



ELSEVIER

FORUMS



www.elsevier.com/locate/natsci

La modélisation : moment critique des recherches sur l'environnement[☆]

Models and modelling processes: a critical step for an environmental research

Hubert Kieken^{a,*}, Amy Dahan^b, Michel Armatte^c

^a Sciences de la gestion, Thésard, Engref, Département Environnement, Équipe RGTE-CIRED, 19, avenue du Maine, 75010 Paris cedex 15, France

^b Historienne des sciences, Centre Koyré, 27, rue Damesne, 75013 Paris, France

^c Statisticien-économiste, Centre Koyré, Pavillon Chevrol, 57, rue Cuvier, 75005 Paris, France

Reçu le 17 septembre 2002 ; accepté le 4 septembre 2003

MOTS CLÉS

Modèles ;
Modélisation ;
Modèles intégrés ;
Gestion de
l'environnement ;
Sciences sociales

Résumé Les nouvelles pratiques de modélisation qui ont émergé depuis vingt ans et les spécificités des enjeux de gestion de l'environnement appellent un renouveau du regard des sciences sociales sur les modèles et les processus de modélisation. La compréhension de ces pratiques nécessite en particulier d'historiciser et de sociologiser la notion de modèle pour rendre compte des communautés de modélisateurs ou d'usagers des modèles, et de leurs interactions. Déplacer l'attention de l'objet modèle vers les pratiques de modélisation permet de donner une place à l'ensemble des acteurs, modélisateurs ou non, qui participent au processus de modélisation. Ce changement de perspective est rendu d'autant plus nécessaire que les modèles sont développés dans une proximité croissante avec l'action, ce qui rend inéluctable la prise en compte des usages dans leur analyse. Ces constats fondent un programme de recherche qui fait l'objet d'une Action concertée incitative (ACI) financée par le ministère de la Recherche. Ce projet doit permettre de mieux caractériser ces objets complexes et de renouveler la compréhension du rôle joué par les modèles dans la gestion de l'environnement.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Model;
Modelling;
Integrated model;
Environmental
management;
Social sciences

Abstract Many new modelling practices appeared over the last 20 years. These innovations together with the idiosyncrasies of environmental management issues stimulate social sciences to renew their approach and adapt their analysis of models and modelling processes. In particular, the new modelling practices have to be analysed in a historical and sociological perspective in order to better understand the role of modellers and user communities, as well as their interactions. This shift in focus, from models as objects to modelling processes as sets of practices, enables to reinstate the role of the different

[☆] Une partie des idées exposées dans ce texte a été présentée par A. Dahan et M. Armatte en introduction du colloque « Modèles et modélisations, 1950-2000 : nouvelles pratiques, nouveaux enjeux » qu'ils ont organisé avec Bernard Walliser les 6 et 7 décembre 2001 (Armatte et Dahan, 2001, à paraître 2004a).

* Auteur correspondant.

Adresses e-mail : Kieken@engref.fr (H. Kieken), amy.dahan-dalmedico@damesme.cnrs.fr (A. Dahan), michel.armatte@dauphine.fr (M. Armatte).

actors of modelling processes. Such an evolution of perspective is all the more necessary since environmental models are developed in an ever-closer relationship with action. Dealing with modellers aiming - through their tools - to "change the world", social scientists have to take into account the models' implementation and the context of use. This opens the way for a proper understanding of both their nature and their role in environmental management. These observations provide the very basis of a research domain that has been explored far less by social scientist in France than in Anglo-Saxons countries. A large research project entitled "Modelling, Simulations and Complex Systems Management" and funded by the French Ministry of Research is trying to fill this gap. The project aims at: (a) exchanging experiences between many disciplines, as diverse as History of Sciences, Epistemology, Management Sciences, Communication Sciences, Environmental Economics, Urban Transportation Economics, Climate Modelling or Chemistry ; (b) developing common concepts and understanding of these new environmental modelling approaches, (c) improve our understanding and characterisation of complex models, and, (d) renew our understanding of the role and status of models in environmental management.

