

Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Saint-Etienne

Cristaux & Architecture

L'étude des géométries cristallines

Tome 1

Nathanaël Hervouet

Directeur de mémoire : Luc Pecquet

Mémoire de fin d'études - S9 - 2014

D3 - Forme, Architecture, Milieux

- Table des matières -

1.0 Table des matières	p. 3
2.0 Introduction	p. 4
3.0 Rencontres	
3.1 Géologie originelle	p. 5
3.2 Découvertes des pierres	p. 10
3.3 Humain	p. 16
4.0 Structures et géométries	
4.1 Systèmes cristallins	p. 21
4.2 Solides de Platon	p. 58
4.3 Géométrie sacrée	p. 63
5.0 Conclusion	p. 66
6.0 Bibliographie	p. 69
7.0 Tables des illustrations	p. 72
9.0 Annexes	(Tome 2)

- Introduction -

La nature est fascinante. Elle est aussi omniprésente et nous en faisons partie. Nous avons bien compris qu'elle est autant bienfaitrice qu'hostile et nous nous sommes adaptés en conséquent à travers les âges. Depuis le début de l'Histoire, telle qu'elle est définie aujourd'hui, des personnes ont eu la grande volonté de savoir. L'étude de la nature est alors effectuée par des spécialistes en la matière, ce sont les scientifiques. Selon les cultures et les âges, le niveau de connaissances était variable, allant des peuplades mystérieuses, de l'antiquité classique, à nos encyclopédies modernes en passant par des périodes plus en deçà comme le Moyen-Age en Europe occidentale. Comprenant un peu plus la nature chaque jour grâce aux publications du monde scientifique moderne, le savoir devient plus accessible, mais aussi plus vaste, permettant alors de grandes réflexions sur le monde dans lequel nous évoluons.

Les rapprochements de la nature avec les créations humaines existent depuis aussi longtemps que ces dernières. Il en est un premier type, systématique, qui concerne l'esthétique. Dans tous les arts, la nature inspire des images qui s'immiscent de partout. Ainsi, dès les temples égyptiens, les colonnes prennent des formes de plantes régionales pour établir un rapport de connaissance entre la construction et le public. Ces touches de nature-sculpture se retrouvent de manière transversale dans l'histoire de l'art et de l'architecture. Tous types de peinture rupestre, de bas relief, de gravure, de vitraux ou de bijoux sont des supports potentiels pour une touche de nature. Le placement de ces images est inné. Par ailleurs, il existe un second type de lien entre la nature et l'homme, d'aspect technologique. Prendre pour références et se servir de base de recherches des éléments naturels entiers est alors plus récent dans l'histoire qui nous est connue. Bien que l'homme se soit servi auparavant de la nature pour des réalisations, les premières grandes recherches qui ont marqué le début d'une telle analogie sont le fruit du travail de Léonard de Vinci (1452-1519). Ses études des mouvements, de l'anatomie sur des sujets variés, de la géométrie et de la nature l'ont poussé à dessiner des œuvres et des créations techniques mettant en œuvre des procédés similaires à ceux retrouvés dans la nature. Dès lors s'en suit une multitude de recherches visant à améliorer et développer les technologies humaines. C'est depuis l'aube du 20^e siècle que nos ingénieurs ont commencé à produire de telles analogies en quantité. Un ouvrage de 1994 expose les théories d'Arcy Thompson, *Forme et croissance*. Cet auteur est un incontournable de l'analyse du vivant dans la mesure où il détaille avec justesse les rapprochements entre espèces et en mettant en évidence des systèmes mécaniques biologiques. Le mot biomimétisme est alors créé pour parler de transfert des propriétés du vivant à la technologie humaine. Prenant une ampleur grandissant durant le 20^e siècle, ce phénomène est devenu courant bien qu'il permette encore bien des décennies de service.

La réflexion faite en amont du travail de ce mémoire a été en partie élaborée lors des cours suivis en échange universitaire à l'UNAM au Mexique. Dispensés par l'architecte Javier Senosiain, ces cours nommés « bio arquitectura » contenaient un panel de possibilités biomimétiques en architecture. L'architecte en question a construit des prototypes d'habitats individuels et collectifs avec un système constructif complètement repensé pour les projets. Développer de nouvelles

structures et des schémas de fonctionnement sociaux à petites échelles est l'enjeu principal. L'idée du biomimétisme étant alléchante, la réflexion s'est développée sur un cas particulier. Changeant radicalement l'échelle des analogies communes, les questionnements se portent alors aux remarquables cristaux. Populairement appelées pierres précieuses, elles ont un pouvoir attrayant, qui d'un positionnement personnel est grandement suffisant pour en faire une analyse architecturale. Leurs mensurations variant, l'analyse du présent mémoire se porte principalement sur leurs structures internes. Les questions de transcriptions pour aller d'une molécule à un édifice humain sont intéressantes à questionner. Nous poserons alors d'autres hypothèses sur le rapprochement particulier de l'homme aux cristaux. Comment s'est-il développé au fil du temps, et qu'en est-il aujourd'hui ? Nous parlerons de l'imaginaire construit autour des cristaux et de son influence. L'aspect géométrique des pierres est sans appel pour la curiosité, cela nous a permis d'établir avant les recherches des hypothèses de fonctionnalités architecturales.

Le questionnement central du travail porte suivant les termes : comment l'étude des géométries cristallines permet-elle d'influencer la pensée architecturale ? Cette question de fond sera agrémentée d'hypothèses personnelles aux sujets divers. Nous nous intéresserons aux liens éventuellement présents entre sensations en architecture et sensations avec les pierres, mais aussi à la géométrie pure qui semble régir le monde que nous connaissons jusqu'à l'analyse des grandes avancées structurelles du 20^e siècle. Pour réagir à toutes ces interrogations, la lecture s'orientera en deux parties de la manière suivante: la première, dite « Rencontres », portera sur les échanges humains entre les pierres, leur imaginaire et les hommes. Dans cette partie nous tenterons un établissement théorique de la conception architecturale. Dans « Structures et géométries » composant la seconde partie, il sera davantage question des tracés structurels. Nous développerons alors une analyse rigoureuse des systèmes cristallins dans le but de mettre en exergue les potentiels architecturaux. Il y sera aussi question de géométrie volumétrique en adéquation avec les cristaux et certains dessins historiques. L'ensemble permettra alors de comprendre les larges possibilités de transmissions présentes dans le monde cristallin.

- Rencontres -

- Géologie originelle

Quand nous parlons d'architecture, nos discours peuvent être bien différents en fonction de la personne que nous sommes, de notre interlocuteur ou encore des moyens utilisés lors de cette communication. Cependant, nous parlons toujours d'une création de l'homme, un produit façonné par l'homme au même titre que des objets ou des machines. Et si l'homme a créé ces éléments, c'est qu'il y a une raison. Leurs existences ont un but, une finalité désirée par l'homme. Qu'elle soit purement fonctionnelle ou esthétique. Cet aboutissement est accompagné d'environnements

plusieurs plans. L'environnement de la conception, à savoir ce que l'homme ou le groupe d'hommes pense lors des premières idées lui permettant de créer. Ses antécédents, ses plus ou moins récentes découvertes, mais aussi sa culture, cette société dans laquelle il évolue. De fait, sa création prendra des aspects et des finalités divergentes. L'homme créatif prend aussi en compte l'environnement prévu pour la « machine », l'adaptant alors pour affûter son utilité. Le produit en question répond donc le plus justement possible à son contexte, et pour certains, être en harmonie la plus totale avec ce dernier produirait une beauté singulière, une justification et une finalité maîtrisée. Ainsi, il devient évident de connaître au mieux le contexte en question. Le choix des matériaux locaux fut une solution innée lorsqu'il s'agissait des premiers hommes ou bien lors de créations importantes. À d'autres moments, l'homme a cherché à minimiser l'impact de son produit sur son environnement ou bien à imiter la nature dans sa dimension harmonieuse. Actuellement, pour quasiment chaque production humaine, une analyse est effectuée afin de connaître le contexte dans son ampleur et dans sa complexité.

En architecture, un contexte fort en présence et complexe (volumétries peu communes, lois humaines abondantes, etc.) peut tout de même permettre au concepteur du projet d'ériger de remarquables constructions. Si l'homme est nature, il construit dans la nature, avec la nature et pour la nature. Celle-ci est source d'inspirations et extrêmement influente sur la création de l'homme. Ainsi, l'homme prend et adapte des exemples tirés de la nature. Si la nature elle-même crée des éléments remarquables cela est dû au lien fort entre la production et le contexte. Même si nous ne pouvons parler de culture de la nature, la nature contient d'innombrables lois de physique et de chimie. Elle crée seule, une sorte de hiérarchie naturelle composée d'éléments plus ou moins communs ou remarquables.

Nous parlons des pierres précieuses. Éléments qui nous paraissent hautement remarquables. Nous allons expliquer cela à travers une approche géologique avec la compréhension que nous avons aujourd'hui sur notre planète.

Rappelons que la Terre est un immense volume en mouvement constitué de plusieurs strates, issu d'un nuage de poussière qui s'est transformé en une masse visqueuse en fusion. La plus fine partie étant la plus proche de nous, il s'agit de la croûte terrestre apparue lors d'un refroidissement de cette masse incandescente. Elle représente environ 0,1% du diamètre du globe. « L'intérieur » se compose de couches de magma, qui sont toutes en mouvements. Du centre vers l'extérieur, nous avons de très larges strates. Noyau interne, noyau externe, manteau terrestre intérieur et manteau terrestre extérieur. Ce magma continuellement en mouvement doit son activité aux environnements différents dans les profondeurs de la Terre. Les parties plus proches du centre sont les plus chaudes et plus l'on s'éloigne plus la température diminue. Ainsi, le magma est porté vers la croûte terrestre sous l'effet de la chaleur, puis redescend vers le noyau lors de son refroidissement en raison de son poids retrouvé. Un cycle dont la forme peut s'apparenter à celle d'une pomme. Le principe s'appelant la convection est omniprésent dans toute la planète, à l'exception près de la « fine » croûte qui semble nager sur la surface. Cette surface modifiée selon les activités internes n'est pas figée. Cela se traduit par les déplacements de plaques tectoniques, des éruptions, des

tremblements... dont nous sommes conscients régulièrement à la surface. La croûte terrestre évolue donc au gré des déplacements et des pressions internes. Cela produit les montagnes, les failles, les volcans, etc.

La formation des cristaux provient directement du magma. Lors de son refroidissement, pendant son déplacement vers la surface, le magma vient donc d'une température très élevée de plusieurs milliers de degrés Celsius. Il ne peut plus contenir dans les mêmes quantités les éléments dissous. Apparaissent alors de petits germes, qui sont des précipités chimiques. Ces germes peuvent alors devenir de gros cristaux, qui grossissent tant qu'il reste la même matière en excès dans la roche liquide saturée. Son développement continue de cette façon jusqu'à solidification de la fusion initiale ou altération de l'environnement chimique. Avec par exemple, des déplacements importants de matières ou refonte des roches. Si ce précipité est homogène, il s'agit d'un minéral. En revanche, s'il est composé d'un mélange de plusieurs éléments, on l'appelle une roche. Toutes roches et tous minéraux se formant sur ce principe de refroidissement sont appelés « roches ignées » ou « roches magmatiques ».

Le magma contient une multitude d'éléments chimiques qui lui confère un potentiel très varié de productions lors de son refroidissement. De plus, il n'est pas homogène dans son volume au sein de la planète, ce qui produit des différences de cristaux sur toute la surface de la Terre. Les facteurs qui déterminent la formation des cristaux sont la pression, la chaleur et la vitesse de refroidissement. Avec les mêmes éléments de base, nous pouvons obtenir divers résultats en fonction des facteurs d'environnement. Par exemple, le péridot et le quartz rose, sont formés entre 700°C et 1100°C et combinés avec une pression gigantesque (de plusieurs centaines d'atmosphères), ils sont bien différents des cristaux formés dans un environnement dont la température sera inférieure à 375°C où l'eau peut devenir alors liquide, telle l'aragonite, la fluorine. Ils sont différents encore des cristaux issus des précipitations et des vapeurs magmatiques mélangées, comme la topaze, la tourmaline. Il faut bien se souvenir et comprendre l'influence de l'environnement, du contexte, alors formateur de ces cristaux.

Deux autres procédés de formations des minéraux sont présents. Le processus de sédimentation consiste à l'érosion de minéraux existant à la surface de la Terre, puis à leur déplacement dû aux intempéries, et enfin à leurs recombinaisons avec d'autres substances présentes ailleurs pour former de nouveaux cristaux, par exemple, la dolomite, la pyrite. Le second est le principe de métamorphose. Lors des mouvements de la croûte terrestre, celle-ci peut se retrouver à tendre vers les entrailles de la Terre. Cette partie de roche est alors soumise à des pressions grandissantes et des températures élevées; bien plus qu'à la surface. Sous cette action, les roches cherchent à se restructurer et expulsent certaines substances minérales qui créent des strates en partie limitrophes. La nouvelle forme de minéraux devient stable à la pression et à la chaleur.

C'est au niveau de la croûte terrestre que la vie est présente sur Terre. Qu'elle soit au fond des plus profonds océans ou dans des régions de haute montagne. Les hommes se sont développés sur les continents, ils ont suivi les climats, évolué avec la Terre. Ces hommes habitent avec cette dernière depuis leur apparition. Ils ont pour contact avec la planète, cette croûte terrestre. Elle est

d'une grande importance puisqu'elle porte la vie et permet d'être et d'évoluer. Aussi, l'homme tire profit de la nature pour vivre, que ce soit consciemment ou non.

La notion d'architecture est alors présente dès le début, si l'on considère les grottes naturelles comme telles. L'homme a cherché à se protéger, même lorsqu'il était nomade. Il a utilisé ce que la nature lui avait à offrir. En fonction de son emplacement géographique, la géologie change radicalement et offre des configurations de sols bien différents les uns des autres. Ainsi, il peut utiliser des pierres légères du volcan, des grottes naturelles dans des falaises de calcaire, ou bien encore des tronçons d'orgues basaltiques pour construire un mur solide. En fonction de son emplacement géologique, l'homme a construit avec ce qu'il trouvait de mieux sur place. Cela a donné naissance à des techniques diverses, des styles particuliers, mais aussi à l'architecture vernaculaire¹. Pour certains groupes de bâtisseurs, la compréhension de la Terre va jusqu'à l'étude des mouvements magnétiques, des alignements astraux, etc. Les édifices religieux et d'importances ont pu dépasser cette approche de développement local et ont été pensés en phase avec la course du soleil, les forces telluriques du sol ou bien avec l'orientation des pôles magnétiques et l'influence stellaire.

De cette géologie, nous nous intéressons à un cas particulier, celui des minéraux. Un minéral est très généralement inorganique, les éléments chimiques le composant sont agencés selon une périodicité² précise avec une maille³ développable dans les trois dimensions. Il existe une classification, celle de Strunz (9^e éd. 2001), qui les répartit en dix groupes.

1. Éléments natifs, qui sont composés d'un seul élément pur comme le diamant, l'or.
2. Sulfures, comme la pyrite, la covelline.
3. Halogénures, comme le chrysobéryl, la fluorine.
4. Oxydes et hydroxydes, comme le spinelle, le rubis.
5. Carbonates et nitrates, comme la dolomite, la sidérite.
6. Borates, comme la sinhalite.
7. Sulfates, chromates, molybdates et tungstates, comme la wulfénite, la baryte.
8. Phosphates, arséniate et vanadates, comme la lazulite, l'érythrine.
9. Silicate, comme l'émeraude, le lapis-lazuli.
10. Minéraux organiques, comme l'ambre, le jais.

Tous ces minerais singuliers sont le fruit de particularité géologique. Qu'ils aient été produits dans les profondeurs de la Terre, ou bien à sa surface, ils ont cet ordonnancement chimique qui les différencie des roches plus communes. Les cristaux subissent tout de même lors de leur développement des altérations dues aux mouvements géologiques inévitables sur plusieurs millions d'années. C'est-à-dire que lorsque l'on parle de cristaux, il ne faut pas oublier que même si nous avons une formule de composition chimique relativement simple, il y a toujours des éclats, des intrusions d'éléments étrangers en infimes proportions. Ces faibles éléments peuvent faire changer la couleur d'une pierre, voire sa transparence.

¹ L'architecture vernaculaire, signifie un bâti propre aux populations locales. Ils sont construits selon les modes et savoir-faire d'une région donnée.

² En minéralogie, la périodicité est le résultat des translations effectuées selon les vecteurs qui composent la maille.

³ En minéralogie, la maille constitue le groupe d'atome le plus petit. Elle comporte des vecteurs qui définissent sa taille et ses répétitions possibles dans l'espace.

Nous pouvons concevoir la manière de penser le projet, le développement architectural d'une manière similaire afin de tenter un résultat toujours plus juste. Cette envie de construction spéciale remonte à des temps anciens, où alors, les constructions spéciales étaient calculées par les plus grands érudits. De l'alignement solaire aux équinoxes et solstices, aux règles mathématiques, aux canons de beauté, à la manière de corriger les visions humaines de la perspective, jusqu'à l'application sacrée, les constructeurs de ces architectures ont produit des éléments remarquables. Ici, nous proposons donc une autre approche permettant une production similaire. L'homme est fasciné par les cristaux depuis qu'il les a rencontrés, point que nous verrons plus en détail par la suite, jusqu'à se fabriquer un imaginaire grandissant sur leurs utilités. Il en a même décrit des architectures divines composées exclusivement de cristaux. C'est pourquoi nous proposons de faire le rapprochement entre notre pensée et la production des cristaux. Une telle similitude semble produire un résultat tout aussi puissant. La cohérence entre le projet et son contexte est de mise. Il s'agit de penser le bâti avec la conscience des matériaux environnants, pour permettre une bonne adéquation matérielle de la construction avec la part de nature la recevant. Tout comme les minerais qui sont produits à partir d'éléments présents dans le magma, dans une section donnée. De plus, un minéral est particulier par sa pureté d'organisation, et des éléments qui le composent. Nous pourrions donc appliquer dans le projet, une limite de matériaux différents, ou tout du moins, une liaison entre ces éléments pour éviter les aberrations techniques. Enfin, même si la nature ne possède pas seule une culture, elle produit sans cesse une multitude d'éléments permettant la vie, les vies sur Terre. Le tout étant compris dans un système de cycles bien défini et auto-stable. Nos productions, en partie architecturales, devront être comprises dans un cycle. À nous de saisir dès les prémices du projet ceux des matériaux pour amener à penser celui de bâtiment. Les cristaux sont donc en continuel développement, ils croissent, puis se refondent dans la masse en fusion. Un procédé extrêmement lent pour nos vies humaines, mais tout de même réel. Des aléas, des déformations, des altérations de ce développement, voire même un arrêt, sont présents systématiquement. Ainsi, accepter un chemin grandement sinueux lors de la conception voire de la réalisation d'un projet permettra de ne pas altérer ses qualités finales. En tirer profit selon la présente idée, ne les rendra que meilleures. Ce que nous devons bien saisir, c'est l'état des cristaux lorsque l'homme les a rencontrés. Comme les cristaux sont compris dans un immense cycle, ils nous apparaissent tels qu'ils étaient à un certain stade de leur croissance, ou décroissance. La forme appréhendée est soit due à un arrêt naturel, soit aux activités plus ou moins profondes de l'homme, mais il ne s'agit en aucun cas d'un produit fini à vocation d'être éternel. De fait, une architecture pensée analogiquement peut être un produit non fini apte à des développements ultérieurs.

Cette notion de rapport intime et direct entre la production architecturale et son contexte, est un point qui a été déjà mis en avant lors de l'apprentissage du projet à l'ENSASE. Cependant, à l'orée du diplôme et de la pratique professionnelle, un rappel et un approfondissement personnel semblent nécessaires.

- Découvertes des pierres

L'intérêt pour les particularités est un fait d'actualité récurrente. Il s'agit d'un intérêt réel, à priori, non tarissable dans notre société contemporaine. Les hommes ont rencontré les pierres précieuses il y a déjà longtemps, mais ils continuent de réaliser une part de production grâce à l'imaginaire produit par ces pierres dans l'histoire. Qu'elle soit d'ailleurs à base de pierres ou bien une adaptation d'une sélection de nature remarquable, les hommes s'inspirent toujours de leurs particularités. Et si l'on parle de minéraux, l'homme a réalisé et réalise encore de nombreuses architectures en lien avec la géologie qu'il connaît.

Depuis que l'homme est homme, il a commencé à bâtir avec la pierre, la roche. Les premières traces de constructions rocheuses préhistoriques montrent l'utilisation d'une pierre locale, peu mise en forme et non scellée. Les diverses productions géographiques et temporelles sont singulières en raison de l'utilisation de la pierre. L'ajustement sur de vastes surfaces d'une multitude de mégalithes dont l'origine n'est pas locale ou bien dont le transport déduit paraît démesuré a été effectué pour réaliser quelque chose de grandement singulier. Mais aussi, l'utilisation des roches basaltiques pour construire des édifices plus solides, de manière plus simple et rapide, montre l'intérêt d'une géologie précise peut avoir pour l'homme. Par ailleurs, il utilise les minéraux pour plein d'autres éléments que l'architecture. Toute une multitude d'éléments chimiques sert la technologie. Par exemple, la tête de lecture des tourne-disques pour vinyle, est faite avec un minuscule diamant permettant de lire les sillons du disque.

Comme nous l'avons déjà évoqué ci-dessus, les hommes sont nature et vivent dans et avec cette nature depuis l'origine. Depuis l'apparition de l'australopithèque, les actions possibles et le savoir-faire grandissent et évoluent doucement. Les activités de l'homme se diversifient, elles diffèrent aussi en fonction des régions du globe et du climat. Pour ce qui concerne l'architecture, il en est de même que pour le reste. Les différents modes de vie semblent engendrer des typologies de bâtiments variées. Que l'homme soit nomade ou sédentaire, qu'il vive au pôle nord ou en Océanie, les fabrications changent radicalement. Il peut utiliser des végétaux, des éléments animaux ou bien encore le sol qu'il foule. En généralisant volontairement, les hommes ont bâti des tentes légères et mobiles, des igloos, des murs de terre ou bien encore des toits de pierres. Chaque peuplade a alors établi des techniques adaptées aux cultures. Cette notion d'adaptation locale se retrouve tout au long de l'histoire, c'est ce qu'on appelle aujourd'hui des styles. Cependant, à l'heure de la mondialisation et du déplacement rapide international, la notion de style local s'en voit un peu modifiée. En effet, certaines grandes agences d'architecture réalisent des bâtiments aux quatre coins du globe. Nous pouvons alors discerner des courants de pensée, des modes esthétiques ou liées à un architecte star.

Actuellement, les lieux d'extraction de cristaux sur Terre sont nombreux. Concernant les quatre pierres précieuses, voici la répartition des sites d'extraction. Diamant : Les tout premiers gisements se situaient en Inde, au fur et à mesure, d'autres gisements ont été découverts au Brésil, puis en Afrique du Sud ainsi qu'en Russie. Émeraude : Les pierres les plus anciennes et les plus précieuses viennent d'Inde, aujourd'hui les gisements se trouvent en Colombie et Zambie, ainsi

qu'au Brésil. Rubis : Les mines se situent essentiellement en Birmanie, au Sri Lanka et en Thaïlande. Saphir : Il est extrait majoritairement en Birmanie, en Australie et en Thaïlande. Tout comme d'autres éléments exploités par l'homme, les cristaux ont donné lieu à des sites particuliers. Sites dont l'existence repose uniquement sur la présence et le rendement d'une mine. Depuis l'ère capitaliste, des villes entières sont dédiées à l'extraction du cristal. Des villes nouvelles, industrielles, dans des environnements pas nécessairement accueillants pour l'homme, comme des régions arides, sibériennes ou désertiques. Certaines ont été pensées comme des réalisations utopiques d'optimisations, d'autres reniant tout code urbain parallèlement en vigueur. Qu'elles soient hostiles ou humainement parfaites, il en demeure pas moins que la simple nécessité, auto-crée par l'homme, de posséder des cristaux a conduit à l'élaboration de villes entières.

Les hommes et les pierres précieuses se sont rencontrés il y a bien longtemps. Cette rencontre a marqué le début d'une grande ère de fascination et de mystères. C'était le temps de la préhistoire, le temps où l'homme découvrait beaucoup d'éléments naturels. Mais, même à cette époque, il avait conscience de la singularité des fameuses pierres. Les hommes organisés en société cherchaient à se différencier au sein de leur groupe. Ils ont utilisé ce qu'ils trouvaient à portée de main dans la nature, ce qu'ils trouvaient alors remarquable. Nous pouvons concevoir ce remarquable comme un élément qui attire l'homme par ses couleurs, sa matérialité, sa construction géométrique, si elle se révèle d'elle-même, sa beauté ou bien un lien imperceptible, une sensation particulière que véhicule la présence de l'élément proche de l'homme. Il a donc utilisé plusieurs éléments d'origines diverses comme des fleurs, des coquillages, des trophées de chasse, des pierres colorées. Il les utilisait pour affirmer un niveau social au sein d'un groupe, pour noter la puissance ou la supériorité d'un être sur les autres, pour un chef de groupe ou pour une personne aux fonctions spéciales. Ces éléments pouvaient aussi servir lors de rituels singuliers, pour honorer des dieux, pour soigner ou pour marchander. L'approche avec les pierres s'est faite lentement, suivant les aléas des environnements. Les premières pierres taillées étaient des silex, premières pierres qui permettaient d'obtenir un tranchant ou une pointe dure. Ensuite l'homme a exploité des pierres de plus en plus dures au fil de l'évolution de ses techniques et de ses migrations. Dans l'ordre chronologique d'apparition: les bois silicifiés, les calcédoines, les diorites, les roches volcaniques et les obsidiennes. Ces éléments étaient plus ou moins abondants suivant les régions et ont permis le façonnage de nombreuses pièces du quotidien, de bijoux ou d'outils de chasse.

Puis arrive cette rencontre particulière avec les cristaux. Ces pierres frappent alors les hommes par leur singularité. Elles n'ont pas grand chose en commun avec les éléments connus. Ces pierres sont si parfaites et resplendissantes qu'il ne peut s'agir que d'éléments divins. Leurs faces planes, leur angles, leurs formes géométriques combinées avec des couleurs vives ou mystérieuses, avec une transparence hors du commun ou avec leur densité nouvelle, elles sont perçues comme non naturelles ou tout du moins d'origine surnaturelle. Leurs premières appellations connues de l'antiquité ont été «Morceaux de ciel» ou «Gouttes prodigieuses de sang» s'agissant, de toute évidence aux quatre coins du globe, d'objets contenant des pouvoirs. Dans chaque culture, dans chaque peuple, leurs sens et leurs mystères ont été interprétés de différentes ma-

nières, mais toujours de manière subjective et hypothétique. Chacun avait donc son propre imaginaire relié aux cristaux, ses propres descriptions et croyances à des « pouvoirs ». Les cristaux les plus communs dans la préhistoire étaient la turquoise, le lapis-lazuli, le jade, l'or natif, les agates, puis l'améthyste et le béryl.

Les premiers astrologues, mésopotamiens, ont associé certaines pierres aux signes du zodiaque. De fait, chaque homme possédait depuis sa naissance une pierre qui lui était attribuée par le ciel et son signe afin de superviser sa vie sur la Terre. Dans le monde antique, pour les Assyriens et Babyloniens, les vertus magiques et les personnalités des pierres étaient fixées par les dieux eux-mêmes. Les Grecs appellent le cristal «Kristallo» qui signifie "cadeaux des dieux". Il s'agissait alors d'une glace divine pour irriguer la terre sèche de la mer Égée. Le quartz étant le plus populaire, il était, selon Pline le Vieux, en unique provenance des zones glacières et des hautes montagnes. Ce lien de parenté a été établi en raison de sa transparence et de ses teintes blanches, rappelant celles des montagnes. Cette idée perdurera jusqu'au 15^e siècle. Les chamans et autres soigneurs autour de la Méditerranée ont appris à utiliser le quartz sous forme de poudre et mélanges pour établir une protection contre les tumeurs et infections. L'attribution de ces poudres et potions à base de cristaux est réalisée en fonction de la forme de la pierre ressemblant à l'organe malade, d'un nom analogue ou d'une légende de guérison d'un Dieu. Les pierres précieuses étaient aussi utilisées dans la confection de statuettes et amulettes servant à la protection des personnes de la haute société. Les femmes ne portaient pas de pierres jusqu'au changement d'intérêt pour les parures, bijoux et gemmes dans un but simple d'esthétique. C'est la rareté et l'intérêt des hommes pour ces cristaux qui les a rendus si attractifs, ils sont devenus rapidement signe de richesse. Au-delà de leurs intérêts médicaux, les cristaux deviennent rapidement une valeur de marchandage supérieure à celle de l'or. Durant l'histoire, des personnes se sont spécialisées dans la connaissance des pierres précieuses afin d'établir et de transmettre les pouvoirs des pierres. Dénommés lapidaires, ils ont écrit des traités publics conseillant les personnes d'utiliser certaines pierres dans certains cas. Par exemple, le traité de Caraka est un texte antique qui a été bien des fois remanié entre 175 av. J.-C. et 120 apr. J.-C, conseille le port de gemmes qui apportent la prospérité, la longévité et chassent les ennuis.

