

Préface

Bruno Goffinet

*Chef du département Mathématiques et Informatique Appliquées
de l'Inra de 2003 à 2011.*

Les modèles développés par les chercheurs des sciences de la vie et de l'environnement (Goffinet *et al.*, 2005) sont de plus en plus souvent complexes au sens où ils comprennent des multiples éléments en interaction les uns avec les autres, et dont le comportement global ne peut pas être simplement inféré à partir du comportement de ses composantes. Le modélisateur introduit dans ces modèles sa connaissance fine des processus en jeu, en couplant des sous modèles correspondant à des processus relativement bien étudiés, et dont certains paramètres sont appréhendables expérimentalement. Ce couplage peut associer des niveaux d'organisation du vivant différents, des échelles spatiales ou temporelles variées, et des informations hétérogènes. Le modèle obtenu finit par ressembler à une boîte noire pouvant associer des entrées et des sorties sans que l'on puisse s'en donner une représentation globale.

Qu'ils soient conçus pour la connaissance ou pour l'action, il est indispensable d'analyser les propriétés de tels assemblages si l'on veut les valider qualitativement, inférer de nouvelles connaissances ou évaluer l'impact précis d'une action sur le système. Ceci est d'autant plus nécessaire que ces modèles ne sont qu'une approximation de la réalité. L'enjeu de l'analyse de sensibilité et de l'exploration des modèles est de répondre à cette question en offrant des méthodologies permettant d'appréhender ces modèles complexes dans leur globalité. On peut ainsi comprendre leur comportement, les confronter aux connaissances que l'on peut avoir sur le système et ainsi le valider et le faire évoluer. Il s'agit d'une étape cruciale dans le processus de construction d'un modèle. Et il est essentiel que les modélisateurs, qu'ils soient agronomes, biologistes ou spécialistes de l'environne-

ment, etc., maîtrisent ces méthodologies car cette phase du processus de modélisation est très difficile à déléguer entièrement à un spécialiste des méthodes.

Parmi les auteurs de ce livre, on trouve à la fois des spécialistes des méthodes qui ont développé des recherches dans ces domaines et des modélisateurs qui les ont mises en œuvre. Ils présentent donc à la fois un panorama de qualité des méthodes existantes en montrant les propriétés et les limites, et des exemples de mise en œuvre qui précisent la démarche et ce que l'on peut en attendre. Ils travaillent ensemble depuis plusieurs années dans le cadre du réseau Mexico, qui est un « modèle » de fonctionnement intégré et efficace, et ont montré leur capacité à enseigner dans ce domaine avec la mise en place de plusieurs formations approfondies destinées aux modélisateurs.

Ce livre apparaît donc comme une composante nécessaire de la panoplie d'un modélisateur dans les domaines des sciences de la vie et de l'environnement. Il ne faudra pas y rechercher des méthodes concernant la phase de construction de modèles, domaine pour lequel il existe déjà de nombreux ouvrages. Par contre, il apporte une information large et approfondie sur la phase essentielle d'analyse, exploration et exploitation des modèles par le biais de la simulation.

Références

B. Goffinet, J.-P. Amigues, Y. Brunet, F. Clément, F. Courtois, G. Della Valle, L. Di Pietro, M. Duru, R. Faivre, P. Faverdin, C. Fourichon, A. Franc, V. Ginot, J.-J. Godon, F. Hospital, S. Lardon, R. Martin-Clouaire, H. Monod, H. Seegers, H. Sinoquet, J. Traas, G. Trystram, J.-P. Vila, and D. Wallach. La modélisation à l'INRA. Technical report, INRA, 2005.

Foreword

The cautious modeller : craftsmanship without wizardry

Andrea Saltelli

*European Commission, Joint Research Centre,
Unit of Econometrics and Applied Statistics,
Ispra (I)*

According to Naomi Oreskes (2000) “[...] models are complex amalgam of theoretical and phenomenological laws (and the governing equations and algorithms that represent them), empirical input parameters, and a model conceptualization. When a model generates a prediction, of what precisely is the prediction a test? The laws? The input data? The conceptualization? Any part (or several parts) of the model might be in error, and there is no simple way to determine which one it is”.

Oreskes’s point is linked to the parallel often made between a logical proposition – a theory-based statement - and a model prediction. Although models share the scientific flavour of postulated laws or theories they are not laws in that the making of a model is substantially more fraught with assumptions than crisp theories or agile laws ordinarily are.