© 2003 Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Dans un précédent numéro de *Natures Sciences Sociétés*, Claudine Schmidt-Lainé et Alain Pavé (2002) ont proposé une analyse détaillée des enjeux liés à la modélisation, que ce soit dans le cadre de travaux de recherches sur l'environnement ou pour le développement d'une ingénierie et d'outils d'aide à la décision. Dans cette contribution, ils se sont attachés à montrer les différentes facettes de cette méthodologie, tout en pointant certaines des limites et des chausse-trappes auxquelles elle est parfois confrontée. Néanmoins, leur point de vue reflète principalement les enjeux rencontrés par les modélisateurs dans le développement de modèles traitant de la dynamique de systèmes naturels ou simulant le fonctionnement de systèmes techniques reposant sur des processus physiques. Par conséquent, il nous semble que les auteurs n'ont pas suffisamment insisté sur l'importance de certains enjeux liés, d'une part, aux spécificités des problématiques de gestion de l'environnement, d'autre part, aux particularités de nouvelles pratiques de modélisation qui ont émergé au cours des vingt dernières années. Nous nous proposons ici de présenter un point de vue complémentaire qui souligne certaines spécificités des démarches de modélisation pour la gestion de l'environnement, et qui intègre quelques réflexions plus générales développées par les chercheurs en sciences sociales s'intéressant aux modèles².

² Parmi les auteurs, H. Kieken fait actuellement une thèse en Sciences de gestion sur l'usage de modèles informatiques pour répondre à des enjeux de gestion de l'environnement, sous la direction de L. Mermet, professeur à l'Engref ; Amy Dahan, est historienne des sciences et a travaillé notamment sur l'histoire des modèles météorologiques ; Michel Armatte, statisticien-économiste, a étudié l'histoire de la modélisation économétrique. A. Dahan et M. Armatte sont coresponsables du séminaire

Modéliser des enjeux environnementaux

En premier lieu, et en reprenant la typologie des modèles proposée par Schmidt-Lainé et Pavé, l'analyse des contributions présentées au colloque IEMSS 2002³ montre que la part des interventions relevant de la catégorie « Interactions, économie et gestion de l'environnement et des ressources naturelles » est très supérieure à celle observée aux journées du Programme environnement, vie et société (PEVS) en 1996 ou dans les travaux du Cemagref (cf. Tableau 1). Ces modèles sont caractérisés par la volonté d'affronter la « complexité » des problèmes d'environnement et des interactions Natures-Sociétés. Ils sont confrontés à des difficultés théoriques et méthodologiques d'un « ordre supérieur » aux travaux focalisés sur les seules dynamiques des phénomènes naturels. Par exemple, le développement de « modèles intégrés » simulant simultanément des dynamiques naturelles, économiques et sociales ainsi que leurs interactions doit non seulement faire face à des enjeux similaires à ceux rencontrés par les modélisateurs travaillant sur les modèles de circulation générale⁴, mais également à des difficultés spécifiques liées à l'introduction de dynamiques humaines. Le statut des conjectures sur le long et le très long terme varie fortement selon les disciplines : au contraire

« Modèles et Modélisations en Sciences Physiques et Sciences Sociales » du Centre Alexandre Koyré depuis 1997.

³ Colloque organisé par l'*International Environmental Modelling and Software Society* qui s'est tenu à Lugano du 24 au 27 juin 2002. Les actes sont accessibles en ligne en format électronique : <http://www.iemss.org/iemss2002/>

⁴ En anglais : *General Circulation Model* (GCM) - modèles utilisés pour simuler le climat et couplant les dynamiques atmosphériques et océaniques.

Tableau 1 Répartition thématique des travaux de modélisation

	Nouvelles tendances en modélisation pour l'environnement (PEVS)	Les modèles pour l'environnement au Cemagref	Colloque IEMSS 2002
Dynamique du milieu physique, climatologie	32 (20 %)	11 (37 %)	47 (18 %)
Systèmes écologiques, dynamiques et génétique des populations	58 (36 %)	6 (20 %)	26 (10 %)
Systèmes techniques et environnement	12 (7,5 %)	9 (30 %)	60 (23 %)
Interactions, économie et gestion de l'environnement et des ressources renouvelables	31 (19 %)	1 (3 %)	68 (26 %)
Réflexions théoriques et méthodologiques	28 (17,5 %)	3 (10 %)	59 (23 %)

Les données sur le PEVS et le Cemagref sont tirées de l'article de Schmidt-Lainé et Pavé (2002). Les données IEMSS 2002 ont été produites par les auteurs à partir du programme définitif du colloque.

