



## LES DIFFICULTES DES DEBUTANTS EN DYNAMIQUE DES SYSTEMES

Tanguy MANESCAU

Revue Francophone du Développement Durable

2024 - n°24 - Octobre

Pages 17 - 29.

ISSN 2269-1464

Article disponible en ligne à l'adresse :

---

<https://erasme.uca.fr/publications/revue-francophone-du-developpement-durable/>

---

Pour citer cet article

---

Manescau T. (2024), Les difficultés des débutants en dynamique des systèmes, *Revue Francophone du Développement Durable*, n°24, Octobre, p. 17 - 29.

# Les difficultés des débutants en dynamique des systèmes

Tanguy MANESCAU

CEA I-Tisé

*Résumé :* Publié en 1961 par les presses du MIT, *Industrial Dynamics* est considéré comme le livre fondateur de la dynamique des systèmes. Durant près de 500 pages Forrester présente, avec pédagogie, un cas d'application concret de sa méthode d'approche systémique qui incite à définir avec précision les questions auxquelles les modèles de simulation doivent répondre pour correctement investiguer le comportement des systèmes. Dans un des nombreux appendices, Forrester discute les difficultés, vingt-cinq au total, rencontrées par les apprenants « débutants » qu'il a pu observer et encadrer au MIT. Ce texte cristallise la première forme conceptuelle de la dynamique des systèmes. Son intemporalité frappante en fait un essentiel à connaître et relire sans modération.

*Mots-clés :* Dynamique des systèmes, Analyse des systèmes, Pensée systémique, Traduction, Education

Ne discuter que de ce qu'il convient de faire lorsque l'on démarre une nouvelle activité ne suffit pas à fournir une instruction adéquate. L'objectif de ce texte<sup>1</sup> est de prévenir le débutant des pièges qui jalonnent la route de l'apprentissage de la dynamique des systèmes. Je tenterai dans cette section d'expliquer certaines des difficultés rencontrées par les étudiants et membres du personnel du Massachusetts Institute of Technology qui ont entrepris des analyses de dynamique des systèmes. Les points suivants sont organisés comme une collection de sujets isolés, quelque peu dans l'ordre dans lequel ils apparaissent dans une analyse de systèmes.

## Soyez prêts à faire preuve de courage

La dynamique des systèmes est une approche qui doit aider à résoudre les plus importants problèmes de gestion. Cependant, peu de personnes – y compris dans le domaine de la science de la gestion entre autres – sont conditionnées à obtenir de grands succès. Les solutions aux petits problèmes offrent de petites récompenses. Pourtant, très souvent, les problèmes les plus importants ne sont guère plus difficiles à résoudre que les problèmes sans importance. De médiocres résultats sont souvent prédéterminés par le manque d'ambition des objectifs initiaux.

En dynamique des systèmes, l'approche est celle de la conception de l'entreprise. Il faut vouloir améliorer significativement le comportement des systèmes. L'attitude selon laquelle l'objectif est d'expliquer le comportement, assez courante dans les cercles académiques, n'est pas suffisante. L'objectif de la dynamique des systèmes est de trouver (i) des politiques de gestion et (ii) des structures organisationnelles qui conduisent à un plus grand succès.

---

<sup>1</sup> Il s'agit d'une libre traduction que nous proposons de ce texte.

## Définissez précisément les questions que votre modèle traite

Un modèle doit être conçu pour répondre à des questions spécifiques. Ainsi, pour être productive, une étude systémique doit avoir un but précis ; les questions doivent être significatives, tangibles et spécifiques. Déterminer le problème et les objectifs est la partie la plus critique de presque tout projet de modélisation. Le débutant a tendance à se lancer dans la construction détaillée d'un modèle avant que son objectif n'ait été correctement défini<sup>2</sup>.

## Définissez des limites claires à votre modèle

Déterminer les limites du système étudié est essentiel, le faire correctement est déterminant. Un débutant peut se tromper de deux façons.

D'une part, il peut manquer d'audace pour être suffisamment exhaustif et ainsi limiter son attention à un sous-système dans lequel les réponses aux questions qu'il se pose ne se trouvent pas. D'autre part, il peut définir les questions de manière si vague que les objectifs ne permettent pas de déterminer de ce qui doit être inclus dans le système.