En divers endroits de la planète, au sein de chaque culture, les utilisations des cristaux sont différentes. Cela est bien facilement compréhensible dès lors que l'on saisit l'aspect très subjectif de ces utilisations. En revanche, les pierres sont apparues et apparaissent encore de manière hétérogène à la surface de la Terre. Les cultures et leurs histoires en lien avec les cristaux dépendent de plusieurs facteurs, dont celui de l'apparition géographique des pierres. Mais aussi celui du rapport aux autres lieux de rencontres pour une pierre similaire, l'apparition du commerce par les migrations de populations, des routes définies dans l'histoire et les mouvements incessants des grands trésors lors des conquêtes. En effet, au vu de l'intérêt des hommes pour les cristaux, les personnes de haute importance ont entassé de grandes quantités de gemmes en tout genre dans le seul but d'enrichissement. Nous parlons là de chefs de peuples comme ceux du Grand Mongol ou du monde arabe, ou d'un ordre de prêtres. Dans le Moyen-Orient, les saphirs sont abondants, les rubis rarissimes et les diamants sont peu portés. En parallèle, l'Inde est la grande patrie des pierres

précieuses et restera le seul pays exploitant de diamant jusqu'au 18^e siècle. Et pendant ce temps, au Mexique, c'est le jade qui est le plus utilisé. Dans ce pays, les arts étaient tenus en estime par l'aristocratie aztèque. Les hauts dignitaires de Mexico collectionnaient les figurines d'animaux en or et en pierres fines, portaient des labrets⁴ et boucles d'oreilles en jadéite, obsidienne ou cristal de roche. Les lapidaires et orfèvres formaient une classe privilégiée nommée "Lolteca". Ils étaient chargés d'enseigner aux jeunes nobles l'art de la mosaïque et de la gravure du jade, de connaître et d'apprécier les pierres.

Les hommes, dans leur fascination pour les cristaux, ont créé des mythes, des mystères, toute une symbolique, un imaginaire. Il en résulte un écrit très évocateur de la puissance et de l'importance de cet imaginaire de pierres. La Bible. « 21.10 *Et il me transporta en esprit sur une grande et haute montagne. Et il me montra la ville sainte, Jérusalem, qui descendait du ciel d'après de Dieu, ayant la gloire de Dieu. 21.11 Son éclat était semblable à celui d'une pierre très précieuse, d'une pierre de jaspe transparente comme du cristal. 21.12 Elle avait une grande et haute muraille. Elle avait douze portes, et sur les portes douze anges, et des noms écrits, ceux des douze tribus des fils d'Israël: 21.13 à l'orient trois portes, au nord trois portes, au midi trois portes, et à l'occident trois portes. 21.14 La muraille de la ville avait douze fondements, et sur eux les douze noms des douze apôtres de l'agneau. 21.15 Celui qui me parlait avait pour mesure un roseau d'or, afin de mesurer la ville, ses portes et sa muraille. 21.16 La ville avait la forme d'un carré, et sa longueur était égale à sa largeur. Il mesura la ville avec le roseau, et trouva douze mille stades; la longueur, la largeur et la hauteur en étaient égales. 21.17 Il mesura la muraille, et trouva cent quarante-quatre coudées, mesure d'homme, qui était celle de l'ange. 21.18 La muraille était construite en jaspe, et la ville était d'or pur, semblable à du verre pur. 21.19 Les fondements de la muraille de la ville étaient ornés de pierres précieuses de toute espèce: le premier fondement était de jaspe, le second de saphir, le troisième de calcédoine, le quatrième d'émeraude, 21.20 le cinquième de sardonyx, le sixième de sardoine, le septième de chrysolithe, le huitième de béryl, le neuvième de topaze, le dixième de chrysoprase, le onzième d'hyacinthe, le douzième d'améthyste. 21.21 Les douze portes étaient douze perles; chaque porte était d'une seule perle. La place de la ville était d'or pur, comme du verre transparent. » De l'Apocalypse [XXI, 10-21]; ce texte sacré immensément connu reflète la perception des pierres précieuses comme unité du divin. Ici, une série de douze pierres sont associées afin de décrire la Jérusalem céleste, la ville qui viendra après le jugement dernier, le paradis. En dehors de ses dimensions rigoureuses, elle n'est que gemme de couleur. Ce lieu est alors l'emblème de la beauté. Il est composé comme l'est un projet architectural. De nombreux termes architecturaux sont présent tel que « ville », « porte », « place », « fondements », « muraille », Mais ce texte chrétien n'est pas seul, on retrouve ces douze pierres fines dans la Torah. Dans le judaïsme, les pierres sont attribuées aux douze tribus d'Israël. « 15. *Tu feras le pectoral du jugement, artistement travaillé ; tu le feras du même travail que l'éphod, tu le feras d'or, de fil bleu, pourpre et cramoisi, et de fin lin retors. 16. Il sera carré et double ; sa longueur**

⁴ Pièce de matière dure, allongée ou circulaire, qui est insérée dans la lèvre pour l'agrandir ou la déformer chez certains peuples. Source CNRTL.

sera d'un empan, et sa largeur d'un empan. 17. Tu y enchâsseras une garniture de pierres, quatre rangées de pierres : première rangée, une sardoine, une topaze, une émeraude ; 18. seconde rangée, une escarboucle, un saphir, un diamant ; 19. troisième rangée, une opale, une agate, une améthyste ; 20. quatrième rangée, une chrysolithe, un onyx, un jaspe. Ces pierres seront enchâssées dans leurs montures d'or. 21. Il y en aura douze, d'après les noms des fils d'Israël ; elles seront gravées comme des cachets, chacune avec le nom de l'une des douze tribus. » Exode [XXVIII, 15-21]. C'est en ayant écrit un lien fort entre cristaux et croyances dans de tels textes que les hommes ont toujours à l'esprit, de manière plus ou moins consciente, l'importance et le potentiel des pierres précieuses. Il s'agit là d'une grande preuve de la marque des pierres dans l'imaginaire populaire. Servant de références à de nombreuses cultures dans des domaines aussi variés allant de l'architecture religieuse aux codes sociaux, l'importante présence de ces pierres a joué un grand rôle dans le développement du dit imaginaire. Dans les esprits des constructeurs du passé autant que dans ceux de nos contemporains, ces idées persistent. Ils les ont transcrites à leur manière. Chacun vivant avec son temps, ces écrits ne sont plus obligatoirement de rigueur mais certaines notions sont dorénavant encrées en l'homme.

Cet imaginaire des cristaux s'est popularisé. Il est présent dans nos esprits de manière inconsciente. Compris dans notre culture, il s'entretient avec de régulières applications, qu'importe le domaine. Les concepteurs et/ou créateurs véhiculent une ambiance, une appréhension, une vision, un sens particulier en adaptant leurs produits avec les données de l'imaginaire en question. Il y a là une part presque naturelle puisque ces idées fondées avec les pierres ne sont pas nouvelles. Tant dans le design que dans le cinéma, en passant par les arts plastiques et l'architecture, les hommes sont à même de produire avec cet imaginaire. Justifiées ou non, de diverses tailles ou fonctions, les architectures faisant référence aux mondes des cristaux ne sont pas rares. Donnons ici quelques exemples:

Neviges Mariendom, 1960, Gottfried Böhm (figure 1.), Ufa Cinema Center, 1998, COOP HIM MELB(L)AU (figure 2.)



Figure 1.



Figure 2.

Agora Theater, 2002, UNStudio (figure 3.), The Crystal, 2011, Schmidt Hammer Lassen (Figure 4.)



Figure 3.



Figure 4.

Casa da musica, 2005, Rem Koolhaas (figure 5.), Royal Ontario Museum, 2009, Michael Lee-Chin (figure 6.),



Figure 5.



Figure 6.

Sphère X, Maryline Gillois (figure 7.), Wendy par HWKN (figure 8.).



Figure 7.

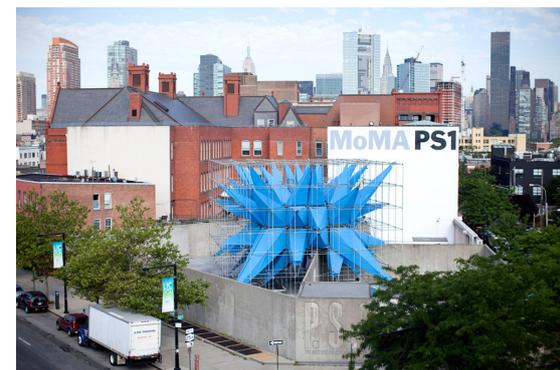


Figure 8.

Nous le verrons aussi par la suite, mais il s'agit là de créations qui renvoient à l'image d'un cristal. C'est la part visuelle de l'imaginaire collectif. Cette esthétique est utilisée pour renvoyer une image particulière à quiconque la voit. Cela peut être pour véhiculer la légèreté, la dureté, la brillance, la préciosité... tout ce qui nous permet d'appréhender l'architecture comme un cristal. Pour la majorité, il s'agit uniquement de la perception de la forme extérieure.

Les rencontres entre hommes et cristaux ne se sont pas estompées avec le temps. Elles sont d'actualité et peuvent encore survenir n'importe quand. Citons en exemple des faits de géologie contemporaine. L'homme a des surprises qui continuent à maintenir l'émerveillement pour les pierres. L'une est due à la lenteur et à la force de l'érosion naturelle. Elle a permis à une série de montagnes chinoises de révéler des strates géologiques singulières. Elles ne sont que tranches de couleurs. Pas de faibles couleurs, ou bien de teintes communes, mais des couleurs vives et franches. Ce site, appelé reliefs Danxia, a été aménagé pour permettre et cadrer la venue de visiteurs. Il est classé au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis juillet 2010. L'autre est une découverte due à l'activité de l'homme, dans la ville minière de Naica⁵, dans l'état de Chihuahua au Mexique. Découverte par hasard proche d'une galerie, la plus grande grotte connue du site se dévoile à la vue des hommes. Ce fut longtemps une poche d'eau chaude jusqu'à l'exploitation des hommes qui ont, par nécessité, vidé le sol de son eau. Les minéraux qui grandissaient alors depuis environ cinq cent mille ans, ont été stoppés dans leur croissance et maintenus en équilibre par l'atmosphère de la grotte. Il s'agit là de hautes températures, combinées avec une hygrométrie de 100% et d'une importante pression de 30 bars. Son exploration a été, et n'est faite que par un groupe de scientifiques chevronnés dont le matériel a été entièrement repensé pour palier les problèmes que pose un tel espace. En dehors des éléments qui ne permettent pas à l'homme, équipé en conséquence, de rester plus de quelques dizaines de minutes, le matériel d'enregistrement et de communication a été adapté pour résister à la pression et aux vibrations induites par les cristaux géants.

Tant qu'il y aura des rencontres de ce genre, certains hommes seront tout autant fascinés par ces remarquables pierres. Aujourd'hui, ce lien n'est pas près de s'éteindre au vu des intérêts actuels. Même si l'homme développe encore et encore la production de pierres de synthèses dans un but technologique et économique, il restera toujours un imaginaire venu de la combinaison de l'histoire et de la nature humaine.

Dans le monde du bijou, l'approche générale est la même depuis ses débuts. Ce qui change, ce qui évolue, sont les techniques, les valeurs usuelles du marché et les besoins des personnes. En effet, s'il y a un point inchangé depuis la préhistoire, c'est bien le désir de s'affirmer, de montrer un grade ou une appartenance. Pour cela, les bijoux sont encore propices. Les autres intérêts des pierres pour l'homme ont été revus de manière scientifique depuis la fin du XXe siècle. La médecine alternative utilisant les minéraux pour aider notre corps dans la guérison.

- Humain

Nous avons vu précédemment quels étaient les liens tissés entre les hommes et les pierres, les utilisations et les mythes créés. Intéressons-nous maintenant davantage aux conditions de l'homme. Dans quelles mesures ces fameuses pierres sont-elles utilisées pour son environnement proche et vital ?

⁵ <http://www.naica.com.mx>

Aujourd'hui, il existe dans différentes cultures, des systèmes ayant pour but une amélioration de l'habitat humain. Soit perçus comme une optimisation générale favorable à la vie de l'homme, soit comme une médecine alternative, ces systèmes peuvent être mentionnés comme « pseudoscience ». Ils s'orientent souvent vers une sensibilité précise en fonction des personnes impliquées. Parler des sensations et des perceptions de chacun est toujours délicat, d'autant plus s'il s'agit de bien-être humain ou des « goûts et des couleurs ». Et pourtant, même en architecture les ressentis sont importants, voire primordiaux puisqu'une construction est ordinairement arpentée par l'humain.

Citons les systèmes les plus communs: le Feng Shui⁶, la chromothérapie⁷ et la luminothérapie⁸. Le premier nous vient directement de la culture asiatique où l'approche de la médecine et de la santé de l'homme est quelque peu différente de celle que nous pratiquons en Europe occidentale. Utilisé afin de prévenir l'homme des maladies et déséquilibres en tout genre, il adapte, oriente et équilibre l'environnement. Cela rejoint le proverbe français « Il vaut mieux prévenir que guérir. », et nous transmet la notion de plus grandes dépenses énergétiques et de difficultés à enrayer une maladie plutôt qu'à l'empêcher. Le Feng Shui signifiant « vent » et « eau » s'appuie sur les concepts suivants. Optimisation de l'espace, groupe bipolaire du yin/yang et les cinq éléments naturels (feu, terre, métal, eau et bois). Ensuite, le résultat est une recette infiniment adaptable de tous ces éléments. La chromothérapie utilise l'influence des couleurs sur une personne, quand elle concerne un traitement médical. Différents plans d'action sont alors possibles, allant du physique à l'énergétique en passant par l'émotionnel et le mental. Pour arriver à ses fins, divers moyens sont utilisés répartis dans deux modes distincts. La chromothérapie dite « lumineuse » qui projette des rayons lumineux colorés suivant des longueurs d'onde et une durée précises. La chromothérapie « moléculaire » est basée sur les mêmes longueurs d'onde que la première, mais en provenance de la matière directement. Les applications peuvent alors être locales, au niveau du mal à soigner, ou sur des points d'acupuncture ou encore visuelle, offrant un effet plus prononcé sur les plans psychique et physique. Les procédés d'ingestion sont envisageables par analogie à l'homéopathie. Quant à elle, la luminothérapie utilise seulement des températures de couleur autour des 4000 K, s'approchant de la lumière naturelle. Le but étant de lutter et de contrebalancer les désordres passagers, mais surtout les dépressions et autres troubles psychiques. La transmission est alors « seulement » visuelle à partir d'une source établie en fonction des besoins du patient. La vision journalière d'une lampe produisant une forte intensité atteignant les 10000 lux pendant quelques minutes, permet un traitement sans grande contrainte physique.

Dans tous les cas, il existe une constante partagée par tous, celle de l'équilibre. La santé, la bonne, c'est l'équilibre de nos composants, de notre corps et de notre esprit. Pour ce faire, les apports extérieurs, même moindres, sont importants. Ils peuvent être dictés par une personne habilitée plus ou moins spécialisée ou être présents grâce à nos actions de manière inconsciente. Ces

⁶ Source web : http://www.pseudo-sciences.org/article.php3?id_article=303

⁷ Source web : <http://www.site-chromotherapie.fr>

⁸ Source web : <http://www.info-luminotherapie.com>

rapports interne - externe entre notre corps et le reste sont indéniables. L'architecture fait partie de ce « reste », c'est une part de notre environnement qui est prépondérante.

Il reste alors à définir quel est le rôle de l'architecte dans cet environnement. Pourquoi devrait-il réaliser des projets offrant le bien-être ? Doit-il construire du bien-être pour tous ? Et comment pourrait-il faire cela ? L'architecte pourrait-il offrir encore plus ?

C'est parce que l'homme a mystifié les pierres depuis des temps immémoriaux en leur attribuant des vertus définies, que certains scientifiques contemporains sont réticents à nommer les effets thérapeutiques. Cependant, l'étude des pierres en cette aube du 21^e siècle nous permet aujourd'hui de parler sérieusement de lithothérapie. Aussi considérée comme une pseudoscience, la lithothérapie permet un autre apport d'équilibrage au patient intéressé.

Cette pratique fonctionne avec les longueurs d'onde, comme la chromothérapie. Si nous considérons que tout ce qui nous entoure émet des vibrations, des ondes en tout genre, c'est le cas aussi des pierres (précieuses ou non). Cependant, lorsque nous parlons de cette « cure par les pierres », nous parlons des cristaux et des caractéristiques que cela implique. Les cristaux sont des minéraux très stables en raison de leur composition. Ces pierres là rayonnent d'une onde régulière et plus forte que les autres. Chaque pierre possède donc sa propre émission, qu'elle transmettra à notre corps par le contact. Le système s'appelle thérapie de l'information. Le rayonnement de la pierre en question peut être assimilé à un « programme » établie grâce à divers critères de constitution et permet d'en faire partager les « données » au rayonnement des cellules du corps du patient afin qui rétablisse l'équilibre ciblé. Tout comme la chromothérapie, elle possède quatre plans d'action possibles sur le patient: physique, psychique, mental et spirituel.

Ainsi, chaque litho-rayonnement est produit par la combinaison des facteurs suivants. L'origine de la pierre, soit son principe de formation, lui confère des propriétés en lien avec celles du milieu de croissance. La classe minéralogique des éventuels éléments chimiques composant la pierre a des caractéristiques différentes. Les éléments de la formule initiale du cristal ou ceux présents en faible quantité ont des propriétés chimiques et électroniques précises. La couleur, qu'elle soit générée par la formule chimique principale ou par des inclusions, joue un rôle important dans l'établissement de ce rayonnement. Enfin, le système structurel, appelé système cristallin, de chaque pierre définit une autre grande partie du rayonnement en question.

À chaque homme et à chaque cible, il existe une pierre permettant un traitement. Si un maximum d'informations est connu, l'établissement du choix de la pierre sera plus aisé. À l'inverse, un manque ne sera pas un obstacle infranchissable à la réalisation d'un soin pour le patient. Nous parlons là d'un procédé peu palpable dont les discussions peuvent paraître décalées. En effet, à l'instar d'autres branches médicales comme l'homéopathie, l'aspect individuel et subjectif est de mise, permettant de traiter au cas par cas avec justesse. Pour arriver aux résultats désirés, plusieurs options de moyen sont possibles. Ils dépendent de la pierre elle-même, du type de la cible à soigner, du plan d'action et de la puissance du mal et de la pierre. Une application directe au contact de la peau est le plus souvent utilisée. Pour un effet plus rapide et puissant, ou pour atteindre des méandres intérieurs, l'ingestion d'une solution aqueuse établie à base de la pierre est

possible en raison de sa facilité d'insertion dans l'organisme. Un toucher momentané quasi inconscient ou la pose du regard sur une pierre permet aussi d'établir des effets pour le patient.

En revanche, nous devons expliciter les limites de cette pratique. Bien qu'elle puisse plaire à bon nombre de personnes, elle n'est cependant pas une médecine à toute épreuve et ne peut en aucun cas suffire au rétablissement des maux d'un patient. Certains problèmes de santé nécessitent le recours de la chirurgie par exemple. Tout comme à l'échelle d'une pratique médicale, l'équilibre des pratiques est aussi de mise. Savoir manipuler, jongler, combiner différents systèmes de guérison avec justesse est aussi important pour obtenir les résultats souhaités. Il semble alors judicieux de mentionner qu'une approche totalitaire et fermée de la lithothérapie ne peut qu'être la source d'apparition d'autres problèmes.

Et si, pour développer l'étude grandiose que nous offrent les cristaux, nous nous interrogeons sur les vibrations d'un bâtiment. Un projet devra-t-il être conçu pour une personne à la manière d'un choix de pierre ? Cela semble possible à une petite échelle, mais pour un bâtiment public ou pour un changement de propriétaire, que deviendra le fameux projet ? L'architecte devrait-il se pencher davantage sur la question de l'évolution et de l'ensemble du public ? Comment parvenir à une telle évolution architecturale ?

Nous posons alors les hypothèses suivantes. Si le modèle des cristaux nous est si inspirant, utiliser une part plus sensible et subjective est profondément délicate. Néanmoins, dans le but de produire, ou comprendre avec plus de précision, la formation du rayonnement de l'environnement nous nous devons d'analyser un à un les éléments le constituant. Ainsi, pareillement à la composition d'une remarquable pierre, ces composants sont à l'échelle architecturale: les différentes natures des matériaux employés, leurs quantités dans l'ensemble, ceux en faible quantité comme des inclusions ou des traces, les couleurs employées et leurs origines chimiques, le dessin de la structure, qu'elle soit visible ou non, et les modes de constructions (et éventuellement les phases de la conception) utilisés. Pour parfaire à l'ensemble de ce panel de possibilité, de nombreuses analyses et expérimentations seraient nécessaires pour tendre à un aspect équivalent à celui de la lithothérapie. En revanche, il existe déjà une part presque « tabou » dans le projet architectural qui s'en rapproche.

L'ouvrage collectif *Architecture émotionnelle : matière à penser*⁹, nous donne un aperçu qui semble tout à fait juste des questions contemporaines de cette approche qu'est l'architecture émotionnelle. Perçue pour certains comme une subjectivité à toute épreuve dont il est impensable de faire une science ou même de parler d'architecture, elle est une source de développement à l'avenir dont on a encore -presque- tout à apprendre. Il y est aussi mis en évidence que lorsqu'est livré un projet qui se veut un peu remarquable, qui offre des formes nouvelles et osées comme on en voit depuis la fin du 20e siècle, des personnes déçues se manifestent souvent en grand nombre. Est-ce dû à un manque de communication entre les différents corps de métier et du public, ou à un manque de maîtrise des concepteurs ? Certains grands architectes du siècle dernier ont porté des projets réfléchis sur la question des ressentis et des émotions. Citons Luis Barragán, qui a

⁹ ARDENNE, P., POLLA, B., (sous la direction de), 2010, *Architecture émotionnelle : matière à penser*, Lormont : Le bord de l'eau : La Murette, 191 pages, Colloque international d'Architecture émotionnelle.

construit un petit nombre de projets utilisant un même système de couleurs pour modifier les espaces offrant une expérience-utilisateur orientée par l'architecture elle-même. Quand nous parlons de ressentis et de leurs origines, l'amalgame avec la scénographie est alors bien proche. L'architecture ne peut-elle pas jouer un rôle dans les sensations et être dissociée de la scénographie ?

Bien que nous prenons déjà en compte en nombre important de facteurs lors de la conception d'un projet, il semblerait que pour certains programmes ou utilisateurs, la nécessité de revoir l'importance des ces facteurs seraient bienvenue. Influencer les personnes par l'architecture est un fait inné. À partir de l'instant où il y a de l'architecture, nos perceptions sont orientées; en bien ou en mal, c'est selon les personnes et les espaces. Si nous reprenons l'hypothèse d'une architecture réfléchiée selon le fonctionnement de la lithothérapie, nous pourrions alors développer une notion précise dans ce qu'est déjà l'architecture émotionnelle. Une construction au service de la santé humaine : « l'archithérapie ».

- Structures et géométrie -

Ci-après vient une analyse à l'aspect scientifique des structures cristallines. Nous avons besoin de poser quelques termes associés et de définir notre champ d'action. Connaître les limites de notre savoir nous permet de mieux saisir ces données.

Ainsi, nous évoluerons dans la vision de la géométrie euclidienne, la plus commune, afin d'être accessible à tous et de pouvoir utiliser les outils existants utilisant déjà ce système. À savoir que la géométrie euclidienne est celle que nous apprenons dans les écoles, et qui, par exemple à pour principe : un segment de droite peut être tracé en joignant deux points quelconques distincts.

Enfin, nous allons travailler à partir de modélisations moléculaires tridimensionnelles selon les codes de représentation scientifiques en vigueur. Bien que les atomes ne soient pas visibles à l'œil nu, nos scientifiques connaissent leurs propriétés. S'agissant d'unités extrêmement petites, leurs formes sont discutées par les chercheurs, mais il en reste qu'elle est systématiquement comprise dans une sphère. Rappelons quelques éléments de chimie. Un atome est composé d'un noyau autour duquel gravitent les électrons formant un nuage 100 000 fois plus volumineux que le noyau lui même pour une masse de 0,01% de celui de l'atome complet. Le noyau est une combinaison de protons et de neutrons, aussi appelé nucléon. Ce noyau ainsi que les électrons se composent en strates qui correspondent à un niveau d'énergie. Dans la représentation utilisée ci-dessous, les sphères représenteront bien les atomes, et se verront attribuées des tailles et des couleurs, permettant de mieux les identifier. Dans une molécule, de quelque nature que ce soit, les atomes sont liés entre eux électroniquement, il ne s'agit pas d'un lien physique à proprement parler. Cependant, avec la représentation appartenant au domaine de la chimie, nous mettons en évidence ces liens grâce à des barres entre les atomes symbolisant les liaisons électroniques. Signe de construction et de cohérence, c'est avec ces liens que nous établirons notre analyse architecturale.

- Systèmes cristallins

Nous allons développer une analyse qui a pour but d'établir des liens entre structures cristallines et structures architecturales. Sa finalité sera de déterminer puis de mettre en valeur des éléments qui ont un potentiel suffisant pour imaginer leur utilisation en architecture. Toutes ces analogies se feront en prenant compte avec justesse des changements d'échelles induites. Passer de l'atome à l'échelle humaine ne peut pas se faire sans prise de conscience, il faut bien cerner les limites des relations, que ce soit d'un point de vue structurel ou matériel.

L'histoire de la chimie cristalline a commencé en 1669 avec le géologue danois Niels Steensen qui a écrit une étude sur les lois mathématiques des cristaux. Avant cette date, les cristaux étaient toujours des éléments divins. Depuis, la science n'a de cesse d'apporter du nouveau à la connaissance. Cette découverte indique que les angles que faisaient entre elles les surfaces d'un cristal étaient toujours égaux, quels que soient la taille, la forme et le lieu de découverte de la pierre. La forme n'étant alors pas associée à l'environnement, elle est due à une propriété intrinsèque. En découle une définition valable encore aujourd'hui : un cristal est un corps solide, aux formes géométriques régulières. Ce n'est qu'en 1784, que René Just Haüy développa une théorie sur la structure interne des cristaux visant à montrer qu'ils étaient composés de cellules élémentaires identiques. Ces dernières permettraient de former des géométries régulières très précises, quelle que soit l'échelle en raison de leur nature insécable.

La réalité que nous connaissons aujourd'hui n'est pas loin de cette dernière théorie. Bien que les atomes eux-mêmes ne se présentent pas comme des formes géométriques régulières, il existe un rassemblement d'atomes, appelé maille élémentaire. Dans cette maille, les éléments sont agencés rigoureusement ne laissant pas de place au désordre et diminuant au mieux l'espace vacant. Rappelons que les cristaux sont formés dans des conditions extrêmes où le gaspillage de place n'existe pas. Un système bien ordonné permet toujours une meilleure utilisation de l'espace que le désordre. La démonstration permettant de trouver et de comprendre les différents systèmes cristallins est simple à effectuer. Cherchez à diviser une surface blanche avec l'aide d'une répétition de surface identique sans avoir de « trous » entre les surfaces. Les seules figures permettant un tel pavage sont celles qui donnent lieu aux différents systèmes cristallins. Le carré, l'hexagone, le triangle, le rectangle, le losange, le parallélogramme et le trapèze. Ce sont uniquement ces sept formes de base qui organisent tout le monde de la cristallisation. Les cristaux sont donc répertoriés dans chacun de ces systèmes. La classification des systèmes a été réalisée par Auguste Bravais en 1848. Il a répertorié 14 variantes comprises dans les sept systèmes initiaux. Avec la compréhension de cette maille élémentaire génératrice, les formes géométriques ne sont plus un mystère. Quelle que soit la taille d'un cristal ou qu'il soit brisé (appelé « clivage » s'il s'agit une action volontaire du lapidaire), il présente les mêmes géométries. C'est bien la structure interne qui organise l'entièreté de la pierre. La forme, bien qu'elle soit soumise aux aléas naturels, est induite par la maille et sa structure. L'absence de lien et de maille définie donne lieu à un système cristallin à part, nommé « amorphe ». Ce système est composé de cristaux dont l'ordonnement interne est

un désordre dû à une formation trop rapide ou comprenant trop d'éléments mélangés, comme l'obsidienne, l'ambre ou opale.

