

GÉRARD CHAZAL

Symbolisme minimal & combinatoire

Jamais l'humanité ne s'était trouvée au cours de son histoire devant une telle quantité d'informations et de connaissances à stocker, à faire circuler, à traiter d'une manière ou d'une autre. Les savoirs, les renseignements, les notices, s'accroissent, nous envahissent et nous débordent. Il y a longtemps que la mémoire des individus, voire ce que l'on appelle la mémoire collective des sociétés humaines, ne suffit plus à garder et conserver les savoirs de toutes sortes que nous avons collectivement amassés.

L'écriture, doublée de l'imprimerie, qui palliait la faiblesse de la mémoire et assurait le transport de l'information dans l'espace et le temps, atteint aujourd'hui son seuil d'impuissance. Toute machine, dans notre univers technique, a besoin d'une documentation sur papier qui précise sa constitution, ses modes de fonctionnement, les précautions d'usage mais aussi les dispositions légales de son utilisation (garantie, droits de propriété, brevets, etc.). Or, nos machines sont devenues si complexes, en même temps que notre législation qui encadre l'usage des objets se précisait, que cette documentation d'accompagnement prend un volume considérable. Celle qui concerne, par exemple, un avion représente plusieurs volumes et des milliers de pages. La documentation papier relative à un logiciel tel que celui que nous utilisons pour écrire un article comme celui-ci représente 1 274 pages. On n'a jamais autant publié de livres et d'images, diffusé de sons et de musiques. La radio, le cinéma, la télévision, le disque se sont adjoints au livre, redoublant le texte par le son et l'image. Ajoutons que le développement en extension comme en quantité des marchés impose une inflation de l'information sur les produits.

Le papier et l'écriture ne peuvent suffire à garder et à diffuser l'information qu'exige le récepteur des messages ou que souhaite l'émetteur. Le son, l'image fixe ou mobile, sont systématiquement mis à contribution. Des outils techniques divers, téléphone, courants électriques, ondes électromagnétiques, supports magnétiques et optiques permettent aujourd'hui de répandre rapidement, de traiter à volonté et de conserver indéfiniment des informations qui se présentent initialement sous forme de sons ou d'images. L'art, celui des formes spatiales comme celui des structures musicales, s'en trouve bouleversé. Le tableau qui ne pouvait bénéficier que d'une contemplation confidentielle chez le riche particulier ou dans un musée est multiplié par le biais des techniques de reproduction et son accès démocratisé. Il en est de même de la symphonie dont l'écoute nécessitait l'occurrence d'un concert ; elle est aujourd'hui à la disposition de chacun sur un disque optique et parfaitement restituée sur une chaîne haute fidélité. Chacun peut, dans l'intimité de son salon, contempler une peinture de Rembrandt ou écouter une sonate de Bach. De nouvelles formes esthétiques sont apparues, liées aux nouveaux supports : photographie, cinéma, radio et télévision...

On pourrait illustrer indéfiniment cette surabondance d'informations que nous connaissons. Des penseurs se sont interrogés à son propos, soit pour s'en réjouir, soit pour s'en inquiéter. Des analystes des sociétés, sociologues, ethnologues, anthropologues ont tenté d'en mesurer l'importance, les ré-

percussions sur la vie individuelle et sociale. On a forgé des concepts prenant en compte ces débordements, depuis leurs premiers signes au lendemain de la Seconde Guerre mondiale. Notre propos n'est pas de revenir sur ces analyses, de les résumer et de les discuter. Toutefois, nous constatons que ce développement sans précédent de la production, de la diffusion et de la conservation de l'information a conduit les savants et les ingénieurs à mettre en œuvre des techniques de minimisation, des procédures de condensation de l'information, et des procédés d'accélération de la transmission et du traitement. Car le procès dont il est ici question est à double sens : le développement technique engendre une inflation de l'information et celle-ci, à son tour, suscite des innovations techniques. Toutes les ruses de la minimisation et de la vitesse sont sollicitées. C'est sur l'ensemble de ces procédures techniques que nous voulons nous interroger.

