

## LA DYNAMIQUE DE SYSTÈMES EN GESTION

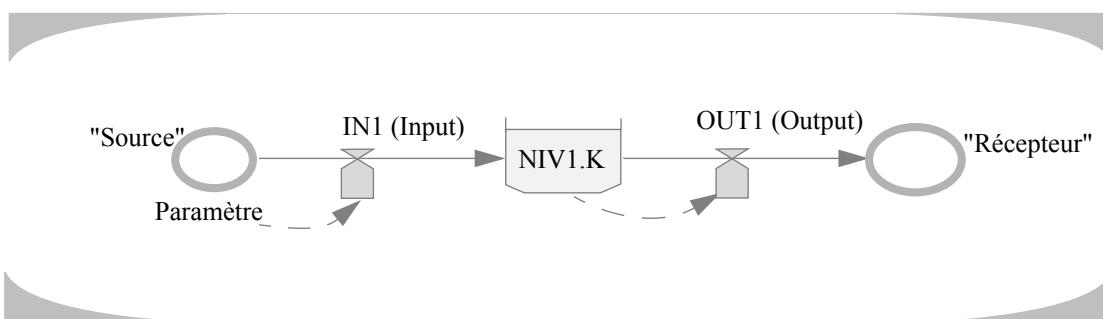
*ue d'arcs! Que de flèches!*

*Que de flux, de vannes, de taux et niveaux, de délais, de boucles, de temps d'ajustement,...*

*Tout cet arsenal pour des problèmes si élémentaires qu'ils se règlent chaque jour par des magasinières, des conseillères communales wallonnes, ces leaders charismatiques qui n'ont jamais, elles, (les temps ont changé...) ni oscillations, ni comportements divergents, ni régimes transitoires (ça se voit...), ni même des réponses condescendantes à nos minables impulsions...*

*Maintenant qu'elles ont grimpé, qu'elles sont perchées là, tout en haut de l'échelle sociale, ils font quoi, les mecs, restés en-dessous à les admirer ?*

*... Parce qu'en vérité, le paradigme de la D.S. en gestion est de nature hydrologique, et qu'on y voit par la fenêtre des petites valves un peu coquines :*





# LA DYNAMIQUE DE SYSTÈMES EN GESTION

## Sommaire

1	La DS du gestionnaire .....	5
1.1	Les contributions directes .....	5
1.2	Contributions indirectes .....	5
2	Quelques caractéristiques et limitations de la DS en gestion .....	7
2.1	La signification des variables d'état .....	7
2.2	La translation unitaire .....	8
2.3	Les variables de flux .....	9
3	Des boucles sur le front des rétroactions .....	11
4	La réponse contrôlée .....	12
4.1	Les signaux des krolles .....	12
4.2	La séquence causale .....	14
4.3	Le lissage des taux .....	14
5	L'obtention de délais .....	15
5.1	Définition et rôle du délai .....	15
5.2	Formulation du délai .....	16
5.3	Délai d'ordre 1 .....	16
5.4	Délai d'ordre 2 .....	18
5.5	Délai d'ordre 3 .....	19
6	Les trois types qui contrôlent .....	21
6.1	Le contrôle mixte .....	21
6.2	Le contrôle intégral .....	23
6.3	Le contrôle différentiel .....	23
7	Du graphe d'influence au processus dynamique programmable .....	24
7.1	Le graphe de n'importe quoi? .....	24
7.2	La mission du graphe d'influence dans le cadre de la dynamique .....	25
7.3	Des entités ou des variables? .....	26
7.4	Les liaisons dangereuses et la causalité .....	26

8 Justification des relations d'influence . . . . .	28
8.1 La conservation des flux . . . . .	29
8.2 Les déchets de théorie . . . . .	32
8.3 Les influences et les mauvaises fréquentations . . . . .	32
8.4 Des comportements douteux, aux fins de simulation . . . . .	33
8.5 Les constatations statistiques et l'observation directe . . . . .	35
9 Distinction des variables selon leurs statuts et leurs rôles . . . . .	36
9.1 Typologie fondée sur les conventions de programmation . . . . .	36
9.2 Typologie fondée sur la problématique . . . . .	37
10 Les cycles temporels . . . . .	43
10.1 Échelles de temps . . . . .	43
10.2 Temps de cycle . . . . .	43
10.3 Fin de cycle et bouclage des valises . . . . .	44
11 L'architecture d'ensemble du processus . . . . .	45
11.1 La Figure 19 . . . . .	45
11.2 La Figure 20 . . . . .	47
12 Conclusions critiques sur la DS . . . . .	47
12.1 Mise en œuvre . . . . .	47
12.2 «Ce que je crois...» . . . . .	49
12.3 M'enfin? . . . . .	50
13 Documents H: L'assistance publique à la dynamique . . . . .	51
13.1 Illustration "téléchargée" de DS appliquée . . . . .	51
13.2 Un simulateur de dynamique de production : EXTEND . . . . .	53
13.3 Une illustration exploitant la programmathèque "VENSIM" . . . . .	53

# 1 La DS du gestionnaire

## 1.1 Les contributions directes

La "Dynamique de Systèmes en gestion" est un ensemble de méthodes fondées sur une formulation programmable de relations temporelles apportant les contributions suivantes à l'analyse d'une problématique :

- Description :
  - Identification des composantes et des bornes ;
  - Formulation qualitative en termes des ressources physiques et de leurs états ;
  - Mise en évidence des interactions, des conversions des ressources et des comportements dans le temps ;
  - Repérage des éléments de contrôle et d'information.
- Investigation :
  - Analyse dynamique qualitative sur base de laquelle se fondent les recommandations de changement ;
  - Examen de la validité et de la sensibilité quantitative de grandeurs pertinentes à des changements de structure, politiques, délais, incertitudes.
- Intervention :
  - Examen des comportements résultant potentiellement d'autres structures du système et d'autres politiques de contrôle ;
  - Lorsque des essais d'exploitation du modèle se font non pas en modifiant des paramètres ou en envoyant des impulsions exogènes, mais bien en modifiant la configuration, la nature ou la spécification des relations, il y a intervention sur la structure, ce qui est une intervention d'ordre plus élevé que sur les processus spécifiques.

## 1.2 Contributions indirectes

L'aspect de la dynamique de systèmes en gestion considéré ici est donc la modélisation de comportements dans le temps. Or une contribution essentielle d'un modèle est d'aider à explorer un ensemble inconnu (parce que nouveau ou trop complexe) à l'aide d'un substitut artificiel et symbolique mieux connu (parce que construit par nous). Pour que ce service d'aide à la compréhension puisse être rendu, il faut que les conditions suivantes soient satisfaites :

- Que le modèle ait une formulation (par exemple des équations) telle qu'il puisse exhiber un comportement par une logique opérationnelle ;
- Que le comportement exhibé par le modèle soit similaire, pour l'aspect concerné, à celui de l'objet dont il est un substitut pour l'investigation ;
- Que ce comportement, s'il est similaire, le soit pour les mêmes raisons (cet argument est cité par G. COYLE, dans Management Systems Dynamics, Wiley, 1977).

Quel que soit le contexte de la modélisation (entreprise, écologie, urbanisme, gestion de forêts, promotion agricole, développement de ressources humaines), il y a toujours une téléconomie sous-jacente : "on veut", "on voudrait" quelque chose, ce qui se traduit ici par des cibles absolues présentées à des grandeurs ou par des comportements relatifs souhaités de la part de certaines variables. Le but est l'élaboration de politiques pour obtenir de l'ensemble modélisé un comportement plus désirable et donc pour comprendre pourquoi certaines évolutions ont créé une situation telle que... une étude est entreprise.

Cette modélisation a des aspects qualitatifs et quantitatifs qui peuvent être traités en des phases successives ou alternées :

- Les aspects qualitatifs sont élaborés principalement par l'approche graphique ;
- Il va de soi que l'aspect quantitatif demande une formulation structurée, une numérisation des grandeurs, des paramètres et un support de programmation.

Ce dernier point ne présente cependant pas une difficulté majeure de mise en œuvre, depuis *Principles of Systems* par J. FORRESTER (Wright-Allen Press, 1968), qui fait suite à son *Industrial Dynamics* (MIT Press, 1958 et 1961). Depuis ces publications, des langages et supports dédiés commodes sont disponibles (DYNAMO, GPSS, SIMSCRIPT, DYS-MAP), puis plus récemment (depuis 1996) des programmatiques telles que EXTEND, VENSIM, ITHINK, sur micro-ordinateur.

En effet, depuis les travaux de FORRESTER et de l'école du MIT, la mise en œuvre de la DS ne relève plus de la résolution de systèmes dynamiques symboliques par la mathématique, mais est un substitut discret de la formulation mathématique qui est analysé par simulation, ce qui donne plus de flexibilité et permet de prendre en charge une complexité plus élevée. Cette approche a pris une tel renom que dans tout le domaine de l'économie et de la gestion l'évocation de "Systems Dynamics" suffit pour spécifier qu'il s'agit bien d'elle. Dans ce texte-ci on écrira ici "DSG" (à savoir "Dynamique de Systèmes en Gestion") pour désigner cette méthode.

La complexité des problématiques abordées de la sorte relève des facteurs suivants :

- Le nombre de ressources et leur degré d'interaction ;
- Le nombre d'interactions cause-effet ou signal-réponse (la façon dont le système est riche en potentiel de comportements) ;
- Le nombre de relations de contrôle, à savoir la variété de réponses possibles à de multiples signaux (lesquels peuvent être soumis intentionnellement par l'analyste aux fins de simulation) ;
- Le nombre et l'amplitude des délais naturels du système présents dans les mécanismes de contrôle ;
- Le nombre de processus incontrôlables, c'est-à-dire hors du domaine d'influence des propriétaires du système.

Ces facteurs de la complexité sont rapidement inabordables par les modèles analytiques mais, au prix d'imprécisions et d'atteintes à la rigueur, certains peuvent être considérés et formulés par la DSG, ce qui ouvre la méthode à une grande variété de problématiques. Ces restrictions apparaîtront pendant le parcours et seront résumées en fin d'exposé.

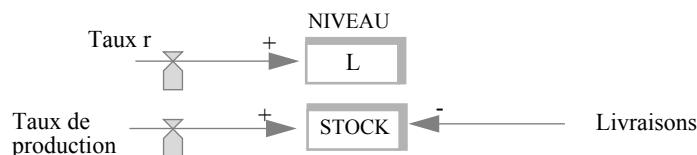
## 2 Quelques caractéristiques et limitations de la DS en gestion

### 2.1 La signification des variables d'état

#### 2.1.1 Taux-niveaux

Pour être légitime, la formulation en DSG ne concerne en principe que la conversion de flux de ressources destinés à d'autres ressources dont ils font varier le niveau, ou destinés à d'autres foncteurs. Le paradigme de base est donc de nature "hydrologique", ce qui se retrouve dans le graphisme de la Figure 1, avec ses petites valves un peu...

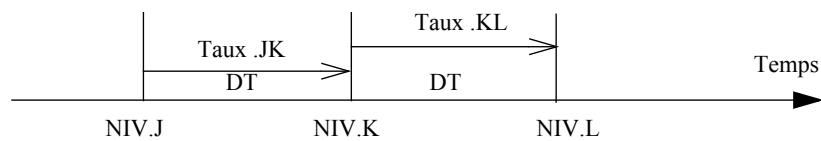
Figure 1. Exemple de représentation minimale "taux-niveau"



On a cru entendre, lors des exposés sur la dynamique, qu'en TDS ("Théorie des Systèmes Dynamiques") les variables d'état résument l'information passée jusqu'à aujourd'hui, contiennent une valeur initiale et expriment leur propre variation (par les différentielles). Elles sont représentatives de l'issu d'un intégrateur des énergies ou des valeurs successives antérieures, donc de la formation d'un potentiel.

En DSG, elles sont analogues, mais plus pauvres. L'intégrateur formant un stock est ici réalisé par une "incrémentation" du niveau par un flux et ce, par petits pas temporels successifs dont l'écriture conventionnelle est montrée à la Figure 2. Ceux-ci s'expriment selon une fraction de l'intervalle de temps significatif pour la gestion.

Figure 2. Convention des pas temporels en DSG



### 2.1.2 Légitimité de la transposition

Comme un accumulateur est la formation d'un stock ou d'une énergie potentielle, dont la propriété mesurée est le niveau, il faut que l'addition soit pertinente pour cette version de variables d'état, ce qui n'est pas toujours nécessairement le cas. Ainsi on peut contester la validité d'un "prix" en tant que variable de niveau (bien qu'on dise le "niveau des prix"), car que signifie "ajouter" une grandeur à un prix, et qu'est cette grandeur additive ? Un prix est une mesure (par exemple de valeur d'échange) associée à un bien économique ; il peut varier, mais ce n'est pas la même chose que sommer, car quel flux additif fait croître ou décroître un "niveau" de prix ?

Aux fins de faire varier le prix, on peut en appeler à la classique pression ou dépression de la demande, mais avec un peu de vague-à-l'âme. En effet, la question posée est la légitimité des écritures (l'exemple du prix) : les inadéquations sont-elles bien situées dans les formulations de la DSG, ou bien sont-elles situées dans la définition exacte d'un prix et de sa formation en science économique ?

D'autre part, l'intégrateur en théorie des systèmes représente aussi un stock d'énergie potentielle. Mais est-ce bien légitime de l'obtenir via une "somme" ? Par exemple, soit que dans une formulation en DSG on injecte une variable d'état appelée "motivation" ; son "niveau" peut augmenter ou diminuer. La correspondance analogique entre la motivation et une énergie potentielle a du charme mais, ici aussi, il convient de définir la grandeur additive qui la modifie et définir exactement, et mesurer, la motivation en psychologie.

C'est avec perversité qu'un appel dupied vient d'être fait à une fonction d'énergie : il est en effet proposé ce guide des interfaces que, parmi les paradigmes issus des sciences pour formuler des problématiques de gestion, c'est celui de l'énergie qui soit le plus fécond. Quoi qu'il en soit, les dogmes ont en tout cas l'avantage de rendre la foi vertueuse.

## 2.2 La translation unitaire

Voici quelques exemples d'écriture conventionnelle de relations (telles qu'on les rédige lorsqu'on fait appel à des programmathèques telles que DYNAMO ou DYSMAP) qui donnent une assiette aux commentaires acerbes sur la DSG, et visent à tempérer les ardeurs des dynamiciens à la Windows plus tentés par la facilité de mise en œuvre que par la rigueur et la légitimité des formulations. Ainsi la translation unitaire, dite incrémentation numérique en Volapuk informatique (L'Infolapuk ?), se fait par convention sur l'intervalle pseudo-différentiel DT, par une évolution du niveau depuis la condition initiale ("Niveau INitial = NIVIN") gérée par :

$$\text{NIV} = \text{NIVIN}$$

$$\text{NIV.K} = \text{NIV.J} + \text{DT} (\text{IN.JK} - \text{OUT.JK})$$

Cette "incrémentation numérique" n'est pas un intégrateur mathématique mais bien opérationnel. En effet, alors qu'en TDS (théorie) une transformation mathématique définit un état ou un niveau par le fait même de sa formulation, ici en DSG cette résultante de sommation est obtenue dans un temps défini. On peut mettre des secondes ou des mois pour obtenir tel ou tel niveau, mais il faut le constituer comme on monte l'escalier d'un institut de gériatrie : par petits paliers.

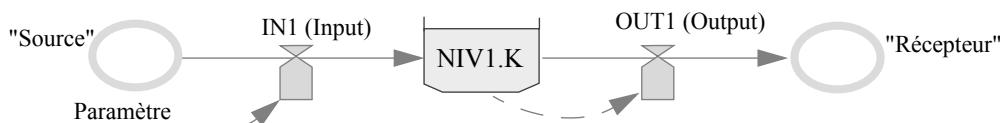
Cette construction des valeurs dans un temps "vrai", un temps que l'on comprend (par exemple une saison horticole, ou une campagne de production), donne un réalisme fascinant à la méthode et cette maîtrise du "timing", très difficile à obtenir par la voie analytique, rend de la sorte de grands services à l'investigateur.

## 2.3 Les variables de flux

### 2.3.1 Signification

Les variables de flux désignent normalement les forces qui agissent sur les variables d'état pour provoquer leur variation; elles expriment une variation par unité de temps d'un niveau contrôlé (en tout ou pour partie) par ce flux. Une correspondance hydrologique serait un débit ou une vitesse; en mécanique, ce serait le déplacement et, en général, ce serait une dissipation d'énergie. La Figure 3 en montre le cas élémentaire en DSG.

Figure 3. Graphe de flux taux-niveau d'ordre 1.



Ce rôle des flux impliquerait que la dérivée de la variable d'état (du niveau) serait la résultante additive des flux entrant et sortant. Cette propriété, qui donne du "succès" à l'exploitation de tels modèles en socio-économie, n'a cependant pas d'interprétation générale en physique appliquée. Ainsi en mécanique, la somme des forces agissant sur une masse est une dérivée seconde, à savoir l'accélération.

Certaines variables de flux peuvent jouer un rôle de variables d'influence ou de "décision". Pour cela, elles modulent l'intensité d'un flux, ce qui est la seule façon d'exercer une action sur les niveaux ou les états (en DSG un état ne peut en affecter directement un autre). On n'aura donc pas ici le correspondant de l'opérateur de l'équation d'observation qu'on observe en dynamique théorique et qu'on peut revoir d'ici par la fenêtre :

$$y(t) = C(t) x(t) + Du(t)$$

Ce problème est contourné au moyen de variables dites auxiliaires. Celles-ci décrivent les processus d'information qui peuvent aboutir aux valeurs des flux pour les décisions. De la sorte, de telles variables d'information, n'étant pas soumises aux lois d'une correspondance réelle, peuvent avoir plus de libertés d'expressions et décrire des comportements moins restrictifs que la bête "incrémentation" que fait l'intégration numérique. Les écritures conventionnelles autorisent ces différentes formations et interprétations des variables de flux qui, en général, sont des fonctions des niveaux et des auxiliaires :

$$\text{TAUX.KL} = f(\text{NIV.K}, \text{AUX.K})$$

Par exemple, une sortie OUT.KL issue d'un niveau NIV.K à un taux qui est une fraction constante "DEL" du niveau atteint est:

$$\text{OUT.KL} = \text{NIV.K} / \text{DEL}$$

Ainsi, pour un niveau de dettes de NIV.K = 10 (unités) et DEL = 5 (par exemple semaines), alors le cinquième du niveau restant est remboursé comme suit :

$$\begin{aligned}\text{OUT.KL} &= 10/5 (\text{U/T}), \text{ soit } 2 \text{ unités/par semaine (la première semaine)}; \\ &\text{la deuxième semaine, ce sera } 8/5. \\ &\text{la troisième ce sera } 7,4/5 \text{ unités par semaine, etc.}\end{aligned}$$

Ce taux étant linéaire, il donnera une décroissance pseudo-exponentielle du niveau.