La clé du succès réside dans des questions suffisamment larges et claires pour englober des sujets d'une importance majeure tout en limitant le système à des proportions qui correspondent aux compétences, au temps et à l'expérience dont vous disposez<sup>3</sup>.

## Désolé mais la modélisation et l'évaluation automatique des modèles n'existe pas

De nombreux débutants dans l'étude de la dynamique des systèmes viennent rapidement à penser qu'il doit (ou qu'il devrait) exister une "méthode scientifique" qui garantirait leur capacité à créer un modèle approprié. Alors, ils recherchent des procédures qui peuvent être appliquées aux maigres données disponibles, dans l'espoir d'avoir une procédure ordonnée qui créera automatiquement un modèle de système par des méthodes objectives. Ceux-ci ne semblent pas disposés à exprimer une opinion professionnelle, à prendre des risques sur la base de leurs connaissances et de leur jugement personnels à propos du comportement du système à améliorer. Ce n'est pas en étant timide que l'on est créatif ou innovant.

Il existe des cadres de travail, des méthodes d'enquête, d'animation de groupes de travail, d'organisation rigoureuse des informations et des données récoltées mais il

---

<sup>2</sup> Selon Donella Meadows dans *Resources Technology Environment, What is the Question ?* certains modélisateurs conseillent de consacrer jusqu'à un quart du temps du projet à la définition du problème.

<sup>3</sup> Erling Moxnes, professeur et enseignant de dynamique des systèmes à l'Université de Bergen (Norvège) a développé un cadre pédagogique limpide et habilitant appelé « P'HAPI » (pour Problèmes, Hypothèses, Analyse, Politique) dans lequel il distille de précieux conseils pour la définition du problème et des limites.

n'existe pas de méthode objective, efficace et ultime. Méfiez-vous de ceux qui le prétendent. Des attitudes similaires se manifestent en ce qui concerne l'évaluation des modèles. Le concepteur de système peu sûr cherche des critères "objectifs" pour évaluer la validité et la pertinence d'un modèle. L'envie d'utiliser de telles mesures objectives est parfois si forte qu'il se réfugie finalement dans des procédures qui manquent de fondements solides. Jusqu'à présent, le monde a fonctionné de telle sorte que les décisions ont toujours été prises sur la base d'un jugement. La dynamique des systèmes permet de faire reculer la procédure de prise de décision d'un niveau d'abstraction mais, le jugement doit toujours s'occuper de la détection et de la conception des politiques.

## Commencez par modéliser votre hypothèse de comportement dynamique

Le débutant ne se rend généralement pas compte de l'importance d'une hypothèse initiale sur le comportement dynamique. Il a l'impression que proposer des modes de comportement dynamique avant la construction d'un modèle de système revient à préjuger des réponses. Pourtant, c'est exactement ce qu'il faut faire : commencer par une hypothèse de comportement puis, construire un modèle pour voir si le mode de comportement peut exister et résulter des hypothèses initiales et finalement, analyser les résultats des simulations pour prouver ou infirmer l'hypothèse initiale.

L'hypothèse initiale est créée lors de l'établissement des questions initiales et des objectifs de l'étude. Sans un modèle mental et verbal initial du comportement dynamique étudié, il n'y a pas de base pour décider quels facteurs peuvent être importants et lesquels peuvent être négligés. Il est très peu probable que la déambulation dans une organisation et l'incorporation dans le modèle de tout ce qui vient à l'attention de chacun résulte en un bon modèle.

Votre hypothèse, c'est votre prototype. Imaginez que vous voulez construire une usine chimique à grande échelle. Il est très probable que vous décidiez de construire une usine pilote d'abord, non ? Ne vous faudrait-il pas vérifier que votre procédé est viable, que le produit correspond aux spécifications attendues et que les éventuels problèmes susceptibles d'apparaître en fonctionnement soient réglables. En fait, une usine pilote est conçue pour vérifier si l'hypothèse est correcte et pour voir quels sont les nouveaux problèmes et les nouvelles idées qui apparaissent lorsque l'on passe d'une proposition de fonctionnement à sa vérification expérimentale. C'est ainsi que sont utilisés les modèles dynamiques d'entreprise : on ne construit pas une usine sans avoir construit une usine pilote et on ne construit pas une usine pilote avant d'en avoir défini les objectifs et le mode de fonctionnement<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Cette thèse est plus longuement présentée et défendue dans ce qui pourrait s'apparenter être le premier papier de dynamique des systèmes n'ayant jamais existé : *Counter Intuitive Behavior of Social Systems*.