de nombreux processus naturels, il n'est ni sérieux ni légitime de prétendre faire des prévisions en matière de dynamiques humaines, en particulier lorsque les exercices de modélisation visent à fonder des « interventions actives sur les systèmes qui évoluent au cours du temps⁵ ». Un récent échange de points de vue dans la revue *Nature*, à propos des scénarios d'émissions du SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*), fournit une excellente illustration de cette problématique (Grübler et Nakicenovic, 2001 ; Schneider, 2001). Sur le plan épistémologique, une partie des pratiques scientifiques propres au développement de ces modèles ne correspond plus au « discours classique » sur les modèles. Celui-ci les décrit principalement comme des objets intermédiaires qui représentent un réel capturé à la fois par une théorie et par une observation quantifiée. L'usage intensif des ordinateurs, la nouveauté des approches que permet la simulation, la complexité des objets étudiés et l'absence de théorie complète pour ces objets interdisent de considérer ce « modèle des modèles » comme totalement valide. Ceci ne signifie pas qu'il n'existe plus de modèles conçus comme des instances intermédiaires dans la validation empirique de théories. Une part des travaux de modélisation mathématique en physique ou en biologie, aussi bien que la modélisation structurelle en économie (qui s'en inspire parfois), restent encore proches de cette conception des modèles. Ces exemples constituent néanmoins des « cas particuliers », et ils ne sont pas (plus) représentatifs de l'ensemble des pratiques de modélisation. Le besoin se fait donc sentir aujourd'hui d'analyses et de conceptions nouvelles qui prendraient en compte ces déplacements de pratiques et d'usages de la science contemporaine, en particulier dans le domaine de l'environnement⁶. Il s'agit donc de s'interroger sur les modalités

selon lesquelles ces modèles qui échappent à l'épistémologie classique sont développés, mis en œuvre et utilisés pour traiter - entre autres - d'enjeux environnementaux. Cette question s'avère d'autant plus importante que, comme l'ont fort justement souligné Claudine Schmidt-Lainé et Alain Pavé, les outils de modélisation jouent un rôle croissant dans les politiques de gestion de l'environnement, que ce soit pour l'aide à la décision ou à la négociation.

Étudier les modèles tels qu'ils se font

Notre conviction est que dans tout modèle se trouvent mêlés des éléments cognitifs et des éléments sociaux ; et de plus, cette articulation du cognitif et du social se construit et se reconfigure au cours d'un processus d'assez longue durée et au sein d'une communauté de modélisateurs et d'utilisateurs des modèles. Pour mieux cerner les rapports entre pratiques scientifiques et effets de connaissance, il est nécessaire d'historiciser et de sociologiser la notion de modèle, c'est-à-dire la restituer comme activité humaine de modélisation dans son environnement institutionnel, technique et politique. À titre d'exemple, il existe d'importantes filiations directes ou indirectes entre les « modèles globaux⁷ » développés dans les années 70 et les modèles d'évaluation intégrés (RAINS⁸, IMAGE⁹, DICE/

⁷ La notion de « modèles globaux » se réfère ici au concept anglais de *global modelling* qui désigne la série de modèles développés à partir du modèle *World 2* de Forrester (1971) et du premier rapport du Club de Rome (Meadows et al., 1972).

⁸ Conçu en 1983, ce modèle est depuis 20 ans le principal outil d'évaluation mobilisé pour les négociations internationales liées à la Convention sur les pollutions atmosphériques Transfrontalières à longue distance. Il a également été utilisé par la Commission européenne pour l'élaboration de sa stratégie de lutte contre l'acidification, ainsi que pour différents textes liés à la directive cadre sur la qualité de l'air.

⁵ J.-L. Lions, cité in Schmidt-Lainé et al., *op. cit.*

⁶ Voir aussi Armatte et Dahan (2004b)