### 2.3.2 Les taux et les unités

Un taux RT.KL (donc propriété du flux allant du repère temporel K au repère L) proportionnel à un niveau NIV.K selon une fraction k de ce niveau s'écrit :

$$\text{RT.KL} = k * \text{NIV.K}$$

En algèbre dimensionnel, avec [U] pour la quantité d'Unités, et [T] pour le Temps ce sera :

$$[\text{U/T}] = [?] * [\text{U}], \text{ donc la constante k doit être exprimée par unité de temps.}$$

### 2.3.3 Taux d'ajustement

Un flux d'input peut se former par la poursuite d'une cible, en ce sens que le taux d'input est une fraction constante de l'écart entre le niveau atteint (NIV.K) et celui de la cible DNIV ("Désiré NIVEau"); cette fraction est définie ici comme "Temps d'Ajustement" :

$$\text{INT.KL} = (\text{DNIV.K} - \text{NIV.K}) / \text{TAJ}$$

À chaque pas temporel, ceci rapproche le niveau obtenu de celui de la cible par une fraction constante de l'écart, qui sera exponentiellement décroissant par rapport au niveau.

### 2.3.4 Effets des flux sur les sources et récepteurs

Les gens boivent pour ne pas avoir soif mais, jouissant de ce qu'ils consomment, ils ne mesurent pas ce qu'ils tarissent. Ainsi, c'est souvent avec avidité que l'on suit le flux issu d'une ressource, mais avec mépris qu'on considère l'effet, direct ou indirect, de cette sortie de flux sur la ressource qui la fournit et parfois sur le récepteur final du flux. C'est d'ailleurs un grand succès de la DSG d'avoir donné une formulation lisible de cet aspect.

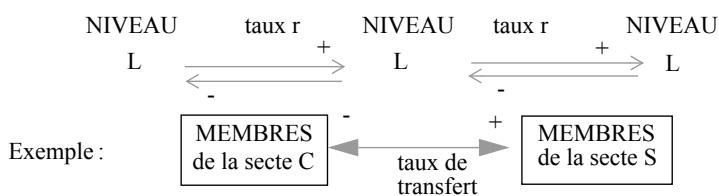
Cet argument, présenté dans les exposés sur la dynamique, est très pertinent dans le cas de la DSG. En voici quelques exemples.

- On recrute des gens, ce qui a un effet évident de niveau de personnel sur l'EAH qui est concerné; mais quel en est l'effet sur les organisations d'où ces gens viennent? Ainsi, il peut être une mauvaise action d'adopter un orphelin car cela diminue les sub-sides octroyés à l'orphelinat qui l'a abandonné à des parents;

- On mobilise des soldats : quel effet cela a-t-il sur la famille ? Les fermes se vident, et l'agriculture a besoin de bras ; on les lui octroie, mais qui jouera alors les tournois de golf et la Coupe Davis ?
- On consomme du combustible, mange du poisson ou utilise de l'énergie : qu'est-ce qu'on vide ?

La Figure 4 illustre ce propos ; ses relations orientées ne sont pas nécessairement symétriques. En principe, la convention de lecture est de gauche à droite suivant la séquence des conversions, mais les relations opposées disent en quoi le mouvement vers la droite affecte ce qui reste dans sa source de gauche.

Figure 4. Taux et niveaux : effet sur la source



### 3 Des boucles sur le front des rétroactions

Dans le cadre de la modélisation par la DSG, les relations taux-niveau montrées à la section 2 engendrent par construction des rétroactions, de sorte que les modèles dynamiques forment des boucles (en anglais "loops", et en belge des "krolles"). La Figure 5 présente une krolle à polarité négative.

Figure 5. Exemple de krolle à polarité négative



Dans cet exemple, la durée moyenne de l'emploi y est un paramètre représentant le comportement naturel de l'emploi, et qui régit la relation :

$$\text{Taux de départs [gens/an]} = \text{Nombre d'employés [gens]} / \text{Durée d'emploi [an]}$$

Une configuration plus riche peut montrer plusieurs boucles, et même une "imbrication" de boucles positives et négatives, de sorte que la polarité n'est pas évidente. Un moyen simple de la connaître est d'appliquer à toute séquence la règle des signes ( $+ * - = -$ , etc.).

Les boucles ont les propriétés et contributions suivantes :

- Elles sont censées être responsables du comportement dynamique observé d'une ou plusieurs variables du système ; les simulations visent à faire apparaître ce comportement, qui ne peut être appréhendé par la compréhension directe en raison de la complexité ;
- Les successions de boucles et leurs imbrications sont responsables de la causalité dite récursive qui est celle de la DSG ;
- De plus, ce sont en général les entités qui sont considérées comme des sources initiales ou des récepteurs finaux (donc situées hors de la fermeture transitive par les boucles) qui marquent les bornes du système ;
- Les boucles remplacent, ou du moins expriment, le foncteur "F" de la dynamique autonome des variables d'état présenté lors des exposés sur la TDS (la Théorie Des Systèmes) ;
- C'est par leurs connexions et leurs enchaînements temporels que se poursuivent les processus de la dynamique.

Malheureusement, les modèles dynamiques n'éteignent pas les effets des impulsions qui leurs sont soumises ; une fois chatouillés, ils n'en finissent pas de rire et d'avoir des convulsions. Les comportements et les entraînements faits par les boucles ne se fatiguent pas, et c'est une galère que d'expliquer à un tel modèle d'arrêter d'osciller entre les voies, de tituber d'une cible à l'autre ou d'entrer en léthargie dans un "steady state" si stable que même son nirvana ne sert plus à rien.

Pour vider un niveau, il faut en DSG lui envoyer "informatiquement" une impulsion négative et soudaine (en un temps DT) sans influencer les autres variables, comme si on faisait un trou dedans ou qu'on vide son verre dans un pot de géraniums quand personne n'en regarde. C'est cependant via la régulation par les boucles que le modèle permet d'obtenir des réponses contrôlées, donc d'élaborer et de comparer des politiques de gestion.

## 4 La réponse contrôlée

### 4.1 Les signaux des krolles

La dynamique de systèmes appliquée à la gestion permet de combiner à la fois des flux réels et des flux d'information dans la même configuration, ce qui lui a donné son succès dans la foulée des fans fous défoulés des foules.

Cependant, ce n'est que lorsqu'une rétroaction sur l'entité qui émet un signal de contrôle est présente que l'on peut parler correctement de feed-back ; celui-ci a la présentation figurative d'un boucle (et c'en est une) mais il est plus légitime de réservé cette notion aux signaux fournis par les processus à leur "contrôleur".

Dans des systèmes physiques, ces signaux peuvent être des flux réels ou des mécanismes (tels celui du fameux régulateur de WATT, ou celui d'une pompe à essence qui déclenche selon le niveau du réservoir d'une voiture) mais le rôle joué par le feed-back est celui d'un capteur d'output et transmetteur de cette information, en principe à une entité de contrôle.

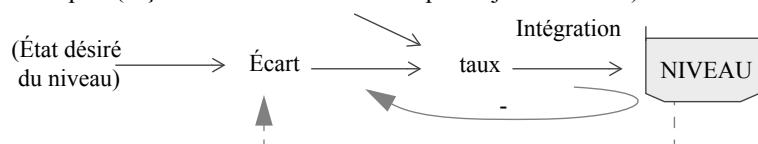
On comprend dès lors que le timing d'un feed-back mathématique n'est pas le même que celui de la DSG : alors que le premier est instantané et obtenu par la fonction de transfert, le second est un déplacement et un ajustement progressif des valeurs.

Cette question de la signification des boucles ramène le débat vers la sémiologie graphique : un circuit dessiné sur un graphe taux-niveau se "boucle" en un pas de programmation DT, s'il n'y a pas de délais explicitement programmés. L'utilisation de l'information du niveau pour déterminer le taux prend donc un temps réel durant lequel il y a une progression des valeurs. Il serait dès lors normal d'y préférer une représentation graphique plus proche de celle des graphes de flux de signaux en mathématique, car ceux-ci montrent explicitement les bouclages par l'opérateur de décalage, ou d'avancement exploité dans les transformées-z, à savoir " $z^{-1}$ ".

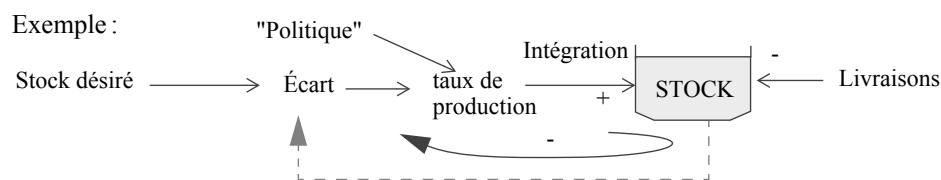
La Figure 6 montre un cas typique de configuration de boucle.

Figure 6. Boucle à réponse contrôlée

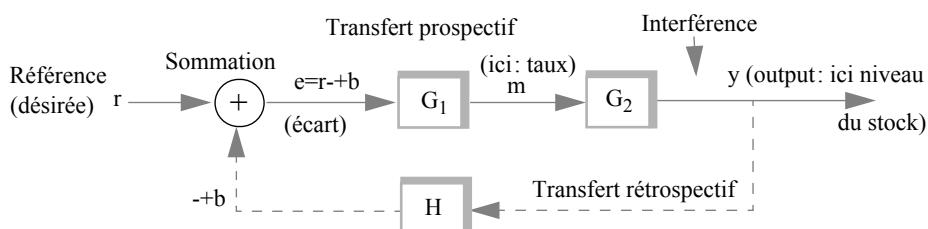
"Politique" (façon dont l'écart est utilisé pour ajuster le taux):



Exemple :



Ceci satisfait la forme canonique d'un système de contrôle à feed-back:



## 4.2 La séquence causale

La règle de la séquence causale (sauf le cas spécial du délai) est que les flux affectent uniquement les états des ressources et ne peuvent affecter directement d'autres flux. 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 des deux.

C'est cette recherche de la meilleure structure et de la paramétrisation du contrôle qui est ici un propos essentiel de l'investigation : trouver les signaux, les injonctions fondées sur les informations concernant les états du système de façon à atteindre un objectif ou des états désirés. De la sorte, une telle modélisation par la DSG met en présence des ressources d'où peuvent être issus des flux (des gens, des matières, de la monnaie, des biens) et des connexions de comportement, d'information et de contrôle. La Figure 6 joue également le rôle de schéma de base, choisi dans le cadre de la régulation d'un stock.

## 4.3 Le lissage des taux

Les informations sont issues de deux sources : la valeur actuellement atteinte par un niveau (à un moment donné  $k$ ) et la valeur moyenne d'un taux sur un intervalle de temps. Obtenir une telle moyenne ("averaging") est un processus de lissage qui est équivalent à une intégration, et livre un taux lissé ("smoothed"). La programmation en DSG donne, pour lisser le taux  $X$ , l'écriture :

$$\text{AVERX.K} = \text{AVERX.J} + (\text{DT/TAX}) * (\text{X.JK} - \text{AVERX.J})$$

La valeur initiale du niveau AVERX doit être spécifiée et TAX est le paramètre de lissage, lequel détermine le comportement plus ou moins volatil de l'output de cette procédure. Ce truc marche si bien qu'une fonction "SMOOTH" est pré-programmée (en langage DYNAMO et en DYNSMAP) pour prendre cela en charge, et il paraît que cela correspond au lissage exponentiel d'ordre 1 (non-divergent pour  $a < 1$ ):

$$z_t = ax_t + (1-a) z_{t-1}$$

On ne peut en reprendre la "preuve" ici, puisqu'elle ne ressemble pas à de la mathématique et, de toute façon, la procédure conduit l'output (la série lissée) à avoir le même comportement que l'output d'un lissage exponentiel simple.

Cette propriété est d'ailleurs inquiétante vu l'incapacité notoire du lissage simple à traquer une série de données qui ne soit pas stationnaire du premier ordre. Mais il paraît que, dès que quelque chose est informatisé et fonctionne, on ne doit pas s'en faire pour que ce soit exact ou intelligent.

Un exemple didactique toujours repris est celui du taux de production, logiquement fondé sur le niveau de stock et sur la demande. Celle-ci peut cependant être trop volatile, pour une adaptation de la production en temps réel. Voulant s'y adapter, la production peut faire une crise de stress et aurait alors des soubresauts effrayants pouvant résulter de l'équation dynamique. Il est dès lors plus confortable et réaliste de fonder ce taux de production sur un taux moyen (programmé comme "AVERAGE"), ou lissé ("SMOOTH"), de cette demande.

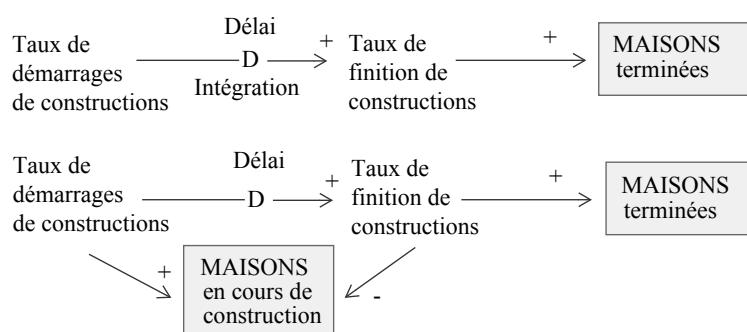
## 5 L'obtention de délais

### 5.1 Définition et rôle du délai

Un délai est un opérateur qui transforme un taux d'input qui lui est soumis en un taux d'output non instantané mais distribué sur une période plus étendue, la forme et l'extension de cette distribution dépendant de l'ordre du délai et de ses paramètres. Un tel opérateur contient une ou plusieurs intégrations implicites dont le nombre (correspondant aux variables d'état) définit l'ordre de ce délai.

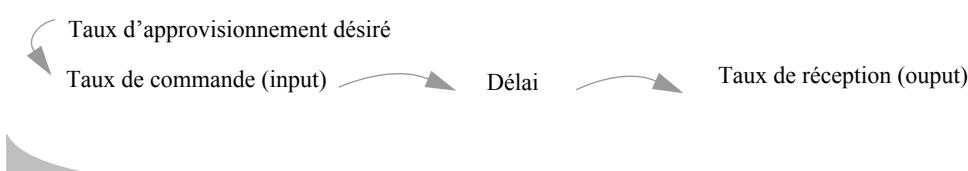
L'expression d'un délai est telle que la grandeur est retenue (accumulée dans un niveau) et redistribuée sur les intervalles de temps suivants. Le décalage est comme un cas-limite de délai, où toute la grandeur est retenue jusqu'à un repère temporel ultérieur, soit  $t$  unités de temps plus tard. Dès lors, le décalage est parfois qualifié de délai d'ordre infini. Ainsi, on pourrait s'intéresser à l'état d'avancement d'une nouvelle implantation, disons un lotissement. La petite Figure 7 y a glissé un délai; on y a ajouté ensuite une variable auxiliaire de surveillance, à savoir le nombre de maisons en cours de construction.

Figure 7. Illustration du délai dans la construction



Dans des problématiques des EAH se présentent aussi des délais entre l'expression de valeur d'une variable d'influence, disons  $x$ , et une variable-réponse  $y$ . Ceci est représenté à la Figure 8 par une simple séquence, telle que celle de l'approvisionnement.

Figure 8. Une séquence minimale de l'approvisionnement



## 5.2 Formulation du délai

Soit qu'un flux soit soumis à un délai. Celui-ci sera caractérisé par deux paramètres, son ordre(n) et sa constante temporelle, "DEL", qui dépendent de la façon dont l'input sera peu à peu délivré à la sortie du délai (donc l'output du délai):

- Le nombre de fois que le flot est retenu dans des niveaux avant sa délivrance finale sera l'ordre du délai;
- Le temps pendant lequel le flot est retenu en moyenne dans le délai donnera le paramètre DEL, dont l'unité de mesure est donc un temps. Lorsque le paramètre DEL augmente, toutes autres choses restant égales, on doit s'attendre à ce que le flot soit fourni dans le temps avec plus de parcimonie, mais peu à peu tout sera livré.

## 5.3 Délai d'ordre 1

La Figure 9 montre les graphes d'un délai d'ordre 1. La version "taux-niveau" y est d'abord à l'intégration pure de flux; ensuite le graphe d'influence montre que le délai est une boucle fermée, telle que le niveau est informé par lui-même, via le taux d'épuisement.

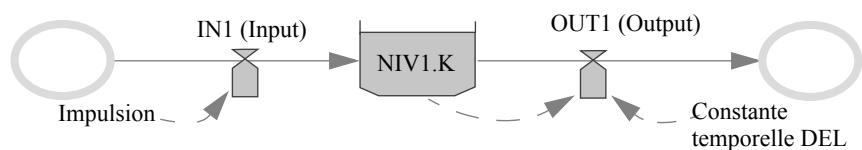
La formulation s'écrit:

$$\begin{aligned} \text{IN.JK} &= \text{NIV.K} \\ &= \text{NIV.J} + \text{DT} (\text{IN.JK} - \text{OUT.JK}) \\ &= \text{NIV.J} - \text{DT} * \text{NIV.J} / \text{DEL} \\ &= \text{NIV.J} (1 - \text{DT/DEL}) \end{aligned}$$

Cette dernière expression montre bien que la fraction du contenu du niveau qui est délivrée pendant le temps DT est DT/DEL.

Figure 9. Graphe de flux d'un délai d'ordre 1

Graphe taux-niveau d'un délai d'ordre 1



Graphe d'influence d'un délai d'ordre 1



On peut exprimer ceci aussi en disant que la probabilité  $P\{1\}$  qu'une unité située dans le niveau quitte celui-ci pendant la période  $DT$  est  $DT/DEL$ . La probabilité qu'une unité quitte le niveau pendant la deuxième période de longueur  $DT$  depuis "maintenant" est dès lors :

$$P\{2\} = (1 - DT/DEL) * DT/DEL$$

De façon générale :

$$P\{k\} = \left[1 - \frac{DT}{DEL}\right]^k \cdot \frac{DT}{DEL}$$

Ce qui est bien géométriquement décroissant.

