

Le sophiste et ses images : épistémologie du temps simulé

Cyrille Imbert

<version avant les corrections sur épreuves>

<Merci de se référer à la version publiée pour citer ce texte>

Imbert, Cyrille. « Le sophiste et ses images : épistémologie du temps simulé ». *Revue philosophique de la France et de l'étranger* 133, n° 3 (11 septembre 2008): 309-318.
doi:10.3917/rphi.083.0309.

Les simulations sont très utilisées dans l'étude des systèmes complexes. Une des difficultés majeures de cette étude est qu'elle requiert des calculs très longs. Par exemple, l'étude d'un réseau de spins (c'est-à-dire de petits aimants) en trois dimensions pour lequel il faut trouver l'état de plus basse énergie est un problème qui demande un temps de calcul qui croît exponentiellement avec la taille du système. De même, à cause de phénomènes comme la sensibilité aux conditions initiales (« l'effet papillon »), la prédiction de l'évolution exacte d'un fluide turbulent demande un temps de calcul qui croît exponentiellement. Pour étudier de tels systèmes, on en fait donc des simulations numériques car seuls les ordinateurs sont en mesure de faire de tels calculs. Comme le comportement des systèmes complexes dépend très souvent du détail de ce qui s'y passe, comme dans l'effet papillon, ces simulations numériques doivent tenir compte du détail des interactions de ces systèmes et en produire une représentation très précise afin qu'il soit finalement possible d'extraire de l'information sur le système simulé à partir de la simulation.

Pour qu'une simulation scientifique atteigne ce but, une des conditions est presque toujours qu'elle soit fidèle par un aspect ou par un autre à ce qu'elle simule. *Etre fidèle* n'implique pas nécessairement *ressembler*. Une description linguistique d'un train ne ressemble pas à ce train. Par contre, il peut s'agir d'une description fidèle au sens où elle contient des informations sur ce train qui sont exactes, par exemple sa longueur, sa hauteur, sa masse, etc. Dans certaines circonstances, il est néanmoins crucial que le système simulant soit physiquement très similaire au système simulé. C'est par exemple le cas quand on utilise des simulateurs de vol pour entraîner les pilotes. Le simulateur doit reproduire les conditions d'un vol normal et la trajectoire que suivrait l'avion en fonction des réactions du pilote. En plus, il est très important que le simulateur ressemble matériellement au système simulé (tableau de bord, position des boutons, etc.) pour que le pilote prenne ses repères. De même, lorsqu'on simule le comportement d'un avion dans une soufflerie ou le comportement d'un sous-marin à l'aide d'un modèle réduit, il est crucial que la géométrie du système simulant ressemble à la géométrie du système simulé pour que la simulation nous renseigne fidèlement sur le système simulé. Dans de tels cas, la ressemblance est manifeste.

On peut enfin noter que les simulations numériques sont d'ordinaire accompagnées de riches interfaces qui nous permettent de visualiser ce que calcule l'ordinateur. Dans de tels cas, une comparaison entre les images produites par la simulation et des images obtenues par des expériences produit une frappante impression de ressemblance au point qu'il est la plupart du temps impossible de savoir à la simple vision l'origine de l'image. Ces visualisations ne

révèlent-elles pas qu'une simulation est en fait comme une réplique du système étudié, un monde analogue qui lui ressemble et dans lequel des événements similaires surviennent ?

De tels exemples et de telles constatations peuvent nous incliner à penser que plus une simulation ressemble au système qu'elle simule meilleure elle est. Je souhaite montrer dans cet article que ces exemples sont trompeurs et que la propriété de ressemblance avec le système représenté ne fait pas partie des propriétés qui caractérisent de façon générale ce que sont ou doivent être les simulations.

Pour cela, je vais montrer dans ce qui suit qu'une simulation, pour bien fonctionner comme représentation, doit sur certains points être vraiment différente de ce qu'elle représente et que la ressemblance n'est donc en général pas une propriété souhaitable des simulations, même si la fidélité à ce qui est représenté l'est. Montrer cela de façon générale serait une tâche de longue haleine. Je me propose donc ici plus modestement de l'illustrer sur la question de la représentation du temps. L'argument principal que je développe est le suivant. Une bonne représentation scientifique est une représentation qui permet d'extraire de l'information sur le système étudié de la façon la plus économique possible. Dans le cas des simulations numériques, cette contrainte est incompatible avec la production d'une représentation qui ressemble du point de vue temporel à l'objet qu'elle représente.