Les systèmes cristallins se définissent comme suit.

Pour définir mathématiquement les systèmes, il existe plusieurs variables. Soit a, b, c , les longueurs des vecteurs d'une maille et α, β, γ les angles qu'ils forment entre eux.

Système cristallin cubique.

Comme son nom l'indique, les cristaux de ce système peuvent former des cubes mais aussi des octaèdres (diamant, fluorine, pyrite), des rhombododécaèdres (grenat, lapis-lazuli), des tétraèdres (pyrite, blende), des dodécaèdres pentagonaux (pyrite). D'autres pierres faisant partie de ce système sont l'or, l'argent, la spinelle, le diamant, la magnétite.

Le système a les propriétés suivantes : $a = b = c$ et $\alpha = \beta = \gamma = \pi/2$ (figure 9.)

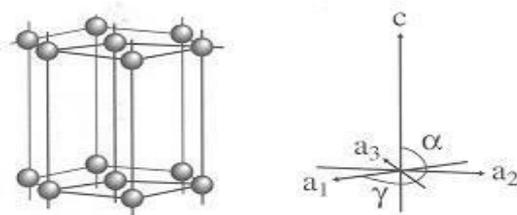


Figure 9.

Sa maille peut se décliner en trois réseaux : primitif dans son état général (bleu), centré si il comporte un site de symétrie en son centre (vert), ou à faces centrées si chacune de ces faces possède un axe de symétrie (rouge). (figure 10.)

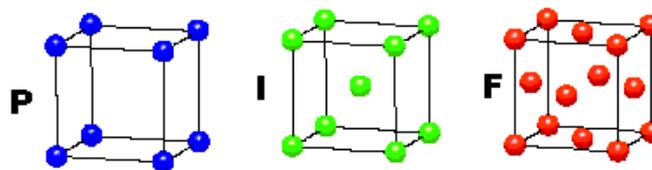


Figure 10.

Système cristallin hexagonal.

Il regroupe les cristaux à structure hexagonale. Hexagonal venant du grec « hexagon = six angles » Ils forment pour la plus grande part des prismes à six faces, comme l'apatite, l'aigue-marine, le béryl, l'émeraude, la morganite, la sugilite, la covelline, la vanadinite, la bixbite, ou l'héliodore.

Le système a les propriétés suivantes : $a = b \neq c$; $\alpha = \beta = \pi/2$ et $\gamma = \pi/3$ (figure 11.)

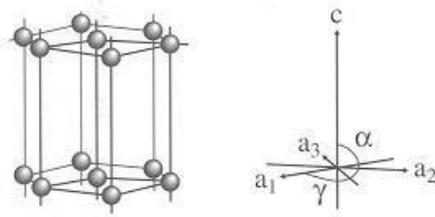


Figure 11.

Sa maille ne comporte que le réseau primitif. (figure 12.)

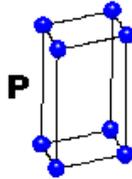


Figure 12.

Système cristallin rhomboédrique.

Il peut aussi être appelé trigonal. Il regroupe les cristaux à structure triangulaire. Trigonal du grec « trigon = triangle ». Ils forment soit un prisme à base triangulaire (tourmaline), soit des prismes à base hexagonale pas aussi réguliers que ceux du système précédent, comme l'améthyste, les quartz, le rubis, le saphir, soit des formes rhomboédriques. D'autres pierres classées dans le système trigonal sont le bismuth, l'hématite, l'aventurine, la bénitoïte, la sardoine.

Le système a les propriétés suivantes : $a = b = c$ et $\alpha = \beta = \gamma \neq \pi/2$ (figure 13.)

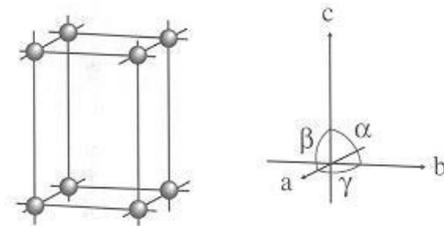


Figure 13.

Sa maille ne comporte que le réseau primitif. (figure 14.)

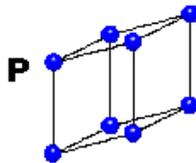


Figure 14.

Système cristallin tétragonal.

Il peut aussi être appelé quadratique. Il regroupe les cristaux à structure interne rectangulaire. Tétragonal viens du grec « tétragon = quadrilatère ». Ces pierres forment des prismes à base rectangulaire plan ou à pointes carrées. Citons le zircon, la chalcopryrite, la wulfénite, la schéélite, le rutile, la pyrolusite, la cassitérite, et la bornite.

Le système a les propriétés suivantes : $a = b \neq c$ et $\alpha = \beta = \gamma = \pi/2$ (figure 15.)

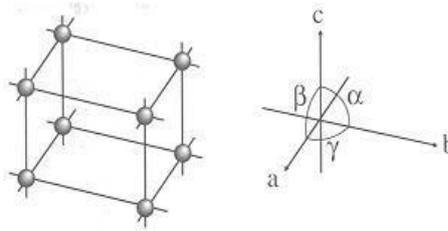


Figure 15.

Sa maille comporte le réseau primitif (bleu) et le réseau centré (vert). (figure 16.)

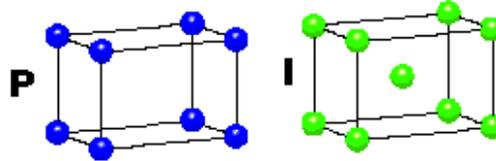


Figure 16.

Système cristallin orthorhombique.

Il peut aussi être appelé simplement rhombique. Il regroupe les cristaux à structure interne losangée. Le mot rhombique viens du grec « rhombus = losange ». Les minéraux rhombiques présentent des formes en losange tel que l'aragonite ou la topaze, ou des formes hexagonales formées à partir de trois losanges. Cette formation spéciale est nommée « pseudo-hexagonale ». D'autres cristaux losangiques sont le chrysobéryl, la célestine, la césurite, l'atacamite, la baryte, l'alexandrite, la danburite et la tanzanite.

Le système a les propriétés suivantes : $a \neq b \neq c$ et $\alpha = \beta = \gamma = \pi/2$ (figure 17.)

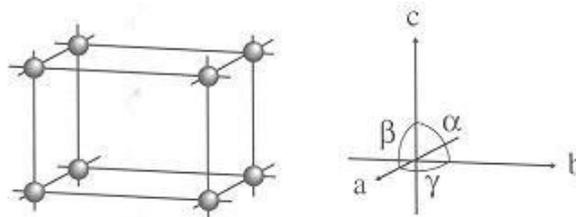


Figure 17.

Sa maille comporte tous les réseaux de symétrie possible. Le réseau primitif (bleu), le réseau centré (vert), le réseau à faces centrées (rouge) et le réseau à base centrée (violet) dont seules deux faces contiennent un nœud de symétrie. C'est le seul système cristallin qui comporte toutes les déclinaisons de réseaux. (figure 18.)

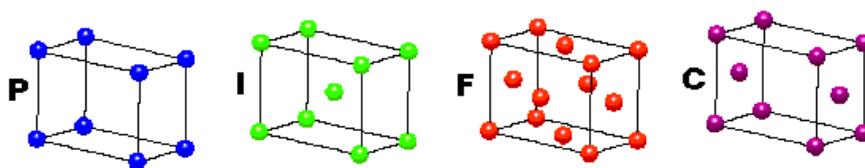


Figure 18.

Système cristallin monoclinique.

Il regroupe les cristaux à structure interne en forme de parallélogramme. Le mot monoclinique vient du grec « mono = un » et « klinein = incliné » et signifie « avec un angle incliné ». Sur chacun des cristaux apparentés à ce système, nous pouvons observer cet angle incliné. Les exemples de pierres sont l'euclase, la hecatolite, l'azurite, la malachite, le gypse (dont la forme parallélépipédique se voit particulièrement bien), la howlite, la jadéite, la kunzite et la titanite.

Le système a les propriétés suivantes : a, b, c sont quelconques, $\alpha = \gamma = \pi/2$ et $\beta \neq \pi/2$ (figure 19.)

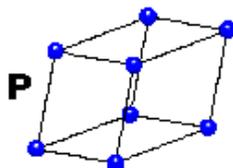


Figure 19.

Sa maille comporte le réseau primitif (bleu) et le réseau à base centrée (violet). (figure 20.)

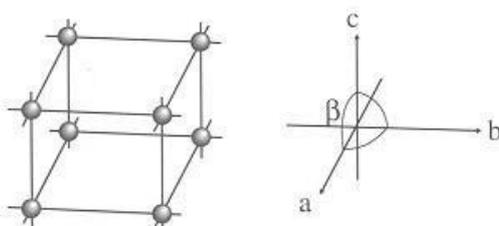


Figure 20.

Système cristallin triclinique.

Appelé aussi anorthique, il regroupe les cristaux à structure interne en forme de trapèze. Monoclinique viens du grec « tri = trois » et « klinein = incliné » et signifie « avec trois angles inclinés ». Il n'existe pas plus penchés que ces cristaux composés sans angles droits. Sur chacun des cristaux apparentés à ce système, nous pouvons observer cet angle incliné. L'amazonite a la forme la plus apparente puisqu'elle est composée de deux trapèzes rassemblés. D'autres exemples sont la labradorite, l'ulexite, la turquoise, la cyanite, la rhodonite, la chalcantite et la carimar.

Le système a les propriétés suivantes : $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ sont quelconques. (figure 21.)

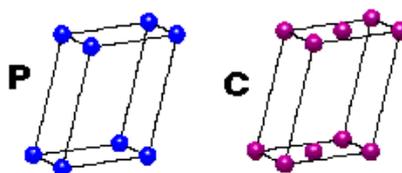


Figure 21.

Sa maille ne comporte que le réseau primitif. (figure 22.)

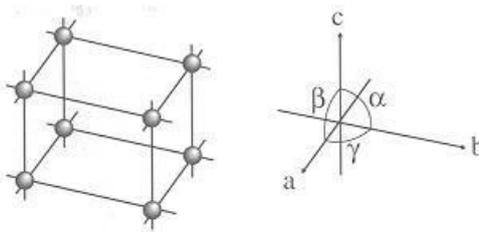


Figure 22.

Pour réaliser l'analyse, nous allons suivre un protocole à appliquer pour chacun des systèmes cristallins. En suivant l'ordre du classement de Bravais, il permettra de décrire les systèmes et d'exposer l'étude de plusieurs cristaux. Il est le suivant :

- > Pour chaque système cristallin :
 - Sélection et approfondissement sur deux pierres au minimum.
- > Pour chaque pierre sélectionnée :
 - Détails : principe de formation¹⁰, catégorie de minéraux, couleurs, formule chimique avec composés additifs possibles, échelle de Mohs¹¹, densité.
 - Précision des différents types possibles de formation et différenciations, de la mythologie, des lieux d'extractions actuels.
 - Imagerie 3D de la structure. (Reconnaissance des atomes.) : Angles de vue différents avec changement de rendu. La compréhension du volume sera facilité par la présence des axes du volume concerné, comprenant un vert, un bleu et un rouge, ils indiquent l'orientation d'une maille. Cette partie de l'analyse se retrouvera en annexe¹², classée selon le même déroulement des présentes pierres.
 - Sélections personnelles sur l'imagerie produite, rendant compte des potentialités de la structure. Mention des échelles possibles d'utilisations, de l'orientation spatiale, des finalités (structures, organisations, motifs plastiques...)

¹⁰ Cf première sous partie : Géologie Originelle dans 3.1 Rencontres, page 5.

¹¹ L'échelle de Mohs établie la dureté d'une pierre. Inventée en 1812 par le minéralogiste allemand Friedrich Mohs, elle fonctionne par comparaison, une pierre à la possibilité d'en rayer un autre ou non. La plus dure, donc inrayable, est le diamant.

¹² Elles constituent le tome 2 de ce mémoire.

Systeme Cubique

Nous choisirons le développement de la pyrite et du diamant.

Pyrite

Formation : Magmatique, sédimentaire ou métamorphique.

Classe minéralogique : Sulfures.

Couleur : métallique et doré.

Echelle de Mohs : 6 à 6,5

Densité : 4,95 à 5,10

$\text{FeS}_2 + \text{Co, Ni, Sb, + (Cu, Au, Ag, Zn)}$

La pyrite se présentant en petit groupe de cristaux ou de plus gros cristaux solitaire est principalement d'origine hydrothermale. La pyrite difforme, en cube ou ronde est formée par sédimentation dans l'argile ou le charbon. La métamorphose donne lieu à aux 'soleils de pyrite'.

Son nom signifie « pierre de feu » parce que la pierre produit des étincelles dès lors qu'elle est frappée.

Les sites d'extractions actuels se trouvent en Espagne, en France, en Italie, au Pérou et en Slovaquie.

Figure 23. La maille élémentaire de la pyrite, composée de fer (Fe), en marron et de soufre (S) en jaune.

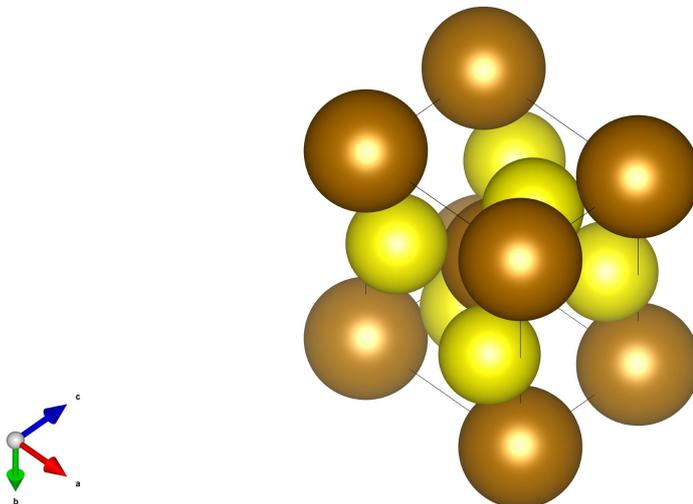


Figure 23.

Mise à l'échelle architecturale sur une section répétable tel le cristal de départ, deux hypothèses (figures 24. et 25.).

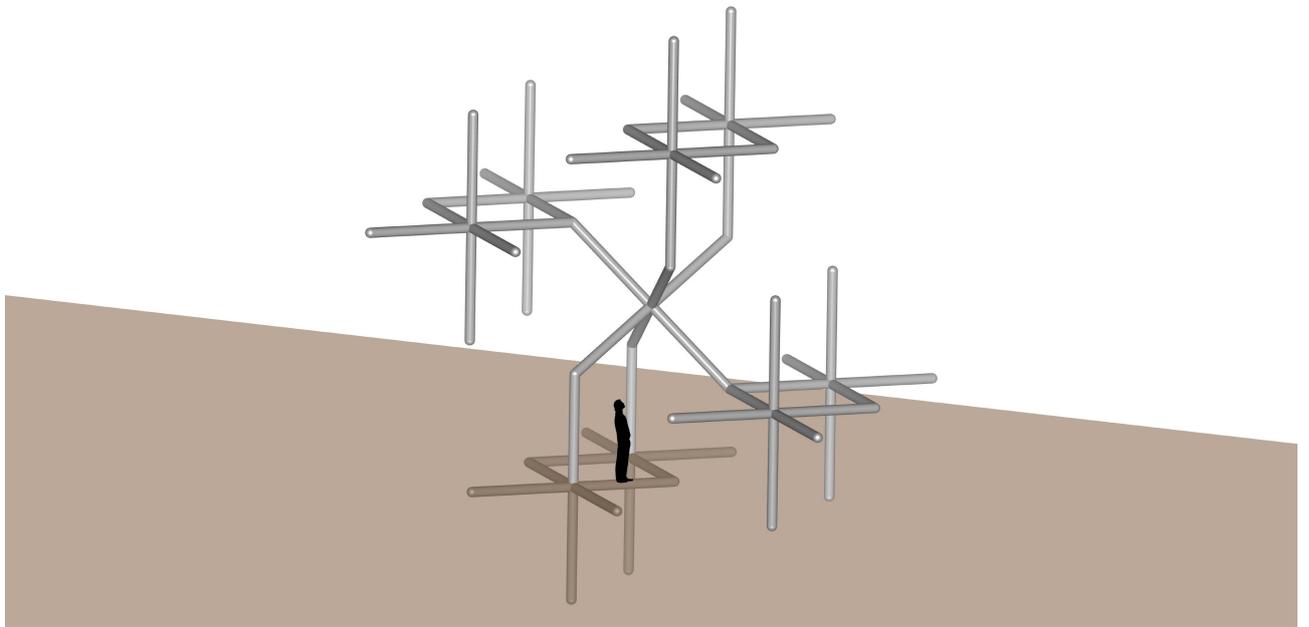


Figure 24.

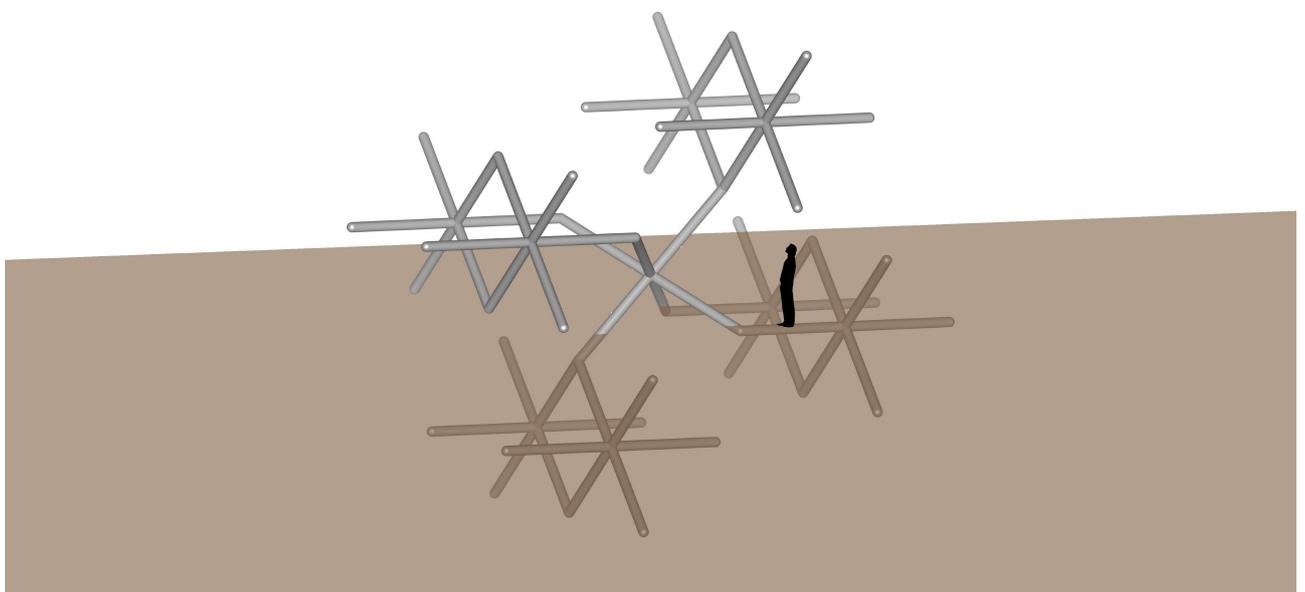


Figure 25.

Système Cubique

Diamant

Formation : Métamorphique.

Classe minéralogique : Éléments naturels.

Couleur : clair, rose, jaune, vert, bleu.

Echelle de Mohs : 10

Densité : 3,517

C + (Al, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Si, Sr, Ti)

Le diamant se forme dans des roches à des profondeurs de 150 à 200 km sous une pression de 40000 atmosphère et à une température de plus de 2000°C. Sa composition pure en carbone et sa structure atomique lui donne ces caractéristiques singulières. Il suffit de légères inclusions d'un élément étranger pour que sa couleur varie, comme la faible présence en manganèse le teintera en rose.

Son nom vient du grec « adamas » qui signifie invincible. Au Moyen Age, il symbolisait la force, le courage et l'invulnérabilité. Il aidait aussi son porteur à s'ennoblir. L'idée que cette pierre guérisse les maladies psychiques et nerveuses s'est transmise jusqu'à nos jours. L'adjectif français adamantin signifie posséder les qualités du diamant.

Les sites d'extractions produisant 73% de la production mondiale se situent en Russie, au Botswana, en Australie et en République démocratique du Congo. Sont aussi producteurs, la République centrafricaine, l'Afrique du Sud, le Canada, l'Angola, la Namibie, la Chine et le Ghana.

Figure 26. La maille élémentaire du diamant, composée uniquement de carbone (C) en marron.

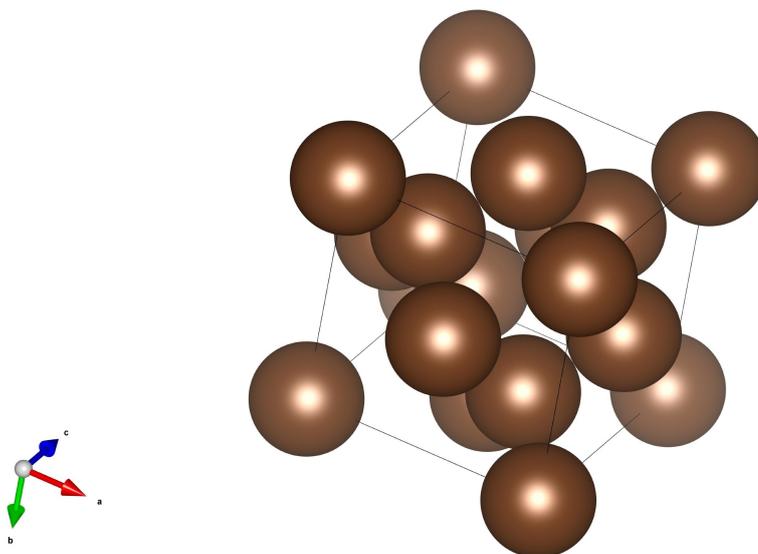


Figure 26.

Possibilités d'utilisations à une échelle humaine. (figures 27. et 28.) Apparence de trames de constructions (figure 29.)

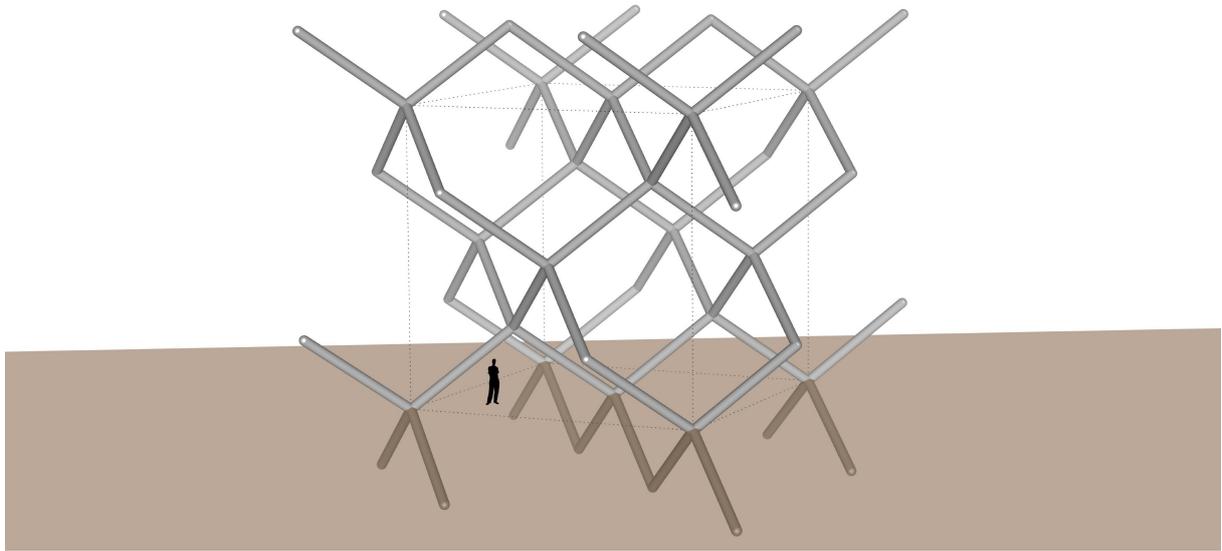


Figure 27.

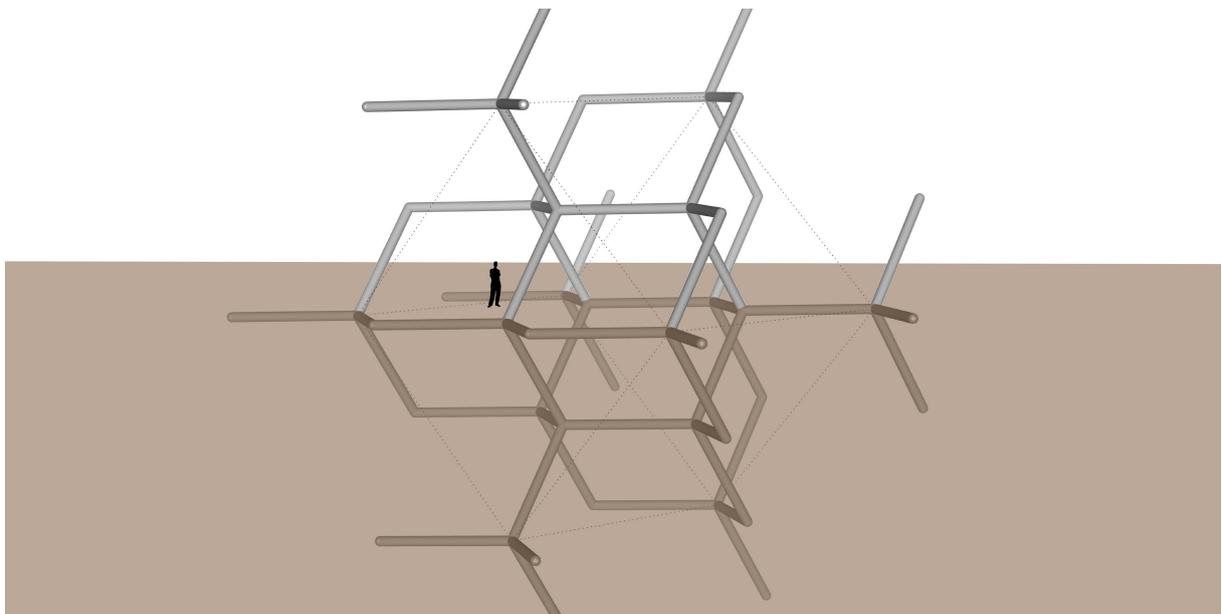


Figure 28.

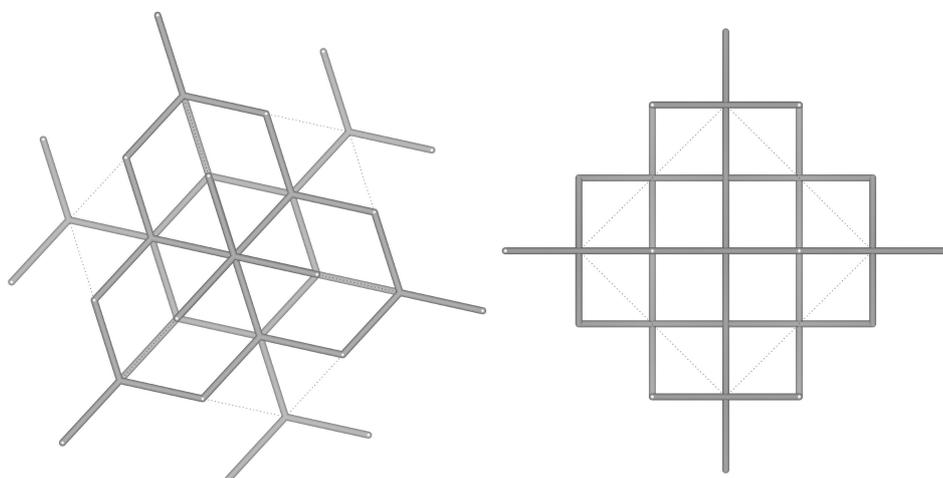


Figure 29.