Le nombre moyen de périodes de longueur  $DT$  qu'une unité restera dans le délai est calculé par l'espérance mathématique de  $k$  :

$$E(k) = \sum_{k=0}^{\infty} k P\{k\} = \frac{DT}{DEL} \sum_{k=0}^{\infty} k \left[1 - \frac{DT}{DEL}\right]^k$$

Posant  $x = 1 - DT/DEL$ , on a :

$$(a) \quad E(k) = (1-x) \sum_{k=0}^{\infty} k x^k = (1-x) \frac{x}{[1-x]^2} = \frac{1-(DT)/(DEL)}{(DT)/(DEL)} = \frac{DEL}{DT} - 1$$

Soit que le niveau initial  $NIV(0)$  ait été atteint en une seule impulsion, l'input étant nul ensuite. En passant au continu :

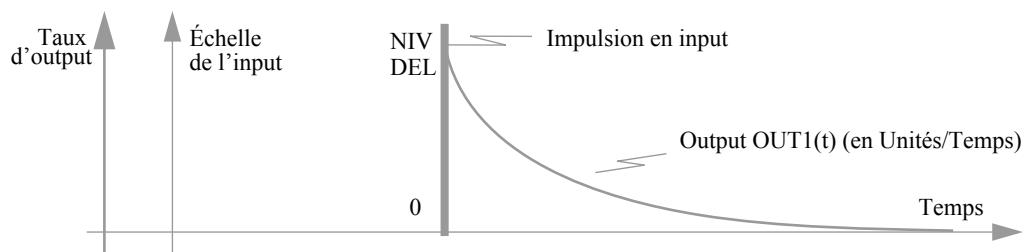
$$\frac{dNIV1(t)}{dt} = -OUT1(t) = -\frac{NIV1(t)}{DEL}$$

On obtient l'évolution du niveau par séparation de variables et intégration :

$$NIV1(t) = NIV1(0) e^{-\frac{t}{DEL}}$$

Cette évolution est bien exponentielle, comme le montre la Figure 10.

Figure 10. Réponse exponentielle à une impulsion



Comme l'output livré est  $-NIV(t)/DEL$ , où DEL est une constante, ce taux de "vidange" du délai est donc lui aussi exponentiellement décroissant.

Le maximum du niveau implicite du délai se situe en  $t=0$ , où il vaut  $NIV(0) / DEL$ , et  $NIV(0)$  est formé par une impulsion. Comme  $e^{-t} \approx 0,37$ , on lit tout de suite qu'environ 63% (soit 1-0,37%) du niveau implicite en début de période est dissipé par intervalle de temps de longueur  $DEL$ . Ainsi, dans un délai d'ordre un, 95% du niveau initial est délivré après trois périodes de longueur  $DEL$ .

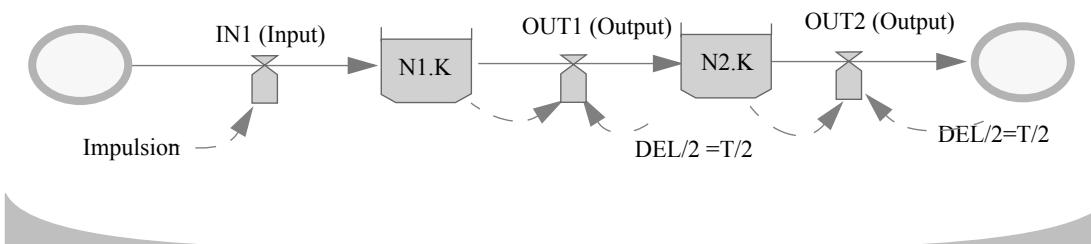
## 5.4 Délai d'ordre 2

On peut concevoir un délai d'ordre 2 comme une séquence de deux délais d'ordre 1, pour lesquels la constante  $DEL$  est allouée pour moitié à chacun, comme à la Figure 11.

Soit  $N(0)$  l'input d'impulsion en  $t=0$ , et les notations simplifiées  $DEL=T$ , et  $N1$  et  $N2$  les niveaux implicites. La variation de Niveau s'exprimera par la différence des deux taux d'output:

$$(a) \quad \frac{dN2(t)}{dt} = OUT1(t) - OUT2(t) = \frac{N1(t)}{T/2} - \frac{N2(t)}{T/2}$$

Figure 11. Graphe de flux d'un délai d'ordre 2



Si une solution de la forme  $N2(t) = C \cdot t \cdot e^{-2t/T}$  convient, on sait qu'elle est unique. Cette forme de solution satisfait l'exigence  $N2 \Rightarrow 0$  quand  $t \Rightarrow 0$  ou  $t \Rightarrow \infty$ . Il ne doit pourtant pas être loin ! Ah, le voilà, juste derrière l'horizon. Donc,  $t \Rightarrow \infty$ .

La constante  $C$  s'obtient en dérivant l'expression pour  $N2(t)$ , soit:

$$(b) \quad \frac{d}{dt}N2(t) = Ce^{-(2t)/T} - 2\frac{C}{T}t e^{-(2t)/T}$$

Comme, par le délai d'ordre 1,

$$(c) \quad N1(t) = N1(0)e^{(-t)/(T/2)}$$

Il s'ensuit que:

$$(d) \quad C = \frac{N1(0)}{T/2}$$

Ceci donne l'expression du deuxième niveau:

$$(e) \quad N_2(t) = \frac{2t}{T} N_1(0) e^{(-t)/(T/2)}$$

Le moment auquel le niveau  $N_2$  est maximal se trouve via la condition de premier ordre:

$$\frac{d^2}{dt^2} = \frac{2}{T} N_1(0) \left[ e^{-2/T} - \frac{t}{T} e^{-(2t)/T} \right] = 0$$

Ce qui est vrai pour  $t=T/2$ , que l'on remplace dans (e):

$$N_2(t = T/2) = N_1(0) e^{-1} \approx 0,368 N_1(0)$$

Le taux d'output maximal est celui qui est issu de la quantité maximale que l'on vient d'obtenir, dans le deuxième niveau implicite  $N_2(t)$ :

$$\text{MaxOUT}_2(t) = \frac{2}{T} N\left(\frac{T}{2}\right) \approx 0,74 \frac{1}{T} N_1(0)$$

## 5.5 Délai d'ordre 3

Par l'allure de réponse à l'input qu'il représente et la flexibilité qui lui est donnée par le paramètre DEL, le délai d'ordre 3 est d'usage dominant en pratique.

Pour le mettre en évidence il suffit d'étendre à trois niveaux successifs le gadget de l'ordre 2 et développer les écritures correspondantes de façon analogue; ce développement ne se fait qu'en chambre noire, mais il aboutit aux photos suivantes.

Le comportement du troisième niveau implicite devient:

$$N_3(t)_{\max} = 4,5 \frac{1}{T^2} t^2 e^{-(3t)/T}$$

Celui-ci sera maximal pour  $t=2T/3$ , et on obtient que ce maximum est:

$$N_3(t)_{\max} = 2 e^{-2} N_1(0) \approx 0,27 N_1(0)$$

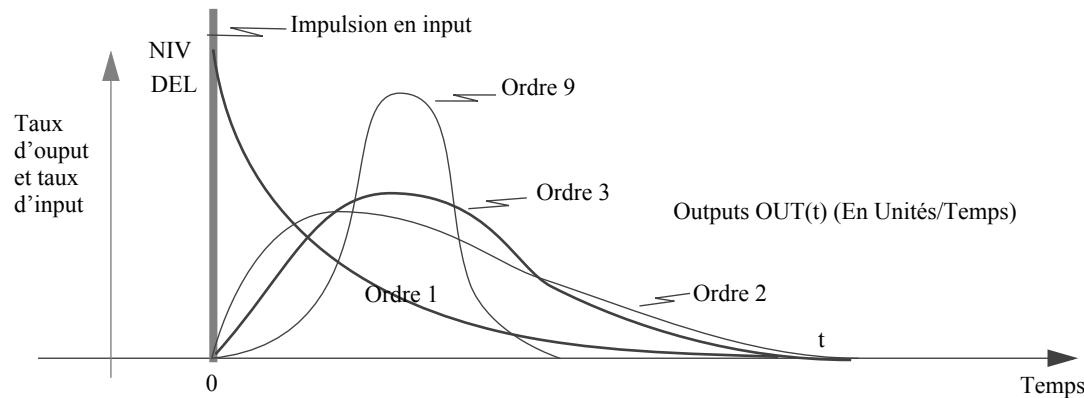
Le flux sortant sera aussi maximal en  $t=2T/3$ , donc au 2/3 du délai DEL, où il vaudra

$$\text{OUT}_{\max} = 0,8 \frac{1}{\text{DEL}} N_1(0)$$

Ces résultats laissent indifférent, sauf si l'on veut bien regarder la forme de réponse qu'ils impliquent. La Figure 12 montre la trace des effets dans le temps d'un délai d'ordre 1 (c'était la Figure 10) et des ordres 2, 3 et 9 respectivement, en réponse à une impulsion d'input élémentaire. On y voit fort bien l'inertie accumulée par l'intégrateur, lequel contient alors son énergie potentielle, puis sourd la vague souple de libération du flot...

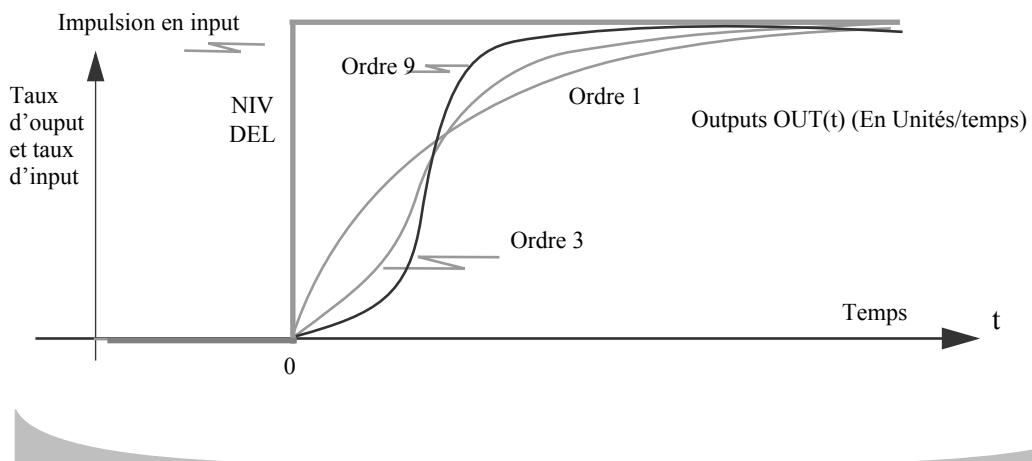
C'est vraiment émouvant, comme d'en vain tenter de retenir ses larmes...

Figure 12. Réponses de délais d'ordre 1, 2, 3 et 9



La Figure 13 montre l'allure des réponses dans le temps de délais d'ordre 1, 3 et 9 respectivement, en réponse à une impulsion sous forme de "pas" instantané.

Figure 13. Réponses de délais d'ordre 1, 3 et 9 à une fonction d'impulsion "Step"



Dans la mise en œuvre de la DSG, le délai est une fonction pré-programmée à laquelle il n'y a qu'à fournir les arguments, à savoir l'ordre du délai et sa constante. Il en va de la sorte du délai 3 :

"OUT.KL=DELAY3 (5,...)",

L'utilisateur n'a guère à se soucier de ce qui vient d'être exposé ; c'est toujours le même choix : ou bien utiliser Windows, ou bien comprendre ce qu'on fait, ce qui est conseillé par la Faculté.

## 6 Les trois types qui contrôlent

### 6.1 Le contrôle mixte

Le grand classique théorique du contrôle analogique est connu sous le nom de "PID", à savoir "Proportionnel-Integral-Différentiel". En pratique, il est néanmoins difficile de réaliser le dispositif physique qui fasse le contrôle différentiel et intégral de façon parfaitement adéquate. Mais ce sera plus visible sur un vrai modèle.

Pour qu'il soit traité avec les égards qu'il mérite, le PID est assis ici sur le "servomécanisme" de H. SIMON, modèle présenté à la section 6 de l'exposé sur «La Dynamique sous contrôle» avant la récréation. On rappelle brièvement ici cet exemple à un seul produit. Les notations sont, en conformité avec celles de ces exposés :

- $y(t)$  un niveau de stock,
- $r(t)$  le niveau désiré (supposé constant, donc pouvant être mis à zéro),
- $m(t)$  le taux de production,
- $v(t)$  la demande,
- $e(t)$  l'écart entre le niveau désiré et le niveau obtenu.

La gageure est de déterminer une politique de production  $m(t)$  en fonction de l'écart  $e(t)$ . La dynamique est :

$$\begin{aligned}\partial y &= m - v \\ e &= y - r\end{aligned}$$

Pour que la formulation soit à feed-back, ou puisse y être amenée, il faut que le vecteur de commande  $m(t)$  soit une fonction du vecteur d'état  $y$  pour tout  $t$ , c'est-à-dire que :

$$\partial y = \mathbf{f}(y, m) = \mathbf{f}[y, m(y)]$$

Cette formulation permet d'exprimer les quatre politiques de contrôle à feed-back :

- P : (Proportionnelle)  $m = -a_1 e + v$
- D : (Différentielle)  $m = -a_2 \partial e + v$
- I : (Intégrale)  $m = -a_3 \int e dt + v$
- M : (Mixte)  $m = -a_1 - a_2 \partial e - a_3 \int e dt + v$

Les coefficients sont non-négatifs et en principe connus a priori. Dans ce cas-ci la variable externe est, évidemment, la demande  $v(t)$  qui présente une évolution temporelle et à laquelle il faut répondre par une politique de contrôle. Structurellement cependant, ce modèle de contrôle est général et d'application en contrôle digital de processus.

Selon SENGUPTA et FOX (Optimization Techniques in Quantitative Economic Models, North Holland, 1969), les politiques P et D sont stables, alors que la politique M (Mixte) engendre des oscillations sauf si la condition suivante est satisfaite :

$$(1+a_2)^2 \geq 4 a_3 (1+a_2)$$

Dans ce design,

- Comme en contrôle de processus, l'output  $y(t)$  est renvoyé en feed-back vers un échantillonneur (prenant la place du transducteur), qui va présenter au comparateur un signal discret (au moment  $kT$ , le  $k^e$  instant de la série) dont le timing est  $T$ ;
- La référence est exprimée par  $r(kT)$ ;
- Le signal primaire de contrôle, désigné par  $e_1(k)$ , est l'écart entre les deux.

Le contrôleur forme sur  $e_1$  un signal de contrôle secondaire, disons  $e_2$ . Ce signal discret sera soumis au circuit "hold" pour former une variable de contrôle  $m(t)$ . Pour digitaliser un contrôleur PID, le signal  $e_2$  est formé d'une variété linéaire des trois composantes, la proportionnelle, l'intégrale et la différentielle :

$$e_2(k) = B_p e_{2p}(k) + B_i e_{2i}(k) + B_v e_{2v}(k)$$

Cette composition a les éléments suivants :

$$P : \quad e_{2p}(k) = e_1(k)$$

$$I : \quad e_{2i}(k) = e_{2i}(k-1) + T e_1(k)$$

$$D : \quad e_{2v}(k) = \frac{1}{T} [e_1(k) - e_1(k-1)]$$

La lecture des expressions de "PID" ci-dessus est édifiante, car elle typifie ce qui se passe lorsqu'on prend des actions correctrices. Pour P, où comme son nom l'indique le signal de contrôle est une proportion directe de l'écart, on voit bien que :

- Si  $B_p$  est inférieur à 1, on envoie un signal qui fera une contre-action inférieure à l'écart qu'elle doit corriger et l'output contrôlé ne pourra jamais "rattraper" la référence ;
- Si  $B_p$  est supérieur à 1, on envoie un signal qui fera une contre-action supérieure à l'écart qu'elle doit corriger, et l'output contrôlé s'écartera de plus en plus de la référence, ce qui est une instabilité issue de n'importe quelle perturbation.

Pour effectuer un contrôle proportionnel en DSG, on l'exprime de la façon suivante :

$$\text{Flux de } T_0 \text{ à } T_0 + \Delta t = [\text{NIV. de Référence } (T_0) - \text{NIV. atteint } (T_0)] / T_{Aj}$$

Ici, NIV est un Niveau, donc l'attribut d'un stock, c'est-à-dire une valeur qui a été atteinte par sommes successives ou par intégration, et  $T_{Aj}$  est le temps d'ajustement. Le temps d'ajustement étant grand par rapport à l'intervalle temporel  $\Delta t$ , le taux ne va pas décrocher vers l'instabilité.

L'exemple typique de contrôle proportionnel dans le domaine de la gestion est d'ajuster un taux d'approvisionnement par la différence entre le stock désiré (le Niveau de référence) et le niveau atteint du stock, à "rattraper" en un temps d'ajustement  $T_{Aj}$ . Toutefois, on peut être tenté de rendre  $T_{Aj}$  variable en fonction de l'écart  $e$ , par exemple d'autant plus faible (recouvrer plus rapidement l'écart) que l'écart est grand. Dans ce cas, le contrôle peut devenir instable quand  $T_{Aj}$  se rapproche de  $\Delta t$ .

Pour tempérer de telles réponses, on peut adopter le contrôle "proportionnel + inertie", ce qui signifie que l'expression P est modifiée en  $P_i$ :

$$P_i: \text{Flux } [T^\circ, T^\circ+Dt] = [\text{NIV. Réf } (T^\circ) - \text{NIV. Obs } (T^\circ)] \text{TAj} + \text{MOYVAR } (T^\circ)$$

Dans cette expression de contrôle de type  $P_i$ , "MOYVAR" est écrit de la sorte pour montrer qu'il s'agit d'une MOYenne d'une VARiable pertinente pour le contrôle. Le temps étant itératif dans ces formulations, cette moyenne est opérationnellement un lissage (exponentiel) de VAR, ce qui justifie l'expression "+ inertie".

Ce type de contrôle fait assez bien face aux mauvais tours que peut jouer la dynamique des perturbations mais est un peu pataud pour traquer une cible remuante. Il est donc légitime que le "management" fasse appel, explicitement ou non, à une telle formulation du contrôle, expliquant par là des comportements peu erratiques de beaucoup d'EAH, alors qu'ils sont soumis à des perturbations énervantes.

