

La réponse à ces questions mathématiques est connue. Il y a plusieurs niveaux chez les oracles et il n'y a pas d'oracle omnipotent. En effet, les techniques permettant de traiter ce type de questions conduisent au résultat suivant : pour toute machine M à oracle, il existe une machine à oracle M' strictement plus puissante que M . (La démonstration utilise la même idée que celle permettant de démontrer qu'il existe des problèmes indécidables.)

Une multitude de questions ont été résolues concernant la structure de la relation d'ordre entre machines à oracle. Cette théorie mathématique étudie la hiérarchie entre les êtres « surpuissants » que sont les machines à oracle : c'est une étude sociologique de l'Olympe. Les divers niveaux dans cette hiérarchie se dénomment les degrés

de Turing et ils constituent une échelle qui détermine la gravité de l'indécidabilité des problèmes indécidables.

En plus de savoir qu'il n'y en a pas de plus grand (pas d'être omnipotent dans cet Olympe mathématique), on sait par exemple qu'entre deux degrés différents, il y en a toujours une infinité de degrés intermédiaires. On sait aussi qu'entre deux degrés donnés différents M et M' , avec $M < M'$, il en existe deux qui ne sont pas comparables, N et N' : N a une puissance intermédiaire à celle de M et de M' , de même que N' , mais N n'est pas supérieur à N' , ni N' supérieur à N .

Parmi les questions qu'on peut se poser concernant l'omnipotence mathématique, celles concernant le continu des nombres réels viennent à l'esprit.

Par exemple, peut-on envisager l'existence d'un être tout-puissant qui manipule les nombres réels comme nous manipulons les entiers ?

Omnipotence et nombres réels

Là encore, rien ne semble s'y opposer et les mathématiciens ont étudié la théorie de ces êtres hypothétiques surpuissants qui calculent avec les nombres réels aux développements décimaux infinis comme s'il s'agissait de nombres entiers : ils peuvent multiplier sans erreur deux nombres réels ou les comparer, ce qu'un mathématicien humain ne peut pas faire en général.

Dernière question à propos de l'omnipotence mathématique : Est-il envisageable

5. Paradoxes de Moore et de Frederic Fitch

Les deux paradoxes que nous présentons ici ont donné lieu depuis dix ans à un nombre considérable de travaux dont deux livres et une thèse. Ils ne s'appuient ni sur des autoréférences (qu'on considère interdites) ni sur une capacité supposée à connaître le futur (que l'on considère impossible). On utilisera deux raccourcis d'écriture : **pos** : il est possible que... **connu** : il est connu que...

Pour **connu**, on ne précise pas qui connaît, mais cela pourrait être la CIA, vous, moi ou Dieu pour ceux qui sont croyants.

Paradoxe de Moore

On suppose qu'il est connu qu'une certaine affirmation p est vraie, mais qu'elle n'est pas **connue**. On va démontrer que cela conduit à une contradiction.

(1) **connu** (p et **non connu** p).
On a d'après la règle évidente **connu** ($A \text{ et } B$) $\Rightarrow$ (**connu** A et **connu** B) :
(2) **connu** p et **connu** (**non connu** p).

Maintenant, on s'appuie sur la règle que ce qui est connu est vrai : (**connu** $p \Rightarrow p$). Là encore, c'est un

axiome raisonnable pour manipuler le symbole **connu**. La formule (2) donne alors :

(3) **connu** p et **non connu** p .

La formule (3) est une contradiction. L'avoir obtenue signifie qu'il n'est pas possible de connaître une affirmation p en même temps qu'on sait qu'on ne la connaît pas. C'est ce qu'on dénomme le paradoxe de Moore. Peut-être n'est-ce pas vraiment paradoxal : après tout, personne de sensé ne dira : « Il pleut, mais je ne sais pas qu'il pleut. »

Paradoxe de Fitch

Le paradoxe de Fitch (qui utilise la conclusion de Moore) est plus ennuyeux. Il va montrer que, si l'on accepte l'idée que « Tout ce qui est vrai est connaissable », alors « Tout ce qui est vrai est connu ».

On part de l'hypothèse suivante (parfois dénommée axiome de la connaissabilité) :

$p \Rightarrow \text{pos}(\text{connu } p)$, soit tout ce qui est vrai est connaissable.

