



## Séminaire « Soutenabilités »

### « La modélisation peut-elle nous prémunir de l'insoutenable ? »

#### Podcast n° 3 :

L'usage de la modélisation : de l'expertise à la décision

Point de vue, Yann Chazal

**Yann Chazal** est expert en ingénierie des systèmes complexes. Il travaille chez Renault et y développe des compétences et des méthodes permettant de se projeter différemment sur les enjeux de la mobilité et de son électrification. Il se questionne sur les pratiques collaboratives qui émergent dans un monde de plus en plus connecté, robotisé, intégré à des réseaux « intelligents » en adoptant une vision englobante, large, systémique et originale par rapport à ce qu'on peut trouver dans le champ traditionnel de la mobilité. Ses travaux portent sur les systèmes de systèmes et mettent en œuvre une forme originale et innovante de modélisation.

#### Entretien réalisé par Julien Bueb et Carole Cocault

**Avant d'aborder ce que sont les « systèmes de systèmes », en quoi consiste la modélisation selon vous ?**

« Un modèle est une approximation de la réalité ». Je suis à l'aise avec cette définition. Elle suggère d'ailleurs spontanément d'adapter le niveau d'approximation au juste nécessaire de ce qu'on a besoin d'étudier. Néanmoins, lorsqu'on est contraint de ne pas ignorer la dimension complexe du réel – c'est évidemment le cas dans la question des soutenabilités –, la pratique la plus répandue consiste à identifier les interactions, les représenter sous forme de lois de comportement souvent non linéaires et les imbriquer. Je respecte évidemment les modélisateurs qui s'inscrivent dans cette pratique, non seulement parce que ça leur demande beaucoup de connaissances et de savoir-faire, mais aussi car il y a de vrais écueils. En effet, les interactions qu'on peut envisager sont illimitées, et peuvent aussi reposer sur des relations implicites. Dans la mesure où leur hiérarchie d'importance n'est pas préalablement établie, le modélisateur s'interroge toujours sur l'enrichissement nécessaire de son modèle. Par ailleurs, les lois de comportement sont souvent proposées par des experts, mais le modélisateur doit aussi s'approprier leurs limites de validité pour en faire un usage raisonné dans son modèle.

## **Quelles sont les limites intrinsèques à cette démarche de modélisation, davantage répandue ?**

Ce type de modèle est construit pour calculer la réaction d'un système à une perturbation de son fonctionnement. Sa pertinence se limite donc à des phases de l'évolution où la structure du système ne change pas (sinon ce serait un autre système à simuler). Or nous savons que notre évolution, à l'image d'autres systèmes ouverts auto-organisés, n'est pas seulement faite de phases d'évolution continue, mais aussi d'émergences et recompositions structurelles après des crises.

On fait appel à ce type de modèle pour calculer un comportement qu'on ne parvient pas à intuitiver, essentiellement à cause de la présence de ces lois de comportement trop nombreuses, non linéaires et entrelacées. En fixant des hypothèses et des paramètres, le modèle parvient à un résultat, qui reste cependant souvent difficile à retracer et expliquer, et toujours sensible au paramétrage et donc aux incertitudes. Le recalage est possible si l'on dispose de données historiques, mais elles ne peuvent jamais vraiment couvrir l'ensemble des situations.

Encore une fois, je n'ai rien contre cette pratique de modélisation, et je suis souvent curieux des résultats qui sont montrés, mais je trouve que ces écueils et ces limites sont gênants, en particulier quand on pense utiliser la modélisation avec une finalité de décision stratégique, et donc *a fortiori* pour les politiques publiques vis-à-vis des soutenabilités.

## **C'est donc à cause de ce manque, de cette incomplétude que vous vous êtes tourné vers les systèmes de systèmes. Pouvez-vous nous en dire plus sur cette démarche de modélisation ?**

J'ai en effet adopté une démarche de modélisation qui s'écarte de la pratique conventionnelle. Je ne m'attache pas à simuler avec des données quantitatives, pour projeter un nouveau fonctionnement du système complexe et l'interpréter. Au lieu de cela, je bâtis un modèle permettant de raisonner qualitativement sur les trajectoires d'évolution possible. L'usage des données quantitatives est ici limité à confirmer certains ordres de grandeur en appui du raisonnement qualitatif. J'avance ainsi dans la modélisation en me posant par exemple les questions suivantes :

- comment se composent les différentes forces à l'œuvre dans l'évolution d'un système de systèmes ;
- quels processus de sélection sont mis en jeu ;
- quelles sont les barrières qui peuvent s'opposer à une voie d'évolution attendue pour en rendre une autre plus probable ;
- quelles sont les limites et rétroactions qui peuvent restreindre la portée d'une évolution ;
- comment une telle évolution peut-elle s'organiser pour concilier les intérêts stratégiques des acteurs incontournables à son développement et les attentes des usagers ;
- quelles sont les relations techniques entre les systèmes à associer à un tel scénario pour en garantir la cohérence ?