She notes “[...] to be of value in theory testing, the predictions involved must be capable of refuting the theory that generated them.” What when the “theory” is not a law but a mathematical model? “This is where predictions [...] become particularly sticky.”

The crux of the matter is that model based inferences are very delicate artefacts. These artefacts can be immensely useful as well as dramatically deceiving. Foremost this is due to the fact that models lend themselves to a universe of possible uses. Philosopher Jean Baudrillard was among the

many to note how different model use is between controlled laboratory conditions and – to make just an example – model use in mass communication (Baudrillard, 1999, p.92).

In his critique of man's addiction to a "simulated" version of reality he states :

One "fabricates" a model by combining characteristics or elements of the real ; and, by making them "act out" a future event, structure or situation, tactical conclusions can be drawn and applied to reality. It can be used as an analytic tool under controlled scientific conditions. In mass communication, this procedure assumes the force of reality, abolishing and volatilizing the latter in favour of that neo-reality of a model materialized by the medium itself.

For Funtowicz and Ravetz different quality control standards apply to different contexts, depending mostly on the stakes associated to a model prediction (e.g. relevant to many versus relevant to a few), as well on the associated uncertainties (Funtowicz and Ravetz, 1990, 1993). High stakes, high uncertainty settings call – also in the case of mathematical modelling – for forms of quality assurance beyond those in use within the discipline. In this respect the use of models' pedigree has been advocated by van der Sluijs (2002).

To complicate the matter further, prediction's stakes and prediction's uncertainties are not independent from one another, as – in a situation where stakes are high - competing parties may inflate or deflate the uncertainty associated to a model inference according to their convenience (Michaels, 2005 ; Oreskes and Conway, 2010).

A modeller quietly going about her business and toiling with algorithms to solve a technical tasks – be it a mechanism identification, an optimization, a *ceteris paribus* analysis, or an expert system may wonder in which way all this should be of concern. In a sense linked to Oreskes' initial remarks, the considerations above should be a concern to all modellers. How does the reader of the present manual test her model when it is built by combining a conceptualization, a set of laws and input data, with algorithms, boundary conditions and who knows how many other explicit or implicit assumptions ? Depending on what kind of analysis the modeller is engaged she may be more concerned about the model's sensitivity to one or another of the features above. This implies that she must have a sure grasp, a firm understanding of what drives the inference of her model, foremost for herself, but also because she might be called to defend her analysis.

One way to invalidate a model is to bring out in the open the many assumptions possibly hidden in its construction (Laes et al., 2011; Klopprogge et al., 2011).

Recommendations along these lines can be found in several disciplines. A need for a global sensitivity analysis has been advocated by econometricians (Leamer, 1990, 2010; Kennedy, 2007), as well and by international agencies (EPA, 2009; OMB, 2002, 2006) and practitioners (Saltelli, 2010). The team running the *Écoles Chercheurs MEXICO* has made a fortunate choice in naming the present Handbook “Analyse de sensibilité et exploration de modèles”, in that sensitivity analysis is foremost about exploring the space of the input assumptions in such a way as to be able to map the inference to the assumptions in a transparent fashion. Such a mapping is precious in several respects.

Having done such a mapping the modeler will naturally tend to present her inference in the form of a distribution, or at least to give confidence bounds, avoiding the ludicrous spurious accuracy often accompanied to model inferences (e.g. giving an economic prediction with four significant digits when two would already be difficult to defend).

Knowing what factors drive the variation in model prediction allows one to simplify models. When models are to be audited by an external entity a simplified model representation can be extremely useful, especially if guidelines applicable to the subject domain prescribe transparency, i.e. in the form of reproducibility by independent actors (OMB, 2007).

At the most basic level of the analysis, the mapping will most likely help identify inconsistencies or “surprises” in the way the model reacts.

Still, sensitivity analysis (or sensitivity auditing, which is sensitivity analysis deployed in a context of scientific support to policy (Saltelli et al., 2012)) is no panacea. A few caveats are de rigueur :

“It is important [...] to recognize that the sensitivity of the parameter in the equation is what is being determined, not the sensitivity of the parameter in nature. [...] If the model is wrong or if it is a poor representation of reality, determining the sensitivity of an individual parameter in the model is a meaningless pursuit.” (Pilkey and Pilkey-Jarvis, 2007).

Some sensitivity analyses can be poor or perfunctory, either because of lack of ingenuity in their construction or because of a cavalier attitude with regard to uncertainties. To make just an example, a sensitivity analysis performed by changing one factor at a time is definitely a poor practice (Saltelli and Annoni, 2010).

