

Dans: Laurent Mermet (dir.):
"Études de l'écologie future - un chantier ouvert pour
les recherches prospectives environnementales", Lavoisier-Laurent,
PIÉ - Peter Lang, 2005

CHAPITRE VIII

Le rapport Meadows sur les limites de la croissance

Un exemple archétypal de débat prospectif fondé sur une modélisation

Hubert KIEKEN et Laurent MERMET

La controverse sur les « *Limites de la croissance* » provoquée par la publication du rapport Meadows (Donella H. Meadows *et al.*, 1972a) constitue un exemple particulièrement riche de forum prospectif basé sur des exercices de modélisation. D'un certain point de vue, cette étude du MIT (Massachusetts Institute of Technology) pour le Club de Rome a marqué un double tournant, tant pour les recherches sur l'environnement que pour la prospective (Bell, 2001). Après la publication de ce rapport, non seulement il n'est plus possible d'ignorer les enjeux globaux du développement, mais une nouvelle approche de la prospective a également été inventée autour de modèles informatiques simulant des dynamiques planétaires. Ces modèles mettent l'accent sur des approches globales, holistiques et non-linéaires permettant d'étudier des phénomènes ignorés jusqu'alors, car considérés comme trop complexes. Nous nous proposons de revenir sur ce débat historique pour illustrer certains enjeux caractéristiques des forums prospectifs fondés sur des simulations par des modèles informatiques. Notre objectif n'est pas de retracer l'histoire de cette controverse, ni de proposer une nouvelle discussion des diverses thèses mobilisées dans ce débat. Toutes deux sont largement documentées, comme la bibliographie de cette section permet de le constater, alors même qu'elle ne reprend qu'une infime partie des flots d'encre qu'a fait couler ce premier rapport du Club de Rome. Notre but est donc plutôt de proposer, sur le débat ouvert par le rapport, une analyse qui mette l'accent sur le rôle joué par les modèles et sur les enjeux liés au statut singulier de la modélisation dans la constitution de forum prospectif.

Dans une première partie, nous rappellerons succinctement l'histoire de cette controverse, depuis la constitution du Club de Rome et les débats méthodologiques qui l'ont accompagnée jusqu'à la publication

du rapport *Limits to Growth* (Donella H. Meadows *et al.*, 1972). Nous analyserons ensuite certains aspects du débat prospectif en mettant en évidence la diversité des controverses qui l'ont animé et, de façon sous-jacente, la confrontation des « visions du monde » qu'elles ont révélées. Cette analyse nous amènera à postuler que la principale fonction du forum prospectif est l'explicitation de la vision du fonctionnement du Monde propre à chacun des acteurs du débat. Dans ce contexte, les modèles ne doivent pas être perçus comme des outils de prévision à long terme, mais comme des instruments dont la fonction principale est de clarifier et de renforcer la cohérence des points de vue mis en débat.

1. Du Club de Rome au modèle *World 3*

a. Une rapide histoire du Club de Rome¹

Né de la rencontre entre Aurélio Peccei et Alexander King, le Club de Rome est avant tout le lieu où ces deux hommes – et ceux qui les ont rejoint au cours du temps – partagent et discutent leurs interrogations sur le devenir du Monde.

[Il a pour] ambitieux projet d'aider à comprendre et maîtriser le futur, face aux contradictions éclatantes du devenir de l'humanité, et parce qu'il n'est plus possible d'ignorer l'impérieuse nécessité d'une approche globale des interactions techniques, sociales, économiques, politiques de notre monde (Lattes, 1972).

N'y a-t-il pas une contradiction entre la croissance exponentielle des activités humaines et le caractère irrémédiablement fini de la planète qui nous héberge ? Nos expansions ne se font-elles pas aux dépens de la préservation des ressources qui les alimentent ? Comment appréhender la complexité de la dynamique du Monde, les interactions entre les politiques locales et les échanges globaux ? Comment inverser la tendance qui fait s'accroître chaque jour le fossé qui sépare les Pays du Nord des Pays en voie de développement ?

Ces préoccupations partagées par les deux hommes ont contribué à leur rencontre en 1966. Convaincus qu'aucun organisme international n'est à même de traiter ces questions, constatant l'absence de recherche sur les sujets qui les préoccupent² et n'ayant pas réussi à convaincre les

¹ Ce parcours historique est plus particulièrement inspiré des ouvrages suivants : *Le Club de Rome*, enquête de J. Delaunay (1972) ; *A Brief History to the Club of Rome*, proposée par le site Internet du Club de Rome (Prince Hassan de Jordanie) ; diverses contributions de J.R. Whitehead (2000 ; 1994 ; 1995a ; 1995b).

² « Parvenir à comprendre comment fonctionnent les systèmes globaux, et comment s'établit l'interdépendance de leurs éléments : tel est bien l'objectif essentiel du Club de Rome. Lorsque en 1968, nous avons commencé à en discuter, nous étions avant

nations les plus riches de les suivre dans leur projet, ils mobilisent leurs réseaux personnels pour lancer des recherches sur le devenir de l'humanité. Le *Club* est donc fortement marqué par la personnalité de son principal mentor, A. Peccei³. La première grande réunion (financée par la Fondation Agnelli⁴) a lieu les 6 et 7 avril 1967 à Rome, donnant son nom au groupe en cours de constitution (Whitehead, 1995a ; 2000). De 1967 à 1969, les réunions se multiplient, les enjeux sont précisés et regroupés au sein de la notion de *problématique globale* ou *problématique mondiale*⁵. Le nombre de sympathisants du Club s'accroît avec – entre autres – le ralliement de Eduard Pestel qui jouera un rôle important par la suite. Mais les membres du Club ne parviennent pas à transformer cette dynamique en un programme opérationnel.

Le premier espoir vient de la rencontre avec Eric Jantsch, spécialiste de la prévision technologique. Mais le langage de cette discipline ne convainc pas les sympathisants du Club. En 1969, la rencontre de Hasan Ozbekhan, un spécialiste d'analyse des systèmes redonne espoir à Peccei qui commence à désespérer de déboucher sur des actions concrètes. Il l'embauche comme consultant pour développer la *problématique*. Ozbekhan présente son programme de travail au comité exécutif du Club qui se réunit en décembre 1969 à Vienne. Là encore, le langage utilisé ne convainc pas : trop philosophique, trop jargonnant. Si le travail d'Ozbekhan semble offrir un grand potentiel pour l'analyse de la *problématique*, il ne répond pas à un objectif essentiel pour le Club de Rome : mettre en forme les problèmes étudiés pour les rendre intelligibles et acceptables par le plus large public possible (Whitehead, 1994 ; 2000). Selon Whitehead⁶, le désespoir de Peccei est alors total. À l'issue d'une longue concertation, les principaux animateurs du Club, décident néanmoins de donner une seconde chance à Ozbekhan.

Malgré l'échec relatif de ses travaux, le groupe franchit des étapes décisives au cours de cette réunion. Le Club est constitué en entité légale, et Djerman Gvishiani adhère au Club. Ce dernier est vice-président du comité des sciences et des technologies de l'Union soviéti-

tout sensibles à l'absence de toute recherche fondamentale, sur l'interaction entre les grands problèmes qui viennent assaillir la société humaine, et au fait qu'il n'en est pratiquement pas tenu compte, chaque fois qu'il s'agit de définir une politique et de la mettre en œuvre dans ces domaines », extrait des *Commentaires* de Peccei et King au « Second rapport au Club de Rome » (Peccei et King, 1974).

³ Industriel italien de talent, A. Peccei a été vice-président d'Olivetti, directeur de Fiat en Amérique du Sud, un des fondateurs d'Alitalia, d'Italconsult, etc.

⁴ La famille Agnelli est le principal actionnaire du groupe Fiat.

⁵ Terme introduit par Eric Jantsch. En anglais, *problematique* ou *world problematique*.

⁶ J.R. Whitehead, physicien, est membre du *Club de Rome* depuis 1970, et l'un des fondateurs et principaux animateurs de la branche canadienne du *Club de Rome*.

que. Il deviendra par la suite l'un des fondateurs de l'IIASA⁷ dont la création doit également beaucoup – à ses débuts – à Aurelio Peccei (Whitehead, 1995b)⁸.