Ainsi, pas-à-pas, un scénario d'évolution du système de systèmes s'éclaire, s'organise et se précise. Le modèle permet de tracer les relations logiques établies dans chaque point de vue participant à décrire sa complexité, et entre les points de vue. Le modèle met ainsi sous contrôle les conditions de la cohérence systémique du scénario d'évolution proposé.

Ce type de modèle particulier organise la réunion des connaissances hétérogènes, et les intègre dans une structure (méta-modèle) qui porte la représentation abstraite, conceptuelle de « l'approximation de la réalité » dans la perspective d'étudier son évolution. Il se complète à partir de déductions logiques dont on peut tracer l'origine (explicabilité). Ces étapes de

raisonnement sont à mener par un petit groupe de personnes. L'intelligence collective est ici sollicitée pour un raisonnement participatif et synchrone, et non pour un exercice de créativité.

C'est au final un type de modèle aussi intéressant pour les conclusions qu'il amène que pour garder la trace des connaissances et raisonnements qui les ont amenées. Il est prêt à être revisité, en particulier pour évaluer les conséquences d'un changement. Il est aussi disponible pour être instancié dans tout contexte particulier. Dans ce cas, il n'est pas spécifiant mais apprenant, pour permettre aux nouveaux venus d'intégrer les spécificités de leur contexte, et d'étudier leurs conséquences logiques pour une instanciation appropriée.

### **D'après votre approche, il paraît difficile de faire du quantitatif ?**

Comme mentionné précédemment, c'est une démarche de modélisation et de raisonnement essentiellement qualitative. Je n'utilise la quantification qu'en parallèle, surtout pour vérifier des ordres de grandeur en support au raisonnement. Je pousse ainsi plus loin le raisonnement logique basé sur les connaissances, pour restreindre et préciser les scénarii qui satisfont l'exigence de cohérence systémique dans l'évolution. Les conclusions proposées sont tracées et expliquées, et donc généralement comprises, mais elles ne peuvent prétendre ni à l'exhaustivité, ni à l'optimum. Cela conduit parfois à une forme de frustration auprès de personnes familières de la modélisation numérique. Cependant, un modèle système de systèmes permet aussi de mettre en évidence les contradictions éventuelles dans d'autres scénarii, issus d'autres démarches.

Idéalement à mes yeux, la modélisation système de systèmes devrait précéder les modélisations quantitatives, pour gagner au global en efficacité et en complémentarité. En pratique dans l'état de l'art actuel, les démarches sont peu coordonnées et des controverses apparaissent au moment des conclusions.

Mes difficultés comme modélisateur système de systèmes sont donc *in fine* à plusieurs niveaux. Ma démarche étant moins courante, et plus abstraite que la modélisation quantitative, je dois faire plus d'efforts pour la faire comprendre. Les mécanismes de l'évolution des systèmes complexes étant moins facilement observables que ceux de leur fonctionnement, je consacre aussi plus d'efforts à la définition du méta-modèle adapté à leur étude, même si je peux échanger avec une petite communauté en France et dans le monde. Je dois aussi développer les techniques d'animation de la réflexion collective de petits groupes de personnes autour d'un tel modèle pour chaque étude. Enfin, pour supporter la modélisation, l'outillage informatique sur le marché est bien plus développé pour traiter des données numériques, et rares sont les outils réellement capables de traiter de manière robuste, performante et ergonomique, les milliers d'objets et relations logiques qu'on est rapidement amené à documenter, dans le respect du méta-modèle.

Néanmoins, mon expérience en contexte industriel m'a permis de vérifier que ces difficultés peuvent être surmontées. Cela permet aujourd'hui d'apporter le support de ce type de modélisation à des analyses stratégiques pour des activités innovantes à fort caractère écosystémique.

### **Ces modèles alternatifs peuvent-ils nous amener à modéliser l'insoutenable ou le soutenable ? Pouvez-vous l'illustrer par un exemple qui explique à la fois son intérêt, en quoi il se distingue, l'interdisciplinarité qu'il mobilise et son usage (ou non) ou les recommandations aux décideurs ?**

Votre question dépasse mon savoir-faire courant. Néanmoins, pour entrevoir les possibilités d'application dans votre perspective, je propose de prendre comme illustration cette réflexion autour de la transition énergétique allemande (*Energiewende*). En 2011, le gouvernement fédéral allemand a décidé de programmer la fermeture de centrales nucléaires et d'encourager

la production éolienne et solaire. Beaucoup d'efforts ont certainement été faits pour modéliser et anticiper les conséquences de cette décision, afin de répondre par exemple à des questions comme « le prix de l'électricité va-t-il beaucoup augmenter ? », ou « quelle évaluation du coût d'abattement de cette mesure ? »

Mais comment simuler le comportement probable du système électrique allemand dans une configuration radicalement différente de celle qu'on avait pu observer jusqu'alors ? Les modèles dont on disposait sont-ils encore valables ? Leur paramétrage est-il encore pertinent ? Par exemple, puisqu'il faut assurer un équilibre parfait entre offre et demande d'électricité, le questionnement peut porter sur les éventuels changements de comportements des agents : s'ils se coordonnent habituellement, vont-ils continuer à le faire selon les mêmes logiques de décision, voire dans les mêmes périmètres ? De nouveaux agents vont-ils apparaître et modifier le jeu ?

