

n°6
15 F / 2,29 €

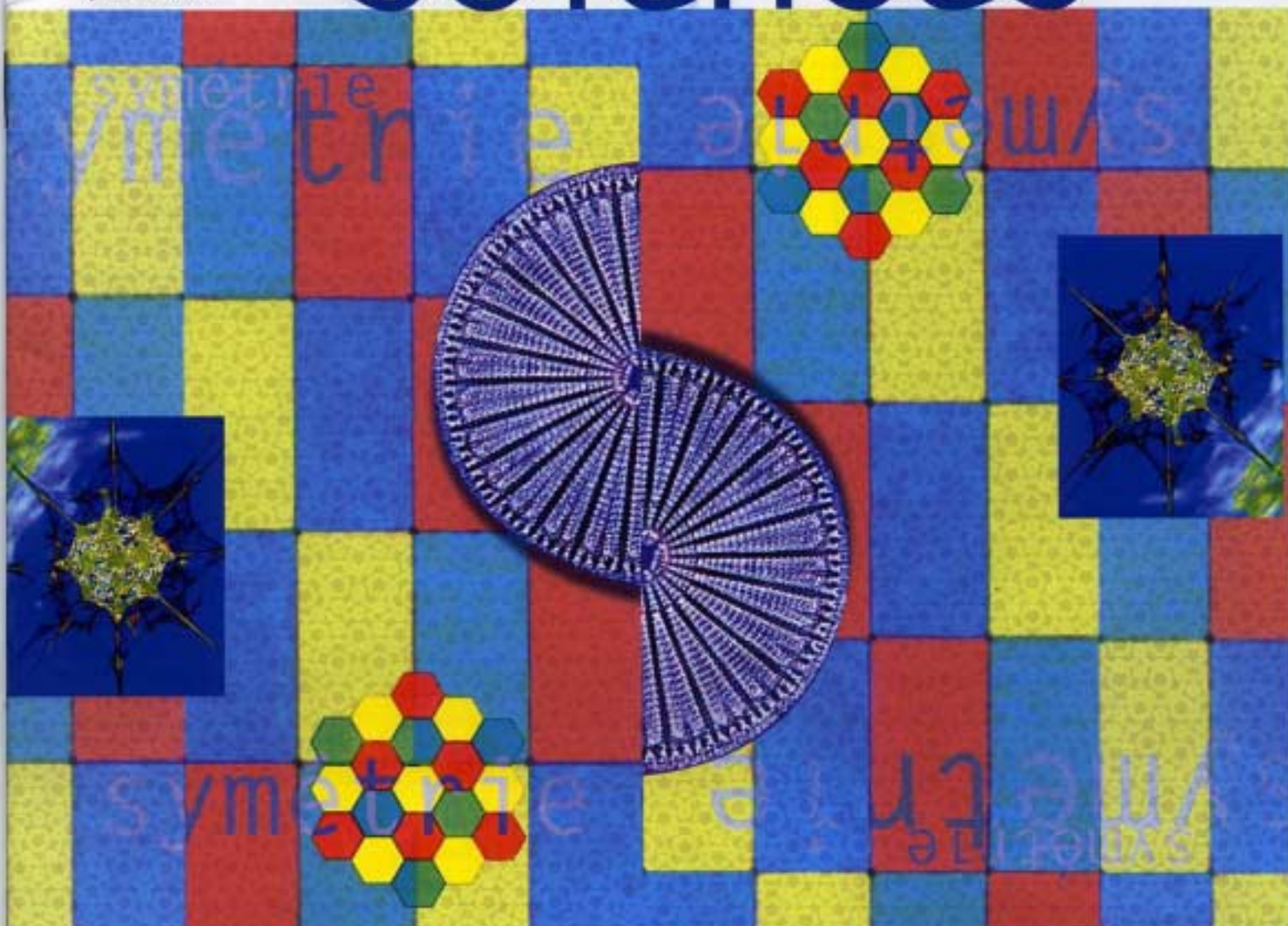
sciences

ulp. sciences

Le magazine de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg

ulp. sciences <

trimestriel
janvier 2002



Parcours de psychologues

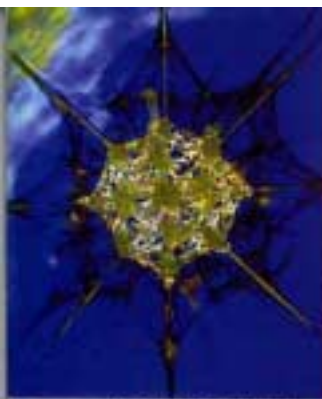
Le brevet, quels enjeux
pour la recherche?