On va maintenant établir qu'il ne peut pas exister de proposition p qui soit vraie en même temps que

non connue (ce qui signifie que la CIA, vous, moi et Dieu nous sommes omniscients).

D'après l'axiome de la connaissabilité qu'on applique en remplaçant p par (p et **non connu** p) :

(4) (p et **non connu** p) $\Rightarrow$ **pos** (**connu** (p et **non connu** p)).

D'après le raisonnement de Moore, **connu** (p et **non connu** p) entraîne une contradiction. Il n'est donc pas possible que

connu (p et **non connu** p).

Dit autrement, il est faux que **pos** (**connu** (p et **non connu** p)), c'est-à-dire :

(5) **non pos** (**connu** (p et **non connu** p)).

La règle logique de contraposition indique :

($A \Rightarrow B$) $\Leftrightarrow$ (**non** $B \Rightarrow$ **non** A).

En l'utilisant à partir de (4) et (5), on en tire :

(6) **non** (p et **non connu** p),

ce qui est logiquement équivalent à :

(7) $p \Rightarrow$ **connu** p .

Le passage de (6) à (7) se justifie par la suite d'équivalences :

non (A et **non** B) $\Leftrightarrow$ (**non** A ou **non non** B) $\Leftrightarrow$

(**non** A ou B) $\Leftrightarrow$ ($A \Rightarrow B$).

En conclusion, l'utilisation de principes logiques, tous d'une parfaite évidence, et d'un raisonnement en sept étapes conduit à l'affirmation que si « tout ce qui est vrai est connaissable », alors « tout ce qui est vrai est connu ». C'est inattendu (d'où les nombreux travaux récents sur ce raisonnement). Cela a en particulier une grave conséquence pour l'idée d'être omniscient. En effet :

A. Soit il existe des vérités non connaissables, et il n'y a alors pas d'être omniscient.

B. Soit toute chose vraie est connue, et alors non seulement Dieu est omniscient, mais la CIA, vous et moi nous le sommes aussi.

Il est clair que ni la CIA, ni vous, ni moi nous ne sommes omniscients, donc B est faux et il existe par conséquent des vérités inconnaissables : il n'existe pas d'être omniscient. Notons bien que, cette fois, l'impossibilité de l'omniscience ne provient pas de la capacité supposée d'un être omniscient à voir le futur, comme c'est le cas avec le paradoxe de Newcomb.

qu'un être tout-puissant explorant les sous-ensembles infinis de l'ensemble des nombres réels, $\mathbb{R}$, réussisse à savoir s'il en existe d'un cardinal intermédiaire entre $\mathbb{N}$ (l'ensemble des entiers) et $\mathbb{R}$? En d'autres termes : est-ce qu'on peut envisager qu'un être tout-puissant résolve « expérimentalement » le problème de l'hypothèse du continu ?

Le fait qu'on puisse ajouter à la théorie des ensembles classiques (de Zermelo-Fraenkel) sans obtenir de contradiction (si elle est sans contradiction) que l'hypothèse du continu est vraie, ou qu'elle est fausse, doit être pris en compte, et cela rend difficile une réponse.

Cependant, les travaux menés aujourd'hui en théorie des ensembles, en particulier par Hugh Woodin, et qui envisagent des logiques infinies dans le but de traiter l'hypothèse du continu peuvent être considérés comme l'étude de nouvelles formes d'êtres surpuissants en quête de cette solution. On est tenté de se dire que la théologie, aujourd'hui, est l'affaire des mathématiciens et qu'une forme de haute spiritualité se trouve à l'œuvre dans cette exploration de l'infini et de la surpuissance qui les occupe.

L'omnipotence est peut-être une idée trop vague et susceptible d'un trop grand nombre de définitions différentes. En plus des difficultés logiques que posent les idées de saint Augustin, Thomas d'Aquin ou Descartes, les formes nouvelles de la surpuissance que les mathématiques associent à l'infini constituent des domaines trop différents pour que soit donnée une bonne définition de l'omnipotence et que l'on puisse apprécier sa possibilité. Abordons donc maintenant la question plus facile de l'omniscience.

Un être omnipotent est omniscient : celui qui peut tout faire peut savoir tout ce qu'il y a à savoir. Pourtant, la chose est loin d'être aussi simple et en théorie des jeux, par exemple, le fait d'être omniscient constitue parfois un handicap grave qui interdit de gagner... et donc empêche l'omnipotence (voir la figure 2).