## 6.2 Le contrôle intégral

Dans le cas du contrôle intégral, "I", le signal de contrôle est sa propre valeur précédente (en  $(k-1)$ ) plus l'écart  $e_1$  par intervalle de temps de longueur  $T$ . Dans cette version, on révise donc son facteur correctif en lui ajoutant l'excès ou le défaut cumulé par unité de temps. De la sorte, si la cible s'éloigne ou que l'écart n'est pas résorbé, une correction plus grande est appliquée, et le risque est grand d'outrepasser la cible et de diverger. Mais tandis qu'on voit bien ce que signifie de vouloir combler "en une fois" l'écart présent, on comprend mal ce que signifie un écart accumulé et surtout ce qu'implique sa résorption en un certain nombre d'intervalles de temps.

Cela se présente dans le contexte des déficits d'institutions publiques, où les jeux budgétaires suggèrent un tel comportement. On est surpris d'y voir que des nouveaux événements (des perturbations, donc aussi des écarts) situés pendant la période d'adaptation rendent le contrôle intégral... incontrôlable!

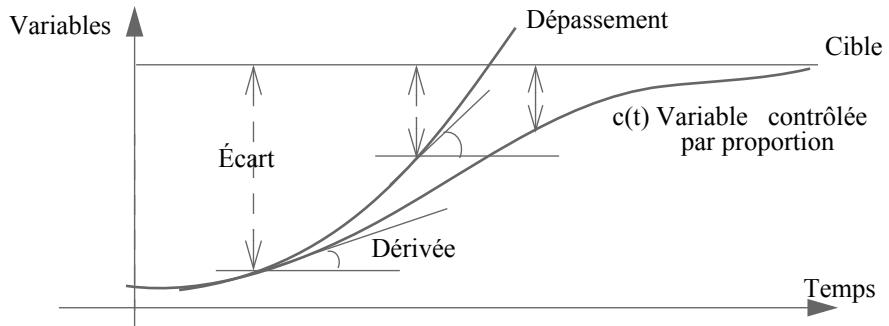
## 6.3 Le contrôle différentiel

Le cas du contrôle différentiel (D), illustré par la Figure 14, est anodin en apparence mais c'est une bombe à retardement: la correction est proportionnelle à la variation de l'écart ( $d$ 'où l'expression "différentiel") divisée par l'intervalle  $T$ . Pourquoi s'affoler? Parce que si le contrôle différentiel est mis en œuvre (donc programmé), une variable sera construite et calculera une approximation discrète de la dérivée, c'est-à-dire une différence d'écarts divisée par  $\Delta t$ , lequel peut être très faible. Cette approximation est donc:

$$\text{DERIV} \approx \text{var } (\text{Écart})/dt$$

L'idée du contrôle différentiel est que lorsque l'écart tend vers 0, ce contrôle doit s'amer- nuiser, de sorte que à la fois l'écart et sa dérivée devraient diminuer; ceci abaisserait la possibilité de correction excessive par rapport à la cible, donc d'instabilité. Cependant, les imprécisions de mesure et les perturbations issues d'environnements espiègles donnent une grande sensibilité à cette variation, de sorte que la crainte de ne pouvoir maîtriser les comportements associés à ce type de contrôle peut être justifiée.

Figure 14. Vision graphique du contrôle différentiel



En conclusion, la forme de contrôle la plus rassurante est la forme proportionnelle complétée par un terme d'inertie.

## 7 Du graphe d'influence au processus dynamique programmable

### 7.1 Le graphe de n'importe quoi?

Les graphes d'influence, introduits dans l'exposé sur « La Systémographie », sont la représentation la plus populaire de processus présentant de multiples interactions entre des objets, dans une problématique globale impliquant des possibilités d'agir sur des valeurs associées à des entités. Une des raisons de leur succès est sans doute la liberté dont jouit l'auteur, puisque un seul type de relation directe y est impliqué, à savoir qu'un arc d'influence de A vers B peut être posé si une variation de A entraîne, toutes choses égales d'ailleurs, mais éventuellement après un délai, une variation de B.

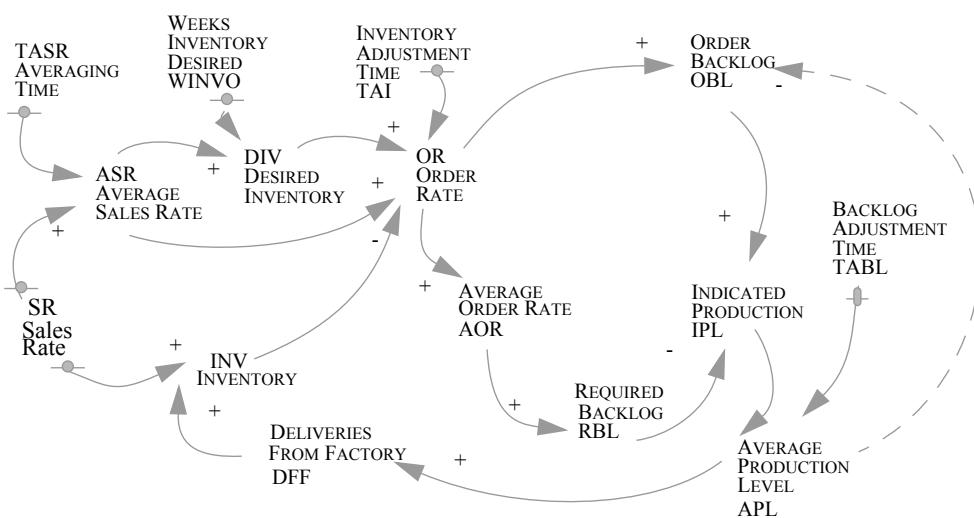
Sur cette base, il est possible de concevoir n'importe quelle configuration mettant en présence n'importe quel type de variable, même les qualitatives ou conceptuelles telles que la motivation ou la notoriété. Ce faisant, on a l'air de présenter le résultat d'une analyse approfondie alors que le graphique lui-même n'est qu'une expression d'une hypothèse exploratoire et pas nécessairement une façon de décrire une vérité ou une réalité.

De cette signification restrictive des arcs, il s'ensuit que les objets mis en présence ne sont pas strictement des "entités" et, partant, un graphed'influence n'est pas une architecture. En effet, les entités, parmi d'autres exigences citées, doivent être distinguables en tant que totalité ; par définition, elles n'ont donc pas de parties distinguables ou pertinentes pour ce propos, et ne se prêtent pas aux variations intrinsèques. Ce ne sont éventuellement que des attributs ou des propriétés d'entités qui peuvent être affectées par des influences, et c'est le fait que l'on puisse porter ces attributs sur une échelle de mesure qui leur confère le statut de variable.

Pour que ce graphe d'influence ne soit pas "n'importe quoi", des progrès doivent se faire en définissant la mission des graphes d'influence puis en exprimant des conditions à satisfaire pour que celle-ci soit accomplie. On devra donc parler de la signification des relations en termes de causalité et des moyens d'élaborer et de justifier les "influences" représentées par des arcs reliant les objets et les variables.

Comme il est peu gratifiant de parler dans le vide, à l'instar des acteurs s'exerçant à articuler en hurlant debout sur une falaise avec des cailloux dans la bouche, la Figure 15 rappelle un morceau du graphe d'influence de l'exemple de gestion des stocks figurant dans un lointain exposé sur «La Systémographie», qui a sombré dans l'oubli après avoir appelé en vain en soufflant dans ses cornes de brumes de l'esprit.

Figure 15. Graphe d'influence d'une régulation de taux de production



## 7.2 La mission du graphe d'influence dans le cadre de la dynamique

La mission du graphe d'influence, outre celle qui est commune à toute représentation graphique et rappelée en systémographie, est d'offrir trois niveaux de contribution : assemblage, modélisation, programmation.

- **Assemblage** : réunir les entités concernées et les connecter dans une représentation globalement signifiante ;
- **Modélisation** : spécifier les entités selon leur type et leur rôle, et préciser la nature et l'orientation des connexions. Le graphe a alors une contribution cognitive en aidant à la simulation par la pensée ;
- **Programmation** : rédiger un programme dans le (meta)langage choisi, aux fins de simulations et de calculs de sensibilité à différentes politiques.

Pour que la contribution soit opérationnelle, elle demande de plus :

- Que des définitions formelles soient données aux entités (qui deviennent alors des variables, donc peuvent avoir une unité de dimension déclarée au programme);
- Que les relations puissent être décrites de telle façon que l'influence devienne un modificateur explicite de la valeur.

### 7.3 Des entités ou des variables ?

Il est typique de ce type de graphe que les relations orientées ne transfèrent pas les flux réels mais transfèrent les conséquences ou influences qui sont issues de ces flux. Les conversions ne sont pas explicitées mais figurent dans l'expression mathématique, dans la "formule" (en général simpliste) disant comment le niveau récepteur est modifié par le fait de recevoir un flux intrant. Le signe "+" ou "-" qui y figure indique seulement que la grandeur pointée augmente ou diminue lorsque la grandeur source augmente, et il va de soi que de telles séquences se forment jusqu'à "boucler", en belge faire des "krolles".

La version opérationnelle est donc plus restrictive que celle d'une influence quelconque car, dans ce dernier cas, la relation d'influence peut être de diverses natures. Ainsi la relation "exerce un pouvoir sur" ou "crain l'opinion de" s'exprime difficilement selon une telle convention par un bête "+" ou "-". La contribution des graphes d'influence exprimant des relations de ce type est donc plutôt d'illustrer le discours, ou de former une mémoire synthétique. On pourrait par exemple dessiner une tête joliment... krollée :

impuissance  $\Rightarrow$  frustration  $\Rightarrow$  agressivité  $\Rightarrow$  échec  $\Rightarrow$  impuissance

et poursuivre de la sorte l'élaboration d'une vaste (et peut-être pertinente) configuration. Cependant on n'ira pas plus loin formellement parce qu'ici ce ne sont pas des variables, vu qu'on ne peut donner de réponses aux questions suivantes :

- Quel type d'échelle est posé ?
- Quelles sont les unités ?
- En quoi ces mots peuvent-ils désigner des états ou des commandes affectant les comportements ?
- Qu'est-ce qui est transmis comme information ?

Un guide pratique pour octroyer le statut de variable à un objet du graphe est certes celui des unités. Les programmes mathématiques sérieuses (DYNAMO, DYSMAP) imposent d'ailleurs de les spécifier pour chaque variable et vérifient leur compatibilité par l'algèbre dimensionnelle. Si on n'a pas pu écrire la "formule" par laquelle un état est modifié, on aura seulement pu concevoir un modèle mais on n'aura pas élaboré une formulation de ce modèle et dès lors une exploitation opérationnelle est hors de propos.

### 7.4 Les liaisons dangereuses et la causalité

Les graphes d'influence sont donc utilisés pour élaborer et montrer la configuration avant l'éventuelle exploitation quantitative, mais ceci pose à nouveau la question de la signification de la relation orientée qui y est dessinée. Leur nom en anglais est "causal diagram", qu'on n'a pas le droit de traduire sans précaution.

Selon les canons de la systémographie, ce n'est certes pas un "diagramme" (lequel est censé mettre en correspondance les niveaux de deux grandeurs) et, de plus, le fait de l'arc orienté n'est pas déterminant pour une causalité, en tout cas pas n'importe laquelle.

En effet, les significations différentes de l'arc peuvent être :

- Une implication logique, du type "si  $u(t)$  alors  $y(t)$ ";
- Un ordre temporel du type "avant-après", fondé sur l'adage "Post hoc ergo propter hoc" ("c'est à la suite de, donc c'est parce que");
- Une influence (ou "causalité faible?") :
  - déterminante : A est une injonction pour B;
  - partielle : A produit B (A est suffisant, mais pas nécessaire pour B);
  - contribuante : A est présent parmi d'autres pour B;
- Une causalité forte : A est nécessaire et suffisant pour B.

Cette variété, cette polysémie de la relation orientée, n'est pas différenciée dans les représentations graphiques en dynamique des systèmes en gestion. De plus, dans les formulations en équation et programmes, la détermination de A n'est distinguée de la contribution de A que par le fait matériel que A est seul ou non pour former B. Il faudra donc plaider la cause de la causalité.

Lorsque le résultat observable est de la nature d'une situation, cette dernière peut être modifiée (et non pas créée) par une "cause". Cette modification peut être considérée comme un événement, mais la situation existait auparavant et perdure avec d'autres propriétés. Dans ce cas on parlera plutôt d'un "effet sur", et la relation qui le produit sera non pas de la nature d'une cause mais plutôt d'une influence. Ceci se retrouvera avec beaucoup d'importance comme un des outputs possibles des processus d'exploitation, ainsi qu'il est exposé dans «Le Domaine de la gestion».

Il va de soi, dès lors, que le cas "cause-événement" est plus déterministe que celui de "influence-effet sur". En effet :

- Dans le premier cas, si tout fonctionne bien et qu'il n'y a pas d'aléa et perturbation externe, on pourrait écrire "si  $x$  alors on est sûr de  $y$ ";
- Dans le cas d'influence, on ressent que d'autres facteurs sont présents et on osera au plus dire que "si  $x$  alors une ou plusieurs propriétés de  $y$  se modifient".

Ainsi, une version élémentaire du cas cause-événement est celle de "signal  $x$ -réponse  $y$ "; dans certains contextes, on dira "stimulus-réponse" et, parfois, "dose-réponse".

Le point commun entre ces versions est que " $y$  est conséquent de  $x$ ". Cependant, alors qu'il abonde en boucles et rétroactions, l'ouvrage pionnier de J. FORRESTER (Industrial Dynamics, op. cit.) ne s'exprime pas en termes de circularité, c'est-à-dire de cause-effets entre les variables connectées; cette acceptation ne fut introduite qu'ultérieurement. Son approche est plutôt centrée sur des relations entre des variables de décision et externes.

Il est cependant clair qu'une telle approche ne peut pas faire apparaître d'innovations, ni produire un comportement qui n'est pas impliqué par les liaisons temporelles préétablies.

En ce sens, la DSG ne fait pas mieux que la théorie des systèmes dynamiques dont elle est issue, à savoir définir des variables à surveiller ("Y"), et des variables d'état ("X"), et décrire une certaine trajectoire globale des états. En effet, la DSG est fondée uniquement sur l'usage de la notion de cause efficiente et d'une dynamique projetée, c'est-à-dire exprimée par les séquences d'effets issus en mathématiques des fonctions d'impulsion et ici de valeurs (ou aussi impulsions) attribuées et transmises par les relations de circularité.

La causalité directe a donc un sens restreint, à savoir celui de la formation de la valeur (ou des valeurs) de variables spécifiées. Mais il ne suffit pas d'accuser une approche d'avoir une causalité "restreinte", encore faut-il informer sur ce qui l'est moins :

Monsieur, pour être diplomate il ne suffit pas d'être bête ;  
Encore faut-il être poli !

Le président Georges CLÉMENCEAU

C'est ce que voudrait aider à faire B. PAULRÉ (*Ibid.*, Paris IX, juin 1976), qui propose « quatre types de causalité », et surtout l'argument suivant, bien envoyé :

On ne peut plus se contenter d'aborder le système par des variables d'état: il convient d'introduire les systèmes stratégiques des agents, les programmes de sélection des éléments qui composent le système.

Ce mécanisme de la Dynamique de Systèmes conçu en termes de circuits mis en connexion par un système d'information est absolument récursif et exclut par conséquent la prise en compte de concomittances et de phénomènes téléologiques.»

On pourrait donc distinguer des causes systémiques de causes spécifiques ou "formelles" opposées à "efficientes" selon l'expression de PAULRÉ qui entend par là que « Les causes formelles expliquent l'ordre de la nature, (et) les causes efficientes leur éloignement de cet ordre. » Le mot "leur" n'est cependant pas expliqué par l'auteur de cette phrase.

Quittant ici les arguments de PAULRÉ, on en garde un "diagnostic" de la causalité dans la modélisation par la DSG. Cette vue conviendrait au graphe d'influence en montrant :

- Une structure causale par l'interaction et la circularité;
- Des causes efficientes spécifiques parce qu'introduites dans certaines relations définies comme telles via les variables décisionnelles et exogènes.

Ceci paraît conforme à une définition générale de la dynamique : "Ensemble des relations entre les forces qui agissent et les mouvements qu'elles produisent sur un processus".

## 8 Justification des relations d'influence

La justification générale des relations d'influence réside dans le souhait que le processus global se comporte de la même façon que le processus réel qu'il veut décrire et ce, pour les mêmes raisons. De plus, on ne peut que rappeler la condition de pertinence, dont la clef est l'utilité par rapport au propos de l'investigateur. Il faut se méfier aussi de la métaphore du rhizome, présentée en systémographie, selon laquelle l'investigateur peut divaguer d'une relation à l'autre, sans focalisation, sans convergence...

Fondée sur la Troisième Loi (de CdB !) selon laquelle «Tout ce qui est inutile ne sert à rien», la règle du Maître s'applique donc ici plus que jamais : parcimonie, sobriété, utilité.

Plus précisément cependant, le modèle ne peut être valide que si les relations d'influence répondent à quelques conditions qui les justifient, à prélever parmi les suivantes :

- La conservation des flux ;
- Les influences imposées au modèle ;
- L'observation directe ;
- La théorie acceptée ;
- Des constatations statistiques ;
- Des hypothèses de comportement, aux fins de simulation.

Ces considérations, et ensuite celles qui concernent les types de variables, seront ici illustrées en temps réel par l'exemple, familier dans les salons, de la commercialisation des fruits et légumes en Algérie en 1980-83. Celle-ci se faisait par deux voies concurrentielles :

- Des organisations publiques, inefficaces et copieuses ;
- Des négociants privés, efficaces mais dits "profiteurs".

Les éléments de cette problématique et le graphe d'influence sont encore visibles dans l'exposé sur «La Systémographie», mais les variables utilisées et leur signification seront rappelées ici sous la Figure 16.