RICE¹⁰, etc.). Les modalités de développement de RAINS ont été fortement influencées par l'évaluation de l'expérience des modèles globaux (Alcamo et al., 1984 ; Kieken, 2004). J. Alcamo, directeur adjoint de l'équipe RAINS de 1983 à 1989, a quitté l'Institut International pour l'Analyse des Systèmes Appliqués (IIASA) pour lancer le projet IMAGE 1.0 au RIVM¹¹ en 1989. Parmi les évolutions significatives du modèle IMAGE dans sa version actuelle figure l'inclusion du module TIMER qui simule le système énergétique mondial. TIMER est un modèle de « dynamique des systèmes » dont la conception s'inspire directement de l'approche adoptée par Forrester et Meadows pour élaborer les premiers modèles globaux en 1971-1972 (Meadows et al., 1972 ; de Vries, 2002). Dans la réflexion théorique sur les modèles, il paraît donc nécessaire de redonner une place aux acteurs de la modélisation, scientifiques de disciplines diverses mais également acteurs de l'espace social, en interactions complexes. Dans un grand nombre de configurations, il est d'ailleurs possible de s'interroger sur la pertinence de la notion même de « modèle ». Loin de désigner un objet parfaitement défini, stable et précis, l'étude des pratiques de modélisation met en évidence des modèles changeants, malléables, qui s'adaptent (et sont adaptés) aux différents contextes de leur mise en œuvre. À titre d'illustration, l'évolution du « modèle » RAINS, utilisé depuis près de vingt ans comme outil d'évaluation pour la plupart des politiques liées à la pollution atmosphérique en Europe, a été telle que la signification de l'acronyme a été modifiée : de *Regional Acidification Information and Simulation* en 1984, RAINS est aujourd'hui le modèle *Regional Air pollution Information and Simulation* ! (Kieken, 2004). Dans de nombreuses situations, il nous semble donc plus pertinent de nous intéresser au « jeu de la modélisation » dans lequel l'objet modèle n'est qu'un des nombreux éléments de la démarche d'ensemble. Il s'agit alors autant d'étudier le modèle d'un système complexe que la construction sociale de cet objet par une communauté variée, communauté qui intègre des chercheurs issus de différentes disciplines, des producteurs d'informations et de données, des com-

manditaires et des utilisateurs (gestionnaires, décideurs, politiques...). Les modèles construits sur des systèmes composites, comme le sont toujours – par définition – les systèmes environnementaux, sont en effet le plus souvent le fruit d'un travail collectif dans lequel interviennent plusieurs groupes scientifiques avec leurs logiques disciplinaires ou leurs impératifs propres et qui doivent se coordonner localement. C'est conjointement que se construisent et se reconstruisent les modèles et les groupes d'acteurs – scientifiques et non-scientifiques – impliqués dans une même pratique de modélisation. Ce caractère à la fois collectif et co-construit est l'un des éléments majeurs, qui exige de déplacer le projecteur du seul objet-modèle vers les pratiques de modélisation.

Modèles, ordinateur et logiciels

Comme cela a été bien identifié dans l'article précédent, l'ordinateur a joué un rôle central dans le développement de la modélisation. L'informatique, en effet, a non seulement permis de traiter des problèmes plus complexes, mais elle a également favorisé l'extension du champ des objets accessibles à la modélisation – par exemple, en favorisant la rencontre interdisciplinaire évoquée précédemment – et conduit à l'apparition de nouvelles formes de modélisation. Mais cette dimension informatique introduit également de nouveaux enjeux liés au « cycle de vie » des logiciels. Le processus de construction progressif, par ajout de « couches » successives correspondant aux contributions des divers chercheurs et programmeurs ayant participé au projet, introduit des facteurs supplémentaires d'incertitude : comment est assurée la maintenance du modèle-logiciel ? Les « bugs » de programmation ont-ils tous été détectés ? Les modifications de code, réalisées 5 ans auparavant, dans un contexte donné, sont-elles toujours pertinentes ? Se souvient-on toujours des raisons qui ont conduit à ces modifications ? etc. Ces questions sont d'autant plus importantes que, pour certains « gros » modèles fortement intégrés, personne n'est plus à même de maîtriser l'ensemble des modules qui les composent. Ces enjeux de cycle de vie du logiciel sont également cruciaux au regard d'une pratique fréquente qui consiste à réutiliser les modules d'un projet pour d'autres modèles : ils fonctionnent alors souvent comme des « boîtes noires » pour les chercheurs qui les mobilisent. Ces questions de « contrôle qualité » sur le long terme sont enfin critiques en raison du rôle croissant joué par les modèles dans l'acquisition de données qui a été souligné par C. Schmidt-Lainé et

⁹ *Integrated Model to Assess Greenhouse Effect*, développé par le RIVM (Pays-Bas). IMAGE est probablement le modèle d'évaluation intégré de l'impact du changement climatique le plus connu et le plus « complexe » développé à ce jour.

¹⁰ Modèles développés par W. D. Nordhaus. DICE : *Dynamic Integrated model of Climate and the Economy*. RICE : *Regional Integrated model of Climate and the Economy*. Voir par exemple : Nordhaus et Boyer (2000).

¹¹ L'Institut royal néerlandais pour la santé publique et l'environnement.