Très largement, les techniques de minimisation utilisées pour la transmission et le stockage de l'information reposent sur deux principes fondamentaux : premièrement des dispositifs électroniques de plus en plus petits permettant des accès à la vitesse des courants électriques ou de la lumière (grâce aux fibres optiques) ; deuxièmement un codage de l'information en binaire.

C'est à ce deuxième aspect que nous voudrions nous intéresser ici. Le code binaire qu'utilise l'informatique présente trois caractéristiques qui méritent d'être prises en considération dans les procédures de contraction et de minimisation qu'il autorise. Premièrement, sous la forme la plus économe d'un code réduit à deux signes il présente un pouvoir universel de représentation. Deuxièmement, ces deux signes offrent une très grande facilité quant à leur matérialisation technique. Troisièmement, le pouvoir de condensation de l'information que possède le binaire tient à la puissance de la combinatoire qui lui est associée.

Le pouvoir universel de représentation

L'information se présente traditionnellement sous quatre formes : le nombre, le texte, le son et l'image fixe ou mobile. Or, toutes ces manifestations de l'information peuvent être ramenées au dénominateur commun du binaire. Pour le nombre, Leibniz déjà le sut, lui qui inventa l'arithmétique binaire¹. La transposition binaire des nombres conserve les algorithmes opératoires, voire les simplifie. Elle fait apparaître des régularités, des rythmes comme l'alternance des 0 et des 1 au premier rang, puis l'alternance de paires de 0

1. Leibniz, « Explication de l'arithmétique binaire », in *Œuvre mathématique autre que le calcul infini-tésimal*, Librairie A. Blanchard, Paris, 1986, p. 82-85.

et de 1 ou second rang, des alternances de quatre 0 et quatre 1 au troisième rang et ainsi de suite. Assimilant les deux signes binaires à l'absence et à la présence, à l'être et au non-être, Leibniz en dérive une véritable ontologie. L'harmonie des nombres binaires reprend celle d'une création qui se fait par la combinaison de l'être et du non-être. Toutefois, ce que l'on gagne en simplicité tant dans les signes que dans les procédures opératoires (l'informatique s'en souviendra) se paye par un accroissement du nombre de leurs occurrences. Ainsi trois signes décimaux suffisent à écrire 315, il en faudra neuf en binaire (100111011).

Le texte se ramène aisément à une écriture binaire puisqu'il suffit de faire correspondre à chaque caractère un nombre transposable en binaire. Le code ASCII utilisé par l'informatique fonctionne sur ce principe. Certes, il s'introduit dans ce jeu de transposition une part d'arbitraire (la correspondance du A avec le nombre 65). Toutefois, pour conserver certaines procédures opératoires sur le texte, tel le classement par ordre alphabétique de chaînes de caractères, il faudra respecter quelques contraintes. Les nombres reprendront l'ordre alphabétique (A : 65, B : 66, etc.) de telle sorte que la relation d'ordre sur l'alphabet deviennent une relation de supériorité ou d'infériorité. On perd la belle nécessité interne que possédait l'arithmétique binaire mais on étend le pouvoir de représentation d'une suite de 0 et de 1.

Cette extension de la représentation se poursuit avec le son numérique même si le passage d'un signal analogique, c'est-à-dire continûment variable dans le temps, à un signal numérique, suite de nombres représentés en binaire, soulève quelques problèmes. À l'arbitraire qu'introduit le code ASCII s'ajoute le péril d'un déficit d'information. À trop vouloir condenser, ne risque-t-on pas d'irréparables pertes ? En effet la numérisation du son se fait par échantillonnage ; le signal analogique est mesuré à intervalles réguliers et ce sont ces mesures qui fournissent les nombres représentatifs du son en permettant une nouvelle écriture et une transmission plus sûre. Pourtant, entre deux mesures ne peut-il pas se glisser quelques nuances qui seraient ainsi définitivement perdues ? Cependant quelles nuances faut-il retenir en dessous du seuil de leur perception ? La théorie du signal permet de démontrer que l'échantillonnage ne provoque pas de perte si sa fréquence (le nombre d'échantillons par seconde) est supérieure ou égale à deux fois la fréquence du signal analogique. La fréquence maximale d'un son musical est de l'ordre de 20 000 Hz, la numérisation qui aboutit aux disques numériques a donc été fixée à 44 100 Hz.