## Proposez une description verbale de votre hypothèse

L'hypothèse sur le comportement dynamique est suivie de près par la description verbale du système auquel on a affaire. Ce qu'on appelle aussi « modèle verbal » est une description du comportement des éléments et de leur interaction. Il est le support et la justification de l'hypothèse sur le comportement dynamique.

Il est préférable que la description verbale précède le modèle mathématique car si le modèle verbal est complet, le modèle mathématique le sera en conséquence.

Le débutant est susceptible de ne pas reconnaître l'importance essentielle du modèle descriptif en tant qu'étape vers la création du modèle mathématique formel équivalent. Pourtant, un modèle mathématique est simplement une traduction, une clarification, du langage verbal initial.

## Calibrez votre distance d'observation du système

Il est facile de considérer le système étudié à une mauvaise distance. D'un côté, les étudiants en économie ont tendance à voir les choses de trop loin et ne voient pas les points de décision essentiels, les non-linéarités et les interconnexions du système. De l'autre, les gestionnaires et ceux qui ont une connaissance personnelle, intime et directe du système ont tendance à l'observer de trop près. Ils veulent donner trop de détails. Les décisions séparées et individuelles prennent trop d'importance. Les exceptions apparentes et le bruit de fond les rendent aveugles au comportement moyen.

Vos questions, votre hypothèse et votre description verbale doivent vous rappeler sans cesse ce qu'attendent les parties prenantes de votre modèle. Le bon niveau de détail est celui que vos interlocuteurs comprennent<sup>5</sup>.

## Utilisez les connaissances descriptives à votre disposition

Le débutant néglige généralement les informations descriptives et a tendance à chercher trop longtemps et en vain des informations sous forme de données numériques. Le débutant ne se rend pas compte que la plupart de nos informations sur les systèmes sociaux se présente sous une forme descriptive.

Il y a souvent une réticence à quantifier la connaissance descriptive. L'attribution d'échelles arbitraires et de valeurs quantitatives peut apporter de l'ordre mais sans nécessiter de précision. C'est seulement lorsque le système a été défini en termes d'équations formelles et de valeurs numériques de ses paramètres qu'il est possible de déterminer la précision requise. La création d'une description quantitative d'un système est une question distincte de l'obtention de sa précision. Ces deux

---

<sup>5</sup> En entreprise, calibrez votre distance de modélisation à partir de votre expérience et d'autres corpus de connaissances comme la sociologie des organisations et en particulier le travail synthétique de Mintzberg dans *The Structuring of Organizations*.

considérations différentes sont souvent confondues par la personne qui ne considère pas la notation mathématique et numérique comme un simple langage supplémentaire pour exprimer des idées.

Nos connaissances descriptives sont riches en informations sur la forme probable des fonctions de décision dans des conditions limites extrêmes. L'utilisation de l'ensemble des informations non linéaires dont nous disposons permet de décrire avec succès les composants d'un système.

## **Créez vos définitions, votre vocabulaire, votre champ de connaissances et vos propres méthodes de mesure**

La réticence à utiliser les informations descriptives disponibles s'accompagne d'une réticence à créer des définitions précises et des échelles de mesure arbitraires pour les quantités qui existent dans les connaissances descriptives.

De nombreux concepts intangibles n'ont pas d'échelles de mesure reconnues. Cela n'empêche pas le modélisateur de créer ses propres définitions précises et sa propre échelle de mesure arbitraire<sup>6</sup>. Cela exige qu'il cristallise et clarifie ce qu'il entend par les termes qu'il utilise. Là encore, le courage est important. La personne doit prendre l'initiative de créer un champ de connaissances, un vocabulaire, une précision dans les termes descriptifs et une méthode de mesure. Elle doit être prête à accepter les critiques qui ne peuvent être adressées qu'à celle qui avance une proposition. Enfin, ces critiques sont une opportunité. La personne doit décider de se défendre contre ces critiques jugées injustifiées ou les utiliser pour renforcer la structure en cours de construction.