La première réunion annuelle de l'association nouvellement constituée se tient à Berne en juin 1970. À cette occasion, Ozbekhan présente une version révisée de son projet d'étude de la *problématique*. Comme lors de sa première tentative, son exposé reçoit un accueil sceptique. La forte empreinte des sciences sociales dans le langage et les formules utilisées engendrent un sentiment de défiance sur la portée opérationnelle du discours. Le scepticisme s'installe à nouveau, renforcé par le sentiment que Peccei a épuisé sa dernière cartouche, jusqu'à ce qu'une proposition concrète fasse renaître l'espoir. Le professeur J. Forrester qui développe des modèles dynamiques pour les problèmes industriels (*Industrial dynamics*) et urbains (*Urban dynamics*) propose d'adapter ses travaux aux problèmes mondiaux en réalisant un modèle mondial (*World Dynamics*, Forrester, 1989). La méthode, rodée, rassure et réveille l'intérêt de l'assemblée. Les participants reconnaissent les mots et les raisonnements. La proposition apparaît suffisamment solide pour que les principaux membres du Club se rendent au MIT quinze jours plus tard afin d'évaluer plus avant les perspectives offertes par l'approche proposée (Delaunay, 1972). En deux semaines, Forrester a adapté ses outils à la *problématique* mondiale. Le modèle qu'il présente répond aux principaux critères du cahier des charges du Club de Rome : il propose une analyse holistique du système plutôt qu'une étude de chacune de ses parties, il synthétise des variables éparses en une image globale et il facilite la communication des résultats de la recherche vers un large public. L'équipe du Club de Rome est convaincue. Pestel défend le projet auprès de la fondation Volkswagen et obtient un budget de 200 000 dollars pour développer les recherches du MIT.

Grâce à ce financement, une équipe internationale de dix-sept chercheurs est installée dans les bureaux du *Systems Dynamics Group* au MIT. Pendant dix-huit mois, cette jeune équipe poursuit deux tâches : raffiner le modèle développé par Forrester⁹ et collecter des données pour

⁷ *International Institute for Applied Systems Analysis*. Installé à Vienne, ce centre de recherche est la première institution scientifique faisant l'objet d'une coopération Est-Ouest en pleine période de Guerre froide.

⁸ « *Several years ago representatives of the US, the USSR and the UK met to discuss the possibility of creating an institute to develop the techniques of systems analysis suitable for application to major current world problems. These talks were catalyzed, like those in the Club of Rome, by the personal efforts of Aurelio Peccei who was not later visibly associated with the initiative* » (Whitehead, 1995, *op. cit.*).

⁹ Ce modèle, intitulé *World 2*, a été présenté de façon détaillée par son auteur dans *World Dynamics* (Forrester, 1971).

alimenter le modèle (*World 3*). Le résultat de leur travail fait l'objet du premier rapport du Club de Rome : *Limits to Growth* (Donella H. Meadows *et al.*, 1972a)¹⁰. Il est suivi par la publication en 1973 d'un recueil d'articles liés à la problématique (*Toward Global Equilibrium : Collected Papers*, Dennis L. Meadows et D.H. Meadows, 1973), puis d'une présentation quasi exhaustive du modèle en 1974 (*Dynamics of Growth in a Finite World*, D.L. Meadows *et al.*, 1974)¹¹. L'ambition de ce dernier ouvrage est impressionnante : il présente non seulement le processus de construction du modèle, mais détaille également sa structure, l'ensemble des équations qui le composent et les données utilisées. L'exercice de prospective conduit par l'équipe Meadows se caractérise par une grande transparence qui a favorisé la mise en place d'une controverse riche et ouverte. Les débats suscités par la publication du premier rapport du Club de Rome se sont ainsi déroulés sur de multiples plans, de la discussion des résultats des modèles et de leurs interprétations (Cole *et al.*, 1973), à l'analyse du choix des techniques de modélisation (Thissen, 1978).

b. Le modèle *World 3*

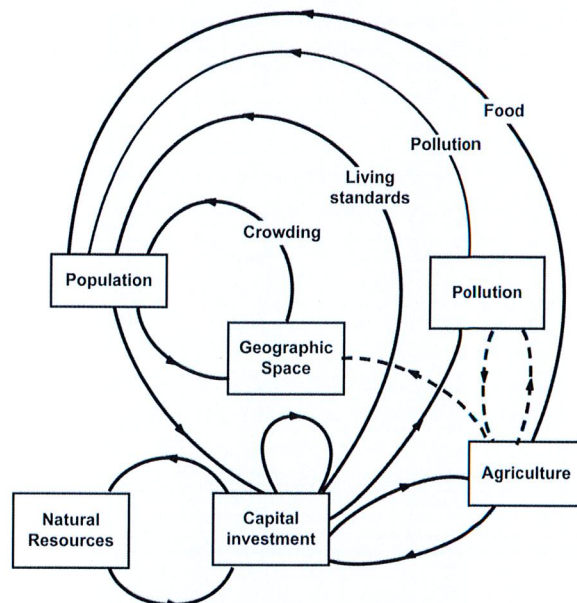
Le modèle *World 3* traduit directement la vision du Monde des membres fondateurs du Club de Rome. Il reproduit dans sa structure leur analyse et leurs interrogations sur les défis qui se présentent à l'humanité : Comment concilier le caractère exponentiellement croissant des activités humaines avec le caractère fini de la planète terre ? Peut-on envisager des trajectoires de développement qui échappent à une issue catastrophique ? Quel est l'impact des délais propres aux « rétroactions » du système face aux conséquences négatives de la croissance ? Pour traiter ces questions, le système Terre est modélisé au travers de cinq sous-systèmes en interactions entre eux : la démographie, la pollution globale, l'usage des ressources non renouvelables, l'agriculture et la production industrielle. L'objet du rapport Meadows est donc l'étude des conséquences d'une croissance de la population et de la production industrielle face aux limites des ressources naturelles non renouvelables, des surfaces de terres arables, de la capacité d'absorption de la pollution par les écosystèmes et du progrès technologique¹².

¹⁰ Voir Donella H. Meadows *et al.* (1972b) pour une traduction française.

¹¹ Voir D.L. Meadows *et al.* (1977) pour une traduction française.

¹² Cette notion se différencie selon les variables principalement au travers de la productivité agricole et du taux de consommation de ressources non renouvelables par unité de production industrielle. Par ailleurs, les limites du progrès technologique envisagées par Meadows ne proviennent pas d'un plafonnement du progrès dans l'absolu, mais de l'hypothèse d'une croissance arithmétique de l'efficacité de la technologie

Figure 1. Schéma simplifié du modèle *World 3*.
Les « boîtes » représentent les principaux sous-systèmes du modèle ;
les « flèches », les principales influences de l'un sur l'autre



D'après D.L. Meadows *et al.* (1974).

Techniquement, le modèle utilise le langage de programmation DYNAMO qui a été développé en lien avec la dynamique des systèmes. Les équations utilisées dans le modèle de Meadows sont des équations différentielles du premier degré. En d'autres termes, le taux de variation d'une variable d'état à un instant donné dépend exclusivement de la valeur des variables d'état¹³. Au-delà du raffinement de la structure de *World 2*, le principal objectif du travail de l'équipe Meadows a été de

qui ne peut compenser les impacts et besoins des activités anthropiques (qui sont caractérisés par des croissances géométriques).

¹³ À titre d'exemple, la population varie en fonction de deux taux de variation que sont la mortalité et la natalité (la population de l'année N+1 est égale à la population de l'année N- le taux de mortalité annuel de l'année N+ le taux de natalité annuel de l'année N). Chacun de ces deux taux de variation dépend exclusivement des autres variables d'états (Pour le taux de mortalité : le quota de nourriture individuel, le niveau de pollution globale, la santé publique qui est liée au niveau de production industrielle. Pour le taux de natalité : le niveau de revenu des ménages, le niveau d'éducation, les politiques familiales, etc.).