Les modèles classiques, accompagnés des réserves d'usage, apportent des résultats qui peuvent être divergents. Comprendre l'origine des écarts supposerait de remonter aux hypothèses dans les modèles et leurs paramètres, en suivant leurs mécanismes de propagation vers des résultats différents. On hésite souvent à entreprendre cette démarche critique, pourtant essentielle, même lorsque la transparence des modèles le permet. Beaucoup préfèrent accorder sélectivement leur confiance ou se faire un avis parmi la masse des résultats produits. Du subjectif non-explicité entre donc en jeu et la fragilité des modèles classiques demeure dès lors qu'il s'agit d'extrapolation dans des conditions très différentes de celles qui ont pu être observées. C'est inévitablement le cas dans l'exemple de l'*Energiewende*, où aucun système électrique n'avait encore fonctionné dans ces conditions.

### **Peut-on faire autrement ?**

Je vais tâcher vous présenter les grandes lignes de l'usage envisageable de la modélisation système de systèmes face à des questions de soutenabilités soulevées par l'*Energiewende*.

Utiliser les systèmes de systèmes consiste ici à s'éloigner de l'ambition de simuler comment va fonctionner le système électrique allemand. On propose à la place de raisonner sur les conditions de son évolution. L'analyse de l'évolution se place à un niveau plus abstrait qui s'intéresse au processus de sélection. Attention, même si la régulation publique intervient, le système électrique allemand, avec son réseau, ses acteurs, ses bourses et marchés ne constitue pas une entité homogène en capacité de piloter son évolution. Néanmoins, on peut considérer qu'il y a une capacité d'auto-organisation dans ce système, par des mécanismes de sélection économique et financière, de régulation et dans la concession de services publics. Cette auto-organisation continue est indispensable au maintien de sa pérennité voire à l'entretien de la dissipation entropique qu'il réalise.

La décision de l'*Energiewende* s'apparente à l'impulsion d'une bifurcation dans l'évolution du système électrique allemand. Cette impulsion s'est conjuguée avec d'autres tendances concomitantes comme l'augmentation de demande électrique partiellement compensée par les progrès de l'efficacité énergétique. Ces sont bien les effets combinés qu'il faut considérer.

Historiquement, dans le cas de l'*Energiewende*, cela s'est traduit d'abord par une dégradation de la performance physique globale du système électrique, en introduisant une incertitude nouvelle dans les conditions de génération appelée intermittence. Le système électrique allemand a réagi en mettant en œuvre ses processus d'auto-organisation. Ainsi, le régulateur, en agissant sur les taxes, a plutôt privilégié de limiter les conséquences économiques pour les industries électro-intensives au détriment des ménages, des PME et des concessionnaires du réseau. La nouvelle sélection opérée par les bourses de l'électricité a conduit au maintien des énergies primaires les plus carbonées. Le nouveau fonctionnement du réseau a conduit à mettre en évidence des besoins massifs de renforcement, en particulier dans le transport nord-

sud de l'électricité, etc. De ce constat, on observe que l'insoutenabilité, au moins, à terme, de bon nombre de ces conséquences, laisse penser que de nouvelles bifurcations auront lieu et modifieront la trajectoire.

Une réflexion supportée par la modélisation de type système de systèmes peut aider dans cette recherche. En pratique, elle peut, par exemple, analyser la cohérence d'un scénario reposant sur des stratégies locales d'investissement dans la distribution électrique de certains territoires pour développer une forme d'auto-suffisance compétitive et durable : sous quelles conditions ce scénario serait-il compatible avec les processus en place pour conduire l'évolution du système électrique ? Comment mettre en cohérence les différents points de vue ? Cette reconfiguration doit en effet s'appuyer sur une transformation technique, indissociable d'une conciliation de motivations économiques, sous réserve d'acceptation sociale, moyennant des conséquences environnementales. Ces questions sont aussi pertinentes au niveau local et national. Supporté par la modélisation système de systèmes, en cherchant à éclairer et concilier ces différents points, un tel exercice de mise en cohérence conduirait à pointer des conditions restrictives au scénario proposé. Son usage pourrait conduire à l'échelle nationale à appréhender les limites associées au scénario reposant sur des stratégies locales. Un tel modèle pourrait aussi être instancié au niveau de territoires souhaitant développer ce scénario. Les territoires préciseraient d'abord la description des caractéristiques propres à leur contexte en suivant un schéma générique, et l'utiliseraient pour garder sous contrôle les conditions de la cohérence globale.