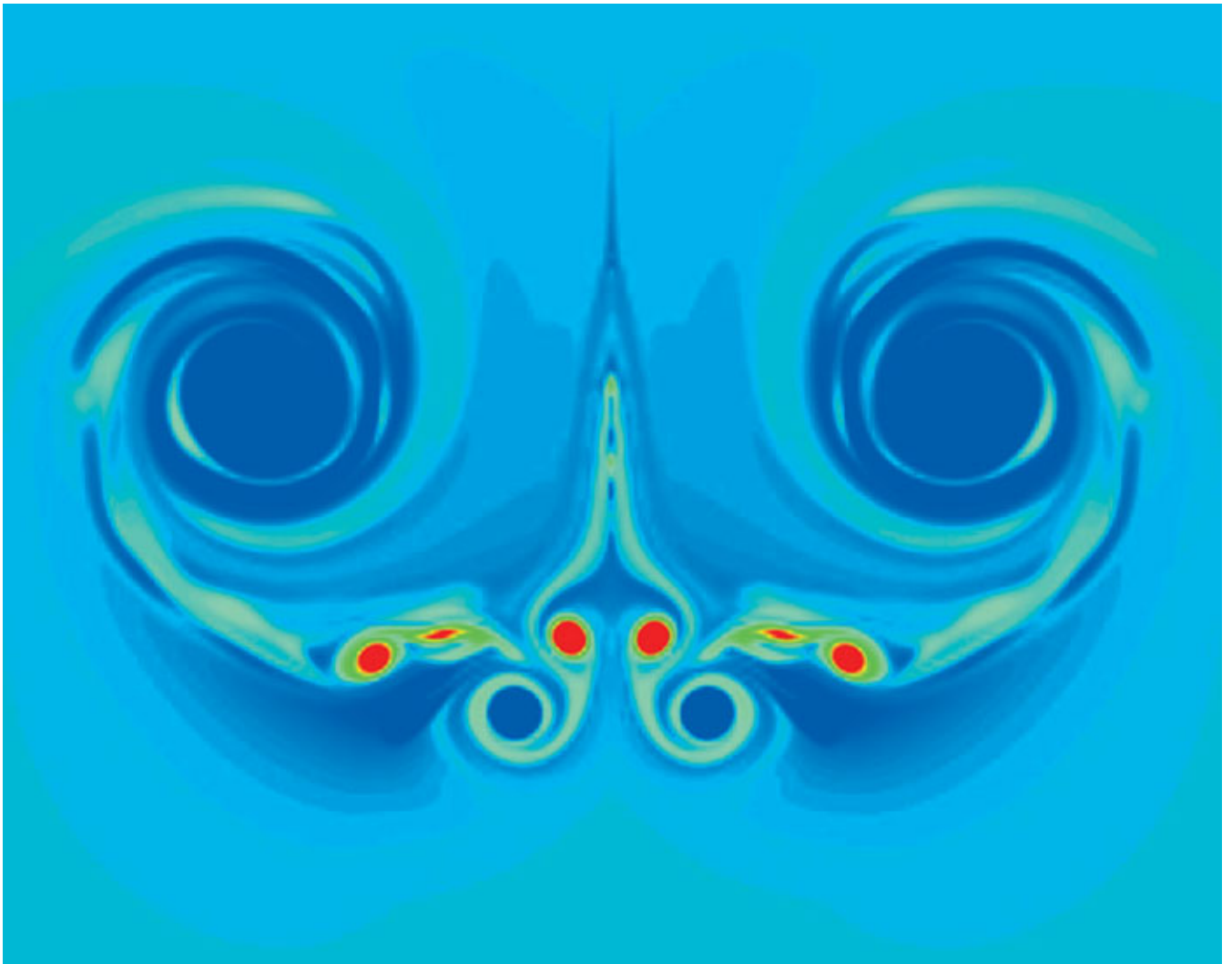


# COMPRENDRE, CONCEVOIR, AGIR : LES TROIS FINALITÉS DE LA SIMULATION

*En tant qu'activité scientifique, la simulation peut sembler a priori présenter autant de promesses que de risques. S'ils doivent rester conscients de ses limites, les chercheurs et les ingénieurs disposent avec elle d'un outil irremplaçable pour dépasser les insuffisances ou les impossibilités de l'expérimentation.*