Système Hexagonal

Nous choisirons le développement de la vanadinite et de la covellite.

Vanadinite

Formation : Sédimentaire.

Classe minéralogique : Phosphate, groupe des apatites.

Couleur : rouge, rouge brunâtre, jaune, blanc, incolore, brun, jaunâtre pâle, brun, orange

Echelle de Mohs : 2,75 à 3

Densité : 6,8 à 7,1

$Pb_5Cl(VO_4)_3$

Cette pierre a été découverte au Mexique en 1801 par Andrés Manuel del Río, un minéralogiste espagnol professeur à l'École des Mines du Mexique. Après plusieurs années d'étude pour arriver à discerner la composition de la pierre, se rapprochant d'autres métaux, son nom fut fixé en 1838 par le minéralogiste allemand Franz Ritter von Kobell.

Vanadinite vient de mot vanadium, élément dominant dans sa composition chimique.

Il s'agit d'un cristal peu commun, dont les plus remarquables spécimens se trouvent au Mexique et au Maroc. D'autres pays abritent aussi ce cristal comme le Canada, la Nouvelle Zélande, le Congo, l'Algérie, la France, le Paraguay, l'Italie.

Figure 30. La maille élémentaire du zircon, composé de plomb (Pb) en gris, de chlore (Cl) en vert, d'oxygène (O) représenté par les petites sphères rouges et de vanadium (V), les grandes sphères rouges.

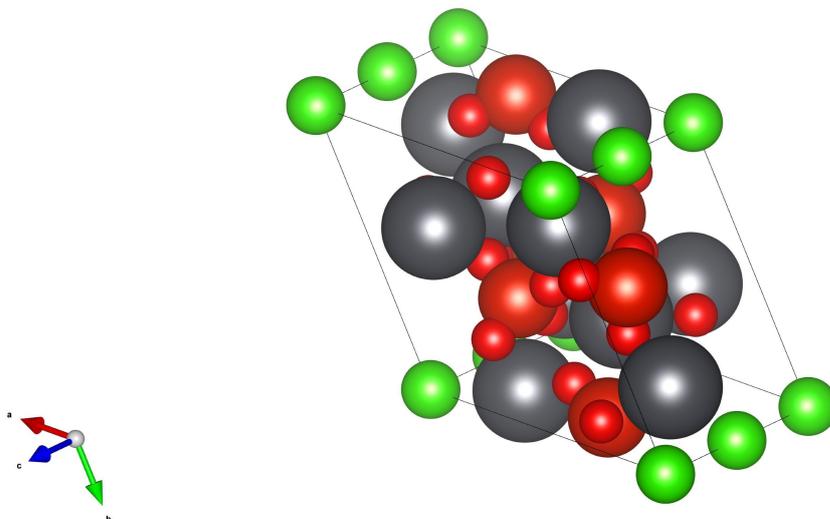


Figure 30.

Résultats peu concluant de la mise à l'échelle humaine de la maille initiale (figure 31.). Nous pouvons néanmoins percevoir une grille de pavage ou autre trames esthétiques (figure 32.).

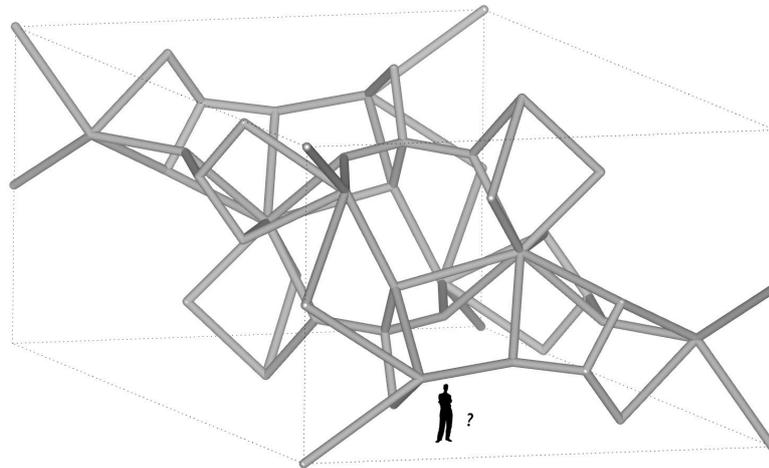


Figure 31.

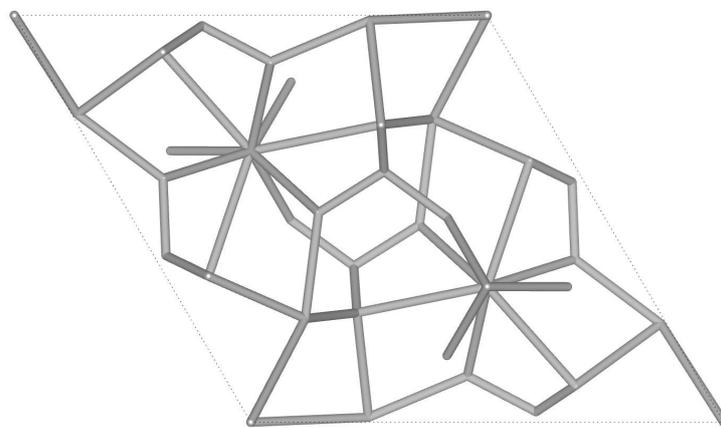


Figure 32.

Systeme Hexagonal

Covellite

Formation : Métamorphique, magmatique.

Classe minéralogique : Sulfures.

Couleur : bleu indigo, violet, irisé, pourpré, noir, grisâtre

Echelle de Mohs : 1,50 à 2,00

Densité : 4,60 à 4,76

CuS

La covellite par formation magmatique est extrêmement rare. C'est plus généralement un minéral en lien avec des gisements de cuivre associé à l'énargite, à la chalcocite et aux cuivres gris.

Découverte par l'italien Nicola Covelli, le lieu de référence pour la formation de ce cristal se trouve au Mont Somma, Vésuve. Son nom vient du minéralogiste qui en a fait la description approfondie, François Sulpice Beudant, en 1932.

Cette pierre se trouve dans les gisements allemands, belges, canadiens, étasuniens, français et italiens.

Figure 33. La maille élémentaire est composée d'atomes de cuivre (Cu) en bleu et de soufre (S) en jaune.

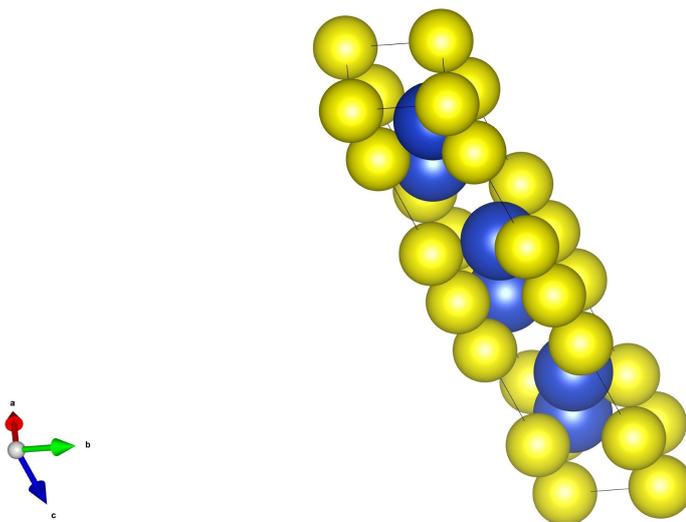


Figure 33.

Possibilités d'utilisation à l'échelle humaine (figures 34. et 35.). Potentiels esthétiques, apparence de formes extrudés s'apparentant à des réseaux graphiques (figures 36. et 37.).

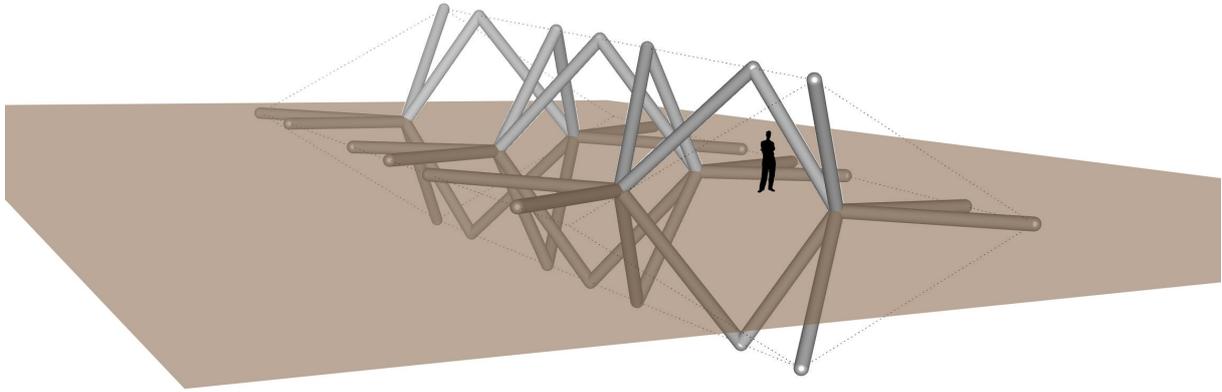


Figure 34.

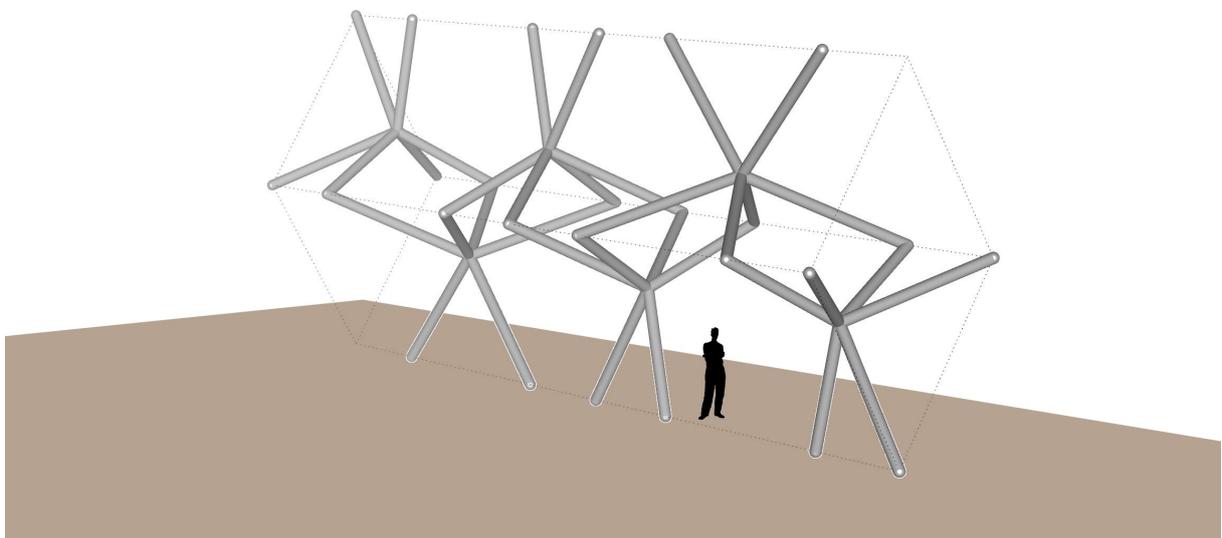


Figure 35.

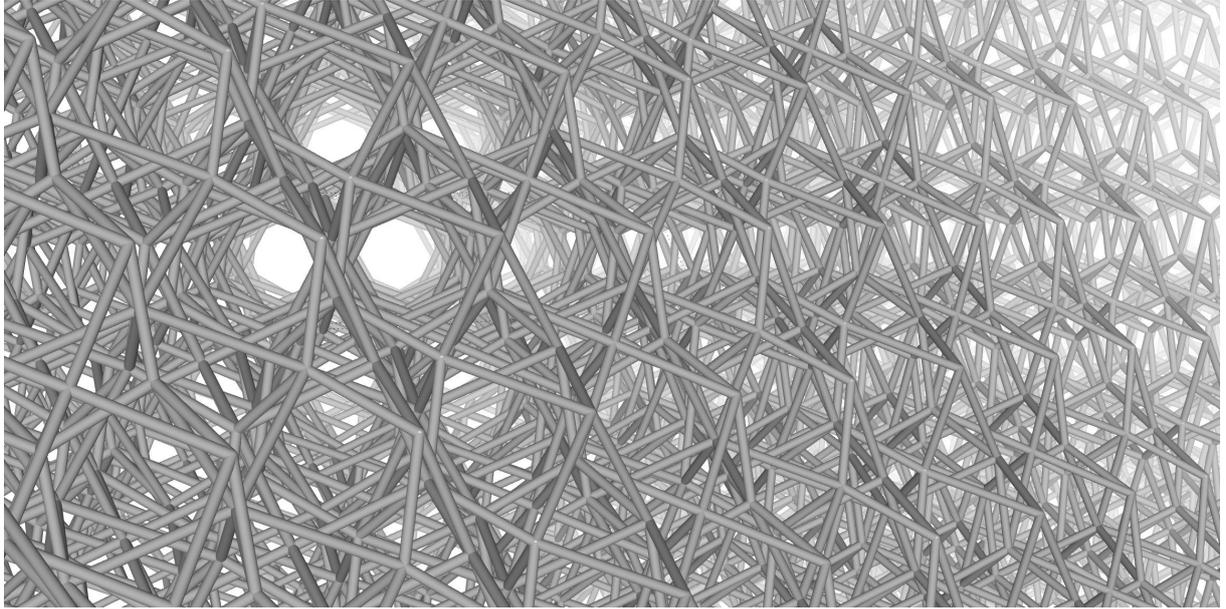


Figure 36.

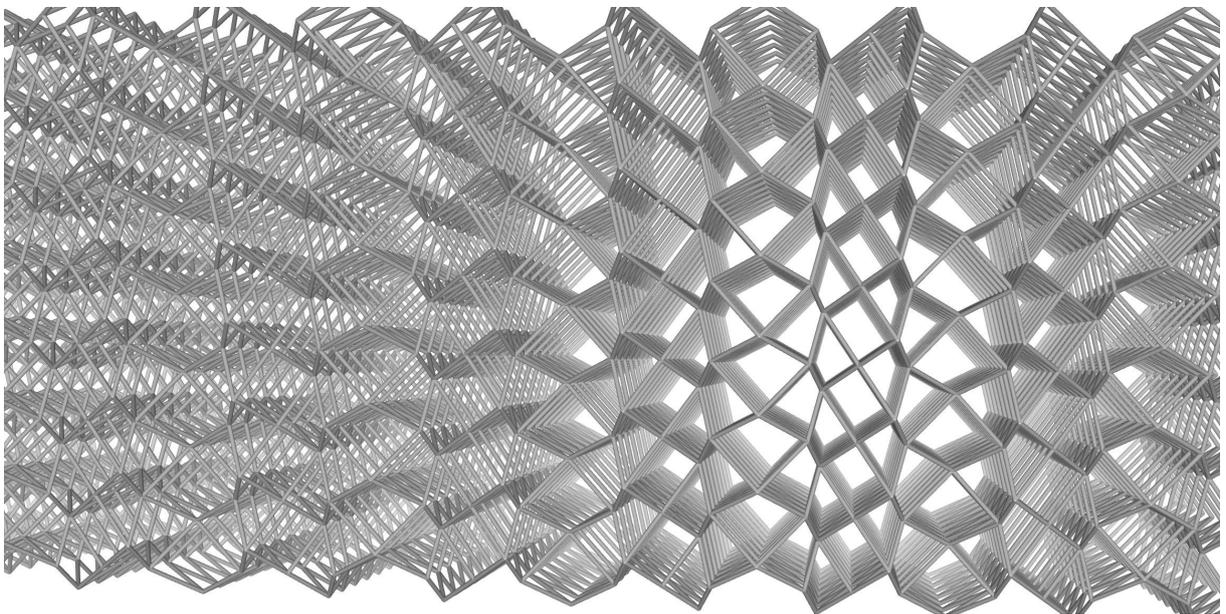


Figure 37.

Système Rhomboédrique

Nous choisirons le développement de l'hématite et du corindon.

Hématite

Formation : Magmatique ou métamorphique.

Classe minéralogique : Oxydes.

Couleur : Gris acier, noir de fer, irisé, brunâtre, brun rouge, gris noir, bleuté, rouge.

Echelle de Mohs : 5,5 - 6,5

Densité : 4,9 - 5,3

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Mg, Ti} + (\text{Al, Cr, Mn, Si, H}_2\text{O})$

D'origine magmatique, l'hématite forme des petits cristaux, certains ont des formes bossues. Le processus métamorphique donne lieu à des bassins massifs d'hématite. La forme la plus courante dans le commerce est polie au tambour pour les bijoux.

Depuis l'Égypte ancienne et dans la Mésopotamie, elle servait à arrêter les hémorragies. Elle fût donc appelée « pierre de sang » au Moyen-Age.

On la trouve principalement en France, Italie et au Brésil.

Figure 38. La maille élémentaire est composé de fer (Fe) en marron et d'oxygène (O) en rouge.

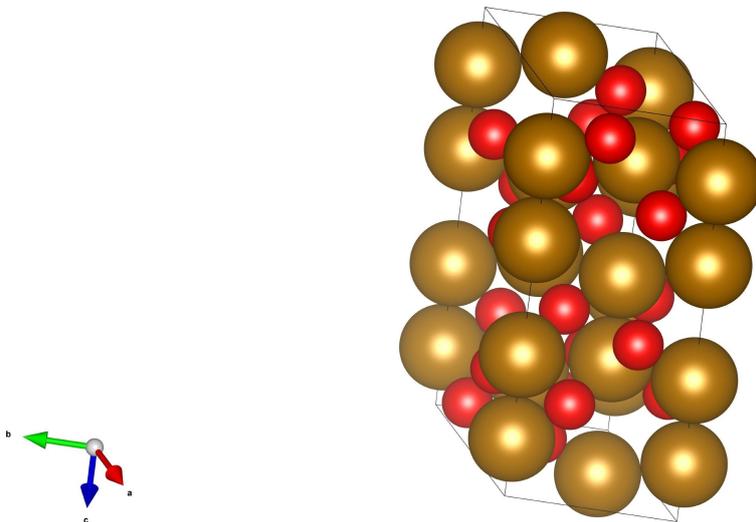


Figure 38.

La structure de l'hématite est assez similaire à celle de la covellite mais qui nous apparaît plus complexe à mettre au profit de l'homme, si ce n'est les observations graphiques inspirantes. (figures 39., 40. et 41.)

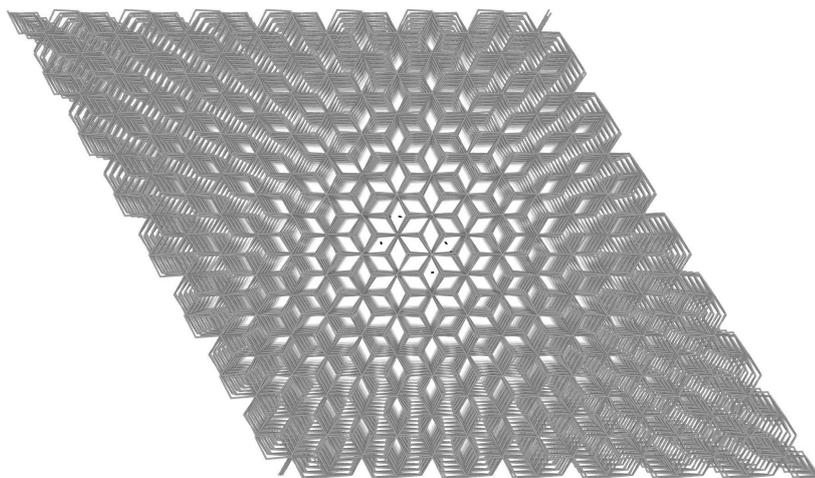


Figure 39.

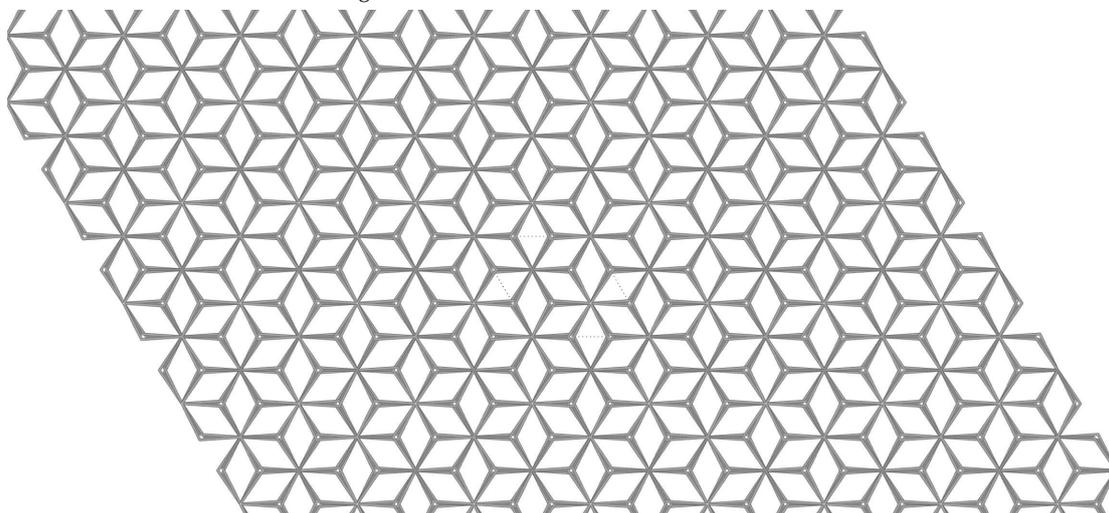


Figure 40.

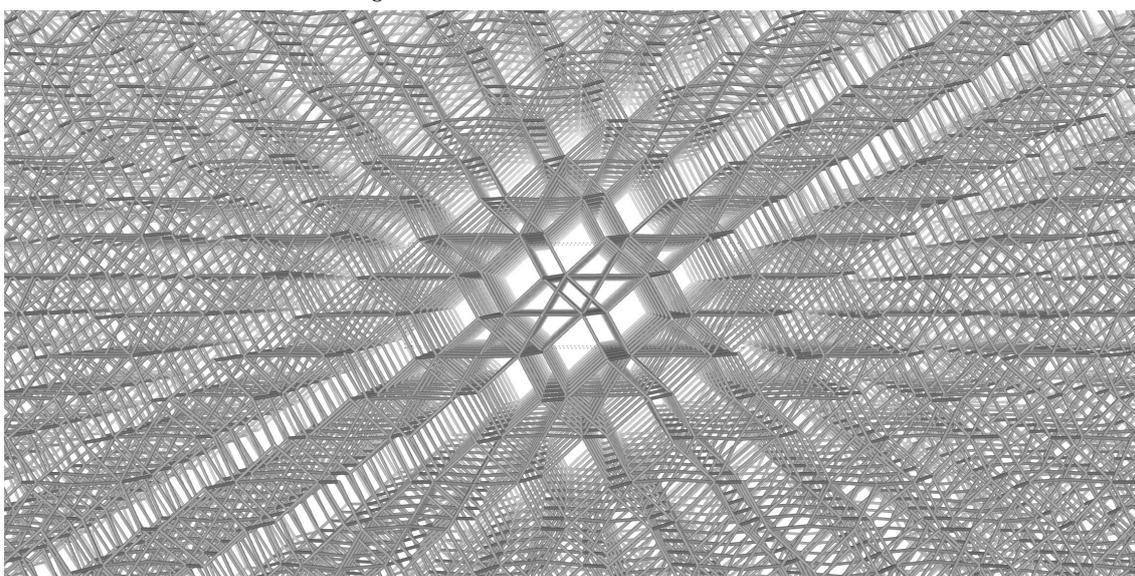


Figure 41.

Système Rhomboédrique

Corindon

Formation : Magmatique ou métamorphique.

Classe minéralogique : Oxydes, minéral principal de la famille des corindons.

Couleur : Variable selon la déclinaison.

Echelle de Mohs : 9

Densité : 3,9-4,1

Al_2O_3 + Ti, Cr, Fe

Les variétés de corindon les plus connues sont le saphir et le rubis, deux des quatre pierres précieuses. Ces deux pierres sont les secondes plus dures après le diamant, propriété qui s'explique par les liaisons ioniques de l'alumine (proche de celles du diamant). En effet, les corindons se forment à partir du liquide magmatique dans des sols riches en aluminium.

Les inclusions de chrome donne un cristal rouge, appelé le rubis. Du latin « rubeus » = rouge. Dans toutes les cultures cette pierre a été considérée comme la pierre du soleil, représentant la passion, la force de vie et l'amour.

Le saphir doit ses couleurs à la présence de fer ou de titane. Saphir vient du sanscrit « sani » = saturne. Dans les civilisations d'Europe et d'Inde, il représentait le ciel, le monde des anges, la magie, la fidélité et l'amitié.

La production actuelle de ces pierres se fait dans bien des pays comme le Canada, l'Afrique du sud, l'Inde, l'Australie, la Tanzanie, les Etats Unis, Madagascar, la Thaïlande et la Russie.

Figure 42. La maille élémentaire est composé d'aluminium (Al) en bleu et d'oxygène (O) en rouge.

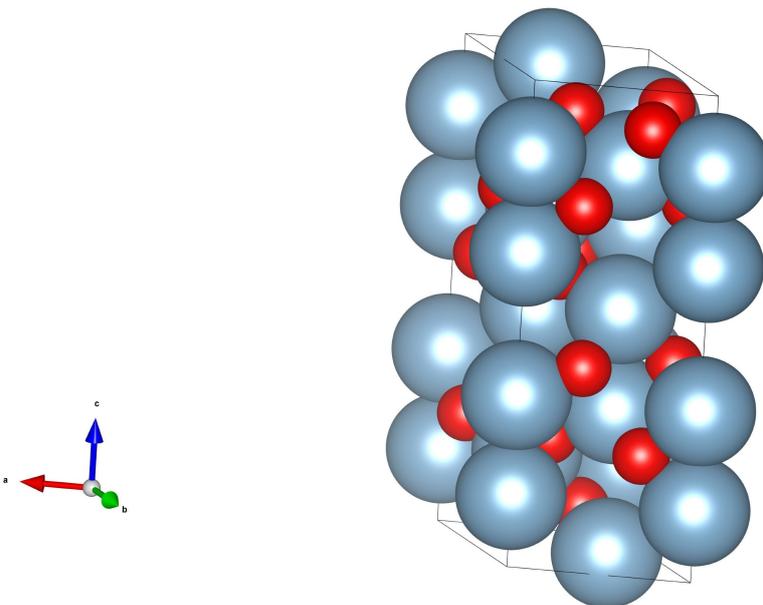


Figure 42.

La complexité de la structure du corindon ne permet pas de prime abord une adaptation en architecture (figure 43.). Seul un petit extrait serait viable (figure 44.) ou le tracé plan pouvant servir de trame constructive (figure 45.).

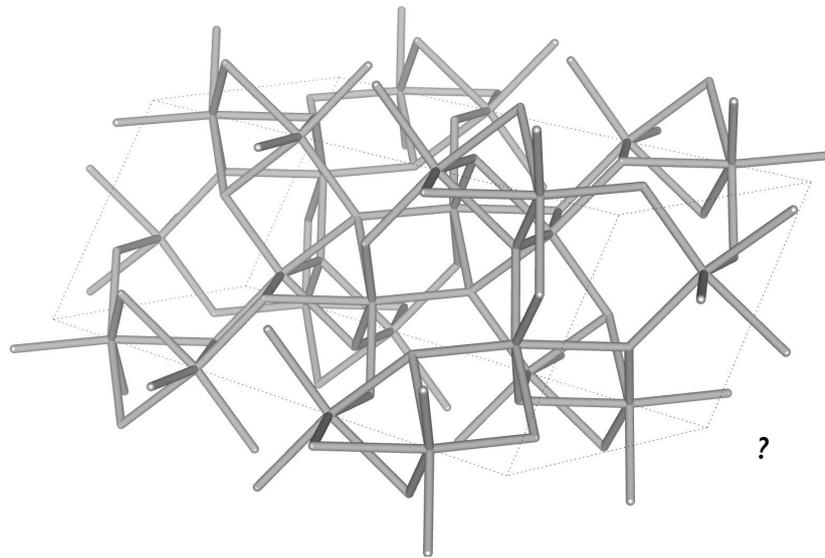


Figure 43.

