

MEM ALT S7-10 2019-2021

**VERS UNE ARCHITECTURE LUNAIRE
VERNACULAIRE ?**

*Indéterminisme géographique à la conception ou vernacularité nécessaire de
l'architecture colonisatrice lunaire ?*

François Pacquelet, DCAI

DE MEM : Kévin Jacquot

Vers une architecture lunaire vernaculaire ?

Indéterminisme géographique à la conception ou vernacularité nécessaire de l'architecture colonisatrice lunaire ?

Résumé

Aujourd'hui encore, les agences spatiales font face à des problématiques bloquantes au bon développement des missions habitées, entre autres en raison des coûts prohibitifs des technologies aérospatiales. Malgré les avancements certains de la technologie dans le secteur spatial, l'idée de la colonisation de la Lune reste encore aujourd'hui du domaine de la science-fiction. C'est seulement au moyen de lourds efforts que cet imaginaire pourra prendre réalité. Il en vient un questionnement des réels intérêts qu'a l'Homme de conquérir son satellite, et des ambitions techniques et économiques qu'il est prêt à matérialiser dans la mise en œuvre de ses rêves de colonisation interplanétaire.

Au travers d'une étude pragmatiste des possibles habitats, ce mémoire cherche à dépeindre le champ des possibles : à quoi ressemblera les futurs habitats lunaires ? Est-il envisageable de dire qu'en raison de la spécificité du milieu lunaire, de ses contraintes, que toute architecture y sera fatalement pragmatique, inéluctablement vernaculaire ?

L'utilisation de raisonnements prospectifs et empiriques basés sur des données scientifiques et historiques, inspirée de la futurologie (prédiction d'éléments architecturaux à venir), et sur la base des résultats initiaux par comparaison et de la classification par typologies constructives, est en mesure de donner des premiers résultats sur les questions d'architecture lunaire vernaculaire. En outre, il est possible de montrer avec ces outils l'existence de multiples typologies viables sur les plans technologiques et économiques. En découle une remise en question des hypothèses de départ, et plus singulièrement de la définition de vernaculaire ; et plus globalement, de la place du concepteur dans le cadre des milieux extrêmes.

Sommaire

Introduction	3
Quelle architecture lunaire ?	11
Vers une architecture lunaire vernaculaire	43
Conclusion	57

Introduction

Où en-est la course à l'espace ? La colonisation de la Lune, un rêve lointain ou une fatalité nécessaire ?

La Lune est le premier voisin stellaire de la Terre, à quelque 384 600 km de distance. Elle a longtemps été le sujet d'observations depuis la Terre, qui ont elles-mêmes donné lieu à des affabulations, récits imaginaires de conquête du satellite. Déjà en 1865, Jules Verne imagina dans son roman d'anticipation un voyage de 97 heures 20 minutes au départ de la Terre à la Lune. Les récents progrès techniques le permettant, elle a successivement été épiée sous tous ses angles par des satellites, puis sa surface explorée par des robots (*voir figure 1*). Ce n'est qu'en 1969 qu'un grand pas fut franchi, avec l'alunissage des astronautes du programme Apollo Buzz Aldrin et Neil Armstrong. Au total, ce sont douze hommes qui s'y sont posés entre 1969 et 1972, et aucun depuis.

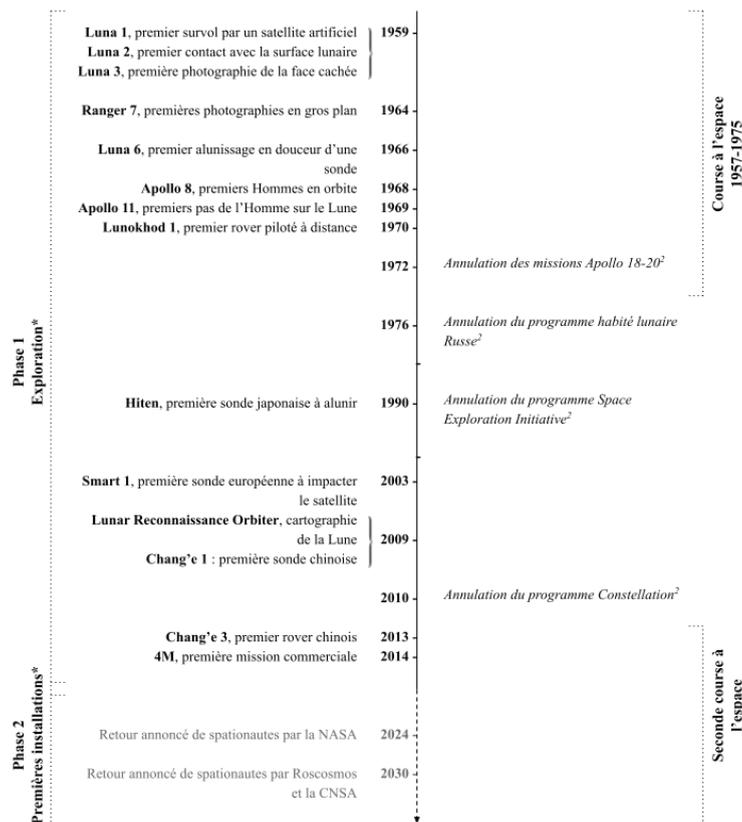


Fig. 1 Frise chronologique des grandes étapes de l'exploration de la Lune à partir de la seconde moitié du XX^e siècle¹ (liste non exhaustive). Source : *Image de l'auteur*

¹ Here's Every Single Mission to the Moon in One Chart. Dans : *Time*

² Il serait réducteur de ne comprendre que des raisons budgétaires dans l'annulation de ces différents programmes spatiaux habités à destination de la Lune. En réalité, l'abandon d'un programme spatial est à la fois imputable pour des causes technologiques, économiques, et politiques (en nécessitant des technologies trop coûteuses dans leur développement, les pouvoirs politiques font décision d'annuler certains de ces programmes). Néanmoins, la question économique reste préalable à l'annulation d'un programme spatial.

* Voir partie *Découpage temporel de la colonisation lunaire*

Aujourd'hui, alors qu'a été célébré le cinquantenaire des premiers pas de l'Homme, une nouvelle course à l'espace est lancée. Le contexte historique de la guerre froide n'est plus, c'est dorénavant une compétition économique qui est livrée pour l'accès aux ressources du satellite. Agences spatiales et entreprises privées ne cherchent plus à s'y poser, mais maintenant à se l'approprier de manière permanente, à la coloniser.

Pourquoi la Lune comme cadre d'étude

La conquête de l'espace peut être considérée tout autant comme une finalité que comme une étape à franchir pour la civilisation humaine. Mu par sa curiosité, l'Homme y voit un moyen de tester, de compléter ses connaissances et compétences. C'est avec ces mêmes intérêts que, à moindre échelle, a été initié ce mémoire. En étudiant les caractéristiques de son satellite, il est permis à l'Homme d'imaginer des modes de vie inexpérimentés, des habitations et villes nouvelles, en décalage total avec l'existant³. L'intérêt émotionnel qu'il a de repousser ses limites et sa quête de nouveauté pourrait suffire d'argument aux projets de colonisation lunaire, mais il n'est pas à oublier les quelques raisons pragmatiques, industrielles et économiques entre autres, qui le pousse aussi à poursuivre ce projet. Un tel dessein peut amener à soulever néanmoins un nombre important de critiques, autant sur les plans technologiques que moraux (en particulier, sur la validité de l'exportation involontaire de problématiques non maîtrisées sur Terre : gestion des déchets, destructions définitives de sites naturels...). Il n'en est pas moins intéressant d'en étudier les conjectures, au moins spéculativement. Cet examen permettait alors de prévenir les hypothétiques conséquences dommageables citées plus haut en en soulignant l'existence⁴.

Pour aller dans l'espace et accéder à ses ressources, il est nécessaire de régler un ensemble de problèmes techniques, logistiques et humains qui ne se posent pas ailleurs que dans ce milieu hostile à l'Homme. Cependant, leurs solutions respectives peuvent ensuite profiter dans un contexte autre que celui initial, sur Terre. Très nombreuses sont les technologies spatiales qui sont aujourd'hui inscrites dans notre quotidien, suffisamment pour qu'elles deviennent peu discernables de celles qui n'ont pas d'affiliation avec la recherche dans les technologies aérospatiales⁵. Panneaux photovoltaïques, détecteurs de fumée et isolants thermiques muraux sont autant d'exemples qui pourraient être mentionnés ici. La Lune, au travers de la recherche scientifique pour sa conquête, est moteur d'avancées et justifierait donc l'intérêt de s'en approcher selon la fondation Jacques Rougerie :

« Toutes les feuilles de route de l'exploration spatiale incluent la Lune comme étant la prochaine étape avant un voyage vers Mars. Notre présence sur ce satellite de la terre dans une infrastructure permanente constituerait donc un véritable tremplin avant une exploration encore plus lointaine. »⁶

Néanmoins, le développement de ces moyens et les retombées sociales et techniques pourraient ne pas former d'objectifs suffisamment attrayants pour pousser au développement en direction de l'espace, aussi importants soient-ils pour le développement de la civilisation humaine. La Lune offre par sa proximité relative avec la Terre (384 000 km en moyenne, en comparaison aux 225 millions de km pour Mars⁷) la présence d'importantes ressources accessibles dès aujourd'hui à l'aide de méthodes déjà au point⁸. Le travail de

³ Ou plutôt, en absence totale d'existant (la colonisation de la Lune n'étant à ce jour qu'un projet).

⁴ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*.

⁵ JPL. 20 Inventions we wouldn't have Without space travel. Dans : *JPL Infographics*

⁶ BADEN BADEN, Edgar et YEMELI, Franklin. *Fondation Jacques Rougerie : Toujours plus loin, toujours plus haut. Institut de France*

⁷ *Earth - Mars - Moon Comparison*

⁸ À comprendre des ressources accessibles moyennant l'utilisation de conventionnelle de fusées, sans nécessiter de saut technologique (ascenseurs spatiaux, propulsion atomique...).

cartographie lunaire par le *Lunar Reconnaissance Orbiter* (2009) a ainsi mis en avant l'existence d'un riche sous-sol, allant des terres-rares aux énergies fossiles nécessaires à l'utilisation de la fusion nucléaire sur Terre⁹. Il est probable que les futures bases lunaires aient pour objectif premier de s'inscrire dans une stratégie d'exploitation minière¹⁰, servant de lieu de vie pour des colons qui auront la tâche d'extraire les précieuses ressources afin de les envoyer sur Terre où leur manque se fait ressentir de jour en jour. Mais aussi, il est imaginable que la construction de ces bases se fasse dans une idée d'appropriation par une nation (voir par des entreprises privées) d'une partie du territoire lunaire et des richesses s'y trouvant. La récente signature de l'ordonnance établissant la politique d'exploitation des ressources extraterrestres par l'ancien président américain Donald J. Trump¹¹ a depuis officialisé cette course à la colonisation de la Lune. Cet ordonnance statue favorablement à la capacité d'appropriation des richesses sélénites (sur la base du principe du droit à l'exploration et à l'utilisation de l'espace établi par le traité éponyme de 1967¹²). Ainsi, les entités privées sont de ce fait autorisées à utiliser les ressources spatiales et ce malgré le principe de non-appropriation jusque-là souverain. Différentes agences spatiales ont elles aussi fait mention des avantages que présente la Lune comme étape intermédiaire pour l'accès aux autres destinations du système solaire (pour Mars notamment, voir *fig. 2*). Il est alors facile de comprendre que la Lune fait l'objet de convoitises grandissantes. Elle présente censément suffisamment d'intérêts pour y renouveler la présence de l'Homme, et de pérenniser cette présence au moyen de sa colonisation.

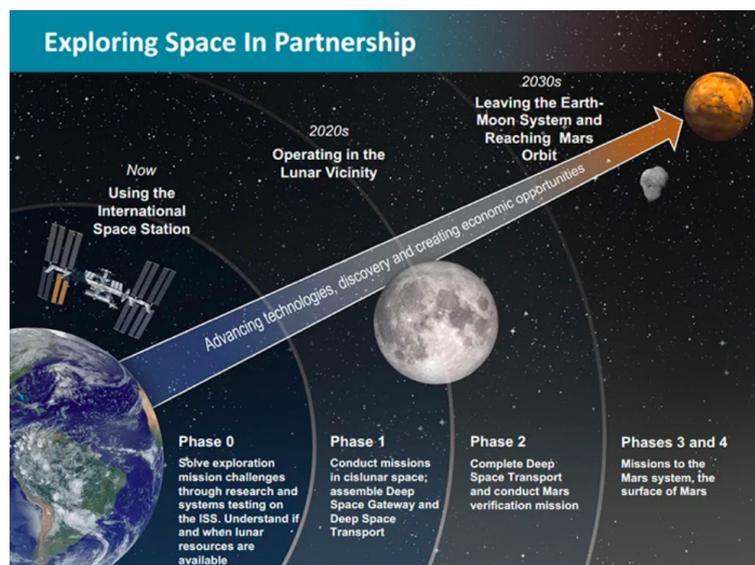


Fig. 2 Schéma de la stratégie sur le long-terme de la NASA (telle que développée en 2017)¹³ pour accéder à Mars en réquisitionnant la Lune comme étape intermédiaire. Source : www.sciencealert.com

Selon ces premières considérations, il semble que la colonisation de la Lune par l'Homme soit une issue envisageable dans un futur plus ou moins distant. C'est au travers de cette première assomption que se justifiera le choix du cadre d'étude de ce mémoire. En s'accordant sur la présence à venir de l'Homme sur son satellite, il est démontré l'intérêt de s'appliquer à l'étude conjecturale des conditions dans lesquelles il sera

⁹ USGS ASTROGEOLOGY SCIENCE CENTER. *Unified Geologic Map of the Moon*

¹⁰ TIETZ, Dale. Mining the Moon becomes a serious prospect. *Physics world*

¹¹ TRUMP, Donald J. *Executive Order 13914*

¹² *Traité sur les principes régissant les activités des Etats en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la lune et les autres corps célestes*

¹³ La liste des acronymes utilisés dans ce mémoire et leurs significations sont développés en annexe 1.

amené à vivre. On s'autorisera à faire de l'analyse architecturale des éléments constitutifs des futures habitations lunaires le cadre d'étude primaire de ce mémoire^{14,15,16}.

