



DYNAMIQUE DES SYSTEMES ET TRANSPORTS DE FRET :
PROMENADE ENTRE DIFFICULTES ET ESPOIRS

Patrice SALINI

Revue Francophone du Développement Durable

2024 - n°24 - Octobre
Pages 41 - 50.

ISSN 2269-1464

Article disponible en ligne à l'adresse :

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

Pour citer cet article

Salini P. (2024), Dynamique des systèmes et transports de fret : promenade entre difficultés et espoirs, *Revue Francophone du Développement Durable*, n°24, Octobre, p. 41 – 50.

Dynamique des systèmes et transports de fret : promenade entre difficultés et espoirs

Patrice SALINI¹

Résumé : On éclaire mal les choix publics. C'est en partant de ce constat déjà ancien, que l'auteur nous conduit dans une analyse et une réflexion méthodologique autour d'une dimension essentielle et nécessaire de l'action publique : la prévision. S'agissant du transport de fret, on est passé depuis la seconde guerre mondiale d'une appréciation simple des besoins à une approche nécessairement plus complexe cherchant à relier l'économie au déplacement physique de marchandises dans l'espace. Manque de données, difficultés méthodologiques, complexité croissante, il ne s'agit pas de rechercher, compulsivement, à l'infini, à obtenir des données numériques rétrospectives d'une réalité globale de plus en plus large et complexe, mais, tout en améliorant les bases de données, de perfectionner notre connaissance du système et des comportements qui le caractérisent, des règles de conduite ou des normes, pour arriver à transformer ce modèle verbal en modèle dynamique. Ce que permet seule la dynamique des systèmes.

Mots-clés : Transport de fret, marchandises, banques de données, modélisation, complexité, dynamique des systèmes.

Dans un article intitulé « L'éclairage des choix et le développement durable : de la critique à la dynamique des systèmes » (2001), j'exprimais un bilan, dont je dois hélas dire, que je ne retirerais pas un mot, une idée ou un constat. Près de 23 ans plus tard le bilan est sinon inchangé, du moins peut-être encore plus négatif. On éclaire mal les choix, on prend mal en compte le caractère complexe du système de transport, et on est extraordinairement rétif à l'utilisation de la dynamique des systèmes. D'où des décisions dont la rationalité objective est simpliste, partielle, et pour finir problématique. Je pourrais donner des quantités d'exemples de ces ratés pouvant conduire à des décisions publiques dont tout indique qu'elles ne découlent pas d'un éclairage des choix suffisant. Mais l'objet de cet article est ailleurs.

Si en 2001 j'essayais d'expliquer ce qui conduisait à cet échec, mon propos est aujourd'hui de revenir sur une problématique moins sociologique ou politique, mais plus directement méthodologique. Pour ce faire il faut revenir en arrière, et comprendre les termes dans lesquels se pose la problématique de la modélisation des transports de marchandises après la seconde guerre mondiale. Avec le premier plan, la logique était d'évaluer un « besoin de transport » et d'en déduire un plan de rééquipement et de modernisation - ayant une dimension très physique (matériel, kilomètres, etc.). Dans cette perspective « modéliser » impliquait de relier d'une part l'économie générale à un **besoin** général de transport, mais de définir par ailleurs les besoins spécifiques de certaines filières stratégiques².

¹ Patrice Salini a fait l'essentiel de sa carrière au Ministère des Transports (1973 - 2005), il a également été consultant en économie des transports - Dynamique des Systèmes et planification stratégique (2005 à nos jours) et Professeur des Universités Associé à l'Université Paris 4 Sorbonne (2008 - 2011).

² « La Commission des Transports intérieurs a, en fonction de la progression de l'activité économique dans son ensemble et de l'évolution de certains trafics déterminée par les Commissions de modernisation intéressées

Concrètement, une approche de ce type consistait à rechercher un lien statistique entre le transport de marchandises estimé globalement et une grandeur économique censée être explicative comme la production industrielle par exemple. En fait on butte là sur plusieurs difficultés :

- la disposition de données sur les transports, qui, pour le premier plan était partielle, la route étant largement méconnue ;
- la disposition de données sur les infrastructures et les moyens de transport, qui, après-guerre faisait l'objet d'une attention spécifique ;
- la « modélisation » du rapport entre ces données et leur articulation (ou ce qu'elles sont censées représenter) et des prévisions macro-économiques, et sectorielles.