Il en ira de même de l'image réduite à une succession de points dont on pourra coder la couleur par un nombre binaire. Là encore, il suffira de prendre

des points de plus en plus fins (la résolution) et de s'accorder des nombres suffisamment grands pour rendre jusqu'à plusieurs millions de couleurs.

Les techniques de numérisation du texte, du son ou de l'image peuvent évidemment s'inverser et se trouvent doublées par des techniques de restitution sur écran, sur papier ou sur un amplificateur. Cependant entre le document original et le document restitué, la représentation binaire permettra une écriture condensée sur des supports magnétiques ou optiques au volume minimal ainsi que des transports sur les distances les plus considérables, aux vitesses du signal électrique ou de l'onde électromagnétique. Le même support de stockage et le même chemin de transmission conviennent pour toutes les formes d'information, le code binaire assurant une universelle représentation en même temps qu'il débouche sur une procédure de quantification. Un nombre, un texte, un son ou une image peuvent être mesurés par le nombre de 0 et de 1 nécessaires à leur représentation binaire (généralement regroupés par paquets de huit : les octets). Bien sûr il peut sembler que cette procédure de mesure laisse échapper le sens des messages qui se perdrait dans la minimisation, mais qui ne se réjouirait de cette quantification qui substituent la précision aux vagues appréciations et permet de ce fait un contrôle rigoureux de l'intégrité des informations stockées et restituées ou transmises à travers l'espace ? À mettre le sens entre parenthèses – ce qui n'est pas l'éliminer – on gagnera non seulement de solides vérifications (par exemple les contrôles de parité) mais encore une définition claire et rigoureuse de la notion d'information² qui cesse ainsi d'être une intuition vague et imprécise.

Le pouvoir universel du code binaire dévoile un caractère majeur de l'information : il faut au minimum deux signes ou deux symboles qui se différencient et s'opposent pour que du sens apparaisse. Tout se passe comme si le sens ne pouvait surgir qu'à partir du moment ou de deux éléments l'un nie l'autre ; comme s'il fallait une part de négation pour que quelque chose soit dit. L'économie symbolique s'arrête à la dualité. En dessous, l'unité ou le même répété autant de fois que l'on voudra ne donne que l'uniforme ou l'informe, la vacuité totale de sens. Sans dualité minimale, point de signification. Le même appelle l'autre. Toute résorption de la dualité dans l'unité conduit au néant : voilà quelques rêves métaphysiques brisés de manière quasi expérimentale.

Plus concrètement ajoutons que la réduction au dénominateur commun du binaire permet le multimédia qui caractérise aujourd'hui les plus modestes micro-ordinateurs. Il ne s'agit plus de superposer le texte, l'image et le son comme le cinéma accole la piste sonore à la suite des images. Les différentes modalités de l'information se croisent et s'entremêlent profondé-

2. G. J. Chaitin, *Algorithmic Information Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

GÉRARD CHAZAL

De la maquette à la simulation

Les usages de la maquette sont d'abord ludiques, et tiennent autant du jouet d'enfant que de la passion du collectionneur. Elle joue d'autre part un rôle dans l'apprentissage de certains métiers continués selon des traditions antérieures à l'époque industrielle (le compagnonnage). Enfin, elle apparaît dans le procès de conception et de mise au point de différents, antérieurement à la phase de production massive. Construire une maquette vise à exposer une idée, à en tester la faisabilité. Comme objet, elle renvoie à un autre objet, qu'elle minimise et schématise. Elle le décrit dans l'espace tridimensionnel, l'évoque et le propose.