La décision de n'étudier le milieu lunaire que de manière globale offre un compromis intéressant. Au prix d'une généralisation, elle permet indirectement d'éviter de rentrer dans des études de cas trop techniques, voire même trop difficiles à comprendre pour un public non averti. Pour ces raisons, ce mémoire limitera son cadre géographique à la surface lunaire de manière générale, de manière à en considérer des caractéristiques moyennes, tout en acceptant le fait qu'il existe des différences parfois importantes entre ses différentes régions.



Fig. 3 Photographie panoramique capturée lors de la mission Apollo 17 (1972) démontrant l'importante variabilité des paysages lunaires sur un même site (montagnes, cratères, collines, plaines, champ de roches). Source : www.lpi.usra.edu

Moyennant une adaptation, les principes fondamentaux illustrés par ce mémoire pourront servir de cas d'étude parallèle à la colonisation d'autres mondes extra-terrestres. À titre d'illustration, Mars est souvent présentée en une concurrente sérieuse à la Lune comme premier lieu de colonisation spatiale, mais aussi comme l'étape logique pouvant suivre dans l'exploration par l'Homme du système solaire. De manière plus générale, nombre des arguments ici semblent aussi valables pour l'étude des architectures en milieu extrêmes, sans obligatoirement se focaliser uniquement à l'étude des mondes extra-terrestres ; qu'ils soient polaires, arides ou sous-marins... Ce mémoire n'en reste pas moins une étude des futures architectures lunaires. En effet, il sera fait le postulat dans une première partie de l'importance des spécificités du milieu sélénite. En d'autres termes, les spécificités de ce milieu, qui le rendent unique, formeraient la particularité prépondérantes dans l'expression des constructions lunaires.

Peut-on parler d'architecture lunaire ?

Avant d'étudier les conditions dans lesquelles vivra l'Homme dans les futures colonies lunaires, un point important reste à soutenir en introduction. En effet, outre l'intérêt certain de ce sujet, le caractère architectural des futures constructions lunaires est tout à fait questionnable. Est-il envisageable de parler d'architecture lunaire ?

Considérer les futures colonies lunaires, mais aussi les autres programmes spatiaux habités, comme architecture(s) amène à considérer préalablement les oppositions qui pourraient être soulevées. L'architecture pourrait être considérée en ce sens comme uniquement valable que sur Terre ; mais aussi, dont pour certains architectes, ingénieurs et chercheurs, il n'existerait pas d'intérêt aux questions artistiques dans milieu spatial qui

¹⁴ Il aurait aussi été possible de pousser les termes de cette étude de l'architecture du milieu lunaires plus loin, en se limitant à l'étude de celle-ci non pas à l'entièreté de la surface lunaire, mais à une région plus précise. De nombreux sites forment en ce sens de bons candidats pour la construction de premiers habitats coloniaux, même si la décision de l'implantation de colonies sur un site en particulier n'a pas encore été statuée de façon définitive. A titre d'illustration, la région du pôle Sud lunaire, de part la présence de glace d'eau, exaspère des convoitises¹⁵. Les cratères de la face cachée, quant à eux, permettraient la mise en place d'un site d'observation du cosmos lointain¹⁶. Néanmoins, se concentrer sur la colonisation d'une région précise de la Lune nécessiterait des ressources techniques et temporelles peu accessibles dans le schéma d'un unique mémoire. Notamment, en raison du caractère très chaotique de la *séniologie* (topologie lunaire, voir fig. 3), la Lune offre une très grande variété de sites à conquérir, chacun de ceux-ci offrant des opportunités d'étude unique. Il est même probable que le choix d'un site précis, aussi petit soit-il, implique de nombreux questionnements non envisagés globalement sur ces éléments constitutifs des constructions lunaires en raison de principes de changement d'échelle d'étude (plus le site étudié aurait été petit, plus il aurait été nécessaire d'en étudier les moindre détails).

¹⁵ TIETZ, Dale. Mining the Moon becomes a serious prospect. *Physics world*

¹⁶ HALL, Loura. Lunar Crater Radio Telescope (LCRT) on the Far-Side of the Moon. Dans : NASA

demande une rigueur technique absolue¹⁷. Dans les deux cas, il est possible de trouver l'origine de cette réticence à considérer les constructions spatiales comme des architectures dans la nouveauté de ce champ d'études. Ainsi, Brent Sherwood tend à montrer que le manque de considération du spatial pour l'architecture est la conséquence directe du caractère juvénile des organisations qui la définissent¹⁸, et donc du manque de poids qu'elles ont¹⁷. Cette absence d'égard ne serait donc que temporaire.

« L'architecture spatiale est un champ d'étude nouveau, dont la définition, les limites, l'organisation et le lexique ne sont pas en héritage direct de l'existant. Elle est limitée par quatre points : une réticence contre sa nouveauté, la fragilité de quelques éléments qui l'animent, une redondance dans les organisations qui la structurent, et le recours aux bénévoles pour son développement. »¹⁹

À la lumière de ces a priori, il est proposé de mettre en avant les arguments qui tendent à valider l'emploi du terme d'architecture lunaire.

L'un des problèmes ici est l'absence d'une définition universelle de ce qu'est l'architecture. Il existe certes un grand nombre de définitions, mais il n'y a à ce jour pas de consensus sur laquelle serait la plus apte à préciser les caractéristiques de ce qu'est fondamentalement l'architecture. Si certaines définitions ressortent plus que d'autres, comme par exemple celle décrite par Vitruve dans ses dix livres²⁰, elles présentent tout de moins dans leur utilisation ici des lacunes²¹. Il est proposé de développer cette piste plus en détail en fin de document (voir annexe 2).

En admettant qu'il existe une définition universelle d'architecture, il serait alors possible de l'employer comme une grille de lecture ; ensemble de points à valider pour juger du caractère architectural des programmes spatiaux habités. Cette méthodologie reviendrait à démontrer le nombre très importants (ou plutôt, le nombre suffisant) d'éléments communs entre architectures terrestres et constructions spatiales. L'approche inverse est elle aussi envisageable. En effet, il est possible de statuer sur le faible nombre de dissemblances entre constructions terrestres et constructions spatiales. Il est par la suite possible de démontrer que ces points singuliers ne sont pas nécessaires pour juger du caractère architectural d'une construction.

En particulier, outre le choix du site, un point de divergence semble judicieux à développer. Le pragmatisme dans la conception des programmes spatiaux habités impliqué (en grande partie au moins) par les risques encourus peut être posé comme première hypothèse de ce mémoire. Il se traduit notamment par le découpage fonctionnaliste des futures habitations lunaires. En effet, il n'est pas à démontrer que nombreuses des entités constituantes des futures constructions lunaires s'apparenteront directement ou indirectement à celles terrestres²², avec une adaptation circonstancielle du lexique utilisé ; le terme de *vestibule* pouvant être remplacé par celui de *sas* par exemple. Mais aussi, cette même hypothèse peut amener à penser que le cadre lunaire n'offre pas, contrairement à la Terre, la possibilité d'une expression artistique ou émotionnelle dans le processus de conception/réalisation. Or, des constructions de même sorte sont visibles sur Terre : il est par exemple possible de mentionner les nombreuses infrastructures manufacturières qui se sont développées

¹⁷ SHERWOOD, Brent. Organizing Ourselves: Schema to Build the International Space Architecture Community. Dans : *Space*

¹⁸ En comparaison de l'ancienneté des institutions qui ont autorité pour définir l'architecture non-spatiale/terrestre ; certaines organisations spatiales, comme l'ISU (International Space University), étudient le concept d'architecture spatiale depuis plus de trente ans.

¹⁹ SHERWOOD, Brent. Organizing Ourselves: Schema to Build the International Space Architecture Community. Dans : *Space*

²⁰ VITRUVÉ. *Les dix livres d'architecture de Vitruve*

²¹ En particulier, la pertinence des propos de Vitruve sont à replacer dans leur contexte d'origine : ses concepts d'*Utilitas*, de *Firmitas* et de *Venustas* ont été développés il y a plus de deux mille ans déjà.

²² Dans la mesure où les besoins fondamentaux de l'Homme restent les mêmes aussi sur la Lune, voir partie 1

depuis la révolution industrielle. Le caractère architectural de cet élément de référence terrestre n'est alors, d'après Walter Gropius, pas à débattre :

« La "Beauté" d'une chose est issue de la maîtrise parfaite de tous ses pré-requis scientifiques, scientifiques et formels. L'approche architecturale fonctionnaliste consiste à concevoir naturellement des objets en se basant sur des exigences programmatiques, sans aucun embellissement artistique ou gratuit. »²³

Les usines ne sont par ailleurs pas les seuls exemples d'architectures purement fonctionnelles qui font écho à ce que devraient être les futurs habitats sélénites. L'architecture navale témoigne en effet de la compatibilité entre architecture et application pragmatique de principes techniques rigoureux, et de surcroît sert très souvent de comparaison dans l'étude d'habitats spatiaux²⁴ (même si le terme d'ingénierie navale est parfois préféré de façon à spécifier la prédominance de ces raisonnements techniques). L'architecture paysanne, populaire, rend compte elle aussi de cette compatibilité. Les édifices qui la caractérisent se manifestent sur une très grande partie du globe et plus particulièrement dans les paysages ruraux d'Europe. Elles sont corroborées par la définition de Gropius (car nécessairement pragmatiques dans une stratégie d'économie des moyens), et sont plus communément appelées architecture vernaculaire de façon à pouvoir distinguer leur caractère singulier. Cette dénomination amène plus spécifiquement à la reconnaissance de la richesse de ces constructions ; si bien que la charte de Venise de 1964 vient à les considérer comme monuments en soi²⁵. Ainsi, l'apport sémantique de catégoriser des bâtiments comme vernaculaires vient d'une volonté d'en étudier les différences, de ce qui en fait leur intérêt pour leurs habitants et plus généralement pour les architectes qui les considèrent.

Définies pragmatiquement par un découpage fonctionnaliste, les constructions lunaires se rapprocheraient, dans cette assomption, avec le mouvement moderniste initié au XX^e siècle. Plus que la formule de Louis Sullivan²⁶, on retiendra plutôt celle issue des travaux d'Albert Kahn : « *Form follows performance* »²⁷. Mise en parallèle avec l'architecture vernaculaire qui emprunte le même fonctionnalisme, l'étude de la colonisation de la Lune amène à mentionner également le mouvement régionalisme critique, théorisé par Kenneth Frampton et illustré notamment par la mairie de Säynätsalo (1952) d'Alvar Aalto²⁸ (fig. 4). Ainsi, l'argument selon lequel les colonies lunaires à venir suivraient un pragmatisme total ne pourrait être soulevé comme élément de dissemblance entre architecture terrestre et constructions spatiales. Tout au plus, le caractère sélénite de ces constructions ne devrait apporter que des dissemblances assimilables à une expression architecturale équivalente au concept de vernaculaire observable sur Terre.

²³ GROPIUS, Walter. *The Bauhaus Book* n°7

²⁴ BANNOVA, Olga. *Terrestrial Analogs for Planetary Surface Facility Planning and Operations*

²⁵ *Charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites*

²⁶ « *Form follows function* »

²⁷ THORSTEN, Bürklin et JÜRGEN, Reichardt. *Albert Kahn's industrial architecture*

²⁸ FRAMPTON, Kenneth. *Vers un régionalisme critique : pour une architecture de résistance*



Fig. 4 Photographie de la mairie de Säynätsalo d'Alvar Aalto (1952). Ce projet est considéré comme le préalable au mouvement régionaliste critique. Source : www.archdaily.com

En somme, la seule réelle divergence entre l'architecture spatiale et terrestre correspond au choix du lieu de construction. Il n'existe conséquemment pas d'intérêt à les étudier de façon séparée autrement que pour en préciser les particularités. De façon similaire à l'étude de l'architecture vernaculaire sur Terre qui démontre les intérêts de ces types de constructions, interroger sur la spécificité des futures colonies lunaires induit un questionnement sur leurs éléments fondateurs, et il devrait être montré de ce fait en quoi elles sont éventuellement dignes d'être spéculées, imaginées, conçues et construites. C'est précisément dans cette stratégie que se place ce mémoire, même si une généralisation à l'architecture non-spatiale pourra en être tirée dans les dernières parties de ce dernier.

