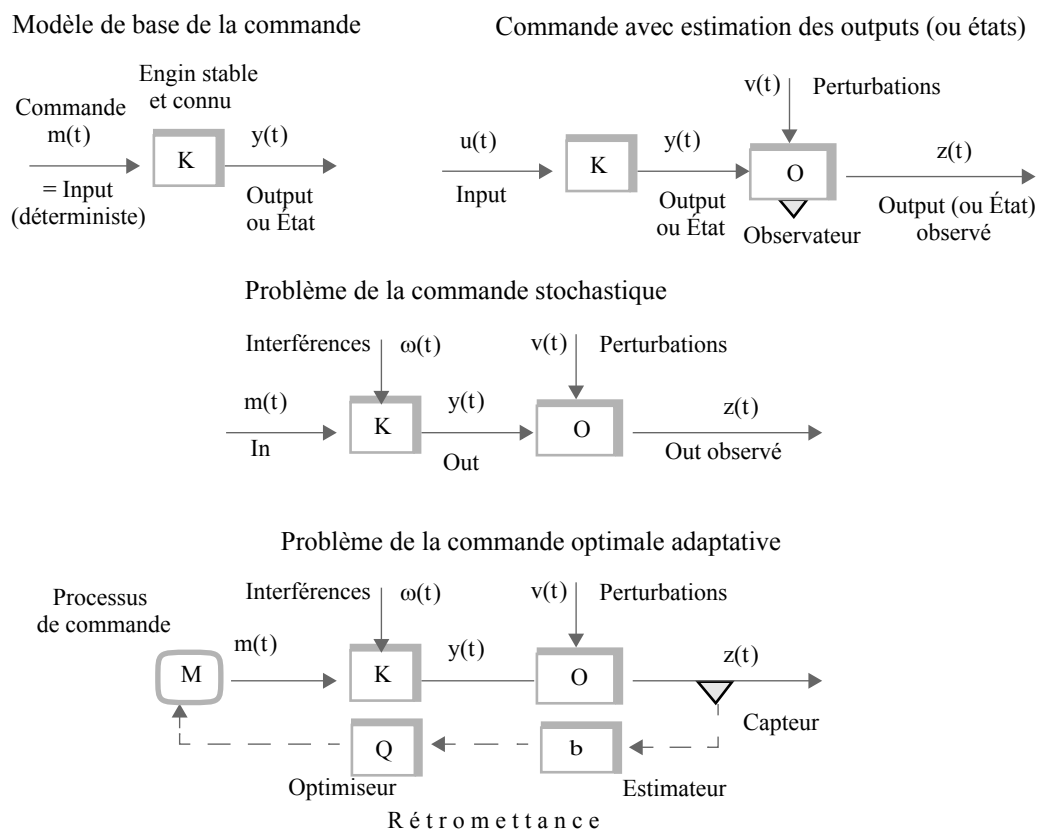
Du fait que dans les formulations un processus de transformation est spécifié par les foncteurs et leurs paramètres, ce sont ces derniers qu'il faut parfois reconsidérer, et ce problème est dit "d'estimation de paramètres".

Une des voies pour ce faire est l'élucidation externe, mentionnée à cette fin dans l'exposé sur les «Modèles de processus». Son mode classique est de soumettre à cette "boîte noire" des inputs  $u(t)$  déterministes et d'observer la variété de réponses  $z(t)$  de l'output observable (sans doute avec des perturbations sur l'instrument de mesure). Il s'agit bien d'élucidation externe de l'engin, par déduction des propriétés de la boîte noire.

L'élucidation dite interne, en revanche, demanderait d'explorer l'engin lui-même – son design et ses paramètres.

La Figure 2 réunit dans un ensemble de schémas "standards" (ou "canoniques") les versions de complexité croissante des problématiques qui viennent d'être citées de a à g; elle est complétée par une problématique plus générale, dite du contrôle adaptatif.

Figure 2. Les schémas des problématiques de commande



## 2 Le modèle du processus à feed-back

### 2.1 Rétromettance

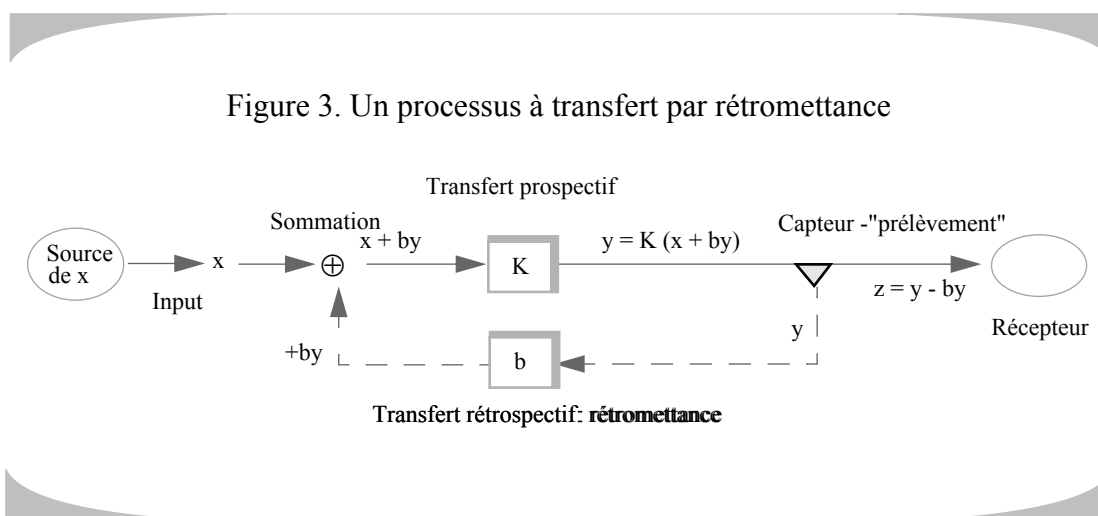
Une première version de la rétro-mettance est celle où l'output, ou une partie de celui-ci, est simplement "remis dans" le flux d'input. On considère donc un processus élémentaire dont l'input est  $x$ , l'output  $y$ , et la transformation  $K$  est située dans une "boîte" adéquate. L'output  $y$  de la transformation est saisi par un capteur qui le transfère à un concentrateur, lequel le combine à l'input pour former un nouvel input soumis à la transformation. La Figure 3 tend la main pour que l'on puisse saisir ce modèle.

Supposons d'abord qu'il s'agisse d'un processus physique, et, de façon très naïve, que tout output soit additionné à l'input. On se trouve alors devant la situation aberrante où l'input est chaque fois cumulé à l'output, de sorte que le flux admis croît continuellement, et plus rapidement qu'une fonction linéaire, ce qui est évidemment divergent.

Supposons ensuite qu'une partie seulement de l'output soit rétro-cédée de l'input au concentrateur; soit  $\beta$  (positif) cette partie rétro-cédée, et soit que le concentrateur ajoute cette partie " $\beta \cdot y$ " à l'input  $x$ . Une situation réelle qui répondrait à ce modèle serait celle du "recyclage". Dans un tel processus une partie de la production (sélectionnée par exemple pour raison de défektivité) va de nouveau subir la transformation.

Un exemple typique en est le "groisil" (déchets) de l'industrie du verre; ce sont des plaques de verre plat abîmées, rejetées par le contrôle de qualité. Elles sont pliées en huit, limées, sciées et biseautées au burin, puis enduites de résine et repeintes en jaune avant d'être emballées dans un tissu mercerisé anti-mouches, et enfin écrabouillées et reversées dans le four pour y être, bien sûr, "recyclées".

- La partie  $(1-\beta)$  de l'output " $y$ " est transférée hors des bornes au lieu de se "recycler";
- La partie  $\beta$  (disons 9%) est additionnée à  $x$ . Si l'input d'entrée  $x$  est constant, il devient  $x+\beta y$  à la sortie du concentrateur additif.



Ce processus est trivialement stable car la fonction de transfert correspondant au facteur de gain est globalement unitaire. En effet il est clair que, avant le capteur,

$$(1) \quad y = K(x + \beta y), \text{ d'où nous lisons } y = \frac{K}{1 - \beta K} x$$

Donc si le facteur de gain  $K$  est 1 (par exemple le rendement de la transformation est de 100%), et soit  $\beta = 0,1$ , alors un input  $x$  disons de 100 unités donnerait un output proche de 111,11, c'est-à-dire que le gain de cette partie du processus est  $y/x = 10/9$ .

L'output est supérieur à 100? Donc on a plus d'output que ce qu'on a mis dedans? Évidemment, puisqu'on a exprimé le  $y$  avant le capteur; c'est comme si on avait été rechercher des unités (par exemple déjà vendues) et en avait remis dedans à chaque boucle 10% de ce qui  $y$  a été rajouté, ce qui nous donne par la somme de la progression géométrique  $[1/(1-\beta)]$  le 111,11 supérieur à 100.

La réponse est donc que on n'apas dit que le processus ne fonctionnait "qu'une seule fois". En fait le résultat obtenu pour ce modèle est celui d'une séquence infinie de cycles dont la contribution additive est de plus en plus faible; c'est donc le résultat de la convergence vers la somme d'une série, et c'est cela que fait apparaître cette fonction de gain.

La neutralité du gain global pour  $K=1$  est montrée sur l'output après le prélèvement:

$$(2) \quad z = (1 - \beta) \frac{K}{1 - \beta K} x \quad \text{soit} \quad z = 1 \cdot x \quad \text{si } K=1$$

Cependant, pour  $K \neq 1$ , il y a deux facteurs de gain:

- Celui de la séquence directe ( $K$ ) qui, en l'absence de rétroaction, donnerait  $y = Kx$ ;
- L'autre est le facteur de gain du retour " $-\beta$ ".

Leur combinaison donne l'expression (2), et on est fort loin d'une réponse neutre: ainsi par exemple, si  $K=0,8$ , le facteur de réponse devient  $0,72/0,38$ , soit environ 1,89. Dans cette présentation, la valeur de rétroaction (le  $\beta y$ ) a été ajoutée à l'input; ce faisant elle a amplifié le flux.

Dans la suite de l'exposé la rétroaction ne sera plus un flux réel; elle quittera son enveloppe physique et le processus à feed-back se posera comme modèle nu. On sera content si on en a assez pour jouer au feed-back après les vêpres avec la fille de la boulangère.

### 2.1.1 Feed-back positif et négatif

Le feed-back négatif tend à réduire les écarts, donc à diminuer l'amplitude du signal de contrôle; le feed-back positif va par contre dans le sens d'une amplification des écarts. La constatation mathématique en est immédiate d'après la fonction de gain ci-dessus. En effet le dénominateur deviendra  $1 - \beta K$  au lieu de  $1 + \beta K$ , et la grandeur  $1 - \beta K$  tend vers zéro lorsque  $\beta K$  tend vers 1, de sorte que le rapport  $y/x$  tend vers l'infini et le système diverge clairement.