LES DIFFERENTS TEMPS CARACTERISANT LES SIMULATIONS

Les simulations-comme représentations possédant une dynamique

Une des particularités des simulations est qu'elles sont des représentations dynamiques. Par cela, je veux dire non pas qu'elles représentent des processus dynamiques mais que la représentation est elle-même, en tant que représentation, dotée d'un caractère dynamique, c'est-à-dire, comme nous allons le voir, qu'elle est composée de plusieurs représentations qui s'engendrent successivement. Le fait de représenter des processus dynamiques n'est pas l'apanage des simulations. Une équation différentielle comme le principe fondamental de la dynamique de Newton ($\Sigma F = ma$), appliquée à un système dans lequel le poids P est la seule force (ce qui donne $P = ma$), est en effet déjà la représentation d'un processus dynamique, puisqu'elle indique comment l'accélération d'un objet évolue en fonction des forces qui lui sont appliquées. Il s'agit d'une représentation statique, c'est-à-dire qui n'évolue pas. Pour représenter la dynamique des objets qui obéissent à l'équation de Newton, il n'est donc pas besoin d'avoir des symboles qui se succèdent les uns les autres suivant une règle. De la même façon, la fonction décrivant la chute d'un corps lâché sans vitesse initiale près de la surface de la Terre de l'altitude z_0 ($z = \frac{1}{2}gt^2 + z_0$) représente le lien qui existe entre la position d'un point et la durée de sa chute aux différents moments de cette chute.

Par ailleurs, la représentation d'un processus dynamique ne suppose pas qu'on représente chaque instant de ce processus. De ce point de vue, il est utile de distinguer *le temps de l'objet représenté*, qui est le temps dans lequel évolue l'objet qu'on représente, et *le temps représenté*, c'est-à-dire les différents moments de ce temps qu'on choisit de représenter. La fonction $z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + z_0$ représente tous les moments de la chute du corps. En effet, en remplaçant la variable t par sa valeur, la fonction permet de connaître la position z du corps à tous les moments de sa chute. La fonction $z(t)$ contient donc l'information sur la position du corps à chaque instant. Un film ne représente en général que certains moments de l'histoire qui est racontée.

Dans une simulation, la représentation est elle-même un processus : différents états du système simulé se succèdent et représentent le système simulé. Une distinction doit encore être apportée sur ce point. Quand on va au cinéma, on assiste également à une représentation

qui est en un sens dynamique. Comme précédemment, ce qui est représenté est un processus. Mais en plus, la représentation se fait en une série d'étapes : à différents moments du temps de la fiction (*le temps de l'objet représenté*, c'est-à-dire le temps pour les personnages du film) correspondent différents moments pendant la représentation ainsi que différents morceaux de pellicules. Néanmoins, il n'existe en général pas de règle permettant de déterminer de façon sûre le contenu d'une image à partir des images précédentes. Une telle représentation est certes une succession d'images qui a lieu dans le temps (*le temps de la visualisation*), mais elle n'a pas de dynamique propre et n'est qu'une succession d'images indépendantes qu'on visualise dans un certain ordre. Ces images peuvent certes avoir été produites en filmant une scène réelle possédant sa propre dynamique mais elles peuvent également avoir été produites indépendamment, comme par exemple quand plusieurs dessinateurs ou graphistes contribuent à produire les différentes images d'un dessin animé ou d'une série d'images de synthèse dans un film. Un film est donc une représentation séquentielle sans dynamique interne.

Les simulations numériques peuvent également donner lieu à des visualisations et elles sont souvent de façon indue confondues avec ces visualisations. Prenons l'exemple d'une simulation météorologique. Pour l'accomplir, il est nécessaire de calculer pas à pas l'évolution de l'état atmosphérique de la région étudiée. Pour cela, on dispose d'équations différentielles (principalement ici l'équation de Navier-Stokes¹) qu'on met sous une forme telle qu'elles nous permettent de calculer pas à pas l'évolution du système. Puis, une fois qu'on possède la description de chaque état successif du système, sous la forme d'une liste de nombres décrivant la vitesse du fluide en chaque point de l'espace, on peut produire une visualisation animée retraçant visuellement cette évolution et qui n'est en rien différente d'un film. Le temps représenté est ainsi une succession d'instantanés situés à des intervalles réguliers.