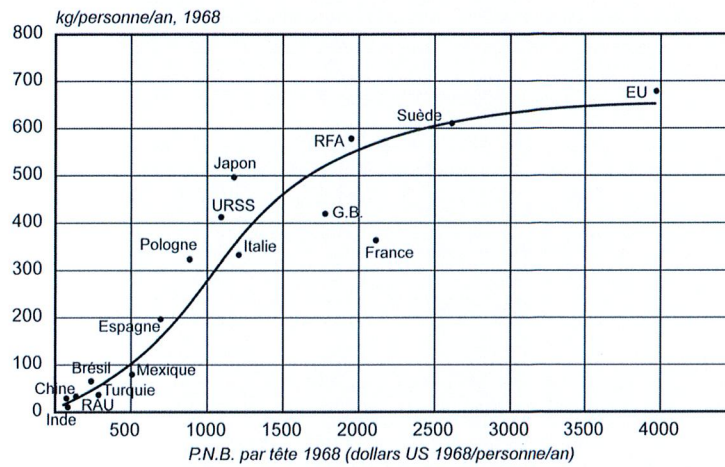
mettre en évidence les relations existant entre ces taux de variations et l'état du système, en particulier en compilant des données issues de nombreux pays correspondant à des situations économiques, sociales et politiques variées. Les données ainsi rassemblées couvrent la période 1900-1970. Le modèle a été testé sur l'ensemble de cette période et reproduit bien la dynamique générale du système.

Il est néanmoins important de noter que le système mondial simulé par *World 3* est fortement agrégé et que les variables du modèle ne correspondent pas toutes à des réalités matérielles directement « palpables ». Par exemple, la notion de « pollution globale » introduite dans le modèle n'est pas conçue comme un indicateur de pollution agrégé que l'on pourrait calculer et quantifier, mais comme une indication de l'accumulation progressive de pollution dans la nature sous des formes diverses et variées mais présentant des similitudes qualitatives¹⁴. La réponse des écosystèmes est en tout point similaire, puisque qu'elle est décrite au travers d'une capacité d'absorption globale mais limitée, qui traduit moins une évaluation globale de la résilience des écosystèmes que la généralisation par analogie d'études de cas mettant en évidence les limites de certains écosystèmes. De la même façon, les « ressources naturelles non renouvelables » recourent aussi bien les minerais que les combustibles fossiles. Là encore, l'objet de l'équipe Meadows n'est pas de définir un indicateur de l'état mondial des ressources non renouvelables, mais de rendre compte d'un accroissement global, lié à l'activité industrielle, de la consommation des ressources non renouvelables (que ce soit en termes de matières premières, d'énergie, etc.). Les figures suivantes illustrent le processus suivi : la figure 2 présente une synthèse des données sur la consommation d'acier de seize pays du Monde en fonction de leur PNB par habitant. La figure 3 correspond à la courbe retenue pour la consommation de ressources naturelles en fonction de la production industrielle par habitant. Ce sont donc moins les valeurs absolues qui importent pour la modélisation que la « forme en S » de la courbe (courbe logistique). Le modèle Meadows est donc essentiellement qualitatif et doit être analysé comme tel (Thissen, 1978).

Il s'agit pour *World 3* d'une part de déterminer lequel de ces quatre modes de comportement [croissance continue, convergence vers une asymptote, explosion et oscillation, explosion et déclin] caractérise le mieux la population et les productions matérielles sous diverses conditions et d'autre part d'identifier les politiques futures qui peuvent assurer un type de comportement stable plutôt qu'instable (Meadows, 1977, p. 8).

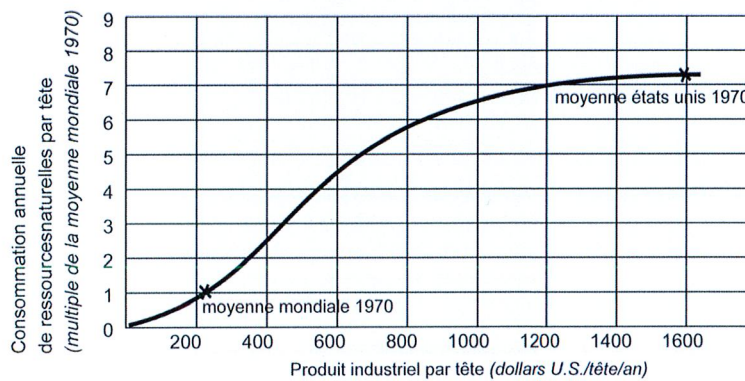
¹⁴ Bien que la notion de pollution globale n'ait pas de matérialisation concrète, il est intéressant de noter que le CO₂ figure parmi les diverses tentatives d'illustration du concept proposées dans le rapport Meadows...

Figure 2. Consommation d'acier et PNB par habitant.
En 1968, la consommation d'acier en fonction du produit industriel par tête, dans seize pays, suit une « courbe en S »



D'après D.L. Meadows (1977).

Figure 3. Production industrielle et consommation de ressources naturelles.
La consommation de ressources, faible dans les pays non industrialisés, croît avec l'industrialisation, d'abord rapidement, puis plus lentement



D'après D.L. Meadows (1977).

Résultats des simulations

Le rapport sur les limites de la croissance présente plusieurs simulations qui ont pour but d'illustrer les enjeux d'une poursuite tendancielle (quantitativement et qualitativement) de la « croissance », mais également d'explorer divers scénarios censés apporter des solutions aux problèmes mis en évidence par le modèle. La première simulation, dite simulation tendancielle¹⁵, met en évidence une surchauffe du système, suivie d'un effondrement dont la cause première est la disparition des ressources naturelles non renouvelables (matières premières ou sources d'énergie). Pour prendre en compte l'incertitude sur la réalité des réserves naturelles, une seconde simulation avec doublement des réserves naturelles est étudiée. Cette modification des hypothèses ne change en rien l'issue du scénario, bien que l'arrêt de la croissance soit dans ce cas lié à la raréfaction de la nourriture et à l'augmentation de la mortalité. Ces études préliminaires conduisent les auteurs à conclure que, si rien n'est fait pour modifier les tendances actuelles, la croissance s'arrêtera de façon brutale avant la fin du XXI^e siècle. Pour compléter ce constat, le modèle *World 3* a été mobilisé pour étudier des politiques innovantes susceptibles d'éviter ces « catastrophes », simulations qui sont également présentées dans le rapport Meadows.

De nombreux chercheurs et gestionnaires sont par exemple convaincus que le progrès technologique palliera la diminution des ressources naturelles non renouvelables ou la demande croissante de nourriture par la forte augmentation de la productivité agricole. Pour prendre en compte ces hypothèses, des simulations ont été réalisées, incorporant des ressources naturelles illimitées et des rendements agricoles accrus. Les niveaux de croissance atteints deviennent très élevés (forte population, forte production industrielle), mais l'issue demeure catastrophique du fait de la très forte croissance de la pollution. Ces différentes simulations, complétées par d'autres incluant des politiques de « régulation » des naissances, amènent les auteurs à conclure que seule une approche holistique du problème peut permettre d'échapper à la catastrophe finale. En particulier, la technologie et les solutions techniques ne sont pas suffisantes pour résoudre les problèmes mis en évidence par la simulation tendancielle.

Pour repousser encore les limites du système, l'équipe Meadows a étudié plusieurs simulations incluant une approche globale du problème. Cette partie du rapport est probablement à l'origine des réactions les

¹⁵ Il s'agit de la simulation qui reflète, aux yeux des modélisateurs, la prolongation des tendances démographiques et économiques actuelles, combinée à l'absence d'intervention politique de régulation.

plus violentes qui ont animé la controverse ultérieure. Les simulations testées ont en particulier souvent été interprétées comme des préconisations politiques, à appliquer « telles quelles » dans le monde réel. En particulier, le seul scénario identifié par les auteurs qui ne débouche pas – dans le cadre du modèle – sur une catastrophe repose sur des hypothèses drastiques de stabilisation de la population et du capital. Par ailleurs, d'autres simulations basées sur les mêmes hypothèses que celles du « monde stabilisé » mais incluant un retard dans l'application des politiques mettent en évidence un échec de la tentative ultérieure de stabilisation. Le message retenu par les détracteurs est le suivant : « Stoppez dès maintenant la croissance économique et engagez immédiatement des politiques autoritaires de contrôle de la natalité ! ». La controverse s'engage immédiatement sur tous les plans : le caractère néo-malthusien du projet est conspué, les données utilisées sont critiquées et les hypothèses du modèle sont disséquées et rejetées.