## **Insensibilité aux mécanismes de cause à effet**

Le débutant peut souvent faire l'erreur de ne pas regarder le système d'assez près et ainsi, de ne pas observer les bonnes variables, celles qui créent le comportement dynamique qui l'intéresse.

Le débutant a souvent tendance à vouloir désagréger une structure extrêmement fine d'un flux donné, tout en négligeant de suffisamment désagréger les flux les uns des autres. Dans de très nombreux endroits, comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, le système enchaîne des séquences de "pire avant meilleur". Ces séquences sont souvent très importantes pour la dynamique du système, mais elles peuvent être négligées si l'on ne perçoit pas les interactions du système. Par exemple, l'expansion ou la création d'un département d'ingénierie ne se fait pas du jour au lendemain. Cela nécessite le détournement de temps de gestion et de temps technique qui pourraient être utilisés à d'autres fins. C'est l'ensemble de la structure des compétences et le

---

<sup>6</sup> Pour la définition d'échelles arbitraires et, plus généralement, la quantification des intangibles, le travail de Doug Hubbard dans *How to Measure Anything* constitue un excellent point de départ.

développement des personnes et des organisations qui doivent avoir lieu avant de pouvoir produire un résultat. De nombreux mécanismes de fonctionnement pratiques d'un système tendent à créer un conflit entre les résultats à court et à long terme.

Les flux doivent représenter les stocks traversés par les éléments individuels. Très souvent, il faut retracer un seul événement pour découvrir les sources d'information du système. Mais il ne faut pas que l'étude de l'événement individuel enferme le débutant dans une vision trop étroite du système et dans un désir de modéliser des décisions séparées plutôt qu'une politique.

Dans toutes ces mises en garde contre les dangers de l'analyse de système, nous voyons que l'enquêteur est confronté à la forme habituelle de décision. Il faut savoir doser son effort. Comme dans les systèmes qu'il modélise, le débutant doit prendre ses propres décisions et équilibrer l'ampleur de son action par rapport à l'objectif qu'il s'est fixé.

## Perçu Vs Réel

Nous avons dit précédemment que le décideur d'un système agit non pas en fonction de ce que sont les choses mais en fonction de ce qu'il perçoit comme étant l'état des choses. Et, soyez-en sûrs, la perception n'est généralement pas identique à l'état réel des choses. La perception dépend des sources d'information utilisées et du degré de préjugé et de distorsion avec lequel l'information est considérée. L'analyste d'un système est en permanence confronté à ce problème. Il arrive avec des idées déjà formées sur le système qu'il doit traiter. S'il ne fait pas preuve de suffisamment de fermeté dans son approche, il risque de ne jamais parvenir à des décisions et à une action efficace. Si ses préjugés le conduisent à l'aveuglement, le système qu'il analyse peut n'être que celui qu'il croyait initialement présent ou qu'il souhaitait voir présent. L'homme qui n'a aucune expérience des organisations réelles peut arriver avec un concept idéalisé mais irréaliste de leur comportement, acquis par l'étude académique d'abstractions simplifiées. D'autre part, celui qui a été immergé trop longtemps dans un système particulier peut être incapable de distinguer le système réel de ce qu'il souhaiterait qu'il soit.

Un modèle de système est susceptible de devenir un reflet de la manière dont les participants espèrent que le système fonctionne plutôt qu'une image de la manière dont il fonctionne effectivement. Bien entendu, les deux sont probablement différents de la manière dont le système devrait fonctionner. Les souhaits et les préjugés sont deux obstacles à la réussite d'une analyse dynamique.

## Les Points de Décision dans un Contexte Systémique

Le novice en matière de modélisation de systèmes peut sous-estimer l'importance d'une observation approfondie, détaillée et directe du système auquel il a affaire. Il risque de trop se fier à ce qu'on lui dit être les facteurs et les objectifs à un certain

endroit du système. Il peut ne pas prendre le temps de découvrir que les pressions qui s'exercent sur les gens à ce moment-là proviennent d'endroits tout à fait inattendus de l'organisation. Il peut ne pas observer que les sources d'information supposées nécessaires n'existent tout simplement pas. Il ne découvrira peut-être pas à quel point les buts et les objectifs sont purement locaux, conçus pour éviter aux participants de se retrouver en difficulté, plutôt que des objectifs qui favorisent de manière constructive le bien-être de l'ensemble de l'organisation<sup>7</sup>.