Sans pour autant se situer dans ce cas limite, une boucle positive fournit chaque fois une contribution additionnelle et le rapport à l'input initial augmente dans cette mesure; le signal de commande amplifié amène un comportement instable: il faudrait une capacité de régulation de plus en plus forte pour maintenir un équilibre. De telles boucles positives sont familières en dynamique de capitalisation ou en dynamique démographique.

Dans des systèmes physiques, on trouve des applications de la rétroaction dans des appareils tels que les oscillateurs des émetteurs et récepteurs de radio. Le sens de la boucle de feed-back est appelé la polarité de cette boucle; celle-ci sera diagnostiquée par application de la règle des signes, ce qui sera montré en temps utile.

Le problème du feed-back est palpable dans une situation élémentaire comme celle des cas présentés. La question de la fonction de transfert prend cependant une tout autre ampleur dès que la configuration prend un grade en complexité: il faut faire alors appel aux transformées, figurant dans l'exposé « Analyse de processus », région hostile réservée aux visiteurs expérimentés car on peut y rencontrer des êtres mathématiques malveillants tels que Laplace et Fourier.

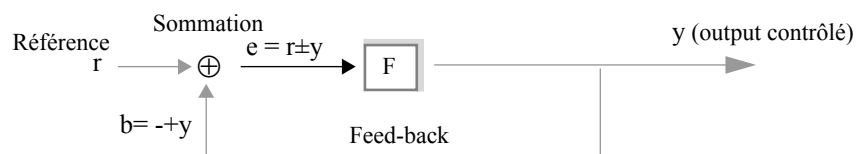
Dans les considérations faites ici le rôle du temps n'est pas traité; or il va de soi que, physiquement en tout cas, le processus est incompréhensible si on n'explicite pas le rôle des décalages, durées de transformation et délais, tout en spécifiant si le processus temporel est discret ou continu. Mais voici d'abord le modèle de base débarrassé de ses complexités, et rendu illustre au moyen d'exemples familiers.

### 2.1.2 Forme canonique du feed-back élémentaire

La caractéristique essentielle du modèle du feed-back est le fait que ce dernier ne traite que des signaux; l'objet à commander est le processus réel qui effectivement fournit l'output dont on veut obtenir des propriétés spécifiées. C'est cet objet qui est désigné par le "plant" dans les exposés en américain; en français ce serait l'"implantation", mais ce n'est valide que dans un contexte industriel.

Un processus à feed-back élémentaire (en anglais "unity feed-back system") est tel que dans sa forme canonique il ne présente qu'une seule boucle, et son feed-back primaire est égal à l'output contrôlé "y" – comme le montre la Figure 4.

Figure 4. Forme minimale d'un système de contrôle à feed-back



Le caractère symbolique du modèle se manifeste par les propriétés suivantes :

- Les signaux issus de l'observation de l'output sont obtenus par des capteurs et des senseurs. Lorsqu'ils sont utilisés par des entités pour affecter leur propre comportement ou celui d'autres entités, ces signaux obtiennent alors le statut d'information.
- Au niveau symbolique, l'entité produisant un output est un foncteur, lequel sera désigné par  $F$ ; celui-ci pourra par exemple être un opérateur effectuant des transformations mathématiques. Dans ce cas, l'input n'est pas non plus une grandeur réelle, mais est un signal servant de référence pour l'output désiré, et qui sera désigné par " $r$ ". La différence, notée  $e = r - b$ , est donc un signal d'écart, qui est transmis au foncteur;

### 2.1.3 Fonction caractéristique et fonctions de gain

Les propriétés d'un système le plus intéressantes pour l'analyste sont celles qui ont trait à son comportement et à sa réponse à des sollicitations, en particulier des impulsions. C'est ce qui conduira les vrais amoureux de la nature symbolique des systèmes à se passionner pour la fonction caractéristique (par exemple un polynôme dans le cas de linéarité). Celle-ci s'applique à l'expression de la configuration par blocs via son graphe de flux de signaux.

Dans la section sur la rétroaction, on a donné un premier aperçu d'une fonction de gain. Pour un feed-back élémentaire, on définit plus généralement les relations de transfert, selon les notations suivantes :

- $F$  : la fonction de transfert de la boucle ouverte;
- $y/r$  : la fonction de transfert de la boucle fermée, donc le rapport de l'output contrôlé  $y$  à l'input de référence désigné par  $r$ ;
- $e/r$  : le signal d'activation, dit "rapport d'erreur";
- $b/r$  : le rapport de feed-back primaire.

Ces relations sont simplement :

$$(3) \quad \frac{y}{r} = \frac{F}{1+F} \quad \frac{e}{r} = \frac{1}{1+F} \quad \frac{b}{r} = \frac{F}{1+F}$$

Elles sont obtenues directement par :

$$y = eF = (r-y)F = rF - yF, \quad \text{d'où } y(1+F) = rF, \text{ ce qui donne (3).}$$

Dès lors l'équation caractéristique, exprimée en égalant à zéro le dénominateur de la fonction de transfert, est pour un feed-back négatif déterminée par :

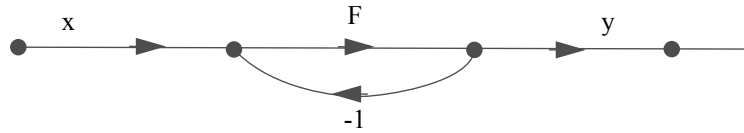
$$1+F = 0$$

Donc, si le foncteur  $F$  est un rapport, la somme de son numérateur et de son dénominateur est nulle. Le graphe de flux de signaux correspondant est la Figure 5.

Les nœuds d'un tel graphe forment la composition des signaux (par exemple en tant que concentrateurs, tel un opérateur d'addition) où ils rendent compte alors de la valeur de la variable ainsi formée. Ils sont aussi distributeurs de cette valeur dans d'autres branches.



Figure 5. Graphe de flux de signaux du feed-back élémentaire



Sur les arcs s'effectuent les transformations, (F), qui sont les "blocs" dans les configurations par... blocs. Celles-ci ont une mission de représentation d'équations algébriques simultanées mises dans un ordre qui explicite la formation de valeurs de variables à partir de séquences de signaux reçus via d'autres variables. L'algèbre de telles configurations par blocs est présentée au Tableau 2, section 3 des «Modèles de processus».

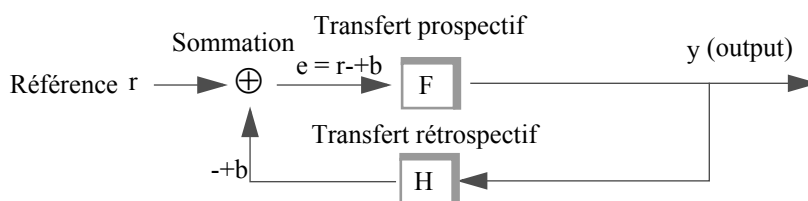
Cette dualité par laquelle les transformations sont soit sur les arcs, soit dans les blocs, se retrouve lors de la modélisation de problèmes des EAH lorsqu'on présente les choses d'une part selon les configurations par blocs et d'autre part selon les graphes d'influence, vus dans l'exposé sur la systémographie. Lorsqu'il s'agit de description de processus, le graphe d'influence, même s'il comporte des boucles, se doit donc de donner un sens de lecture du modèle. Si cela n'est pas possible, la configuration est invalide ou ne représente pas un processus, mais seulement une architecture statique interactive dans laquelle le passage du temps ne peut pas être rendu explicite.

On retrouve aussi cette dualité dans les représentations de processus de production appelés les "GRAF CET", en relation avec l'AFCET, Association Française de Cybernétique Économique et Technique, qui en fournit les publications.

#### 2.1.4 Forme canonique du processus à feed-back négatif

Un progrès fait par le processus selon la Figure 6 est la présence d'un foncteur sur le trajet de feed-back; il est désigné par H (et malheureusement pas F) dans toute la tradition populaire.

Figure 6. Forme canonique d'un système de contrôle à feed-back

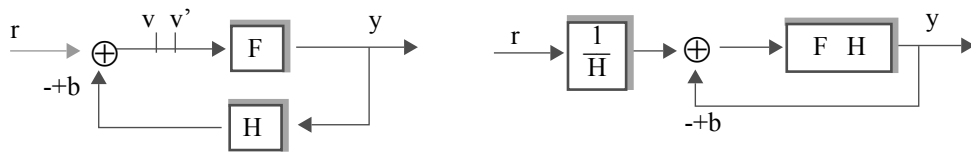


Les relations de transfert associées à cette forme canonique sont (4), plus beau que (3) :

$$(4) \quad \frac{y}{r} = \frac{F}{1+FH} \quad \frac{e}{r} = \frac{1}{1+FH} \quad \frac{b}{r} = \frac{FH}{1+FH}$$

Une transformation peut ramener tout design tel que celui de la Figure 4 à un design élémentaire, le but étant de faciliter les expressions des transferts de valeurs. Ceci est fait visuellement sur la Figure 7. On en est très fier, car on vient de faire du... reengineering !

Figure 7. Transformation de feed-back en forme élémentaire



Cette Figure 7 aide à montrer comment le modèle à feed-back peut atténuer les impacts d'interférences sur le foncteur, et dès lors sur le processus. C'est d'ailleurs la propriété principale de ce modèle, celle qui lui donne ses arômes de contrôle.

Ceci peut être éclairé par l'exemple numérique suivant, le plus simple possible. Soit que le foncteur ne soit qu'un facteur de gain constant  $K=100$ , et que  $H=0,09$ , donc  $b=0,09y$ .

Dans ce cas la transmittance est la fonction de gain :

$$T = y/x = 100/(1+100*0,09) = 10.$$

Supposons qu'une perturbation extérieure fasse chuter  $K$  de 50%, et que celui-ci ne vaille dès lors plus que 50. Le nouvel output est :

$$y = x * 50/(1+0,09*50) = x * 9,1$$

Cette valeur se compare à  $x*10$  obtenue précédemment, et montre une variation de l'output de 9% alors que la fonction de gain est modifiée de 50%. Un tel résultat pouvait être lu directement sur la fonction de gain, dans laquelle il suffit de mettre la nouvelle valeur de  $K$ , 50 au lieu de 100 :

$$T = y/x = 50/(1+4,5) = 9,1$$

On aurait le même résultat si l'interférence affectait directement l'output  $y$  au lieu d'intervenir sur le transformateur  $K$ ; en effet, cela reviendrait à coupler en série une deuxième transformation, disons de facteur  $k$ , à la première.

Dans le cas élémentaire ci-dessus cette boîte serait "physiquement" un prélèvement de 50% de l'output ( $k=0,5$ ), et ce qui "reste" serait transféré pour 50% hors des bornes et pour  $b*50\%$  de  $y$  dans le feed-back. On en revient donc bien au problème précédent (en flux réel) si on écrit que  $K_1$  est le produit des fonctions de gain  $K*k$ .