2. Analyse du débat prospectif initié par le rapport Meadows

Nous nous concentrerons ici sur deux des nombreuses contributions au débat sur les *Limites de la croissance* : la réponse exhaustive des chercheurs de l'université de Sussex dans *Models of Doom* (Cole *et al.*, 1973) et les résultats des premiers modèles qui ont été développés en réponse ou en complément à *World 3* (le *Latin American World Model* – LAWM – ou *Bariloche Model* (Herrera, 1976), et le modèle de Pestel et Mesarovic (Mesarovic *et al.*, 1974). Au travers de ce choix, notre objectif sera de montrer comment s'est structuré le forum prospectif autour des conjectures formulées par le premier rapport du Club de Rome, quelle a été la nature des débats qui ont animé ce forum et quels rôles spécifiques ont été remplis par les modèles mobilisés dans la controverse.

L'ouvrage collectif de l'Université de Sussex constitue l'une des réponses les plus détaillées et les mieux informées au rapport du Club de Rome. Son intérêt est encore renforcé par le positionnement de l'ouvrage, délibérément conçu pour alimenter les débats ouverts par Meadows *et al.* À ce titre, la dernière partie de l'ouvrage est constituée d'une réponse de l'équipe Meadows à celle de Sussex¹⁶, rendant le débat quasi-interactif ! *Models of Doom* rassemble les contributions de treize chercheurs qui tentent d'analyser les conjectures de Forrester et Meadows, qualifiées de « *provocations influentes* ». Pour ce faire l'ou-

¹⁶ D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers et W.W. Behrens, « A Response to Sussex », in Cole, 1973, pp. 217-240.

vrage propose deux niveaux d'analyse : une première partie s'intéresse au modèle et étudie sa structure interne, tandis que la seconde moitié de l'ouvrage propose une mise en perspective plus globale de *World 3* et de l'approche du Club de Rome. Les critiques de ce groupe de sciences politiques sont donc doubles : elles portent d'une part sur les hypothèses sous-jacentes à l'exercice de modélisation et d'autre part sur les choix méthodologiques de Forrester et du groupe Meadows¹⁷. Sur ce dernier point, l'équipe du Sussex est par exemple très critique vis-à-vis de la place donnée aux simulations informatiques dans le rapport Meadows.

Dans cette architecture de l'évaluation et des critiques, on retrouve l'un des aspects essentiels du cadre d'analyse proposé dans le chapitre II du présent ouvrage : l'importance de distinguer d'un côté les arguments portant sur le contenu de la conjecture, sur les détails et les choix techniques ayant conduit à sa production (première partie de l'ouvrage de Cole *et al.*) et de l'autre ceux qui visent l'organisation générale de la démarche prospective, le forum prospectif mis en place, la pertinence des méthodes de conjectures retenues au regard de la dynamique spécifique de ce forum (seconde partie de l'ouvrage).

Le modèle LAWM peut être analysé selon le même schéma. Ses auteurs considèrent que les problèmes mis en évidence par les recherches du MIT et les réponses envisagées dans le premier rapport du Club de Rome traduisent un point de vue de « pays du Nord »¹⁸, sur un sujet qui concerne et engage pourtant fortement les pays en voie de développement. Le modèle de la fondation Bariloche a donc été conçu comme une réponse du « Sud » visant à rétablir un équilibre dans le forum prospectif mondial. Il s'affiche ainsi à la fois comme une réponse scientifique et comme une réaction politique aux travaux du MIT. Comme les travaux du Sussex, mais au travers d'une approche sensiblement différente, la critique des chercheurs argentins porte sur trois niveaux : technique, philosophique et éthique (Galopin, 2001)¹⁹. Notons au passage que le LAWM est un des très rares modèles globaux élaborés

¹⁷ « *The essayists in this volume are critical (...) because they wish to clarify complex issues. They are concerned both with assumptions – for examples about resources – and with methodologies* » (Cole *et al.*, *op. cit.*, p. 1).

¹⁸ Un des arguments convaincants de l'équipe était en effet que l'état décrit comme « catastrophique » par le modèle de Meadows et Forrester (famines ou malnutrition, pauvreté, problèmes de démographie, etc.) correspondait exactement à l'état du monde dans lequel vivait la moitié de la planète en 1970 !

¹⁹ « *The LAWM was a response from the South (I would like, but I would be perhaps presumptuous, to call it "by the South"). (...) Our critique had a technical, a philosophical, and an ethical dimension* » (Galopin, 2001).

dans un pays du Sud ayant jamais contribué aux grands débats internationaux sur l'environnement et le développement²⁰.

a. Controverses techniques et forum prospectif

Comme annoncé précédemment, la controverse a porté sur diverses dimensions du travail de l'équipe Meadows. Nous regrouperons l'analyse de ces débats autour de trois composantes que nous estimons fondatrices de toute démarche de modélisation pour la gestion de l'environnement :

- une vision du fonctionnement du système simulé,
- une conception de sa gestion,
- un substrat scientifico-technique.

La *vision* du fonctionnement du système porte sur l'objet « dans son ensemble » et regroupe des éléments descriptifs (« le système tel qu'il est ») et fonctionnels (« le système tel qu'il fonctionne »). Cette *vision* résulte de l'interaction entre les compréhensions du fonctionnement du système étudié propres à chacun des modélisateurs impliqués. Elle dépend de l'état des recherches scientifiques, mais elle peut également intégrer des éléments « extra-scientifiques » (liés à une expérience personnelle, liés à l'absence de recherches scientifiques récentes sur certaines dimensions de l'objet étudié, etc.).

La *conception de la gestion* correspond quant à elle aux modes de gestion que les modélisateurs envisagent pour le système étudié. Cette *conception de la gestion* est à nouveau le résultat d'une rencontre entre des convictions d'origines diverses, portées par les personnes impliquées dans le travail de modélisation.

Enfin, le *substrat* recoupe à la fois les moyens techniques disponibles pour élaborer le modèle (puissance de calcul, langages informatiques, etc.), les données disponibles, les capacités de mesure, l'état et le statut des connaissances scientifiques sur les différentes composantes du système, etc. Ces trois dimensions préexistent à la constitution du modèle et font partie de l'environnement dans lequel il se développe. Elles sont le plus souvent enrichies et transformées par la démarche de modélisation.

Nous ne prétendons pas ici proposer une description générique de la structure de tout modèle mais nous pensons que ces trois dimensions

²⁰ Par exemple, du fait de l'extrême niveau de complexité atteint par les modèles climatiques, les efforts actuels de modélisation sur le problème du changement global sont concentrés dans quelques rares pays, en particulier l'Allemagne, l'Australie, le Canada, la France, le Japon, le Royaume-Uni et les États-Unis (bien que la Chine, la Corée et l'Inde aient également développé leurs propres modèles) (Lahsen, 2001).

fournissent une grille de lecture qui facilite le suivi et l'analyse de la démarche de modélisation. Elle est particulièrement éclairante pour mettre en relation cette démarche de modélisation avec les débats, les polémiques, les controverses qui l'accompagnent, notamment quand elle est utilisée dans le cadre d'un forum prospectif.

La rapide description de ces trois axes pourrait donner l'impression d'une partition entre d'un côté des données scientifiques, et de l'autre des valeurs, opinions, *a priori*, etc. Nous pensons au contraire que le travail des scientifiques impliqués dans un projet de modélisation pour la gestion de l'environnement consiste à mettre en relation des éléments qui sont de l'ordre de la « gestion de l'environnement » avec des « faits scientifiques » tels que définis par l'épistémologie traditionnelle de la science. Notre conception de la modélisation pour la gestion de l'environnement n'introduit donc pas de stricte césure entre les « fondements scientifiques » du modèle et ce qui relève des « valeurs » des modélisateurs. Nous prenons au contraire acte du fait que le travail du modélisateur consiste à créer un continuum de traduction au sein duquel ces deux lectures peuvent être simultanément opérantes. Pour nous, ce travail a même d'autant plus de valeur qu'il se prête de manière pertinente à cette double lecture.