Un modèle de comportement du système dépend d'une représentation adéquate des prises de décision au sein du système. Le débutant ne se rend généralement pas compte qu'il doit aller au-delà du vernis superficiel, jusqu'à la rationalisation des motivations effectives plus profondes.

## De la Permanence du Modèle

Le débutant considère souvent un modèle comme quelque chose qu'il doit construire pour durer. Il pense au modèle qui peut être construit et utilisé pour répondre à toutes les questions, partout, en tout temps. Au fur et à mesure qu'il progresse dans sa compréhension de la conception d'entreprise, il se rend compte que chaque nouvelle question peut s'accompagner d'une extension et d'une variation du système précédemment défini.

En effet, un modèle évolue en fonction de la compréhension que l'on a du système auquel on a affaire. Il peut commencer par une structure très simple visant l'essence d'un phénomène particulier. Mais, il peut ensuite être étendu pour apporter de nouvelles facettes et étudier de nouvelles questions. La durée de vie typique d'un modèle peut n'être que d'un jour ou d'une semaine avant que de nouvelles extensions ne lui donnent une nouvelle forme et une nouvelle signification.

## Décision Vs Politique

La gestion et l'enseignement de la gestion ont tellement mis l'accent sur la prise de décision que l'analyste de système inexpérimenté a généralement du mal à saisir toute l'importance de s'occuper plutôt de la politique qui a créé ce même flux de décision.

Une nouvelle attitude doit émerger. Il faut du temps pour comprendre tout le sens de la politique. Il faut du temps pour acquérir la certitude que notre connaissance actuelle de la politique est suffisante pour commencer à comprendre le comportement du système.

---

<sup>7</sup> Les buts, les objectifs du système et le temps d'observation nécessaire sont particulièrement bien présentés dans le travail de Donella Meadows *Thinking in Systems*, disponible en français depuis peu sous le nom *Pour une Pensée Systémique*.

## Détails Excessifs

Le débutant inclut tout simplement, généralement, trop de détails dans la formulation du modèle. C'est le résultat naturel du fait qu'il est plus facile, dans les types de modèles abordés dans cet ouvrage, d'inclure un facteur que de présenter un argument convaincant sur le fait qu'un facteur n'a pas d'importance.

Des éléments inutiles sont ajoutés à la structure du modèle afin d'éviter une réflexion discriminante sur la nécessité ou non de certains facteurs. C'est compréhensible et cela se produira probablement toujours. Le débutant est plus vulnérable à l'excès qu'il ne le sera après avoir acquis de l'expérience dans la construction de modèles et après avoir découvert à quel point il est possible de simplifier.

Certains détails, même s'ils n'affectent pas les performances du système, sont utilisés pour donner une réalité apparente et faciliter la communication avec d'autres personnes moins expérimentées dans la construction de modèles.

La clarté de l'hypothèse dynamique initiale et de la description verbale initiale du système déterminera en grande partie la vulnérabilité d'une personne à s'égarer dans une complexité et des détails inutiles.

## La Compréhension des Constantes de Temps

Le débutant sous-estime presque invariablement les délais et les constantes de temps qui existent dans nos systèmes sociaux. Il néglige les longs délais d'éducation. Il n'apprécie pas la persistance des préjugés et des expériences personnelles passées. Il n'examine pas les étapes séquentielles par lesquelles une action doit passer et peut estimer un temps total si court qu'il est physiquement impossible dans le système réel. Les estimations de temps faites par les étudiants sont souvent trop courtes pour rester dans les limites de la plausibilité.