Onera

*Simulation numérique des tourbillons de sillage d'un avion de transport. En aérodynamique, les avionneurs étudient depuis longtemps, en soufflerie, les écoulements autour de modèles réduits.*



Simuler, dit le dictionnaire, “c’est donner pour réel ce qui ne l’est pas, en imitant l’apparence de la chose réelle à laquelle on veut faire croire”. La simulation, dans le langage courant, a souvent un sens négatif : elle a à voir avec la feinte, le déguisement, la ruse, la comédie. On la distingue du mime en ce qu’elle n’est ni une pure copie, ni une simple reproduction. En général, elle consiste en une imitation d’un original par rapport auquel elle introduit toujours des variations. De là vient que la simulation est toujours double, à la fois jeu

et exercice, tromperie et prouesse, faux-semblant et art, dissimulation et apprentissage. Sur une face, elle apparaît comme faiseuse d’illusions. Sur l’autre, elle est gage de perfectionnement et de conquête.

## Surcroît de réalité ou infra-réalité ?

Certains de ces aspects se retrouvent dans l’usage que les sciences font de la simulation. Celle-ci y renvoie, là encore, à l’idée d’imitation. Elle consiste même en une imi-



PhotoDisc

*La simulation, entre autres applications, permet de déterminer la configuration optimale d'un réseau routier.*



tation "au carré" de la nature au sens où ce n'est pas la nature elle-même qu'elle reproduit, mais le modèle par lequel nous avons préalablement choisi de la représenter. Elle exhibe ainsi un "surcroît de réalité" en rendant explicite ce qui, dans une théorie ou un modèle, n'est qu'implicite ou camouflé. Une bonne simulation procède de la révélation.

Mais il arrive aussi que, mal conduite ou mal interprétée, elle ne montre au contraire qu'une infra-réalité illusoire ou qu'elle caricature à l'excès l'image de ce qu'elle est censée illustrer. Elle peut par exemple dépasser les bornes d'un modèle, sortir de son domaine de validité, oublier un phénomène essentiel, et cela sans qu'aucun signal d'alerte ne soit aussitôt émis. Une mauvaise simulation procède du simulacre.

Puisque le modèle qui lui sert de support est toujours incomplet, une modélisation ne peut jamais elle-même prétendre à la complétude. Ce qu'elle donne à voir, ce sont au mieux des bribes fidèles, mais épurées ou simplifiées, de la réalité. D'autres aspects de cette même réalité seront laissés dans l'ombre. Au mépris du sens des mots, la simulation a donc toujours partie liée avec la dissimulation. Est-ce grave ? Non, car rien n'est perdu dès lors que ce qu'elle cache ou néglige n'est pas pertinent dans le cadre du problème qu'on se pose. D'ailleurs, qu'est-ce qu'un bon modèle, sinon celui qui contient le minimum d'ingrédients nécessaires pour exhiber de l'universalité à propos de ce que l'on veut décrire ou comprendre ?

D'une façon générale, pour un scientifique, simuler, c'est faire des "expérimentations sur un modèle" : il réalise une reproduction artificielle du phénomène qu'il désire étudier, puis observe le comportement de cette reproduction lorsqu'il fait varier les actions

que l'on peut exercer sur celle-ci, et en induit ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence d'actions analogues. Dans la pratique, cette méthodologie se décline en plusieurs variantes qui offrent diverses vertus. Examinons-en quelques-unes.