Il est alors possible de comprendre l'architecture spatiale comme une spécialisation de l'architecture (au même titre que l'architecture navale par exemple), dans la mesure où l'exercice de conception dans l'espace nécessite l'emploi des mêmes outils que pour les constructions terrestres, adjoints d'autres outils spécifiques au spatial. Ce dernier point est néanmoins encore sujet à débat aujourd'hui. Pour certains, dont Ted Hall, c'est l'architecture terrestre qui est une spécialisation de l'architecture spatiale²⁹ (fig. 5).

« L'architecture spatiale peut se comprendre dans sa définition la plus simple comme l'ensemble des théories et pratiques de la conception et de la construction d'habitats dans des milieux extra-terrestres. »³⁰

²⁹ ADAMS, Constance. *(Aero)Space Architecture takes flight*

³⁰ SHERWOOD, Brent. *Organizing Ourselves: Schema to Build the International Space Architecture Community*. Dans : *Space*

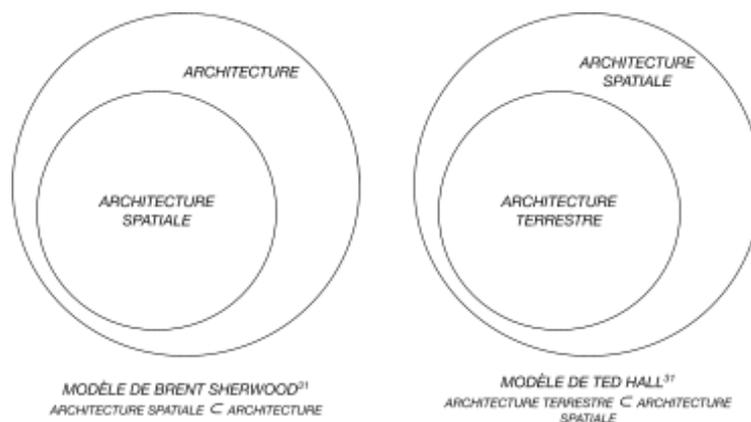


Fig. 5 Diagramme représentant les deux modèles du lien d'inclusion entre architecture terrestre et spatiale existant. *Image de l'auteur*

Comme sur Terre, la Lune est un terrain propice à l'édification de constructions qui pourront être nommées architecture. En validant l'existence d'une "architecture lunaire", il est permis dans la suite de ce mémoire de soutenir une argumentation autour de ce concept. De la même façon, par souci de simplicité, le terme d'*architectes* sera utilisé pour mentionner ceux qui concevront les futures colonies lunaires (même si leurs métiers n'est pas à proprement parler celui d'architecte : ingénieurs, dessinateurs, économistes...).

Mais cependant, l'existence de l'architecture lunaire, aussi indéfinie soit-elle pour le moment, ne précise pas les formes architectoniques qui sont compatibles avec cette dernière. Il est donc proposé comme premier objectif de ce mémoire de lever cette indétermination. **Quelles formes pourra et devra prendre l'architecture lunaire dans l'éventualité de sa réalisation ?** Il pourra alors être interrogé dans une seconde partie **dans quelle disposition l'architecture lunaire peut-elle modifier la définition de vernaculaire ?**

À la suite de cette introduction, une première partie cherchera à dépeindre ce que pourrait et devrait être pragmatiquement les futures colonies lunaires de façon à garantir toutes les exigences imposées dans l'ambition d'un programme spatial habité. Ce développement, emprunté de la méthode prospective (futurologie), s'orientera autour de cinq axes : sécuritaire, économique, politique, temporel, technique et typologique. De façon à mieux appréhender ceux-ci, un rappel des contraintes qui résident à la surface du satellite pourra être également fait sommairement. La notion de déterminisme géographique sera ainsi amenée à être soutenue comme modèle de référence dans le cadre d'architectures en milieux extrêmes.

À partir de ces constats, la seconde partie de ce mémoire s'orientera vers la question de l'architecture vernaculaire. En accord avec les intérêts de s'interroger sur cette notion sémantique (intérêts qui seront par ailleurs développés plus en détails), il pourra être démontré la multiplicité des définitions de vernaculaire. Sur ce constat, il sera proposé une nouvelle analyse des travaux faisant suite à la charte de Venise de 1964, notamment ceux du Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS). Sur leur base, et au regard du postulat de l'architecture lunaire vernaculaire, trois modèles de conception distincts -direct, indirect et hybride- seront développés.

Enfin, une dernière partie aura pour fonction de faire un retour sur la justesse des hypothèses initiales, et des conséquences qu'elles ont sur la validité du raisonnement soulevé dans ce mémoire ; avec, en particulier, les avantages et inconvénients inhérents à l'emploi de la méthodologie perspective et des interprétations stochastiques qui en découlent. Aussi, le bien-fondé de la Lune comme approche pour l'établissement d'une nouvelle définition de l'architecture vernaculaire pourra là aussi faire l'objet d'un retour. Différentes annexes compléteront en fin de document les thèses soutenues dans ce mémoire.

³¹ SHERWOOD, Brent. Organizing Ourselves: Schema to Build the International Space Architecture Community. Dans : *Space*

Quelle architecture lunaire ?

Comment, par quels procédés techniques, seront construits les futurs habitats coloniaux ? De quoi seront-ils faits, et quelles morphologies auront-ils sur la Lune ?

La Lune, à l'instar de l'espace ou d'autres milieux tout aussi extrêmes à la vie, impose de prendre en compte l'ampleur de l'inhospitalité de son environnement. L'histoire du programme Apollo est en d'ailleurs un des exemples ; le travail de près d'un demi-million d'ingénieurs a été réquisitionné pour permettre la survie de l'Homme à la surface de la Lune ne serait-ce que pour quelques petites heures³². Aujourd'hui encore, les difficultés expérimentées lors de ce programme se réitérent, les meilleures estimations annoncent un retour d'astronautes à la surface du satellite terrestre que d'ici 2024³³, et ce malgré l'aide des nouvelles technologies apparues depuis.

La prospective et la futurologie sont une réponse pratique au besoin d'estimer comment loger les populations nouvelles³⁴. Ces termes, qui peuvent être attribués avec cette signification à Gaston Berger, sont alors étroitement liés aux études démographiques. Dès 1957, la méthodologie prospective est employée à grande échelle (du moins, en France³⁵), et en 1965, elle est définitivement reconnue avec la création du Groupe International d'Architecture Prospective (GIAP) en 1965 par Michel Ragon. Telle que définie par ce dernier, la base de la méthode prospective est la mise en hypothèse de scénarios à venir, et des pratiques architecturales qui doivent donc être prévues en conséquences. De ce fait, les aléas des scénarios initialement prévues peuvent être évités. Michel Ragon présente à ce titre dans son livre *Prospective et futurologie* l'exemple de la construction de villes anti-atomiques, notamment conçues par le stratégeste militaire américain Herman Kahn³⁶. Le recours à la méthode prospective est donc assez commun chez les architectes, dans la mesure où ils conçoivent des bâtiments dont la durée de vie couvre généralement plusieurs décennies après la fin de leur construction, et donc sont conçus en conséquence pour être adaptés aux futurs besoins. L'utilisation de la méthode prospective et de la futurologie³⁷, est donc une approche anticipationnelle qui cherche à répondre à la question « Où vivrons-nous demain ? ».

« Le futurologue se propose de projeter dans l'avenir l'état actuel du monde, c'est-à-dire d'en drainer l'évolution, en distinguant ce qui est d'ores et déjà inéluctable et ce sur quoi on peut agir. »³⁸

³² THIMMESH, Catherine. *How 400,000 People Landed Apollo 11 on the Moon*

³³ se référer à la figure 1

³⁴ RAGON, Michel, FRIEDMAN, Yona, MAYMONT, Paul, et al. *Manifeste du Groupe International d'Architecture Prospective*

³⁵ avec le Centre International de Prospective (CIP) et avec la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (DATAR), qui estiment les besoins politiques et économiques à venir en France pour le développement de schémas d'urbanisation³⁴.

³⁶ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*. 3 : Prospective et futurologie. Paris : Casterman, 1978. ISBN 978-2-203-23137-5.

³⁷ Dans son livre *Prospectives et Futurologie*³⁴, Michel Ragon place le chapitre des habitats lunaires dans une seconde partie, dédiée à la futurologie plutôt qu'à celle s'adressant aux exemples liés à la prospective (à la publication de son livre en 1978, la colonisation de la Lune relève alors complètement de la science-fiction). Dans la mesure où une grande part d'incertitudes réside dans la date effective d'établissement de colonies lunaires, il est proposé dans ce mémoire d'utiliser les deux termes de prospective et futurologie sans distinction (bien que Michel Ragon tend à démontrer qu'il existe quelques subtilités entre ces notions qui vaudraient utiles de remarquer: La prospective se cantonne à des scénarios dont les prévisions de plus long terme ne dépassent pas 25 ans, à l'inverse de la futurologie qui se permet l'étude des perspectives plus lointaines). Ainsi, si les deux méthodes sont similaires sur leurs approches, leurs résultats diffèrent de par leur marge d'erreur.

³⁸ La Futurologie. Dans : *Revue interne des sciences sociales*

La validité des productions architecturales issues de la futurologie dépendent donc de la justesse de mise en hypothèse initiale (selon Alain Touraine, et de façon simplifiée à l'extrême, la prospective peut, si elle est mal comprise, tenir du prophétisme³⁹). En ce sens, les villes suivant le modèle d'Herman Kahn souffrent du fait que la guerre atomique anticipée n'ait finalement pas eu lieu. À l'inverse, l'absence d'événements d'ampleurs autres que ceux initialement prévus est préalable à la futurologie. En d'autres termes, toute apparition d'une pratique ou d'une technologie nouvelle (de saut technologique) qui changerait de façon fondamentale la façon de vivre dans des architectures est à proscrire⁴⁰.

« Les "cités de l'avenir" que nous décrivons [les futurologues] sont le résultat d'hypothèses techniques et sociologiques actuelles que des événements imprévus peuvent remettre en question. Ce qui nous paraît relever de la science-fiction sera peut être une banalité quotidienne dans l'avenir, et ce qui nous semble relever de l'avenir une déjà vieille science fiction. »³⁸

Or, concevoir des projets spatiaux habités requiert de s'adapter aux nombreuses contraintes et risques inhérents à l'espace extra-atmosphérique. Les programmes spatiaux se veulent cohérents par rapport aux risques encourus, et se situent dans un pragmatisme absolu. Rien n'est laissé au hasard ; le rôle des matériaux et des techniques, l'aménagement extérieur, les usages, les fonctions et les procédés constructifs des habitats font l'objet d'une analyse poussée qui cherche à mettre en avant une solution technique qui répond parfaitement aux caractéristiques/contraintes du milieu. Un seul choix persiste, celui de l'optimisation.

Cette partie s'intéresse ainsi aux différentes formes envisageables que pourront prendre en conséquence les constructions lunaires. Connaître le champ des possibles de cette architecture nécessite de comprendre les contraintes liées au choix de la Lune comme site. Mais aussi, les questions sécuritaires, temporelles, économiques et politiques sont à soulever.

Au travers de la méthode mise en avant par Michel Ragon, les travaux de concepts d'habitats lunaires préexistants seront réemployés. S'il est clair que les sciences sociologiques sont également nécessaires pour la mise en place de la méthode prospective³⁹, elles ne seront évoquées ici que de manière succincte dans le cadre restreint de ce mémoire.

Contraintes à la surface de la Lune

Accomplir les ambitions de colonisation de la Lune oblige de surmonter les défis imposés par le choix de ce lieu si peu hospitalier. La Lune n'est pas accueillante pour des êtres vivants. Il ne serait pas possible de décrire une quelconque architecture lunaire sans mentionner les dangers encourus pour ceux qui auront à vivre à la surface du satellite. Sur la Lune, ces risques sont de tous bords, du manque d'atmosphère à sa surface aux rayonnements solaires qui la balaient. De la même manière que les contraintes climatiques façonnent l'architecture sur Terre⁴¹, ces risques joueront dans une bien plus grande ampleur un rôle majeur dans la conception d'habitat adaptées aux conditions sélénites⁴². La liste ci-dessous n'a pas l'ambition d'être exhaustive de toutes les contraintes envisageables, ni même classée par ordre d'importance, mais aura comme but de

³⁹ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*. 3 : Prospective et futurologie. Paris : Casterman, 1978. ISBN 978-2-203-23137-5.

⁴⁰ Si les technologies ont grandement évolué depuis les projets de colonisation datant de la fin des missions Apollo, les connaissances sur les contraintes lunaires et les principes physiques qui en découlent n'ont que peu subi d'évolution. De ce fait, il est possible de comprendre en quoi les projets conçus il y a près de 50 ans soient proches de ceux imaginés aujourd'hui.

⁴¹ FITCH, James Marston et BOBENHAUSEN, William. *American Building: The Environmental Forces that Shape it*

⁴² COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

mieux faire comprendre les principaux défis à relever pour le développement d'architectures lunaires. Cette approche a pour objectif de souligner des premiers éléments significatifs de l'expression de l'architecture lunaire.