A. Pavé. À ce titre, l'exemple de la « non-détection » du trou d'ozone par les satellites de la Nasa du fait de la correction des mesures par les ordinateurs qui les considéraient aberrantes constitue un cas d'école (Edwards, 1996b ; Sparling, 2002).

L'informatisation a donc fortement renforcé l'autonomie des modèles déjà identifiée par Morgan et Morrison (2000) pour des pratiques de modélisation proches de « l'épistémologie classique ». Cette autonomisation du modèle-logiciel peut devenir très forte, comme l'illustre la situation suivante rapportée par un modélisateur rencontré au cours d'une étude de cas : un modèle de bassin versant a été produit dans le cadre d'un contrat de recherche. A posteriori, la majorité des chercheurs ayant travaillé à son développement considèrent que l'approche sous-jacente, et donc le modèle, sont peu pertinents. Néanmoins, parce qu'il existe, le modèle est fréquemment utilisé pour répondre à des appels d'offres ! Le modèle-logiciel a donc non seulement acquis une certaine autonomie, mais sa simple existence au sein d'un laboratoire de recherche semble également lui conférer une forme de légitimité.

Ces configurations illustrent parfaitement les limites de la notion classique de « représentation » et de la conception dite sémantique des modèles qui ne rendent pas compte de façon satisfaisante de ces constructions hétéroclites, qui agglutinent des éléments issus de théories distinctes mais peuvent également mobiliser d'autres savoirs ou savoir-faire très peu théoriques. Il nous faut donc prendre acte de la dimension désunifiée de la science contemporaine. Cet impératif est renforcé par la tendance fréquemment observée d'instrumentalisation de la modélisation, qui incite chercheurs et politiques à utiliser les modèles comme des outils de gestion des problématiques environnementales. Mais, par les traitements de problèmes qu'il est le seul à permettre, l'ordinateur apparaît néanmoins comme l'outil déterminant pour se saisir de cette dés-union¹².

Des modèles pour façonner le réel

Si les modèles ont toujours combiné des fonctions heuristiques, d'imagination, de simulation et de « prévision », cette dernière fonction est aujourd'hui dans une proximité croissante avec l'action. Les conjectures sur le futur sont souvent

conçues dans la perspective d'une action ou d'une décision. Parce que nous constatons à l'évidence que beaucoup de modèles sont inscrits dans un projet d'action ou de connaissance orientée, juger de la validité ou des bonnes performances d'un modèle ne peut se faire sans l'identification de cet aval : l'usage du modèle pour les objectifs de transformation et d'opération sur le réel. Cette fonction pragmatique des modèles, outils pour l'action, met en évidence les enjeux techniques et sociaux de tout discours épistémologique sur les modèles. Toute épistémologie des modèles et des simulations qui cherche à éclairer le socle à partir duquel on leur donne foi, doit au minimum conjuguer les approches en termes de connaissance et d'action, pour rendre compte des dynamiques conjointes, intellectuelles et sociales, dans lesquelles les pratiques de modélisations numériques s'inscrivent.

Nous considérons donc qu'il convient d'envisager les modèles non plus seulement pour ce qu'ils sont, ni même seulement pour ce qu'ils font, mais aussi pour ce à quoi ils servent. Ces contextes de mises en œuvre, qui restent souvent implicites, peuvent d'ailleurs s'avérer déterminants dans l'orientation des travaux des modélisateurs, y compris dans les choix les plus techniques du développement des modèles (Kieken, 2003). Les travaux de modélisation qui relèvent de paradigmes proches de la recherche opérationnelle intègrent d'ailleurs explicitement les éléments du contexte de mise en œuvre dans le développement de leurs modèles afin de renforcer l'utilité de ceux-ci pour la décision. Reconnaître les divergences entre modèles, admettre qu'il n'y ait pas pour un système complexe donné un modèle meilleur que tous les autres quel que soit le problème à résoudre, être conscient des incertitudes ou des effets de séduction éventuellement pervers des modèles est donc devenu une des exigences cruciales de la réflexion et du débat critique vis-à-vis des sciences et de leurs usages sociaux.