## 2.2 Trois notions fondamentales de la théorie du feed-back

Une fois cet apéritif payé, le menu principal d'un processus à feed-back comprend :

- La transmittance globale et par boucle;
- Le rendement d'un trajet (ou d'un processus partiel);
- La sensibilité.

Les grandeurs construites à présent ne feront que généraliser ce qui a été introduit en 2.1. En conséquence, les variables ( $y, r, \dots$ ) et les opérateurs ( $K, H, \dots$ ) seront aussi généralisés, et écrits en gras comme les ventres et les noms des candidats sur les listes électorales.

### 2.2.1 La transmittance

La transmittance désigne la fonction de transfert globale du système, à savoir le rapport de l'output final  $y$  à l'input de référence  $r$ . Comme une exploitation dominante de ce design est celui des processus temporels, les variables sont des fonctions de temps, donc doivent s'écrire  $r(t)$  et  $y(t)$ . De même, les opérateurs ( $K$ ) ou les foncteurs  $F$  peuvent être des constantes, des invariants ( $K, F$ ) ou être des fonctions temporelles,  $K(t), F(t), H(t)$ .

Dans ce dernier cas, les fonctions de transfert sont écrites dans le domaine algébrique au lieu du domaine temporel, c'est-à-dire que leur argument devient la variable "s" de LAPLACE. La fonction de transfert globale pour une seule boucle de feed-back s'écrit :

$$T(s) = \frac{F(s)}{1 + F(s)H(s)}$$

#### a Transmittance partielle ou rendement d'un trajet

La transmittance d'une boucle se définit par la fonction de transfert pour toute trajectoire fermée jusqu'à l'origine de la boucle. Ainsi pour le processus à une seule boucle, la transmittance de  $v'$  à  $v$  sur la Figure 7 est tout de suite :

$$L(s) = -F(s)H(s)$$

On peut alors exprimer le gain entre deux points connectés par une boucle, soit, pour le feed-back élémentaire :

$$F(s) = 1 - L(s) = 1 - (-FH) = 1 + FH$$

### 2.2.2 La sensibilité

La sensibilité  $S$  mesure la capacité d'un feed-back à réduire les effets de variations (disons  $\omega$ ) affectant le processus, par exemple des variations des paramètres ou des interférences sur le foncteur, ou encore des impulsions soumises volontairement aux fins d'analyse. Elle se définit de la façon dont les économistes distingués écrivent l'élasticité, soit :

$$S_{z, \omega} = \frac{(dz)/z}{(d\omega)/\omega} = \frac{d\mathbf{l}_n z}{d\mathbf{l}_n \omega}$$

Le candidat dont il est le plus intéressant de tester la sensibilité est évidemment le foncteur (F s'il n'y en a qu'un); l'application de la définition donne:

$$S_{F, \omega} = \frac{F d\omega}{\omega dF} = \frac{F}{F/(1+FH)} \left[ \frac{1}{(1+FH)} - \frac{FH}{(1+FH)^2} \right] = \frac{1}{(1+FH)}$$

Ce résultat justifie correctement une assertion faite en 3.2.4 sur la fonction de gain de la réponse du feed-back. Ainsi pour un facteur de gain F constant de 200, et un élément de feed-back H qui soit un simple opérateur numérique valant 0,045, on obtient que  $S_{F, \omega} = 1/(1+9)$ , soit 1/10. Donc une variation du processeur F de 20%, qui peut être due à des intempéries, un sabotage, un dopage, une crise de foie ou ce qu'on veut, conduit à une variation de réponse à  $\omega$  de 2% seulement, et il y a bien amortissement. Il en résulte les deux contributions principales du feed-back:

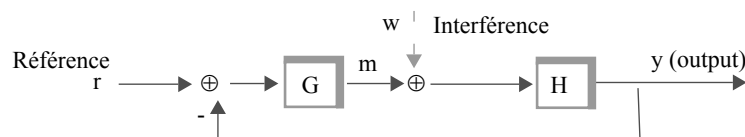
- Exprimer par un modèle le problème formel selon lequel l'output d'un processus doit s'approcher d'une valeur r de référence;
- Former un design par lequel des interférences affectant les paramètres numériques sont amorties lorsque la boucle est négative.

Un grand sport, demandant des équipements spéciaux et un certain entraînement, est ensuite de manipuler les configurations complexes par des transformations légitimes telles que l'on puisse exprimer les transmittances globales et partielles. Le but est de savoir quels sont le design et la paramétrisation qui donnent la relation entre l'output et l'input le plus désirable, évitant aussi les divergences et les oscillations.

De cette vaste entreprise (où il faut faire appel à des compétences qui vont jusqu'à celles de systémiciens), on peut voir sur la Figure 8 un petit truc présentant deux nœuds de sommation, et donc 2 sources d'impulsions appliquées au système:

- L'un accueille la valeur de référence r et le signal de feed-back,
- L'autre accueille une interférence  $\omega$  entre un premier foncteur appelé G (pour une bonne raison qui sera dite plus tard), et un second foncteur désigné par H.

Figure 8. Système à feed-back avec interférence



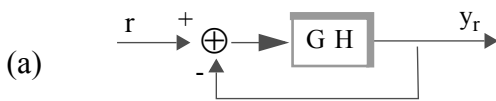
- Lorsque le système est linéaire, on peut donc additionner les effets des différentes impulsions, lesquelles sont dès lors traitées indépendamment les unes des autres;
- Lorsque le système n'est pas linéaire, il est trop difficile et il faut le donner à un autre chercheur, ou demander à la concierge comment en faire une approximation linéaire admissible;

- Si on ne sait pas ce que cela veut dire, on continue en paix ; c'est comme les hypothèses des tests en inférence statistique : on les considère comme "maintenues" tant qu'on ne vous les arrache pas des mains.

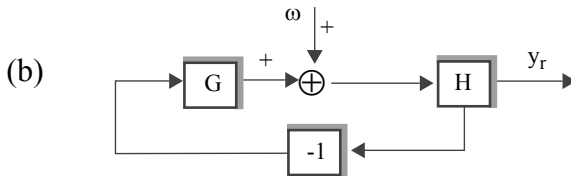
Les implications de la linéarité sont donc sévères, alors qu'il est difficile d'extirper de la tête des gens que les réponses aux stimuli soient additionnelles. Qui peut d'ailleurs, dans un contexte réel, proposer un exemple de système à réponses indépendantes ? Peut-on par exemple négliger les interactions des stimuli (les médicaments) en thérapeutique ? Les roues de la voiture sont-elles vraiment "indépendantes" (ce qui serait inquiétant) ?

Quoi qu'il en soit, on peut jouer comme suit avec la Figure 8.

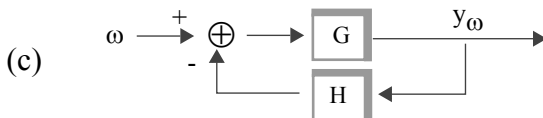
1. Soit  $\omega=0$  ; les deux foncteurs sont en série et on peut alors les multiplier, formant (a) :



2. Pour obtenir la transmittance à partir de  $\omega$  on pose cette fois  $r = 0$  ; le seul input est alors  $\omega$  et le graphe peut devenir (b), où "-1" est placé comme opérateur sur le feed-back :



Il suffit ensuite de faire une transformation isomorphe et d'absorber l'opérateur [-1] dans le nœud de sommation, comme (c) ci-après :



Le schéma (c) est classique et donne

$$y_{\omega} = G / (1+G.H)$$

Dès lors la réponse globale est la somme des deux, soit :

$$y = y_r + y_{\omega} = \left[ \frac{GH}{1+GH} \right] r + \left[ \frac{G}{1+GH} \right] \omega = \left[ \frac{G}{1+GH} \right] \cdot [Hr + \omega]$$

Cette dernière expression est intéressante, car elle préfigure des choses plus générales :

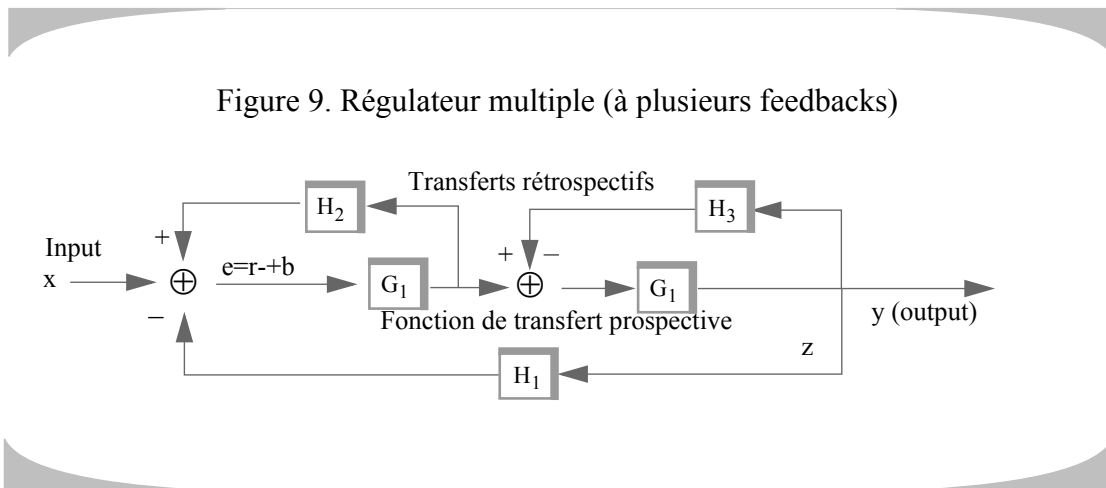
- D'abord, l'émergence d'une entité (ici "G") qui est informée par la référence, ou "consigne" r. Elle est chargée de transférer à une autre entité d'exploitation (qui fait l'output) des signaux tendant à obtenir que son output satisfasse la consigne. Ces signaux sont alors de la nature de signaux de contrôle ;
- Ensuite, ces signaux sont affectés par des signaux ( $\omega$ ) qui ne sont sous la maîtrise de personne dans la configuration : ils sont donc exogènes.

L'output  $y$  est donc à maîtriser selon ces deux inputs (d'information) simultanément. On voit que pour ce faire la transmittance canonique  $[G/(1+GH)]$  est appliquée à l'input exogène  $\omega$  plus la référence traitée par l'opérateur  $H$ , c'est-à-dire  $H*r$ .