Renvoi, suggestion, explicitation : ce sont bien là les caractères de toute écriture. De même que le mot n'épuise pas la chose, la maquette ne reprend jamais complètement l'objet qu'elle mime. Elle doit le plus souvent, pour des raisons de résistance des matériaux, conjuguer plusieurs échelles. Dans une maquette au centième, certaines parties seront figurées au cinquantième, afin de ne pas être fragilisées par une réduction excessive.

À la fin du XIXe siècle, un simple lampiste des houillères de Saint-Étienne proposa une amélioration technique de la lampe de mineur par le biais d'une maquette¹. Ignorant le dessin industriel, la maquette était pour lui la seule expression probante et convaincante de son idée, parce que, contrairement à la langue, elle assurait dans une certaine mesure les mêmes fonctions que celles l'objet représenté. L'architecte ou l'urbaniste eux aussi défendent d'autant mieux un projet qu'ils doublent leurs plans par une maquette. Car mieux que les mots ou les images, celle-ci nous met en présence de l'objet. Nous pouvons

1. Cf. G. Chazal, *Formes, figures, réalité*, Champ Vallon, 1997, pp.128-134.

ment sur le support commun des dispositifs physiques à deux états caractérisés. D'où une véritable plurimodalité.

Le support matériel

Poursuivons notre éloge du symbolisme minimal. La conservation et la transmission des messages se sont toujours heurtées aux difficultés liées au support. Si le support est solide et perdure dans le temps (le marbre), il est lourd et peu propice aux transmissions. Inversement, un support allégé (le papier d'abord, le courant électrique ou l'onde électromagnétique), s'il favorise l'écoulement des messages d'émetteurs à récepteurs, s'avère fragile. Le code binaire, dans sa simplicité minimale, s'avère propice à des incarnations

en faire le tour et même parfois l'animer ; elle supplée l'imagination souvent défaillante devant le dessin – trop aride, trop abstrait, trop schématique. Sa force tient donc à cette épaisseur, qui manque au dessin et à l'écrit.

Comme toute écriture, la maquette condense et minimise : elle est économe de matériaux et de temps, permet des retouches et des modifications à moindres frais, autorise l'erreur et la reprise. On ne reconstruira pas un bâtiment si les premières réalisations ne sont pas satisfaisantes ; mais on pourra reprendre de nombreuses fois sa maquette, comme on peut corriger, amender, compléter ou réécrire un texte. Ainsi allégé, l'objet peut viser l'essentiel.

Mais la maquette ne supprime pas pour autant l'accessoire. Elle peut même ajouter des ornements, qui distraient le regard, égarent l'imagination ou détournent l'esprit de vices de fonctionnement qui demeureront inaperçus jusqu'à la réalisation finale. Son écriture s'accommode trop, au gré de certains, d'enluminures superflues. Ainsi, quand l'architecte ajoute à la maquette des espaces verts de moquette et des arbres de carton, qui égaient, ornent et séduisent, mais ne figurent pas dans le contrat final. D'autre part, on n'est jamais sûr que ce qui fonctionne à une petite échelle fonctionnera en plus grand. Car l'écart entre la maquette et l'objet n'est pas seulement de taille : les matériaux aussi diffèrent. Or, le béton ou la pierre ne se comporteront pas comme du carton. Et si l'échelle n'est pas constante sur l'ensemble, la réduction n'est pas continûment proportionnelle. Le tout de la maquette peut donc s'avérer assez différent de celui de l'objet, tant dans sa morphologie que dans ses fonctions. Par rapport au dessin technique, au texte descriptif et à la formule mathématique, la maquette est finalement trop concrète, trop engluée dans la matérialité : elle disperse l'idée dans l'espace au lieu de la concentrer sur le plan du papier.