LA DYNAMIQUE PHYSIQUE DES SIMULATIONS

La particularité et l'originalité des simulations tiennent dans le mode de production dynamique des différentes parties successives de la représentation. A chaque état du système étudié est associée une description mathématique E_i . Dans l'exemple ci-dessus, cette description correspond à une carte de la vitesse du fluide à chaque position. Par ailleurs, à la dynamique du système étudié, qui est responsable de l'évolution de ce système, on associe une description mathématique de cette dynamique D . Cette dynamique peut notamment être décrite sous la forme d'une fonction de transition D_f qui indique explicitement comment passer d'une description mathématique E_i d'un état du système à l'instant i à la description mathématique E_{i+1} de l'état suivant du système. Dans l'exemple précédent, la dynamique D indique comment la vitesse en un point de l'espace est modifiée au temps i .

Pour faire une simulation d'un système, il faut trouver un autre système (l'ordinateur) qui est le lieu de processus physiques simples et

1. dont les états S_i soient tels qu'ils puissent être interprétés au moyen d'une fonction d'interprétation Int comme stockant sous une forme ou sur une autre la description mathématique E_i du système étudié ;

2. dont la dynamique physique soit telle que la suite d'états physiques S_i évolue de façon à ce que, quand on interprète les états S_i grâce à la fonction Int , on obtienne la bonne suite d'états E_i correspondant à l'évolution du système cible étudié.

¹ L'équation de Navier-Stokes dérive du principe fondamental de la dynamique $\Sigma F = ma$, appliqué à un fluide. Elle traduit la conservation de la quantité de mouvement $p = m v$ dans ce fluide.

SIMULATIONS NUMERIQUES ET SIMULATIONS ANALOGIQUES

Dans le cas d'une simulation numérique, le système simulant est un ordinateur, c'est-à-dire un objet physique qui est le lieu d'un processus physique qui est interprété comme l'effectuation d'un calcul symbolique. Prenons un exemple. Quand on additionne deux nombres, 12 et 29, on fait ainsi un calcul en manipulant des symboles selon des règles explicites permettant de passer d'une expression symbolique à une autre². Un calcul fait sur un ordinateur est plus ou moins long car il nécessite plus ou moins de manipulations symboliques. Additionner deux nombres prend par exemple moins de temps que multiplier deux matrices. Comment mesurer ce temps de calcul ? Comme la technologie évolue sans cesse et est différente selon les ordinateurs, mesurer le temps qu'un ordinateur met pour faire ces opérations (le temps du processus simulant) n'est pas très significatif. De plus, ce temps dépend aussi de l'encombrement circonstanciel de notre ordinateur, qui peut être occupé à accomplir d'autres tâches en même temps. En revanche, ce qui peut être commun à des ordinateurs différents, anciens ou modernes, c'est le nombre d'opérations symboliques élémentaires utilisées pour faire ces calculs. Le nombre d'opérations faites depuis le début d'un calcul peut ainsi être appelé « temps syntaxique ».

Dans le cas d'une simulation numérique, quand on interprète grâce à la fonction *Int* la suite d'états physiques de l'ordinateur, on obtient une série d'expressions symboliques. Cette série d'expressions symboliques est la suite d'expressions symboliques qui correspond au calcul qu'on est en train d'effectuer sur l'ordinateur³. Dans le cas d'une simulation, ce calcul correspond au passage d'une description E_i de l'état du système étudié à la description de son état suivant.

Dans le cas d'une simulation analogique, la situation est différente. L'ordinateur analogique n'est pas interprété comme faisant un calcul, c'est-à-dire comme transformant des expressions symboliques. Le passage continu d'un état physique à un autre du système simulant, ici un ordinateur analogique, est cette fois interprété comme le passage continu d'un état à l'autre du système représenté. Dans une simulation analogique, à chaque instant du temps de l'objet représenté correspond donc un instant du temps représenté. Par ailleurs, pour pouvoir utiliser un ordinateur analogique, il faut posséder une fonction qui indique la correspondance entre les variables décrivant des quantités caractérisant le système simulant et les variables décrivant des quantités caractérisant le système simulé. Cette correspondance est possible car les deux systèmes peuvent être décrits par la même équation et sont de ce point de vue similaires. En particulier, les deux systèmes évoluent à la même vitesse (à une constante multiplicative près).