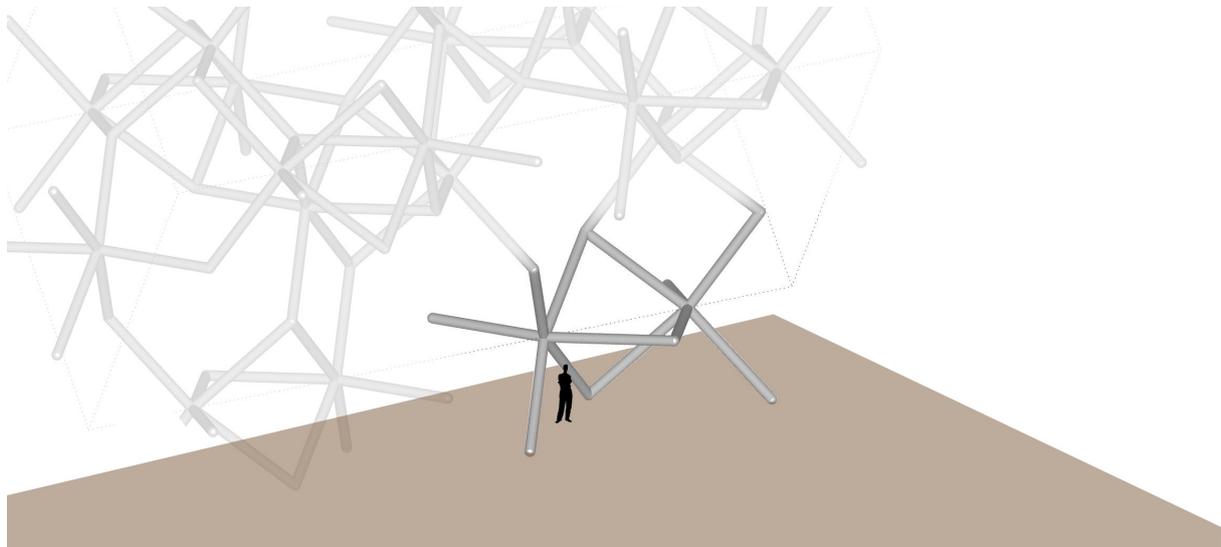


Figure 44.

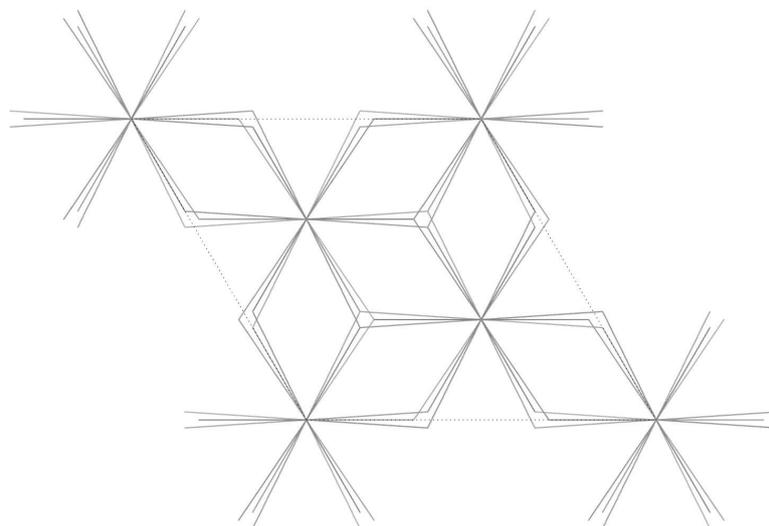


Figure 45.

Système Tétragonal

Nous choisirons le développement du zircon et du rutile.

Zircon

Formation : Magmatique.

Classe minéralogique : Nésosilicates.

Couleur : Rouge, orange, brun, jaune.

Echelle de Mohs : 6,5 à 7,5

Densité : 3,9 à 4,8

$ZrSiO_4$ + Al, Ca, Fe, P, Y, Ce, Hf, Th, U

Le zircon provient d'un magma acide et entre dans la composition des granites et des syénites. Pouvant contenir la présence de hafnium, de thorium et d'uranium, il peut être légèrement radioactif.

Dans l'antiquité, cette pierre était connue sous le nom de hyacinthe. Elle était censée guérir la folie, rendre inébranlable et aiguïser l'entendement. De nos jours, le nom de hyacinthe désigne seulement la variété de zircon brun-rouge.

Les principales sources d'exploitations se trouvent en Inde, aux États-Unis, en Australie, au Sri-Lanka ou en Afrique du Sud.

Figure 46. La maille élémentaire est composé de zirconium (Zr) en vert, de silicium (Si) en bleu et d'oxygène (O) en rouge.

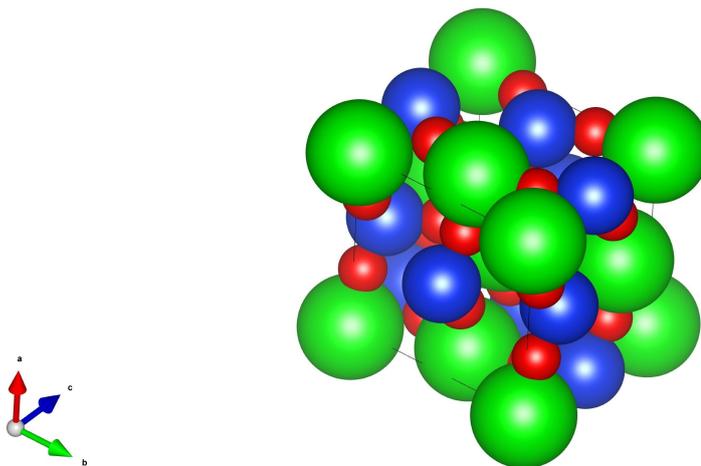


Figure 46.

Possibilités à l'échelle humaine qui demeurent similaire à nos codes de construction usuels en raison de la forme du système initial (figures 47. et 48.). Une nouvelle conception des pans orthogonaux est visible (figure 49.).

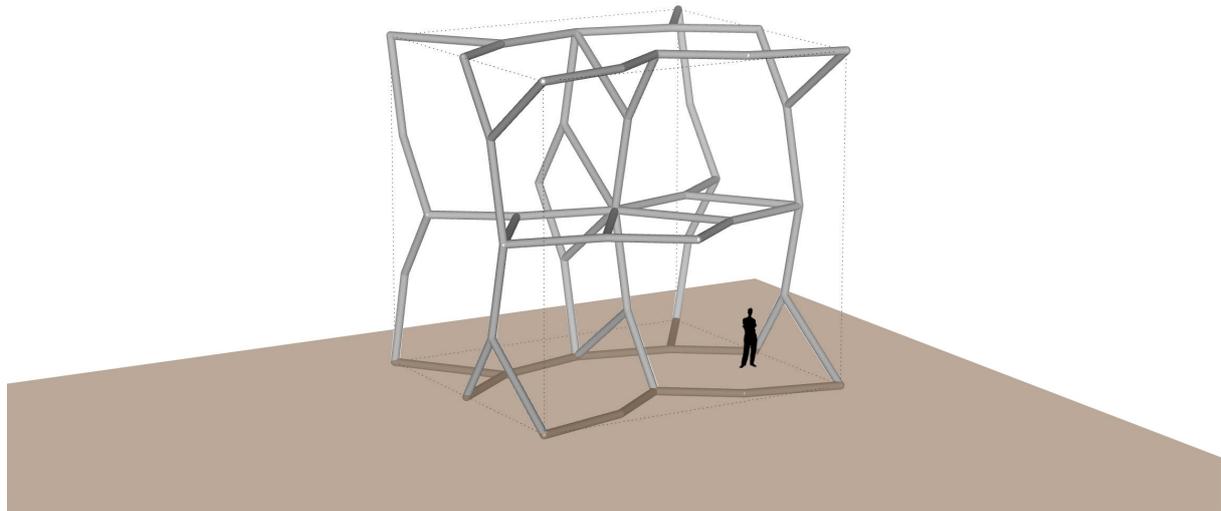


Figure 47.

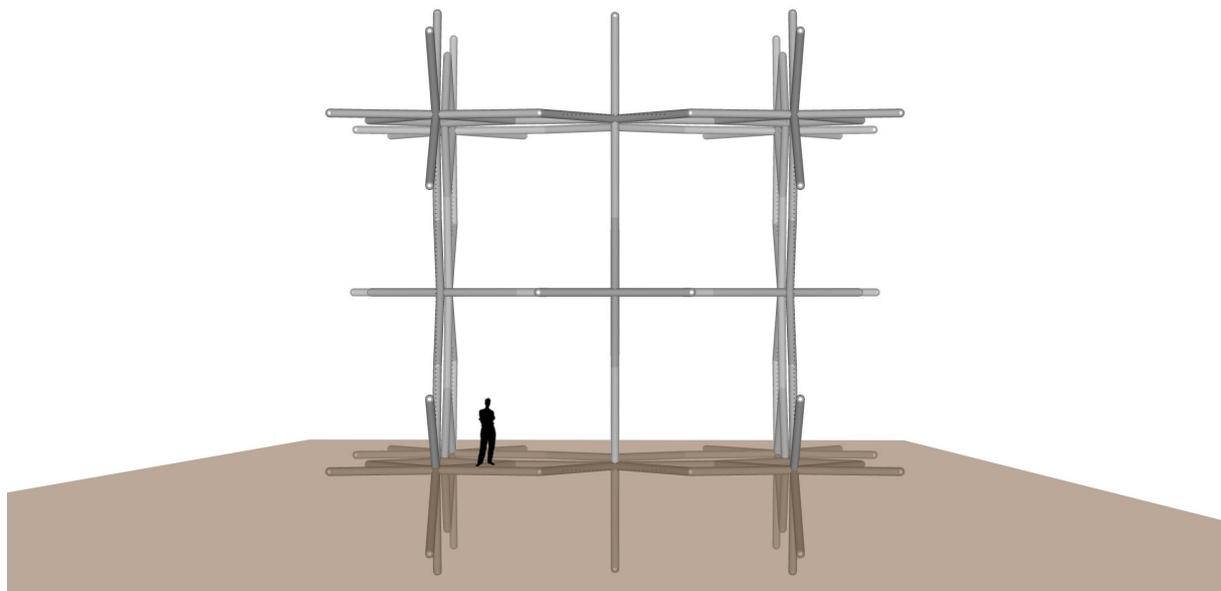


Figure 48.

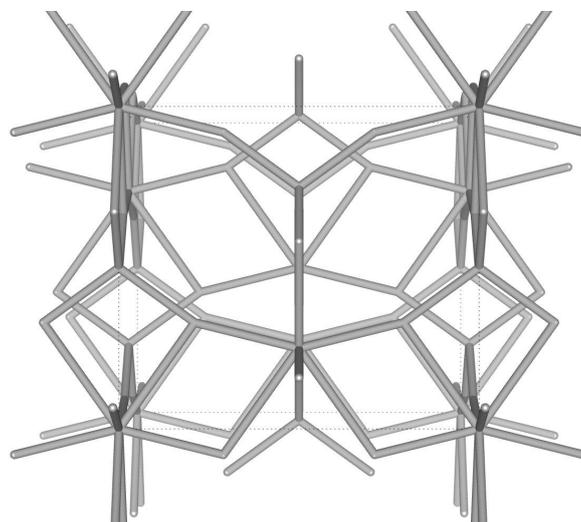


Figure 49.

Système Tétragonal

Rutile

Formation : Magmatique, métamorphique et sédimentaire.

Classe minéralogique : Oxydes.

Couleur : Noir, rouge sombre, jaune vif.

Echelle de Mohs : 6 à 6,5

Densité : 4,2 à 4,3

TiO₂ + Cr, Fe, Sn

Il se présente très souvent sous forme de macle (agrégat de multiples cristaux, pouvant être associé à un support dont la composition diffère).

Son nom vient du latin « rutilus » faisant référence à sa couleur rouge. Il est utilisé comme source secondaire de titanium.

Le Canada, la France et l'Espagne produisent du rutile naturel.

Figure 50. La maille élémentaire rutile est composé de titanium (Ti) en bleu et d'oxygène (O) en rouge.

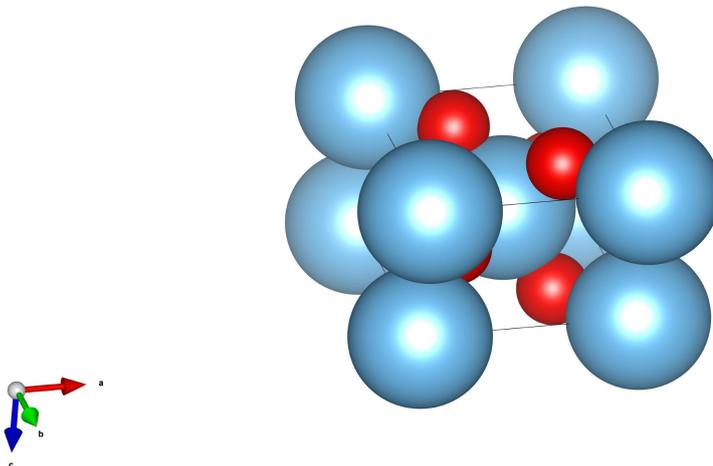


Figure 50.

Possibilités d'adaptation à l'échelle humaine (figures 51. et 52.).

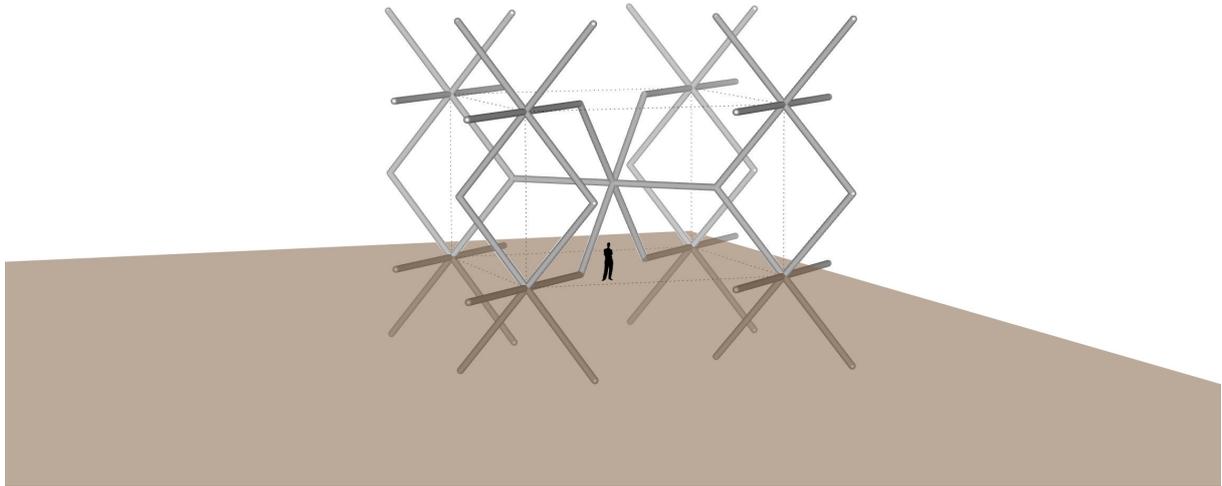


Figure 51.

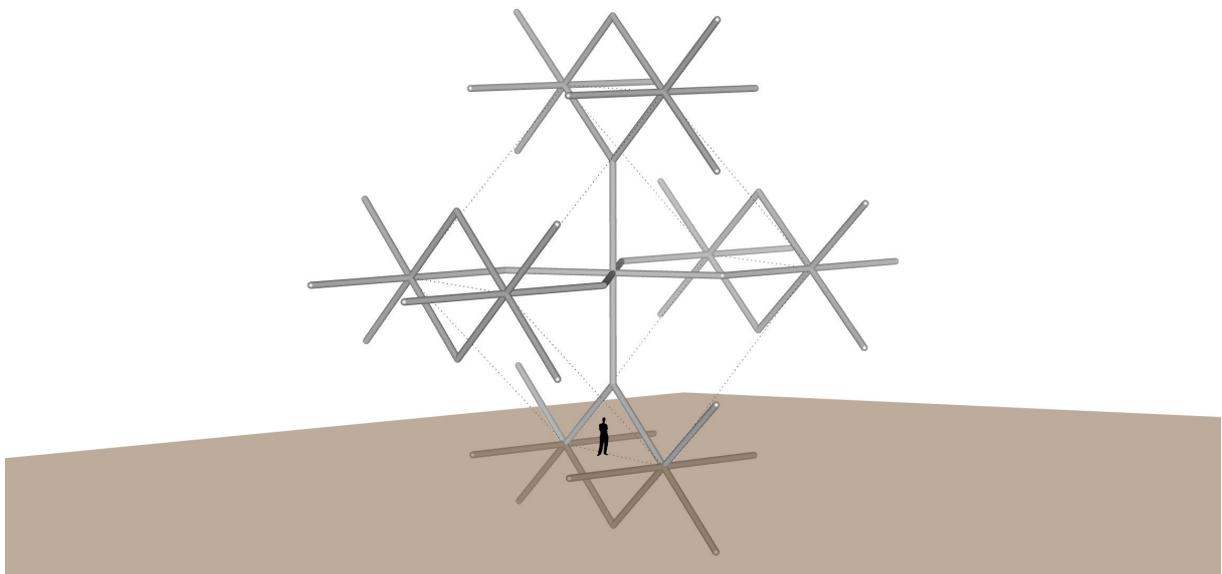


Figure 52.

Le rutile possède une trame extrêmement simple et nous permet les inspirations géométriques suivantes (figures 53. et 54.).

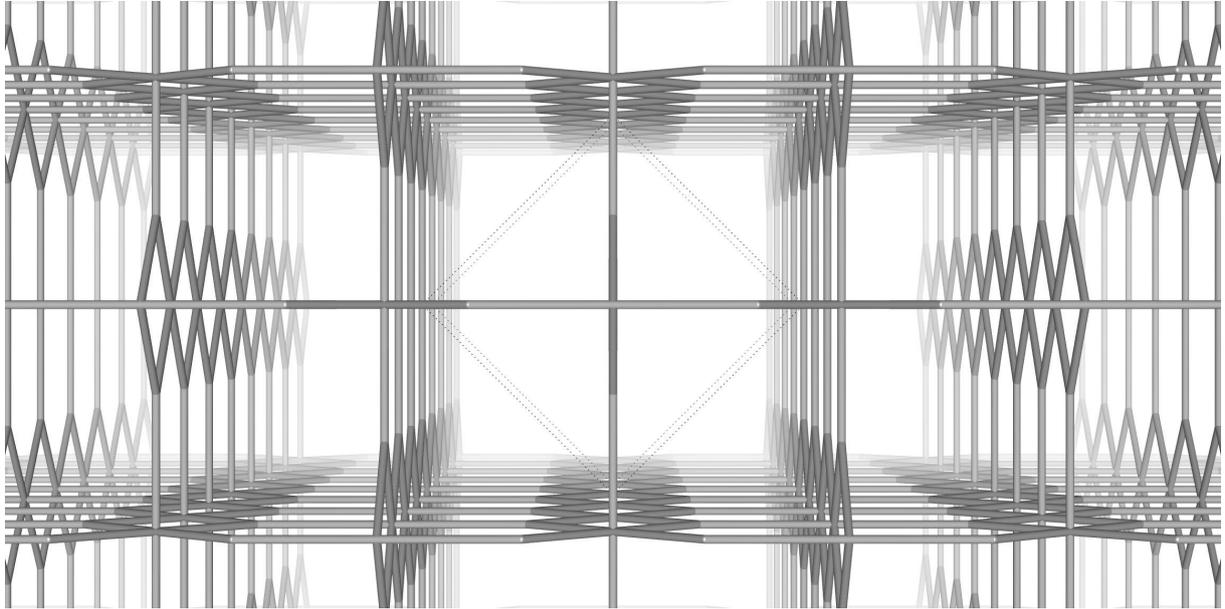


Figure 53.

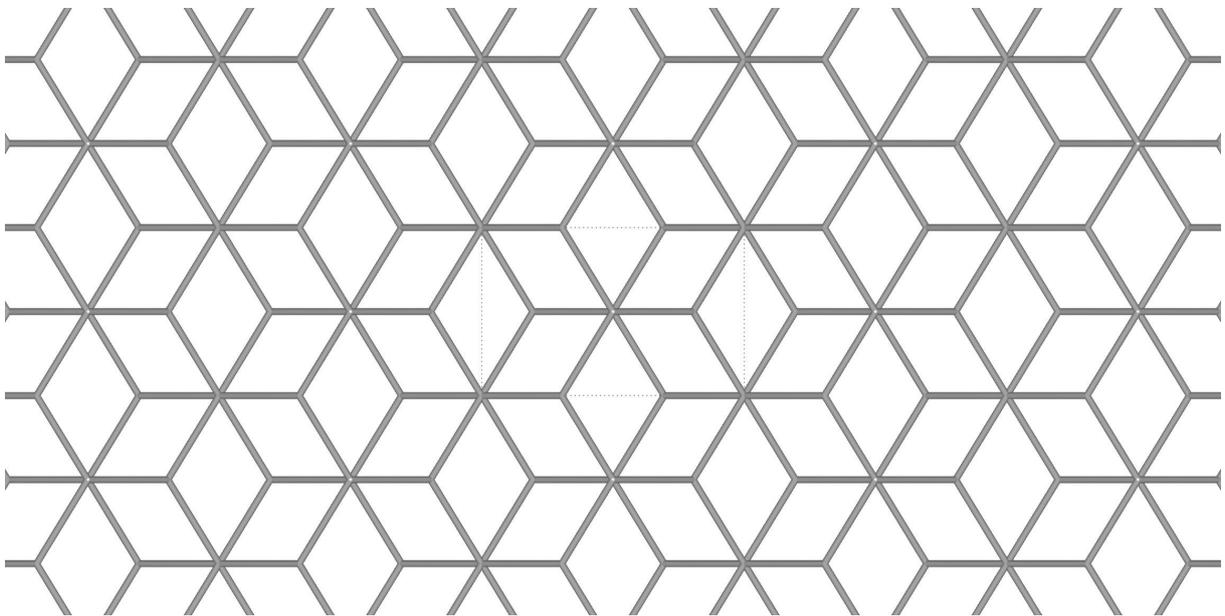


Figure 54.

Système Orthorombique

Nous choisirons le développement de la topaze et de la césusite.

Topaze

Formation : Magmatique.

Classe minéralogique : Nésosilicates.

Couleur : Clair, bleu ciel, brunâtre.

Echelle de Mohs : 8

Densité : 3,49 à 3,57

$\text{Al}_2\text{SiO}_4 + \text{O}, \text{H} + (\text{Cr}, \text{Fe}, \text{Mn})$

La topaze est issue d'un processus magmatique dit de pneumatolytique. Le chrome la colore en jaune, le fer en bleu et la teinte brunâtre est due au manganèse.

Dans les anciennes civilisations d'Europe et d'Inde, elle était la pierre de Jupiter. Elle servait alors à contrôler sa vie, à la réalisation de soi et symbolisait la sagesse.

Les gisements les plus importants se situent au Brésil, aux Etats Unis, en France et au Pakistan.

Figure 55. La maille élémentaire est composée d'aluminium (Al) en bleu clair, de silicium (Si) en bleu foncé, d'oxygène (O) en rouge et de trace de fer (Fe) en noir.

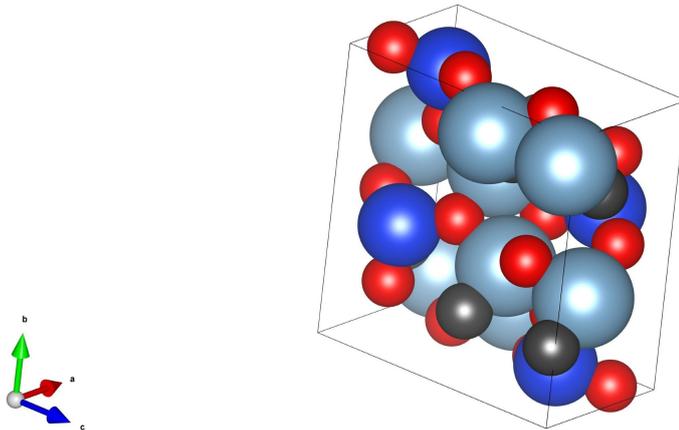


Figure 55.

La complexité de la structure ne nous permet pas d'établir des possibilités d'adaptation directes en architecture, mais elle met en évidence une imbrication de volumes prismatique intéressants pour un maillage esthétique. (figures 56. et 57.).

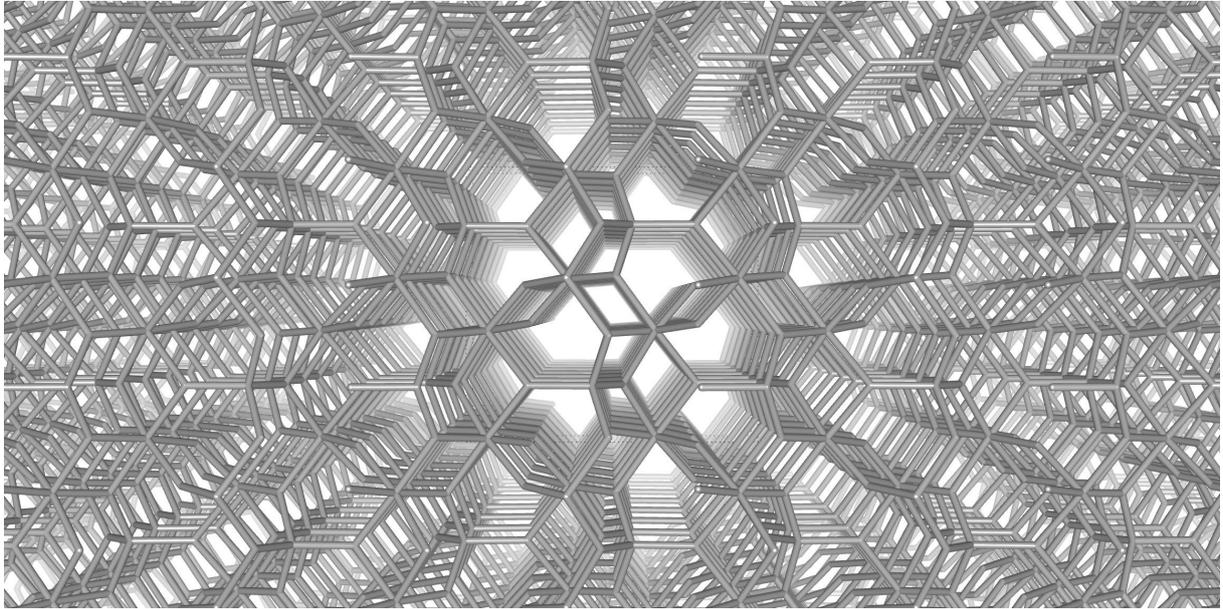


Figure 56.