En mettant en discussion le contenu d'une conjecture élaborée résultant d'une démarche de modélisation les membres du forum prospectif mettent en débat trois composantes fondatrices du modèle : vision du fonctionnement, conception de la gestion et substrat scientifique. Analysé selon ces trois perspectives, le modèle suscite un débat qui dépasse de loin les termes de la modélisation retenue, et organise une réflexion plus large sur les enjeux fondamentaux du forum prospectif. Quels sont les potentiels futurs du système en débat ? Quels types d'action doivent être discutés ? Quelles sont les connaissances disponibles ? Du point de vue de la prospective, la valeur du modèle Meadows tient à la capacité dont il a fait preuve à induire, à structurer et à alimenter un tel forum.

De manière plus précise, cette conception de l'utilisation prospective des modèles appelle un travail d'analyse critique de chaque modèle, mis en regard avec le forum prospectif au regard duquel sa pertinence peut être évaluée. Ce travail porte simultanément sur les données utilisées et les relations entre variables. Il vise à la fois à comprendre leur incidence sur les résultats de simulation (sur le contenu de la conjecture) et leur signification au regard des enjeux de controverse (et d'action au sein du forum prospectif). Pour l'illustrer, nous avons retenu deux exemples dans la controverse suscitée par le rapport Meadows.

Le traitement des ressources non renouvelables

Le sous-système « ressources non renouvelables » de *World 3* a été un point de profond désaccord entre le groupe du MIT et les deux équipes de contradicteurs mobilisées ici. Ce module a été doublement contesté. La valeur retenue dans le rapport Meadows correspondait à un stock de ressources naturelles de 250 ans (sur la base du niveau de consommation de 1970), estimation qualifiée d'optimiste par l'équipe du MIT. Cette valeur et sa qualification sont vivement contestées par l'équipe du Sussex. En particulier, W. Page met en avant la confusion entre les ressources exploitables connues, les ressources totales connues (mais non forcément exploitables) et les ressources totales (par définition inconnues). Par ailleurs, les quantifications des ressources de chacune des catégories dépendent des technologies d'extraction et du niveau de prospection. Les réserves connues de certaines matières premières ont ainsi sensiblement augmenté au cours des années 1900-1960, alors que le stock de ressources naturelles décroît continuellement dans le modèle. De plus, en se focalisant sur les réserves individuelles des minerais ou combustibles, les possibilités de substitution²¹ sont sous-estimées. Enfin, le modèle semble minimiser l'impact du « marché » et de l'augmentation du prix de la ressource au fur et à mesure de son épuisement, tant sur la diminution de la consommation unitaire de l'industrie que sur l'émergence des techniques d'extraction ou de recyclage. Ces arguments ne remettent pas en cause le caractère fini des ressources mais permettent d'envisager une exploitation continue beaucoup plus longue que celle suggérée par les simulations du rapport Meadows. Or une multiplication par 10 des réserves de ressources non renouvelables dans le modèle permet d'atteindre 2100 sans rencontrer de phénomènes d'épuisement.

La portée et les conséquences de ces arguments restent faibles si l'on se rappelle que le modèle *World 3* est essentiellement qualitatif. En réalité, ce débat révèle une des ambivalences de l'exercice. D'un côté le modèle est présenté par ses auteurs comme qualitatif et exploratoire, justifiant par là même le choix méthodologique d'une forte agrégation. De l'autre côté, l'exploitation des résultats des simulations conduit à une interprétation beaucoup plus littérale des éléments quantifiés du modèle. L'échéance de 2100 n'est pas uniquement symbolique mais fait l'objet d'interprétations réalistes par les auteurs qui annoncent par exemple que « en l'état actuel de nos connaissances sur les limites physiques de la planète, la phase de croissance ne pourra durer qu'un siècle de plus » (Donella H. Meadows *et al.*, 1972b). Une oscillation semblable entre

²¹ Le charbon peut, par exemple, relayer le pétrole dans de nombreux usages.

deux modes de discours sur les modèles (heuristiques *versus* outils d'aide à la décision) a été décrite par S. Shackley dans le cadre des débats contemporains sur le changement climatique (Shackley et Darier, 1998). Cette oscillation peut être interprétée comme le fruit de la tentation permanente à laquelle sont confrontés les modélisateurs : celle de « croire en leur modèle » (Lahsen, 2001). Au-delà de la confirmation de cette ambiguïté partagée par de nombreux exercices de modélisation, cette tension renforce l'attention que nous devons porter au forum prospectif. Ainsi, la multiplication par 10 des réserves de ressources en 100 ans correspond à une amélioration annuelle de « l'efficacité globale » inférieure à 3 % par an. Cette valeur étant plausible, il est nécessaire – dans le cadre d'une interprétation littérale de l'échéance 2100 – d'étudier des scénarios alternatifs à ceux de Meadows qui ne conduisent pas à l'épuisement des ressources à cette date. Reconfigurée ainsi par le modèle et le débat qu'il a suscité, la question devient de savoir si l'on peut asseoir des choix gestionnaires sur le pari que l'efficacité globale s'améliorera de manière soutenue à un tel niveau ou si, au contraire, une attitude de précaution doit conduire à fonder nos actions et nos investissements sur des hypothèses plus prudentes.

En un mot, le modèle n'apporte pas « une » réponse mais fait évoluer le débat en transformant les termes dans lesquels les questions se posent. Ces transformations ne se limitent pas *a priori* à telle ou telle dimension technique particulière. L'équipe de Sussex comme celle de la Fondation Bariloche considèrent ainsi que les principales limites du développement ne sont pas liées aux contraintes physiques du système terre, mais à des enjeux socio-politiques²². Ces critiques portées sur le sous-système ressources naturelles n'ont donc pas pour vocation – aux yeux de leurs auteurs – d'améliorer la modélisation dans ses aspects les plus techniques, mais de remettre en cause la *vision* et la *conception de la gestion* sous-jacentes. Elles visent les trois « dimensions substantielles » de la modélisation introduites précédemment en mettant en évidence que les choix techniques de l'équipe du MIT pour le modèle *World 3* résultent d'une certaine interprétation des données disponibles (*le substrat*), d'une *vision* du fonctionnement du monde dans lequel l'épuisement des ressources naturelles constitue un problème central, et de l'intuition d'une réponse possible (*la conception de la gestion*). Le débat, même lorsqu'il se concentre essentiellement sur les données mobilisées dans le modèle reflète donc les enjeux de la confrontation des *visions* du fonctionnement du monde. Pour Sussex comme pour la Fondation Bariloche, les

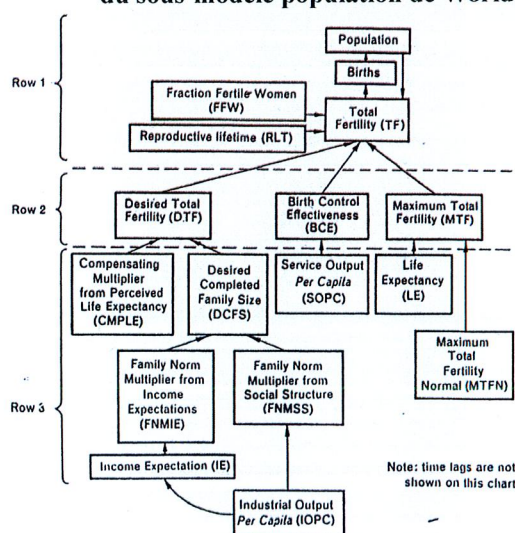
²² « Our argument was that, in the time horizon envisaged and at the global or regional scales, the operational limits to humankind were sociopolitical and not physical » (Gallop, 2001, p. 79).

principales limites pour l'humanité à l'échelle temporelle envisagée par le modèle (100 ans) et aux échelles régionale et globale sont d'ordre politique et socioéconomique. Ainsi, le modèle LAWM prévoit également une décroissance de l'économie, mais cette décroissance intervient uniquement lorsque les besoins élémentaires seront partout satisfaits (Gallopín, 2001).