Dans la hiérarchie des outils d'exposition, il faut donc situer la maquette entre l'objet réel donné dans sa totalité d'une part, et l'écriture, le dessin ou l'image d'autre part. Cette

matérielles diverses, réduites, robustes et véloces. Tout système physique susceptible de prendre deux états nettement différenciés conviendra à la représentation du 1 et du 0. L'informatique initialement a choisi l'interrupteur commandé pour représenter le code binaire. D'abord le relais électromagnétique puis le tube électronique, enfin le transistor. Du premier au dernier on conserve le principe d'un dispositif à deux états que la technique n'a de cesse de miniaturiser. Le circuit intégré permettra au bout du compte de regrouper des millions de transistors en un faible volume. À réduire le dispositif ne va-t-on pas perdre la franche distinction entre 0 et 1 ? De fait, c'est le contraire qui se passe. Le relais électromagnétique bascule encore trop lentement d'un état à l'autre et conserve une zone d'indécision (le rebond). La triode permet des commutations plus franches et plus rapides mais elle demeure volumineuse, gourmande en courant, chaude et fragile. Le transistor, plus petit,

hiérarchie (formules mathématiques, description textuelle, dessin technique, schémas, diagrammes, image dessinée ou photographique, maquette, objet) va du plus abstrait et du plus condensé au plus concret et au plus déployé, ou de l'extrême indigence des moyens à l'exubérance de la réalité. Dans le procès technique et industriel – qui ne cesse de parcourir cette gradation dans les deux sens – la maquette joue un double rôle. Comme forme d'écriture et de description, elle est un outil d'exposition. Mais elle participe aussi à des procédures de test et permet de vérifier les qualités d'un objet en projet. Lorsque des maquettes d'aile d'avion ou de carrosserie d'automobile sont soumises à des tests en soufflerie, il ne s'agit pas seulement de (re)présenter. Il s'agit de mesurer, de déterminer des seuils, des conditions d'utilisation ou des risques de rupture. Dans ces cas, son minimalisme relève d'un souci d'économie – de temps et d'argent – dans la recherche et le développement. Plus qu'un simple procédé d'écriture, il faut parler d'une procédure dynamique de mise au point.

La réalisation d'une maquette demande cependant du temps et implique un coût non négligeable. Pouvait-on réduire et condenser encore plus, tout en conservant cette double fonction de présentation et de test ? Il a fallu pour cela attendre l'apparition de l'informatique et la représentation conjointe de nombres et d'images soumis à des algorithmes. La simulation informatique offre en effet une maquette minimale, réduite à du code binaire aisément stockable sur des mémoires magnétiques ou optiques, et modifiable par application de calculs automatisés. De la maquette, elle conserve la dimension visuelle. Et si l'écran est plat, c'est l'objet qui tournera (image 3D) pour se présenter sous tous ses angles. Les tests seront réalisés par algorithmes, mais leur virtualité, comme celle des mesures qui les accompagnent, n'affecte pas leur pertinence. La simulation informatique non seulement renouvelle la maquette, mais bouleverse considérablement la hiérarchie des outils du savoir. Car elle combine le schématisme et l'abstraction de la formule ou

gomme déjà beaucoup de ces défauts même s'il doit fonctionner aux marges de ses caractéristiques. Entre l'état bloqué et l'état saturé, il existe une zone indécise plus facilement contournable qu'exploite d'ailleurs l'électronique analogique. En réduisant encore le support ne peut-on pas obtenir des distinctions et une binarité encore plus franches ? La simplicité requise s'accommode particulièrement bien de la minimisation et de l'intégration. Ainsi on envisage des portes logiques s'appuyant sur le fait qu'une particule élémentaire présente des états quantiques ne pouvant prendre que deux valeurs.

Le signal lui-même gagnera en robustesse à ne varier qu'entre deux valeurs. Si l'on substitue au signal analogique un signal rectangulaire, quelles que soient les distorsions qu'il peut subir, on pourra aisément le reconstituer en ramenant toute valeur proche du maximum au maximum et toute valeur proche du minimum au minimum. Les techniques binaires incarnées dans

du calcul à la représentation concrète de la maquette – dont elle supprime les ornements superflus et ostentatoires. Elle permet en outre une économie d'espace, puisque le code informatique encombre moins le laboratoire ou l'atelier que ne le faisait la maquette. Les mémoires informatiques permettent une conservation plus sûre et les tests, cessant d'être destructeurs, peuvent être indéfiniment renouvelés en faisant varier les paramètres autant que nécessaire.