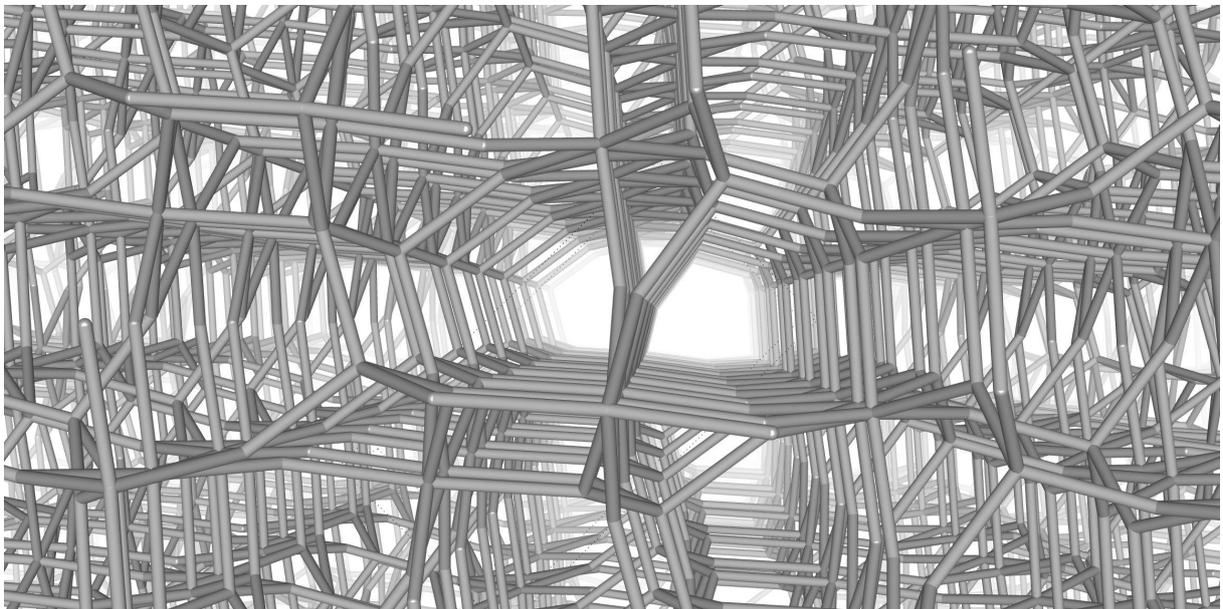


Figure 57.

Système Orthorombique

Cérusite

Formation : Sédimentation.

Classe minéralogique : Carbonates et nitrates.

Couleur : Incolore, blanche, grise, bleue ou verte.

Echelle de Mohs : 3 à 3,5

Densité : 6,58

$\text{PbCO}_3 + \text{Sr, Zn, Cu}$

Cette pierre est commune dans les parties supérieures des gisements de galène.

La cérusite est nommée et décrite par Wilhelm Karl Ritter von Haidinger en 1845. Du latin « cerussa » = blanc de plomb, nom donné par Pline l'Ancien au carbonate de plomb synthétique.

Les gisements les plus importants se situent en Allemagne, en Belgique, au Canada, en France, au Maroc et en Namibie.

Figure 58. La maille élémentaire est composée de plomb (Pb) en noir, de carbone (C) en marron sombre et d'oxygène (O) en rouge.

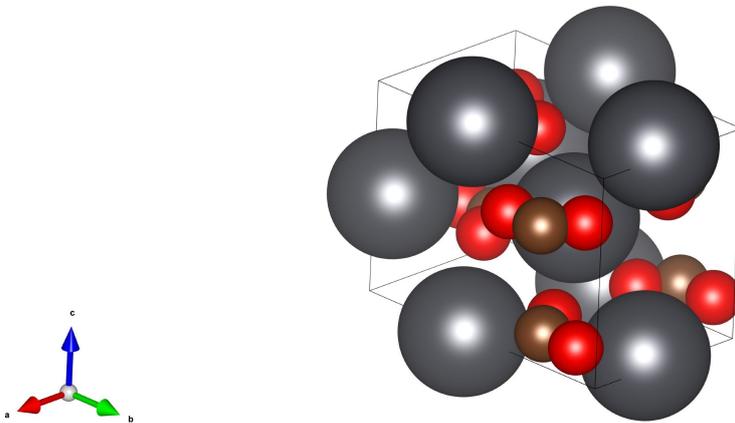


Figure 58.

Bien que cette structure présente une imbrication de « niches » obliques, quelques possibilités nous sont possibles (figures 59. et 60.).

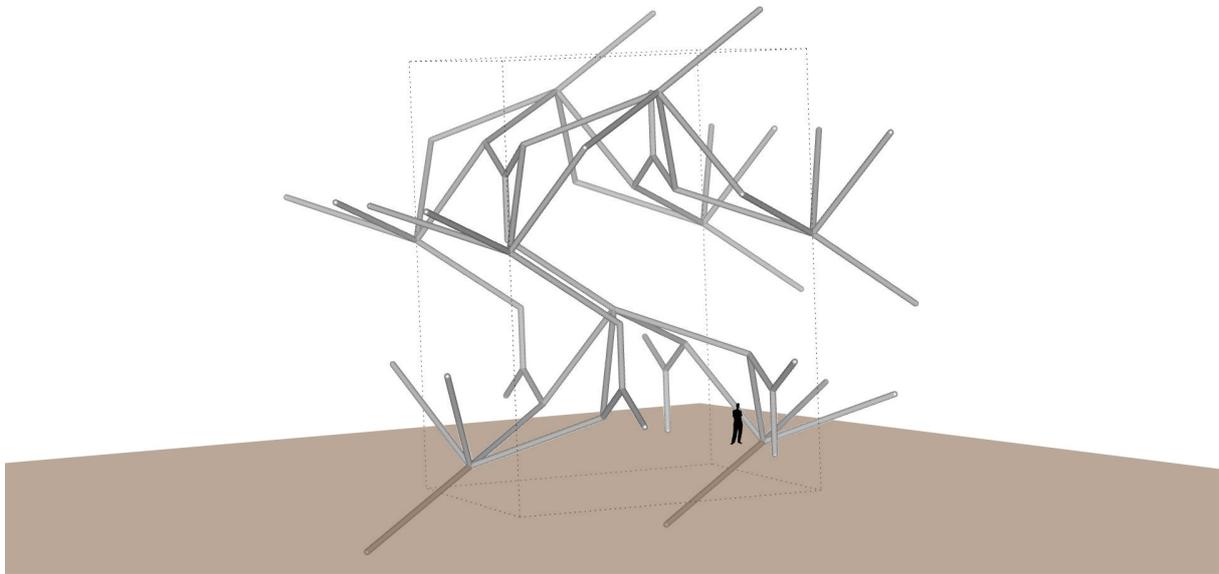


Figure 59.

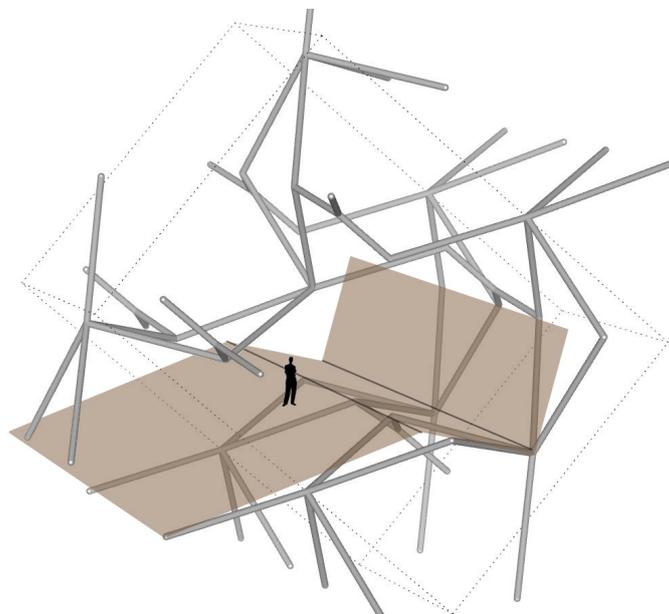


Figure 60.

La rigueur de la maille nous offre aussi de remarquables réseaux graphiques (figures 61. 62.).

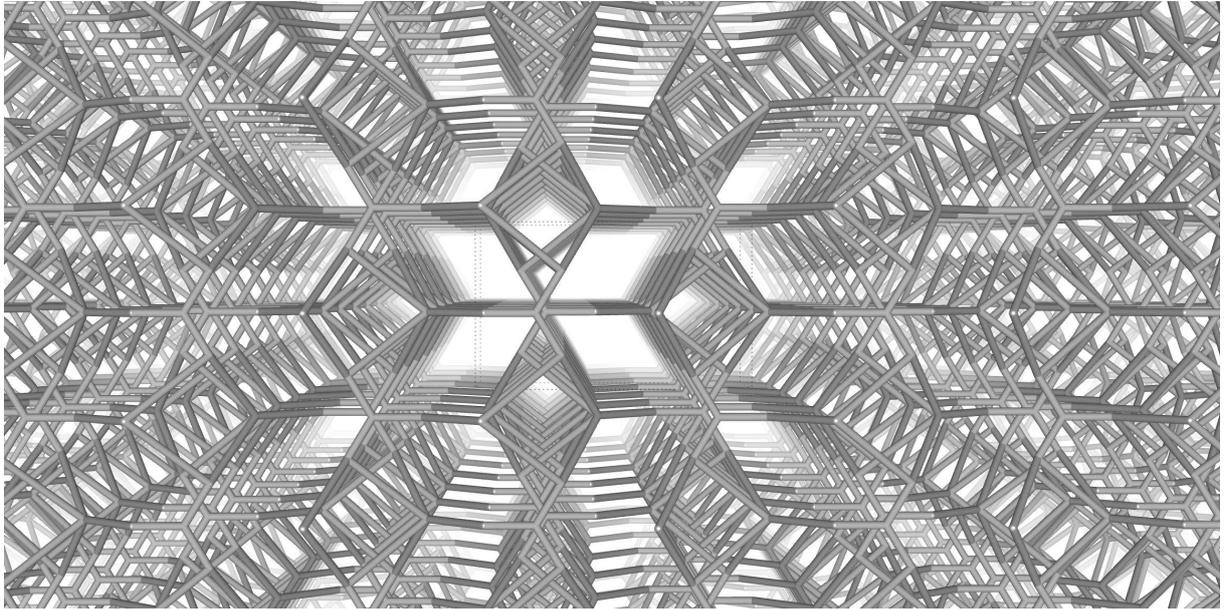


Figure 61.

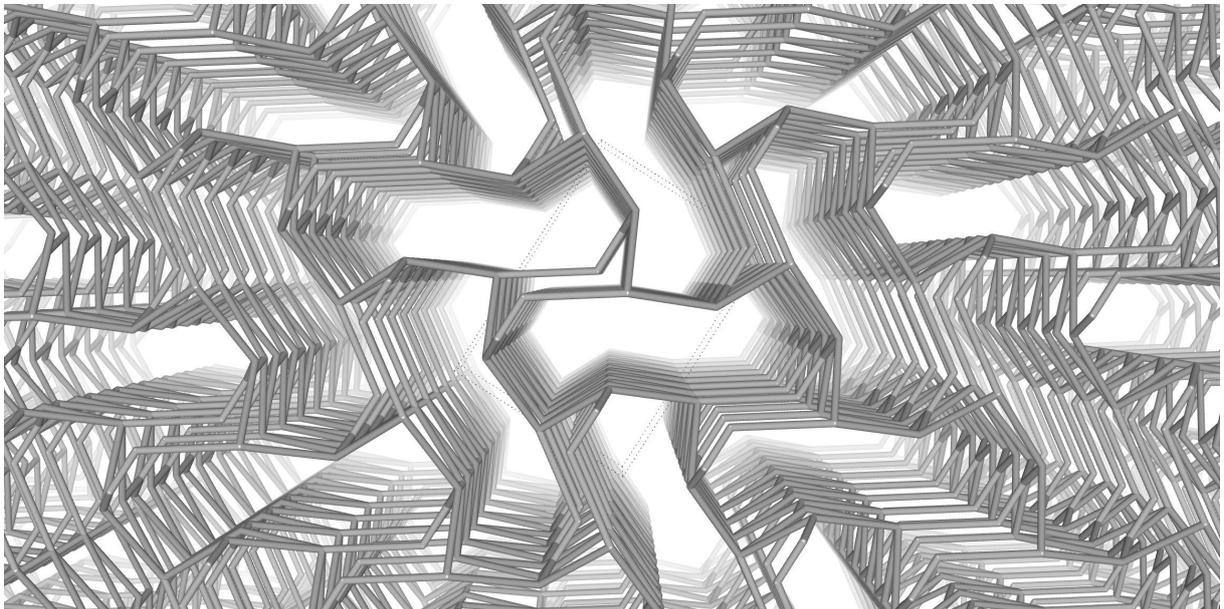


Figure 62.

Système Monoclinique

Nous choisirons le développement de la jadéite et de l'euclase.

Jadéite

Formation : Métamorphique.

Classe minéralogique : Inosilicates.

Couleur : Blanchâtre, vert, lilas, violet.

Echelle de Mohs : 6,5 à 7

Densité : 3,24 à 3,43

$\text{AlNaO}_6\text{Si}_2 + \text{Ca, Fe, Mg, Mn}$

La jadéite est une variété de jade tout comme la néphrite. Ces deux minéraux, d'apparence très proche, sont souvent appelés jade. La jadéite, en revanche, est très rare et se forme par métamorphose des roches simples. Les inclusions de manganèse forment le jade « lavande », encore plus rare.

Depuis des millénaires, le jade est un porte bonheur en Extrême-Orient. Les amulettes de jade pour soigner les reins se faisaient en Amérique et en Inde. Les Mayas utilisaient la jadéite au Guatemala.

On trouve la néphrite en Chine, en Russie, en Nouvelle-Zélande et au Canada. En plus d'être exploité au Guatemala, la jadéite se trouve dans les Alpes Italiennes, près du mont Viso.

Figure 63. La maille élémentaire est composée d'aluminium (Al) en bleu clair, de silicium (Si) en bleu foncé, d'azote (Na) en jaune et d'oxygène (O) en rouge.

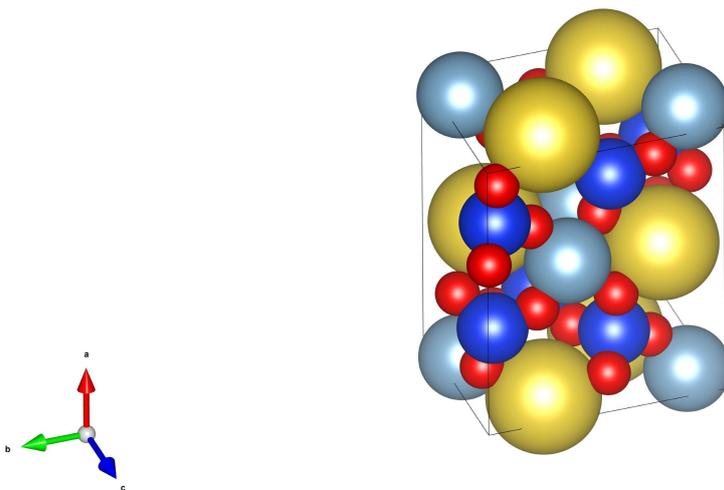


Figure 63.

Seuls ces agencements peuvent être imaginés adaptable pour l'homme, avec une grande part de modifications cependant. (figures 64. et 65.)

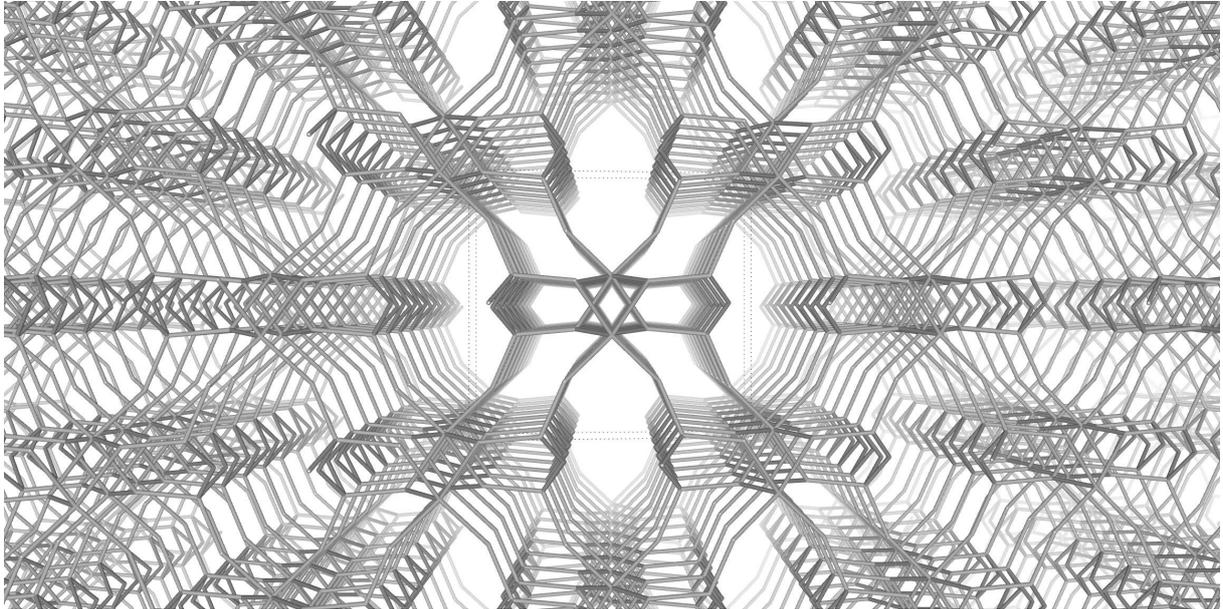


Figure 64.

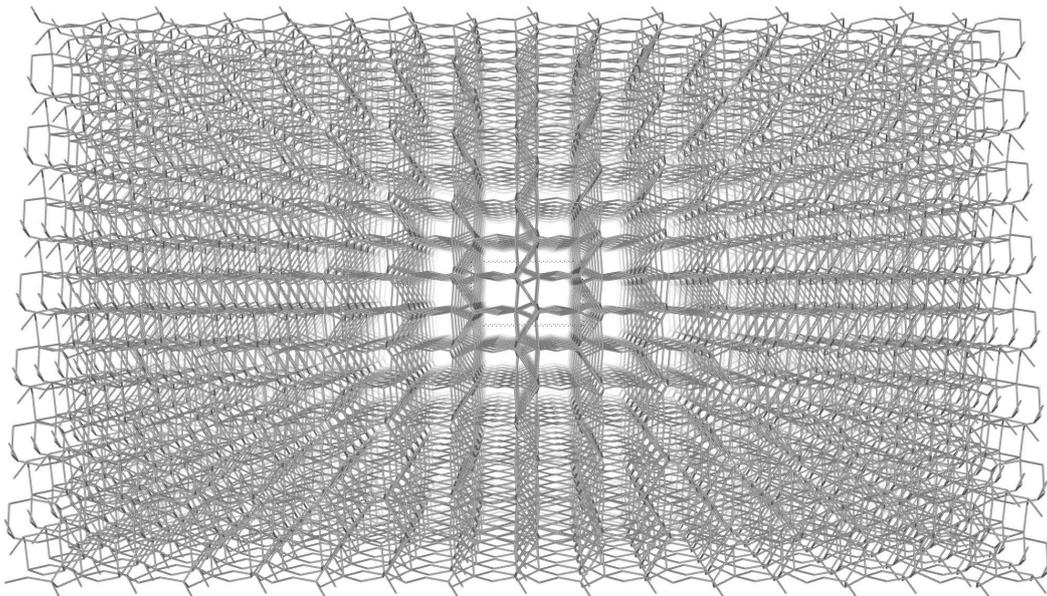


Figure 65.

Système Monoclinique

Euclase

Formation : Métamorphique.

Classe minéralogique : Phyllosilicates.

Couleur : Incolore, blanc, vert pâle à vert foncé, bleu verdâtre jaunâtre, bleu pâle au bleu foncé.

Echelle de Mohs : 7,5.

Densité : 2,99 à 3,1.

BeAlSiO₄

L'euclase appartient à la famille des béryl. Son nom vient de René Just Haüy qui le lui attribuât en raison de sa facilité et son résultat de clivage. Le port de cette pierre en bijoux est alors peu courant an raison de cette fragilité.

Il peut être facilement confondu avec la topaze et le béryl, mais se distingue alors par sa densité et sa dureté.

Le gisement de référence se trouve dans la région sud-est du Brésil. Les autres si situent en Allemagne, en Autriche, en Belgique, au Brésil, en Colombie, aux Etats-Unis Amérique, en Finlande, au Mozambique, en Norvège, au Royaume-Uni, en Russie, au Sri-Lanka, en Suède, en Suisse, en Ukraine et au Zimbabwe.

Figure 66. La maille élémentaire est composée béryllium (Be) en vert, d'aluminium (Al) en bleu clair, de silicium (Si) en bleu foncé et d'oxygène (O) en rouge.

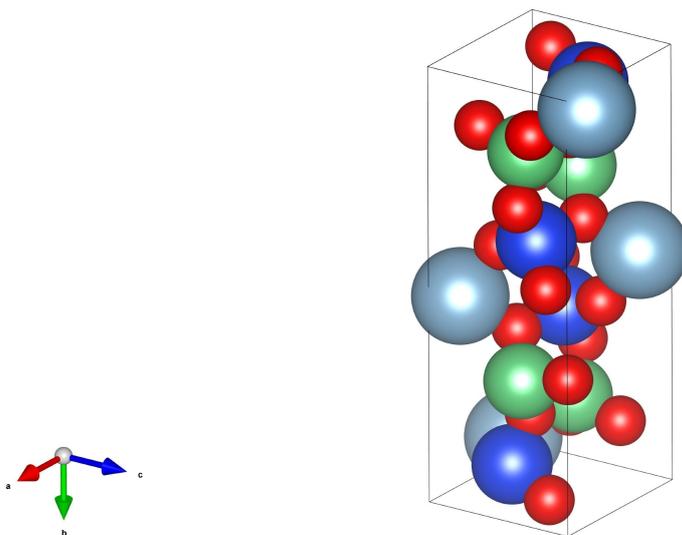


Figure 66.

Une maigre possibilité à l'échelle humaine apparaît (figure 67.). A l'instar d'autres, des volumes prismatiques s'agencent de manière toutes fois intéressantes (figures 68. et 69.).

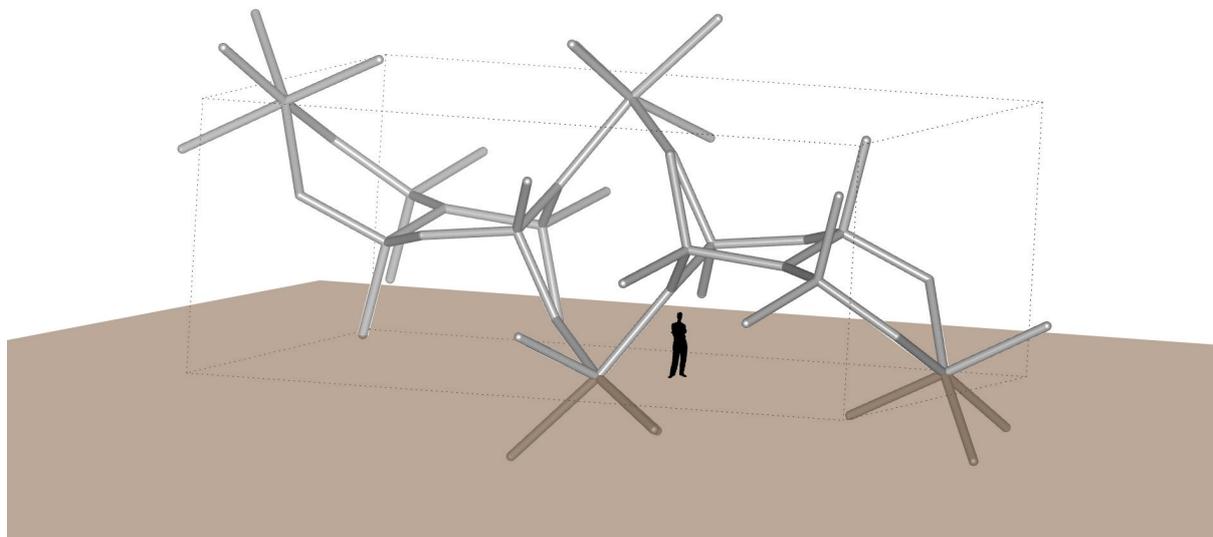


Figure 67.

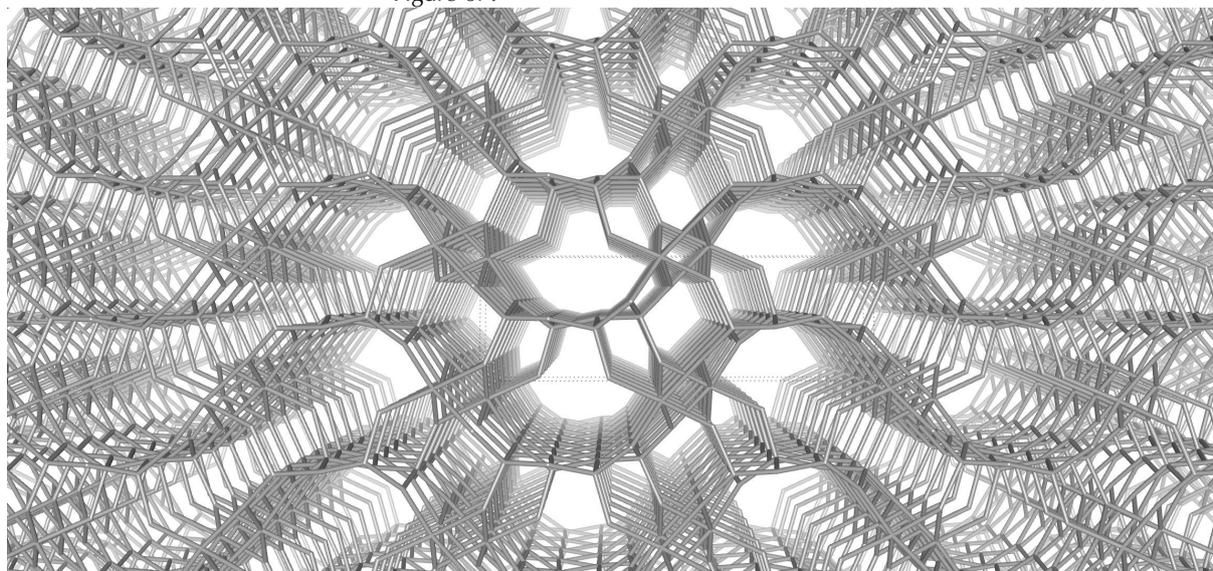


Figure 68.

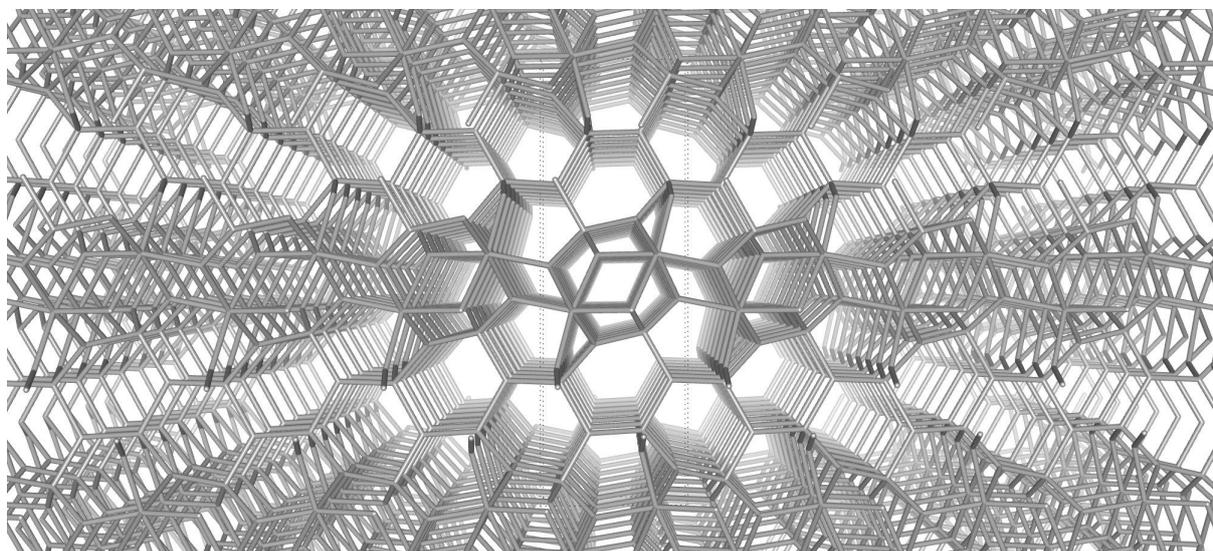


Figure 69.

Systeme Triclinique

Nous choisirons le développement de la turquoise et de la cyanite.

Turquoise

Formation : Sédimentaire.