## Fonctions Discontinues

Le débutant a tendance à se laisser emporter par sa connaissance du caractère discret des différentes décisions et actions. Cela s'explique en partie par le fait qu'il considère le système de trop près. Il veut que les budgets soient établis une fois par an, que les quotas de production soient fixés chaque trimestre, que les inventaires soient déclarés chaque mois, que les différents modèles de produits soient traités séparément, etc. Tous ces facteurs peuvent être importants pour certaines questions plus subtiles qui peuvent être posées au fur et à mesure de l'avancement de l'étude. Cependant, ils impliquent rarement les grandes interactions qui conduisent à un succès ou à un échec flagrant du système.

La dynamique du système peut être mieux visualisée si elle est d'abord exprimée en termes de flux continus jusqu'à ce que l'interaction des principales constantes de temps, des décisions et du niveau puisse être comprise.

Une autre tendance des débutants dans le domaine des fonctions discontinues provient de la négligence dans la réflexion sur les formes non linéaires des fonctions de décision. On a tendance à créer des fonctions de décision à partir d'une section linéaire en ligne droite qui s'arrête brusquement lorsqu'un seuil limite est atteint. En général, les fonctions de décision ne sont pas discontinues. Une grande partie du caractère essentiel de nos organisations industrielles provient des changements qui commencent à se produire progressivement à mesure que l'on s'approche de diverses conditions limites. Dans les systèmes réels, les pressions s'accumulent graduellement, conduisant progressivement, sur une certaine période, à une prise de conscience et à une action. Les comportements erronés des systèmes sont très souvent introduits par des discontinuités dans les fonctions de décision. Il est très rare que l'on puisse affirmer que la vie continue normalement jusqu'à un point très particulier où le caractère entier d'une organisation change.

## Coefficients Qui Ne Veulent Rien Dire

Le débutant peut ne pas prendre le temps de s'assurer que chaque paramètre et chaque variable de son système ait une signification solidement définie et directement reliée au système réel avec lequel il travaille. Des coefficients sont souvent insérés pour rendre les unités dimensionnelles correctes sans se demander si ces coefficients découlent ou non de la structure et des pratiques réelles du système.

Je pense qu'il est possible de faire en sorte que chaque variable et chaque coefficient soient directement liés à leur contrepartie dans le système réel et qu'ils puissent être discutés et compris par les personnes chargées des opérations pratiques au sein de l'organisation. Forcer ce degré de réalité dans les équations et les paramètres aide à clarifier la pensée et à conduire à une plus grande validité du modèle.

## Unités dimensionnelles des paramètres et des variables

L'analyste négligeant peut ne pas définir les unités de mesure dimensionnelles des variables et des paramètres. Cela risque de se traduire par un manque de compréhension claire de leur signification et, de ce fait, le système modélisé s'éloigne rapidement des relations de la vie réelle et de celles prévues dans la description verbale initiale.

Les unités de mesure de chaque facteur doivent être soigneusement définies, de préférence dans des termes aussi proches que possible de ceux qui ont une signification dans la description verbale et l'utilisation pratique de ce facteur.

## Fonctions de décision défectueuses

Très souvent, le débutant développe des fonctions de décision dont il reconnaît qu'elles présentent des défauts majeurs, mais qu'il défend en arguant que les boucles d'information et de rétroaction qui parcourent le reste du système empêcheront l'apparition des circonstances dans lesquelles la fonction de décision en question serait erronée. Cette pratique est dangereuse. On a affaire à un système qui ne passe pas le test de "ne pas être manifestement erroné". Il contient des relations qui peuvent être considérées comme erronées sur la base d'un argument logique. Un peu de réflexion et d'attention peuvent rendre les relations compatibles avec au moins les tests et les défis évidents. La défense la plus puissante d'un modèle dynamique réside dans la mesure où tous les composants sont acceptables.

Le comportement complexe du retour d'information (*information-feedback*) ne fait généralement pas l'objet d'arguments intuitifs forts. Dépendre du réseau de retour d'information afin d'éviter un état dans lequel des fonctions de décision défectueuses auraient la possibilité de créer des difficultés inattendues revient à faire un compromis dans la région où la solidité peut être atteinte et où la confiance peut être la plus grande. La confiance d'une personne est reléguée à la partie du modèle qu'elle connaît le moins. Le comportement dynamique est ce que nous essayons d'apprendre sur le système. Nous voulons connaître le comportement dynamique qui résultera de la meilleure connaissance que nous avons des éléments qui le composent et de la manière dont ils contribuent au système total<sup>8</sup>.