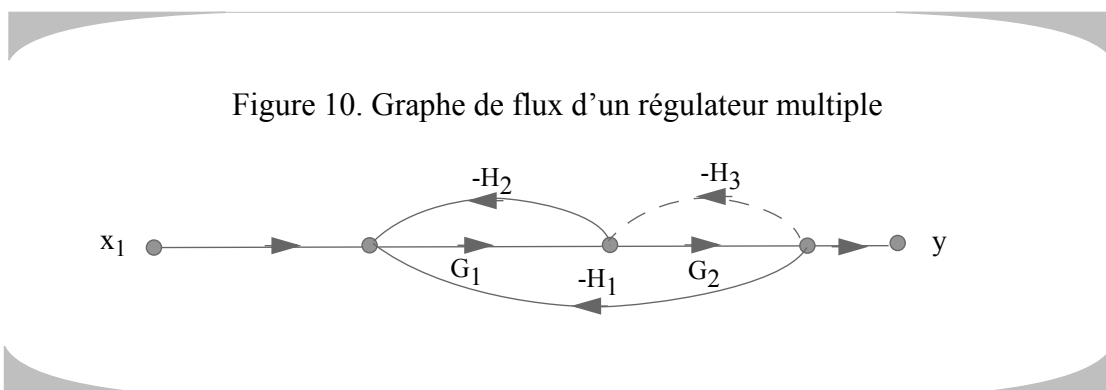
### 2.2.3 Correspondance avec les graphes de flux de signaux

La Figure 7 a initié la correspondance entre la configuration par blocs élémentaire et le graphe de flux de signaux, mais on peut faire mieux. Un exemple léger en est la Figure 9 qui nous montre le type de compositions qui permettent le design de systèmes un peu plus complexes, où la complexité est issue de la présence de plusieurs boucles.

Ici, les boucles supérieures (d'opérateurs  $G_1H_2$  et  $G_2H_3$ ) sont indépendantes, et le design est dès lors celui d'un système linéaire.



Le graphe de flux de signaux correspondant à la Figure 9 est présenté à la Figure 10.



La fonction caractéristique d'un graphe de flux de signaux est très élégante si l'on adopte les belles manières des systémiciens, et leur exploitation est efficace dans les expressions dynamiques des filtres linéaires, où ils s'engagent dans les voies de «La dynamique sous influence», exposé où ils sont dès lors récupérés.

Toutefois, les excursions sur les canaux des graphes de flux font gondoler la mathématique, et il paraît que les gestionnaires sont vite trop mathisés. Ils devraient cependant se rendre compte de ce que l'expression correcte des transmissions d'influence et leur valeur dans les graphes – et dès lors dans les systèmes réels qu'ils représentent – demandent une formulation qui est loin d'être simple et intuitive, et qu'il faut donc se garder de sous-estimer les influences interactives dans un système.

Ainsi, une vaste application économétrique de cette problématique est due à J. GAZON : *Transmission de l'influence économique : une approche structurale* Collection de l'IME Sirey Paris, 1976. Ces voies ne sont cependant pas impénétrables, et il ne faut pas exagérer la sophistication. L'intelligence peut parfois aider à comprendre bien des choses :

Les scientifiques seront (j'en suis sûr) surpris et ravis de découvrir que bien des formes qu'ils qualifiaient de granuleuses, tentaculaires, entre les deux, boutonneuses, pustuleuses, ramifiées, algueuses, étranges, enchevêtrées, sinueuses, ondulées, menues, ridées, etc., peuvent désormais être abordées de manière rigoureuse et résolument quantitative.

Benoît MANDELBROT, *La géométrie fractale de la nature*, 1977

## 3 La régulation

### 3.1 Le paradigme

Dans son acception générale, la régulation est une fonction associée à un processus qui permet à une grandeur physique, dite grandeur réglée, d'atteindre, maintenir ou suivre une grandeur donnée, appelée grandeur de consigne. Dans le cas de processus physiques, on distinguera ultérieurement le cas des servomécanismes, où la consigne est variable, de celui des régulateurs, où ce n'est pas la consigne qui est variable.

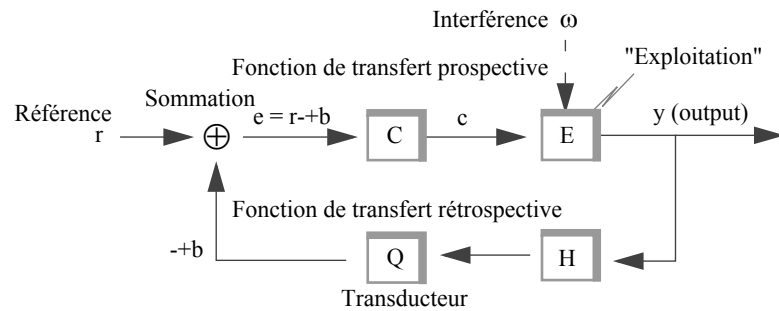
Pour qu'un régulateur puisse obéir à une consigne il doit en être informé ; il doit également être informé du fait que la régulation soit ou non un succès. Dès lors un régulateur est inséparable d'un processus d'information, etc'est l'intégration des deux qui, enrichie de propriétés qui seront citées plus loin, est candidate à devenir un système de contrôle.

La régulation est le concept principal sur lequel est bâtie la cybernétique : *Cybernetics, The Science of Information and Control in the Animal and the Machine*, selon l'ouvrage pionnier de Norbert WIENER, Wiley, New York, 1948. Au-delà du concept, la régulation est un modèle, explicite ou sous-jacent dans beaucoup de domaines, et la fortune de la cybernétique est telle qu'on en voit partout, surtout dans les jouets japonais. C'était aussi, pour des raisons sociétales, "la" science de l'URSS et de ses satellites.

Ce paradigme est à ce point général qu'on peut se demander s'il y a des modèles régulateurs concurrents, qui ne sont donc pas "cybernétiques" ? Cette question et son éventuelle réponse dépassent d'une tête le petit gestionnaire illustré, mais on peut néanmoins avancer, en marchant sur des œufs et sans être à même de le justifier ici, que les modèles d'auto-organisation, d'interaction dynamique et d'autopoïèse par exemple, ne relèvent pas de la cybernétique.

La forme canonique du modèle cybernétique de la Figure 11 servira de support aux modèles et analogies exploités dans des exposés orientés vers la gestion. On y considérera essentiellement les flux d'information et les entités qui traitent celle-ci, car dans cette convention c'est le rôle croissant de l'information qui fait passer de la notion de régulation à une acception plus générale du contrôle.

Figure 11. Forme canonique d'un système de contrôle à un seul feed-back

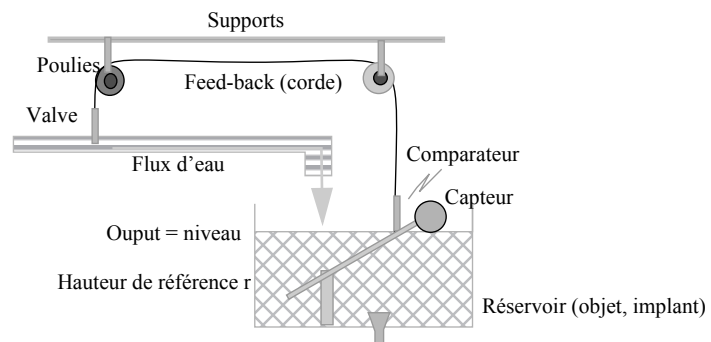


## 3.2 Exemples de régulateurs dans le domaine physique

### 3.2.1 La chasse aux toilettes

Donnant suite au premier automatisme physique, la clepsydre présentée à la section 1, La représentation iconique d'une chasse d'eau (toilette anglaise) est faite à la Figure 12, redessinée d'après DI STEFANO (op. cit., Ch.1).

Figure 12. Représentation iconique d'une chasse de toilette

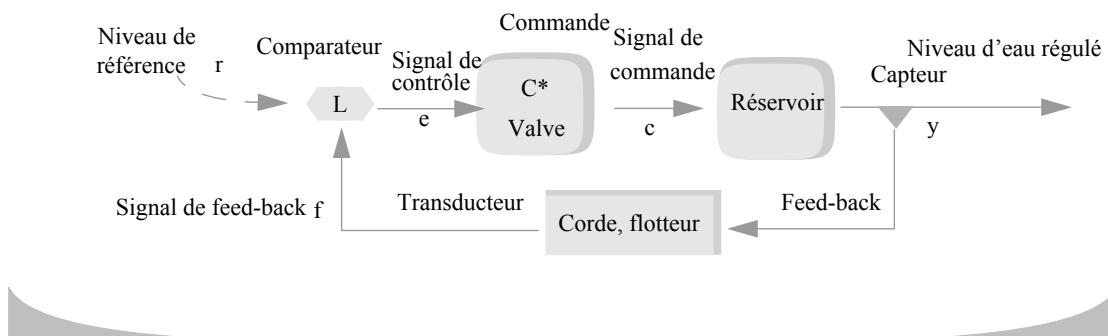




Le modèle correspondant, la Figure 13, présente une chasse comme un régulateur dont la seule mission est de couper l'adduction d'eau quand le réservoir est plein, c'est-à-dire atteint le niveau de référence  $r$ .

On admirera dans cet exemple très didactique la clarté des notions de flux et stocks, et des dispositifs capables de contrôler un flux. Il n'est pas étonnant, dès lors, que la chasse des toilettes soit par analogie la source de nombreux développements dans d'autres contextes, et ceci souvent abusivement, notamment dans des schémas où interviennent la causalité et l'information ; toutefois, de telles contributions se réfèrent en général à des situations plus complexes que celle de l'exemple présenté. Quant à la toilette "à la turque" (dite "française" en Turquie), le régulateur de ce type de chasse est le client suivant.

Figure 13. Représentations symbolique d'une chasse de toilette



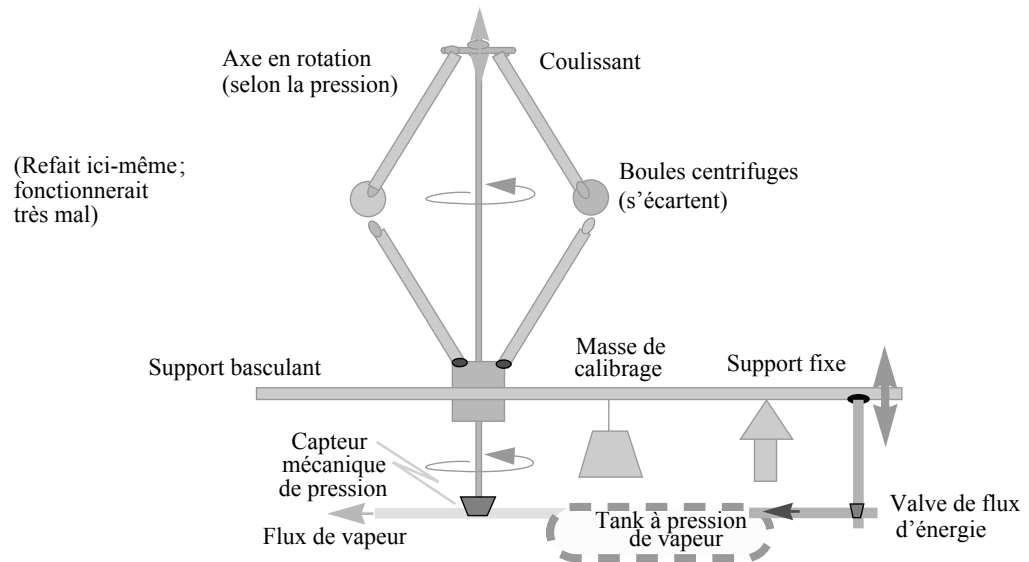
### 3.2.2 Le régulateur de Watt

La Figure 14 est un portrait abîmé du très célèbre régulateur de Watt, pionnier (18<sup>e</sup> siècle) de la régulation industrielle. C'est un appareil par lequel les rotations (en tours/min) d'un axe actionné par une machine à vapeur sont régulées par l'admission de la pression ; lorsque celle-ci est trop forte, les boules situées sur une centrifugeuse s'écartent et soulèvent le levier, diminuant par là l'admission. L'information  $y$  est issue et transmise par des connexions réelles, mécaniques ; cependant son calibrage dépend d'une information externe, la pression voulue par l'"ingénieur", et s'applique au contrepoids.