Classe minéralogique : Phosphates, arséniates et vanadates.

Couleur : Bleu, bleu vert, vert, vert gris, bleu pâle.

Echelle de Mohs : 5 à 6

Densité : 2.6 à 2.9

$H_{16}Al_6CuO_{28}P_4 + Fe$

Son nom signifie « pierre turque » en raison de sa provenance lors des croisades occidentales. Son nom a déterminé une teinte de bleu.

L'exploitation de la turquoise est très ancienne, on en trouve encore au Mexique et aux Etats-Unis. C'est en France que se trouve le seul gisement d'Europe, dans la Creuse.

Figure 70. La maille élémentaire ci contre est composée d'hydrogène (H) représenté par les petites sphères roses, d'aluminium (Al) en bleu clair, de cuivre (Cu) en bleu foncé, de phosphore (P) par les grandes sphères roses foncées et d'oxygène (O) en rouge.

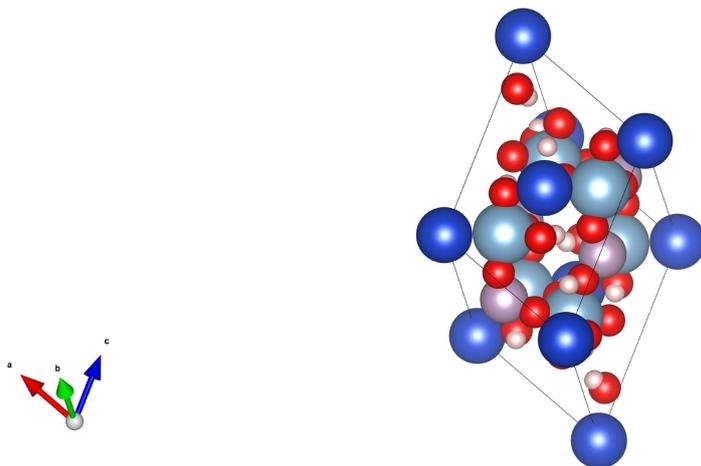


Figure 70.

Le positionnement d'une échelle humaine paraît délicat au sein de cette maille (figure 71.)
mais un certain angle de vue permet d'établir une idée de pavage (figure 72.).

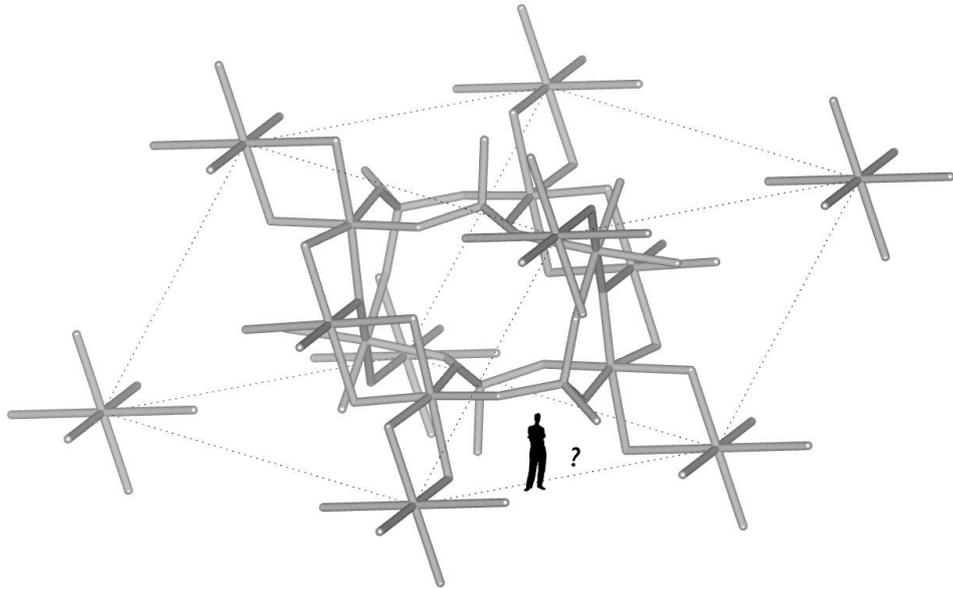


Figure 71.

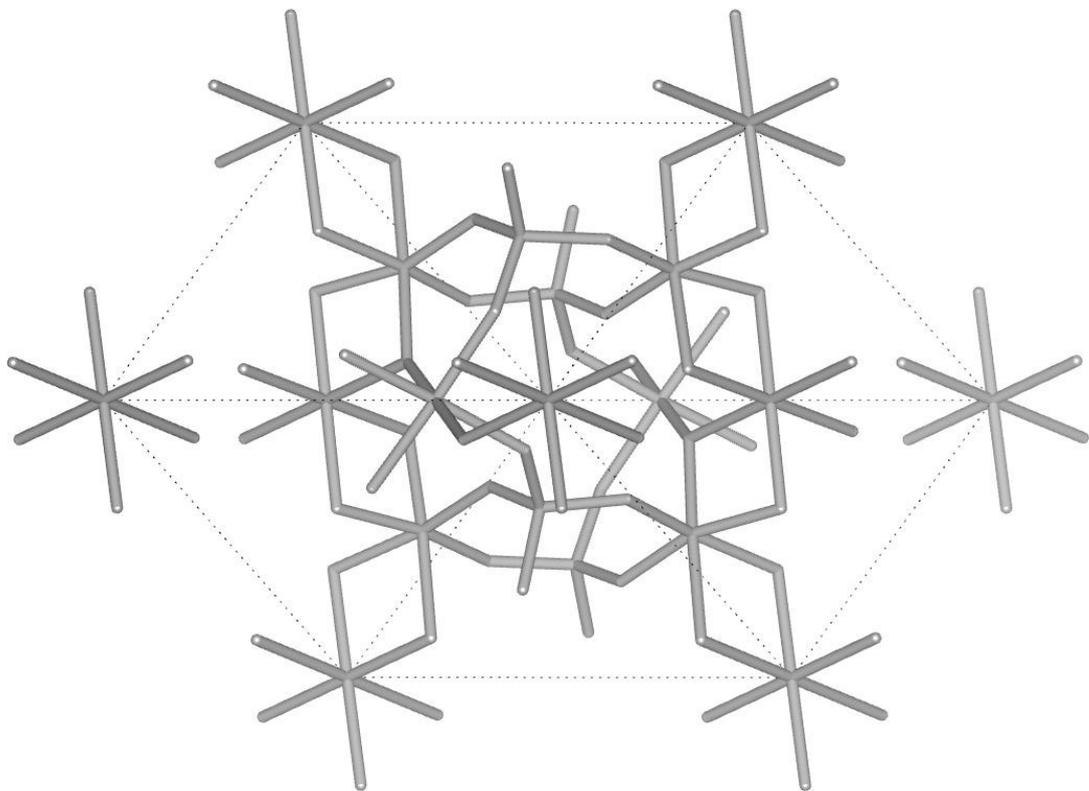


Figure 72.

Système Triclinique

Cyanite

Formation : Métamorphique.

Classe minéralogique : Nésosilicates.

Couleur : Bleu, gris bleu.

Echelle de Mohs : 7,5 et 4,5 selon les faces de la pierre.

Densité : 3,53 à 3,65

$\text{Al}_2[\text{O}/\text{SiO}_4] + \text{C}, \text{Ca}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{K}, \text{Mg}, \text{Ti}$

Pouvant aussi être appelé disthène, la cyanite vient de schistes métamorphique.

De manière générale, le nom grec « kyanos » nommait les pierres bleues (azurite, lapis-lazuli) et a donné « cyanite ». L'appellation disthène date du 18e siècle et les deux noms s'emploient de nos jours.

Les principaux gisements recensés à nos jours se trouvent au Brésil, au Canada, aux Etats-Unis, en France, en Italie et au Népal.

Figure 73. La maille est composée d'aluminium (Al) en bleu clair, de silicium (Si) en bleu foncé et d'oxygène (O) en rouge.

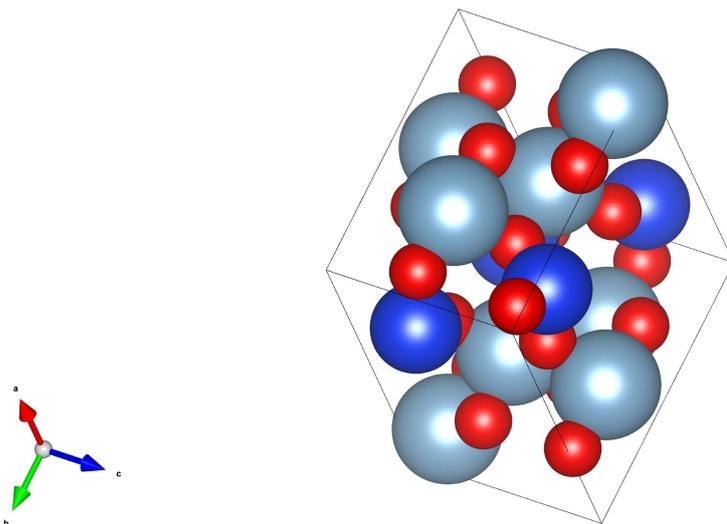


Figure 73.

A l'instar de la structure précédente, les possibilités architecturales semblent peu faisables (figures 74. et 75.). Une étonnante structure serrée se rapproche d'un système cubique commun (figure 76.).

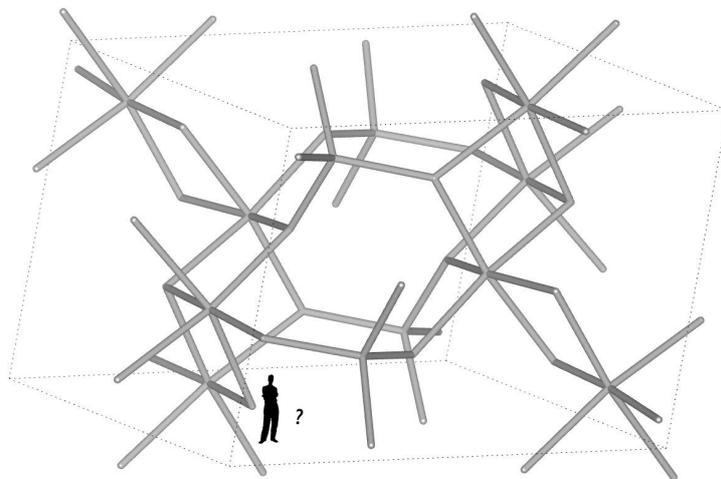


Figure 74.

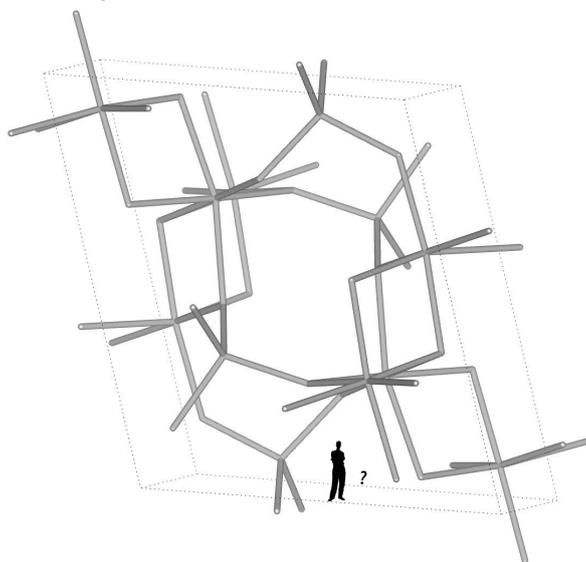


Figure 75.

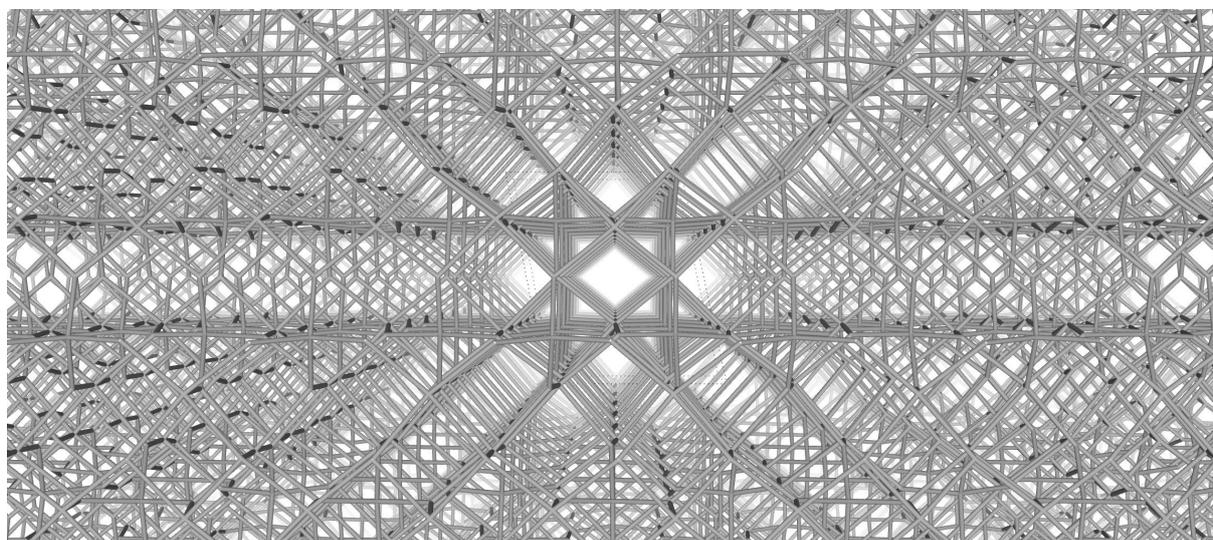


Figure 76.

Si les systèmes cristallins présentent de si grandes particularités géométriques, cela n'est pas dû au nom ou même aux personnes qui les ont découverts. Tout est défini par la nature, par des modèles géométriques. Nous, humains, ne faisons que mettre en avant ces propriétés en les classant, les nommant et les étudiant. Il existe des formes volumétriques en lien avec des figures planes qui possèdent des singularités. Ces volumes peuvent être directement assimilés aux systèmes cristallins en raison de leurs similarités géométriques.

Rappelez-vous lors de l'exposé des systèmes cristallins, des figures géométriques permettant, avec leurs seules répétitions, de remplir une surface de façon la plus optimale (sans laisser de « vide » résiduel). Dans l'espace à trois dimensions, nous pouvons faire de même. Un pavage tridimensionnel est possible tout en ayant les mêmes caractéristiques que le pavage en plan. Un pavage sans interstices créé par une répétition de volumes tous identiques peut être établi avec des formes particulières. Il existe donc des figures récurrentes en deux et trois dimensions. Le nombre de propriétés particulières pour les volumes permettant un tel emboîtement est plus grand que pour les figures planes. C'est pourquoi leur nombre est moindre, mais notre intérêt pour ces derniers n'en est que plus grand.

Ces formes particulières se retrouvent facilement dans les systèmes cristallins, moins dans les images des structures atomiques. Certaines dictent pleinement la forme d'un système, d'autres en sont une partie, une symétrie ou un extrait, mais toujours en relation. Cinq formes appelées « les solides de Platon¹³ » présentent des formes géométriques en lien avec les systèmes cristallins. En effet, ces cinq solides sont construits avec les mêmes formes que les cristaux. Ils sont appelés tétraèdre, cube, octaèdre, dodécaèdre et icosaèdre. La compréhension plus complète viendra ci-après, mais nous pouvons d'ores et déjà associer le cube au système cubique en raison de l'évidente similitude des formes.

- Solides de Platon

Comme nous l'avons dit ci-dessus, ils sont au nombre de cinq. Nous allons voir pourquoi ils ne sont que cinq et quelles sont leurs singularités.

C'est à partir d'une sphère que viennent tous les volumes. Les plus simples, y compris ceux dont nous parlons, viennent de cette sphère. Elle est le parfait symbole du « un », elle est aussi un volume géométrique unique en son genre. C'est en déterminant des points précis sur la sphère que naissent, entre autres, les volumes de Platon. Mais c'est seulement à partir de quatre points différents qu'émerge la volumétrie en trois dimensions. Les solides platoniciens peuvent être décrits comme « parfaits » tant leur aspect singulier est prononcé. Les différentes caractéristiques permettant de définir précisément un tel volume sont les suivantes : ils ont tous le même aspect à partir de tous les sommets. Leurs faces sont des formes régulières identiques et les arêtes qu'elles créent le sont également. Leurs sommets sont des points d'une même sphère. Le centre de chacune des

¹³ Cette appellation est associée au philosophe Platon (427-347 av. J.-C.). Il est le premier à les avoir tous décrits entièrement le premier, puis à philosopher dessus dans le *Timée*.

faces est aussi un point d'une unique sphère. Cela revient à mentionner deux sphères, l'une comprenant le volume est appelée la sphère circonscrite tandis que celle comprise dans le volume est appelée sphère inscrite. Il existe une troisième sphère, dite sphère médiane, qui passe par chacun des centres des arêtes du volume.

C'est suite à l'étude de ces volumes particuliers et de toutes sortes de développement qu'ont émergé les structures dites « réticulées ». Architectes, ingénieurs ou autodidactes ont commencé de profondes recherches basées sur ces formes géométriques au 20^e siècle. À la fois simples et complexes, ces volumes ont des propriétés mathématiques plus qu'intéressantes dans le domaine de la construction. En dehors d'un éventuel apport non négligeable de techniques, c'est aussi un nouveau mode de penser les espaces qui peut être renouvelé.

L'américain Buckminster Fuller (1895-1983) architecte, ingénieur, designer a consacré sa vie à des recherches des plus futuristes pour son époque. De la maison industrialisée et optimisée en termes d'équipements écologiques jusqu'aux structures autotendantes, dont le système est nommé tenségrité¹⁴, il s'est beaucoup attardé sur les structures réticulées et les dômes géodésiques. Le français Robert le Ricolais (1884-1977) était ingénieur et a réalisé la majorité de ses recherches en Amérique du Nord faute de reconnaissance française. Il aussi beaucoup travaillé sur les structures réticulées. Le hongrois David George Emmerich (1925-1996) a, quant à lui, principalement travaillé sur les structures avec le concept appelé tenségrité.

Exposons ici en détail les volumes platoniciens, puis les volumes importants qui en découlent. Certains principes de géométrie volumétrique sont importants à mettre en avant pour la compréhension des structures réticulées.

Tétraèdre

Soit 4 faces, 6 arêtes et 4 sommets.

Il est composé de quatre triangles équilatéraux. Ses sommets peuvent aussi être perçus comme le centre de quatre sphères de diamètre identique se touchant. Il est un type de pyramide particulier, en raison de sa composition de triangles identiques. Pour ce volume, un tiers du diamètre de la sphère circonscrite est égal au rayon de la sphère inscrite.

Concernant les axes de symétrie, le tétraèdre comprend trois axes doubles au milieu des arêtes et quatre axes triples allant d'un sommet au centre de la face opposée.

Les systèmes cristallins hexagonal, orthorhombique et rhomboédrique peuvent être mis en relation avec le tétraèdre.

Octaèdre

Soit 8 faces, 12 arêtes et 6 sommets.

¹⁴ Tenségrité provient de la combinaison des termes anglais *tensile integrity*. Il désigne la faculté d'une structure à se stabiliser par la composition d'éléments discontinus compressés dans les éléments continus tendus.

Il est composé de huit triangles équilatéraux. Chacun des sommets est composé de l'union de quatre de ces triangles et peut être associé au centre de sphères de taille identique se touchant. Tout comme pour le cube et le tétraèdre, le rayon de la sphère circonscrite de l'octaèdre est racine de 3 plus grand que le rayon de la sphère inscrite.

Six axes doubles traversant ses arêtes opposés, quatre axes triples au centre des faces et trois axes quadruples joignant les sommets opposés sont les axes de symétries du volume.

Les systèmes cristallins cubique, hexagonal, rhomboédrique, orthorhombique et monoclinique peuvent être mis en relation avec l'octaèdre.

Cube

Soit 6 faces, 12 arêtes et 8 sommets.

Le cube, composé de carrés, est un volume très singulier. Il comporte plusieurs caractéristiques le mettant en avant. Dans un cube, nous pouvons retrouver des symétries octogonales, mais aussi les six directions usuelles. Il est composé du nombre 6 et du 28 (chacune des lignes joignant chacun des sommets aux autres) qui sont deux nombres parfaits. Il est une forme récurrente tant dans les écrits mythiques que dans les édifices religieux.

Les systèmes cristallins cubique, tétragonal et monoclinique peuvent être mis en relation avec le cube.

Dodécaèdre

Soit 12 faces, 30 arêtes et 20 sommets.

Les douze faces dodécaèdres sont des pentagones réguliers, dont trois se rencontrent à chaque sommet. Quatre plans peuvent être reconstitués avec l'alignement des sommets du volume. Cette manipulation scinde le dodécaèdre en trois parties, dont chacune correspond au tiers du volume complet. Dans la même sphère circonscrite, la surface totale de l'icosaèdre est égale à celle du dodécaèdre.

Le pentagone est une forme qui possède un grand lien avec le nombre d'or. Nous le détaillerons ci-après.

Les systèmes cristallins cubique, tétragonal et triclinique peuvent être mis en relation avec le dodécaèdre.

Icosaèdre

Soit 20 faces, 30 arêtes et 12 sommets.

Il est composé de vingt triangles équilatéraux, cinq à chaque sommet. Il est le solide platonicien qui possède les plus grands angles dièdres (angles formés par deux faces adjacentes formant une arête). Si l'on dispose douze sphères de taille identique autour de chacun des sommets de manière qu'ils deviennent le centre de chaque sphère, l'espace au centre du volume peut ac-

cueillir une sphère ayant un diamètre un dixième plus petit que les autres. En rejoignant les extrémités d'une arête jusqu'au centre de l'icosaèdre, nous obtenons un triangle isocèle ayant les mêmes proportions que les faces de la Grande Pyramide de Gizeh.

La symétrie icosaédrique est composée de quinze axes doubles, dix axes triples et six axes quintuples.

Les systèmes cristallins hexagonal, rhomboédrique, tétragonal, orthorhombique et triclinique peuvent être mis en relation avec l'icosaèdre.

Il existe une démonstration mathématique permettant d'expliquer la raison du nombre précis de ces volumes. Nous ne la détaillerons pas ici, mais elle peut être résumée de la façon suivante. Soit 'F' le nombre de faces, 'S' le nombre de sommets et 'A' le nombre d'arêtes du polyèdre 'P'. Nommée la formule d'Euler, $F + S - A = 2$, permet de déterminer les polyèdres convexes réguliers. C'est avec cette formule que le résultat de cinq volumes peut être trouvé.

Avant que cette démonstration mathématique soit écrite en 1752 bien même avant les pythagoriciens de la Grèce antique, ces volumes particuliers avaient été découverts sur les îles Britanniques vers 2000 ans av. J.-C. et les premières images gravées connues remontent à 4000 ans av. J.-C. sur les pierres de l'Alberdeenshire en Écosse.

Par ailleurs, chaque polyèdre peut contenir tous les autres. Les formes « s'emboîtent » en reliant les centres de faces entre elles, les centres des arêtes ou certains centres de segments. Certains volumes peuvent même être reconstitués à partir d'une série d'opérations de symétrie partant du tétraèdre.

Une seconde série de volumes dits « semi-réguliers » possède des propriétés assez proches des platoniciens. Nommés solides d'Archimède, ces treize polyèdres sont découverts dans l'antiquité mais ne sont entièrement décrits par J. Kepler qu'au 16^e siècle. Volumes convexes, ils s'inscrivent toujours dans une sphère et possèdent les mêmes types de symétrie que les solides de Platon; octaédrique, icosaédrique ou tétraédrique. Ces volumes possèdent donc des faces régulières de types différents (deux ou trois) ainsi que des sommets identiques (les mêmes types de faces dans les mêmes proportions se rencontrent à chaque sommet). Le nom de chacun des volumes est en rapport avec son « origine », avec le volume depuis lequel il a évolué. Plusieurs actions géométriques sont possibles à partir d'un polyèdre (simple ou non) pour en développer d'autres. Les actions les plus connues sont la 'troncature' et la 'stellation'. La troncature revient à couper les angles d'un volume afin de recréer une nouvelle face. La stellation vient étendre un volume (ou un polygone) par extension des arêtes ou des faces jusqu'à ce qu'elles se rencontrent, et forment une nouvelle forme. Prenons l'exemple d'un polygone simple, le pentagone, qui devient, après une stellation soit une extension de ses arêtes, un pentagramme. Les treize solides d'Archimède se nomment donc: tétraèdre tronqué, octaèdre tronqué, cuboctaèdre, cube tronqué, rhombicuboctaèdre, grand rhombicuboctaèdre, cube adouci, icosaèdre tronqué, icosidodécaèdre, dodécaèdre tronqué, rhombicosidodécaèdre, grand rhombicosidodécaèdre et dodécaèdre adouci.

Un autre aspect est important à connaître et à retenir concernant tous ces développements de polyèdres. La dualité. Tous ces volumes ou figures planes appellent un contraire, une paire comme on en trouve naturellement. Ainsi, les cinq corps platoniciens sont liés par paire et sont nommés polyèdre dual. Ils partagent alors des propriétés tels que le nombre d'arêtes ou les mêmes symétries. Le tétraèdre répond à lui-même, mais ayant subi une symétrie. L'octaèdre est dual au cube, l'icosaèdre au dodécaèdre. Ce rapprochement est obtenu en reliant entre eux les centres de chaque face de l'un des volumes pour créer le second, et vice-versa. Si les volumes sont superposés par leurs centres d'arêtes respectives, on parle alors de polyèdres composés (ils comportent des axes concaves et convexes). Ce système est applicable à tous les volumes, y compris ceux d'Archimède, mais aussi aux polygones. Un pavage composé de figures régulières peut être directement développé par son dual. Les duals issus de formes de plusieurs types de faces régulières, comme les solides d'Archimède, possèdent des propriétés similaires mais inversées. Cela signifie qu'ils sont toujours des volumes convexes mais composés de faces uniques avec des types de sommets différents.

Les trois hommes sus-cités, Buckminster Fuller, Robert le Ricolais et David George Emmerich, sont en quelque sorte les figures de la recherche des structures tridimensionnelles apparues au 20^e siècle. Il en résulte des principes fondamentaux et des enjeux de recherche toujours valable de nos jours. Il s'agit essentiellement d'une approche d'ingénierie structurelle à laquelle l'architecte ne peut échapper et s'il opère avec les projets prennent une ampleur bien différente. La recherche structurelle pourrait être extrêmement simplifiée en de parlant que de l'optimisation des forces. Mais dans notre cas, les structures faites de métal sont dans la constante évolution d'un tout. Les sections, la longueur et le nombre de barres utilisées viennent prendre une place importante dans l'équation de la structure. Un élément majeur à ne pas négliger en dehors des derniers concerne l'assemblage. Si les structures réticulées ou les dômes géodésiques ont émergé, c'est pour répondre à des enjeux particuliers. Le poids, la « transportabilité », le coût de fabrication et de mise en œuvre, l'économie de matériaux et l'augmentation des charges supportées sont les principaux buts d'une structure telle qu'elles l'étaient au milieu 20^e siècle.