Simply because we do not know what we do not know, all sensitivity analysis will remain subject to an incompleteness principle. In controversial cases, the quality of a SA will be judged by its fitness for purpose, e.g. by its acceptance and defensibility.

We would like to conclude this short preface to the excellent work of our MEXICO team with a spoon of irony, borrowed from Douglas Adams, the popular author of the BBC's Hitchhiker Guide to the Galaxy. In one of his novels a character states (Adams, 1987, p. 69) :

“Well, [...] [the] great insight was to design a program which allowed you to specify in advance what decision you wished it to reach, and only then to give it all the facts. The program's task, [...], was to construct a plausible series of logical-sounding steps to connect the premises with the conclusion.”

Modelling has been defined as an art, or better a craftsmanship (Rosen, 1991). Like all creative activities, modelling gives joy to its maker. Might the users of this manual enjoy their craft with a vigilant eye against mal-practice !

References

- D. Adams, 1987. Dirk Gently's Holistic Detective Agency, Pocket Books.
- J. Baudrillard, 1999. Revenge of the Crystal : Selected Writings on the Modern Object and Its Destiny, 1968-83, Pluto Classics.
- EPA, 2009. Guidelines, p. 69-76, accessed June 12, 2012.
http://www.epa.gov/crem/library/cred_guidance_0309.pdf
- S.O. Funtowicz and J.R. Ravetz, 1990. Uncertainty and Quality in Science for Policy, Springer, Dordrecht, p. 54.
- S.O. Funtowicz and J.R. Ravetz, 1993. Science for the Post Normal age, Futures, 25, 739-755.
- M. Henrion, 2006. Open-Source Policy Modelling, accessed June 12, 2012.
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/assets/omb/inforeg/comments_rab/mh.pdf
- P. Kennedy, 2007. A guide to econometrics, Fifth edition, Blackwell Publishing, p. 396.
- D. Michaels, 2005. Doubt is their product, Scientific American, June, 292, Issue 6.

- E. Laes, G. Meskens and J.P. van der Sluijs, 2011. On the contribution of external cost calculations to energy system governance : The case of a potential large-scale nuclear accident, *Energy Policy*, 39(9), p. 5664–5673.
- E. Leamer, 1990. Let's take the con out of econometrics, and Sensitivity analysis would help. In C. Granger (ed.) *Modelling Economic Series*, Clarendon Press, Oxford, or : Leamer, E., 1990, Let's Take the Con Out of Econometrics, *American Economics Review*, 73 (March 1983), 31-43.
- E. Leamer, 2010. Tantalus on the Road to Asymptopia, *Journal of Economic Perspectives*, 24, (2), 31–46.
- OMB : Office of Management and Budget, 2002. Guidelines for Ensuring and Maximizing the Quality, Objectivity, Utility, and Integrity of Information Disseminated by Federal Agencies; *Federal Register* / Vol. 67, No. 36 / Friday, February 22, 2002 / Notices, p. 8456, accessed June 12, 2012.
<http://www.whitehouse.gov/omb/fedreg/reproducible2.pdf>
- OMB : Office of Management and Budget's, 2012. Office of Information and Regulatory Affairs (OIRA), January 9, 2006, Proposed Risk Assessment Bulletin, p. 16-17, accessed June 12, 2012.
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/assets/omb/inforeg/proposed_risk_assessment_bulletin_010906.pdf
- N. Oreskes, 2000. Why predict? Historical perspectives on prediction in Earth Science, in *Prediction, Science, Decision Making and the future of Nature*, Sarewitz et al., Eds., Island Press, Washington DC.
- N. Oreskes and E. M. Conway, 2010. *Merchants of Doubt*, Bloomsbury Press.
- O. H. Pilkey and L. Pilkey-Jarvis, 2007. *Useless Arithmetic. Why Environmental Scientists Can't Predict the Future*, Columbia University Press, New York.
- R. Rosen, 1991. *Life Itself - a Comprehensive Inquiry into Nature, Origin, and Fabrication of Life*, Columbia University Press, p. 49-55.
- A. Saltelli and P. Annoni, 2010. How to avoid a perfunctory sensitivity analysis, *Environmental Modeling and Software*, 25 : 1508-1517.
- A. Saltelli and B. D'Hombres, 2010. Sensitivity analysis didn't help. A practitioner's critique of the Stern review, *Journal of Global Environmental Change*, 20 : 298–302.