Tremblement culturel

Dossier

La symétrie

ulp 
UNIVERSITÉ LOUIS PASTEUR
STRASBOURG



Un radiolaire, animal vivant dans le plancton marin



Cristal de fluorure de calcium octaédrique



Cristal de fluorure de calcium cubique



Quasi-cristal dodécacédrique d'un alliage aluminium-manganèse

La symétrie



Questions à Marc Henry

Professeur à l'ULP au Laboratoire de chimie moléculaire de l'état solide^a, Marc Henry est également un passionné de symétrie. Synonyme de science, concept fondateur et fédérateur, outil d'investigation et de prévision, la symétrie est partout.

On a tous plus ou moins en tête la notion de symétrie axiale rencontrée à l'école, mais peut-on élargir ce concept?

> Marc Henry

Le mot symétrie vient du grec *summetria* qui signifie "proportion" ou "juste mesure". La définition de Viollet-le-Duc dans son Dictionnaire raisonné de l'architecture française était: "La symétrie veut dire aujourd'hui une similitude des parties opposées, la reproduction exacte à la gauche d'un axe de ce qui est à droite". La réflexion dans un miroir, ou encore symétrie par plan miroir, est la plus naturelle.

Elle est également la plus fondamentale car en jouant avec deux miroirs, on obtient toutes les autres opérations de symétries spatiales: la rotation (intersection de 2 plans miroirs), la translation qui peut être décrite par deux réflexions successives, etc. Il est très facile d'élargir ce concept, et c'est la définition de Hermann Weyl, mathématicien du début du siècle et spécialiste de la relativité, qui le décrit le mieux: "Une chose est symétrique si, après avoir réalisé une certaine action, son apparence n'est pas modifiée". La "chose" est à prendre au sens le plus large. Elle peut être un objet physique, un concept, des équations, l'univers, des phrases, une partition de musique, etc. Cette définition introduit un caractère dynamique: une transformation, une évolution. Et la notion d'invariance contenue dans cette transformation, apportée par les termes "n'est pas modifiée", est tout à fait moderne. Ainsi, un élément invariant dans un système subissant une transformation sera un élément de symétrie. A la seule vue de ces éléments, on est incapable de dire si une transformation a eu lieu. >>>

^a Chimie des métaux de transition - Unité mixte de recherche ULP/CNRS 7513

Les pavages

Un problème célèbre résolu par la symétrie est celui que se pose le carreleur voulant paver une surface sans lacunes ni chevauchements. Il existe 17 façons de paver un plan. Les pavages de l'Alhambra de Grenade possèdent d'ailleurs ces 17 groupes gravés sur les murs bien avant leur "découverte" par les mathématiciens.

Il existe également les pavages de la sphère qui sont au nombre de 5. Platon les décrivait déjà 2500 ans avant J.-C. Il leur attribuait les 5 états de la matière : le feu au tétraèdre (on dirait aujourd'hui l'état plasma), le solide au cube, le liquide à l'octaèdre, le gaz à l'icosaèdre, et les étoiles au dodécaèdre (matière noire extraterrestre).



Tétraèdre



Cube



Octaèdre



Icosaèdre



Dodécaèdre

La théorie des groupes

Évariste Galois, mathématicien français (1811-1832), découvre que les opérations de symétrie sont des éléments fondamentaux et décide de faire une théorie qui permettra de traiter tous les problèmes. Cette théorie, qui "mathématise" la symétrie, lui donne la possibilité de devenir un outil d'investigation. "Une chose est symétrique si, après avoir réalisé une certaine action, son apparence n'est pas modifiée". Certaines propriétés de n'importe quelle "chose" répondant à cette définition d'Hermann Weyl, seront déterminées par la théorie des groupes.

>>>

Dans quelle mesure la symétrie est-elle un concept fondateur de la science moderne?