Parce que les images mobiles de la simulation informatique reposent sur une écriture binaire, les différents degrés d'abstraction se superposent et les étapes successives du procès de conception s'imbriquent, sans pour autant affecter sa rationalité. Si l'ordinateur est relié à une table traçante qui fournit les plans, ou à une machine-outil à commande numérique qui usine les pièces, les étapes de la conception ne sont pas confondues, mais simplement condensées par des liens conceptuels et matériels. Ainsi, on a bouleversé bien des organisations usinières et industrielles héritées du XIXe siècle pour leur substituer de nouvelles structures productives, où la simulation informatique ne se substitue pas à la maquette, mais la prolonge et la déplace dans la chaîne qui va de l'idée à l'objet manufacturé.

Il demeure évidemment que le procès de conception ne se résorbe pas dans la réalité virtuelle d'un objet réduit à quelques formules mises en scène par un ordinateur. En beaucoup de domaines la simulation n'économise pas la construction de maquettes avant la réalisation définitive. Elle en réduit simplement le nombre et ramasse en une suite de variations algorithmiques une multitude de tests longs et lourds. Mais le modèle numérique peut oublier des paramètres, en dernière instance déterminants. De même qu'en biologie ou en biochimie, les procédures *in vitro* doivent être validées par des procédures *in vivo*, la simulation informatique doit à un certain moment être doublée par une maquette matériellement réalisée.

des dispositifs physiques remettent en cause sérieusement les vertus du continu qu'une certaine philosophie a tant exaltées. Plus on miniaturise et plus on gagne en nette binarité. Qu'il s'agisse d'un état d'un dispositif physique ou d'une succession de ces états, le temps comme l'espace prennent une texture granulaire. La puissance du binaire donne raison à Bachelard contre Bergson³. La richesse des messages ne réside pas nécessairement dans l'infinité des nuances qui appellerait la multiplicité des signes. Le code le plus économe en symboles différents chasse l'ambiguïté et restitue tout de même la palette des nuances, particulièrement, comme nous l'avons vu, du son et de l'image. Or quel est le secret de cette puissance ? Leibniz encore l'avait déjà vu : tout réside dans les vertus de la combinatoire⁴.

3. C. Bachelard, *Dialectique de la durée*, PUF, Paris, 1963, ainsi que *L'Intuition de l'instant*, Stock, Paris, 1932.4. Leibniz, « Dissertation sur l'art combinatoire », in *Œuvre mathéma-*

tique autre que le calcul infinitésimal, Librairie A. Blanchard, Paris, 1986, p. 111-169.

Puissance de la combinatoire.

En fait, tout code qui condense dans une représentation par des signes joue plus ou moins sur leur combinaison, l'ordre de leurs occurrences prenant en charge la signification tout autant que les signes en eux-mêmes. Déjà l'écriture alphabétique restitue les mots et les phrases par des suites ordonnées de caractères dépourvus de signification. Certes, la lettre renvoie encore à un son si ce n'est plus à une signification et ce n'est que la combinaison des sons qui constitue les mots puis les phrases porteuses de messages. Cette procédure est portée à son maximum avec l'écriture binaire. Deux signes suffisent, mais il faudra multiplier d'autant les combinaisons dans lesquelles ils vont prendre place. Ou plutôt la pauvreté de l'alphabet favorise les récurrences, les répétitions, les récapitulations tout autant que les variantes, les écarts et mutations porteurs de sens. La combinatoire permet l'économie des signes comme la pauvreté de ceux-ci favorise celle-là. Ce n'est pas le moindre avantage puisqu'on ouvre par là la voie aux procédures les plus efficaces de condensation et donc de stockage et de transmission. Toutefois on aurait tort d'en rester à ce seul gain, il en est d'autres que l'épistémologue ne manquera pas de repérer. Nous en retiendrons trois.