Lorsque les détails du sous-modèle « population » reflètent la sensibilité du sujet traité

Le module « population » de *World 3* fournit un exemple un peu différent, mais tout aussi frappant, du lien entre critique sur les choix techniques de la modélisation et mise en discussion de la vision du monde et de la conception de la gestion sous-jacentes. Résolument néomalthusien par sa structure (croissance exponentielle de la population confrontée à la surface finie des terres arables), le modèle *World 3* tient compte dès sa conception du caractère polémique de ses hypothèses : le sous-modèle démographique est le plus détaillé de tous, et le choix des variables reflète la volonté des auteurs de ne pas s'inscrire dans la perspective d'un contrôle autoritaire des naissances mais d'une régulation « volontaire » basée sur le libre choix des familles, les normes sociales, les politiques de planning familial, etc.

Figure 4. Un « zoom » sur la partie « fertilité » du sous-modèle population de World 3



D'après Cole *et al.* (1973).

Dans *World 3*, l'indice de fertilité dépend essentiellement de deux variables : la fertilité désirée et l'efficacité du contrôle des naissances. Comme annoncé plus haut, cette approche reflète directement les enjeux du débat sur le caractère malthusien du modèle.

- Le « contrôle des naissances » est uniquement lié au niveau atteint par les « services » dans le modèle, variable censée modéliser l'ampleur des politiques sociales et de prévention. Sur le plan technique, c'est la variable qui modifie la fertilité maximale en la fertilité désirée, ce qui peut-être retraduit par la formule : « les politiques et les dispositifs sociaux qui permettent aux femmes de n'avoir que le nombre d'enfants qu'elles désirent ».
- La fertilité désirée est le résultat d'une combinaison complexe de facteurs incluant le niveau de revenu, les normes sociales en matière de structures familiales, les revenus par habitants et le PIB total.

Cette modélisation peut sembler relativement exhaustive mais n'intègre pas ce qui est de l'ordre des politiques (i.e. les actions susceptibles de modifier l'évolution « naturelle » de la population). La figure précédente montre par exemple qu'il n'y a pas de lien entre la fertilité désirée et le niveau de contrôle des naissances. Or il est peu probable que le contrôle effectif des naissances n'évolue pas avec l'accroissement de l'écart entre la fertilité maximale et désirée. Ce choix est lié à l'objectif du rapport Meadows qui cherche à étudier les dynamiques humaines si « rien n'est fait pour que les choses changent » : le sous-modèle démographique doit avant tout produire des projections raisonnables de populations utilisables par les autres modules. Or cet objectif aurait pu être atteint par un sous-modèle beaucoup plus simple que celui utilisé dans *World 3* (Page, 1973). Ce choix d'une modélisation complexe permet de distinguer clairement plusieurs formes d'interventions de gestion (interventions indirectes par le biais de l'éducation et du développement, interventions directes basées sur le volontariat, ou au contraire contraignantes) et d'offrir un support utile au débat politique. Mais il reflète également, sur un autre plan, la volonté des auteurs de ne pas être mis en cause sur le plan moral ou éthique malgré leurs hypothèses néo-malthusiennes. Ce constat est renforcé par l'évolution sensible qui semble avoir eu lieu dans la position de Meadows et de son entourage sur la question de la démographie entre les premières conférences présentant les résultats des travaux du MIT et celles retenues dans le rapport du Club de Rome (Gallopín, 2001). Ces précautions et réorientations de leurs conclusions illustrent à nouveau l'ambiguïté du statut de *World 3* vis-à-vis de la décision : bien que le modèle soit en théorie

essentiellement qualitatif et heuristique, certaines conclusions tirées des simulations ont un statut proche de la prescription²³.

À nouveau, au-delà de la simple critique de la structure du sous-modèle population, le débat porte surtout sur la vision sous-jacente du fonctionnement du monde. Nous ne reprendrons ici que deux points : l'étude de la sensibilité de la dynamique démographique aux diverses variables d'état du modèle et le diagnostic des relations causales entre surpopulation, pauvreté et inégalité. Ce dernier aspect du débat constitue le cœur de la réponse de la Fondation Bariloche : dans *World 3* la surpopulation est la cause de la pauvreté (catastrophes finales) tandis que pour les chercheurs argentins la surpopulation est le symptôme du dénuement dans lequel sont plongés les pays du Sud. De ce point de vue, la confrontation entre le LAWM et *World 3* est celle de deux visions fondamentalement opposées sur le fonctionnement du système monde et sur les enjeux de gestion à traiter en priorité.

La critique de la dynamique du module et l'étude de sensibilité du sous-modèle démographique mettent également en évidence des caractéristiques du modèle qui reflètent le point de vue de ses auteurs. Ainsi, même lorsque l'on introduit des hypothèses permettant au modèle de se stabiliser à un niveau de population pérenne sur le long terme, la transition vers cet état stable s'effectue par un fort accroissement du taux de mortalité (correspondant à un état de famine). De plus, les variables externes (quantité de nourriture disponible, niveau de services et revenus par habitants) ont un impact plus fort sur la composante démographique – en particulier pendant les phases de déclin – que les variables et paramètres internes du module (Thissen, 1978). Enfin, un équilibre secondaire du module n'a pas été exploré bien qu'il traduise une situation dans laquelle la démographie n'est plus une cause de problème : lorsque les niveaux de revenus sont élevés et que la pollution globale est faible, la croissance démographique est également faible. On peut relier ce constat au schéma de la figure 4 qui met en évidence deux tendances inverses qui influent sur la « taille de famille désirée » (DCFS) : une augmentation du revenu par habitant conduit à la réduction du nombre d'enfants désirés (FNMSS), tandis qu'au sein d'une même société les familles nombreuses se comptent souvent parmi les plus haut revenus (FNMIE ; cf. également figure 5). Cette modélisation est en réalité critiquable car elle résulte de deux types de données différentes : le second constat provient des statistiques nationales des pays industrialisés.

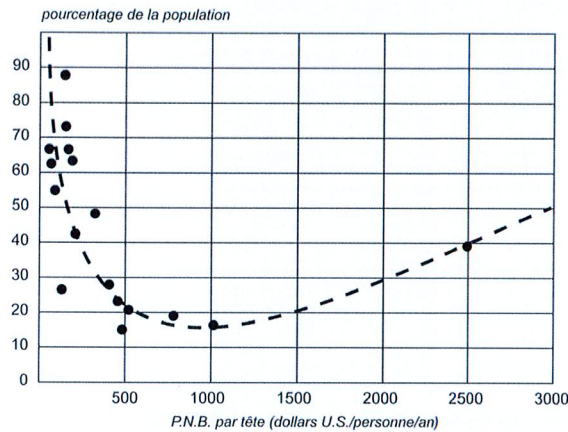
²³ Il convient néanmoins de préciser que nous ne confondons pas les conclusions du rapport Meadows avec l'usage qui pouvait être fait de ce travail pour justifier des politiques « radicales » d'arrêt de la croissance démographique dans le Sud (voir à ce sujet la note de Gallopin, 2001, *op. cit.*, p. 79).

sés, alors que le premier résulte de la confrontation de la démographie des pays les plus riches avec celle des nations les plus pauvres. Or de l'avis de Thissen, de faibles modifications des données utilisées dans le modèle permettent de mettre en évidence des stabilisations de population qui ne résultent pas de phénomènes de famine (Thissen, 1978). D'une certaine façon, mais avec une approche fondamentalement différente, c'est le parti pris du LAWM, qui envisage que la résolution des problèmes économiques et sociaux permettra de sortir du piège de la démographie.

b. Organisation de la prospective et structure des controverses

La question de la démographie permet également d'introduire une discussion sur les liens entre l'architecture d'ensemble du modèle et la structuration des controverses qu'il supporte au sein du forum prospectif. La figure 5 présente les données et le type de courbe qui fondent la modélisation choisie entre le PNB total et la taille de famille désirée.

Figure 5. Relation entre le revenu par habitant et le pourcentage de la population souhaitant plus de quatre enfants



D'après D.L. Meadows *et al.* (1977).