> Une mathématicienne très peu connue du grand public, Emmy Noether, la plaça comme un fondement de la physique, à la base de la relativité et de la mécanique quantique. Emmy Noether était contemporaine d'Albert Einstein et de Hermann Weyl.

Elle pensait que la relativité était très intéressante mais que c'était un cas particulier d'un théorème beaucoup plus général qui unifiait toute la physique. On peut le résumer par le triangle ci-dessous. Ce principe dit qu'un phénomène qui se conserve par une transformation quelconque, implique la présence conjointe d'une opération de symétrie et de quelque chose de relatif, c'est-à-dire qu'on ne peut pas observer.

Par exemple, lorsque vous lancez une boule de pétanque, que l'on considère comme un système isolé, l'impulsion, l'énergie, et le moment angulaire seront conservés. C'est ce qui permet de prédire le devenir de la boule. Les opérations de symétrie associées sont la translation dans l'espace ou le temps, ainsi que la rotation spatiale. Les choses inobservables sont l'origine de l'espace ou du temps et l'orientation spatiale. Ainsi le moment ou le lieu d'une expérience n'ont pas d'importance, maintenant ou demain, ici où ailleurs, ce sera pareil... L'origine du temps ou de l'espace sont des concepts relatifs, au même titre que la vitesse dans la théorie de la relativité restreinte.

Pour résumer, il existe des opérateurs de symétrie et tout le reste en découle. Cela signifie que quelles que soient les sciences, si on veut arriver à une connaissance la plus compacte possible, pour expliquer le maximum de phénomènes possibles, on est obligé d'utiliser la symétrie. Toutes les sciences font un progrès dès qu'elles mettent en évidence des propriétés de symétrie. Quand Albert Einstein a dit que le temps et l'espace sont équivalents, ou quand la physique quantique a découvert les symétries d'échanges, il y a eu un saut très net. On passe à un niveau supérieur de connaissances.



Cette notion d'invariance semble décrire un objet qui est mort...

> Le théorème de Noether est intéressant du point de vue mathématique, car il unifie tout. De manière assez paradoxale, on arrive à prédire le devenir des choses en niant tout droit au changement. C'est très angoissant, on ne se reconnaît pas dans ce monde, ce n'est pas le nôtre. On touche ici aux mystères de la vie. L'apparition de la vie revient à casser une symétrie, à échapper au théorème de Noether. On passe de l'état de mort à un état vivant. L'origine du temps et de l'espace ne sont donc plus sans importance, on a une date de naissance, né à Strasbourg et non ailleurs. Le théorème de Noether s'applique aux symétries parfaites dans un monde parfait, cela signifie que la symétrie n'est qu'approchée dans le nôtre. Pourtant nous avons besoin de cette symétrie parfaite, qui n'existe que dans notre imagination, pour mettre de l'ordre dans notre monde matériel.

Quelle est votre définition de la symétrie?

> Pour moi, symétrie et science sont tout à fait synonymes. En effet, la base du travail de tout chercheur consiste dans un premier temps à tenter de mettre de l'ordre dans des données, des résultats d'expériences, et d'y guetter l'apparition d'une quelconque symétrie. On "symétrise" notre rapport à l'objet d'études afin de mieux le cerner, de mieux le connaître pour mieux le découvrir.

La symétrie est également LE concept fédérateur entre toutes les sciences, et j'inclus bien sûr les sciences sociales. En effet, dès qu'on pose le problème en terme de symétrie, et ce, quelle que soit la science, on bénéficie de l'apport de la théorie de groupes (voir encadré). Cette théorie ne se préoccupe pas de l'objet étudié mais des relations entre les propriétés de symétrie de cet objet. C'est ça qui est fédérateur, car quel que soit l'objet d'étude : une probabilité de présence, une molécule, un mouvement, une idée en sciences sociales, un comportement en psychanalyse... la théorie des groupes permettra, via la connaissance de ses éléments de symétrie, de dire un tas de choses sur les propriétés de l'objet. C'est une théorie universelle qui ne dépend pas de l'objet, objet à prendre encore une fois au sens le plus large.

Fr. N.



Cliché de diffraction des rayons X d'un quasi-cristal

Un concept fécond

Dès la fin du XIX^e siècle, les frères Curie étaient convaincus que la symétrie pouvait être un guide très précieux pour la recherche. Outil d'investigation, source de découverte ou puissance créatrice ?