Tout d'abord la combinatoire rejoint la classification, l'une supporte l'autre. Toute classification, toute indexation suppose une traduction ou une transposition dans un code qui simplifie, schématise, mais en même temps dégage l'essentiel sur un fond trop touffu. La compréhension s'en trouve favorisée. Il n'est pas d'autre solution face à une information qui nous déborde que de la soumettre à des critères que l'on combine, à une décomposition en éléments que l'on peut agencer, arranger, coordonner, harmoniser de mille manières, suivant les besoins, à jeter sur elle les mailles d'un code souple.

Deuxièmement, la classification et la traduction dans un code combinatoire révèlent, l'histoire des sciences en témoigne, l'ordre des choses et valent début d'explication. Qu'il s'agisse de l'ordre du vivant, de la zoologie et de la phytologie à la biologie moléculaire ou du monde inanimé, de la biochimie à la chimie, la nature la première use de combinaisons. Notre technique et notre industrie chimiques sauront multiplier les substances en poursuivant les combinaisons naturelles. Enfin, de manière paradigmatique, la génétique dévoile la puissance des procédures combinatoires avec un code restreint. En effet, l'ADN résume et condense le phénotype avec un alphabet ne comportant que quatre éléments : deux purines, l'adénine et la

guanine, et deux pyrimidines, la thymine et la cytosine. Le code prolonge et révèle les ordres naturels. La diversité infini des êtres humains tient à la combinatoire sur ces quatre éléments. Il semble bien que la compréhension de la nature passe par la détermination d'ordres à travers un code de plus en plus économe, les structures relevant d'une combinatoire. Le tout se résume dans des éléments en nombre réduit ; le moins, par combinaisons, répétitions et récurrences, donne le plus ; l'élémentaire, et à la limite le binaire, par arrangements et assemblages, restitue le complexe, le variable et le divers.

Dernier point : de Raymond Lulle à l'informatique en passant par Leibniz, la combinatoire ne cesse de prouver sa valeur heuristique. Nous venons de signaler comment la chimie, usant de combinaisons, s'avère capable de créer de nouvelles substances, ajoutant non seulement des atomes à d'autres atomes, mais des qualités à d'autres qualités. Il en naît des néo-matières qui dépassent tout ce que la nature pouvait jusqu'alors nous fournir. Il faut aller plus loin. Le code binaire dont usent les machines informatiques permet une exploration systématique des possibles, sur un mode virtuel qui économise le temps et l'argent dans le domaine de la conception. Les simulations informatiques⁵ permettent d'explorer les phénomènes trop vastes ou se déroulant sur des échelles de temps trop grandes, d'éviter le détour par les maquettes coûteuses dans la conception industrielle, de tester des projets, de faire varier simplement et autant qu'on le souhaite les paramètres d'un système de manière à éclairer des choix.

Les développements des techniques de numérisation, contrairement à ce que pourrait craindre une approche trop rapide, loin d'appauvrir ou d'étioiler l'information ne font que la développer, en canalisent le flux et empêchent les débordements qui nous menacent. À réduire l'alphabet, on ne perd pas le sens puisque la puissance de la combinatoire restitue mille nuances. En revanche on gagne en capacité de stockage et en vitesse de transmission. Les procédures scripturaires condensées ouvrent au développement des savoirs en favorisant les inscriptions heuristiques. Existe-t-il quelques dangers dans cette réduction au nombre de toutes modalités d'informations ? Si elle nous évite le risque de surabondance voire d'exubérance ne porte-t-elle pas d'autres périls ? Les Cassandre ne manquent pas et les alarmes sont nombreuses. Nous ne les reprendrons pas ici, non pas que nous souhaitions les ignorer, mais dans le débat qui se développe nous souhaitons essentiellement insister sur les vertus d'une minimisation et d'une transcription avantageuses.

Gérard Chazal, docteur en philosophie, enseigne l'informatique en sciences humaines à l'Université de Bourgogne. Il a publié chez Champ Vallon *Formes, figures, réalité* (1997), *Matière et conscience* (1999) et *Les Réseaux du sens, de l'informatique aux neurosciences* (à paraître).