### **Pénétrer les "no-man's-lands expérimentaux"**

La simulation a d'abord une dimension heuristique. Elle montre ce que les formalismes abstraits ne montrent pas directement, donne de la chair aux équations, habille les théories, fait parler les concepts, décline leurs applications concrètes (souvent de façon très esthétique). Cette vertu la rend parfois indispensable. C'est le cas quand les équations sont trop complexes. C'est aussi le cas lorsque les prédictions d'une théorie ne peuvent être confrontées à l'expérience directe, en raison de considérations morales, d'impératifs temporels, de contraintes budgétaires ou d'obstacles naturels. C'est ainsi que la simulation permet de décrire ce qui se passe au cœur d'une étoile ou dans une collision de galaxies, de reconstituer le climat d'il y a cent mille ans, d'extrapoler certains processus physiques à très long terme, de déterminer la configuration optimale d'un réseau routier, de prévoir les répercussions de diverses mesures économiques sur la consommation ou l'épargne. Lorsqu'on a affaire à un "no-man's-land expérimental", la simulation devient un outil irremplaçable. Bien simuler, c'est au bout du compte se donner les moyens de mieux comprendre, de mieux concevoir, et surtout de mieux agir. La simulation est également déterminante dans les cas où l'on ne dispose pas de bases théoriques solides, et où l'on cherche précisément à élaborer une théorie rendant

compte des données d'observation. On peut alors définir avec précision les conséquences concrètes des différents modèles théoriques possibles, déterminer lequel fournit l'approximation la plus fiable, et ensuite comprendre, voire optimiser, certains processus.

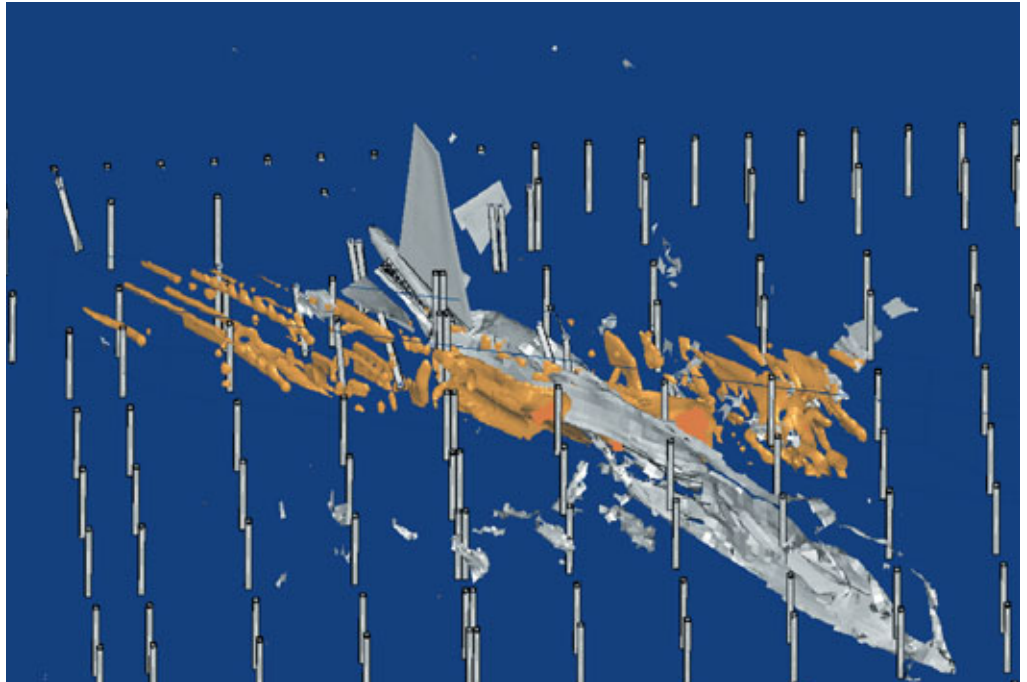
La simulation n'est pas exclusivement numérique. Elle peut être "analogique". On peut par exemple utiliser des lois d'échelle faisant intervenir des nombres sans dimension pour réaliser des expériences à petites échelles et ainsi rendre compte de phénomènes qui, dans la nature, se produisent à grande échelle ou sur des durées très longues. Ainsi simule-t-on la convection dans le manteau terrestre en étudiant les mouvements fluides au sein de récipients remplis d'un liquide visqueux chauffé. De même, on peut simuler les circulations fluides sur une maquette pour prédire le climat. En aérodynamique, on peut esquisser, dans une soufflerie, les écoulements autour du modèle réduit d'un avion. Ces simulations analogiques peuvent être complétées par des simulations numériques qui en réduisent le coût et le nombre.