Mais cette exigence n'est pas seulement celle de travaux portant un regard critique sur la modélisation. Elle concerne également les modélisateurs eux-mêmes qui, comme l'ont souligné Claudine Schmidt-Lainé et Alain Pavé, ont une responsabilité vis-à-vis de leurs modèles et de l'usage qui en est fait. Or, même lorsqu'ils n'ont pas été conçus avec une visée explicitement gestionnaire, les modèles peuvent être amenés à jouer un rôle important dans les processus de décision publique ou d'expertise. Par ailleurs, de nombreuses problématiques environnementales sont caractérisées par l'incomplétude ou l'incertitude de nos connaissances. Dans ce contexte, le chercheur est confronté à une alter-

¹² Voir Armatte et Dahan (2004b).

native consistant soit à se cantonner strictement à son domaine disciplinaire (et donc à s'interdire de participer au débat), soit à mobiliser ses connaissances dans le processus de décision, de concertation ou de négociation (en s'autorisant alors une prise de parole qui sort *de facto* du registre de sa stricte légitimité scientifique). Cette réflexion sur les conditions de production et d'utilisation des modèles concerne aussi directement les modélisateurs.

Un exemple de déclinaison concrète de cette exigence peut être proposé à propos de l'étude des incertitudes dans les modèles. Les travaux d'analyse d'incertitudes les plus courants se concentrent sur (a) la sensibilité des résultats aux variations des paramètres du modèle ou, (b), l'estimation des erreurs liées aux données et de leur propagation par le modèle. Mais l'analyse des incertitudes dans les exercices de modélisation peut être conçue de façon beaucoup plus large, en intégrant par exemple :

- l'analyse des incertitudes liées à la nature des consensus qui prévalent sur les valeurs des paramètres utilisés par les modèles ;
- l'évaluation de la pertinence des différents ancrages théoriques mobilisés par le modèle, voire une mise en discussion de la structure même du modèle ;
- l'identification de « lacunes » dans notre connaissance des systèmes.

Il n'existe à ce jour aucun cadre théorique ou méthodologique qui intègre l'ensemble de ces réflexions sur la généralisation de la notion "d'incertitude". Un projet développé autour du modèle TIMER (le module énergétique de IMAGE) fournit néanmoins une illustration intéressante du type d'analyse qui peut résulter de ces interrogations sur les incertitudes dans les processus de modélisation (Van der Sluijs et al., 2001).

Un programme de recherche

Face à ces constats, il nous a semblé important de renforcer notre compréhension des pratiques de modélisation. Il est en particulier frappant de constater que très peu de travaux de sciences sociales ont été consacrés à la question de ces nouvelles pratiques en France, bien qu'ils aient été sensiblement plus nombreux à l'étranger¹³. Il est ainsi très

¹³ Voir par exemple les travaux de Wynne (1983, 1984), Edwards (1996a, b, 2000, 2001), Shackley et al. (1997, 1998, 1999, 2001), Ravetz (1999), Morgan et Morrison (2000), Pilkey (2000), Lahsen (2001), Van der Sluijs (2002) ou Sismondo (1999a,

difficile de savoir qui fait quoi, où et comment, même en se limitant au seul domaine des recherches sur l'environnement. La reconstruction des dynamiques de développement des modèles informatiques (par exemple, sous la forme de l'identification des versions successives, des usages qui en ont été faits, des modifications intervenues entre-temps, etc.) s'avère compliquée. Il existe peu de publications suffisamment interdisciplinaires et précises sur les recherches menées depuis une vingtaine d'années sur ce type d'objet. La bibliographie est souvent éclatée, les éléments précis relatifs aux moyens humains, aux outils de calculs et de simulation mobilisés, aux contrats et moyens financiers selon les sources et les périodes, aux formes de collaborations entre centres, à la division du travail intra et inter-laboratoires et aux modalités de mobilisation de ces savoirs dans la décision publique et privée sont difficilement accessibles.

Pour tenter de résoudre ces difficultés, il semble aujourd'hui nécessaire de développer des travaux de terrain et des études de cas. C'est en particulier l'objet d'un programme de recherche, accepté dans le cadre de l'Action concertée incitative (ACI) *Terrains, techniques, théories* du ministère de la Recherche. Ce projet rassemble des équipes pluridisciplinaires comprenant des modélisateurs et des chercheurs des sciences humaines et sociales¹⁴. Leurs objectifs dans l'analyse des travaux de modélisation consistent à ré-introduire :

1. l'histoire du développement des modèles et des pratiques de modélisation ;
2. les acteurs (du développement et de la mise en œuvre des modèles, comme du processus de décision) ;
3. les contextes d'utilisation.