Absence d'atmosphère

La densité de l'atmosphère lunaire étant extrêmement faible, elle est généralement considérée comme insignifiante, dans le sens où la Lune est présentée comme entourée par le vide⁴³. De ce fait, la surface de la Lune est marquée par l'absence d'oxygène nécessaire à la survie de l'Homme, mais aussi par l'absence d'une pression atmosphérique tout aussi nécessaire. Tout habitat lunaire doit donc remplacer ces manques, par la présence obligatoire de systèmes pour la génération d'une atmosphère artificielle. Également, son maintien doit être assuré. Cela implique nécessairement une étanchéité parfaite ainsi que de filtrer les éléments nocifs à la survie et au confort des spationautes : CO₂, humidité, odeurs... (voir *figure 6*). Il s'emploie en ce sens à dire que ce sont ces systèmes de support-vie qui seront les plus présents dans la configuration des habitats et du mode de vie des habitants⁴⁴. Par exemple, la capacité de production d'oxygène limitera le nombre d'habitants dans la base, et donc le volume global de cette dernière. Pareillement, le recours à des sas de décompression pour les entrées/sorties des habitants semble inévitable.



Fig. 6 Photographie du module de commande de la mission Apollo 1, après son incendie (provoquée en atmosphère d'oxygène pur, 1967). Cet événement a coûté la vie aux astronautes Virgil Grissom, Edward White et Roger Chaffee et a foncièrement changé les procédures de gestion de l'atmosphère dans les missions spatiales habitées suivantes. Source : www.universetoday.com

Gravité faible

La Lune, moins volumineuse et massive que la Terre, présente un champ de gravité réduit par rapport à cette dernière (il peut être approximé à un sixième du champ de pesanteur terrestre). Entre autres, ce phénomène pourra avoir un impact certain sur le corps humain (atrophie des muscles, ostéoporose...)

⁴³ D'un point de vue stricto-sensu, il existe bien une atmosphère sur la Lune. Cependant, à près d'un millionième de la densité de l'atmosphère terrestre (au niveau de la mer), le terme de exosphère/d'endosphère sera préféré. Parler d'un manque d'atmosphère à la surface du satellite est donc le fruit d'une simplification avouée.

⁴⁴ FERRALL, J. F., GANAPATHI, G. B., ROHATGI, N. K., et al. Life support systems analysis and technical trades for tieta lunar outpost

sans exercices physiques réguliers. Des équipements adéquats devront donc faire partie intégrante des habitats sélénites. Mais aussi, les déplacements à la surface de la Lune se font d'une tout autre manière que sur Terre. Libérés des lourdes combinaisons en intérieur, les futurs colons auront à prendre soin à limiter l'amplitude de leurs mouvements de déplacements, au risque en particulier de percuter le plafond.

« La conception [d'habitats lunaires] doit notamment tenir compte de cette aisance de mouvement avec une certaine marge de sécurité »⁴⁵

Mais aussi, ce sont les structures des habitats qui seront directement impactées par le faible champ de pesanteur. Adjoint à l'absence d'atmosphère dont les tenants ont été définis plus haut, il est ainsi envisageable des structures légères, portée par l'unique différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitat. Cependant, d'autres stratégies structurelles sont elles peu compatibles avec cette faible gravité :

« Il nous faut prévoir tous les cas possibles en ce qui concerne les sols. La densité lunaire étant un sixième de celle de la Terre, le poids compte moins. Il n'est donc pas question de pouvoir construire par éléments tenants par frottement : je pense à un système de mâts et de câbles permettant une construction auto-stable [...] Le problème à résoudre dans le cosmos est l'inverse de celui posé aux ingénieurs qui ont construit le premier bathyscaphe. Au lieu d'avoir à résister à des pressions extérieures, ces constructions peuvent avoir à subir des tractions »⁴⁶

Micrométéorites

Depuis sa formation, la Lune a subi l'impact d'objets célestes, de bolides, qui ont façonné sa surface, disséminant des cratères sur ces deux faces visible et cachée. Les plus gros de ces cratères, dont les collisions remontent à la période de l'Ératosthénien⁴⁷ (équivalant à l'Archéen sur Terre, il y a environ deux milliards d'années⁴⁸), sont visibles à l'œil nu de la Terre. En ce sens, toute construction lunaire devra se faire en connaissance de ce paysage, sur un astre marqué par ces impacts. Si la probabilité d'impact d'une météorite de telle ampleur est très peu probable aujourd'hui, il persiste encore aujourd'hui le risque des micrométéorites pour les constructions lunaires. La surface de la Lune est exposée à un flux continu de micro-particules, dont la taille dépasse rarement le demi-millimètre de diamètre⁴⁹. Leur chute en pluie éparsée présente un danger de par leur vitesse de déplacement et d'impact, avoisinant généralement plusieurs kilomètres par seconde (c'est-à-dire plusieurs dizaines de milliers de kilomètres par heure, *fig 7*). Même si le nombre de collisions éventuelles sur la surface réduite d'un habitat lunaire est faible, la vitesse avec laquelle ces bolides se déplacent implique une énergie cinétique à l'impact très grande. De ce fait, un simple grain de poussière serait en mesure de percer et provoquer une décompression lente mais fatale. Les habitats lunaires nécessiteront donc des systèmes de protection, dont l'application pourrait s'apparenter à celle du bunker. Plusieurs technologies sont envisageables à cet effet : utilisation de double-parois, d'un parement renforcé en

⁴⁵ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

⁴⁶ MAYMONT, Paul. *Prospective et futurologie*

⁴⁷ TAYLOR, Stuart Ross et MCLENNAN, Scott M. *Planetary crusts: their composition, origin and evolution*

⁴⁸ BOUHALLIER, Hughes. *Evolution structurale et métamorphique de la croûte continentale archéenne*

⁴⁹ ALLEN, Christopher S et COOPER, David W. *Proposal for a lunar tunnel boring machine*

kevlar, ou encore d'une épaisse couche de roches. Ces éléments, devant être placés en extérieur, amèneront à façonner l'allure des futures colonies lunaires.



Fig. 7 Photographie d'un bloc d'aluminium (épaisseur 20 cm) ayant subi en laboratoire l'impact d'un projectile en plastique de 14 grammes lancé à 24 000 km/h. Cet essai présenté en 2018 démontre l'importance des éléments de protection contre les météorites. Source : *bigthink.com*

Absence de champ magnétique et radiations

Le flux cosmique est un flux de particules qui ont pour principale source le Soleil. Ce dernier émet en effet en permanence un flot d'énergie d'électrons, protons et de particule alpha qui prennent alors plusieurs formes, lumière visible, ondes radio, ultraviolets et infrarouges mais aussi des rayons X et gamma. À forte dose, ces rayonnements qui se propagent dans l'espace peuvent être mortels pour l'Homme. La Terre présente l'avantage de posséder un champ magnétique l'entourant, qui filtre une grande partie de ces rayonnements cosmiques. De même, l'atmosphère terrestre joue le rôle de seconde protection, et protège de ceux qui parviendraient à franchir la magnétosphère. Au regard de cela, la Lune ne possède ni atmosphère, ni magnétosphère. Elle n'est donc pas à l'abri des radiations cosmiques mortelles qui balayent alors sa surface constamment. Si faire des sorties extra-véhiculaires (EVA en anglais) de courte durée est envisageable sans protection autre qu'une combinaison personnelle⁵⁰ par temps calme (c'est-à-dire en dehors des éruptions solaires), il serait dangereux d'exposer sur de longues périodes les colons. De ce fait, leurs habitations devront proposer des protections efficaces contre les rayonnements cosmiques : matériaux réfléchissants, absorbants.... Il est à noter que certaines formes de ces éléments de sécurité pourront jouer le double rôle de boucliers contre les radiations et de protection contre les micrométéorites.

⁵⁰ L'irradiation par rayonnements cosmiques reste alors un facteur de risques considéré comme très important ; obligeant les actuels spationautes à porter en permanence sur eux en cas d'EVA un dosimètre, appareil dérivé des compteurs Geiger

Cycle jour/nuit très long

Le cycle jour/nuit lunaire est très différent de celui sur Terre : le jour lunaire est de 29,53 jours terrestres (soit 336 heures de nuit et 336 heures de Soleil)⁵¹. La durée de ce cycle peut poser problème pour la psychologie et le rythme de vie des futurs sélénites, mais aussi pour la production d'énergie électrique à partir de fermes photovoltaïques.

« Mais ici intervient la grande différence qui existe entre le jour lunaire et le jour terrestre ; l'un est trente fois environ plus long que l'autre. Il est à présumer que l'Homme gardera sur la Lune son rythme nyctéméral terrestre, ou le double au plus de ce rythme, si l'on se reporte aux expériences de Michel Siffre, dont on ne sait pas d'ailleurs quels traumatismes peuvent en être la conséquence prolongée. »⁵²

Une première solution, non envisageable dans le cas d'une colonisation permanente, serait de simplement se limiter à des séjours lors des journées lunaires. Une autre solution serait de profiter des zones polaires où la courbure de la Lune permet de dilater le cycle jour/nuit comme sur Terre. Par exemple, s'installer aux sommets près des pôles permet de profiter d'un jour infini au prix de ne pouvoir profiter de la nuit, et d'imposer effets psychologiques en conséquence, mais aussi d'imposer dans ce cas le positionnement des bases lunaires qu'à des zones très réduites par rapport à l'immensité de la surface de la Lune. Dans tous les cas, la morphologie des futures colonies lunaires devra permettre par leur localisation ou de par des artifices (éclairage artificiel variable) assurer le confort visuel et psychologique de ses habitants.

Températures extrêmes

En conséquence de l'absence d'atmosphère lunaire et d'un cycle jour/nuit très long, les températures à la surface de la Lune varient dans une fourchette plus vaste que sur Terre. L'environnement lunaire peut être en effet très froid pendant la nuit (ou à l'ombre, de -100 à -150°C) et très chaud lorsqu'il est exposé au Soleil (de +100 à +150°C). Ainsi, il est nécessaire de pouvoir réguler ces températures extrêmes pour que les spationautes puissent vivre dans un environnement viable, mais aussi confortable. L'absence d'atmosphères, et donc de transfert de chaleur par convection, limite grandement les effets de ces températures extrêmes. Ce néanmoins, les transferts de chaleur par conduction sont toujours possibles au niveau du sol. Les futurs habitats lunaires devront donc proposer des solutions techniques afin d'assurer la bonne température des surfaces accessibles à l'intérieur de l'habitat, au moyen de parois isolantes ou de planchers à cloisons par exemple.

Absence de diffusion de l'éclairage solaire

L'héliophysicien Maurice Touchais résume les problématiques liées à la diffusion de l'éclairage solaire issu du manque d'atmosphère (voir fig. 8) dans son livre *le Soleil et les habitations lunaires (et les stratégies architecturales qui en découlent)* :

⁵¹ ROTTIER, Guy. *Lettre à Michel Ragon*

⁵² TOUCHAIS, Maurice. *Le Soleil et les habitations lunaires*

« La pression interne interdit les fenêtres dans leur conception terrestre ; seuls les hublots sont possibles, et seule la lumière directe peut les traverser (il n'y a pas de ciel) et l'éclairage, en fonction de l'angle d'incidence, serait très variable. Or les hublots sont des raisons de contraintes mécaniques et les points de moindre résistance dans la paroi de l'enceinte, qu'il y a intérêt à ne pas multiplier. On pourrait, il y est vrai, imaginer un miroir extérieur orientable et un système de lumiducs analogue à celui que nous avons proposé en océanologie pour l'éclairage solaire des habitations profondes sous-marines, habitations qui ont de nombreuses analogies avec les habitations lunaires. [...] L'éclairage solaire, techniquement difficile, ne servirait en somme, tout au plus, le quart du temps et non la moitié comme en océanologie. La puissance installée en éclairage artificiel ne serait donc pas modifiée ; le supplément d'énergie nécessité par le remplacement de l'éclairage naturel, ne modifiera pratiquement pas la puissance maximale des convertisseurs et accumulateurs d'énergie. La conclusion est simple pour si inattendue qu'elle soit : l'habitation lunaire, a fortiori lunaire, est une enceinte aveugle. »⁵³

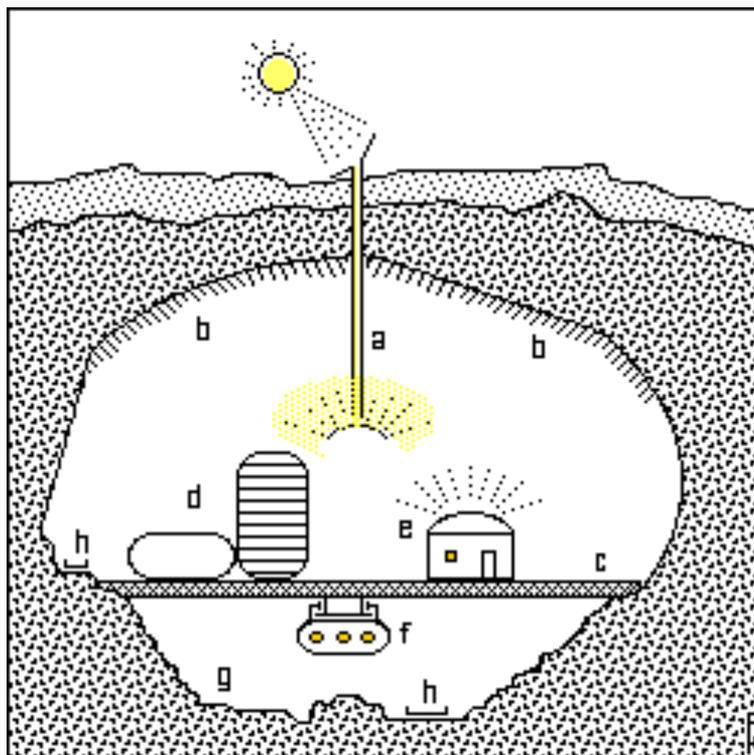


Fig. 8 Coupe de principe du lumiduc tel que décrit par Maurice Touchais pour un habitat lunaire enterré (a. captage solaire et diffuseur, b. mécanisme de firmament, c. pont réservé aux habitations, d. support-vie, e. maison à dôme translucide pour capter un maximum de lumière ambiante, f. système de déplacement sur rail, g. sol du tube de lave intouché, h. corridor). Source : strabo.moonsociety.org