L'argument implicite pour l'utilisation de ce type de courbes est que les positions relatives des différents pays à un instant donné sont l'expression d'une trajectoire dans le temps (le « développement »). L'instantané de 1965 présenté par la figure 5 peut alors être interprété comme une trajectoire qui sera suivie dans le futur par l'ensemble des pays du monde, et qui peut donc servir de base à une modélisation

agrégée. Les limites de cette approche sont évidentes. La notion de « trajectoire de développement » uniformément partagée par tous les pays du monde est fortement contestable. Même si l'on admet cette vision dynamique du développement, la forte évolution du contexte technique, économique et social rend improbable l'idée selon laquelle la trajectoire à suivre sera la même dans le futur. Ce constat a été pris en compte dans tous les exercices de modélisation ultérieurs comme le LAWM ou le modèle de Mesarovic et Pestel. Ces modèles intègrent une régionalisation du monde qui, seule, permet de rendre compte des fortes inégalités entre le Nord et le Sud.

Ces développements ultérieurs constituent moins une critique du modèle en tant que tel, qu'une extension du débat ouvert par le premier rapport du Club de Rome. Par son caractère pionnier, le travail du MIT a ouvert une voie qui a été suivie par d'autres, répondant en cela à l'appel de Forrester :

Il faut souhaiter que les chercheurs persuadés de disposer d'un modèle meilleur que le nôtre le présenteront de manière aussi détaillée, de sorte qu'il sera possible de comparer les hypothèses et les conclusions de ces différents travaux (Forrester, 1971).

S'il est un point sur lequel l'ensemble des modèles et des modélisateurs évoqués ici semblent ainsi s'accorder, c'est le statut à donner aux modèles dans le débat prospectif. Toujours selon Forrester :

Il n'existe malheureusement aucun moyen objectif permettant de prouver que tel modèle est bon et tel autre mauvais. Chacun doit analyser les hypothèses fondamentales de chaque modèle avant de choisir celui qu'il juge le plus compatible avec sa propre connaissance du monde. Savoir quelles seront à l'avenir les politiques qui sous-tendront la croissance fera l'objet d'un débat qui se poursuivra certainement pendant plusieurs décennies (Forrester, 1971).

L'enjeu pour les modélisateurs est donc d'organiser le forum prospectif afin que les hypothèses et les conclusions des différents modèles soient débattues et conduisent à une meilleure compréhension du système mondial. Ce qui frappe les membres du Club de Rome et les équipes du MIT, c'est que les modèles utilisés pour fonder les décisions économiques et politiques ne font pas l'objet de telles mises à l'épreuve, malgré les fortes hypothèses implicites qu'ils véhiculent pour la plupart. En particulier, selon Forrester,

Les modèles actuellement utilisés supposent que les mécanismes de stabilisation existent déjà et qu'aucun événement futur ne nécessitera d'ajustements autres que mineurs des politiques actuelles.

Malgré certaines ambivalences sur le statut du modèle et des conclusions tirées des simulations, le principal mérite de l'équipe Meadows et du Club de Rome a donc été de faire émerger un forum prospectif ouvert ou peuvent se reformuler et se discuter des questions fondamentales pour le devenir de l'humanité. Ce mérite a d'ailleurs été largement reconnu, y compris par les principaux contradicteurs mobilisés ici. G. Gallopin (2001) note ainsi que « *the construction and launching into public debate of the World 3 model described in the "Limits to Growth" was a brave and pioneering initiative* ». De même, on trouve en introduction de l'ouvrage, de l'équipe du Sussex la phrase suivante :

The open public debate surrounding the MIT work is their most important achievement (...). It is one of the most original and ambitious constructions in the history of social sciences (...). Because our team at Sussex is agreed that science and social policy can only advance by continuous critical debate and discussion, we see our own contribution as only one stage in the continuing process (Cole *et al.*, 1973).

Il ne fait aucun doute que le choix d'une approche globale et l'effort d'explicitation des différentes dynamiques sectorielles ou des phénomènes non-linéaires par ses auteurs ont été des facteurs favorables à l'émergence du débat. La simplicité de la structure de *World 3* et l'utilisation de données empiriques aisément discutables ont également joué un rôle important dans l'ampleur²⁴ qu'a pris par la suite le forum prospectif (Gallopin, 2001). Il est d'ailleurs intéressant de noter que les exercices suivants réalisés avec des modèles plus complexes ont eu nettement moins d'influence. Dans une évaluation exhaustive des premiers exercices de modélisation globale, Richardson note ainsi que « *The Limits to Growth probably had more impact than all of the others combined. There is no question that the major objectives which motivated the Club of Rome (...) have been achieved* » (Richardson Jr, 1978).

Mais ni les caractéristiques techniques du modèle, ni même le caractère pionnier de l'exercice ne peuvent, seuls, expliquer l'impact de ce travail en termes de mise en discussion des caractéristiques essentielles du développement mondial. L'ampleur du débat a d'ailleurs surpris les modélisateurs eux-mêmes (Forrester, 1989). L'existence du Club de Rome et la personnalité de ses dirigeants sont des éléments clefs pour comprendre l'impact du travail du MIT. L'un des objectifs fondateurs du Club de Rome était non seulement d'étudier *la problématique* qu'il avait formulée au départ, mais également de faciliter l'appropriation des

²⁴ Pour se donner une idée de l'ampleur de ce débat, on peut par exemple se référer au petit ouvrage de Reichenbach et Urfer (1974), qui rassemble pour la France plus d'une centaine de contributions (articles, allocutions, etc.) provenant de personnalités très diverses.

résultats de ces travaux par les politiques et gestionnaires. En d'autres termes, Peccei aspirait à des recherches opérationnelles qui puissent influencer sur le cours des choses. Comme nous l'avons déjà souligné, cet objectif est la principale raison pour laquelle le Club n'a pas poursuivi sa collaboration avec Jantsch ou Ozbekhan : leurs langages n'ont pas convaincu ceux qui les ont écoutés, leurs approches ne permettaient pas de formuler un message clair à destination des politiques. Si la modélisation a offert aux membres du Club de Rome l'outil capable d'illustrer et de porter leurs messages, le Club a constitué et mis à disposition des modélisateurs un réseau et une caisse de résonance permettant à leurs conclusions de se diffuser à grande échelle. Du point de vue de la prospective, on retrouve ici les enjeux fondamentaux développés dans le chapitre II du présent ouvrage : la seule production de conjectures est sans portée si elle ne s'inscrit pas dans un forum prospectif. Les modalités de production des conjectures, l'organisation du forum, les conditions de mises en discussion des conjectures sont trois dimensions essentielles à examiner en même temps pour concevoir, comprendre et évaluer toute prospective – notamment en matière de gestion de l'environnement.

Discussion

Au travers de cet exemple historique nous avons voulu montrer que les modèles mobilisés dans des prospectives environnementales ne doivent pas être analysés comme des outils de prévision à long terme, mais comme des instruments dont la fonction principale est de clarifier et de renforcer la cohérence des points de vue de leurs auteurs, au sein d'un débat prospectif critique. Dans cette perspective, nous avons proposé une grille de lecture qui organise la discussion critique des modèles en trois lignes de questionnement parallèles : la vision du fonctionnement du Monde sous-jacente au modèle, la conception de la gestion portée par les modélisateurs, l'usage qu'ils font du substrat scientifique et technique disponible. Cette grille de lecture permet non seulement de structurer la discussion des techniques de simulations, des données utilisées, etc., mais également de forcer les auteurs ou les utilisateurs des modèles à expliciter les visions du Monde véhiculées par leurs outils. C'est à cette condition que l'usage d'un modèle peut répondre à l'impératif de débat lié à toute démarche prospective.

