



Séminaire « Soutenabilités »

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

Podcast n° 1 :

Les modèles, ce qu'ils sont, d'où ils viennent et ce qu'ils font

Point de vue, Amy Dahan

Amy Dahan est mathématicienne de formation, historienne des sciences, directrice de recherche émérite au CNRS, et co-auteure avec Stefan C. Aykut de *“Gouverner le Climat ? 20 ans de négociations climatiques”*. (Presses de Sciences Po, 750 pages, 2015). Elle a beaucoup travaillé sur les relations entre sciences, expertise et Politique dans le domaine du changement climatique.

Entretien réalisé par Blanche Monjour-De Ridder et Mathilde Viennot

Vous êtes mathématicienne et historienne des sciences, quelle est votre conception épistémologique des modèles ?

Il serait erroné de penser que le débat épistémologique sur les modèles n'existe pas ou n'est plus d'actualité. Ce débat qui renvoie à la manière dont les modèles sont considérés (outil pour la compréhension ou outil pour l'action ?) demeure sous-jacent aux enjeux de politiques publiques, et ce, de façon accrue, dans les temps de crise.

Dans l'article « Modèles et Modélisations, 1950-2000 : Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », co-écrit avec Michel Armatte, nous rappelons que l'on ne peut pas étudier d'un seul point de vue épistémologique les modèles indépendamment de l'étude des pratiques de modélisation et de celle des acteurs de la modélisation. Le socle épistémologique classique qui repose sur une vision conceptuelle des modèles (adoptée par les philosophes des sciences) se révèle insuffisant pour avoir une compréhension globale des modèles et des pratiques de modélisation. Il est alors important de faire du concept de modèle, un concept

historicisé, encastré dans des préoccupations sociologiques et culturelles parfois concurrentes¹.

La crise récente du coronavirus illustre bien cette conception plurielle du modèle. Dans les comités d'experts, coexistaient des épidémiologistes, qui forment un premier groupe de modélisateurs, des infectiologues, des virologues et des médecins spécialistes d'autres disciplines. Ces différents acteurs proviennent de cultures épistémiques différentes avec leurs propres outils, leurs propres façons de travailler et manières de penser, ils ne mobilisent pas les mêmes connaissances. La conception et la construction de l'expertise, comme celle d'un modèle, requièrent alors de trouver un langage commun.

Vous avez étudié les figures de mathématiciens et leur place dans la société à travers leurs modèles : celle-ci a-t-elle évolué aujourd'hui ?

Le terme de « modèle » apparaît historiquement à la fin du XIXe siècle, en physique principalement, sous l'impulsion du Cercle de Vienne, puis est récupéré par l'économie et les statistiques dès les années 1930. Les modèles restent néanmoins circonscrits à quelques disciplines et il faut attendre la Seconde Guerre mondiale et l'immédiat après-guerre pour assister à l'explosion de la notion de modèle dans les sciences, qui demeure encore aujourd'hui un de ses concepts clés.

Aujourd'hui, les modélisateurs qui occupent le devant de la scène ne sont plus majoritairement des mathématiciens. Ils peuvent être issus de la physique statistique, ou d'autres disciplines, ce sont toujours des scientifiques qui ont une culture numérique forte.

Revenons sur le rôle primordial des mathématiciens dans la modélisation des phénomènes au sortir de la Seconde Guerre mondiale, avec également des statisticiens et des numériciens. Les contributions scientifiques d'un mathématicien comme John von Neumann sont déterminantes. Ce dernier a participé à la construction du premier ordinateur digital à Princeton dans le cadre du *Meteorological Project* de prévision météorologique qui voit aboutir en 1953. Figure clé de la mutation des mathématiques du pur vers l'appliqué, John von Neumann est porteur d'une acception opérationnelle de la notion de modèle mathématique. Cette acception est le résultat d'une culture épistémologique liée à l'effort de guerre où la programmation, la logistique et l'optimisation occupent une place considérable dans les esprits. Les années 1940 et 1950 caractérisent une période de grande fécondité des modèles mathématiques qui infusent différentes disciplines comme la cybernétique, la neurologie ou encore la météorologie².

Comment les pratiques de modélisation ont-elles évolué pour prendre en compte la question de l'environnement ?