⁵³ TOUCHAIS, Maurice. *Le Soleil et les habitations lunaires*

Ressources locales très limitées et difficultés d'approvisionnement

Les derniers rapports issus du *LRO* démontrent la présence de nombreuses ressources minières, abondantes et variées⁵⁴. Cependant, en l'absence de chaîne d'extraction et de raffinement comme sur Terre, l'accès à ces ressources locales ne peut se faire sans un investissement important (mise en place d'une chaîne de production industrialisée pour la transformation des ressources locales en matériaux utilisables pour la construction). La conséquence directe de l'inexploitabilité des ressources locales implique pour l'architecture des futures colonies lunaires l'emploi quasi-exclusif de matériaux importés depuis la Terre. De plus, la nécessité de passer encore aujourd'hui par des fusées très puissantes pour le fret en direction de la Lune impose des contraintes importantes au décollage pour leurs chargements. Indubitablement, les éléments de construction qui seront envoyés à la surface de la Lune (outils, matériaux de construction...) auront comme exigence des limitations strictes en masse et volume⁵⁵. À cette difficulté s'ajoutent les nombreux risques imposés par l'utilisation de ces technologies de lanceurs, qui imposent donc des directives afin d'assurer la capacité du fret à supporter les nombreuses contraintes lors de leur transport (résistances aux fortes accélérations, aux vibrations...). S'il n'est pas impossible que ces contraintes ne se traduisent pas spontanément par une rusticité des éléments de constructions mise en oeuvre dans les futurs habitats lunaires, il est probable que celles-ci se traduisent par une certaine frugalité en matériaux de construction : les constructions de petite taille, demandant moins de ressources, pourront être préférées.

Poussières dangereuses omniprésentes

La surface de la Lune est recouverte d'une matière pulvérulente, dont la granulométrie varie de quelques micromètres à des rocs affilés de plusieurs dizaines de mètres⁵⁶. Le terme commun de *régolithe* est généralement retenu à cet usage. La faible gravité lunaire offre la possibilité aux plus petites poussières de rester en suspension longtemps au-dessus du sol, ainsi que d'attendre les zones les plus hautes des constructions qui seront faites sur la Lune dans le cadre de sa colonisation. Or, le régolithe lunaire représente un danger important, aussi bien pour le matériel et habitations que pour les habitants eux-mêmes. En particulier, leur manipulation dans un environnement saturé avec ces poussières amène à une fatigue prématurée. Ces manipulations devraient ainsi être limitées au maximum, par exemple uniquement pour le déploiement/mise en place des habitats (de ce fait, le déplacement de ces habitats semble présenter un risque important d'usure). Il est aussi envisageable que les sections des constructions soient surdimensionnées à des fins de marge de sécurité. De même, dans la mesure où le régolithe est dangereux pour l'Homme, des stratégies pour éviter le déplacement de poussière de l'extérieur vers l'intérieur des habitats devraient être employées. Par exemple, l'usage de sas pourrait prévaloir à ces fins, et ainsi caractériser les différentes entrées des colonies.

En accord avec les volontés exprimées par les politiques aux pouvoirs (celles du retour de l'Homme sur la Lune)⁵⁷, il est envisageable qu'une présence humaine soit permise sur l'astre lunaire et ce de manière continue. Ainsi, cette présence implique des moyens de survie en ce lieu hostile (combinaison spatiale, recycler d'air...), mais plus généralement aussi des moyens de vie (lieu de maintien en contact avec ses proches, développement de relations sociales entre spationautes...). La mise en place d'habitats, directement sur la

⁵⁴ TIETZ, Dale. Mining the Moon becomes a serious prospect

⁵⁵ Avec un temps de trajet minimum de trois jours, et avec le développement de lanceurs lourds réutilisables (notamment le *Starship* de la société SpaceX, les problèmes de récurrence d'approvisionnement semblent moins significatifs devant ceux de masse et volume.

⁵⁶ ALLEN, Christopher S et COOPER, David W. *Proposal for a lunar tunnel boring machine*

⁵⁷ TRUMP, Donald J. *Executive Order 139146* avril 2020. [Consulté le 13 juin 2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2020-04-10/pdf/2020-07800.pdf>.

Lune, aura donc pour but d'assurer ces deux fonctions de survie et de vie. Il s'agit là de premières indications quant aux formes que prendront les colonies lunaires.

« Sur la Lune, pas de son, pas d'odeurs, pas d'atmosphère, pas de ceinture magnétique. Les particules radioactives crachées par le soleil criblent la Lune de plein fouet. Aussi il est difficile d'envisager un habitat sur la Lune qui ne soit blindé ou enfoui dans le sol. »⁵⁸

À noter que bien que les contraintes lunaires dépeignent un environnement extrêmement contraignant, l'inhospitalité du satellite est à mettre en comparaison avec la Terre, elle-même peu accueillante. En effet, de nombreuses régions terrestres sont peu propices à la vie de l'Homme (sans citer déserts et montagnes, il est à rappeler que près de 70% de la surface de la planète est recouverte d'eau). Pourtant, Il a su maîtriser ces éléments en adaptant ses constructions, de la base antarctique *Halley VI* d'Hugh Broughton aux maisons pélagiques *Précontinent III* de Jacques-Yves Cousteau. Michel Ragon témoigne ainsi :

« Le globe terrestre, dans son ensemble, n'est-il pas peu propice à la vie humaine puisque les trois cinquièmes de sa superficie sont sous les eaux, et que les terres émergées comptent de larges secteurs de montagnes, de déserts, de glaciers, de marais et autres lieux difficilement habitables ? D'où la prospective actuelle quant à la colonisation des mers et la futurologie de la colonisation planétaire. D'où la prospective actuelle d'un habitat spatial et souterrain »⁵⁹

En somme, Michel Ragon renforce l'idée qu'il est possible de vivre dans des milieux particulièrement hostiles, qu'ils soient terrestres ou lunaires. Mais aussi, les difficultés qui seront à surmonter pour établir des colonies sélénites peuvent être justifiées par les mêmes difficultés qui prévalent sur Terre, limitant ici-bas aussi l'étalement des constructions.

Par ailleurs, ces éléments ne sont pas que contraignants. Il faut comprendre dans la liste établie plus haut les spécificités du milieu lunaire ; et non pas seulement des contraintes. Certes, elles impliquent nécessairement une réponse architecturale en conséquence, mais elles apportent tout aussi quelques avantages non négligeables si elles sont exploitées convenablement. Par exemple, la faible gravité permet de réduire significativement les dimensions des éléments porteurs. L'absence d'atmosphère permet quant à elle le déploiement de structures autoportantes (gonflables) sur des très grandes portées par le différentiel de pression entre intérieur et extérieur. Les poussières au sol peuvent aussi servir de matériau de construction au travers de technologies de fabrication additive (d'impression 3D⁶⁰), réduisant ainsi le transport de matériaux de construction lourds depuis la Terre. La notion de *contraintes* est ainsi trop réductrice ; au même titre que celle de *risques naturels*.

La compréhension de la spécificité du milieu lunaire amène ainsi à imaginer des contraintes et ressources qui peuvent amener à plusieurs formes de réponse dans la mise en place de colonies sélénites. Ces contraintes et ressources peuvent être classées en grandes catégories ; notamment techniques, économiques, sociologiques,

⁵⁸ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

⁵⁹ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

⁶⁰ KESTELIER, Xavier De, DINI, Enrico, CESARETTI, Giovanni, et al. *3D printing regolith as a construction technique for environmental shielding on the moon*

ou encore politiques^{61,62}. Pour la mise en place d'une colonie lunaire, il est donc nécessaire de justifier de stratégies architecturales qui répondent à ces problématiques. Ne pas répondre à ces problématiques reviendrait à la conception d'un projet non viable (et donc par essence qui n'a pas d'intérêt dans l'objectif de la colonisation pérenne de la Lune)⁶³.

Étude préalable des besoins en sécurité de l'architecture lunaire

Comme ses analogues sous-marins et arctiques, le milieu spatial est lointain et dangereux pour l'Homme. Il demande donc des artifices pour assurer sa survie.

Les technologies spatiales sont extrêmement complexes, basées sur des connaissances théoriques poussées et des expérimentations perpétuelles. Comme décrites plus haut, les conditions dans lesquelles sont utilisées ces technologies sont aussi variées que dangereuses pour l'être humain. Mais aussi, les solutions techniques qui en résultent doivent pouvoir s'appliquer en conservant une masse la plus faible possible pour des raisons de faisabilité technique (qui demanderait autrement des fusées suffisamment puissantes pour envoyer leurs charges à leur destination) et économique (contrôle du prix de l'envoi du kg dans l'espace). Les lanceurs⁶⁴, bombes composées d'un amas de plusieurs milliers de pièces mobiles (à titre d'illustration, près de 2,5 millions pour la navette spatiale américaine pour une puissance destructrice équivalente proche de plusieurs centaines de tonnes de TNT, voir fig. 9)⁶⁵ sont à ce jour le seul moyen de transport disponible aux spationautes et au matériel pour se rendre en orbite et au-delà.



Fig. 9 Photographie de l'explosion au décollage de la navette Challenger le 28 janvier 1986, ayant entraîné la mort de ses sept membres d'équipage. Cet événement, couplé à la perte de la navette Columbia en 2003, est à l'origine des procédures de gestion des risques beaucoup plus strictes en application aujourd'hui dans l'aérospatiale. Source : nasasearch.nasa.gov

Au début de l'ère des missions américaines Apollo (années 1960, voir introduction), le cas lunaire a été sujet à une évaluation probabiliste des risques par Général Electric alors sous contrat de la NASA. La probabilité de

⁶¹ Les facteurs socioculturels peuvent ainsi se comprendre comme (en partie au moins) une contrainte des ressources (humaines) : Les futurs habitats sélénites auront à répondre à la nécessité de compatibilité avec les modes de vie humains même sur la Lune. Cette nécessité est par ailleurs justifiée par des expérimentations à grande échelle initiées par les agences spatiales (avec à titre d'illustration l'expérimentation Mars 500⁶¹)

⁶² *Mars500: study overview*

⁶³ Cela reviendrait à se placer dans un autre cadre d'étude, par exemple celui d'une architecture temporaire, apportant d'autres conclusions qui ne font pas le sujet de cette étude dans ce mémoire.

⁶⁴ *id est* des fusées, ou tout autre aéronef spatial s'y apparentant (navette, SSTO...)

⁶⁵ KAREN S. BERNSTEIN. *Structural design requirements and factors of safety for spaceflight hardware for human spaceflight*

réussite (c'est à dire de faire alunir deux astronautes et de les ramener sains et saufs sur Terre) avait alors été évaluée à 5,5%⁶⁶. Or, cette statistique exclut les considérations inhérentes au fait de rester de façon pérenne sur la Lune pour la coloniser, seules les difficultés de transports sont traduites dans ce nombre. Il est donc très probable que la mise en place de colonies sélénites amène de nombreux autres dangers supplémentaires (même si il est vrai qu'avec le développement des technologies spatiales et de l'expérience acquise au cours des soixante dernières années, cette statistique soit réévaluée à la hausse⁶⁷). Toute mission spatiale habitée, et ce même réduite à un simple déplacement interplanétaire, admet donc des risques très importants. Les futures constructions lunaires devront donc assurer la sécurité de ses habitants même loin de la Terre ou, au mieux, ne pas amplifier les risques encourus par les spationautes d'après l'architecte et futurologue Guy Rottier⁶⁸.

« Il est certain que, tout du moins dans un premier temps, ne seront envoyés sur la Lune que des hommes (des deux sexes peut-être) hautement spécialisés, pour lesquels une préparation spéciale a été nécessaire pendant des années. Ils représenteront pour le pays ou l'organisme qui les envoie un capital inestimable et irremplaçable. L'organisation de leurs conditions de vie devra donc se faire avec un maximum de précautions et un minimum de risques afin qu'ils puissent rapporter ou transmettre en toute sécurité le plus grand nombre de renseignements. »⁶⁹

Depuis le début de l'histoire des vols spatiaux habités, il a été mis au moins des méthodes d'abandon, sortes d'issues de secours adaptées à l'aérospatial. Selon les cas (type de lanceurs, nombre d'équipage, étape de la mission...), plusieurs variantes existent et sont utilisées. Elles prennent la forme de tour de sauvetage, de siège d'éjection, ou encore de tyrolienne de mise à distance hors du danger (*fig. 10*). Elles ont alors toutes pour but de retirer du danger toute personne concernée en cas de problème (elles concernent donc généralement les spationautes : déviation de la fusée par rapport à la trajectoire prévue, rupture de la structure des réservoirs de carburant ; mais aussi le personnel au sol : explosion sur le pas de tir...). Même s'ils mettent inéluctablement fin à la mission (dans le cas d'une colonie sélénite, la pérennité de l'installation serait alors compromise), les systèmes d'abandon sont considérés comme un des meilleurs moyens de protéger l'équipage. Or, ces systèmes ne sont compatibles que dans certains cas, notamment sur les fusées. Les systèmes d'abandon sont en effet peu envisageables dans le cadre d'habitats lunaires. En effet, l'abandon de la capsule/habitat n'est parfois pas possible, en particulier quand la capsule est devenue l'unique lieu de vie (et de survie) loin de la protection au niveau du sol. Pour cette raison, un procédé tend à prédominer comme stratégie de sécurisation; la démultiplication des systèmes dont dépendent la sûreté des astronautes. Ainsi, la redondance assure dans une certaine mesure une meilleure sécurité globale⁷⁰ si un des systèmes essentiels venait à faillir. Les quelques rares exemples d'habitats spatiaux pérennes (*fig. 11*) démontre l'utilisation de cette méthode.