Afin de faciliter cette mise en perspective des modèles avec les contextes d'action pour lesquels ils sont mobilisés, l'objectif est de concentrer les recherches sur des « communautés de modélisation », c'est-à-dire des groupes d'acteurs et d'institutions impliqués dans le développement et la mise en œuvre d'une famille de modèles ou d'un modèle particulier. Au moins trois approches com-

b). Parmi les recherches existantes en France, on peut noter les travaux de Bouleau (1999), Dahan (2001) ou Nouvel (2002) ; les thèses en cours de F. Varenne et H. Kieken ; et le dossier « Modèles et modélisations » de la *revue d'Histoire des Sciences* coordonné par A. Dahan et M. Armatte (2004)

¹⁴ Ce projet regroupe plus de 15 chercheurs autour de 4 équipes principales : Le Centre Alexandre Koyré (M. Armatte, A. Dahan, H. Guillemot), le CIREL (P. Matarasso, V. Journe, H. Kieken), le LATTIS (N. Bouleau, K. Chatziz) et le LMD (J.Y. Grandpeix, A. Lahellec, H. Le Treut)

plémentaires peuvent être envisagées pour étudier ces communautés :

- a) l'illustration de la diversité des pratiques par une cartographie des différentes approches utilisées pour modéliser un objet donné ;
- b) l'analyse de la dynamique des démarches de modélisation au travers de l'histoire de « modèles paradigmatiques » qui ont fortement marqué leur domaine ;
- c) l'étude du rôle des modèles dans l'élaboration des décisions de gestion de l'environnement à partir de quelques cas concrets.

Ces trois regards sont largement complémentaires, et le choix de l'une ou l'autre approche dépend, entre autres, des objets considérés. Un des objectifs du projet réside dans le développement d'une grille d'analyse commune permettant d'articuler et de confronter ces différents points de vue afin : (1) de reformuler certaines questions transverses de la modélisation telles que les tensions récurrentes entre simplification et complexité, caractère heuristique et prédictif, visée fondamentale et appliquée ; (2) d'ébaucher des réponses aux questions plus fondamentales qui sont celles de la problématique de la recherche : quelles sont les caractéristiques précises de ces objets dits complexes, quelles sont celles des modèles utilisés, comment se passe dynamiquement leur co-construction par les acteurs, comment s'organise leur critique, leur validation et leur mobilisation dans le débat public, leur place dans une démocratie technique réelle ou en projet (forums hybrides)...

Notons enfin que ces travaux relatifs aux liens entre modélisations et prises de décision dans l'espace public devraient pouvoir donner lieu à échanges et confrontations avec les travaux relatifs aux rapports analogues entre science et expertise dans d'autres domaines (organismes génétiquement modifiés, etc.), en introduisant les dispositifs techniques constitués par les modèles dans ce type de réflexion.