Les nécessités de la planification poussent alors à rechercher à quantifier ces relations au moyen des outils traditionnels de la statistique. Il s'agit au fond, comme le disait Keynes « *de donner une précision quantitative à ce que nous savons déjà, en termes qualitatifs (...)* ». En d'autres termes, on cherche à mettre un chiffre en face d'une causalité supposée avérée.

Les transports, c'est aussi de la géographie et des réseaux

En 1962, en se posant la même question du « besoin » de transport, le SAEI³, expliquait qu'il fallait non seulement faire des prévisions globales, nationales, et modales, mais aller plus loin en étant capables de régionaliser les flux, et de prendre en compte les réseaux de transport. Il est clair qu'à l'époque deux obstacles apparaissaient :

- le premier, une fois encore concernait la disposition de données de transport détaillées...ce qui donnera naissance 10 ans plus tard à SITRAM⁴ (Système d'Information sur le Transport de Marchandises) qui réunira de manière cohérente et selon une nomenclature commune (NST⁵) les données transports des modes routier, ferroviaire et fluvial⁶.
- le second, concernait les moyens de calculs dont il fallait se doter, et dont on devrait justifier l'acquisition par des applications plus larges.

Dans les années 1960, les obstacles furent tels qu'on se contenta d'équations simples, reliant le transport au PNB (PIB de l'époque), en recourant à des ajustements en Log-

(matériaux de construction, sidérurgie, agriculture, houillères, carburants), évalué l'importance des besoins de transport au cours des années qui viennent et pour chacun des moyens terrestres. » Rapport Général sur le Premier Plan de Modernisation et d'équipement, novembre 1946-Janvier 1947.

³ « La prévision des besoins de transport », Saei, 1962. Le Saei est un service horizontal du ministère de l'équipement d'alors.

⁴ Un système équivalent n'existe pas en Europe. On peut en outre penser que les évolutions institutionnelles et réglementaires ont affaibli la pertinence de la base de données.

⁵ Nomenclature des Statistiques de Transport, voir la première NST : <http://aei.pitt.edu/93885/1/Statistiques-transport-1961.fr.pdf>

⁶ Le rapport indique alors « Pour la route, les renseignements sont très insuffisants, ce qui interdit toutes prévisions car il est assez peu vraisemblable que la part des transports routiers n'évolue pas. »

Log permettant d'exhiber des élasticités constantes du transport à la création de richesse, dans une économie par ailleurs faiblement ouverte.⁷

En fait, on peut penser que le dépassement de ces deux obstacles principaux a pour l'essentiel permis de modifier les attentes de la modélisation comme le montre bien l'approche suisse⁸, et a permis d'aboutir à une modélisation fine permettant de réconcilier la représentation théorique du modèle en quatre étapes et la pratique.

Ces quatre étapes⁹ (la **génération** i.e. combien, la **distribution** i.e. à quel endroit, la **répartition modale** i.e. comment, l'**affection** i.e. par quel chemin) qui pouvaient satisfaire une approche cohérente étaient impraticables sans données détaillées et moyens de calcul.

Le manque de données

Or, si les moyens de calcul sont désormais là, ce sont les données qui demeurent absentes. Et la notion de choix, souvent multifactoriel, est difficile à prendre en compte. On voit bien ici que le verbatim d'un choix concret renvoie à une logique concernant plusieurs agents, dans des processus pas toujours séquentiels, rationnels et reproductibles. On se trouve donc là devant une problématique de modélisation qui débouche sur ce qu'on appelle les modèles désagrégés. Il s'agit alors en partant par exemple d'une génération de trafic donnée par un modèle d'ensemble, gérer de manière désagrégée sa répartition modale et son affectation, en fonction du comportement individuel des agents économiques. On peut le faire par l'intermédiaire de lois statistiques de répartition des comportements, ou en simulant les comportements individuels dans un modèle dit « multi-agent ».