## 8.1 La conservation des flux

### 8.1.1 Les flux réels

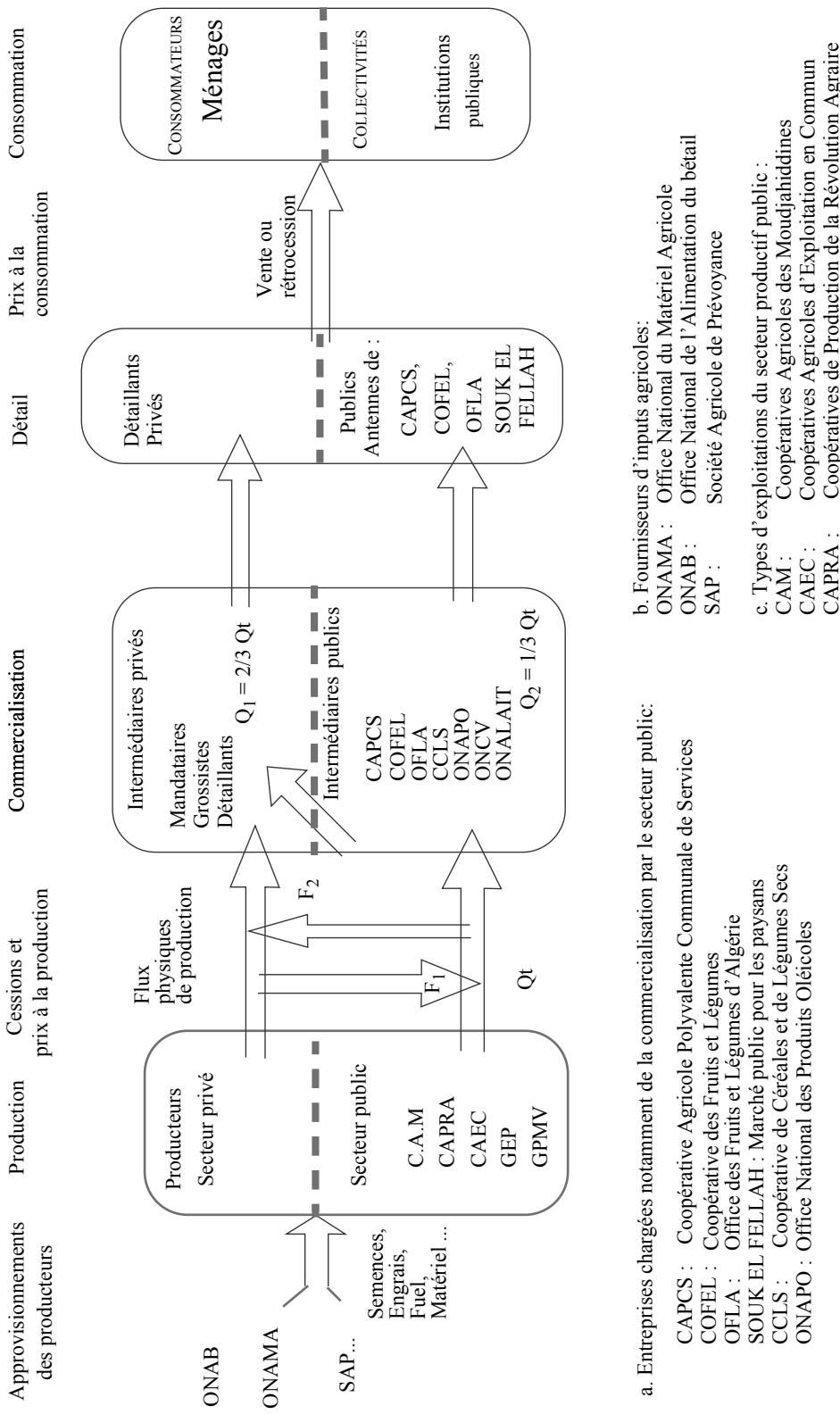
Les flux réels considérés dans le problème de commercialisation qui nous sert ici de support pour illustrer certains aspects de la dynamique programmable sont représentés sur la Figure 16. Il y figure aussi les entités administratives qui sont pertinentes ici. C'est une expression visuelle de la problématique qui aide les Lecteurs les moins doués, donc les plus méritants, à situer les écritures dans leur contexte. Des effectifs, des produits, de la monnaie et tous autres transferts réels viennent de quelque part et se rendent quelque part, tant que la source et le puits ne sont pas présentés hors des bornes de l'ensemble étudié. Cette cohérence est obtenue ou diagnostiquée en examinant les niveaux des stocks et repérant comment ils sont alimentés et réduits.

Quand on parle de fruits et légumes, cela donne faim, évidemment, à ceux qui suivent un régime, surtout leurs adeptes végétariens. Mais c'est là le piège : il faut savoir donner envie aux Lectrices curieuses d'en savoir plus sur ces flux étranges...

La faim est le meilleur des cuisiniers.  
C'est seulement lorsque ce besoin est apaisé que l'on peut distinguer,  
dans la foule, ce qui a du goût et ce qui n'en a pas.

Emmanuel KANT (trad.)

Figure 16. Les flux de la commercialisation des fruits et légumes



### 8.1.2 Les variables utilisées pour la formulation

Les noms de variables utilisées pour la formulation du modèle, et présentées dans l'Encart 1, sont explicites :

- Les niveaux sont en majuscules, souvent les Quantités commençant par "Q";
- Les taux en minuscules commencent par "R" (le Rate anglais, on l'a déjà dit!);
- Ensuite on lira "PO" pour les Producteurs, "PRO" pour les produits, "PRI" pour les différents prix, etc.

Ces astuces professionnelles (la qualité est dans les détails) donnent une leçon importante : un modèle valide doit d'abord pouvoir être lisible, avant même d'être compréhensible.

#### Encart 1. Définitions de variables

- STDET Le STock disponible chez l'ensemble des DÉtaillants ;
- Rconpv Le taux ("Rate") de consommation (les quantités achetées par les CONsommateurs PriVés par unité de temps);
- Rconpu Le taux ("Rate") de consommation (les quantités achetées par les CONsommateurs PUblics par unité de temps);
- Rlivpu Le taux (R) d'approvisionnement (et LIVraison) par le secteur PUblic;
- Rlivpv Le taux (R) d'approvisionnement (et LIVraison) par le secteur PriVé;
- QPRO La Quantité PROduite (par le secteur agricole);
- Rimpot Taux d'IMPORtations par unité de temps;
- Rdepote Taux de DÉPerdition du stock de DÉtail;
- PRIPLA PRIx PLAncher; prix minimal auquel les offices publics de commercialisation sont tenus d'acheter les produits auprès des producteurs;
- PRIMAX PRIx MAXimal au détail autorisé pour les produits alimentaires de base.

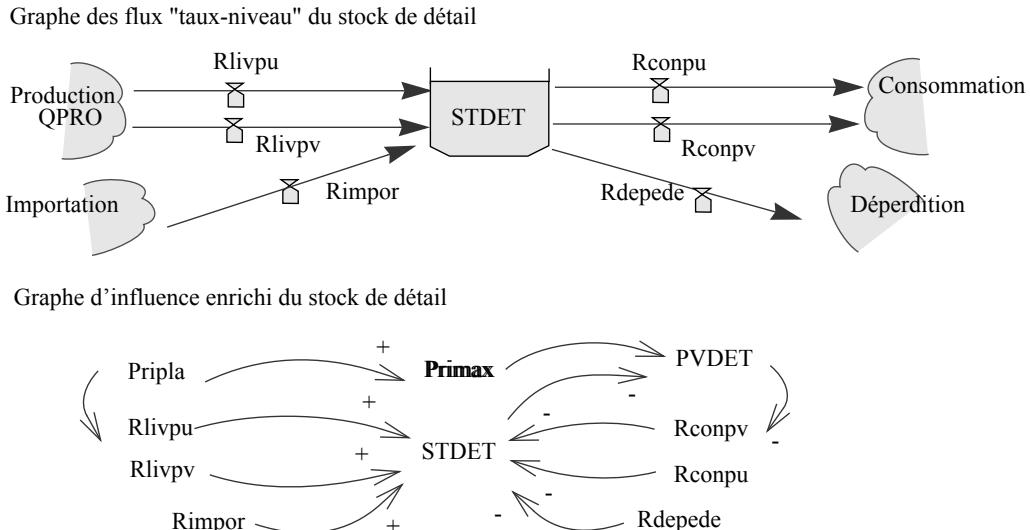
La représentation graphique des flux de base gérant le STock de DÉtail est la Figure 17. Bien que «Qui se glorifie lui-même ne sera jamais acclamé» (dit Lao TSEU sur La Voie de la Vertu), l'attention est ici attirée sur le raffinement qui montre avec simplicité la différence entre un graphede flux et le graphed'influence. Ainsi l'orientation de l'influence n'est pas la même que celle des flux réels. La Direction déplore ce manque de correspondance et encourage une description graphique plus homogène des comportements.

Pour bien voir ce qui lui arrive, l'équation des flux pour STDET, le STock de DÉtail, est :

$$\text{STDET.K} = \text{STDET.J} + \text{DT} * (\text{Rlivpu.JK} + \text{Rlivv.JK} - \text{Rconpu.JK} - \text{Rconpv.JK} + \text{Rimpot.JK} - \text{Rdepote.JK})$$

Cela se voit, non ?

Figure 17. Graphe des flux et graphe d'influence du stock de détail



## 8.2 Les déchets de théorie

La deuxième voie de justification des arcs d'influence est celle de la théorie acceptée. Celle-ci autorise le concepteur à décrire des influences en reconnaissant comme valides des assertions qu'il a trouvées dans ses cours d'économie, même si, comme d'habitude, elles sont contradictoires et qu'aucune n'est démontrée. Ces assertions sont légion et étrangères à notre propos mais ici, par exemple, on peut admettre que l'excédent de stock disponible amène une diminution du prix demandé, et l'écrire comme suit :

$$PVDET.K = FIFGE(PVDET1.K, PVDET2.K, QCON.K * 2.1 * SEMSTD, STDET.K)$$

Dans cette expression, "FIFGE" est un opérateur pré-programmé (en langage DYSMAP) et signifie "First If Greater or Equal". De la sorte, on choisit le prix de détail PVDET2 si à ce moment K le stock de détail STDET atteint 2,1 semaines de consommation (QCON.K). Sinon, ce sera le prix PVDET1.K, lequel dépend notamment des prix imposés comme on devrait le voir bientôt, si la section 9.3 arrive à l'heure.

## 8.3 Les influences et les mauvaises fréquentations

Le graphe de la Figure 17 superpose trois autres variables : PRIPLA, PRIMAX et PVDET, aux flux déjà introduits. Ceci impose cette fois une influence au modèle et le fait ici de façon objective, à savoir que le prix d'achat (au producteur) plancher et le prix de vente maximal sont des variables de décision, prises en l'occurrence par les pouvoirs publics.

Ces variables font partie de la classe des exogènes et ne représentent et transmettent que de l'information. L'influence imposée par cette équation est que les détaillants respectent cette injonction :

$$\begin{aligned} \text{PVDET1.K} = & \text{MAX}(\text{MIN}(\text{PVDET1.J} \\ & + \text{DT} * (\text{Rpvd.JK} + \text{Rpvd1.JK}), \text{PRIPLA}, \text{PRIMAX}), \text{PRIPLA.J} * 1.1 * \text{MARVPU}) \end{aligned}$$

Cette expression est plus complexe car elle fait intervenir les taux de variation des prix (les Rpvd.JK), et surtout le fait que le prix de vente au détail est borné par les prix imposés, qui sont PRIPLA et PRIMAX, désignant respectivement le prix plancher et le prix maximum.

Dans une préoccupation sociale qu'affiche toujours le politique, les pouvoirs publics espèrent par ce moyen maîtriser les prix de vente au détail. Cependant, la borne du prix est engendrée par PRIPLA.J \* 1.1 \* MARVPU. Elle signifie que le prix minimal légal d'achat aux producteurs, fixé par respect de leur potentiel économique (qui vaut son paysan dehors ?), est multiplié par un facteur qui est la "MARge bénéficiaire sur la Vente" autorisée de la part de la commercialisation PUblique (MARVPU).

On montre ainsi une importante influence imposée qui, par circularité, est transmise à l'ensemble du système. Elle exprime le fait que la faiblesse de cette marge de profit (10% !) ruine le secteur de la commercialisation publique, déjà peu loti et non motivé, de sorte que ce dernier ne peut plus se placer face aux intermédiaires privés, engendrant par là un problème économique et politique. C'est ce problème qui s'amplifie jusqu'à la crise dont on s'occupe ici.

Ce petit extrait illustre combien un essai de régulation économique, respectable et de bonne foi, peut conduire par les interactions à des outputs contre-intuitifs et indésirables.

#### 8.4 Des comportements douteux, aux fins de simulation

Le petit exemple suivant montre une formulation justifiée, cette fois, par une hypothèse de comportement d'agents économiques, en restant dans le même contexte. Soit le secteur de la production : de quelle quantité les producteurs vont-ils engager la production ? Au repère temporel K, il s'agit de DQPRO.K (la "Désirée Quantité PROduite") qui est donc un niveau virtuel, servant de valeur de référence pour la quantité qui sera réellement produite. Celle-ci dépendra aussi d'autres facteurs, comme les rendements réels et les ressources disponibles à cette fin, non repris dans cet extrait.

Ce niveau de référence (DQPRO.K) se modifie à chaque repère temporel, ce qui conduit à un design selon un servo-mécanisme ; il est donc égal à sa valeur précédente (DQPRO.J) affectée des flux (Rdqpo1.JK) qui l'influencent. Ce sont les trois taux suivants :

- Rdqpo1.JK      le taux R de Désirée Quantité PrOduite qui dépend du PLAn de PROduction officiel PLAPRO ;
- Rdqpo2.JK      le taux qui dépend du fait que les organisations de la commercialisation viennent effectivement chez les producteurs enlever les biens produits ;

Rdqpo3.JK le taux qui dépend des prix qui sont effectivement offerts aux producteurs à l'enlèvement par la commercialisation.

La combinaison de ces trois composantes de l'ajustement du taux de modification de la quantité qu'on désire produire est ici additive ; elle s'écrit simplement (en adoptant  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  comme paramètres de sensibilité) :

$$DQPRO.K = DQPRO.J + DT * (b_1 * Rdqpo1.JK + b_2 * Rdqpo2.JK + b_3 * Rdqpo3.JK)$$

#### a La première composante d'ajustement

$$Rdqpo1.KL = (PLAPRO.K - PRODEN.K) / TADQPO$$

Le flux de modification de la quantité que les producteurs désirent produire est révisé par la différence entre les deux grandeurs suivantes :

- Le niveau de production indiqué par la planification nationale (PLAPRO) et
- Le niveau de la PROduction effectivement ENgagée au repère temporel K (soit PRODEN.K).

Cette différence devrait être couverte en un temps paramétré par TADQPO, dont le symbole signifie "Adjustment Time" de Désirée Quantité PrOduite. Il va de soi que, au plus élevé est le paramètre TADQPO (qui est exogène, donc fourni par l'analyste), au plus lente est l'approche de la quantité qu'on désire produire vers sa valeur de référence. C'est donc une formulation du contrôle.

#### b La deuxième composante du taux d'ajustement de la production

La deuxième composante d'ajustement de la quantité qu'on désire produire s'écrit :

$$Rdqpo2.KL = (AENPRO.K - AQPRO.K) / TAPOEN$$

La structure est la même que la précédente mais elle signifie un comportement différent des producteurs de fruits et légumes. En effet, l'ajustement du taux se fait ici en fonction de la différence entre le taux lissé d'Enlèvement des PROduits par la commercialisation (AENPRO.K) et le taux lissé de Quantité PROduite (AQPRO.K).

Le "A" signifie "Averaged", ainsi qu'on l'a cité à la section 5. Ces lissages servent surtout à éviter que les grandeurs fassent des bonds bizarres, les réponses aux impulsions pouvant engendrer des crises d'épilepsie dynamique qui se voient sur l'impression de l'oscillograph, ou quand les courbes décrivant les variables s'enfuient hors du papier ou tombent en bas de l'écran.

Le comportement impliqué est que les producteurs se découragent (leur DQPRO diminue) si leurs produits ne sont pas enlevés (donc payés) selon la production disponible.

#### c Enfin, la dernière composante d'ajustement !

La troisième composante d'ajustement exprime que les producteurs sont découragés si le prix auquel la commercialisation achète leurs produits est inférieur au prix qu'ils désirent obtenir.

Celui-ci est représenté par RAPVDP (qui est un niveau), à savoir le RApport du Prix de Vente au Détail au Prix d'enlèvement, qui est comparé à 1.0 ci-après dans l'expression de Rdqpo3.KL. Les producteurs sont en effet outrés de voir un grand écart (ou rapport) qui sépare les prix de vente au détail de ce qu'il leur revient et cela les conduit à ajuster la quantité qu'ils ont l'intention de produire (DQPRO).

Dans l'autre sens, de meilleurs prix sont promotionnels et leur permettent notamment de couvrir leurs coûts marginaux (donc de produire en conséquence, ce qui est conforme à la théorie microéconomique de base, laquelle confronte la recette marginale au coût) :

$$\text{Rdqpo3.KL} = (\text{RAPVPD.K} - 1.0) * \text{DQPRO.K} / \text{TAPoeN}$$

On apprend en dynamique que l'énergie potentielle est située dans des grandeurs ayant les propriétés d'un stock, donc ayant pour mesure un niveau. Eh bien, ici cela y ressemble beaucoup ; en effet, les trois expressions complémentaires de Rdqpo.KL sont des flux dont l'intégration pendant un temps DT forme le nouveau stock DQPRO de la période suivante, et ils montrent assez bien cette analogie avec des systèmes physiques.

L'information fournie par ces niveaux (qui ici sont des prix ou leurs rapports, ou des quantités désirées etc.) est une fonction d'énergie pour les comportements, lesquels sont d'autant plus affectés que cette énergie est grande, par exemple que le niveau désiré est éloigné du niveau constaté. Il apparaît alors une énergie de type cinétique qui active les comportements et dynamise le système.