⁶⁶ JONES, Harry W. NASA's understanding of risk in Apollo and Shuttle

⁶⁷ APOLLO RELIABILITY AND QUALITY ASSURANCE OFFICE. *Quarterly status report*

⁶⁸ ROTTIER, Guy. *Lettre à Michel Ragon*

⁶⁹ ROTTIER, Guy. *Lettre à Michel Ragon*

⁷⁰ Sauf dans quelques rares cas, comme avec la fusée lunaire russe H-1/N-1 dont toutes ses défaillances (quatre échecs sur quatre lancements) sont à imputer à une conception en démultiplication des composants par redondance.



Fig. 10 Photographie de la “Rubber Room” (1963). Située sous le pas de tir des fusées américaines Saturn V, elle joue le rôle de bunker en cas d’anomalie au lancement (son nom provient des coussinets de caoutchouc qui devaient amortir une éventuelle déflagration⁷¹). Les astronautes et le personnel au sol y ont accès au moyen d’un long toboggan. Source : scriptunasimages.wordpress.com

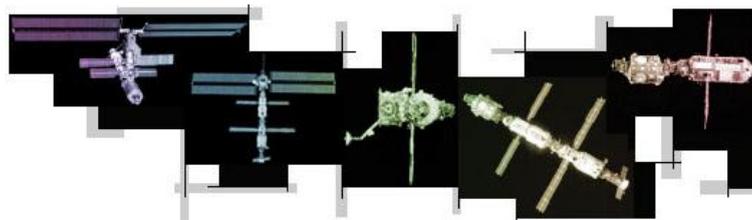


Fig. 11 Fresque photographique des rares exemples d’architectures spatiales pérennes réalisés (de gauche à droite) : ISS/Station Spatiale internationale (1998 -), 天宫一号/Tiangong 1 et 2 (2016-2019), М и р/MIR (1986 - 2000), Салют/Salyut 1 à 7 (1970-1991), et SkyLab (1973-1979). Image de l’auteur

Ainsi, il est nécessaire de rendre les habitats spatiaux, et en particulier lunaires (en raison des difficultés d'accès à l'aide associées à la distance Terre-Lune), plus sûrs. Outre les stratégies de redondance par démultiplication des systèmes, il est possible de concevoir chacune des pièces constituant avec des coefficients de sécurité plus importants. En sur-concevant tous les composants de l'habitat (conception surnuméraire par exemple), le risque de perdre l'équipage à la suite d'une défaillance majeure serait très faible, voire même plus faible qu'en rajoutant des pièces supplémentaires par redondance des systèmes⁷². Les principes des *failures modes* et de l'*effect analysis* (*modes de défaillance* et *analyse des effets*, ou *FMEA*) en particulier définissent en détail les procédures d'identification et de gestion des risques de défaillance majeure dans l'aérospatial⁷³ ⁷⁴. Par analogie, des mêmes coefficients de sécurité existent dans le monde du bâtiment sur Terre, en spécialité pour les calculs des structures (*Etat limite en service* en comparaison à l'*État limite ultime*⁷⁵).

⁷¹ Ainsi, la Rubber Room est un exemple convaincant d'une conception prospective, voir partie plus haut.

⁷² WILLIAM P. ROGERS. *Report of the presidential commission on the Space Shuttle Challenger accident*

⁷³ Concevoir un système complexe fiable comme un habitat lunaire implique d'étudier le système comme un ensemble, d'en identifier les points de ruptures critiques potentiels, et de projeter ces points à différents niveaux de limites pour un même conditions environnementales. Ce faisant, des tests physiques et des modélisations informatiques peuvent être menés afin d'assurer que les systèmes ainsi conçus sont en accord avec les besoins en termes de marge de sécurité. De manière simplifiée, tous les éléments de l'habitat sont étudiés et conçus pour pouvoir supporter un chargement une fois et demi supérieur à ceux qui leur seront appliqués dans le pire des cas quand une pièce est considérée comme "classique", et un chargement de deux fois supérieur sinon⁷⁴.

⁷⁴ MODLIN, C T et ZIPAY, J J. *The 1.5 & 1.4 Ultimate factors of safety for aircraft & spacecraft – History, definition and applications*

⁷⁵ Eurocodes: *Building the future - The European Commission website on the Eurocodes 130*

En somme, les principes de mise en sécurité des futurs occupants auront une place significative dans la conception des futures colonies lunaires. Des constructions extrêmement fiables, qui intègrent des systèmes de sécurité redondants et sur-dimensionnés pour en assurer la sécurité seront nécessaires. Il est donc possible de comprendre dans ces conséquences un premier élément définissant la façon dont seront conçues ces colonies. Mais aussi, il est très probable que ces mêmes questions de sécurité impliquent des formes morphologiques, architecturales permettant la réparation et l'entretien sur place dédiés habitats.

Néanmoins, même si les notions de sécurité apportent des pistes de réflexion intéressantes dans la conception d'habitats lunaires, elles ne permettent pas de répondre aux questionnements posés plus haut. En effet, la sécurité des futurs habitants ne permet pas de définir avec précision ce que sera l'architecture lunaire. En particulier, les multiples approches en matière de gestion administrative des risques impliquent autant de diversité des habitats.

Approche économique des futures architectures lunaires

L'histoire (voir frise historique en introduction, *fig. 1*) a déjà démontré par le passé au travers du programme américain *Apollo* la capacité d'envoyer des Hommes sur la Lune de façon relativement sûre⁷⁶. Il est donc possible de dire sans trop de risques qu'il serait aujourd'hui possible de réitérer, dans des conditions de sécurité équivalentes ou supérieures, des vols habités vers la Lune et de commencer sa colonisation. De nombreuses technologies existent et sont prometteuses. Les questions d'ordre sécuritaire sont elles aussi maîtrisées. Afin d'assurer dans le futur la réalisation de la colonisation de la Lune, il sera donc nécessaire de convaincre les gouvernements et investisseurs privés de se lancer dans ce défi nécessitant de lourds financements. Or, le domaine spatial est particulièrement gourmand sur le plan financier, en relève le budget annuel de ses acteurs (*fig. 12*). Ainsi, si le développement de ces questions d'ordre purement économique semblait initialement peu utile à ce mémoire, elles devraient en réalité être traitées de façon à suivre une approche prospective plus convaincante.

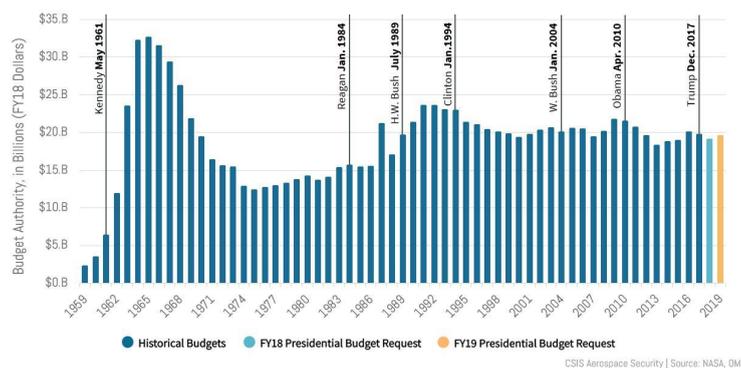


Fig. 12 Graphique du budget annuel de la NASA. Il représente une part non négligeable des dépenses du gouvernement américain, bien que très inférieur au budget militaire du pays (53% en 2020). Source : *spacenews.com*

Si une « analyse de structure d'une cathédrale gothique n'inclut pas nécessairement un débat sur l'aspect moral de la religion du Moyen Âge », et si Venturi et Scott Brown ne se sont pas questionnés sur les valeurs de Las Vegas dans leur étude architecturale de la ville⁷⁷, alors les raisons pourquoi (et si) une

⁷⁶ du moins de façon relativement sûre, au regard des quelques incidents majeurs, dont le plus marquant est peut-être celui de la mission Apollo 13. Il n'est cependant à déplorer la perte d'aucun Homme dans l'espace.

⁷⁷ VENTURI, Scott Brown. *L'enseignement de Las Vegas*

colonisation de la Lune est nécessaire ne devraient pas être à traiter pour la compréhension de son architectonique induite. C'est pour ces raisons qu'il avait été décidé dans les premières parties de ce mémoire de faire le choix de sous-estimer les questions d'intérêts qui devaient mener à la colonisation de la Lune. Cependant, ces éléments intentionnellement mis de côtés semblent être nécessaires pour parfaire l'étude des formes de l'architecture lunaire. En effet, remettre en cause l'éthique de chacune des visées qui pousse l'humain à se diriger vers la Lune permet de retrouver les aspirations et les enjeux qui le gonflent à suivre cet objectif. La morphologie que prendront les habitats spatiaux découlera directement des ambitions insufflées dans le programme de colonisation. Son architectonique, et le programme architectural associé, répondent à des ambitions initiales. À titre d'exemple, le dessein de rentabilité économique amènera à la mise en place sur la Lune d'installations minières alors que celui de développer le tourisme pourrait aboutir à des hôtels pour le tourisme de grand luxe. Celui de démonstration d'un savoir-faire technologique pourrait quant à lui amener à une production au format proche de celle de l'exposition universelle⁷⁸.

« La raison principale pour laquelle il n'existe pas de base lunaire à ce jour est le manque d'intérêt qui justifierait le recours aux ressources nécessaires à ce projet. »⁷⁹

De ce fait, il en ressortira une justification des investissements soulevés dans l'établissement d'habitats lunaires et une implication de celle-ci dans les formes qu'elles prendront. À l'inverse, il est difficile d'estimer l'avenir de la colonisation sélénite sans connaître les raisons qui la justifieront. Il serait alors dans ce cas difficile d'appliquer une approche prospective.

En parallèle de la nécessaire justification de l'emploi important de ressources financières (qui pourraient être utilisées à d'autres fins que pour le développement de projets spatiaux), il est envisageable que ces projets aient à contenir de façon significative leurs coûts. Il s'agit par ailleurs l'un des nombreux reproches qui peuvent être soulevés à l'encontre de la réalisation de tels programmes. Puisqu'il est peu probable qu'il soit possible dans le futur de profiter d'un budget illimité, le déploiement de stratégies de réduction des coûts en particulier devrait s'opérer. Elles pourraient en autres correspondre à une modulation du construit (modulation des matériaux de construction utilisés, modulation de la taille des habitats...) :

« En considérant le coût d'envoi au kilogramme, l'utilisation de ressources locales pour la construction de bases lunaires est une alternative valable pour rendre ce projet abordable »⁸⁰

⁷⁸ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

⁷⁹ GLOBUS, Al. *Interview [TDA]. Texte Original : «The fundamental reason there's not a base on the Moon today is there's not enough interest to justify the right resources necessary. »*

⁸⁰ LABEAGA-MARTÍNEZ, N., SANJURJO RIVO, Manuel, DÍAZ-ÁLVAREZ, José, et al. *Additive manufacturing for a Moon village [TDA]. Texte Original : « Considering the cost of sending mass to the lunar surface, the utilization of in-situ resources for building the lunar base is a suitable option to make this mission affordable. »*

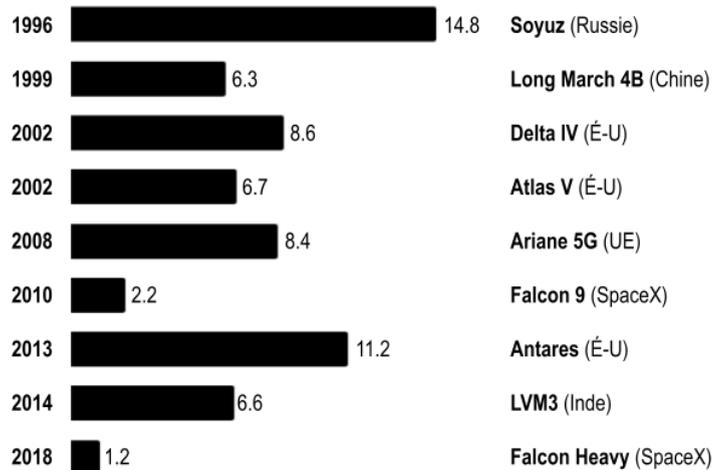


Fig. 13 Graphique des coûts d'envoi d'un kilogramme de fret (en milliers d'euros) selon les lanceurs actuels et leurs dates de mise en service⁸¹. Le développement de nouvelles technologies (fusées réutilisables entre autres) amène à une tendance de réduction des coûts depuis plusieurs années, et il est possible que la construction d'habitats lunaires suivent une approche similaire dans le futur.