Comme l'a souligné Marc Henry dans le précédent article, science et symétrie sont synonymes dans le sens où la seconde permet une approche cohérente du monde. En effet, comment procède-t-on lorsque l'on est chercheur ? Face à un nouveau phénomène, un nouveau champ d'études, un chercheur est confronté à une somme plus ou moins grande d'élé-

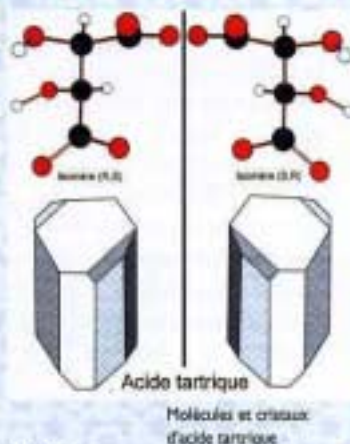
La symétrie apporte cette relation privilégiée au monde qui nous entoure et elle permet de faire avancer la science.

ments disparates. Un groupe composé de ces éléments, sans aucune relation entre eux, ne signifie rien. Mais lorsque l'on s'aperçoit qu'il existe un ou plusieurs éléments de symétrie, cela signifie que ce groupe possède un minimum de structurations, que ces éléments forment réellement un tout. C'est ce qui distingue un groupe d'éléments quelconques d'un groupe structuré, composé d'éléments ayant une relation entre eux. "Si on découvre de la symétrie, on est très content car on constate qu'il existe des règles profondes dans le phénomène que l'on observe" explique Marc Henry. Un exemple est la découverte de la chiralité par Louis Pasteur. Deux objets chiraux sont images l'un de l'autre au travers d'un miroir. On prend couramment l'exemple de la main gauche et la main droite, mais c'est le cas pour de très nombreux objets qui nous entourent : l'hélice d'ADN, des coquillages, des particules élémentaires. Pasteur a donc trié patiemment des cristaux d'acides tartriques en deux groupes ayant des propriétés symétriques, ceux qui "tournaient" à gauche et ceux qui

"tournaient" à droite, avant de s'apercevoir qu'ils n'avaient pas les mêmes propriétés sur la lumière. La mise en ordre, la symétrisation de son objet d'étude lui a permis cette découverte. L'outil d'investigation est bien réel. La systématique, qui consiste à classer les espèces selon leurs ressemblances, premiers pas de la biologie et prémices nécessaires à l'élaboration d'une

science du vivant, en est sans doute un autre exemple. La symétrie permet de réduire le taux d'informations d'un système complexe et de simplifier notre rapport à celui-ci.

Grâce à cette découverte, Pasteur a relié la symétrie cristalline droite/gauche avec une symétrie de même nature mais au niveau moléculaire. Il existe donc des molécules droites et des molécules gauches. La symétrie a joué ici le rôle de "passerelle" entre le macroscopique et le microscopique. Un exemple similaire est apporté par la découverte des rayons X en 1895. Les scientifiques se sont rapidement aperçus que la diffraction de ces rayons par des cristaux formait des cercles, structures hautement symétriques. Ces images de la matière venaient étayer la thèse de cristaux ayant les mêmes propriétés. La symétrie est source de découverte.



>>>

Le principe de Curie

Peu utilisée en science jusqu'au début du XX^e siècle, la symétrie est devenue, grâce à Pierre Curie, un véritable outil de prévision de phénomènes nouveaux. Grâce à lui, la symétrie a endossé le statut de grande loi physique : "lorsque certaines causes produisent certains effets, les éléments de symétrie des causes doivent se retrouver dans les effets produits", ou inversement "lorsque certains effets révèlent une certaine dissymétrie, cette dissymétrie doit se retrouver dans les causes qui lui ont donné naissance".