A. Saltelli, S. Funtowicz, A. Pereira and J. van der Sluijs, 2012. What do I make of your Latinorum? Sensitivity auditing of mathematical modeling, in preparation.

J.P. Van der Sluijs, 2002. A way out of the credibility crisis around model-use in Integrated Environmental Assessment, *Futures*, 34, 133-146.

Préface

Le modélisateur avisé : de l'artisanat sans sorcellerie

*Andrea Saltelli (traduction Hervé Monod)
European Commission, Joint Research Centre,
Unit of Econometrics and Applied Statistics,
Ispra (I)*

Selon Naomi Oreskes (2000), “[...] les modèles sont un amalgame complexe de lois théoriques et phénoménologiques (et des équations et algorithmes qui les représentent), de paramètres empiriques et d’une conceptualisation du modèle. Lorsqu’un modèle engendre une prédiction, qu’est-ce qui est vraiment testé par la prédiction ? Les lois ? Les variables d’entrée ? La conceptualisation ? N’importe quelle partie (une ou plusieurs) du modèle peut être dans l’erreur, et il n’y a pas de façon simple de déterminer de laquelle il s’agit”.

La question que pose Oreskes est liée au parallèle qui est souvent établi entre une proposition logique - une déclaration basée sur la théorie - et la prédiction issue d’un modèle. Bien que les modèles partagent la saveur scientifique de lois postulées ou de théories, ce ne sont pas des lois en ce sens que la création d’un modèle est nettement plus grosse de suppositions que de croustillantes théories ou d’agiles lois ne le sont d’ordinaire.

Elle fait remarquer que “[...] pour avoir de la valeur au moment de tester une théorie, les prédictions impliquées doivent être capables de réfuter la théorie qui les a générées”. Que dire alors lorsque la “théorie” est non pas une loi mais un modèle mathématique ? “C’est là que les prédictions [...] deviennent particulièrement peu accommodantes”.

Le nœud du problème est que les inférences basées sur un modèle sont de très subtils artefacts. Ces artefacts peuvent être immensément utiles autant que dramatiquement trompeurs. Plus que tout, cela est dû au fait que

les modèles se prêtent à tout un univers d'utilisations possibles. Le philosophe Jean Baudrillard a été un parmi d'autres à faire remarquer combien sont différentes les utilisations d'un modèle entre des conditions contrôlées en laboratoire et - pour donner juste un exemple - son utilisation pour de la communication de masse (Baudrillard, 1999, p.92).

Dans sa critique de l'addiction de l'homme à une version "simulée" de la réalité il déclare :

On "fabrique" un modèle en combinant des caractéristiques ou des éléments du réel ; et, en les faisant "exprimer" un événement, une structure ou une situation futurs, des conclusions tactiques peuvent être tirées et appliquées à la réalité. Le modèle peut être utilisé comme un outil analytique, sous des conditions scientifiques contrôlées. En communication de masse, cette procédure postule la force du réel, abolissant et faisant se volatiliser ce dernier en faveur de cette néo-réalité d'un modèle matérialisé par le medium lui-même.

Pour Funtowicz et Ravetz différents standards de qualité s'appliquent suivant le contexte, selon principalement les enjeux associés à une prédiction du modèle (par ex. pertinente pour beaucoup versus pertinente pour un petit nombre), ainsi qu'aux incertitudes qui y sont liées (Funtowicz and Ravetz, 1990, 1993). Des enjeux importants, des niveaux d'incertitude élevés appellent - également dans le cas de modèles mathématiques - à des formes d'assurance qualité au-delà de celles en usage dans la discipline. De ce point de vue, l'utilisation du pedigree des modèles a été préconisée par van der Sluijs (2002).

Pour compliquer encore le problème, les enjeux de la prédiction et les incertitudes de la prédiction ne sont pas indépendants l'un de l'autre, vu que - dans une situation où les enjeux sont élevés - les parties en compétition peuvent gonfler ou dégonfler l'incertitude associée à l'inférence sur un modèle, selon leur convenance (Michaels, 2005 ; Oreskes and Conway, 2010).