## 8.5 Les constatations statistiques et l'observation directe

Alors que l'économétrie a le devoir de spécifier les relations et d'en estimer les paramètres en utilisant des grandeurs réelles et observables, la DSG peut se permettre de n'en exhiber que des relations et même des relations potentielles. Il y a un point commun entre ceci et les notions de forme et de taille : la forme respecte les relations, la taille respecte la dimension. Ici des données numériques ne sont utiles que pour calibrer le modèle, le rendre crédible du point de vue des dimensions des grandeurs économiques mises en présence. Les relations sont affaire de structure, et devraient pour cette raison garder leurs propriétés indépendamment des dimensions. Ainsi, dans le cas sous revue :

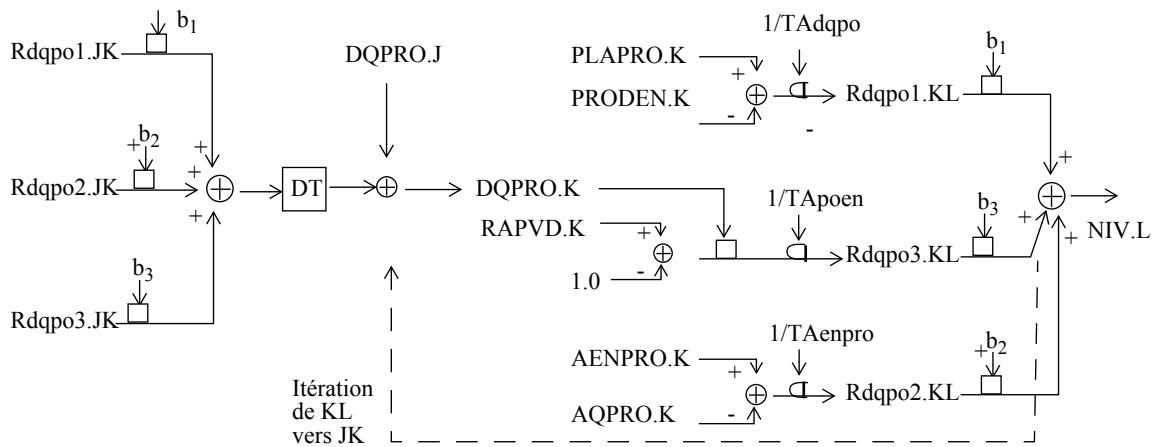
- Les paramètres de rendement, de quantités d'engrais par hectare et de ressource d'aide publique maximale par exploitation, sont indispensables car ce sont des proportions "réalistes" à respecter sous peine de dériver vers n'importe quoi;
- Les dimensions, en revanche, sont moins nécessaires. Ainsi le nombre de producteurs n'est pas utile ici, mais bien leur répartition en catégories (publique, privée, de révolution agraire etc.).

Les grandeurs utiles à calibrer sont les conditions initiales, les autres étant adaptées sur la consommation totale du pays et le niveau de production. Dans l'exemple présenté, ces valeurs sont les dernières connues avant le début de la période de simulation qui couvre cinq années, à savoir 13 827 jours en termes de "timing" des simulations, soit 13 827 000 beats ou encore 11 947 000 000 secondes. L'économétrie fait tout de même des petites crises de nerfs à voir des gens travailler sans ses précieuses "statistiques" et sans procédure de recherche des paramètres.

Une réponse partielle est précisément que les paramètres, si besoin en est, sont à rechercher au préalable, et à introduire en tant que grandeur et comportement observable.

La Figure 18 tente d'expliquer cette relation de formation de la "Désirée Quantité PROduite", en montrant explicitement les translations temporelles.

Figure 18. Translations temporelles pour la "production désirée"



## 9 Distinction des variables selon leurs statuts et leurs rôles

### 9.1 Typologie fondée sur les conventions de programmation

#### a Les variables de niveau

Les variables de niveau sont spécifiées comme construites par un processus d'accumulation à partir des conditions initiales; leur valeur atteinte est définie et conservée à tout repère temporel spécifié, et on a dit qu'en théorie le stock qu'elles décrivent peut être appelé à contenir une énergie potentielle.

#### b Les taux

Les taux sont en principe les mesures de flux, et sont donc définis entre deux repères temporels spécifiés. Ils ne se présentent jamais en séquence directe et sont connectés par des variables de niveau et des auxiliaires. Ceci n'est pas une simple convention d'école de la DSG, mais bien une logique fondamentale des processus dynamiques. Les représentations graphiques de processus des Ensembles d'Activités Humaines se doivent d'obéir à cette discipline et ici tous les exposés sont censés s'y conformer. C'est sans doute cette propriété qui leur donne cette vision fonctionnelle et un sens de lecture efficace.

### c Les variables auxiliaires

Les variables dites auxiliaires sont utilisées pour décomposer les pas selon lesquels on chemine des variables de niveau vers les valeurs des taux, ou sont intermédiaires dans des relations entre des taux. Un écart par rapport à une cible ou entre deux grandeurs est techniquement un exemple d'une telle variable. Les auxiliaires ont aussi le rôle de variables d'observation, à savoir qu'elles sont construites sur les variables d'état, et qu'elles représentent ce que l'on veut observer ou surveiller.

### d Les variables et paramètres exogènes

Des variables sont dites exogènes lorsque leurs valeurs ne sont pas engendrées par le processus et les interactions (sinon elles seraient endogènes) mais doivent être données.

Typiquement, les variables et paramètres exogènes sont:

- Les valeurs initiales des niveaux ;
- Des niveaux désirés, souvent dits valeurs de référence ;
- Des inputs soumis volontairement au système par l'analyste pour en analyser les réponses, ou les chaînes de réponses. Ainsi, on peut introduire volontairement un afflux d'immigrants dans un système démographique, arrêter quelque temps la fourniture de matières dans un système de production. Ces diverses manipulations, et l'examen de leur effets, relèvent de la simulation.

## 9.2 Typologie fondée sur la problématique

La typologie selon la problématique demande de distinguer:

- Les variables de surveillance ;
- Les variables sur lesquelles on peut agir (dites "de contrôle") ;
- Les exogènes ;
- Les paramètres.

### 9.2.1 Les variables de surveillance

La mission de la configuration et de sa modélisation est de fournir le mode d'évolution dynamique des grandeurs qui intéressent l'analyste, une fois explicités et réglés les comptes des interactions entre les variables qui entrent en jeu pour engendrer cette évolution.

En conséquence, l'expression des valeurs atteintes à un repère temporel donné (disons K) et des facteurs qui affectent ces valeurs (donc leur variation de K à L) est une représentation de l'état du système à ce moment. Elle contient dès lors, par définition, l'ensemble des informations nécessaires et suffisantes pour engendrer la dynamique ultérieure et répondre éventuellement à des impulsions qui y seraient soumises.

C'est cette acception que l'on a citée comme définissant dans les modèles mathématiques les variables d'état.

Du point de vue de la problématique, cependant, les variables qui sont à situer aux premières loges sont celles que l'investigateur veut suivre dans le temps, dans une intention, et pas nécessairement celles qui correspondent aux variables d'état (les "X"), lesquelles peuvent n'être à ses yeux qu'opérationnelles pour faire tourner le processus.

Cette intention est ici de découvrir quelles sont les politiques qui octroient à ces variables privilégiées le comportement le plus désirables parmi ceux qui sont possibles et c'est pourquoi ce sont des variables de surveillance. C'est donc celles qui d'évidence seraient de mise... dans un tableau de bord. Ainsi, dans l'exemple de la commercialisation mixte publique-privée, la collectivité (représentée par les pouvoirs publics) a la télémétrie suivante:

#### Éviter (c'est un répulseur)

- Des prix de vente élevés et de fortes fluctuations de ces produits alimentaires : PVDET est donc un client à surveiller,
- Des importations élevées : on a l'œil sur QIMPOR, les Quantités IMPORTées ;
- Des périodes de pénuries graves au niveau de la consommation : on surveille donc les variations de QCON.K, la Quantité CONSommée ;
- Le développement des revenus indécents d'intermédiaires privés : ceci est appréhendé via RAPRV.K, à savoir le RAPport de l'enlèvement PRiVé des produits des producteurs. Celui-ci dépend notamment de RATOPR.K, le RATio des prix offerts par le secteur PRivé par rapport à ceux du secteur public.

#### Obtenir (c'est un attracteur, une valence) :

- Un approvisionnement suffisant, et sans pénuries graves, de la consommation.

On surveille donc QCON.K, la Quantité CONSommée (privée, "pv", et publique, "pu"), via Rconpv et Rconpu par rapport à QBES.K (la Quantité répondant aux BESoins de la population). Ce rapport serait RABECO (RAport des BEsoins à la CONsommation) ;

- Un statut économique et social valorisant pour les producteurs ;

Il peut être suivi par une variable indicatrice TREPRO.K, TRÉsorerie des PROducteurs, qui est un solde des recettes moins les coûts) ;

- La maîtrise du circuit économique, sa réponse aux injonctions des autorités.

Ceci implique le maintien d'un secteur public suffisamment puissant, organisé, non supplanté par un secteur privé incontrôlable (il n'y a pas de régime fiscal adéquat). On peut le surveiller par REV PUB.K (les REVENUS du secteur PUBLIC), engendrés notamment par la quantité d'enlèvement et livraisons par le secteur public, ses marges, et les subsides qu'il reçoit.

### 9.2.2 Les variables de contrôle

Les moyens de régulation sont de deux ordres : structurel et paramétrique.

- La modification structurelle est celle qui remet en cause le design même du système, celui-ci n'étant pas construit pour satisfaire sa mission ou n'étant plus à même de le faire. On a déjà, à cette fin, utilisé le terme de "reengineering" ;

- Les moyens qualifiés de paramétriques sont ceux qui relèvent du choix de variables de contrôle et de leur valeur, ou d'affectation de valeurs de paramètres dans une structure existante.

Les variables que les pouvoirs publics peuvent utiliser – donc "de commande" – dans ce problème de commercialisation sont commentées ci-dessous.

#### PLAPRO

En fonction des informations recueillies via les agences étatiques, des PLAns de PROduction sont élaborés et révisés par les pouvoirs publics. Ils sont affichés mais ne sont pas accompagnés des mesures et ressources nécessaires pour les mettre en œuvre. De la sorte, il est difficilement admissible que PLAPRO aide à la régulation. Tout au plus peut-on y associer un rôle de calibrage, ce qui est le niveau de contrôle d'un système ouvert.

#### PRIPLA

Une des valeurs imposées est PRIPLA, c'est-à-dire le PRIx PLAncher d'achat aux producteurs qui, en pratique, ne s'applique qu'au secteur public. On veut par là préserver des revenus suffisants aux producteurs. Ce prix plancher est fixé par le ministère sur la base d'une estimation des coûts de production (COUEST) laquelle, faut-il le dire, est irréaliste.

#### MARVPU

Un paramètre typique imposé par les pouvoirs publics est MARVPU, à savoir la MARge de Vente autorisée pour la commercialisation PUblique. En ce temps-là, cette marge était de 1,3, à savoir 30% du prix d'achat. Cette marge dérisoire se révèle désastreuse, en ce sens qu'elle ne permet pas des revenus suffisants au secteur public pour que celui-ci maintienne sa position vis-à-vis du privé ; elle entraîne dès lors un manque de ressources et une démotivation des agents publics qui ont déjà, dans ce contexte où l'ombre des palmiers est propice, une tendance naturelle à illustrer les vers célèbres de Virgile :

... tu Tytire recubans sub tegmine fagi...

Toi Tityre, reposant à l'ombre d'un hêtre...

#### PRIMAX

Le PRIX MAXimum autorisé (à la vente finale) est fondé sur le prix plancher PRIPLA et la marge "officielle". Fort bien, mais une part très importante de la consommation est celle des collectivités (tout le secteur public, dont ses institutions, ministères, hôpitaux, écoles et l'armée), représentée par la variable de flux "Rconpu", soit le taux R de CONsomma-tion PUblique.

Cette part est censée être approvisionnée par la commercialisation publique mais, cette dernière étant déficiente, les collectivités s'adressent aux distributeurs privés en leur payant le "prix fort" car ces collectivités ne se soucient que de leur priorité et vivent dans le confort de l'argent public.

Dès lors, les détaillants ont à la fois des pénuries et une pression sur les prix à laquelle ils ne peuvent faire face, et c'est là une des clefs les plus cruciales du problème.

C'est donc le moment de signaler qu'une "solution", au sens d'un comportement acceptable du système, obtenue par simulations (mais avec 200 variables et 400 relations de plus que celles citées ici) a montré que le PRIMAX devait se situer à environ 3 fois (donc

300%) le prix plancher (à l'approvisionnement). Ceci laisse une place raisonnable pour les frais et marges de commercialisation et permettrait au secteur public de survivre, s'il travaillait comme il faut, sans besoins de nouvelle capitalisation.

### SUBSID

Une variable représentant aussi un moyen d'action potentiel est la subsidiation (SUBSID) du secteur public. En fait, après la capitalisation initiale, elle se résume à "éponger" les déficits chroniques du secteur public ruiné par la complexité de ses institutions, son manque de qualification, de moyens, de ressources et de motivation. On se rend donc compte de ce que les pouvoirs publics, même autoritaires, ne disposent que de peu de moyens, de "variables de commande" pour réguler le système, c'est-à-dire lui octroyer un comportement conforme aux objectifs de référence cités.

Le processus de contrôle n'a donc pas ici la "variété nécessaire" au sens d'ASHBY (1956, cité dans l'exposé sur « Les Modèles de processus ») pour pouvoir prendre au moins autant de mesures ou contre-mesures distinctes que le système qu'il est en charge de contrôler peut exhiber de variété. Cette capacité n'étant pas acquise, il est donc requis que le système ait ses propres stabilisateurs incorporés, donc inhérents au design du processus et à ses comportements autonomes. La présence de ces stabilisateurs est une des grandes thèses de l'économie libérale (telle la "main invisible" d'Adam SMITH).

Deux petits exemples en sont donnés ci-après, dans le cadre de cette problématique illustrative.

- Un grand absent y est la fiscalité. En effet, en ce temps-là la doctrine marxiste ne considère même pas l'existence d'un secteur intermédiaire, donc celui de la commercialisation et de la distribution, et certes pas privé. Dès lors, la fiscalité ne s'y applique pas, et le système perd par là un des grands moyens de régulation économique surnaturel.

Cette absence de mise en place de la fiscalité est d'ailleurs une des grandes raisons de l'anarchie actuelle de pays issus d'un ancien régime communiste ;

- Un autre régulateur naturel, moins somptueux mais qui marche très bien, est le SOUK-EL-FELLAH, c'est-à-dire le marché de quartier où les producteurs (Fellah, les paysans) peuvent directement rencontrer la demande (et des copains) et ainsi mettre en œuvre un réseau d'information efficace, appelé téléphone arabe. Cette activité répandue bien des pays, a la vertu de permettre aux régimes "officiels" de ne pas fonctionner.

#### 9.2.3 Les variables exogènes

On définit comme variables exogènes, par opposition à endogènes, celles dont les valeurs ne sont pas obtenues, ou déduites, par des opérations conduites sur d'autres variables. Leur valeur doit donc être fournie "de l'extérieur" et l'évolution quantitative du processus est dès lors conditionnelle à ces valeurs choisies.

Plusieurs classes de variables exogènes peuvent être aussi distinguées que les Lectrices :

- Les valeurs initiales des niveaux, à partir desquelles la dynamique se développe;
- Les valeurs des variables décisionnelles, par exemple ici les subsides (SUBSID);
- Des variables d'influence que l'on ne peut maîtriser.

Ici le facteur climatique est évident. Un autre exemple en serait le taux d'inflation qui serait donné au modèle;

- Des variables produisant des impulsions auxquelles l'analyste soumet le processus pour le mettre à l'épreuve.

La sensibilité de la réponse à de telles impulsions renseigne non seulement sur la stabilité du processus, mais aussi sur les effets potentiels de nouvelles mesures. Par exemple, une "re-capitalisation" des agences de commercialisation publiques peut leur donner des ressources nécessaires à un nouvel essor;

- Quant au FACTeur d'AIDE aux producteurs et la MOTivation du secteur PUBLIC, ce sont également des mesures qui répondraient ici à une carence criante.

## 9.2.4 Les paramètres

### a Paramètres prospectifs

Sont qualifiés de prospectifs les paramètres utilisés pour calibrer un comportement téléonomique. En termes compréhensibles, cela signifie que le temps désigné par les paramètres "TA" est celui qui est imparié à une variable contrôlée pour "rattraper" (par excès ou défaut) la valeur cible de référence.

Ceci est clair dans l'équation d'ajustement du taux R de la Désirée Quantité PROduite ( $Rdqpo1.KL$ ), par la différence entre la quantité à produire selon le PLAN de PROduction imposé par les pouvoirs publics (PLAPRO) et la PROduction ENgagée (PRODEN) où le paramètre "TAdqpro" est le "Temps d'Ajustement de la Désirée Quantité PROduite":

$$Rdqpo1.KL = (PLAPRO.K - PRODEN.K) / TAdqpo$$

Ce sont les multiples relations de ce type et leurs connexions qui amènent le processus global à se comporter d'une façon désirable (les variables de référence étant représentatives de la téléconomie) et ne pas diverger, bien qu'il puisse divaguer s'il y a des courants induits qui l'éner�ent en circulant sur son graphe d'influence.

Revenant aux grosses légumes et leur commercialisation, il se comprend facilement que plus le temps d'ajustement (TA...) est court plus rapidement il est imparié à la variable contrôlée de converger vers la cible. Ceci dit, c'est ce qu'on impose au modèle de réaliser.

Encore faut-il que les agents économiques s'y conforment pour que cela marche. À cette fin, deux options peuvent prévaloir:

- Supprimer leurs degrés de liberté (par autorité, pénalité, totalitarisme);
- Faire le design d'un processus qui se comporte bien, puis le mettre en place et obliger tous les acteurs à s'y conformer, ou obtenir qu'ils acceptent de le faire.

Cette adhésion s'obtiendra mieux si le processus concocté est à la fois faisable et désirable, ce qui confirme l'argument que l'obtention de l'adhésion (des parties intéressées) est un niveau de contrôle. Cette forme peut prévaloir à un niveau de complexité élevée (celui des EAH) où souvent les régulateurs formels se révèlent impuissants en raison des comportements imprévisibles que peuvent exhiber les acteurs naturels.

### b Paramètres rétrospectifs

Les dynamiciens sont des gens peu impulsifs ; la raison en est qu'ils travaillent sur des objets particulièrement nerveux et susceptibles, à savoir des systèmes différentiels non-linéaires et en interaction. Ces choses-là ont des facultés de réponse inattendues (en raison de leur complexité) et de forte amplitude, et peuvent avoir des temps de réponse très brefs, lesquels sont inadmissibles dans une situation réaliste. De faibles impulsions, comme celles des Lecteurs âgés, ou des valeurs proches des limites de l'équilibre, peuvent engendrer des comportements discontinus, les faire "basculer" (comme leur fauteuil) dans un autre état qualitatif, relevant en mathématique de la théorie des catastrophes.