### 3.2.3 Auto-pilotage

Dans le mécanisme d'autopilotage, caricaturé sur la Figure 15, l'input serait une direction de référence figurant au tableau de bord ; l'output est la direction réelle de l'avion, ou du bateau. Un appareil de comparaison saisit continuellement l'input et l'output. Lorsque les deux correspondent, aucune action n'est requise ; lorsqu'il y a un écart, cet appareil fournit un signal de contrôle à l'entité de commande qui est ici le mécanisme d'autopilotage. L'entité de commande transfère une action de commande aux surfaces de guidage (gouvernail, etc.) pour réduire la différence entre l'input de référence et l'output.

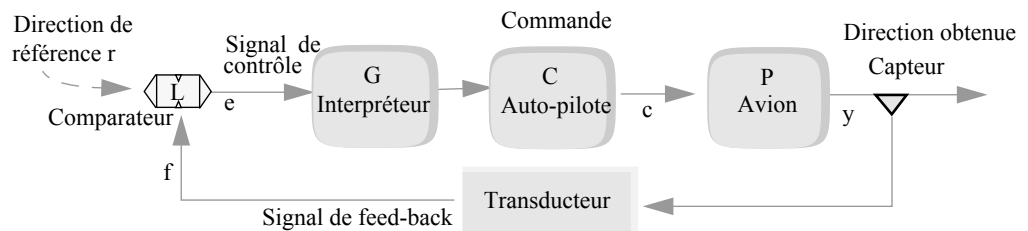
Figure 14. Le régulateur de Watt



Le modèle de l'auto pilotage se présente en régulateur et en servomécanisme. En effet, les signaux de commande sont amplifiés par les foncteurs de la réaction, et la référence (ici la consigne de direction) n'est pas nécessairement considérée comme constante. On entre dans le domaine des servo-systèmes, dont le niveau de complexité du contrôle est le gouvernement.

Par cette analogie, la notion de pilotage a fait fortune en gestion. Le rêve du management est d'avoir des cibles spécifiées, des signaux de contrôle clairement affichés (le fameux "tableau de bord"), des actions de commande dans un répertoire établi, et quelque certitude quant à la réaction de l'ensemble piloté aux actions de commande prescrites.

Figure 15. Extrait du mécanisme d'autopilotage



Dans cet ordre d'idées, l'enrichissement intéressant que fournit cet exemple est un découplage du transfert prospectif en trois entités :

- L'objet, le processus P contrôlé (ici l'avion);
- Une entité de commande C qui agit effectivement sur l'avion (ici le mécanisme d'autopilotage), donc qui intervient sur le processus;
- Une entité G, en amont de la commande, qui traite le signal de feed-back issu du comparateur, l'interprète et fournit à C un signal d'intervention. Lorsque la complexité augmente, cette entité G peut être appelée à devenir de plus en plus "intelligente", et elle essaiera de le devenir, sous les quolibets des collègues d'autres sciences, dans une analogie ultérieure avec la gestion.

Ce modèle, qui se vend très bien à la "Direction", a fait fortune dans des contextes plus sérieux que celui de la gestion. Ainsi le "timonier", le "gouverneur", se dit en Grec "Kybernetes" (allant jusqu'au "Grand Timonier" Mao Ze Dong), d'où le terme de cybernétique qui, depuis WIENER (op. cit., 1948), aurait encore de l'avenir. Une rumeur insidieuse a dit aussi que l'expression de cybernétique se trouve déjà dans des travaux du physicien Ampère, vers 1833, et ce serait une bonne idée d'enfin le vérifier.

### 3.2.4 Signaux de contrôle du trafic (cités par DI STEFANO, ibid.)

Soit le cas le plus simple, un croisement de deux voies, et les signaux rouge-vert dans chaque sens donnant les autorisations de passage. Ce dispositif est ouvert car les temps d'autorisation de passage, qui en sont la commande, sont prédéterminés par calibrage du "timing". De façon générale, la commande par timing relève du calibrage et est en boucle ouverte, et ce n'est donc pas un régulateur parce que les autorisations de passage ne dépendent pas du flux de trafic dans un sens ou dans l'autre.

Si "on veut" (ce qui est une consigne externe) que les flux de circulation soient dans un rapport donné, il faut un capteur de ces flux qui en renvoie le signal à l'entité de commande et le feed-back approprié; en pratique un policier peut jouer ce rôle. On a dans ce cas un arrangement mixte naturel-artificiel, mais encore convient-il de décider si c'est le naturel ou l'artificiel qui a la préemption de commande. Ce problème de préemption, qui se pose très concrètement entre autres pour le pilotage des avions et se dessine pour les équipements modernes des voitures, introduit la notion de hiérarchie du contrôle.

## 3.3 La régulation organiciste

### a Une personne voulant atteindre un objet

Soit qu'une personne ayant des jambes garnies de pieds veuille atteindre un objet fixe de la main. Dans ce cas :

- Les yeux sont le concentrateur de l'information (comme lorsqu'ils lancent des œillades), en faveur de l'unité logique de comparaison;
- Le cerveau est un muscle souvent atrophié qui, éduqué et formé par WINDOWS, regarde forcément toujours par une fenêtre au cas où une nouvelle icône passerait dans la rue INTERNET en minijupe. Si le message est reçu, ce qui reste du cerveau transfère via le système nerveux au bras et à la main le signal requis pour atteindre l'objet;

- Le signal est converti par le bras et la main qui servent d'amplificateurs de puissance pour le système; ils apportent de l'énergie pour la réalisation physique (cette énergie est produite notamment par la fermentation des sucres et le VIAGRA), et il s'agit donc de servomécanisme;
- L'input est la position de l'objet, l'output est la position de la main, et le signal de contrôle est la distance entre la main et l'objet.

#### b Régulation de la température du corps

La température du corps est régulée comme suit: la chaleur du corps est apportée par les processus de l'être vivant et le refroidissement se fait par évaporation de la transpiration effectuée par les glandes sudoripares.

L'input de référence du système de contrôle est la température normale du corps humain (environ 37°C de latitude ouest) et l'output est la température réelle de la ménopause. Le comparateur est une entité complexe qui n'est évidemment pas élucidée ici, et où la glande thyroïde est particulièrement bien située en "pole position".

### 3.3.1 La pathologie selon les grands systèmes des organismes humains

À part celui de la sudation qui est connu de tous les travailleurs (par le canal de Suez?), les organismes présentent ainsi un très grand nombre de processus répondant au modèle de la régulation, tels ceux de la pression sanguine, du niveau de thyroxine dans le sang, et on ne sait combien d'autres.

On peut argumenter (mais ce n'est pas une définition, car il y a d'autres facteurs) que l'organisme est de complexité croissante à la fois en fonction du nombre de processus de régulation présents et du degré d'interaction entre ces processus. Voilà qui conduit à l'Homme en tant qu'organisme de complexité maximale.

Quelle que soit la portée de ce critère, il est intéressant, pour se rapprocher des organisations (qui sont pourtant autre chose, on l'avait bien dit), de mentionner des modes de regroupements d'ensembles de processus régulés dans les organismes. Ceci peut se faire selon plusieurs critères, tels celui de leur degré d'intégration, ou celui de leur communauté de contribution au maintien de la vie et de sa reproduction.

Ce problème est gigantesque en médecine humaine, d'abord pour l'organisation de la science médicale elle-même, et aussi pour organiser une typologie des affections et des prestations de façon à pouvoir bien en traiter la facturation. De la sorte, le critère d'entrée de la typologie est celui de la pathologie.

Un tel regroupement conventionnel a été défini selon 24 "Main Disease Categories" (MDC), et le SIDA en 25. Il commence, et c'est précisément ce qui nous interpelle ici, par citer les grands "systèmes" de l'organisme, qui comprennent et décrivent les grands "régulateurs" et servomécanismes permettant l'homéostasie du corps humain.

Ces grandes catégories sont les maladies et affections reprises dans l'Encart 1.

### Encart 1. Classification des maladies selon les "systèmes organicistes"

- MDC1 du système nerveux
- MDC2 des yeux
- MDC3 du nez, de la gorge et des oreilles
- MDC4 du système respiratoire
- MDC5 du système circulatoire
- MDC6 du système digestif
- MDC7 du système hépatobiliaire et du pancréas
- MDC8 du système musculo-squelettique et du tissu conjonctif
- MDC9 de la peau, du tissu sous-cutané et du sein
- MDC10 endocriniennes, nutritionnelles et métaboliques
- MDC11 rénales et des voies urinaires
- MDC12 génitales
- MDC13-19 néo-natales; dusang, des hématopoïétiques; immunitaires, myéloprolifératives (moelle épinière); infectieuses et parasitaires; affections mentales.
- MDC20-24 alcoolisme et usage de drogues, traumatismes, empoisonnements, brûlures, facteurs influençant la santé.

Ce qui attire l'attention dans cette typologie, et lui fait mériter l'honneur d'être citée ici, est le fait qu'il a fallu recourir à trois entrées pour la construire. Ces entrées sont :

- D'abord réunir sous un même nom des ensembles dont la régulation est intégrée, et ce nom est... systèmes;
- Ensuite (pour le groupe 13 à 19) il a fallu une autre entrée, qui est plutôt de la nature du développement pathologique;
- Enfin, dans un troisième groupe (20 à 24) on tient compte de facteurs (comportements et événements) générateurs de l'état pathologique.

On a donc ici un beau domaine d'architecture logique des organismes par l'entrée des ensembles de processus régulés, mais néanmoins il n'a pu être complet du point de vue pathologique par cette seule entrée. Bien essayé.

### 3.3.2 Une relation entre la typologie de la pathologie et celle de la gestion

La typologie des "Main Disease Categories" (MDC ci-dessus), parce qu'elle est largement fondée sur le partitionnement des organismes (évolués) en systèmes régulés, fait naître l'espoir d'une architecture semblable des EAH, des organisations humaines, puisqu'elles se disent aussi très évoluées.