>>>

Mais revenons à la notion d'invariance présentée auparavant. D'après Francis Taulelle^(*), "la science est fondée sur le postulat de l'existence d'invariants". On suppose qu'un système non perturbé reste identique à lui-même et que les dispositifs expérimentaux agencés et manipulés de la même façon conduisent à des résultats identiques. Par exemple, si une expérience produit un certain type de résultats dans un laboratoire en France, la même expérience, faite par d'autres chercheurs dans le monde, doit aboutir aux mêmes conclusions. "L'invariance des résultats est ici une symétrie par translation dans l'espace et dans le temps" souligne-t-il. La symétrie apporte cette relation privilégiée au monde qui nous entoure et elle permet de faire avancer la science. Peut-elle

être une "puissance créatrice"? D'après Francis Taulelle, la symétrie pourrait bien jouer un rôle très fécond dans la définition du temps. En effet, si les symétries dans l'espace sont très riches, le temps lui, est encore décrit de manière très simpliste : t et $-t$, signifiant que le temps est réversible. Le temps pourrait très bien être plus complexe : avoir une période, une phase. "Avec l'étendue des propriétés de symétries du temps... on pourrait percevoir dans le présent des phénomènes qui vont se produire dans le passé". Alors, pas créative la symétrie?

Fr. N.

(*) Directeur de recherche CNRS, Résonance magnétique nucléaire - Unité de recherche de CNRS associée à l'ULP - FRE 2446.

Comprendre le monde...

La symétrie est partout, quotidienne, incontournable, et pourtant un monde parfait et symétrique n'existe que dans notre imagination. Dans la réalité, la symétrie ne peut-être qu'approchée.

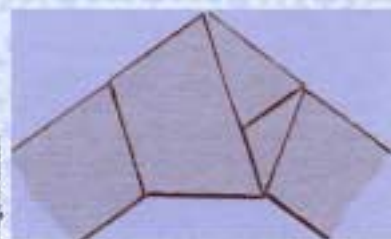
"Si on découvre un élément de symétrie dans un système, on entre dans un modèle... cela n'est pas réel" estime Thierry Lefort. C'est la même chose avec certains nombres mathématiques. Pi par exemple, existe-t-il dans la nature? C'est là une question philosophique qui devrait nous obliger à définir ce qu'on entend par Nature, et particulièrement si on y englobe l'Homme et sa pensée. Pi est donné par le rapport entre le périmètre d'un cercle et son rayon. Les formes plus ou moins circulaires de l'univers qui nous entoure, que nous percevons ou que nous estimons, sont bien distinctes des cercles parfaits et idéaux des mathématiciens. Pi ne se trouve dans ce monde physique, que sous une forme approchée... Pi n'existe pas.

La symétrie est partout, mais un visage, une fleur, une architecture, les animaux, un coquillage ne sont pas si symétriques que cela. La symétrie semble fuir à mesure que notre rapport à l'objet se fait plus fin. "On ne peut pas parler de symétrie sans parler de perception... de la perception propre à chacun par rapport à l'objet d'étude" confirme F. Taulelle qui va même plus loin : "Je pense que la symétrie n'est pas une propriété intrinsèque de notre environnement mais elle est de nature relationnelle : des relations macroscopiques, microscopiques, sociales, etc.". La symétrie serait comme le résultat d'un processus d'appropriation du monde. On symétrise notre univers, on réduit son contenu informatif en faisant des paquets d'informations identiques qui, en réalité, ne le sont pas. C'est juste une question de perception et d'utilité. Le monde devient alors intelligible car nous pouvons le classer.

Fr. N.

Cerveau : symétrie et information

"Le cerveau n'est symétrique ni anatomiquement ni fonctionnellement, c'est l'absence de symétrie qui à un sens pour moi" confie Lilianne Manning, responsable de l'équipe de neuropsychologie du Laboratoire de neurosciences de l'ULP. L'aire du langage, analytique et séquentiel, est dans l'hémisphère gauche du cerveau, du moins très majoritairement, et le traitement visuo-spatial, global, est à droite. Il s'agit d'un style de traitement asymétrique de l'information. Cela dit, il existe des fonctions traitées par le cerveau de façon presque symétrique dans les cortex primaires. C'est le cas par exemple des fonctions motrices : les étapes grâce auxquelles je bouge ne sont pas conscientes. D'après Antonio R. Damasio, neurobiologiste à l'université de Iowa, le cerveau détecterait des invariants : des informations qui se répètent continuellement, et il serait capable de les "oublier" créant ainsi des niveaux différents de perception. La gestion de certaines tâches se ferait donc inconsciemment, augmentant la disponibilité de la partie consciente du cerveau pour l'élaboration d'une pensée plus créative. L'organisation du cerveau, symétrique ou asymétrique, rend peut-être possible ce tri subtil entre la perception d'informations essentielles par la partie consciente du cerveau, et l'absence de perception d'informations non-nécessaires. On peut définir la communication comme la modification, consciente ou inconsciente, du récepteur par intégration d'une information nouvelle. C'est-à-dire une information qu'il ne possédait pas avant, que l'on pourrait qualifier "d'informatrice" dans le sens où elle laisse une empreinte. Où est donc la brisure de symétrie? Cette information nouvelle et modificatrice, brise-t-elle une symétrie préexistante? Une symétrie préexistante est-elle nécessaire à l'intégration par le cerveau d'une nouvelle information?