On voit bien ici, qu'on touche la limite de ce qu'il est possible de tirer d'une approche économétrique, personne ne disposant des bases de données permettant de le faire. Au surplus au nom de quoi, et singulièrement pour faire des prévisions, peut-on supposer la stabilité des comportements et a fortiori leur reproductibilité à l'infini, sans aucune rétroaction ni adaptation à l'évolution de l'environnement.

D'un autre côté, les travaux de modélisation se sont attachés à améliorer la modélisation globale, parfois péniblement régionalisée (ce sont alors les données économiques qui parfois font défaut), en intégrant de manière plus astucieuse les variables explicatives pertinentes. Ainsi, on est passés, les chocs pétroliers aidant, de modèles reposant sur des variables explicatives en « volume », c'est à dire en monnaie

⁷ En 1964, la Conférence Européenne des Ministres des Transports (CEMT, organisme de coopération internationale) a compilé des prévisions à l'horizon de 1970 pour 15 pays d'Europe. Les modèles utilisés, au contraire de la démarche initiée peu avant par le SAEL, se contentent de relier les prévisions du PNB (Produit National Brut, usité alors), et des transports. Les pays se distinguent alors par les différences d'élasticités des tonnes.km au PNB, et le poids du rail.

⁸ <https://www.ave.admin.ch/ave/fr/home/mobilite/bases-et-donnees/modelisation-des-transports/modelisation-national-transport-marchandises.html>

⁹ On peut s'interroger sur le réalisme d'étapes « séquentielles ».

constante, à des modèles intégrant plus de valeurs dites « physiques » de production ou d'échange (on transporte en effet des biens et non des valeurs ajoutées).

Ce fût-ce qu'apportèrent les versions de Pretram¹⁰ développées à partir de 1980 dans ce qui deviendra l'OEST¹¹. L'expérience menée par la suite autour du projet MODEM¹² a bien montré les limites d'une approche économétrique, même si on a progressé pour l'affectation des flux sur les réseaux.

La prise en compte de la concurrence est par ailleurs très difficile en l'absence de données correspondant au niveau de détail des modèles de génération (par produits, donc mes-économiques) et a fortiori de distribution (par région ou micro-région). Certaines variables présentées comme essentielles par les acteurs ne font l'objet d'aucune mesure.

Tout ceci montre à quel point l'ambition économétrique peut-être déçue face à une matière complexe comme le transport de fret. En effet, c'est en fait l'ensemble de l'économie - dans un espace donné et en relation avec le reste du monde - qu'il s'agit de comprendre et de modéliser, jusqu'à aller jusqu'à affecter ces flux économiques exprimés en tonnes sur des infrastructures. En fait il s'agirait de créer une sorte de « **Simcity**¹³ », à cela près qu'en économétrie les relations doivent découler d'estimations statistiquement rigoureuses. D'où à mon sens un échec.

La complexité et la réconciliation impossible

En effet, à mesure que la complexité à modéliser croît, le nombre d'inter-relations entre variables explose, et avec lui le nombre d'ajustements statistiques à « caler », et naturellement, le nombre de données à recueillir sur des périodes relativement longues. Et avec un risque fort, celui de « tomber » sur des relations instables ou volatiles. Comme l'expose Jay Forrester (1993) dans sa conférence « *Economic Theory for the New Millennium* », les économistes ont progressivement abandonné l'observation au profit d'une approche plus abstraite nourrie de mathématique. Ainsi, expose-t-il : « *Dans son effort pour apparaître en tant que science, l'économie a dérivé vers une structure conceptuelle étroite, basée sur des hypothèses irréalistes, mettant l'accent sur les conditions d'équilibre et s'engageant dans des méthodes mathématiques principalement linéaires* ». Et encore faut-il y parvenir, c'est à dire, une fois encore disposer des données pour le faire. Cette fuite en avant conduit à perdre de vue l'essentiel des relations causales du système étudié - et finalement son modèle - pour finalement se rabattre sur ce qu'on peut faire, c'est à dire sur une représentation déterminée non par le savoir, mais les données disponibles. Du coup pour caricaturer on construit des modèles qui