On aurait bien voulu que la systémique nous apporte pour ce domaine une proposition homogène, et transférable à tous les cas...

On aurait tant aimé une théorie des organisations fondée sur une... théorie !

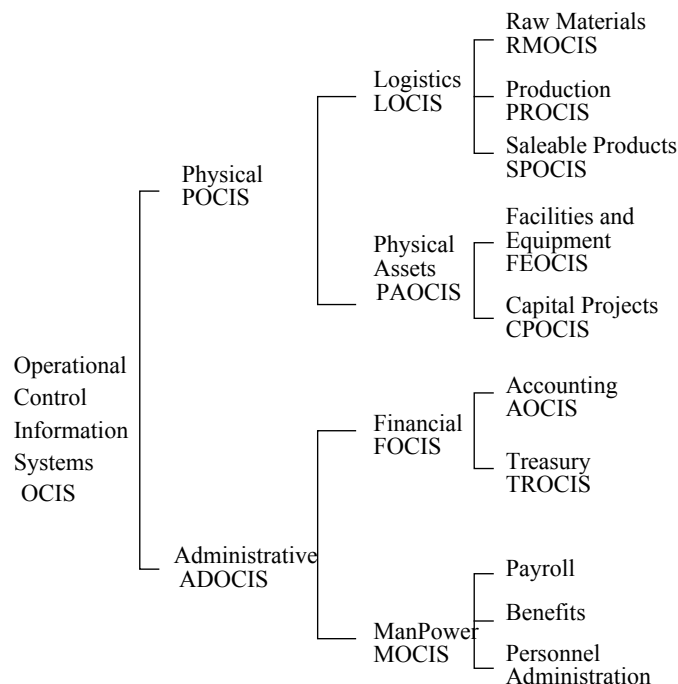
Qu'il eût été élégant, et même somptueux (en belge), qu'elle fût fondée sur des sous-ensembles fonctionnellement régulés, puis intégrée dans une hiérarchie de contrôle !

Et qu'il va de soi que, pour conduire une telle œuvre symphonique, on la confie au Kybernetes et son prodigieux Tableau de bord !

C'est beau, ce serait très beau, à se pâmer ébloui dans son sillage... et il y en a un ! Superbe : il s'appelle «Le mythe du Cyber-Manager», et est exposé en Figure 11, à la section 7 de l'exposé «La Dynamique sous contrôle». Seulement, et c'est bien dommage, cela ne marche pas ; tout au plus peut-on dire que c'est un des aspects selon lesquels on peut discourir des organisations, mais certes pas les intégrer exhaustivement.

Un essai publié qui néanmoins se rapprocherait assez bien d'une telle architecture est dû à S. BLUMENTHAL (dans *Management Information Systems*, Prentice-Hall, 1969), dont la "Partial classification" qui figure page 52 de l'édition citée est redessinée ici à la Figure 16, sans la traduire, mais en la transposant verticalement (pour qu'elle tienne mieux debout?). Il s'agit spécifiquement, selon l'expression de l'auteur, des "Operational Control Information Systems", soit les "OCIS", situés par leur auteur dans le cadre typique d'une exploitation industrielle.

Figure 16. "Partial Classification of Operational Control Systems"



Cette représentation n'explique pas ici la nature des liaisons entre ces "modules", mais le texte de l'auteur est là pour cela ; on y apprend par exemple, à la page 81 de cet ouvrage, que pour le "LOCIS" ("Logistic OCIS") les modules sont décomposés selon leurs opérations et que les liaisons représentent le cheminement des transferts de documents.

Cet exemple remplit ici son office, comme un bon curé et comme MICROSOFT, mais il date de 1969; l'architecture procédurale et modulaire a pris depuis lors une autre tournure de par la mise en œuvre des bases de données relationnelles. Par ailleurs, comme l'exploitation de l'approche de BLUMENTHAL ne concerne que les collections de données, on ne peut y associer explicitement la notion de "contrôle". Ceci permet de dire qu'il semble persistant dans certaines présentations américaines (mais il est dans les mérites de BLUMENTHAL de ne pas avoir cédé à ce piège) qu'il y ait une ambiguïté, sinon carrément une confusion frauduleuse, entre la hiérarchie (qui est un design structurel) et le contrôle (qui est un processus d'interaction).

### 3.3.3 Une présentation en régulateur de la loi de l'offre et de la demande

Soit un processus économique selon lequel le prix de marché d'un produit, output du système, résulte de l'interaction de l'offre et de la demande; le système de contrôle aurait pour mission de maintenir la stabilité de ce prix, en fonctionnant comme suit: la demande pour le produit décroît lorsque le prix augmente et l'offre s'accroît avec le prix. La "loi" avance que le prix de marché se stabilise quand l'offre est égale à la demande.

On peut constituer ce "système sous contrôle" de l'offre et de la demande en connectant quatre processus activés par les signaux d'information sur les quantités et les prix, à savoir l'Offreur, le Demandeur, le Marché et le formateur de Prix (ci-après dénommé la Valorisation). La consigne est la stabilité du prix, de sorte que la référence pour le contrôle est une fluctuation nulle du prix; l'output est le prix réel sur le marché.

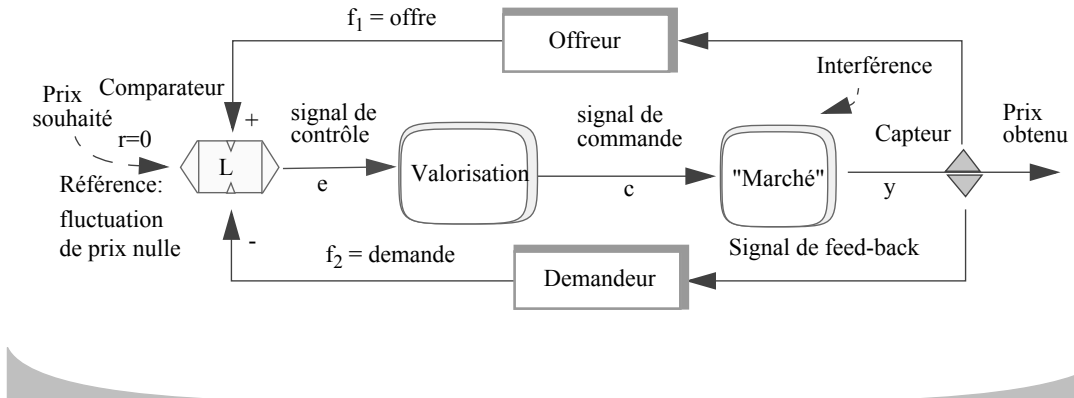
Le processus global fonctionne comme suit:

- Initialement, la Valorisation reçoit un signal de commande qui est zéro pour la stabilité du prix, mais elle a une mémoire;
- Elle estime un prix pour la transaction du Marché, en se servant des résultats des transactions antérieures;
- Ce prix initial amène une réaction de la part de l'Offreur, qui est de produire une certaine quantité, et, de la part du Demandeur, de demander une certaine quantité;
- La différence entre la quantité offerte et demandée est le signal de contrôle du processus; si elle n'est pas nulle, donc si l'offre excède la demande ou lui est inférieure, la Valorisation engendre un changement de prix qui est orienté de façon à rendre l'offre finalement égale à la demande.
- Le Demandeur et l'Offreur peuvent être considérés comme des entités de feed-back, du fait que leur confrontation détermine le signal de contrôle.

Ce modèle n'implique pas nécessairement la convergence; des conditions mathématiques y sont à satisfaire pour l'obtenir (les pôles du système situés dans une boule de rayon 1), mais, comme ceci occupe la moitié des cours de science économique, on peut aller se le faire voir ailleurs.

La configuration de ce modèle, qui est à l'économie ce qu'est le régulateur de Watt à l'ingénierie, est publiée par-ci par-là; la Figure 17 (mais pas son explication) est une version adaptée (et francisée) de celle de DI STEFANO (op. cit., Ch. 2, Fig. 2.13).

Figure 17. Une version de la formation du prix présentée en régulateur



## 4 Transposition de la régulation en gestion

### 4.1 Le calibrage

Le calibrage est un niveau de contrôle qui s'applique à un processus ouvert ; il consiste à établir la relation entre l'input de commande et le signal de référence de façon à ce que le processus transfère a priori l'output désiré. L'expression "ouvert" signifie ici qu'il n'y a pas de boucle de rétroaction d'information sur l'output effectivement atteint. Cette interprétation est donc différente de celle qui prévaut en organicisme, où l'on distingue qu'un système est ouvert ou fermé selon qu'il autorise (ou subit) ou non des échanges avec l'environnement. Dès lors l'obtention (espérée) de l'output se fait par des réglages et ajustements a priori qui conviennent à cette fin, mais il n'y a pas de possibilité de réponse à des facteurs qui influencent l'output et le rendent différent de la référence attendue.

Ainsi on peut calibrer une variété de processus, depuis celui d'un objet courant jusqu'à tout un EAH. Un octroi judicieux de ressources (en quantités et adéquation), disons de matières, d'énergie, d'efforts physiques et mentaux, est donc de la nature d'un calibrage. Dans un hôpital, ce serait le cas, par exemple, de l'allocation des lits et du personnel selon la patientèle et l'épidémiologie, et de façon générale évidemment de toutes les activités demandant une allocation de moyens. Par extension d'attribution, l'allocation de temps à des tâches est aussi de la nature du calibrage.

La plupart des appareils qui servent à quelque chose dans la vie courante sont également d'une façon ou l'autre calibrés, depuis le dosage et timing d'un Baxter (dit "goutte à goutte") d'un patient dans un hôpital jusqu'aux gadgets les plus familiers du ménage. Dans le cas d'un grille-pain, qu'il soit situé dans la cuisine ou sur une plage italienne en été, l'output désiré est le degré auquel la tartine (même si elle est un peu tarte) a une belle peau dorée, lisse et croquante à souhait. Le capteur normal pour le constater à la cuisine est un couple de mâchoires mais dans certains contextes de plage un capteur optique peut servir, à savoir un paire d'yeux pour juger de la couleur de la toastine repérée.



En général, le constructeur d'un appareil procède à plusieurs calibrages, tels celui de la chaleur dégagée par la tartine en cause et un minuteur qui commande son flux de courant. L'appareil dispose aussi parfois d'un étalonnage de la minuterie, qui renseigne sur la relation a priori entre le temps d'exposition et le résultat attendu. Par exemple, selon la station de plage et la saison, la toastine idéale peut être "légère", "moyenne", ou "à point". Ce dernier renseignement est aussi typiquement donné sur les fours culinaires. Ceci suppose que les propriétés de l'appareil restent stables dans le temps, mais l'usure et la détérioration peuvent l'affecter de sorte que de nouveaux "calibrages" doivent être effectués.