Récapitulons. Nous avons distingué le temps de l'objet représenté, le temps représenté et le temps du processus physique simulant. Dans une simulation numérique, il y a aussi le temps syntaxique. Il y a enfin le temps de la visualisation, qui peut être simultanée si on visualise au fur et à mesure le résultat de la simulation ou différée si on stocke le résultat dans des fichiers

² Un algorithme est la description d'une suite d'opérations permettant de résoudre par calcul un problème. Dans le cas présent, on peut procéder selon l'algorithme suivant. Si on a le symbole « 9 » et le symbole « 2 », alors on a le symbole composé « 11 ». On écrit donc « 1 » à droite de la zone de résultat et on met « 1 » en mémoire. Puis on additionne le contenu de cette mémoire au chiffre suivant situé à gauche de chacun des nombres additionnés, soit $1+1+2=4$, on écrit le résultat à gauche de la suite de chiffres qu'on dans la zone résultat et on obtient donc un nombre décrit par « 4 » et « 1 » soit 41.

³ Quand on additionne 12 et 19 on utilise quatre zones de mémoire. Deux zones correspondent à la mise en mémoire de « 12 » et de « 19 ». Une correspond à la zone où on stocke les retenues quand il y en a à un moment du calcul. Enfin une zone est utilisée pour noter le résultat et elle ne contient d'abord rien, puis le symbole « 1 », puis les deux symboles « 3 » et « 1 ». Dans un ordinateur usuel tous ces nombres sont en fait écrits en langage binaire.

qu'on utilise plus tard pour produire une visualisation, c'est-à-dire une représentation séquentielle.

LA RESSEMBLANCE TROMPEUSE

Je souhaite montrer dans la fin de cet article que les distinctions précédentes nous permettent de montrer qu'une bonne simulation ne doit être au moins en partie différente de ce qu'elle représente.

Une bonne représentation doit-elle ressembler à ce qu'elle représente ?

Dans l'analyse de ce que sont les images et les représentations, il existe une tradition qui nous indique qu'une représentation, pour être une représentation, doit ressembler d'une façon ou d'une autre à ce qu'elle représente. Platon est, dans le *Sophiste*, un éminent représentant de cette tradition. Il divise en effet l'art de la mimétique entre l'*eikôn*, qui est une représentation fidèle et qui conserve les proportions et les couleurs de l'original (235d-e), donc qui lui ressemble et le *phantasma*, qui représente les objets non tels qu'ils sont mais tels qu'ils apparaissent à l'observateur et ne leur ressemble en fait pas. Le *phantasma* donne la bonne impression mais n'est pas un guide fiable pour étudier ce qui est représenté.

Une tradition rivale consiste à défendre l'idée que la ressemblance n'est nullement nécessaire à une représentation qui a seulement besoin de dénoter, c'est-à-dire de renvoyer par convention à ce qu'elle représente. Il est possible que dans certains cas les représentations ressemblent à ce qu'elles représentent mais, selon cette position, la ressemblance n'est nullement en général une propriété nécessaire à une bonne représentation. Un ardent défenseur de cette thèse est par exemple Nelson Goodman, dans *Langages de l'Art* (1976).

Comme indiqué plus haut, la thèse de Goodman semble plus solide pour ce qui est de caractériser la notion de représentation en général : une description d'un train ne ressemble pas à un train même si elle le représente. Il est néanmoins possible que dans le cas des représentations scientifiques et en particulier pour les simulations numériques la propriété de ressemblance avec l'objet étudié soit nécessaire ou au moins souhaitable. Par exemple, posséder un écorché qui est ressemblant peut-être utile pour étudier la physiologie. Nous avons aussi vu plus haut que pour certaines simulations la propriété de ressemblance est nécessaire (cas des simulations analogiques) et clairement souhaitable (cas du simulateur de vol).

La question de la ressemblance des représentations scientifiques, et notamment des modèles, avec leur objet est encore activement étudiée (van Fraassen, 1980, Giere, 1988, Frigg et Hartmann 2006 pour une revue) et est pertinente pour la question ici discutée, puisque les simulations scientifiques sont en général construites à partir d'un modèle scientifique qu'elles sont censées incarner (Norton et Suppe, 2000). Plutôt que d'entrer dans ces discussions difficiles, je me contenterai ici de montrer en utilisant les distinctions que j'ai faites que la ressemblance temporelle n'est ni souhaitable et ni nécessaire.