Indépendamment de ces questions, dont on peut se libérer en imaginant qu'un

être omniscient ne joue pas, l'existence d'êtres omniscients dépend de ce qu'on considère comme objets possibles de savoir.

Si toutes les propositions, y compris autoréférentes, doivent être objet du savoir d'un être omniscient, alors Patrick Grim a montré qu'il n'existe aucun être omniscient. De même, le paradoxe de Newcomb (voir la figure 3) établit que connaître parfaitement le futur est une impossibilité.

Envisageons l'omniscience sans la capacité de prévoir l'avenir et en interdisant les phrases autoréférentes. Malheureusement, même ainsi, divers paradoxes récents créent encore de fatales difficultés qui nous empêchent d'imaginer un être omniscient.

L'omniscience, idée indéfendable

Le paradoxe de Frederic Fitch (voir la figure 5) établit que si « tout ce qui est vrai est connaissable », alors « tout ce qui est vrai est connu » (par un être omniscient, mais aussi par vous et par moi). C'est absurde, à moins de considérer que tout n'est pas connaissable et donc, en particulier, qu'il n'existe pas d'êtres omniscients.

Une autre difficulté soulevée par P. Grim concerne la possibilité d'un être omniscient même si celui-ci ne s'intéresse qu'aux mathématiques. P. Grim emploie un procédé analogue à celui utilisé pour démontrer qu'il n'y a pas d'ensemble de tous les ensembles dans la théorie classique des ensembles (voir la figure 4).

Finalement, même si certains tentent des réponses aux divers paradoxes ici évoqués de l'omniscience, il semble bien que l'idée, sur un plan strictement logique et mathématique, ne puisse pas résister, tant elle engendre de contradictions et d'incohérences de toutes sortes. Comme c'est le cas aussi à propos de l'omnipotence, cela ne trouble guère les mathématiciens et les logiciens qui, au contraire, se réjouissent de la richesse des idées et théories qui naissent de ces questions théologiques quand on les transpose en mathématiques. Peut-être est-ce la preuve d'ailleurs que ces dernières ne sont qu'une forme extrême et abstraite de théologie ? ■



Jean-Paul DELAHAYE
est professeur à l'Université
de Lille et chercheur
au Laboratoire d'informatique
fondamentale de Lille (LIFL).

✓ BIBLIOGRAPHIE

J. Salerno, *New Essays on the Knowability Paradox*, Oxford University Press, 2009.

S. Bruns, *Superior Beings. If they exist, how would we know ?*, Springer [2^e éd.], 2007.

J. Kvanvig, *The Knowability Paradox*, Oxford University Press, 2006.

J. Sobel, *Logic and Theism, Arguments for and against Beliefs in God*, Cambridge University Press, 2005.

M. Peterson et R. VanArragon (éd.) *Contemporary Debates in Philosophy of Religion*, Blackwell Publishing, 2004.

T. Zamir, *The omnipotence paradox as a problem of infinite regress*, *Sophia*, vol. 38(1), pp. 1-14, 1999.

P. Grim, *The Incomplete Universe*, MIT Press, 1991.

E. Wierenga, *The Nature of God*, Cornell University Press, 1989.

F. Fitch, *A logical analysis of some value concepts*, *The Journal of Symbolic Logic*, vol. 28, pp. 135-142, 1963.

Thomas d'Aquin, *Somme théologique*, 1273
(<http://docteurangelique.free.fr/livresformatweb/sommes/OSommecomplete.htm>)

 ART & SCIENCE

La résurrection de nos ancêtres

À partir du crâne et parfois d'un squelette, la paléo-artiste Elisabeth Daynes redonne un visage et un corps aux hommes préhistoriques. Ces reconstitutions artistiques et scientifiques sont riches d'enseignements pour les paléontologues.