## Equations de conditions initiales simultanées

Le débutant éprouve généralement beaucoup de difficultés à établir les équations des conditions initiales d'un modèle et se trouve très souvent dans l'obligation de résoudre un système d'équations algébriques simultanées pour obtenir un ensemble cohérent de paramètres du système. Cette situation résulte souvent d'un mauvais choix de ce qui doit être spécifié de manière indépendante et des paramètres dont les valeurs dépendent nécessairement d'autres paramètres déjà choisis.

J'ai le sentiment qu'une manipulation habile de la manière dont les paramètres sont définis et les valeurs numériques choisies peut toujours conduire à une détermination directe des conditions initiales sans solution d'équations simultanées pour la condition initiale du système. Un traitement approfondi de la méthodologie de traitement des conditions initiales dépasse le cadre de ce livre, et nous nous contenterons pour

---

<sup>8</sup> Ce que Forrester exprime dans ce paragraphe est que, premièrement, il est difficile d'avoir une intuition sur les *feedbacks* et ainsi, utiliser le *feedback* comme fonction de décision n'est pas une bonne idée. Cela revient à déléguer la fonction de décision du système (et donc le comportement final) à la partie du système sur laquelle le modélisateur a le moins de connaissances et d'intuitions. C'est contraire à l'objectif puisque les modélisations en dynamique des systèmes ont justement pour but de permettre la compréhension du comportement dynamique des systèmes.

l'instant d'affirmer que j'ai toujours trouvé qu'il était possible de parvenir à une détermination directe des conditions initiales. Ce n'est toutefois pas l'expérience habituelle de la personne qui entreprend pour la première fois la construction d'un modèle.

## Ratios Infinis

Tôt ou tard, le modélisateur rencontre généralement une situation où il a établi une relation fonctionnelle comme le rapport de deux variables dont le dénominateur peut prendre une valeur faible ou nulle. Comme la vie réelle ne contient pas de valeurs infinies pour les variables significatives, cela peut être considéré comme un défaut dans la formulation de l'équation. La difficulté est particulièrement probable dans les modèles de croissance transitoire, où toutes les variables peuvent avoir des valeurs initiales de zéro. En général, la difficulté est surmontée par un énoncé suffisamment réaliste et étendu des fonctions de décision qui ne peuvent en aucun cas prendre des valeurs impossibles.

## Boucles sans Niveaux

Les taux créent des niveaux et les niveaux sont les seules données d'entrée appropriées pour la détermination des taux. Toutefois, dans la pratique, on utilise parfois un taux au lieu d'une moyenne à court terme comme donnée d'entrée pour un autre taux. Il convient d'être très vigilant, car il est assez facile de créer une boucle dans laquelle une chaîne d'équations peut apparaître à partir d'un taux pour contrôler un autre taux et finalement conduire à une troisième équation qui apparaît comme une donnée d'entrée dans l'une des premières équations. Dans le diagramme de flux du système, cela conduit à une boucle dans laquelle il n'existe aucune équation de niveau. Une telle situation est contraire aux concepts sur lesquels la structure du modèle peut conduire à une instabilité numérique à haute fréquence dans la structure du modèle, où l'instabilité est une caractéristique du défaut du modèle et non du système modélisé.

## Ingénieurs

Un certain nombre de personnes entrant dans le domaine de l'analyse dynamique des systèmes d'entreprise ont une formation d'ingénieur. Elles peuvent souhaiter reprendre une méthodologie familiale qui n'est peut-être pas adaptée au contexte industriel. Elles peuvent avoir une forte tendance à vouloir convertir la structure et la terminologie du système d'entreprise en un réseau électrique ou hydraulique. Cela accroît considérablement les difficultés de communication entre l'analyste de systèmes et les personnes travaillant dans le système d'entreprise réel. C'est également un handicap parce que les systèmes d'ingénierie ne sont pas bien équipés en exemples de phénomènes non linéaires. Cette conversion à un réseau électrique, par exemple, tend

à initier une ligne de pensée très inappropriée qui restreint la considération aux seuls systèmes linéaires.