Enfin, la simulation permet de faire fonctionner un système (un robot, un avion, une centrale nucléaire) de manière virtuelle à l'aide d'un programme d'ordinateur. Le principe en est simple : si le programme a bien incorporé tous les modes de comportement des différents sous-systèmes, alors l'opérateur peut "faire comme" s'il agissait sur le système réel. C'est sur cette idée que reposent les simulateurs les plus classiques (de conduite, de vol, de trafic, de pilotage...). Leur fonction est alors d'entraîner les personnels, d'aider à la décision ou à l'action en environnement réel, voire de prévoir le comportement d'un système dans un environnement inaccessible à l'homme.

*Une bonne simulation peut apporter plus d'informations qu'une expérience globale insuffisamment préparée ou difficilement reproductible, ne serait-ce qu'en raison de son coût.*

*En haut, simulation de la destruction du Boeing 757 qui a pénétré dans les bâtiments du Pentagone lors des attentats du 11 septembre 2001. Réalisée à partir des lois physiques par des chercheurs de l'Université Purdue et des ingénieurs en génie civil, cette reconstitution montre comment les piliers en béton armé d'acier ont pulvérisé l'avion, en particulier ses ailes, et comment le kérosène enflammé s'est répandu (en orange).*

*En bas, cet essai de crash volontaire d'un Boeing 720, réalisé le 1<sup>er</sup> décembre 1984 par la NASA sur la base d'Edwards (Californie) avait notamment pour but de tester un additif censé limiter l'inflammabilité du kérosène. Il avait été loin de donner tous les résultats escomptés.*



School of Civil Engineering and Department of Computer Sciences/Purdue University



Nasa

## Entre théorie et expérience

Comme on voit, la simulation présente de multiples facettes. Mais quel est son statut épistémologique ? Ni celui de la théorie, ni celui de l'expérience. La simulation a en effet introduit, sans conteste possible, un nouveau rapport vis-à-vis de notre représentation du monde. Jusque dans les années 1950, théorie et expérience étaient présentées comme des activités dialectiquement corrélées (Gaston Bachelard, Karl Popper). L'idée était que la science naissait d'un incessant va-et-vient entre l'une et l'autre. Cette donne a changé avec l'arrivée massive des ordinateurs et du calcul numérique, au point que de nouvelles questions sont aujourd'hui posées : les simulations pourraient-elles avoir le même statut que les expériences ? Deviendront-elles capables, à l'occasion, de falsifier une théorie ? Permettent-elles toujours de mieux comprendre les modèles qu'elles illustrent ? Quant à l'effet positif de la simulation, qui tient à l'économie de temps et d'argent, voire à l'accès à des réalités hostiles ou dange-

reuses par l'apport des réalités virtuelles, ne doit-il pas être contrebalancé par le risque de fuite devant le réel et devant l'expérimentation concrète ? Reste que la simulation a progressivement modifié la fonction du réel dans les sciences. Autrefois, les scientifiques évoquaient un réel dont ils pensaient pouvoir être assurés, un réel inentamable, authentique, originaire et non fictif. Aujourd'hui, c'est la nature même de ce réel qui est en train de se métamorphoser par l'utilisation généralisée de simulations, de modélisations et de scénarios. Jadis, il était tantôt l'objet, tantôt l'obstacle, tantôt le critère, tantôt l'épreuve de la science. Il s'entoure désormais de virtuel de sorte que ses contours ne sont plus fixes. La science simulante traite des possibles, et non pas seulement de ce qui est. ●

**Étienne Klein**

Direction des sciences de la matière  
CEA centre de Saclay