Loïc MANGIN

A la fin des années 1980, on mit au jour une quarantaine de sépultures sur le site des « Reaudins », à Balloy, en Seine-et-Marne. Elles sont datées du début du Néolithique moyen, vers 4500 avant notre ère. Le Musée départemental de Préhistoire d'Île-de-France, à Nemours, a décidé de redonner vie à l'un des squelettes, particulièrement bien conservé (*voir la figure a*), en demandant à la paléo-artiste Elisabeth Daynes de reconstituer cet ancêtre. Ce travail est l'occasion de la première rétrospective de E. Daynes qui s'est illustrée par les reconstructions anatomiques de l'australopithèque *Lucy*, de *Toumai*, de Toutânkhamon... La sculpture qui en résulte est l'*Homme du Cerny* (*voir la figure c*), du nom d'un site de cette période situé dans l'Essonne. Comment s'y est-elle prise ?

La première étape, à la réception du crâne, est d'en effectuer un moulage précis. Celui-ci a été ensuite confié à Jean-Noël Vignal, paléopathologiste et anthropologue médico-légal. Expert en enquêtes criminelles quand il s'agit de rendre un visage à des restes humains pas trop détériorés, il a mis au point un logiciel qui fournit, pour le crâne, l'épaisseur des tissus mous (muscles et peau). Cet outil est fondé sur de nombreuses études anthropométriques d'individus des deux sexes, de tout âge et d'origines ethniques diverses. Les valeurs obtenues sont matérialisées sur le moulage par des petits marqueurs qui guideront la reconstitution (*voir la figure b*). Pour la forme du nez, une projection, d'une part, de l'épine nasale et, d'autre part, du sommet de l'ori-

fice renseigne sur la longueur de l'appendice. La largeur des fosses nasales borne celle des narines.

Cette méthode est issue d'une longue tradition. Le premier à s'être intéressé aux liens entre la forme du crâne et l'apparence du visage est Paul Broca (1824-1880). Toutefois, les premières reconstitutions sont allemandes. À la fin du XX^e siècle, Hermann Welcker redonne un visage à Kant et à Raphaël, tandis que celui de Jean-Sébastien Bach renaît sous les doigts de Wilhelm His ! L'anatomiste déterminait déjà l'épais-

Les reconstitutions stimulent l'imagination des paléontologues.

seur des tissus mous à l'aide d'aiguilles enfoncées dans les chairs. Plus tard, Kollmann et Buchly ont poursuivi les travaux de His et entrepris une reconstitution d'un crâne néolithique découvert sur les rives du lac de Neuchâtel, en Suisse.

Le squelette, entier, de l'*Homme du Cerny*, mort à l'âge de 40-45 ans, sans pathologie ni carence apparente, donnait aussi une idée de sa stature : il était robuste. Étonnamment, alors qu'il ne mesurait pas plus de 1,60 mètre, son avant-bras correspond à celui d'un individu plus grand d'environ 20 centimètres. Selon le paléontologue Yves Coppens, qui a souvent recours aux services d'E. Daynes, ce caractère, pas nécessairement avantageux, se serait fixé dans le

groupe auquel appartenait l'homme. Ce phénomène est fréquent dans les petites populations isolées, par exemple sur des îles et dans des villages reculés, où les possibilités d'alliance sont limitées. De fait, plusieurs squelettes de Balloy présentaient cet allongement de l'avant-bras.

L'étape suivante est la confection d'un écorché, c'est-à-dire le placement des muscles sur le moulage. Les indices, outre l'épaisseur des tissus mous, sont les zones d'insertion des tendons de ces muscles sur le crâne. Ces dernières se traduisent par des arêtes plus ou moins proéminentes selon la taille du muscle. La face d'un *Homo sapiens* est constituée de 47 muscles – il y en a moins sur les espèces plus anciennes –, mais seuls les principaux (masséters, temporaux...) sont ici pris en compte. Précisons que les visages sont émaciés, car plus on s'éloigne de l'os, plus on laisse de place à l'interprétation.

Vient ensuite l'apposition des yeux, de la peau, en silicone, et de la pilosité. La couleur de ces éléments est en particulier déterminée par le climat à l'époque où l'individu reconstitué vivait. Ces informations sont déduites, par exemple, des restes de flore et de faune trouvés avec le squelette. Cette méthode est inspirée des études récentes de Nina Jablonsky, anthropologue à l'Université d'État de Pennsylvanie, aux États-Unis. Son équipe a établi des liens entre l'exposition aux ultraviolets (et donc au climat) et la teinte de la peau, des poils et des cheveux.

Reste à habiller la sculpture et, dans le cas de l'*Homme du Cerny*, à ajouter un bracelet semblable à celui retrouvé dans la