¹⁰ https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/resultats.html?question=& sujet=& titre=PRETRAM& auteur_mot=& lieu_mot=& programme=& collper_mot=& numop_champ_annee=eq& annee=

¹¹ Observatoire Economique et Statistique des Transports

¹² <https://temis.documentation.developpement-durable.gouv.fr/document.html?id=Temis-0074428& requestId=0& number=1>

¹³ https://fr.wikipedia.org/wiki/SimCity?wprov=sfti1#Liste_des_jeux

simulent des relations entre variables numériques mesurables, et non le fonctionnement du système étudié.

Une rupture est intervenue avec le recours à d'autres méthodes, comme la **dynamique des systèmes**. Mais, paradoxalement, tout le monde n'a pas cherché à rester strictement dans ce cadre de simulation. Ainsi, le modèle européen Astra¹⁴ (dû à W. Schade) - au coeur du processus de prévision retenu par la Commission Européenne - couple des approches mécanistes et des approches dynamiques pour en réduire la complexité. Ainsi Astra combine des relations économétriques (donc non analytiques et rarement bouclées), l'usage des matrices de Leontief (TEI carrés), et des blocs de dynamique des systèmes. On atteint là un niveau de complexité considérable, prolongé au surplus par un modèle d'affectation sur réseaux (TRUST¹⁵). Mais, si l'on en croit Michael Krail (2008)¹⁶, Astra, dans sa version utilisée pour les simulations sur la période 1990-2050 (27 pays de l'UE plus Norvège et Suisse), incorporerait 29 millions d'objets. En réalité, je regrette plus la complexité du processus de modélisation retenu, et surtout son caractère hybride, qu'une articulation éventuelle entre outils de simulation.

Une solution viable

En 2010, nous avons d'ailleurs proposé une recherche¹⁷ visant à coupler une approche en termes de dynamique des systèmes et une modélisation multi-agents¹⁸ permettant une simulation « heure par heure » des réseaux de transport français.

Ce modèle n'a pas pu être construit en raison de l'impossibilité de disposer alors des données - par ailleurs existantes - dont disposait le gestionnaire du réseau ferroviaire.

Cette conception de la modélisation respectait parfaitement les principes de la dynamique des systèmes : elle intégrait le jeu complexe d'interrelation non-linéaires dans le temps et se contentait d'inscrire un prolongement en termes de réseaux géographiques à cette modélisation, elle-même intégrée dans un réseau complexe de boucles de rétroaction. Contrairement aux approches économétriques, le fonctionnement endogène du système (non strictement autorégressif) était respecté et

¹⁴ http://www.astra-model.eu/doc/ASSIST_D4-2_ASTRA-EC_Model.pdf

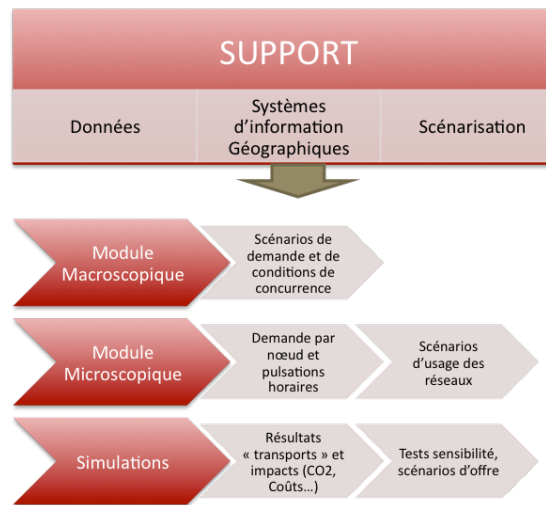
¹⁵ TRUST (TRansport eEuropean Simulation Tool) est un modèle de réseau de transport initialement développé par TRT. C'est un modèle de réseau. Le modèle est actuellement utilisé dans le contrat-cadre de la DG MOVE en ce qui concerne l'élaboration de scénarios politiques et variantes pour le système de transport des États membres de l'Union européenne avec l'horizon temporel de 2050.