Source : *Image de l'auteur*

Il risque alors de voir émerger un conflit entre la nécessité de réduction des coûts et les ambitions initiales des projets de colonisation lunaire. Lydia Kallipoliti témoigne à ce titre de la difficulté de préserver l'intégrité architecturale de projets monumentaux quand les capitaux et la performance scientifique ne sont pas présents⁸².

Il n'est pas impossible que les stratégies de réduction des dépenses susnommées ne soient pas suffisantes pour contenir les coûts de la colonisation de la Lune dans une enveloppe budgétaire limitée. Sans possibilité de financer ces projets, le plan des ambitions ne peut être dépassé. La réussite d'un programme de colonisation doit être jointe à des capacités de financement. Les estimations de la NASA et du secteur spatial privé envisagent la nécessité d'un investissement réparti sur dix ans de 15 à 30 milliards d'euros pour la construction d'une base lunaire⁸³. En comparaison, cette première étape de la colonisation de la Lune aurait un coût très inférieur à celui de la station spatiale internationale ISS (environ 120 milliards d'euros) ou comparable à celui de l'excédent commercial du secteur aéronautique en France en 2018. Lors de la première course à l'espace (en opposition à la seconde, qui se courre aujourd'hui pour l'accès aux ressources lunaires, voir introduction), les fonds étaient étatiques, ils provenaient essentiellement de pouvoirs politiques dans l'idée de lutte entre les deux blocs soviétique et américain. Aujourd'hui, les financements restent majoritairement publics, donc étatiques. Cependant, ils sont de plus en plus complétés par des financements privés⁸⁴. Il est en ce sens possible que seule une collaboration internationale soit en mesure de trouver les financements nécessaires à la réalisation sans limitations (et donc sans modulation de l'architecture) des ambitions initiales. Il est par exemple possible de mentionner la NASA qui a en 2019 confirmé sa volonté de s'associer avec l'ESA et son programme *Moon village* comme l'indique Thomas Ghidini. Plus récemment, les agences spatiales russe et chinoise ont

⁸¹ BACHMAN, Justin. New Space Race Shoots for Moon and Mars on a Budget. *Bloomberg.com*

⁸² KALLIPOLITI, Lydia. *The architecture of closed worlds*

⁸³ JOHANNES WEPPLER, BANDER, Ashley et SABATHIER, Vincent G. Costs of an International Lunar Base. *Center for strategic international studies*

⁸⁴ l'investissement en recherche et développement du programme lunaire américain est notamment fortement partagé aujourd'hui avec les sociétés SpaceX et Blue Origin.

indiqué leur volonté de collaborer ensemble dans leurs projets respectifs de base lunaire de façon à en partager les coûts⁸⁵.

« Il ne faut pas seulement une association de l'Europe avec seulement les Etats-Unis, mais selon toute évidence un travail collaboratif des Etats-Unis, de la Russie, de l'Inde, de la Chine, du Japon, du Canada pour une mission de cette envergure. »⁸⁶

De ce fait, les ambitions fortes de colonisation de la Lune peuvent nécessiter une association de financeurs pour ne pas souffrir de limitations des ambitions initiales. Elles devront alors être partagées par tous ces acteurs, et devraient avoir des effets importants sur les architectoniques lunaires en devenir. Dans un partage de leurs cultures constructives respectives (et de leurs ambitions respectives), il n'est pas impossible que l'association de plusieurs acteurs du spatial amène à la création d'un nouveau style architectural international.

Ainsi, cette partie tend à démontrer les intérêts soulevés par la mise en question des problématiques d'ordre économique. Celles-ci devraient impacter significativement les formes que pourront prendre les futures colonies lunaires. Il est difficile à ce niveau de pouvoir prétendre posséder tous les éléments d'analyse nécessaires à l'approche prospective.

Découpage temporel de la colonisation de la Lune

Les futurs habitats sélénites seront nécessairement contraints dans leur conception par des contraintes temporelles. De façon à définir les éléments constitutifs des habitats sélénites, il est proposé dans cette partie d'étudier le phasage impliqué par la colonisation de la Lune.

Les progrès techniques, le plus souvent liés aux méthodes de transport, ont donné naissance de nombreuses fois dans l'histoire à des exemples de colonisation. De la Micronésie il y a 40 000 ans aux régions arctiques à partir du XIX^e siècle, un modèle en trois étapes⁸⁷ peut être utilisé pour traduire les principes de colonisation d'après Marc Mitchell Cohen^{88,89} :

- **Exploration** : Dans une première phase vient le temps de l'exploration. Financée étatique ou par des mécènes (ou aujourd'hui, également par des acteurs industriels privés comme les sociétés *SpaceX* et *Blue Origin*), cette étape d'exploration a pour objectif la découverte, l'analyse et la revendication des nouvelles terres sous forme de concessions. Cette revendication peut notamment prendre la forme symbolique de l'édification d'un porte-étendard sur les terres conquises (*fig. 14 et 15*, l'appropriation officielle, elle, a généralement lieu entre dirigeants dans les terres d'origine des conquérants). La présence des explorateurs est alors intermittente, dans la mesure où aucune structure n'offre la capacité d'abris nécessaire pour rester sur place (le moyen de transport peut servir, au mieux, en remplacement de façon provisoire). Il est à noter par ailleurs que dans une optique d'efficience (mais aussi à des fins de sécurité pour les astronautes), cette phase d'exploration tend à s'orienter vers une gestion purement robotique grâce aux progrès technologiques récents⁹⁰. La surface lunaire a par exemple été explorée par seulement 6 missions habitées, et près de trois fois plus de sondes

⁸⁵ NEUMAN, Scott. China, Russia Announce Plan To Build Moon Research Station

⁸⁶ GHIDINI, Thomas. *Interview [TDA]. Texte Original* : « We need not to have just Europe, not just the United States, but certainly Europe, certainly the United States, Russia, India China, Japan, Canada all working on a mission of this proportion. »

⁸⁷ Le découpage temporel en trois étapes distinctes implique une notion de franchissement nécessaire entre chacune d'entre-elles. Ce phénomène reste malheureusement difficile à anticiper et comprendre.

⁸⁸ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

⁸⁹ Bien que ce modèle en trois étapes soit antérieur (2002) aux nouvelles ambitions de colonisation de la Lune (*post 2019*), il reste d'actualité (moyennant une adaptation de l'implication des acteurs privés comme *SpaceX* ou *Blue Origin*).

⁹⁰ GRASSET, Léo. *2050, la fin des astronautes ?*

robotiques ; les dernières missions des agences spatiales chinoise indienne et israélienne (respectivement *Chang'e 5*, *Vikram* et *Beresheet*) tendent à confirmer cette tendance⁹¹.



Fig. 14 et 15 Mise en comparaison de l'appropriation symbolique des terres lors de la découvertes du nouveau monde au XIV^e s. et lors des missions Apollo dans les années 1970. Source : www.history.com et www.collinsflags.com

- **Premières installations** : Dans la seconde phase, des avant-postes et des camps de base sont installés dans le but d'assurer une présence permanente sur les terres précédemment explorées. C'est avec cette phase que le terme de *colonie* peut commencer à être employé. Les colonies sont alors encore très dépendantes du pays d'origine pour l'approvisionnement de ressources et de provisions, et le manquement de l'approvisionnement peut entraîner un abandon temporaire de la base par les colons. De même, une colonie sera très rapidement abandonnée définitivement si les fonds viennent à

⁹¹ Le cas de Mars est d'autant plus flagrant : avec les nouveaux rovers *Perseverance* et *Tianwen-1*, Mars dénombre onze sondes d'exploration à sa surface pour aucune mission habitée. Cet attrait pour l'exploration robotique plutôt que par des astronautes s'explique en partie pour la planète rouge par le voyage de plusieurs années qu'elle impose pour s'y rendre et en revenir.

manquer ou si les financements s'arrêtent. Pour assurer sa pérennité dans le temps, une colonie doit attendre la troisième phase de son développement, elle doit devenir auto-suffisante.

- **Autonomie** : Ce n'est que dans cette troisième étape que les colonies commencent réellement à prospérer. Les ressources locales sont alors utilisées à leur plein avantage, notamment au travers de l'utilisation des ressources minières. Les colonies, dont la population et l'immigration sont croissantes, gagnent alors en indépendance par rapport à leur pays d'origine (avec cette indépendance, le terme de colonie perd en sens). Les ressources nécessaires ne pouvant être acquises localement sont importées par des procédés d'échanges économiques. Ainsi, au travers de moyens de production développés (L'expérimentation est délaissée au profit de l'industrialisation), les biens qui ne peuvent être transportés du pays d'origine en raison de leur volume trop important (bâtiments...) ou de leur fragilité (nourriture fraîche).

Il est donc concevable que la colonisation de la Lune se fera en suivant le même modèle à trois phases. Ce modèle temporel est à ce titre largement employé dans la littérature de science-fiction⁹², mais aussi en tant que plan de mission de l'agence spatiale américaine (les trois étapes sont alors nommées *Exploration*, *Settlement* et *Colonization*)⁹³. Il a en effet déjà été démontré dans un premier temps que se rendre et survivre à la surface de la Lune est possible et que ce nouveau monde est accessible. Cette première phase d'exploration de la Lune a été initiée il y a soixante ans avec les missions américaines Apollo (voir *fig. 16*), et elle se prolonge depuis avec l'aide de satellites comme le *Lunar Reconnaissance Orbiter* qui cartographie le surface et sous-sols lunaires ou encore de rovers *Chang'e* qui en étudie la sélénographie⁹⁴. S'il est difficile de garantir le parfait achèvement de cette première phase d'exploration de la Lune, il est néanmoins possible de dire que les connaissances en résultant sont nombreuses. Celles nécessaires pour entrer dans la seconde phase de la colonisation de la Lune sont maintenant atteintes. En particulier, l'envoi prochainement de la station *Lunar Gateway*⁹⁵ (2024) pourrait former une indice sur le passage de la première à la seconde phase de ce modèle.

⁹² STANLEY ROBINSON, Kim. *La trilogie martienne*

⁹³ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

⁹⁴ *id est* topologie lunaire

⁹⁵ HOME, NASA *Lunar Gateway*

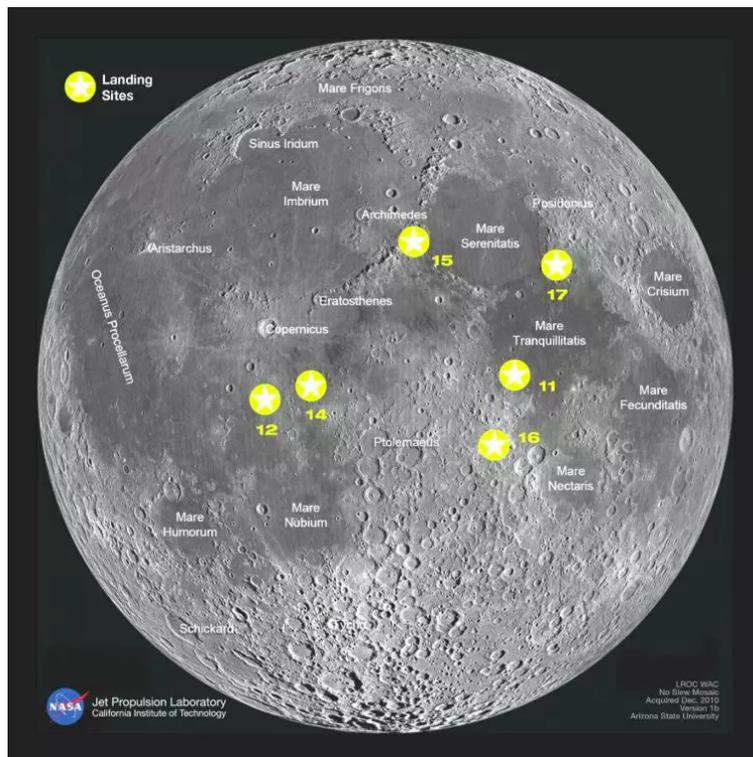


Fig. 16 Vue aérienne de la face visible de la Lune, et emplacements des missions Apollo 11 à 17 (1969-1972). L'emplacement de ces missions est le choix d'une optimisation de l'exploration du satellite, balayant les paysages les plus variés possible. Source : www.jpl.nasa.gov

Comme le remarque Hugh Morrison dans son analyse de la colonisation de l'Amérique du Nord au XVI^e s., la production architecturale d'une colonie dépend fortement du moment, de l'étape dans laquelle elle se trouve⁹⁶. Pour la Lune aussi, le découpage temporel impliquera des conséquences sur la disponibilité de certaines ressources et compétences, et donc la faisabilité à un temps t de formes architecturales⁹⁷ (tab. 1). Par exemple, l'apparition d'industries pour la production de matériaux de construction d'origine lunaire n'est pas à attendre avant la phase d'autonomisation. Ainsi, il est peu probable de voir apparaître dans les premières phases de la colonisation du satellite des bâtiments faits à partir de régolithe. De même, les capacités d'importation de certains matériaux de construction dépendront de la mise au point future de moyens de fret en concordance (s'il est difficilement envisageable aujourd'hui d'expédier de la Terre à la Lune plusieurs centaines de tonnes de matériel pour la construction d'habitats, la mise au points de nouveaux lanceurs, dont le *StarShip* en cours de développement par SpaceX devrait le permettre dans quelques années, voir fig. 17).