Une modélisatrice vaquant tranquillement à ses affaires et travaillant dur sur des algorithmes pour résoudre des tâches techniques - qu'il s'agisse de l'identification d'un mécanisme, d'une analyse *ceteris paribus*, ou d'un système expert - peut se demander en quoi tout cela la concerne. En un sens qui est lié aux remarques initiales d'Oreskes, les considérations ci-dessus devraient préoccuper tous les modélisateurs. Comment la lectrice du présent manuel teste-t-elle son modèle alors qu'il est construit en combinant une conceptualisation, un ensemble de lois et de données d'entrée, avec des algorithmes, des conditions au bord et qui sait combien d'autres

hypothèses explicites ou implicites ? Selon le type d'analyse dans laquelle elle est engagée, la modélisatrice peut se sentir plus ou moins concernée par la sensibilité du modèle à l'une ou l'autre des caractéristiques mentionnées ci-dessus. Cela implique qu'elle doit avoir une prise en main solide, une compréhension ferme de ce qui pilote l'inférence de son modèle, avant tout pour elle-même, mais aussi parce qu'elle pourrait être appelée à défendre son analyse.

Une bonne façon d'invalider un modèle est de sortir au grand jour les nombreuses hypothèses plus ou moins cachées dans sa construction (Laes et al., 2011 ; Klopogge *et al.*, 2011).

Des recommandations selon ces grandes lignes peuvent être trouvées dans de nombreuses disciplines. Un besoin en analyse de sensibilité globale a été préconisé par des économétriciens (Leamer, 1990, 2010 ; Kennedy, 2007), aussi bien que par des agences internationales (EPA, 2009 ; OMB, 2002, 2006) et des praticiens (Saltelli, 2010). L'équipe qui organise les Écoles-Chercheurs MEXICO a fait un choix heureux en nommant le présent Manuel "Analyse de sensibilité et exploration de modèles", en ce sens que l'analyse de sensibilité porte avant tout sur une exploration de l'espace des hypothèses d'entrée de façon telle qu'il devienne possible de relier l'inférence aux hypothèses d'une façon transparente. Une telle liaison est précieuse pour de multiples raisons.

Ayant établi une telle liaison, la modélisatrice va tendre à présenter son inférence sous la forme d'une distribution, ou au moins à donner des bornes d'incertitude, évitant la précision factice et ridicule qui accompagne souvent les inférences d'un modèle (par ex. en donnant une prédiction économique avec quatre chiffres significatifs alors qu'il serait difficile d'en défendre ne serait-ce que deux).

Savoir quels facteurs jouent sur la variation de la prédiction du modèle permet de simplifier les modèles. Quand les modèles doivent être vérifiés par une entité externe, une représentation simplifiée du modèle peut s'avérer extrêmement utile, en particulier si les directives applicables au domaine en question préconisent la transparence, *i.e.* en termes de reproductibilité par des acteurs indépendants (OMB, 2007).

Au niveau le plus basique de l'analyse, la liaison aidera le plus vraisemblablement à identifier les incohérences ou les "surprises" sur la façon dont le modèle réagit.

Néanmoins, l'analyse de sensibilité (ou l'évaluation de la sensibilité, qui désigne de l'analyse de sensibilité déployée dans le cadre de l'aide scientifique à la décision politique (Saltelli et al., 2012)) n'est pas la panacée.

Quelques avertissements sont de rigueur : “Il est important [...] de reconnaître que ce qui est déterminé, c’est la sensibilité du paramètre dans l’équation, et non la sensibilité du paramètre dans la nature. [...] Si le modèle est faux ou s’il est une pauvre représentation de la réalité, déterminer la sensibilité d’un paramètre individuel dans le modèle est une démarche dénuée de toute signification.” (Pilkey and Pilkey-Jarvis, 2007).

Certaines analyses de sensibilité peuvent être faibles ou superficielles, soit par manque d’ingéniosité dans leur construction soit à cause d’une attitude cavalière vis-à-vis des incertitudes. Pour donner juste un exemple, une analyse de sensibilité conduite en changeant un facteur à la fois est définitivement une mauvaise pratique (Saltelli and Annoni, 2010).

Simplement parce que nous ne savons pas ce que nous ne savons pas, toute analyse de sensibilité restera sujette au principe d’incomplétude. Dans les situations controversées, la qualité d’une analyse de sensibilité sera jugée par son adéquation à l’objectif poursuivi, par ex. par son acceptabilité et sa capacité à être défendue.