¹⁶ System-Based Analysis of Income Distribution, Impacts on Mobility Behaviour, November 2008.

¹⁷ Dans le cadre du Predit avec pour objectif de « Construire un outil de simulation global du transport routier et ferroviaire combiné en France, permettant de tester - à l'horizon de quelques décennies - l'impact de décisions de politique des transports et d'innovations, tout en prenant en compte la réalité géographique et physique des réseaux et de leur capacité. »

¹⁸ Voir des exemples sous Anylogic : https://www.anylogic.com/resources/articles/?type=simulation_method&tag=agent_based_modeling

comme le dit J. Forrester (1993) : « *Nous ne vivons pas dans un monde unidirectionnel où un problème conduit à une action qui mène à une solution* ».



En réalité, notre problématique n'est pas de rechercher, compulsivement, à l'infini, à obtenir des données numériques rétrospectives¹⁹ d'une réalité globale de plus en plus large et complexe, mais, tout en améliorant les bases de données, de perfectionner notre connaissance du système et des comportements qui le caractérisent, des règles de conduite ou des normes, pour arriver à transformer ce modèle verbal en modèle dynamique.

Or les puissances de calcul actuelles nous permettent largement de poursuivre cet objectif, en particulier en couplant une approche « système » à une approche plus physique de modélisation de réseaux.

Il est donc logique de continuer à explorer l'application de la dynamique des systèmes aux transports de fret.

Mon expérience est qu'il est difficile - autrement que par le travail en commun avec les « critiques » et surtout les utilisateurs finaux des modèles - de convaincre de l'utilité des modèles, à fortiori dynamiques.

L'obstacle des critiques, une réelle opposition parfois, relève à vrai dire de débats qui ne portent parfois que sur des principes. On pourrait dire que tout comme les polytechniciens ont eu du mal à comprendre l'économétrie (Fischman, Lendjel, 2000), on peut penser que la « culture dominante » de la technostructure des transports et de l'équipement, ne « comprend pas bien », voire rejette la dynamique des systèmes. A une logique de simulation fondée sur la compréhension et les connaissances que l'on a d'un système (modèle verbal) qu'ils ne comprennent pas, ils préfèrent la production de résultats empiriques limités aux seules données numériques, comme constituant le seul modèle scientifiquement acceptable. D'où une opposition de principe de certains.

¹⁹ Ce qui ne signifie pas qu'on ne cherche pas à renforcer nos systèmes d'information. Mais l'exhaustivité notamment relativement à l'univers des comportements est largement illusoire.

On retrouve d'ailleurs cette opposition dans d'autres instances, idéalisant sans doute les vertus de l'économétrie, sans pour autant réussir à gérer les contradictions liées à l'existence dans le « vrai monde » de nombreuses rétroactions, rendant caduque une modélisation « *unidirectionnelle* » comme disait Forrester.

Tirer des leçons de nos limites

En fait, l'une des justifications du recours à la dynamique des systèmes tient finalement de ce constat fort simple : il est impossible de disposer de l'ensemble des données permettant de décrire le détail des comportements qu'on souhaite modéliser pour les prévoir. Comme le disait Jay Forrester (1991) : « *La première étape consiste à exploiter la richesse des informations que les gens possèdent dans leur tête. La base de données mentales est une riche source d'informations sur les parties d'un système, sur les informations disponibles à différents points d'un système et sur les politiques suivies dans la prise de décision. Dans le passé, la gestion et les sciences sociales se sont indûment limitées aux données mesurées et ont négligé l'ensemble d'informations beaucoup plus riche et plus informatif qui existe dans les connaissances et l'expérience de ceux qui sont dans le monde actif et actif.* »

La seconde qu'hélas trop peu de gens perçoivent, c'est que les systèmes que nous cherchons à comprendre, sont peuplés de boucles de rétroaction, et mettent en œuvre, dans le temps et avec des délais, des flux qui dépendent de stocks (ou variables d'accumulation). Il n'y a par exemple pas de transport (flux) sans stock de matériel roulant volant ou navigant, sans stock d'infrastructures, etc. Les pollutions produisent des phénomènes d'accumulation, tout comme les émissions dans l'atmosphère. Quant aux rétroactions, heureusement, les acteurs ne sont ni inertes ni dépourvus de réactions face à des événements qu'ils peuvent ou non anticiper.