Un simple rectangle dans une bande de papier et la symétrie apparaît.



Visage naturel

Visage reconstruit droite/droite

Visage reconstruit gauche/gauche

La fascination de l'équilibre

La symétrie est la pierre angulaire de bien des constructions de l'esprit mais tout l'art du créateur consiste à la mettre à l'épreuve.

« La symétrie nous fascine, on dirait que nous sommes réellement programmés pour y être sensibles » explique Guy Chouraqui, maître de conférences en Physique. Il existe sans doute une fonction du cerveau humain (et de celui de nombreux animaux) liée à la reconnaissance des éléments symétriques de notre environnement. Héritage de nos origines de prédateurs, de proies, ou des deux, l'incérêt pour la symétrie est repérable dès le plus jeune âge. Un bébé ne quitte pas des yeux le visage de sa maman ou un schéma symétrique. Il les repère sans ambiguïté. Cela se passe comme si la symétrie jouait un rôle de balise, de repère. Un peu d'ordre dans un monde encore flou.

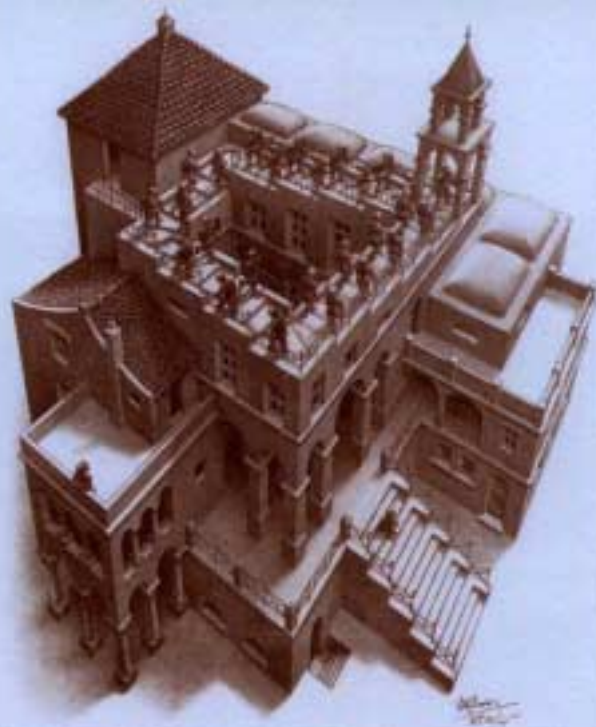
La symétrie est partout. Dans les plantes, les fleurs, des objets de la vie courante, les humains, les animaux, les particules élémentaires. Elle intéresse de nombreuses disciplines scientifiques. Elle émerge même spontanément de petits gestes quotidiens

Un élément perturbateur doit venir briser la symétrie pour rechercher un équilibre d'une autre nature.

comme casser des œufs dans un saladier pour préparer une simple omelette. Trois œufs forment un triangle équilatéral parfait (symétrie d'ordre 3), et sept, un superbe hexagone régulier (symétrie d'ordre 6). Avec 4 œufs par exemple, la figure "n'émerge" pas spontanément. Elle oscille entre le carré et le losange. Le degré de liberté est peut-être trop grand.

"D'un simple nœud dans une bande de papier émerge un pentagone, symétrie d'ordre 5, c'est un étonnement, un amusement" continue G. Chouraqui. Mais nous savons bien que la symétrie d'un visage humain n'est qu'apparente. Comme le montrent les trois images ci-dessus, la reconstruction de visages vraiment symétriques a quelque chose d'effrayant, d'artificial. "Nous ressentons comme un malaise à la vue de ces images... ce sont tous les éléments de dissymétrie qui font le charme du visage. Une symétrie parfaite frappe nos sens mais n'est pas très esthétique" conclut G. Chouraqui.