Ceux qui viennent du domaine des servomécanismes peuvent avoir des difficultés à distinguer les concepts fondamentaux de l'art pratique du domaine de l'ingénierie. Les concepts fondamentaux des systèmes d'information et de rétroaction sont universellement applicables. L'art pratique est susceptible de dépendre des classes particulières de systèmes rencontrées. En particulier, les systèmes physiques sont généralement caractérisés par le fait qu'ils ont leurs propres périodes naturelles internes bien séparées des fréquences qui leur sont imposées dans leur fonctionnement ordinaire. Cela conduit à certaines procédures de conception pratiques qui peuvent ne pas s'appliquer aux systèmes non linéaires dans lesquels les fréquences de bruit, les fréquences naturelles du système et les fréquences auxquelles le système doit répondre se situent toutes approximativement dans la même bande de fréquences.

L'ingénieur est plus habitué à penser en termes d'équations différentielles qu'en termes d'équations intégrales. Les équations différentielles utilisées dans ce livre sont toutes essentiellement des intégrations de taux. Il est courant en ingénierie de parler de la vitesse comme de la dérivée de la position et de l'accélération comme de la dérivée de la vitesse. Cependant, la nature ne prend généralement pas de dérivées. En fait, la séquence inverse est un point de vue plus naturel. Les forces créent une accélération. L'accélération est intégrée pour obtenir la vitesse, et la vitesse est intégrée pour obtenir la position.

D'un point de vue mathématique, ces deux méthodes sont équivalentes. D'un point de vue conceptuel, elles donnent un point de vue quelque peu différent du système et de sa structure.

## Scientifiques

Les étudiants issus des domaines scientifiques, qu'il s'agisse de la physique, des mathématiques ou des sciences sociales, ont tendance à porter leur attention trop exclusivement sur la méthodologie et la technique. Ils sont habitués à rechercher des solutions analytiques aux problèmes. Cette habitude les a contraints à ne considérer que des systèmes linéaires. Ils ont peut-être été formés si exclusivement aux systèmes linéaires et aux approximations linéaires des systèmes qu'ils n'ont pas conscience de la mesure dans laquelle notre vie et notre monde dépendent, pour leur existence même, d'un comportement non linéaire.

Une fascination pour la méthodologie est susceptible de conduire à une attention tout à fait disproportionnée pour les questions périphériques de technique. Le mathématicien peut vouloir substituer une méthodologie plus élégante à l'intégration du premier ordre telle qu'elle est utilisée dans ce livre, même s'il n'y a probablement aucune démonstration objective de sa nécessité. Il peut s'intéresser aux discontinuités

et aux phénomènes informatiques qui tournent autour de la sélection d'un intervalle de solution DT. Il peut être amené à essayer de déterminer la taille de cet intervalle, plutôt que de simplement s'assurer qu'il est suffisamment petit pour ne pas soulever de questions.

L'étudiant en sciences peut ne pas avoir une conscience directe des facteurs politiques qui entrent en ligne de compte dans les décisions dites scientifiques et techniques. Il est enclin à penser qu'il faut nécessairement trouver des méthodes rigoureuses et objectives pour la construction des modèles, même si dans son domaine d'origine, il n'existe pas de méthodes rigoureuses et objectives qui assurent le succès de la conception des systèmes d'ingénierie et des modèles de dispositifs d'ingénierie.

## Références bibliographiques

- MEADOWS D. (1981), « Resources Technology Environment What is the Question », *Dynamica*, 7, 1, 65.
- BERGEN UNIVERSITY (2024), "System Dynamics Modelling and Analysis", Disponible sur: <https://www4.uib.no/en/courses/GEO-SD662>
- FORRESTER J.W (1971), « Counterintuitive Behavior of Social Systems », *Theory and Decision*, vol 2, December, p. 109 - 140.
- MINTZBERG H. (1979), *The Structuring of Organizations*. Pearson.
- HUBBARD D. W. (2010), *How to measure anything: finding the value of « intangibles » in business*, 2. ed. Hoboken, N.J: Wiley.
- MEADOWS D. H. (2009), *Thinking in systems: a primer*. London : Earthscan.
- MEADOWS D.H (2023), *Pour une pensée systémique*. Rue De L'échiquier.