Des recherches qui ont donné des structures remarquables, directement inspirées par l'étude des volumes exposés plus haut. La figure emblématique de B. Fuller est le cuboctaèdre, qu'il avait renommé « dymaxion », en lien avec un gigantesque projet comprenant maisons, voitures et structures. Il avait découvert dans ce volume une suite de vecteurs et des rapports géométriques qui lui permettaient de parler d'un volume dynamique. Il a aussi réalisé une structure, aujourd'hui encore visible, qui est restée un symbole par sa prouesse technique et peut être vu comme l'apogée des dômes géodésiques. Ce dôme nommé « Biosphère » est construit lors de l'exposition universelle de 1967 pour le pavillon américain à Montréal. Composé d'une structure composée d'une double couche. La partie extérieure de la sphère est une succession d'hexagones et de quelques pentagones, l'intérieur est uniquement réalisé avec des triangles équilatéraux. Une série de barres fait la jonction entre ces deux couches et permet l'immense stabilité de l'ensemble. C'est le dôme géodésique le plus imposant construit à ce jour culminant à 58m de hauteur. Bien que ce système de

dôme ait aussi été utilisé par R. Le Ricolais, ce dernier a travaillé sur des ponts, passerelles et autres coques. Pour lui, l'attention de l'assemblage était primordiale car si l'on est capable de produire des barres d'une longueur nouvellement immense (dans la première moitié du 20^e siècle) pourquoi réaliser des structures composées d'une multitude de barrettes. Il appelait alors ces nouvelles structures des « structures légères avec éléments lourds ». Un système applicable à de nombreuses formes, comme le plan, le dôme, la voûte ou un volume ovoïde. Adapté à toutes les formes il présente les mêmes intérêts, à savoir un nombre réduit d'assemblages, un maximum de vide, et de grandes longueurs optimisées d'éléments. Le phénomène de tenségrité est, quant à lui, moins en lien avec les systèmes cristallins. Cependant, les structures qui en résultent ont une apparence singulière puisque les éléments rigides utilisés ne sont pas assemblés directement les uns aux autres. Maintenus par une série de câbles en traction judicieusement agencés, ils semblent flotter dans le vide. D. G. Emmerich a réalisé des dômes et des tours utilisant ce système, conférant une extrême légèreté à la structure et dehors de l'aspect « mystérieux » de l'ensemble. Les structures, souvent de génie civil, dites autotentes sont relativement proches de celles des ponts suspendus qui ne fonctionnent qu'avec des câbles en tractions.

Ces structures fortes en géométrie ont été beaucoup développées durant le siècle dernier. Elles ont eu leurs heures de « gloire ». Maintenant, elles sont associées à des époques bien révolues de la standardisation, de l'industrialisation et de la technologie passée. Aujourd'hui, notre état d'évolution technologique oriente principalement le travail dans la découverte de 'nouveaux' éléments permettant ainsi de développer des possibilités toujours plus vastes. Mais l'intérêt pour la puissance des mathématiques est toujours présent et ces structures ont encore les moyens de nous servir.

- Géométrie sacrée

Nous nous devons de poser les limites de ces termes, géométrie sacrée. La géométrie, comme nous l'avons déjà explicitée au commencement de cette partie, est abordée ici de manière dite euclidienne. De quelque nature qu'elle soit, la géométrie est définie par le CNRTL¹⁵ comme « Partie des mathématiques ayant pour objet l'étude de l'espace ... et des figures qui peuvent l'occuper. ». Agrémentée de l'adjectif « sacrée », la géométrie désigne alors un ensemble plus précis d'application dans sa propre définition.

Ainsi, la géométrie sacrée, désigne l'étude de l'espace et des figures dans l'espace contenant des proportions particulières. Bien que le terme « sacrée » revoie directement aux constructions religieuses et autres recherches similaires, il s'applique aussi aux tracés dont les proportions sont issues de nombres 'simples'. La géométrie sacrée peut aussi être la recherche ou l'application de l'harmonie universelle. Elle a été mise en parallèle avec la beauté divine. Cette appellation, géométrie sacrée, est souvent employée à tout va pour appuyer des discours ésotériques ou d'un spirituel peu fondé. Dans l'histoire il s'agissait d'une science à part entière mettant en avant la beauté

¹⁵ Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. <http://www.cnrtl.fr/definition/géométrie>

du monde par des algorithmes mathématiques. De manière inconsciente et omniprésente, elle régirait notre monde et son évolution. De grandes figures mathématiques y sont rattachées de manière à se focaliser uniquement sur celles-ci alors qu'elles n'en sont qu'une petite partie. Nous parlons de la suite de Fibonacci et du Nombre d'Or.

L'architecture fait partie des grands univers où peut se développer une telle géométrie. La peinture et la sculpture sont deux autres exemples de domaines d'application. Certains bâtiments sont incontestablement emplis de géométrie sacrée, dont les éléments de constructions sont plus ou moins complexes et variés. Cela concerne un large panel de constructions comme les pyramides du plateau de Gizeh, les grandes cathédrales chrétiennes ou les complexes druidiques de l'Europe occidentale.

Symboliques, les principes initiaux de la géométrie sacrée sont simples. Le cercle et le carré présentent de fortes particularités géométriques et forment donc beaucoup du reste.

Le cercle symbolise la spiritualité et possède un centre relié à « Dieu », origine de la forme. Une répétition de cercles concentriques devient le symbole du temps qui passe, tels des ondes dans l'eau, et de l'éternel recommencement. Il peut être aussi le ciel, la transcendance ou l'éternité. Le carré, avec ses quatre segments identiques assemblés en angle droit, symbolise la rationalité et l'équilibre. Ses quatre angles sont souvent associés aux quatre éléments, air, eau, feu, terre. La mise en relation entre ces deux figures donne une croix liant les symboliques du carré et du cercle. Tous les symboles peuvent être mis en relation les uns avec les autres afin d'en produire d'autres, plus ou moins précis. Depuis l'antiquité on parle de « nombre constructible » en géométrie. Il s'agit d'un nombre pouvant être dessiné avec la règle et le compas. Cela a ouvert une grande recherche de géométrie, la quadrature du cercle. Comment mettre en relation ces deux formes pour qu'elles aient la même aire ? Ce problème classique est impossible à tracer simplement, puisque $\sqrt{\pi}$ est de mise est qu'elle n'est pas possible à tracer directement avec le compas. Vient ensuite le rectangle d'or, le fameux. Construit avec le rapport ϕ , dit « phi ». Il possède au même titre qu'un segment, une moyenne et une extrême raison ayant pour rapport 1 : ϕ . Le nombre d'or, ϕ , est un nombre irrationnel¹⁶ égal à $(\sqrt{5}+1)/2$ qui peut être arrondi à 1,618 . Le nombre et le rectangle d'or font partie intégrante de la spirale d'or. Ladite spirale est construite avec une succession de rectangles d'or imbriqués les uns dans les autres. La suite de Fibonacci est une suite arithmétique qui tend vers le nombre d'or. Elle se présente sous cette forme : 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21... d'après la formule $F_{n+2}=F_{n+1}+F_n$. Proche des proportions du nombre d'or, mais plus facile à dessiner et à maîtriser, elle figure de manière récurrente dans les études des constructions de géométrie sacrée et dans la croissance du vivant.

Les ratios du nombre d'or sont possibles dans certains solides platoniciens. La figure contenant le plus de lien avec ϕ est le pentagone. Le pentagramme présente une série continue de ces relations dans ses segments. Dans le dodécaèdre, volume composé de douze pentagones, nous pouvons alors y trouver quatre rectangles d'or définissant douze sommets du volume. Un

¹⁶ Def. CNRTL. En mathématique, « Nombre qui ne peut avoir de quotient exprimable en nombre entier ou en fraction. »

rectangle traversant alors le polyèdre de part en part dont son petit côté correspond à une arête du volume. Et ce, dans les trois directions orthogonales. De plus, afin de définir les sommets restants, nous pouvons y introduire au centre un cube de longueur de côté ϕ . Par ailleurs, l'icosaèdre voit l'ensemble de ses sommets définis par des rectangles d'or. À l'instar du dodécaèdre, trois rectangles d'or traversent le volume de part en part, plaçant les sommets du volume et les arêtes correspondant aux côtés des rectangles.

Souvent associée à des constructions de cultes ou spéciales, la géométrie ordonne les tracés de constructions dans un but général, l'harmonie. Qu'elle soit dictée par des textes sacrés, par les recherches de tels ou tels bâtisseurs ou par les envies d'un souverain, la géométrie sacrée fonctionne avec un module fixe pour chaque édifice. Appelé « symmetria » dans l'antiquité, il s'agit d'un canon établi suivant une unité générale sur laquelle reposent toutes les autres proportions. Cette unité peut donc prendre toutes tailles et toutes formes. Le système cristallin est là. Une maille unique qui ordonne le reste, l'ensemble, proportionnellement et le plus efficacement. L'idée de beauté est là, le canon suivant la « symmetria » et le cristal sa maille cristalline, forment une entité des plus seyante pour l'Homme.

Les bâtisseurs qui établissent des liens par la géométrie sacrée possèdent la nécessité de voir une finalité des plus justifiées, des plus grandioses et parfaites. Posséder la plus grande et éblouissante cathédrale gothique, dans le Moyen-Âge français, était alors un concours sans fin tout en cherchant un maximum de liens numériques avec les écrits bibliques. Concernant les édifices chrétiens, la transposition de la description de la Jérusalem Céleste est ancestrale. Tendre vers une ville divine remplie de paradis est un souhait collectif pour les bâtisseurs et la population religieuse. Il faudra attendre les temps modernes du 20^e siècle en architecture pour voir apparaître des projets réalisés directement avec le nombre d'or, aussi irrationnel soit-il. De nos jours, composer un projet avec la géométrie sacrée, et le nombre d'or, relève d'un mythe d'une vieille école antique où régnait la rigueur des proportions. Bien que la construction avec ϕ ne fût pas réellement le cas, au cours du temps, ce nombre a créé un engouement chronique qui pourrait être perçu alors comme une croyance bien ancrée. Aujourd'hui, les notions de géométrie, même simple, sont quasiment absentes du cursus de l'étudiant architecte; si ce n'est un peu de tracé géométral. Cependant nous sommes toujours influencés de près ou de loin, par l'histoire de l'architecture et des éventuelles visions déformées de celle-ci dans nos recherches de projet. La question de l'esthétique est toujours omniprésente. Elle n'a jamais quitté les esprits humains.

Dans l'histoire, grands nombres d'utopies ont été construites autour de systèmes géométriques. Ces utopies, pour une majorité, ont pour thème la ville, les modes de vie humains, des idéaux industriels ou sociologiques. Par exemple, Antonio di Pietro Averlino (1400-1469), Thomas More (1478-1535) ou Tony Garnier (1869-1948) ont tous réalisé à leur époque, des idéaux de villes nouvelles. Claude Nicolas Ledoux (1736-1806) ou Robert Owen (1771-1858) sont, entre autres, les auteurs de projets à caractère purement industriel. Des projets de nouveaux types d'habitats naissent sur le papier vers la fin du 20^e siècle, dont certains auteurs sont Paul Maymont (1926-2007), Paolo Soleri (né en 1919) ou Otto Frei (né en 1925). Les projets contemporains

prennent en compte les enjeux de développements durables et autres attentions sur l'évolution constante de notre société, comme ceux de Vincent Callebaut. Pour arriver avec de grands projets à des finalités nouvelles, voire bouleversantes, les auteurs en question ont souvent utilisé la géométrie sacrée ou bien les figures géométriques simples comme vues précédemment. Certaines ont vu le jour, d'autres à moitié, d'autres encore demeurent encore sur le papier. Cependant, dans beaucoup de cas, c'est la pureté et donc la force de la géométrie qui pourrait alors permettre une évolution des civilisations suite à la construction d'un tel projet.

- Conclusion -

Les résultats de ce mémoire se composent selon les différentes thématiques énoncées au commencement. À travers le déroulement des recherches, des analyses et des hypothèses personnelles, les questionnement se sont recoupés de manière à donner les éléments suivants à la fin de cette phase de travail.

L'analyse des structures cristallines en début de seconde partie révèle des formes architecturales plus ou moins communes. Il apparaît dans la sélection faite que certains systèmes sont plus propices au développement de projet. Etablis selon des critères un peu subjectifs, en fin d'étude, et sans expérience réelle de construction, nous pouvons montrer des schémas d'inspirations plausibles. Le panel des structures étudiées permet de bien comprendre le fonctionnement cristallin dans son ensemble tout en ayant la possibilité de voir émerger des systèmes architecturaux. Il semble alors, qu'une bonne part d'imagination est nécessaire pour percevoir plus de détails de projet. Les différents résultats mis en avant par des photomontages personnels, permettent une vision simple et évocatrice des développements possibles. Allant d'un simple réseau graphique en deux dimensions à une structure bâtie de plusieurs niveaux, les possibilités se retrouvent dans beaucoup de pierres. Lors d'une correspondance avec nos codes de construction en vigueur, nous apercevons que ce n'est pas le système cubique, mais tétragonal qui en possède le plus. Cependant, les aboutissants de cette analyse structurelle révèlent un point important lié à la chimie. Les caractéristique d'une pierre ne sont pas systématiquement proportionnel avec le potentiel architectural. Le diamant, la pierre la plus dure offrant bel et bien une structure paraissant très stable, d'autres pierres du système tétragonal, assez proche du cubique, semblent bien moins robustes.

Grâce aux recherches sur les structures tridimensionnelles et les volumes platoniciens, nous pouvons mieux comprendre l'origine des formes qui nous entourent et sont maintenant des classiques. Quand nous avons parlé de pavage dans l'espace, des combinaisons de volumes particuliers se présentaient. Si le système orthogonal, dont le cube, tel qu'on le connaît possède un si grand succès, c'est grâce à sa possibilité d'empilement optimale. Cependant, il n'est pas le seul à offrir ce résultat avec sa seule compilation. D'autres volumes, certes moins perpendiculaires, le permettent. Dans un souci d'évolution générale, une meilleure connaissance de la géométrie par les nouvelles générations d'architectes leurs permettraient de se détacher plus facilement des

codes dictés par la majorité. Ainsi, nous pourrions voir construits plus d'éléments, répondant au nom d'utopie dans le 20^e siècle, en adéquation avec les besoins contemporains changeant.

De manière générale, cette étude personnelle permet d'établir les prémices d'une pensée architecturale propre. En effet, à l'orée de la fin des études, l'étudiant commence à trouver avec plus de précision ses centres d'intérêts, sa manière de faire, de penser, son approche du monde professionnel. Ainsi, la démarche ici présente, nous permet de poser quelques fondements de réflexion dont la principale est la suivante. Le lien important entre forme et structure. Ce lien est en premier lieu important pour réaliser un projet sans grandes difficultés techniques, en minimisant les encombres humaines et financières. Mais dans le but d'un projet de grande ampleur, ce lien forme-structure paraît nécessaire pour parfaire l'unité architecturale. Le domaine d'étude choisi pour cette cinquième année, formes-architecture-milieu, permet des questionnements proches de ceux établis dans ce volume. Les questions principales sont celles des images, des formes, et des espaces prévus pour l'homme.

Cela nous amène à synthétiser les rapprochements faits entre le monde minéral et l'humain. Dans les méandres de la réflexion personnelle sur la conception architecturale, des éléments nous paraissent alors importants à prendre dorénavant en compte. La part de l'architecture dit « émotionnelle » semble être pleine de bonnes ressources pour la production contemporaine. Mais nous parlons là d'un fait que bon nombre d'autres étudiants partagent. Une « niche » de recherche et d'application est apparue plus clairement au cours de l'élaboration du mémoire, à savoir un domaine rapprochant la santé de l'homme avec l'architecture. Bien que des mouvements existent dans l'équilibre de l'environnement pour les bienfaits humains, nous pouvons tout de même nous pencher sur une méthode approchant celle de la lithothérapie. Au même titre que cette dernière, avec les premiers balbutiements scientifiques, une telle approche peut néanmoins paraître décalée. De nouvelles constructions sont apparues récemment pouvant être identifiées comme proche du système que nous élaborons brièvement. Dénommées des « zomes », ces structures présentent une forme générale proche d'un dôme géodésique dont la composition des figures est évolutive et un peu différente. Ces structures permettraient des lieux de vie offrant un environnement plein d'énergies en « résonance ». A consommer avec précaution.

En somme, un vaste enjeu de l'application des résultats de ce mémoire pourrait être de répondre aux besoins de mouvements sociaux et humains, qui, par exemple, paraissent nécessaires au yeux de Claude Parent¹⁷. En effet, dans son œuvre *Vivre à l'oblique*, il développe une théorie entière qui repose sur la nécessité de changer notre manière de concevoir les villes et les logements si nous voulons avoir la possibilité d'une évolution florissante. Il démontre alors que ce sont les systèmes cubiques qui ont systématiquement coûté aux anciennes civilisations. Ces systèmes, sont pour lui, en 1970, en phase de n'être pas assez souples pour l'homme évoluant. Il va même jusqu'à faire reposer sur ces systèmes la cause des maladies psychiatriques. Un autre exemple du même type existe dans le monde de la bande dessinée. Dans un grand classique en la matière, les auteurs Schuiten F. et Peeters B., décrivent un scénario catastrophe dans *La fièvre*

¹⁷ Architecte français né en 1923.

d'Urbicande. Dans le monde fantastique d'une ville à la recherche de perfection, apparaît un cube mystérieux. Celui-ci se met à grandir et à se décupler sans raison, pour littéralement envahir la cité, bouleversant le système établi vers le chaos. S'en suit une appropriation de réseau, dès lors que la structure devient stable, offrant un nouveau type d'organisation citadine avec ses qualités et ses défauts. Puis une destruction massive de cette nouvelle ville quand la structure reprend sa course vers d'autres tailles. Ces illustrations sont comme une adaptation des problèmes perçus par C. Parent. Il ne s'agit pas que d'histoire et de théorie datant un peu, aujourd'hui encore, nous cherchons à répondre aux évolutions sociales, à la croissance démographique, aux changements climatiques, etc. Ce mémoire propose alors des pistes de réflexions permettant une telle évolution. La réponse ni l'absolu ne se trouvent là, mais bien des éléments permettant des pistes d'explorations.

De nombreux développements sont alors envisageables sur diverses notions. Que se soit dans le but de mettre en application des modèles de structures cristallines ou bien un bâti au service de la santé humaine, de plus amples recherches doivent être effectuées.

Après la théorie exposée dans ce travail de mémoire, le passage à une autre échelle semble importante. Le pouvoir des prototypes, des installations et expérimentations est grand. Ils permettraient de mieux répondre aux besoins techniques que posent les structures, surtout celles les moins communes. Un classement selon différents critères donnerait une meilleure idée des applications possibles pour chacune des structures établies. La collaboration avec des ingénieurs est alors indispensable. De nouvelles questions peuvent alors émerger comme l'utilisation des matériaux, des liens avec les figures géométriques dans la conception, des aspects technologiques, des optimisations spatiales...

Concernant les effets émotionnels et vitaux de l'architecture sur l'homme, une étude scientifique des plus précises sera indéniablement obligatoire. Comme nous l'avons vu en rapprochement avec la lithothérapie, ce système est issu d'une combinaison d'éléments différents. Il nous faudrait alors effectuer des analyses scientifiques sur chacun : les matériaux et leurs compositions en masses, leurs origines, les couleurs, leurs agencements et leurs proportions, la structure, en lien avec les deux premiers éléments, peut aussi venir de la partie à développer sus-citée, et les modes de mise en œuvre. Et quand bien même nous pourrions assembler tous les résultats, il ne faudra pas oublier la part psychologique d'un tel système. Comme pour les médecines alternatives existantes, l'échange avec le patient prend une part importante du résultat.

Bien qu'il semble plus simple de réaliser des analyses relatant d'éléments concrets, nous avons aujourd'hui suffisamment d'ouverture et de puissance d'esprit pour nous atteler à la compréhension des sensations. Un aboutissement qui pourra être nommé : « Archithérapie ».

- Bibliographie -

Ouvrages

ARCY, Thompson Wentworth, 1994, *Forme et croissance*, Paris : Editions du Seuil, 334 pages.

ARDENNE, P., POLLA, B., (sous la direction de), 2010, *Architecture émotionnelle : matière à penser*, Lormont : Le bord de l'eau : La Mulette, 191 pages, Colloque international d'Architecture émotionnelle.

BAHAMÓN, Alejandro, PÉREZ, Patricia, 2007, *Analogies entre le monde minéral et l'architecture contemporaine*, Paris : l'inédite, 191 pages, (Collection Analogies)

BATTESTI, T., SCHUBNEL, H-J., 1987, *La pierre et l'homme*, Paris : Museum d'histoire naturelle, 62 pages.

CAILLOIS, ROGER, 1966, *Pierres*, Edition Gallimard, 158 pages, (Gallimard Poésie).

CLEYET-MICHAUD, Marius, 2002, *Le Nombre d'or*, Paris : Presses universitaires de France, 125 pages, (Que sais-je ?).

CRITCHLOW, Keith, 1969, *Order in space*, Hong Kong, 120 pages.

DRUNVALO, Melchizédek, 2000, *L'Ancien Secret de la Fleur de Vie*, Canada : Editions Ariane, Tome 1, 282 pages, Tome 2, 315 pages.

EMMERICH, David Georges, 1988, *Structures tendues et autotendantes*, Paris : Ecole d'Architecture Paris - La Villette, 420 pages.

GERSTNER, Karl, 1986, *Les formes des couleurs*, Paris : Bibliothèque des arts, 180 pages.

GIENGER, Michael, 2008, *Manuel de lithothérapie ou l'art de se soigner avec les pierres*, Paris : Edition Véga, 416 pages.

GORMAN, Michael John, 2005, *Buckminster Fuller : designing for mobility*, Milan : Skira, 205 pages.

JOLY, Louis, 1979, *Les Polyèdres réguliers, semi-réguliers et composés*, Paris : Libr. scientifique et technique A. Blanchard, 96 pages.

LUNDY, M., SUTTON, D., ASHTON, A., 2012, *Quadrivium : nombres, géométrie, musique, astronomie*, Paris : Guy Trédaniel, 409 pages.

MIMRAM, Marc, 1983, *Structures et formes : étude appliquée à l'œuvre de Robert Le Ricolais*, Paris : Dunod, 124 pages.

PACCIOLI, Luca, dessins de Léonard de Vinci, 1980, *Divine proportion : œuvre nécessaire à tous les esprits perspicaces et curieux*, Paris : Librairie du Compagnonnage, traduction française par G. Duschesne et M. Giraud.

PARENT, Claude, 1970, *Vivre à l'oblique*, Paris : Jean-Michel Place, 77 pages.

PRIESTER, Louissette, 2008, *Les matériaux : histoire, science et perspectives*, Paris : CNRS, 195 pages.

SENOSIAIN AGUILAR, Javier, 1998, *Bioarquitectura, En busca de un espacio*, México : Noriega Editores, 206 pages.

SCHUITEN, F., PEETERS, B., 2009, *La fièvre d'Urbicande*, Edition Casterman, 93 pages, (Les cités obscures).

ZUBIETA, ESTROP, Martha Elena, 2011, *Guía mineralía El poder de los minerales*, Oaxaca : Mineralia, 177 pages.

Webographie

Agence B+H, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.bharchitects.com/en/projects/125>

Agence Coop Himmelblau, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.coop-himmelblau.at/architecture/featured/?search&category=36>

Agence schmidt hammer lassen architects, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://shl.dk/eng/#/home/about-architecture/>

Agence UNStudio, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.unstudio.com/projects/theatre-agera>

ArchDaily, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.archdaily.com/92646/ad-classics-neviges-mariendom-gottfried-bohm/>

Architecture as..., consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://architectureas.wordpress.com/2013/07/>

Bijouterie Gemmyo Paris, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.gemmyo.com/pierres-precieuses.html>

Conception de structures tridimensionnelles, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.archstructures.org/conception.html>

BOUDET, Alain, *Cristaux et Géométrie cristalline*, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.spirit-science.fr/Matiere/cristal.html>

Cristaux et Quasi-cristaux, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : http://mompiou.free.fr/wiki/index.php?title=Cristaux_et_Quasi-cristaux

Crystallography Open Database, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.crystallography.net/search.html>

Douze apôtres, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.gallican.org/douze2.htm>

Gemmes dans l'histoire, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.gemmology.ch/gemmes-histoire-1.html>

Gemmologie, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : http://www.gemmologie.at/edelsteinkunde/edelsteinkunde_1/kristallsysteme/index.htm

Habitat bulles, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.habitat-bulles.com/hotel-eco-luxe-whitepod/>

IKEDOME, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.lacotedesmontres.com/6804>

Inspiration dome peace, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://theblackharbor.com/inspiration/dome-peace/>

LABOURET, Marc, *Le nombre d'or*, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.marc-labouret.fr/nombre-d-or.html>

Les pierres précieuses, leurs noms et leurs origines, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.madeinjoaillerie.fr/guide/tout-savoir-sur-les-pierres-precieuses-leurs-noms-et-leurs-origines/>

Les villas cristal, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://cargocollective.com/benjaminloiseau/Les-villas-cristal>

L'univers des pierres précieuses, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : http://www.kasuku.ch/pdf/monde_merveilleux/pierres%20precieuses.pdf

MoMA, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.momaps1.org/yap/view/15>

Minerals and gems, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.reciprocalnet.org/edumodules/commonmolecules/mineral/list.html#borates>

Minerals and gemstones, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://kfes-16.karlov.mff.cuni.cz/~standa/3D-crystals/minerals.html>

Mineralienatlas, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.mineralienatlas.de>

Neoconscience, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://neoconscience-blog.wordpress.com/2008/04/28/les-energies-telluriques/>

OMA, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://oma.eu/projects/2005/casa-da-musica>

Pierres magiques, pouvoirs divins ou technologie, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://fargin.wordpress.com/tag/supraconductivite/>

CHAUVIER, Thierry, *Pierres précieuses et pierres fines*, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://thierry.chauvier.free.fr/pierresp.html>

Plis en zig-zag, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://artbite.fr/Les-plis-en-zig-zag.html>

Spéléologie, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://speleoclpa.free.fr/doc-carbur6/doccarbur6.html>

Sujet classes préparatoire PCSI, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : http://chimie-psi-jds.net/polycopies/psi_2_archi.pdf

Torre de observación de aves, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.plataformaarquitectura.cl/2009/03/05/torre-de-observacion-de-aves-gmp-architekten/>

Tribus d'Israël, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://ecouteisrael.centerblog.net/rub-les-tribus-d-israel-.html>

Vive les utopies ?, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://archiecl.canalblog.com/archives/2009/03/01/12754194.html>

POUSSINEAU, Stephane, *Volcanologie Minéralogie*, consulté le 21 décembre 2013, Disponible sur le Web : <http://www.volcanol.fr/maille.php>

- Table des illustrations -

3.2 - Découverte des pierres

p. 14, Fig.1 : <http://www.archdaily.com/92646/ad-classics-neviges-mariendom-gottfried-bohm/>

p. 14, Fig.2 : <http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/ufa-cinema-center/>

p. 15, Fig.3 : <http://www.arcspace.com/features/unstudio/agora-theater/>

p. 15, Fig.4 : <http://artearquitecturaydiseno.blogspot.mx/2012/12/the-crystal-copenhagen.html>

p. 15, Fig.5 : <http://oma.eu/projects/2005/casa-da-musica>

p. 15, Fig.6 : <http://www.bharchitects.com/en/projects/125>

p. 15, Fig.7 : <http://www.marylinegillois.com/?p=840>

p. 15, Fig.8 : <http://www.momaps1.org/yap/view/15>

4.1 - Systèmes cristallins

p. 22 à 26, Fig. 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 : http://www.gemmologie.at/edelsteinkunde/edelsteinkunde_1/kristallsysteme/index.htm

p. 22 à 26, Fig. 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 : <http://www.spirit-science.fr/Matiere/cristal.html>

p. 27, Fig. 23 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 28, Fig. 24, 25 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la pyrite.

p. 29, Fig. 26 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 30, Fig. 27, 28, 29 : Photomontage pour les résultats d'analyse du diamant.

p. 31, Fig. 30 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 32, Fig. 31, 32 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la vanadinite.

p. 33, Fig. 33 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 34 à 35, Fig. 34, 35, 36, 37 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la covellite.

p. 36, Fig. 38 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 37, Fig. 39, 40, 41 : Photomontage pour les résultats d'analyse de l'hématite.

p. 38, Fig. 42 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 39, Fig. 43, 44, 45 : Photomontage pour les résultats d'analyse du corindon.

p. 40, Fig. 46 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 41, Fig. 47, 48, 49 : Photomontage pour les résultats d'analyse du zircon.

p. 42, Fig. 50 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 43 à 44, Fig. 51, 52, 53, 54 : Photomontage pour les résultats d'analyse du rutile.

p. 45, Fig. 55 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 46, Fig. 56, 57 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la topaze.

p. 47, Fig. 58 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 48 à 49, Fig. 59, 60, 61, 62 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la cérusite.

p. 50, Fig. 63 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 51, Fig. 64, 65 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la jadéite.

p. 52, Fig. 66 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 53, Fig. 67, 68, 69 : Photomontage pour les résultats d'analyse de l'euclase.

p. 54, Fig. 70 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 55, Fig. 71, 72 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la turquoise.

p. 56, Fig. 73 : Image de synthèse, rendu personnel depuis le logiciel VESTA (V.3.1.3)

p. 57, Fig. 74, 75, 76 : Photomontage pour les résultats d'analyse de la cyanite.