Sur les visées de l'escalier et des mains, M.C. Escher utilise l'apparence de la symétrie pour faire entrer l'observateur dans son dessin et brise des symétries de façon délibérée pour le faire progresser à l'infini.



M.C. Escher's "Ascending and Descending" © 2001 Cordon Art B.V. - Baarn - Holland. All rights reserved.

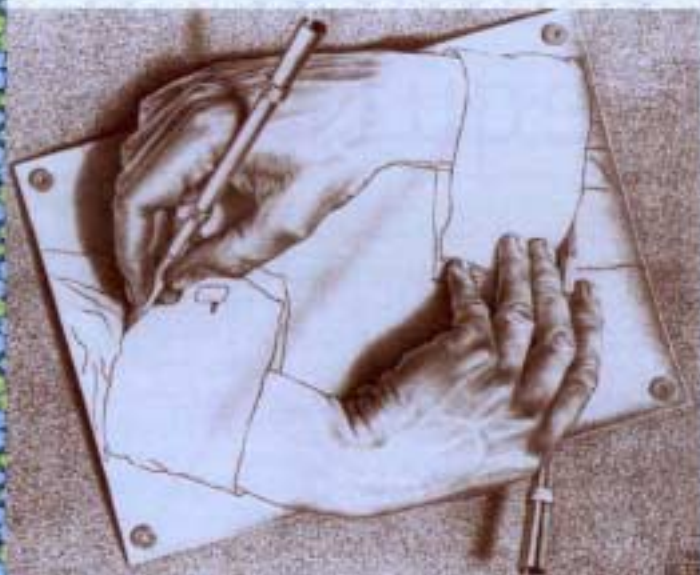
>>> "La symétrie est le degré zéro de l'équilibre formel dans le champ des arts visuels. C'est le moins que l'on puisse faire" renchérit Thierry Lefort du Laboratoire des sciences de l'éducation, diplômé en arts plastiques, avant d'ajouter "les images esthétiques en sciences, quintessence de l'art pour certains, sont souvent

l'ennui ou le vide, la création d'un plasticien se découvrira peu à peu, allant du rejet à la surprise ou au choc émotionnel en passant par l'intrigue.

Dans les œuvres de Escher, on retrouve les 17 groupes de symétrie du pavage du plan. "Mais Escher n'en est pas resté là. Il a introduit la brisure de symétrie" précise Francis Taulelle. Il est vrai que les pavages de symétrie parfaites frappent particulièrement au premier regard. Mais passées la découverte et la première analyse, ils ne procurent plus vraiment d'émotions et encore moins de surprises. Ce n'est pas le cas des dessins impossibles d'Escher, "les mains" par exemple. Ces œuvres se découvrent petit à petit de contradictions en surprises. "Tiens c'est symétrique... euh non... si car la main est retournée ! ah non pas exactement...".

"Ces dessins impossibles créent de l'infini, un escalier monte ou descend perpétuellement... Nous sommes en présence de régressions infinies, et c'est cela qui est fascinant" renchérit F.Taulelle avant d'ajouter: "Tout acte de création comporte nécessairement de l'information nouvelle. C'est la perte d'éléments de symétrie, ces "brisures", qui en sont responsables".

Fr. N.



M.C. Escher's "Drawing Hands" © 2001 Cordon Art B.V. - Baarn - Holland. All rights reserved.

très symétriques mais restent très pauvres du point de vue de la composition. Si l'on se place dans une perspective artistique, la symétrie est stérile ou presque". L'art plastique va en particulier venir à l'encontre de la symétrie. Un élément perturbateur doit venir la briser pour rechercher un équilibre d'une autre nature. Dialogues et échanges sont alors possibles. L'œuvre est créée par une organisation particulière contenant une logique et un équilibre internes. Contrairement à la symétrie qui se donne à voir dans l'instant, pour rapidement laisser la place à l'habitude,



On retrouve les 17 groupes de symétrie du pavage du plan à l'Alhambra de Grenade.