La ressemblance comme défaut

L'étude des systèmes complexes par des simulations requiert la plupart du temps bien plus de calcul que nos ordinateurs sont capables d'en faire et les capacités de nos ordinateurs restent extrêmement limitées, malgré le progrès technologique⁴. Pour cette raison, toutes les

⁴ Le nombre d'états possibles d'un réseau minuscule de $10 \times 10 \times 10$ spins est de $2^{1000} = 16^{250}$ états. On estime par ailleurs l'âge de l'univers à 10^{25} nanosecondes et le nombre d'atomes dans l'univers à 10^{80} . En supposant que chaque atome de l'univers soit un ordinateur qui étudie un état du réseau de spins en une nanoseconde, le

stratégies sont bonnes pour essayer de faire des calculs qui soient les plus économiques possibles et qui nous renseignent pourtant sur l'évolution du système étudié.

Prenons un exemple. Une simulation de Monte-Carlo consiste à produire une série d'états qui représentent *en moyenne* le système étudié. Dans un tel cas, tout l'art consiste à trouver des algorithmes qui permettent de produire un échantillon représentatif de l'évolution du système et non son évolution exacte. La représentation fidèle du temps de l'objet représenté et de son évolution exacte sont clairement sacrifiées au profit d'une diminution du temps syntaxique, qui correspond aux opérations faites effectivement par l'ordinateur.

La diminution du temps syntaxique est également un but quand on cherche à représenter l'évolution exacte d'un système, état par état. Dans de tels cas, il faut que les événements qui sont prédits par la simulation, quand on regarde leur enchaînement dans une visualisation, correspondent aux événements ayant lieu dans le système étudié. Néanmoins, la visualisation n'est qu'un résultat et le processus simulé qui en est à l'origine peut être temporellement très différent du processus qui est représenté. Prenons l'exemple de la simulation d'un flot turbulent. Dans ce cas là, il est bon d'utiliser beaucoup de temps (syntaxique) de calcul pour étudier les moments où le fluide est très agité et l'effet papillon maximum et beaucoup moins de temps de calcul quand le fluide est moins agité et que les approximations n'ont pas de grosses répercussions.

Concluons. Les simulations analogiques ressemblent à ce qu'elles représentent notamment par le fait qu'elles reproduisent fidèlement tous les événements représentés à la même vitesse que ceux-ci surviennent. Ce n'est pas forcément le cas pour les simulations numériques, qui sont aujourd'hui de loin les plus nombreuses. Dans de telles simulations, une ressemblance entre le temps syntaxique, qui correspond à ce que fait l'ordinateur, et le temps de l'objet représenté serait un inconvénient : le but est de représenter les aspects de l'évolution du système étudié qui nous intéressent avec un calcul le plus économique possible et en trouvant des raccourcis de calcul.

LE SOPHISTE, LES IMAGES ET LES SIMULATIONS

Définir le sophiste et les images fait partie des tâches difficiles dans les dialogues de Platon. En effet, le sophiste a l'art de manier les apparences et les images avec une telle dextérité que les frontières entre les apparences et la réalité, deviennent floues et la tête du philosophe, qui cherche à définir les choses, finit par tourner et s'égarer dans tous ces reflets. Les simulations, et particulièrement les simulations analogiques, ainsi que les visualisations qu'elles permettent, produisent elles aussi de tels mirages. Une simulation est un processus physique et produit une forte impression de ressemblance avec l'objet représenté. De plus, on peut interagir avec le processus simulé, comme on peut interagir avec l'objet. De là à considérer que les simulations sont vraiment des analogues ou des répliques qui re-produisent au moins partiellement les objets, il n'y a qu'un pas. J'ai essayé de montrer en étudiant la question de la représentation du temps dans les simulations que c'était ce pas qu'il ne fallait pas faire. La plus grande tromperie des représentations que sont les simulations, c'est de nous berner sur ce qu'elles sont.

Bibliographie

Frigg, Roman, Hartman, Stephan, 2006, *Models in Science*

nombre d'états étudiés ne serait que de 10^{105} soit moins de $1/10^{145}$ des états possibles du système. Trouver l'état d'énergie la plus basse nous est donc en général impossible.

Giere, Ronald , 1988, *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.

Goodman, Nelson, 1976 *Langages de l'Art*, Hachette Littérature 1990 pour l'édition française.

Norton, S. and F. Suppe (2001) "Why Atmospheric Modeling Is Good Science", in P. Edwards and C. Miller, eds., *Changing the Atmosphere*, Cambridge MA: MIT Press, 67-106.

Platon, *Le Sophiste*.

van Fraassen, Bas C., 1980, *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.