Les machines à laver sont généralement calibrées par le fabricant selon les paramètres suivants : la quantité de détergent, la quantité de nettoyeur, la quantité d'eau, la température, les temps de cycle, et l'heure du feuillet à la télé. Le tout est étalonné sur un panneau visuel pour la commodité de l'utilisatrice de sorte que l'input de commande pour l'utilisatrice est simplement le choix du "programme" approprié. Il en va de façon analogue pour un four, ou encore pour une station d'épuration des eaux.

Un voltmètre est normalement ajusté par sa constructrice selon les flux (ampérage) ou les différences de potentiel (voltage) qu'il doit être capable de mesurer sans se détériorer ; il est étalonné en plaçant des repères à des intervalles appropriés et le soumettant à une source ayant une différence de potentiel connu. Un instrument de mesure peut donc être étalonné par identité avec une référence, mais encore faut-il que celle-ci soit accessible et utilisable.

Ainsi, aux fins de calibrer ou mesurer quelque chose, bien des gens se croient depuis longtemps capables de se servir d'un simple mètre ; c'est de la vantardise pusillanime, vu que ce truc n'est pas si élémentaire qu'on le croit :

- Il est établi en France le 1<sup>er</sup> mars 1793, donc sous la Terreur, comme valant 3 pieds et 11,44 lignes de la toise du Pérou à 13° Réaumur, ce qui l'aurait mis, espère-t-on, à la portée du petit peuple révolutionnaire ;
- Le 4 messidor de l'an VII, le mètre est gravé sur une lourde barre en platine, luxe que bien sûr personne ne pouvait se payer ;
- Il est confié en France aux Archives de la République et enfermé par son garde Camus dans une double armoire en fer protégée par quatre clefs, de sorte que personne ne pouvait y accéder, si bien que depuis lors des copies pirates (en platine aussi ?) ont circulé ;
- Plus récemment (le 14 octobre 1960), il est défini comme 1 650 763,73 longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux 2p10 et 5d5 de l'atome de krypton 86. Cette mesure est devenue familière à tous ceux qui travaillent dans le vide ;
- Soucieux du souci de l'homme du trottoir de connaître enfin exactement sa pointure de chaussures, le mètre s'est déclaré le 20 octobre 1983 comme la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant 1/299 792 458<sup>e</sup> de seconde. À vos starting blocks !

Le point important pour l'étalonnage n'est ici que la stabilité de la référence, et certes passon usage... Dans le cas du mètre par exemple, on craignait la dilatation ou la détérioration physique, mais dans d'autres contextes l'étalonnage des capteurs présente une variété de problèmes. Le calibrage est donc de la nature d'un contrôle puisqu'il restreint les degrés de liberté. Sur ce facteur de complexité, il est toutefois à un niveau de contrôle inférieur à celui de la régulation qui, quant à elle, fait référence à une consigne.

## 4.2 Modèle minimal de gestion de stock à feed-back négatif

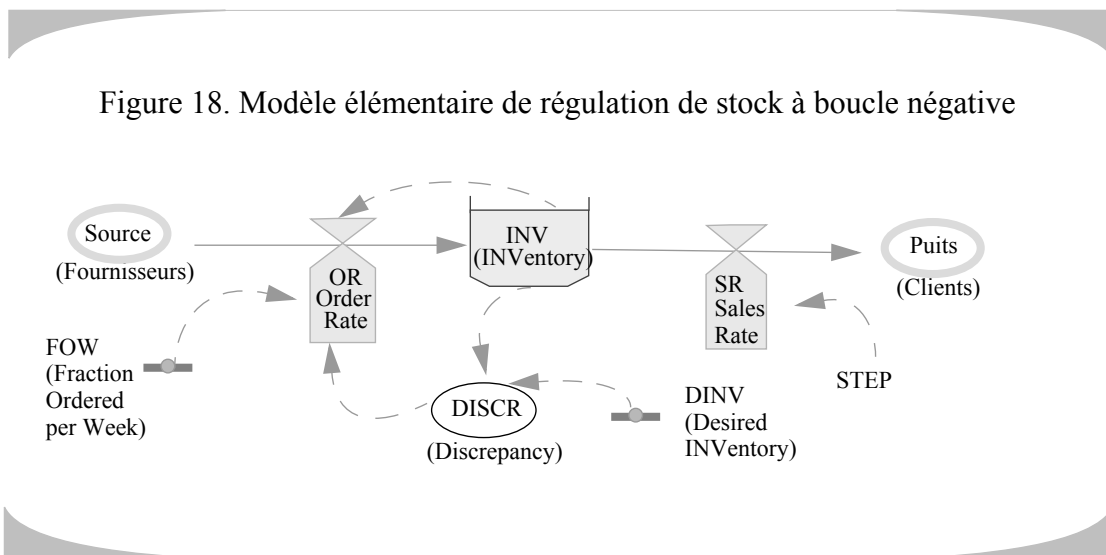
### 4.2.1 Formulation

La voie de la modélisation de la régulation présentée dans cette section est celle de la "dynamique sous contrôle", dans sa version de la «Dynamique de Systèmes en Gestion», qui fait toujours la grande joie des nombreux auditeurs. Au cas où pour cause d'intempéries ou d'embouteillage, il n'y en aurait toujours pas, d'auditeurs, un bref aperçu de petit condensé anglais en est servi ici, avec pour thème la gestion d'un stock.

La Figure 18 illustre un comportement très classique de régulation de stock à feed-back négatif, où les flux entrant dans le niveau de stock (INV pour "INVENTORY") sont respectivement le taux de commande pour réapprovisionnement (OR pour Order Rate) et le taux de livraison (SR pour Sales Rate). Ce dernier "vide" le niveau vers le puits (les clients).

Ce modèle montre effectivement que le comportement est informé de trois façons :

- D'une part par une téléonomie : "on veut" le niveau de stock désiré (DINV pour Desired INVENTORY);
- D'autre part par la constatation d'un écart (DISCR, pour DISCREpancy) entre le niveau désiré et le niveau atteint;
- Enfin par la fraction de cet écart (FOW : Fraction Ordered per Week) que l'on veut recouvrer.



Il n'y a aucun délai exprimé pour l'instant, que ce soit un délai matériel, par exemple d'approvisionnement, ou d'information (tel la connaissance du niveau et de l'écart), ou encore de réaction (tel décider la commande). Ce modèle peut être programmé en méta-langage du type "DYSMAP" comme suit :

$$\begin{aligned} \text{INV.K} &= \text{INV.J} + \text{DT} * (\text{OR.JK} - \text{SR.JK}) \\ \text{INV} &= \text{DINV} \\ \text{DINV} &= 200 \\ \text{OR.KL} &= \text{FOW} * \text{DISCR.K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FOW} &= 0.5 \\ \text{DISCR.K} &= \text{DINV} - \text{INV.K} \\ \text{SR.KL} &= \text{STEP}(20,4) \end{aligned}$$

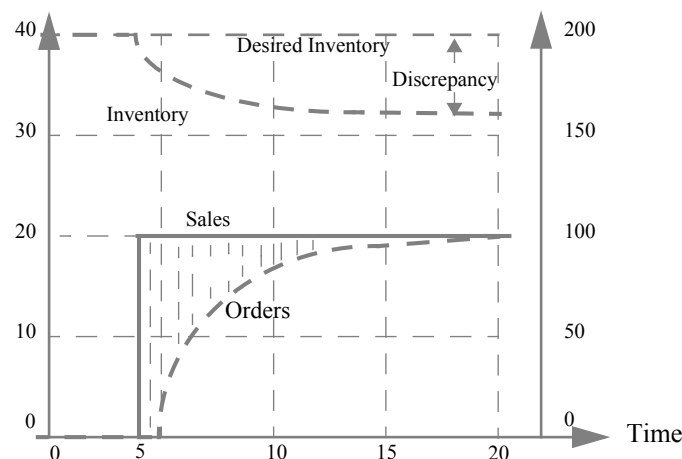
Les taux (SR, OR) sont en nombre d'unités par semaine, les niveaux (INV, DISCR) sont en unités, le paramètre FOW est en fraction par semaine. Il faut indiquer ces dimensions au programme de façon à ce qu'il vérifie la compatibilité des unités. Il convient aussi de signaler les grandeurs initiales des niveaux.

#### 4.2.2 Application d'une impulsion

Une fonction "STEP(20,4)" a été appliquée au taux de vente SR; elle produit sur SR un saut de 20 unités de demande à la période 4, et on s'intéresse évidemment à la réponse à cette impulsion du stock régulé. Ils'agit ici d'un contrôle proportionnel, à savoir une correction de l'écart par une fraction constante (FOW=0,5) de cet écart.

Comme le montre la Figure 19, cette réponse est ici telle que le stock, après le saut de ventes de +20, ne retrouvera jamais son niveau désiré de 200, mais laissera en régime stable (après le régime transitoire d'ajustement) un écart de 20% par rapport à ce niveau de référence désiré. En effet c'est une propriété du contrôle proportionnel à l'écart de ne pas pouvoir recouvrer cet écart (si l'input est constant), du fait que ce n'est toujours qu'une partie de cet écart qui est compensée par l'action correctrice proportionnelle.

Figure 19. Réponse du régulateur à un saut des ventes de + 20



C'est de là que sont issues les représentations du grand domaine de la dynamique des systèmes, où les flux sont gérés par des taux, vannes et réservoirs et leurs multiples assemblages. Cette "naïveté" hydrologique n'est cependant pas nécessaire; elle n'est utilisée qu'à des fins descriptives (d'où leur place en systémographie), en quelque sorte à des fins pédagogiques.

Issue des travaux de Jay FORRESTER, on sait la fortune de cette approche pour l'étude de phénomènes dynamiques non-linéaires notamment en gestion. Très vite s'y pose cependant le problème de l'interprétation des relations dans des problématiques situées sur un autre facteur de complexité, à savoir celles de la causalité, du sens de l'influence et des réponses à des stimuli exogènes. Mais on en reparle, comme promis, dans l'exposé «La Dynamique de systèmes en gestion».

#### 4.3 La réponse "contrôlée" dans le domaine de la gestion

En dynamique de systèmes appliquée en gestion (la "DSG"), on se permet de combiner à la fois des flux réels et des flux d'information dans la même configuration, ce qui lui a valu son succès auprès des foules. La règle à respecter est que les taux affectent uniquement les états des ressources et ne peuvent affecter directement d'autres taux (sauf le cas du délai qui contient des niveaux implicites). Les états des ressources peuvent affecter les taux. En fait le taux de toute conversion de ressource peut être le résultat soit d'une réponse naturelle (un comportement), soit d'une réponse à un signal de contrôle (ce qui donne un arôme de gestion), soit encore des deux à la fois.