Dans les années 1970 et 1980, le contexte économique, technologique et culturel s'est profondément modifié : intérêt nouveau pour les questions d'énergie et d'environnement, orientation soutenue vers des questions plus concrètes et plus macroscopiques, appropriation des nouveaux outils de calcul, l'ordinateur omniprésent dans les laboratoires, *etc.* La théorie du chaos concentre exemplairement de nombreux changements : domaine-carrefour très interdisciplinaire, rôle de l'ordinateur, importance des interactions non-linéaires et des *feed-back*, intérêt renouvelé pour le macroscopique. A partir des années 1980, des champs scientifiques entiers voient leur statut épistémologique basculer avec l'ordinateur, et passent de la pure observation à l'expérimentation numérique.

¹ Amy Dahan et Michel Armatte, " Modèles et Modélisations, 1950-2000 ", *Revue d'Histoire des Sciences*, 57 (2) Numéro spécial (5 articles, dossier documentaire, bibliographies).

² [2004] "Axiomatiser, modéliser, calculer: les mathématiques, instrument universel et polymorphe d'action", *Les Sciences pour la Guerre*, A.Dahan & D.Pestre (eds), Presses de l'EHESS, p. 49-82 .

On assiste à un élargissement du champ d'intervention des modèles, à la suite de la publication du rapport Meadows par le Club de Rome en 1972. Ce rapport doit beaucoup aux travaux de Jay Forrester, l'un des fondateurs de l'analyse dynamique des systèmes. Le modèle World 3, élaboré à l'occasion de ce rapport, bien que critiqué pour ses simplifications extrêmes (notamment l'élimination du mécanisme des prix), a eu pour effet d'ouvrir le débat sur les enjeux d'environnement à grande échelle, en particulier le caractère fini des ressources non renouvelables. Il est à l'origine de plusieurs générations de modèles globaux, fondés sur des simulations informatiques et intégrant simultanément des processus naturels, physiques et biologiques, et des dynamiques socio-économiques et technologiques. Ces modèles globaux jouent alors un rôle crucial dans les rapports du GIEC (Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat), créé en 1988³.

Quels sont les aspects scientifiques et épistémologiques de la modélisation du changement climatique ? Existe-t-il *un* ou *des* modèles du changement climatique ?

Les modèles climatiques globaux sont un bon exemple des enjeux scientifiques et épistémologiques sous-jacents à la conception des modèles. Les premiers modèles climatiques des années 1970 et du début des années 1980 sont des modèles de circulation générale de l'atmosphère. Les années 1990 se caractérisent par la construction de modèles couplés atmosphère/océans puis rôle des forêts et des sols afin d'approcher les multiples interactions à l'œuvre lorsque que l'on cherche à modéliser la variabilité climatique. L'intégration des grands cycles géo-biochimiques et des différents milieux caractérisent les avancées de la modélisation, de la fin des années 1990 et du début des années 2000.

Dans une démarche qui vise à restituer l'activité de modélisation dans un environnement institutionnel et politique, il est important de s'intéresser à la sociologie des acteurs qui construisent les modèles climatiques. Cette sociologie est à même d'expliquer pourquoi il n'existe pas un unique modèle climatique mais plusieurs, car traditionnellement, chaque nation scientifique en concevait un, si ce n'est deux ou davantage dans certains cas. La France est l'exemple d'un pays qui possède deux modèles climatiques, tous les deux conçus dans les années 1990 par des institutions différentes, l'un développé par Météo-France et l'autre par le CNRS. Ces modèles ne sont pas construits de la même façon et peuvent reposer par certains aspects sur des hypothèses différentes. En effet, il n'existe pas une seule façon de représenter la réalité et les modèles demeurent souvent, pour une large part, dépendants des connaissances géographiques, physiques et climatiques des communautés scientifiques des pays dans lesquels ils sont élaborés. Par exemple, la France se caractérise par une très bonne connaissance météorologique des phénomènes cévenols, épisodes typiquement méditerranéens qui ne soulèvent pas le même intérêt pour les modélisateurs de l'autre côté de l'Atlantique que pour les modélisateurs européens. Les modèles climatiques illustrent alors bien la diversité des pratiques de modélisation au sein de la communauté scientifique. Les climatologues, du GIEC ou du *World Climate Research Program*, sont tous très attachés à la pluralité des modèles dans un souci de comparabilité des résultats. Des programmes de recherche centrés sur cette comparaison des modèles sont d'ailleurs organisés régulièrement dans ces organismes.