Nous voudrions conclure cette courte préface à l’excellent travail de notre équipe MEXICO par une pincée d’ironie, empruntée à Douglas Adams, le populaire auteur de l’émission de la BBC *Hitchhiker Guide to the Galaxy*. Dans l’un de ses romans, un personnage déclare (Adams, 1987, p. 69) : “Eh bien, [...] [la] grande avancée était de concevoir un programme qui vous permette de spécifier à l’avance quelle décision vous souhaitez qu’il atteigne, et alors seulement à lui fournir tous les faits. La tâche du programme, [...], était de construire une série plausible d’étapes apparemment logiques pour connecter les prémisses à la conclusion.”

Modéliser a été défini comme un art, ou mieux comme un artisanat (Rosen, 1991). Comme toutes les activités créatrices, modéliser apporte de la joie à son créateur. Puissent les utilisateurs de ce manuel prendre plaisir à leur artisanat tout en gardant un œil vigilant contre les mauvaises pratiques !

Références

- D. Adams, 1987. Dirk Gently’s Holistic Detective Agency, Pocket Books.
J. Baudrillard, 1999. Revenge of the Crystal : Selected Writings on the Modern Object and Its Destiny, 1968-83, Pluto Classics.

- EPA, 2009. Guidelines, p. 69-76, accessed June 12, 2012.
http://www.epa.gov/crem/library/cred_guidance_0309.pdf
- S.O. Funtowicz and J.R. Ravetz, 1990. Uncertainty and Quality in Science for Policy, Springer, Dordrecht, p. 54.
- S.O. Funtowicz and J.R. Ravetz, 1993. Science for the Post Normal age, *Futures*, 25, 739–755.
- M. Henrion, 2006. Open-Source Policy Modelling, accessed June 12, 2012.
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/assets/omb/inforeg/comments_rab/mh.pdf
- P. Kennedy, 2007. A guide to econometrics, Fifth edition, Blackwell Publishing, p. 396.
- D. Michaels, 2005. Doubt is their product, *Scientific American*, June, 292, Issue 6.
- E. Laes, G. Meskens and J.P. van der Sluijs, 2011. On the contribution of external cost calculations to energy system governance : The case of a potential large-scale nuclear accident, *Energy Policy*, 39(9), p. 5664–5673.
- E. Leamer, 1990. Let's take the con out of econometrics, and Sensitivity analysis would help. In C. Granger (ed.) *Modelling Economic Series*, Clarendon Press, Oxford, or : Leamer, E., 1990, Let's Take the Con Out of Econometrics, *American Economics Review*, 73 (March 1983), 31-43.
- E. Leamer, 2010. Tantalus on the Road to Asymptopia, *Journal of Economic Perspectives*, 24, (2), 31–46.
- OMB : Office of Management and Budget, 2002. Guidelines for Ensuring and Maximizing the Quality, Objectivity, Utility, and Integrity of Information Disseminated by Federal Agencies ; *Federal Register* / Vol. 67, No. 36 / Friday, February 22, 2002 / Notices, p. 8456, accessed June 12, 2012.
<http://www.whitehouse.gov/omb/fedreg/reproducible2.pdf>
- OMB : Office of Management and Budget's, 2012. Office of Information and Regulatory Affairs (OIRA), January 9, 2006, Proposed Risk Assessment Bulletin, p. 16-17, accessed June 12, 2012.
http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/assets/omb/inforeg/proposed_risk_assessment_bulletin_010906.pdf
- N. Oreskes, 2000. Why predict? Historical perspectives on prediction in Earth Science, in *Prediction, Science, Decision Making and the future of Nature*, Sarewitz et al., Eds., Island Press, Washington DC.

N. Oreskesand and E. M. Conway, 2010. Merchants of Doubt, Bloomsbury Press.

O. H. Pilkey and L. Pilkey-Jarvis, 2007. Useless Arithmetic. Why Environmental Scientists Can't Predict the Future, Columbia University Press, New York.

R. Rosen, 1991. Life Itself - a Comprehensive Inquiry into Nature, Origin, and Fabrication of Life, Columbia University Press, p. 49-55.

A. Saltelli and P. Annoni, 2010. How to avoid a perfunctory sensitivity analysis, Environmental Modeling and Software, 25 : 1508-1517.

A. Saltelli and B. D'Hombres 2010. Sensitivity analysis didn't help. A practitioner's critique of the Stern review, Journal of Global Environmental Change, 20 : 298-302.

A. Saltelli, S. Funtowicz, A. Pereira and J. van der Sluijs, 2012. What do I make of your Latinorum? Sensitivity auditing of mathematical modelling, in preparation.

J.P. Van der Sluijs, 2002. A way out of the credibility crisis around model-use in Integrated Environmental Assessment, Futures, 34, 133-146.