La **construction du modèle verbal**, ou plus exactement par commodité opérationnelle, de ses différents blocs (ou sous-ensembles), est donc la tâche essentielle. C'est bien là tout l'inverse d'une logique qui partirait des données disponibles pour imaginer un modèle répondant vaguement à la théorie qu'on veut vérifier. Il s'agit en fait de décrire le mieux possible la façon dont nos connaissances (collectives) permettent de se représenter le système. La tâche est lourde, longue, mais finalement moins fastidieuse que celle qui consistera à « passer à l'acte » en construisant le modèle numérique.

Des choix

Mais un modèle doit avant tout répondre à un ou des objectifs, chercher à éclairer des questions, plus ou moins précises. C'est finalement à partir de celles-ci qu'on construira l'ébauche du modèle. Ce sont elles qui détermineront largement sa dimension (la taille du système), son environnement, ses variables exogènes (le fameux « *que se passe-t-il si ?* »), les tests, l'analyse des sensibilités, et naturellement l'horizon temporel des simulations et l'unité de temps. Nous savons tous que l'étude d'un système au jour le jour ou selon un rythme mensuel ou annuel ne répond nullement aux mêmes logiques, et n'implique pas les mêmes contraintes.

Articulation entre types de modèles

On voit bien - dans le cas des transports - que poser la question en termes de réseaux - donc de territoire - (et de leur usage), d'investissement nécessaire (logique de planification), de conséquences économiques, sociales ou environnementale, etc., peut conduire à des constructions différentes. Et plus les objectifs sont géographiquement définis, plus le modèle devra utiliser des prolongements, comme nous l'avons indiqué plus haut, avec l'association d'une modélisation continue avec celle, discrète, des circulations dans des réseaux. Celle-ci n'est pas compliquée à mettre en œuvre. Concrètement le modèle dynamique « pulse » des valeurs à chaque pas de calcul (dt) que l'on peut pondérer par des poids saisonniers, journaliers, horaires etc. Ces valeurs, si elles sont géo-localisées - ce qui semble bien être le problème le plus délicat -, se transforment ainsi en des débits concrets sur des réseaux.

Les questions et leur résolution

La question du partage modal, présentée comme stratégique, mais marquée par des spécificités locales (jeu de l'offre concrète localement ou plus précisément sur une relation), est en réalité simple à modéliser. Ce que comprennent difficilement les modélisateurs, c'est tout d'abord l'inertie considérable de la « concurrence », qui ne se résume pas, loin s'en faut, à un problème de prix et de qualité, mais passe par une offre s'appuyant sur une capacité²⁰. Comme je l'ai dit souvent, il n'y a équivalence, face à une demande qui est je le rappelle différenciée selon les produits, que si capacité de transport offerte, fréquence, qualité, vitesse et prix sont équivalents. C'est un « mix », qui, mobilise des « capacités » que permettent le réseau, le matériel, le personnel, les savoir-faire, etc. Or ces capacités, sont en réalité ce que l'on appelle des « variables d'accumulation », c'est-à-dire des stocks. Ce qui explique grandement l'inertie. En fait, aucun modèle économétrique ne peut à la fois rendre compte des effets des variables exogènes (règles...) les effets endogènes (encombres), des rétroactions des acteurs face à des situations (politiques de prix, d'embauche, d'investissement...) à différents horizons, etc., ce que peut en revanche bien prendre en compte un modèle de dynamique des systèmes. Le « comment » importe alors bien plus - pour chaque variable - que le combien !

Calage et valeurs initiales

Souvent on nous pose la question calage du modèle et de son alimentation en valeurs initiales des données. En pratique, nombre de ces « données » n'existent pas, c'est à dire ne font l'objet d'aucune observation, d'aucune saisie. On a là deux grandes catégories.

²⁰ Les transports sont des activités d'exploitation (on ne stocke pas le transport). Celle-ci consiste à exploiter au mieux une capacité dans le temps et dans l'espace (retours éventuels plus ou moins à vide).