Cet appel au contrôle est issu du propos même de cette modélisation: trouver les signaux, les injonctions fondées sur les informations concernant les états du système de façon à atteindre un objectif ou des états désirés. C'est lorsqu'il y a une rétroaction sur l'entité qui émet un signal de commande que l'on peut parler correctement de "feedback". Celui-ci a la présentation figurative d'une boucle (et c'en est une), mais il est plus légitime de réserver cette appellation contrôlée aux signaux fournis par les processus à leur "contrôleur".

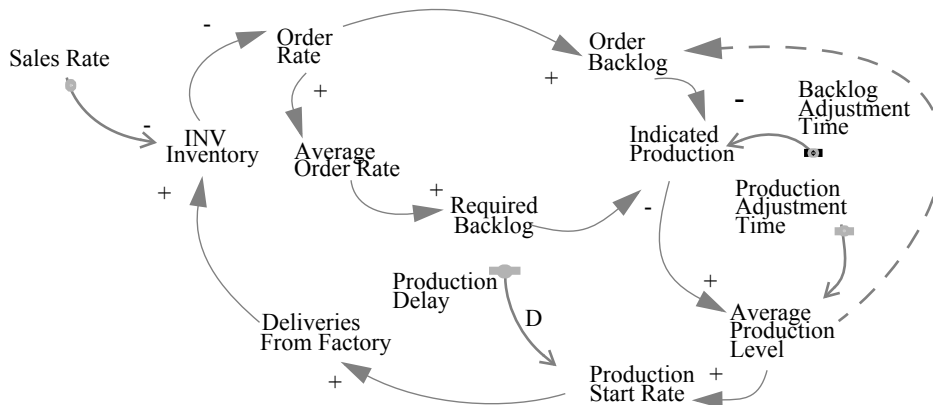
Dans des systèmes physiques ces signaux peuvent être des flux réels ou des mécanismes, tels ceux du régulateur de Watt, ou encore celui d'un pompe à essence qui se déclenche selon le niveau du réservoir d'une automobile, mais la mission confiée au feed-back est celle d'un capteur d'output et transmetteur de cette information, en principe à une entité dite de commande.

Une telle modélisation peut mettre en présence à la fois des ressources d'où peuvent être issus des flux (des gens, des matières, de la monnaie) et des connexions de comportement, d'information et de contrôle. Elle peut donc mettre en présence des objets et leurs relations relevant de plusieurs facteurs de complexité. C'est une voie puissante de modélisation en gestion, mais que l'on paie par l'arbitraire, l'ambiguïté et l'imprécision.

Ces remarques sont illustrées par la Figure 20 et deux de ses transformations, qui seront les Figures 21 et 22. Ils s'agit d'abord d'un graphed'influence, très classique dans les exposés didactiques de "System Dynamics", notamment à l'école de Bradford (UK). Celui-ci correspond à la Figure 19, section 5.2 de l'exposé sur «La Systémographie».

C'est donc une extension du modèle de stock initié à la Figure 18, dans laquelle la signification des variables va de soi. Les variables exogènes sont nettement distinguées par le fait qu'elles sont une "source" (au sens de la théorie des graphes), et on leur a d'ailleurs, pour que cela se voie bien, assigné visuellement un point d'origine.

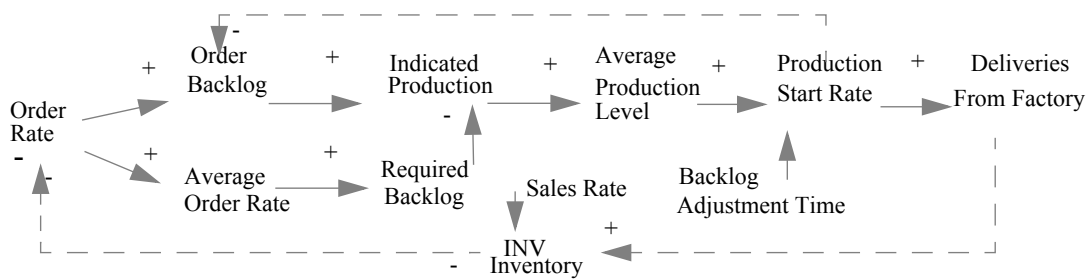
Figure 20. Modèle initial de gestion des stocks



Deux transformations (ne figurant pas dans la source didactique citée) en sont faites ici :

- La première est la Figure 21, qui présente le même graphe (par isomorphisme) mais de gauche à droite, selon les flux réels et ceux d'information depuis l'origine logique (la commande auprès du fournisseur) à la destination logique (la livraison de la production vers la mise en stock). Le stock est alors une entité de transit, et il a donc son rôle effectif correspondant à celui qu'il joue dans le cas de flux physiques réels.
- La seconde est la Figure 22, où cette fois le stock INV est apparemment à la fin: le niveau du stock est ici l'output à réguler, et la Figure 22 montre clairement que c'est de ce niveau d'output que revient le feed-back informant sur le taux souhaitable de l'approvisionnement.

Figure 21. Présentation du modèle de stock en régulateur



L'illustration d'un modèle peut donc être adroitement ajustée en fonction du propos de l'investigateur. Et on remarque tout de suite (c'est bien vrai ?) combien les versions 21 et 22, qui réaménagent l'original selon le point de vue de la régulation, ont pris de la pertinence et un sens de lecture donnant une tendre fluidité au regard qui pèse sur elles.



- L'ensemble physique, ou l'assemblage cohérent de processus, qui "fait" quelque chose et en transfère l'output, cité en 3.1 sous le nom anglais de "plant", est situé ici dans la boîte "E". La justification de ce symbole en est que la transposition dans le domaine de la gestion conduira, passant de ce Tome Nord au Tome Sud, à une merveilleuse métamorphose qui fait de cette morne implantation un ensemble de processus habités par des agents, avec des activités, des ressources, des rages et des espoirs, des coups de gueule et de soleil, bref, avec tout ce qui fait changer un distributeur de congelés norvégien en un marché aux poissons de la banlieue de Naples;
- Dans les EAH, cet "assemblage cohérent de processus", l'engin, deviendra alors l'Exploitation (E). On y vendra même des "comptes d'exploitation", alors que les sciences symboliques n'ont que des paramètres inertes, indifférents aux champs de tension, et ignares des émotions de la gestion qui font rougir de honte la SABENA;
- C'est l'output de ce processus général (le "business process"?) qui fait l'objet de la régulation, donc qui doit obéir à la consigne, via les variables de commande, ayant pour effet de modifier des paramètres de la (ou des) transformations contenues dans E;
- La variable de commande  $m(t)$  est engendrée par l'entité de commande (C) qui reçoit le signal de commande. Le régulateur est l'ensemble de cette configuration, et il comprend également les connexions et entités qui en transfèrent et traitent l'information;
- L'output qui est issu de l'exploitation est transféré hors des bornes et l'information est saisie par un capteur qui la transfère à un concentrateur L, avec éventuellement une ou plusieurs entités H qui traitent cette information; le signal issu de cette entité s'appelle évidemment "signal de feed-back". L'ensemble est informé par un input  $r$  qui est son input, et où  $r$  reste ce qui a déjà été choisi pour "référence" pour montrer qu'il transfère l'information relative à la consigne;
- En l'absence de feed-back, ce qui vient d'être décrit est le cheminement prospectif (qui traduit "forward path"). Lorsqu'il y a un feed-back, le concentrateur a la mission de comparer le signal de référence au signal de feed-back et de transférer le résultat de cette comparaison, l'information  $e$ , à l'entité de commande. Dans la forme élémentaire, il s'agit d'une simple sommation; dans une forme plus évoluée présentée plus loin il deviendra, comme la prophétie l'a annoncé déjà en 1.2.6, capable d'opérations logiques, et pourra même devenir un évaluateur;
- Cette comparaison n'est possible que si le signal de feed-back convient au comparateur pour que ce dernier puisse le confronter au signal de référence. À cette fin la Figure 23 place un transducteur Q sur la connexion de feed-back, dont la mission physique est de modifier les unités du signal de feed-back. Toutefois, le transducteur (qui peut être un appareil) a de multiples versions en physique et ingénierie. Il a normalement la charge de convertir une énergie en une autre; le potentiomètre, par exemple, convertit une position mécanique en une différence de potentiel (voltage) électrique;
- Les interférences  $\omega$ , qui ici affectent l'engin, peuvent être de diverses natures, comme il est exposé dans «La Complexité». Elles peuvent être de gros machins, comme la contestation, le sabotage, la perte d'un dossier ou de son mot de passe; elles peuvent aussi n'être que de petits os de perturbations aléatoires, qu'on jette par terre pour les laisser ronger par les statisticiens;
- Le processus de commande pourra être simplement un "Chef" – du moins il le croit.

C'est dans cette perspective de métamorphose en gestion que la forme canonique du régulateur a été enrichie pour devenir la Figure 24.





## 5 Le procès chinois

**L**e procès chinois est celui du Bourreau, accusé de meurtre et de cruauté, dont le livre de Pierre BOULLE fait le poignant récit dans le livre dont c'est le titre.

Issu d'une noble famille dont la haute charge est d'être Bourreau, il est d'abord accusé d'avoir déshonoré son titre et sa lignée et, pire encore, d'avoir causé la honte des siens. En effet, il a quitté le Mandarin pour errer dans des villages et des bas quartiers, gaspillant son patrimoine dans les mains tendues des pauvres, puis est revenu un jour en haillons, les cheveux coupés, ramenant une femme maigre ! Et un chien borgne !

Il a repris la charge honorable – et c'est là qu'il est devenu un ignoble assassin. Les coupables avaient le droit d'avoir la tête tranchée, proprement et adroitement. Mais, plutôt que de leur accorder cette grâce méritée, le Bourreau leur administrait un poison les rendant inconscients, ce qui ne se voyait pas tandis qu'il les soutenait dans leur montée hagarde vers l'échafaud.

Donc, non seulement ces malheureux étaient voués au supplice de la décollation, mais encore le bourreau y ajoutait un morbide empoisonnement. Le procès chinois a montré jusqu'où pouvait mener un fond déjà cruel envers sa respectable famille, puis le comble, envers les malheureux condamnés.

C'est bien l'histoire de l'auteur de cet ouvrage devant ses Juges : ses impitoyables Lecteurs, ses sévères Lectrices. Une maison d'édition n'est pas une maison de tolérance, le verdict en donne une nouvelle preuve : ce Tome du Levant doit finir comme l'Empire du Soleil Levant, comme le Bourreau de Pierre BOULLE.

Comme cet immonde bourreau, il a généreusement distribué des complexes aux simples d'esprit, il a éclairé la vue de Lecteurs borgnes, il a même nourri ses maigres Lectrices de baisers chinois. Mais il est jugé que, en plus de ces méfaits trahissant les bien-pensant et les gens de science, il a empoisonné systématiquement ses Lecteurs avant de les envoyer à présent écouter la corne de brume de son Vaisseau Fantôme émanant toutes voiles dehors, sans étrave et sans sillage, dans les brumes fantasmagoriques du Tome Nord.