Dans le cas du premier rapport du Club de Rome, le débat technique sur les limites de l'approche utilisée n'a, en lui-même, que peu d'importance. Première modélisation globale jamais réalisée, elle souffre d'erreurs de jeunesse, qui n'enlèvent rien cependant à l'audace et à l'intérêt du travail réalisé. Par contre, ce débat technique tel qu'il a eu lieu

entre les équipes du MIT, de Sussex ou de la Fondation Bariloche a été fondamental par l'explicitation des points de vue sur la nature des limites de la croissance ou la source des inégalités qu'il a permis. De ce point de vue, nous pouvons affirmer avec Richardson que le travail du MIT a largement atteint le but que lui avait assigné le Club de Rome : changer la vision du Monde des dirigeants politiques, des chercheurs ou du grand public. Les enjeux planétaires auparavant éludés du fait de leur trop grande complexité, la nécessité de développer des réponses globales plutôt que sectorielles, les implications des non-linéarités, sont autant de facteurs qui ne peuvent plus être totalement ignorés après cette controverse.

Pour autant, si le travail de Meadows, de ses collaborateurs, et celui de l'ensemble des modélisateurs globaux qui ont suivi leur voie a incontestablement marqué les esprits, leur influence sur les politiques effectivement mises en œuvre reste très limitée (Donella Meadows *et al.*, 1982). Le forum prospectif est resté au stade du débat public, de la formation et de la confrontation des opinions. Les spécificités du travail du Club de Rome et le statut de ses membres ont permis la « mise sur agenda » de la *problématique*. Mais le Club n'est pas parvenu à initier de politiques internationales.

L'histoire du débat sur les « Limites de la croissance » offre donc une esquisse des forums prospectifs mondiaux qui se sont développés autour de questions environnementales dans les vingt dernières années (pluies acides, ozone, changement climatique, etc.). Au contraire de leur prédécesseur, ces forums récents ont effectivement débouché plus directement sur des négociations et sur la mise en œuvre de politiques nationales, régionales ou internationales visant à résoudre les enjeux environnementaux. Or le passage de la « mise sur agenda » aux « négociations » puis à la « mise en œuvre de politiques » soulève des enjeux spécifiques pour le forum prospectif mondial qui doivent d'être étudiés et mis en perspective avec ceux identifiés ici (Kieken, 2003b ; Kieken *et al.*, 2003).

Comme on a pu le constater dans le chapitre VI de cet ouvrage, où sont évoquées des expériences plus récentes, le jeu d'aller-retour entre le développement des modèles et le forum auquel ils contribuent reste tout aussi fondamental dans ces contextes différents, comme en témoigne la place jouée par les modèles informatiques dans les dossiers des pluies acides, de l'ozone, ou des changements climatiques. Le passage à la phase de « mise en œuvre » crée toutefois des configurations spécifiques qui sont à la fois contraignantes pour le développement des modèles – qui doivent répondre aux questions « concrètes » des gestionnaires – et un formidable atout en faveur de ces outils – qui seuls peuvent apporter

ces réponses. Ces similitudes et ces différences expliquent le succès (et suggèrent les limites) des « modèles d'Évaluation intégrée ». Ils s'inscrivent dans la lignée des premiers modèles globaux tout en parvenant à intégrer les évolutions des forums prospectifs auxquels ils contribuent et à focaliser l'attention sur des problèmes plus étroitement définis, mais aussi plus directement en prise sur la décision et l'action publiques.

Bibliographie

- Bell, W., « Futures Studies Comes of Age : Twenty Five Years after the Limits to Growth », *Futures*, 33, 2001, pp. 63-76.
- Cole, H. S. D., Freeman, C., Jahoda, M., Pavitt, K.L.M. (eds.), *Models of Doom*, New York, Universe Books, 1973.
- Delaunay, J., « Enquête sur le Club de Rome », in Delaunay, J. (dir.), *Halte à la croissance ?*, Paris, Fayard, 1972.
- Forrester, J. W., *World Dynamics*, Cambridge, Wright-Allen Press, 1971.
- Forrester, J. W., « The Beginning of System Dynamics », *International Meeting of the System Dynamics Society*, Stuttgart, Germany, 1989.
- Gallopin, G. C., « The Latin American World Model (a.k.a. the Bariloche Model) : Three Decades Ago », *Futures*, 33, 2001, pp. 77-88.
- Gallopin, G. C., Hammond, A., Raskin, P. *et al.*, « Global Environmental Scenarios and Human Choices : The Branch Points », in Theys, J. (dir.), *L'environnement au XXI^e siècle*, Paris, GERMES, 1998, pp. 109-150.
- Herrera, A., *Catastrophe or New Society? A Latin American World Model*, Ottawa, International Development Research Centre, 1976.
- Kieken, H., « Le modèle RAINS : Des pluies acides aux pollutions atmosphériques : construction, histoire et utilisation d'un modèle », *Revue d'Histoire des Sciences*, 57(1), 2004.
- Kieken, H., Dahan-Dalmenico, A., et Armatte, M., « La modélisation : moment critique des recherches sur l'environnement », *Natures, Sciences, Sociétés*, 11 (4), pp. 396-403, 2003.
- Lahsen, M., « Global Climate Models : Capturing Earth in a Box, an Anthropologist's Account », in *Modèles et Modélisations, 1950-2000 : nouvelles pratiques, nouveaux enjeux*, Colloque du Centre A. Koyré, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 2001.
- Lattes, R., « Préface – Le nénuphar qui tue », in Delaunay, J. (dir.), *Halte à la croissance*, Paris, Fayard, 1972, pp. 5-14.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. *et al.*, *The Limits to Growth*, New York, Universe Books, 1972a.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. *et al.*, « Rapport sur les limites de la croissance », in Delaunay, J. (dir.), *Halte à la croissance ?*, Paris, Fayard, 1972b.
- Meadows, D. L., *Alternatives to Growth-I : a Search for Sustainable Futures*, papers adapted from entries to the 1975 George and Cynthia Mitchell Prize and from presentations before the 1975 Alternatives to Growth Conference, held at the Woodlands, Texas, Cambridge, Mass., Ballinger Pub. Co., 1977.

- Meadows, D. L., et Meadows, D. H. (eds.), *Toward Global Equilibrium : Collected Papers*, Waltham, MA, Pegasus Communications, 1973.
- Meadows, D. L., W.W. Behrens, I., Meadows, D. H. et al., *Dynamics of Growth in a Finite World*, Waltham, MA, Pegasus Communication, 1974.
- Meadows, D. L., W.W. Behrens, I., Meadows, D. H. et al., *Dynamique de la croissance dans un monde fini*, Paris, Economica, 1977.
- Mesarovic, M., et Pestel, E., *Stratégie pour demain – 2^e Rapport du Club de Rome*, Paris, Seuil, 1974.
- Mesarovic, M. D., Pestel, E. C., et Club de Rome, *Mankind at the Turning Point : The Second Report to the Club of Rome*, New York, Dutton, 1974.
- Page, W., « The Population Sub-System », in Cole, H. S. D., Freeman, C., Jahoda, M. et al. (eds.), *The Models of Doom*, New York, Universe Books, 1973, pp. 43-55.
- Peccei, A., et King, A., « Commentaires », in Mesarovic, M. et Pestel, E. (dir.), *Stratégie pour demain – 2^e rapport au Club de Rome*, Paris, Seuil, 1974.
- Reichenbach, R., et Urfer, S., *La Croissance Zéro*, Paris, PUF, 1974.
- Richardson Jr, J. M., « Global Modelling – 1. The models », *Futures*, 10(5), 1978, pp. 386-404.
- Shackley, S., et Darier, E., « Seduction of the Sirens : Global Climate Change and Modelling », *Science and Public Policy*, 25(5), 1998, pp. 313-325.
- Thissen, W., *Investigations into the Club of Rome's World 3 Model Lessons for Understanding Complicated Models*, Eindhoven, Technische Hogeschool, 1978.
- Whitehead, J. R., « A Brief History of the Club of Rome », *CACOR Proceedings*, 1(9), 1994.
- Whitehead, J. R., « The Club of Rome », in *id.*, *Radar to the Future – The Story of a Boffin*, 1995a, Chapitre 13.
- Whitehead, J. R., « IIASA, CACOR and FIT », in *id.*, *Radar to the Future – The Story of a Boffin*, 1995b, Chapitre 14.
- Whitehead, J. R., *A Brief History of the Club of Rome – A Summary and Personal Reminiscences*, James Rennie Whitehead, 2000.