D'autre part, maints exemples peuvent être cités dans la vie économique, où des variables très volatiles sont initiatrices d'une réponse d'un processus, alors que ce dernier n'est pas fait pour absorber de telles variations. Le cas facile, toujours cité par les profs, est celui des commandes irrégulières adressées à un processus de production alors que ce dernier a besoin d'une dynamique reposante pour être maîtrisé et performant.

En pratique, les formulations programmées des graphes d'influence se protègent contre les impulsions agressives en faisant passer les variables sensibles par un filtre linéaire de la nature d'un lissage exponentiel de premier ordre. Un tel filtre reconstitue la valeur actuelle soumise au processus de réponse par une moyenne pondérée des valeurs antérieures. Comme signalé à la section 9.4, ce lissage est effectué par un opérateur, dont le nom "Average" est à force de répétitions devenu officiel en programmation. Il y figure le paramètre gérant le taux d'amortissement des variations de la variable source.

La variable sortant de ce filtre porte un nouveau nom ; ici ce sera "AENLPU", qui désigne bien le "Average ENLèvement PUblic" de sa source "Rate (taux) ENLèvement PUblic" :

$$\text{AENLPU.K} = \text{AENLPU.J} + \text{DT/ENPUDEL} * (\text{RENLPU.JK}-\text{AENLPU.J})$$

Le paramètre de lissage ci-dessus est ENPUDEL (pour "ENLèvement PUblic DELai"). Ce paramètre est de trois (en semaines) dans le programme de simulation de cet exemple, mais il n'est que de deux semaines pour l'enlèvement privé qui est plus flexible, donc de réponse plus rapide.

#### 9.2.5 Les variables techniques exogènes

Certains paramètres jouent un rôle technique qui ne dépend pas de l'analyste mais pour lesquels celui-ci doit introduire des valeurs réalistes. Des exemples dans le présent contexte en sont "PRDEL" (DÉLai de PROduction) ou encore "FAEXPRO" (FActeur EXtérieur sur le rendement de la PROduction, notamment l'effet climatique). D'autre part, des variables peuvent être introduites pour examiner les réponses à des inputs spécifiques, tels des impulsions. C'est le cas de "IMPEXP", l'IMPulsion EXtérieure sur le facteur de rendement de la production, qui dans ce contexte est une aide directe aux producteurs.

### 9.2.6 Les variables dites "de décision"

Une politique s'établit soit par recherche d'une structure, soit par un choix de variables qui peuvent être introduites et manipulées par des agents payés par des moins riches qu'eux et qui se font appeler des décideurs. Aux généreux donateurs, la patrie est reconnaissante ici d'avoir introduit "FACAID", le FACTeur d'AIDE aux producteurs, avec le produit des impôts sur les autres. Ce paramètre n'est supérieur à 1 que si les producteurs ont des ressources suffisantes pour les payer aux... organisations publiques de l'aide agricole ! Dans cette catégorie on trouve aussi "MARVPU" (la Marge de Vente du secteur PUblic) et quelques autres trucs du style "Région Wallonne".

Dans les paramètres de comportement, on lit notamment "ELASPV" (ÉLASTICité de la demande PriVée). Cette demande est effectivement très élastique, vu que les ménages achètent des denrées quand il y en a, et n'en achètent pas quand il n'y en a pas. Le plus rigolo en politique économique est "MOTPUB" (paramètre de MOTivation de la commercialisation PUBlique). Bien des souhaits ont été exprimés à l'égard de la motivation dans les services publics mais aucune mesure efficace n'est devenue célèbre.

## 10 Les cycles temporels

### 10.1 Échelles de temps

L'exposé sur les facteurs de complexité apprend que la complexité de design et de dynamique augmente lorsqu'il y a une variété d'échelles de temps. C'est le cas du domaine temporel couvert ici par la planification agricole (plusieurs saisons), mais il y a plusieurs campagnes agricoles dans une saison, et les variations des stocks et des prix pendant une saison sont de fréquence encore plus élevée, d'où la variété des cycles. De plus, les délais et décalages sont aussi très variés, notamment les intervalles situés entre l'information sur une situation et les mesures qui concernent celle-ci, souvent prises très tardivement par les pouvoirs publics. Enfin, un intervalle de temps peut encore se situer entre le moment de transmission de la décision et l'activation du processus qu'elle engendre ; un tel intervalle s'appelle délai d'actuation.

On se trouve donc ici, et c'est le cas pour la plupart des problématiques d'EAH, devant une variété d'échelles de temps. Lorsque ces processus sont répétitifs, il peut y avoir des dessins en cycles temporels de longueur très inégale. En outre, les délais d'actuation qui figurent dans le cycle peuvent être sensiblement plus longs que le temps du processus d'exécution, donc la décision et la mise en œuvre prennent plus de temps que la réalisation.

### 10.2 Temps de cycle

Un régime de cycles intéressant est celui où ils sont imbriqués l'un dans l'autre, de telle sorte que la réalisation de processus à cycle plus court est nécessaire pour celle de processus à cycle plus long. Il est considéré que les processus qui "tournent" plus vite (donc sont répétitifs et ont un temps de cycle plus court) sont hiérarchiquement inférieurs.

Dès lors, les critères de hiérarchie de systèmes (en sous-systèmes) qui paraissent le moins ambigus sont bien le contrôle et les cycles temporels. Il en résulte que les agents "opérationnels" sont inférieurs aux agents "stratégiques", qui pourtant ne font rien; on est donc payé en fonction inverse de son cycle temporel... shocking!

La longueur de cycle temporel est l'intervalle de temps qui englobe une séquence début d'impulsion - fin de réponse. Lorsqu'une telle séquence est unique, il n'y a évidemment pas lieu de parler de "cycle", puisque cette notion implique une répétition. La délimitation exclusive d'un tel cycle de longueur repérable n'est toutefois pensable que dans le cadre d'un système symbolique ou physique. En effet, les conditions minimales à réunir sont exigeantes:

- Un moment d'impulsion initiale défini;
- Un événement terminal repérable;
- Une définition claire des intervalles temporels à y faire figurer;
- Un cycle doit boucler, en ce sens que le processus doit se retrouver dans un état prêt à accueillir une nouvelle impulsion de cycle.

Définir le moment d'une l'impulsion est facile dans le cas symbolique (comme dans un simulateur programmé) ou dans un système électro-mécanique, mais pas dans les EAH. Dans ce contexte, c'est en principe une décision ou un événement initial qui engendre un processus d'exécution, mais ceci n'établit pas nécessairement un cycle, lequel doit être borné par un événement terminal. Fort bien, mais lequel? Et un cycle doit-il être terminé pour qu'un autre recommence? Un séjour hospitalier, par exemple, doit-il être fini pour en accueillir un autre? La réponse est évidemment oui pour un patient individuel, le séjour se terminant par la lettre de décharge du médecin responsable, mais est un non-sens pour la patientèle considérée collectivement.

En effet, l'arrivée d'un patient dans un hôpital est un événement initial, et on a l'impression que le service des admissions a un temps de cycle plus court que celui du "parcours du patient" dans l'hôpital. Pourtant, il n'y a pas un rythme d'entrée systématiquement supérieur à celui des séjours, sinon il faudra très bientôt partager son lit (sans choisir), ou radiographier à travers 10 patients à la fois! Le paradoxe se lève simplement en rappelant qu'il n'y a pas plusieurs événements initiaux d'un même cycle.

C'est ici que la dynamique intervient, pour donner un rythme et une productivité aux tâches cycliques telles que celles citées, et d'autres qui leur sont analogues. Ce sont typiquement de tels services qui acquièrent dans ces exposés le statut de "régie", puis deviennent, dans les EAH, les meilleurs candidats à devenir des "systèmes".

### 10.3 Fin de cycle et bouclage des valises

En toute orthodoxie, un cycle devrait correspondre à une boucle sur un schéma temporel; donc le processus devrait avoir digéré l'impulsion précédente pour accueillir la suivante. En dynamique, cela signifie que le processus doit avoir quitté l'intervalle de réponse transitoire et avoir atteint l'état stable.

Mathématiquement, on obtient effectivement une fonction temporelle décrivant la réponse transitoire et une autre, qui la complète, pour décrire le régime stabilisé.

Ces conditions ne peuvent pratiquement pas être réunies dans une problématique d'EAH et, dès lors, il n'est pas possible de discriminer les cheminements des variables sur le processus analysé puisque des cycles se recouvrent. On retrouve ce problème teigneux dans toute la modélisation économique. Des exemples manifestes en sont l'intrication des mouvements boursiers, les recouvrements de périodes d'ajustement de taux d'intérêts et tout autre cas où A n'est pas éteint alors que déjà on allume B, comme lorsqu'en guise de soins palliatifs avant la phase terminale d'un patient, on lira bientôt à ses impatients héritiers son testament en guise d'extrême onction.

Une fois encore, il faudra donc de la tolérance pour pouvoir utiliser les mêmes termes que ceux de la dynamique officielle, en se privant de leur rigueur. Dans les EAH et en économie, on parle facilement de cycle quand "ça recommence" : les cycles conjoncturels, les cycles du porc, les cycles du Tour de France... mais ce ne sont pas des cycles naturels.

Le comble de l'écologie, c'est d'ailleurs la piste recyclable.

## 11 L'architecture d'ensemble du processus

### 11.1 La Figure 19

Le vrai systémicien se découvre et tient pudiquement son chapeau à la main devant les processus réels vastes et complexes. C'est là que l'art de la composition (s'il faut faire une synthèse) ou de la décomposition (en vue de l'analyse) est associé dans le langage courant à l'architecture. Mais, comme au conservatoire de musique, il faut en systémique faire de l'harmonie avant la composition. S'il est légitime de partitionner une vaste entité en sous-ensembles de processus, encore ne faut-il pas déchirer le tout pour faire des parties.

Ce maintien harmonieux de la globalité demande dès lors de conserver et d'expliciter les connexions qui expriment des interactions entre les sous-ensembles distingués. Une réussite spectaculaire en ce sens est celle de la Figure 19, harmonisant de façon magistrale, sous le couvert d'un État paternaliste et bienveillant, le problème de la commercialisation nationale par la composition en secteurs de problématique tout en écrivant, pour alléger les paupières, que certaines relations parmi les plus pertinentes.

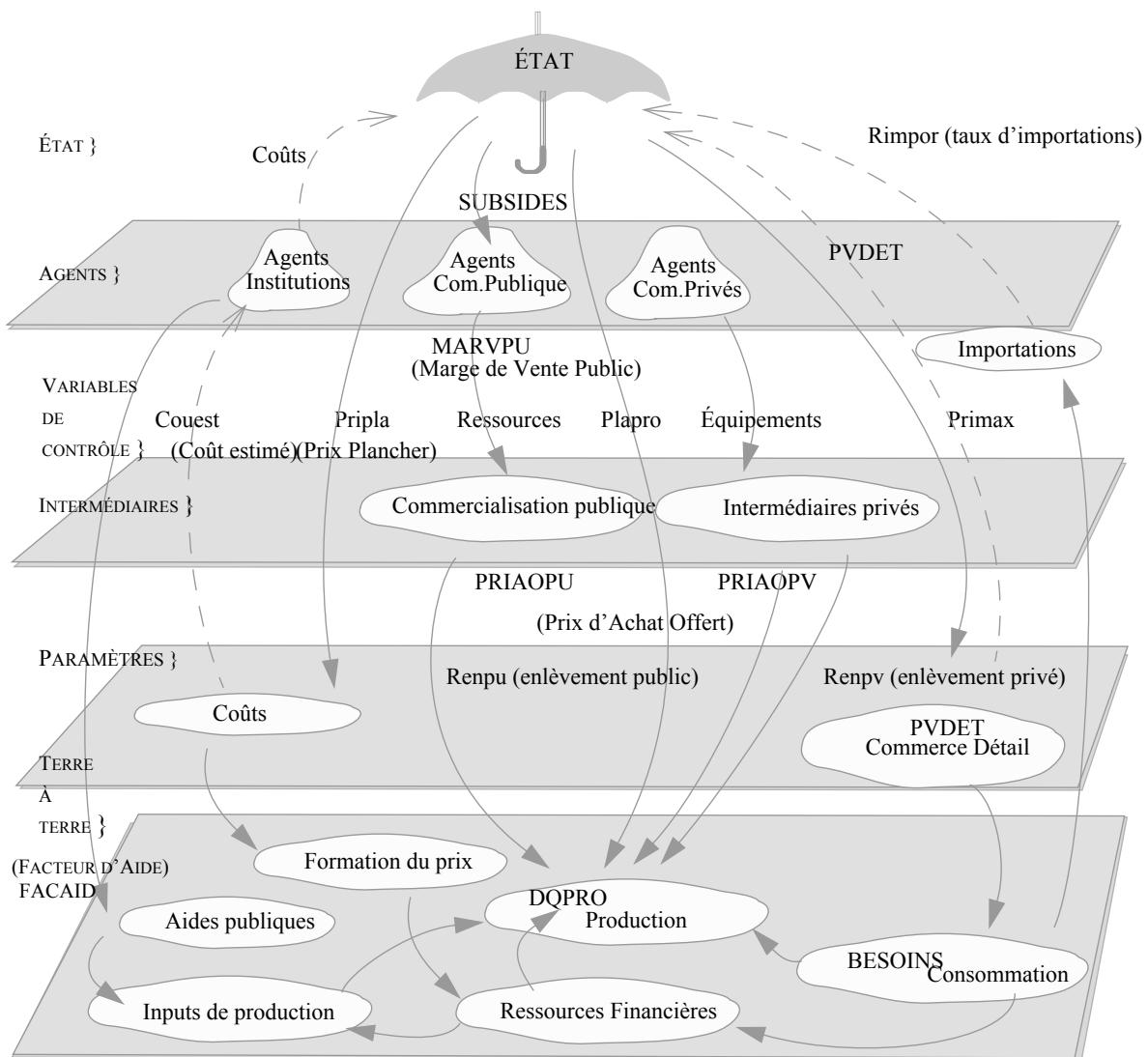
« [...] Il s'agit vraiment d'une œuvre, au sens fort du terme. Ample et complexe, son développement aromatique mêle, par touches sensibles, les fruits rouges à la vanille, au moka et aux notes de torréfaction, composant un tableau de parfums qui trouve son prolongement dans le jeu théâtral du palais.

Attaquant en douceur, celui-ci monte ensuite en puissance sans jamais renoncer à sa tendreté, qui s'exprime par des tanins crémeux et soyeux. Son élégance et sa longueur en font l'image même du grand [...] »

Hélas, c'est très dommage et regrettable, mais ceci n'est pas l'opinion d'une des aimables Lectrices sur la Figure 19. C'est :

Château Mouton-Rotschild, 1996 \*\*\*,  
Guide Hachette des vins 2000, p. 376, fax. 05.56.73 20 44

Figure 19. Partitionnement en secteurs de problématique



Légende : Les variables de politique économique sont en lettres capitales

Les pointillés transmettent des indicateurs (informations par des capteurs)

Les arcs larges transmettent les injonctions et influences directes des pouvoirs publics.

## 11.2 La Figure 20

La Figure 20 met enfin sa propre force et son élégance raffinée au service de la systémique appliquée : la problématique de maîtrise de la commercialisation y est présentée sous la forme descriptive d'un régulateur, conformément à la "transposition de la forme canonique d'un régulateur à la gestion", que les visiteurs ont reçu sur leur petit dépliant lors de l'exposé sur «La Dynamique sous contrôle», sinon ils ne s'y retrouveraient pas (non plus).

Le grand absent de cette représentation du modèle est le temps, bien qu'il y ait un sens et une logique de lecture. Cette illustration aide à reconnaître, effectivement, que le sens de lecture d'un design systémique n'est pas nécessairement temporel, que bien que des successions de processus soient logiques, le temps d'actuation ne peut être ainsi représenté.

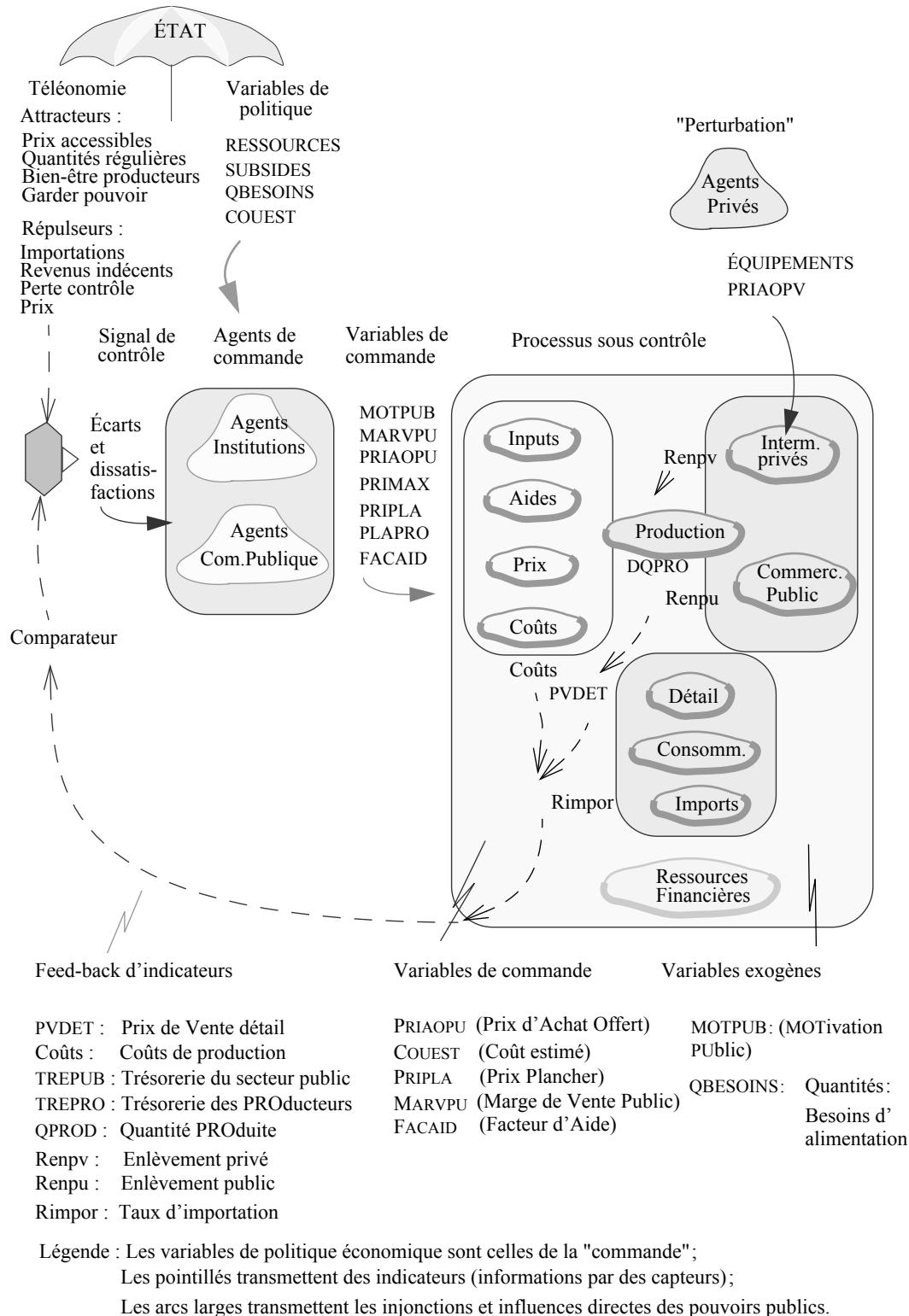
# 12 Conclusions critiques sur la DS

## 12.1 Mise en œuvre

On ne peut plus se permettre de présenter un produit sans mode d'emploi. Même Windows, qui est fait pour ceux et celles qui ont peur du moindre bit, en a des 17<sup>x</sup> pages...