- Certaines données pourraient être mesurées mais ne le sont pas, ou pas correctement.²¹ C'est ainsi que des enquêtes par sondage se substituent à des recensements, que des comptages d'essieux... permettent d'estimer la circulation automobile, ou, que des recoupements permettent d'estimer grossièrement des ordres de grandeur non mesurés. Il est plus facile de « produire » des valeurs initiales à un moment donné, que de construire de vraies séries chronologiques. La répétition rigoureuse de ces mesures partielles, estimations ou encore mesures indirectes nous permet parfois de disposer de « pseudo-séries » bien utiles, dont on se contente souvent, sans en connaître toujours, hélas, l'alchimie.

- D'autres données sont ce que nous appelons des « nombres sans dimension ». Il s'agit le plus souvent du substitut à une variable qualitative. C'est souvent avec ces variables qu'on sort du binaire : « oui ou non », « bien ou mal »²². C'est aussi une manière simple de décrire comment se manifeste un processus (dans le temps), comment une variable influence une autre. Ici la forme importe plus que le nombre. On échappe ainsi facilement à l'empire des « élasticités », valables une fois pour toute et reproductibles à l'infini et qu'on peut traduire cette idée simple : 10 n'égalé jamais 10*1 !

Caler, c'est aussi s'assurer de la cohérence interne du modèle (et de ses blocs s'il est grand), et de sa capacité à - pour des valeurs passées - à bien refléter l'évolution observée ou supposée. Ces tests (nombreux !) doivent s'accompagner aussi de sortes de « stress-tests » permettant d'observer le comportement du système face à des valeurs extrêmes. Leur répétition permet de valider la structure interne et les valeurs initiales retenues, parfois de découvrir des incohérences dans le modèle, et même dans les données (champs non identiques, etc.), et de toucher du doigt certains résultats contre-intuitifs (le plus souvent liés aux boucles de rétroaction) dans le temps.

On comprend bien ici que le modèle permet à la fois de donner des réponses aux questions posées mais ouvre à son tour de nouvelles interrogations et nous pousse à approfondir nos connaissances.

En fait, comme le soulignait J. Forrester (1991) : « *Un modèle doit aider à organiser l'information d'une manière plus compréhensible. Un modèle devrait lier le passé au présent en montrant comment les conditions actuelles sont apparues, et étendre le présent à des avenir alternatifs persuasifs dans une variété de scénarios déterminés par des alternatives politiques. En d'autres termes, un modèle de dynamique du système, s'il doit être efficace, doit communiquer et modifier les modèles mentaux précédents* ».

Il résume, je crois parfaitement notre tâche et sa grande difficulté.

²¹ Par exemple, le néophyte sera surpris d'apprendre que le transfert d'une tonne.km d'un mode à un autre n'a aucune chance de correspondre à une tonne.km sur l'autre mode. En effet les distances parcourues ne seront pas les mêmes, et curieusement les tonnages enregistrés n'ont pas toujours une définition identique.

²² Les comportements sont rarement strictement binaires. Il existe des transitions possibles entre faire et ne pas faire.

Références bibliographiques

FISCHMAN M., LENDJEL E. (2000), « *La contribution d'X-Crise à l'émergence de l'économétrie en France dans les années trente* », *Revue européenne des sciences sociales*, tome XXXVIII, n°18, p. 115 – 134.

FORRESTER J.W (1991), *System Dynamics and the Lessons of 35 years*, In: De Greene, K.B. (eds), *A Systems-Based Approach to Policymaking*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3226-2_7

FORRESTER J.W (2003), *Economic Theory for the New Millennium*, New York, in *System Dynamics Review*, 2013, vol 29, issue 1, p. 26 – 41.

LE PLAN (1946 - 1947), *Rapport Général sur le Premier Plan de Modernisation et d'équipement*, novembre - Janvier. <https://www.strategie.gouv.fr/actualites/premier-plan-de-modernisation-dequipement>

SALINI P. (2001), *L'Eclairage des choix et le développement durable: de la critique à la dynamique des systèmes*, *Transports*, n°409.