Bien que la tendance soit à la globalisation des modèles, il est important de garder un œil sur les déterminants locaux des phénomènes modélisés. La crise du coronavirus constitue un bon exemple de ce point, car au-delà du modèle global de contagiosité du virus, on a pu remarquer que l'épidémie se développait différemment selon les pays en raison notamment de phénomènes socio-culturels, qui touchent autant aux comportements qu'à la gouvernance.

³ Voir A.Dahan (sous la direction de), *Les Modèles du Futur*, Editions La Découverte, Paris. 2007.

Amy Dahan, dans votre ouvrage co-écrit avec Stefan C. Aykut qui s'intitule "Gouverner le Climat ? 20 ans de négociations climatiques", vous évoquez l'existence d'un « schisme de réalité » et déplorez « l'enclavement du climat ». Pouvez-vous revenir sur ces notions fondatrices ?

Face à la dégradation massive du climat et à l'urgence d'agir pour atténuer les conséquences du changement climatique, prévaut l'immobilisme de la gouvernance multilatérale onusienne, caractérisée par sa lenteur de prise en main des choses, qui contraste avec la concurrence économique et commerciale acharnées, pesant sur les ressources. Ce « schisme de réalité » a pu être à l'origine d'une certaine forme d'aveuglement sur les véritables déterminants des gaz à effet de serre. Par exemple, le terme « énergie » n'est pas présent dans le texte de l'Accord de Paris (ce qui est un comble), et reflète l'absence de discussions concrètes sur les moyens à mettre en œuvre pour diminuer les émissions des énergies fossiles à la source.

Le relatif échec du protocole de Kyoto illustre ce que j'appelle l'« enclavement du climat », la problématique du changement climatique n'étant traitée qu'à l'échelon global alors qu'une gouvernance polycentrique, s'exerçant à plusieurs échelons des territoires, nations et régions, serait bien plus efficace. L'échelle globale demeure incantatoire et la prise en main concrète et précise des problèmes n'intervient jamais dans les conférences internationales sur le climat, les COP (*Conference of Parties*). Néanmoins, ces conférences ont eu pour mérite de fonctionner comme chambres d'orchestration pour les sociétés civiles et de familiariser le plus grand monde au problème environnemental.

Aujourd'hui, quelle stratégie et quelle gouvernance pour lutter contre le changement climatique ?

Les scientifiques et les modélisateurs ont rempli leur rôle d'experts, publiant régulièrement des rapports spéciaux (GIEC), dans lesquels des recommandations de politiques publiques pour les décideurs sont émises. La nécessité de lutter contre le changement climatique ne fait plus débat chez les scientifiques, elle est l'objet d'un vaste consensus. Aujourd'hui, les projecteurs sont tournés vers la sphère politique : la transformation écologique de nos sociétés nécessite d'être portée par des visions politiques communes s'appuyant sur une gouvernance territoriale à tous les niveaux. Étant donné l'instabilité de la situation géopolitique actuelle, on ne peut compter sur les Etats-Unis ou la Chine, la seule stratégie de sortie de crise que l'on peut espérer est une stratégie de convergence des pays européens vers un *Green New Deal*. Face à la crise du coronavirus, des mécanismes de solidarité prometteurs au sein de l'Union Européenne ont été mobilisés (Mécanisme européen de stabilité, proposition d'un fonds de relance, etc.). On ne peut qu'espérer que ces mécanismes perdurent car l'enjeu de demain est de protéger l'Union européenne des concurrences chinoises et américaines afin de converger vers une économie verte. En France, je fonde des espoirs sur l'impact des travaux très importants de la Convention citoyenne pour le Climat et du rapport qui va en être issu. Il nous faut agir pour mettre cet ensemble de propositions au centre d'un débat public pour la transformation écologique de notre société. Mais il faut y ajouter une forte volonté politique à tous les échelons⁴.

⁴ [2018] La Climatation du monde, *Esprit*, 2018/1, n°441, pp 75-87.