Références

- Alcamo, J., Kauppi, P., Posch, M., Runca, E., 1984. Acid Rain in Europe: a framework to assist decision making. IIASA, Laxenburg.
- Armatte, M., Dahan, A., 2001. Penser les modèles, décrire les pratiques, où en est-on ? Colloque du Centre Koyré au Musée Curie, Paris.
- Armatte, M., Dahan, A., 2004a. Modèles et Modélisations, 1950-2000: Nouvelles pratiques, nouveaux enjeux. *Revue d'Histoire des Sciences* 57, 1.
- Armatte, M., Dahan, A., 2004b. Modèles : un panorama réflexif - Revue bibliographique. *Revue d'Histoire des Sciences* 57, 1.
- Bouleau, N., 1999. Philosophies des mathématiques et de la modélisation. L'Harmattan, Paris.
- Dahan, A., 2001. History and Epistemology of Models : Meteorology (1945-63) as a Case-Study. *Archive for History of Exact Sciences* 55, 395-422.
- Dahan, A., Armatte, M. (Eds) 2004. Dossier « Modèles et modélisations ». *Revue d'Histoire des Sciences* 57, 1.
- Edwards, P.N., 1996a. Global Comprehensive Models in Politics and Policymaking. *Climatic Change* 32 (2), 149-161.
- Edwards, P.N., 1996b. Models in the Policy arena. *Elements of Change* 1996. Aspen Global Change Institute.
- Edwards, P.N., 2000. The world in a machine: origins and impact of early computerized global systems models. In: Hughes, A.C., Hughes, T.P. (Eds), *Systems, Experts, and Computers : The Systems Approach in Management and Engineering, World War II and After*. MIT Press, pp. 221-254.
- Edwards, P. N., 2001. Representing the Global Atmosphere: Computer Models, Data, and knowledge about Climate Change. In: Miller, C.A., Edwards, P.N. (Eds), *Changing the Atmosphere - Expert knowledge and Environmental Governance*. The MIT Press, Cambridge, pp. 31-66.
- Forrester, J.W., 1971. *World Dynamics*. Wright-Allen Press, Cambridge - Massachusetts.
- Grübler, A., Nakicenovic, N., 2001. Identifying dangers in an uncertain climate - We need to research all the potentials outcomes, not try to guess which is likeliest to occur. *Nature* 412, 15 (5 July 2001).
- Kieken, H., 2004. Le modèle RAINS : Des pluies acides aux pollutions atmosphériques, construction, histoire et utilisation d'un modèle dans les négociations internationales. *Revue d'Histoire des Sciences* 57, 1.
- Kieken, H., 2003. Le rôle des modèles dans la gestion de l'environnement. Le statut épistémologique de la simulation, ENST 2003 S001. Publications de l'École nationale supérieure des télécommunications, Paris.
- Lahsen, M., 2001. Global Climate Models: Capturing Earth in a box, an anthropologist account. Colloque « Modèles et modélisations, 1950-2000 : nouvelles pratiques, nouveaux enjeux », Musée Curie, Paris.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W., 1972. Rapport sur les limites de la croissance. Halte à la croissance ? Fayard, Paris.
- Morgan, M.S., Morrison, M. (Eds) 2000. *Models As Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Nouvel, P. (Ed.) 2002. Enquête sur le concept de MODELE. Coll. « Science, Histoire et Société ». PUF, Paris.
- Nordhaus, W. D., Boyer, J., 2000. *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. MIT Press.
- Pilkey, O. H., 2000. What you know can hurt you: predicting the behavior of nourished beaches. In: Sarewitz, D., Pielke, R. A., et al. (Eds), *Prediction - Science, Decision Making, and the Future of Nature*. Island Press, Washington, pp. 159-184.
- Ravetz, J., 1999. Models as metaphors, ULYSSES Working Paper, WP-99-3. Darmstadt University of Technology.
- Schmidt-Lainé, C., 2002. Environnement : modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire. *Natures Sciences Sociétés* 10 (Supl. 1), 5-25.
- Schneider, S. H., 2001. What is 'dangerous' climate change? - To combat global warming, we must first assess just how likely it is to occur. *Nature* 411, 17-19.
- Shackley, S., 2001. Epistemic Lifestyles in Climate Change Modeling. In: Miller, C.A., Edwards, P.N. (Eds), *Changing the Atmosphere - Expert knowledge and Environmental Governance*. MIT Press, Cambridge, UK, 107-134.
- Shackley, S., Darier, E., 1998. Seduction of the Sirens: global climate change and modelling. *Science and Public Policy* 25 (5), 313-325.

- Shackley, S., Evans, R., 1997. The use of Models in Policy Making: towards a comparison and evaluation of experiences. Conférence CSEC, Université de Lancaster (10-11 avril 1997).
- Shackley, S., Risbey, J., Stone, P., Wynne, B., 1999. Adjusting to policy expectations in climate change modeling: An interdisciplinary study of flux adjustments in coupled atmosphere-ocean general circulation models. *Climatic Change* 43 (2), 413-454.
- Sismondo, S. (Ed.), 1999a. Modeling and Simulation. *Science in context*, 12, 2 (special issue).
- Sismondo, S., 1999b. Models, simulations, and their objects. *Science in context* 12 (2), 247-260 (special issue).
- Van der Sluijs, J. P., 2002. A way out of the credibility crisis of models used in integrated environmental assessment. *Futures* 34, 133-146.
- Van der Sluijs, et al., 2001. Uncertainty assessment of the IMAGE/TIMER B1 CO2 emissions scenario, using the NUSAP method. RIVM, Bilthoven, NL.
- Sparling, B., 2002. Ozone Depletion, History and politics, NASA - Educational Resources.
- De Vries, B., 2002. Le modèle IMAGE. Séminaire « Modèles et modélisations en sciences physiques et sciences sociales » 3 décembre 2002. Centre A. Koyré.
- Wynne, B., 1983. Models, Muddles and Megapolicies: The IIASA Energy Study as an Example of Science for Public Policy. IIASA, Laxembourg.
- Wynne, B., 1984. The institutional Context of Science, Models, and Policy: The IIASA Energy Study. *Policy Sciences* 17, 277-320.

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®