- La première phase est de définir la problématique et de spécifier quel est le propos de l'investigateur : quel sous-ensemble borné du monde réel est à modéliser par la DSG, en mettant en présence quelles entités et relations. Ce ne peut être qu'un aspect d'une problématique qui est ainsi modélisé et ce dans le but essentiel de mettre en évidence des comportements dynamiques non-intuitifs ;
- L'expression de la problématique retenue peut ensuite souvent être aidée par le graphe d'influence ;
- La troisième phase est de définir les variables-clefs, celles qui sont le centre d'intérêt principal ;
- En quatrième lieu, repérer les ressources associées à ces variables-clefs ainsi que les niveaux et les états de ces ressources ;
- Viennent ensuite les taux de conversion des ressources entre les états et les transmissions des flux avec des délais explicites ;
- Selon les supports de programmation utilisés, il y a bien sûr toute une intendance à respecter (définition des unités, types de variables, intervalles de temps) qui vont d'ailleurs de soi dans toute formulation programmable ;
- On utilise ensuite le modèle en lui présentant des variantes paramétriques ou des modifications structurelles ; ceci correspond à des analyses de sensibilité et des simulations ;
- Éventuellement, on regarde les "résultats" (en pratique des "listings", ou sorties d'ordinateur), avec émotion, surprise et self-admiration quand effectivement on arrive à en obtenir.

Figure 20. Présentation du graphe d'influence en régulateur



## 12.2 «Ce que je crois...»

La Dynamique de Systèmes en Gestion laisse perplexe comme devant un Allemand maigre, un Suisse pauvre, un politicien honnête, un poisson qui vole ou une belle-maman qui comprend la règle du hors-jeu au rugby : bien que rare, ça existe et même ça marche, mais on ne peut rien en faire.

D'abord un mot gentil sur les résultats de la DSG : en général ils sont inutilisables et ce, pour les raisons suivantes :

- S'ils sont exprimés en longues séries de nombres décrivant pas-à-pas les valeurs temporelles des variables sur l'horizon d'analyse, on ne peut rien en faire d'autre que d'essayer d'arrêter l'hémorragie ;
- Si l'on préfère visionner les courbes sur l'écran, on constate que celui-ci est trop petit et qu'on ne peut en mettre que trois ou quatre à la fois sinon c'est inextricable. On déplore que les échelles de grandeur soient incompatibles et que, comme l'écrivit Charles BAUDELAIRE dans Correspondances Les parfums les couleurs les sons se répondent ;
- Si on en veut une impression il faut un équipement... impressionnant ;
- Ensuite, les "sorties" sont celles de simulations, ce qui n'engage à rien car, comme dit l'autre, « Quand je simule un orage, je ne suis ni mouillé ni foudroyé ».

Les arguments suivants sont suggérés par B. PAULRÉ (op. cit.), complétant ceux qui ont été cités notamment à la section 8.4 concernant la signification de la causalité :

- La DSG ne peut être une science, notamment en raison de sa dépendance vis-à-vis de l'analyste (qui fait ce qu'il veut) et « du fait que les propositions auxquelles on aboutit restent très liées aux caractéristiques spécifiques du phénomène concret étudié »;
- Le temps est un intervalle contrôlé par l'analyste et ne couvre pas une tranche de vie de l'objet, c'est-à-dire un extrait temporel de son histoire réelle ; on construit uniquement des trajectoires, qui formellement pourraient même être réversibles ;
- La DSG explique le comportement exclusivement à partir de boucles développant leurs effets dans un système clos. Celui-ci relie, par l'intermédiaire d'un système d'information alimentant des décisions avec, éventuellement, des facteurs de gain et des délais, des variables ayant une dimension de stock jouant le rôle de variables d'état du système ;
- Les structures causales sont circulaires, de sorte que, à part une injonction exogène arbitraire, « le système est clos du point de vue de l'information » ;
- PAULRÉ dit aussi que « La traduction en termes de flux-stocks semble orienter le chercheur vers un empirisme vulgaire ». Qu'en termes élégants ces choses-là sont dites !
  - La première raison invoquée par cet auteur est que « La causalité qui y est exprimée est une causalité entre objets donnés plutôt que "constitutive" » ;
  - La seconde raison est que cette causalité consiste également à « Chercher une correspondance physique directe entre les stocks et flux du modèle et certains aspects de la réalité ».

Servi chaud.

Ces apports de PAULRÉ sont ici complétés par les commentaires critiques suivants :

- La difficulté de rendre compte de l'aspect télémorphique, si cher (et coûteux) aux EAH. En effet, les agents et leurs projets sont, en DSG, traités de la même façon que toute entité capable d'exhiber un comportement temporel. En particulier, les agents ne peuvent changer leurs objectifs en fonction des outputs obtenus ou des états atteints, ce qui serait pourtant un sport très humain appelé "versatilité" ;
- Poursuivant cet argument, on peut même se demander si le schéma adaptant à la gestion le paradigme du régulateur est bien adéquat.

En effet, une caractéristique des EAH et leurs agents est non seulement de modifier le processeur en fonction de l'output, ce qui est le classique de la régulation, mais encore de modifier leur consigne de référence en fonction des états atteints, sous la situation constatée. C'est donc un second "feed-back", qui en gestion atterrira à un autre endroit, à savoir la source de la référence. Il représente une faculté d'adaptation élevée qui, sur les facteurs de complexité, correspond à la capacité des EAH de décider eux-mêmes de leurs objectifs et même, au plus haut niveau, de leur propre finalité ;

- Quant aux états atteints ou aux comportements obtenus par les simulations, des conditions similaires peuvent donner naissance à des situations différentes, même dans le cas des conditions déterministes telles que celles de la physique. A fortiori ce serait le cas pour des processus contenant des agents (humains) dotés de degrés de liberté ;
- On ne voit pas quels tests pourraient valider scientifiquement les modèles élaborés en DS ; leur construction a d'ailleurs un "caractère très intuitif ou expérimental" (dit aussi PAULRÉ, ibid.). Une conséquence de cette expression est que deux analystes modélisant la même problématique avec la même intention pourraient faire et obtenir des choses sensiblement différentes ;
- La DSG, telle qu'elle est construite, concerne le mouvement (pouvant se manifester par des déplacements et trajectoires avec conservation des effets transmis) et pas vraiment le changement. Or, de ces deux conceptions de la dynamique, c'est cette dernière qui rendrait plus de services en gestion.

### 12.3 M'enfin ?

Ces commentaires critiques ne visent pas qu'à montrer à cette occasion ce qu'est une béatitude hâtive en systémique. En bonnes mains cependant (G. COYLE, Management System Dynamics, Wiley 1977, parmi bien d'autres), cette méthodologie est utile et compréhensible et a fait l'objet de réalisations pertinentes, et même somptueuses. Bien que ce soit celle qui peut prendre en charge le plus de réalisme et de complexité, elle reste superficielle et n'est valide que si on a bien compris ses limitations et ne vise que le but suivant :

- Du point de vue descriptif, exprimer et explorer différentes structures possibles impliquant des taux et niveaux et leurs effets de bouclages ;
- Du point de vue prospectif, déceler approximativement les inflexions de trajectoires, diagnostiquer les points sensibles ou insensibles du système et apprécier l'influence des délais.

In fine, la DSG ne peut être scientifique, car le critère suivant s'y applique, un peu comme au spiritisme, aux tables tournantes, à la radiesthésie et au Vaudou : "il faut y croire pour que cela marche". Décidément, le "modèle" est bien le placebo de la science.

## 13 Documents H: L'assistance publique à la dynamique

En ces temps-là, on pouvait faire des modèles subtils programmés en macro-langage DYSMAP (École de Bradford, UK, c'est-à-dire G. COYLE et al.) ou DYNAMO IV (École du MIT, USA, c'est-à-dire J. FORRESTER, H. ROBERTS et al.). Il est à présent d'autres moyens d'atteindre ces beatitudes "systémologiques"? Les "packages" récents (depuis 1998) commerciaux de simulation dynamique ont la caractéristique d'être prédigérés. On ne programme plus (bien que ce soit possible, mais limité) mais on constitue les relations et équations par associations visuelles entre des "icônes" représentant des stocks, des flux, des délais et toutes sortes de choses. C'est très amusant et bien fait et on pourrait de cette façon déjà éduquer les étudiants en Dynamique de Gestion dès l'école gardienne, tout en leur donnant en temps utile le "réflexe Windows", qui apprend lui aussi à décongeler les plats cuisinés. Ces documents illustrent très brièvement de telles contributions.

### 13.1 Illustration "téléchargée" de DS appliquée

La première illustration est un extrait majeur de la présentation d'un package commercial ("Delta Performance Systems") sur un site Internet situé dans la rubrique "System Dynamics". La présentation visuelle originale n'a évidemment pas pu être ici conservée. Ce site téléchargé ("downloadé"?) commence par épargner énormément de pages stériles des ci-devant et ci-derrière exposés subis, en les remplaçant en cash par ce qui suit:

«Michael Goodman and Richard Karash propose a six-step approach to thinking systemically:

- Step 1 : Tell the Story
- Step 2 : Draw 'Behaviour Over Time' Graphs
- Step 3 : Create a Focusing Statement
- (Step 4 ?)
- Step 5 : Going Deeper
- Step 6 : Plan an Intervention »

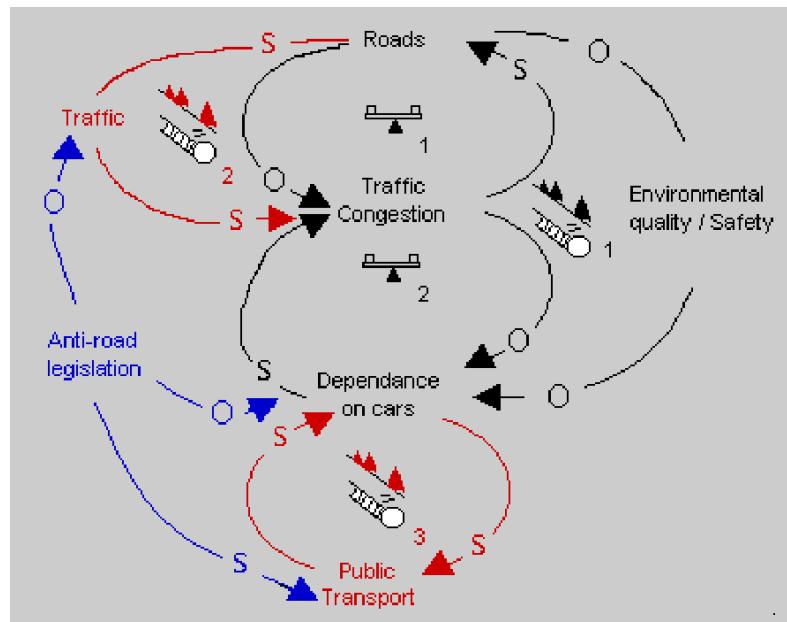
Si on avait su que c'était si simple... Que de pages épargnées! Voici à présent l'exemple montré sur ce site:

«System Dynamics Example

This approach is used here to show how systems thinking could be applied to a problem. The example chosen is the highly controversial proposal by The Department of Transport to build a bypass of the town of Newbury in England.

Inhabitants are divided about the need for a bypass - anti-road protestors and consultants say that it will take only 5% of the traffic out of the town. Local council representatives, on the other hand, say that a bypass is the only solution.

The idea here is to identify the key variables in the system and plot their behaviour over time. The fact that the problem symptom (traffic congestion) alternatively improves and deteriorates while the reliance on the short-term fix (more roads) grows stronger suggests a case of the shifting the burden archetype, as per the following diagram.



This diagram should be ‘read’ as follows; starting from the middle, there is an obvious global increase in traffic congestion. There are two basic alternatives – build more roads or somehow reduce dependency on cars. Building more roads (the symptomatic solution) is very tempting because, among other things it boosts the construction industry, and, at least in the short term, makes the problem ‘go away’. This ‘solution’ creates a balancing loop (1) – in the sense that an increase in traffic congestion has the same (S) effect on the building of roads, while an increase in roads has the opposite (O) effect (in the short term !!) on traffic congestion.

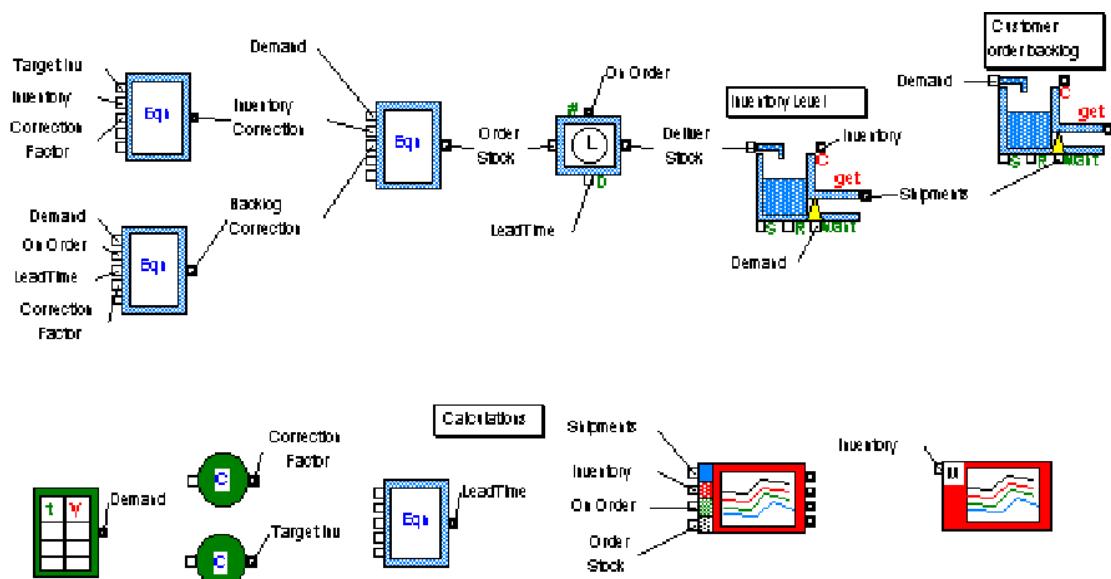
The side effect of the symptomatic solution however is that it makes it more and more difficult to attempt a more fundamental solution - because more roads continue to degrade the environment and reduce safety for pedestrians. This, in turn, increases dependency on cars – which increases congestion - which increases roads – which further reduces safety... creating a reinforcing loop (1). Systems thinking teaches us that in shifting the burden scenarios leverage lies in the fundamental solution – only by reducing peoples dependencies on cars can we ever hope to fully solve the problem.

Two of the variables represented in step 2 (traffic and public transport) are not included in the shifting the burden structure. How do they fit into the story?... It is now widely believed that, after a delay, more roads lead to more traffic - which in turn feeds the traffic congestion. (reinforcing loop 2) On the other hand, public transport has an opposite effect (O) on car dependency which, in turn, also has an opposite effect on public transport - creating another reinforcing loop (3). At present, unfortunately, this is a positive reinforcing loop towards greater car dependency.»

Et voilà. Il est confirmé que c'est un cycliste qui a inventé le vent arrière.

## 13.2 Un simulateur de dynamique de production : EXTEND

EXTEND doit être citée, vu les services qu'elle est équipée pour rendre. Bien qu'il soit possible de développer des modèles de nature variée sur la base de la même panoplie d'outils et concepts présentés par EXTEND, son orientation est celle de la gestion de production au sens large, avec surtout une capacité de gestion des phénomènes de flux intermédiaires et de files d'attente. Il est hors de question de parcourir ici le potentiel d'EXTEND\_S, qu'il faut aller voir à la source, mais en voici quelques mignonnes icônes, que l'on essaie de lire car la police utilisée ici est celle de l'original. Il s'agit d'un cas de simulation de mouvements de stocks.



## 13.3 Une illustration exploitant la programmathèque "VENSIM"

Les menus de la programmathèque "VENSIM" (le SIMulateur de chez VENTana Systems, Inc.) sont assez copieux et le prix est raisonnable. Dans les entrées, se situe le petit modèle de production, bien présenté mais pas assez salé; en principal, on retiendra surtout la finance, servie avec prudence dans un cas d'école, et on finira sur un réseau de transports au fond assez commun.

Ce menu est accompagné d'un choix multiple de configurations, mais c'est un cas de systèmes fermé : on ne sait pas quand il faut utiliser une aide pré-programmée (des pictogrammes qui impliquent des relations "réservées") et quand il est possible de rédiger soi-même son modèle ou partie de modèle, la fenêtre d'écriture de code étant peu accessible.

Bien que la gestion de trésorerie ne soit pas à proprement parler un problème dynamique, puisque c'est un comptage, par intervalles, de flux d'unités monétaires inexorables (déjà engagés), il est cependant possible de modifier des flux à venir par certaines modifications de timing et d'affectation, par exemple des placements.

C'est ce que montre le "graphe d'influence" de la Figure 21. Le gros client est (trésorerie oblige) la caisse. L'autre point essentiellement évidemment les besoins en fonds de roulement. Ces deux grandeurs-clés sont mises en évidence, quels que soient les niveaux d'exploitation que l'on ait pu faire de cette description.

Figure 21. Graphe de flux d'un modèle de trésorerie fait avec VENSIM