⁹⁶ MORRISON, Hugh. *Early american architecture : from the first colonial settlements of the national period*

⁹⁷ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

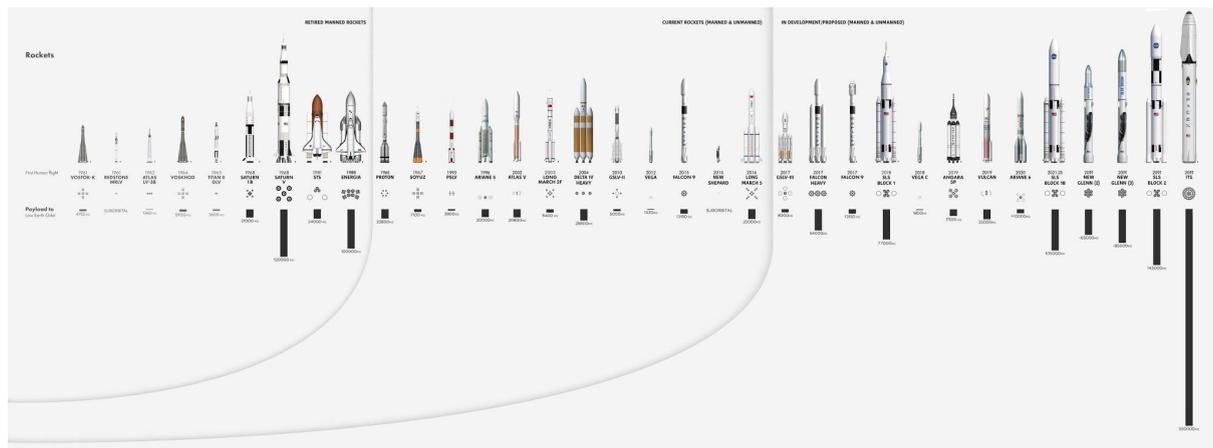


Fig. 17 Diagramme de l'évolution de la capacité d'envoi de fret jusqu'en orbite sur la période 1963-2022. Dans une tendance de développement de lanceurs lourds, la construction d'un habitat serait de moins en moins contrainte. Source : *imgur.com*

PHASE	DESCRIPTION	AVANTAGES
1. Exploration	<p>Structure composite qui peut être pré-déployé de manière autonome (avant l'arrivée de ses habitants).</p> <p>Ne requiert aucun assemblage.</p> <p>→ Module à coque rigide déposé fini sur place</p>	<p>Fiabilité élevée et réparation facile.</p> <p>Technologie déjà employée.</p> <p>Possibilité d'agrandissement par ajout de modules complémentaires</p>
2. Premières installations	<p>Structure gonflable dont les éléments d'assemblage peuvent être pré-déployés de manière autonome (avant l'arrivée de ses habitants).</p> <p>Requiert une mise en place réduite sur site (gonflage, assemblage).</p> <p>→ Structure déployée par gonflage ou assemblage</p>	<p>Plus grand volume habitable.</p> <p>Masse et volume initial inférieurs pour un volume plus important (permet d'envoyer de la Terre un habitat plus grand et/ou à moindre coût)</p> <p>Technologie dont les essais sur l'ISS sont convaincants.</p>
3. Autonomisation	<p>Structure construite à partir des ressources locales disponibles.</p> <p>Requiert à un accès à grande échelle aux ressources nécessaires (par industrialisation et par un recours à une main d'œuvre importante et/ou robotisé).</p> <p>→ Béton lunaire, maçonnerie, grottes étanchéifiées, tubes de lave ou tunnel creusés</p>	<p>Autosuffisance, indépendance par rapport aux besoins d'importation depuis la Terre.</p> <p>Volume habitable théorique infini.</p> <p>Permet de pérenniser la colonie et de rendre la présence humaine sur la Lune durable.</p>

Tab. 1 Retranscription des travaux de Marc Mitchell Cohen démontrant l'implication entre morphologie d'habitat permise et phase temporelle⁹⁸ [TDA]

Les phases temporelles n'indiquent en rien quelle sera l'architecture lunaire, quelle définition morphologique elle suivra (ou du moins, pas de manière suffisamment précise comme attendu par les attentes de ce mémoire). L'étude des phases temporelles ne fait que démontrer l'implication du temps dans l'expression de l'architecture lunaire, et il convient d'en vérifier les implications sur les formes constructives admises.

⁹⁸ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. 53rd International Astronautical Congress The World Space Congress

Vers une étude typologique

En un sens, ce mémoire s'inscrit dans la continuité des études architecturales menées sur la colonisation des milieux extrêmes. Plus particulièrement, l'étude de la colonisation au XVI^e s. de l'Amérique du Nord met en avant les difficultés encourues par les colons pour se fournir en outils et matériels de construction⁹⁹. Ces problématiques sont analogues à celles imposées aujourd'hui encore par les lanceurs pour affréter du matériel vers la Lune. De manière similaire, il est reconnu¹⁰⁰ que l'étude de stations polaires (arctiques et antarctiques) peut servir à des fins de comparaisons avec la conception d'habitats pour la colonisation de la Lune. Entre autres, le froid polaire implique nécessairement des architectures dont l'isolation est l'une des fonctions prédominante, et donc des typologies constructives correspondantes.

Ce nonobstant, la simple mise en parallèle de ces études au cas de l'architecture lunaire au moyen de la méthode d'analyse comparative reste moyennement concluante. De manière évidente, les contraintes vécues lors de la colonisation de l'Amérique du Nord ou des pôles sont difficilement comparables à celles qui le seront sur la Lune. La copie naïve des résultats de leurs analyses n'est pas possible sans une adaptation importante. De même, ces deux études de cas ne sont pas totalement représentatives de l'importance des architectes dans la conception, et plus particulièrement de l'impact de leur pouvoir décisionnel. La méthode comparative, telle que décrite par Robert Venturi et Scott Brown, ne peut servir que d'outil d'analyse de l'existant, et ne peut qu'indiquer des pistes de réflexion pour un second développement.

C'est donc avec la conclusion que ces deux études de cas nécessitent d'autres outils d'analyses pour être pleinement pertinentes. Afin de pouvoir argumenter sur la nécessité d'action décisionnelle des maîtres d'œuvre dans le domaine spatial, il est de rigueur de déterminer si une telle possibilité d'actions existe réellement. Or, nombreuses sont les projections de ce que pourrait être l'habitat colonial lunaire. Agences spatiales, entreprises privées, chercheurs, auteurs et étudiants forment ensemble dans leur production un corpus de projets prospectifs, d'éléments pouvant nourrir ce mémoire. En prenant le parti de se limiter à l'étude des projets imaginés pour être construit sur la Lune, le corpus n'est alors composé que de projets qui prétendent respecter les contraintes lunaires¹⁰¹ et les besoins en sécurité évoqués plus haut¹⁰². Ils sont en effet sélectionnés pour l'établissement de ce corpus suivant un critère de reconnaissance par les pairs : ils correspondent à des projets conçus par et/ou pour des agences spatiales, issus de travaux de recherche, produits par des industriels du secteur... L'agence spatiale américaine propose à ce titre une démarche facilement ré-exploitable ici¹⁰³.

⁹⁹ MORRISON, Hugh. *Early american architecture : from the first colonial settlements of the national period*

¹⁰⁰ ANDERSEN, Dale, MCKAY, C, WHARTON, R, et al. An Antarctic research outpost as a model for planetary exploration. *Journal of the British Interplanetary Society*

¹⁰¹ De par le fait que les projets ont été sélectionnés pour l'établissement de ce corpus suivant un critère de reconnaissance par les pairs : ils correspondent à des projets conçus par et/ou pour des agences spatiales, issus de travaux de recherche, produits par des industriels du secteur...

¹⁰² Il aurait autrement été difficilement possible de lister toutes les formes d'architecture adaptées aux conditions sélénites. Il est à reconnaître qu'il y a un effet certain des critères de choix sur les conclusions du travail de recherche présenté : en ne sélectionnant que certains projets sur le critère de respect des contraintes liées au milieu lunaire, il est fait le postulat que ce critère est fondamentalement nécessaire. Il serait donc utile dans une étape ultérieure de vérifier cette hypothèse.

¹⁰³ NASA, *Source Selection Statement [Traduction de l'auteur]*

Exceptionnel / Très bon	Projet approfondi et convaincant qui répond pleinement aux spécificités du milieu lunaire et aux contraintes programmatiques imposées. La proposition contient des points forts qui l'emportent de loin sur les faiblesses.
Acceptable	Projet qui représente une réponse crédible aux contraintes lunaires. Les forces et les faiblesses se compensent et n'auront que peu ou pas d'impact sur la bonne réalisation du projet.
Insignifiant	Projet ne méritant que peu d'attention. La proposition ne démontre pas clairement une approche et une compréhension adéquates des contraintes lunaires. Les faiblesses l'emportent sur les forces.
Inacceptable	Projet qui souffre de sérieuses lacunes ne répond pas aux contraintes lunaires. La proposition présente une ou plusieurs lacunes ; ces faiblesses importantes démontrant un manque de compréhension des enjeux et nécessitent d'être corrigées. La proposition est irrecevable.

Tab. 2 Retranscription de la méthode de sélection proposée par la NASA dans le cadre de son programme lunaire habité Artémis¹⁰⁴. Adaptée à ce mémoire, cette démarche montre qu'un projet d'architecture lunaire ne saurait être inclus dans le corpus d'étude sans atteindre la note minimale "d'acceptable"

Ces projections sont autant de résultats de la méthode prospective. Ainsi, étudier ces projets en grand nombre, sous le format d'un corpus, permet d'en moyenniser les composants et d'en extraire les grands axes, pour en retenir les formes architectoniques les plus récurrentes (fig. 18). La méthode d'analyse typologique, telle qu'expérimentée par Jean-Marc Lamunière¹⁰⁵, peut alors être employée pour classer ces différents projets en retour des premières analyses comparatives. Dans un héritage du principe de modélisation, l'analyse typologique permet la classification des objets, ici les simulations d'Habitats, en classes définies par des types (des invariances). Même si cette méthode peut être réductrice (dans la mesure où elle extrait synthétiquement l'essence des projets étudiés), elle permet de séparer en groupes distincts le grand nombre de simulations et ce de manière rapide, et donc de manière utilisable dans ce mémoire.



Fig. 18 Fresque d'éléments représentatif du corpus de projet de colonie lunaire établie à partir de travaux préexistants (étudiants, concours, agences spatiales...), et de la procédure suivie pour en extraire les grandes formes architectoniques. *Composition de l'auteur*

De cette méthodologie cinq classes typologiques d'habitats lunaires peuvent être extraites. Elles reposent principalement sur les travaux de catégorisation de Bernaroyat Hyam et de Leonhard Bernhold¹⁰⁶. Le système de classification proposé vient en synthèse mais aussi en complément de ces travaux. Ainsi, les classes typologiques proposées se basent sur l'identification nouvelle de critères de mise-en-oeuvre (architectonique) plutôt que ceux morphologiques, volumétriques employés auparavant :

¹⁰⁴ NASA, *Source Selection Statement* [Traduction de l'auteur]

¹⁰⁵ LAMUNIÈRE, Jean-Marc. *Le classement typologique en architecture*

¹⁰⁶ BENAROYA, Haym et BERNOLD, Leonhard. *Engineering of lunar bases. Acta Astronautica*

Les modules “prêt à l’emploi” et les rovers.

Ils sont entièrement construits sur Terre avant d’être envoyés sur site (fig. 21). Les rovers (qui sont l’équivalent lunaire grossier du camping-car) offrent en plus une liberté de déplacement non négligeable, mais qui peut être mise en défauts pour les activités sédentaires (comme pour la gestion de mines)¹⁰⁷. Les méthodes et techniques dont dépend cette typologie constructive font l’objet de connaissances déjà très avancées aujourd’hui ; avec entre autres la station spatiale internationale ISS qui utilise depuis 1998 le principe d’un assemblage de modules. Il est aussi possible de remonter encore plus loin dans l’utilisation des modules prêts à l’emploi dans l’histoire de l’exploration spatiale^{108,109}. En particulier, l’exploration de la Lune par les astronautes du programme Apollo a été marquée par l’utilisation du LM (*Lunar Module*). Ce véhicule servait alors de camp de base précaire, validant de ce fait la validité de cette typologie au moins pour un usage réduit. Le choix récent par la NASA du *StarShip* de SpaceX (voir figure 17) comme atterrisseur lunaire pour son programme Artémis tend d’ailleurs à confirmer que c’est autour de cette typologie d’habitats que dépendront majoritairement les premières installations coloniales¹¹⁰.



Fig. 19 Première ébauche pour une station lunaire chinoise (2020). Plusieurs modules sont livrés depuis la Terre et ne nécessitent aucun assemblage autre que leur raccordement entre eux une fois sur site. Source : *kknews.cc*

Les habitats gonflables et pliables

Constitué de matériaux légers, l’habitat est très pressurisé pour le rendre vivable. C’est cette pressurisation qui est à l’origine de son intégrité structurelle (la pressurisation induit une force vers l’extérieur, qui en présence de la gravité lunaire faible, ne demande pas d’autres éléments porteurs comme des poteaux). Au même titre que les autres typologies constructives, les habitats gonflables nécessitent des protections contre les radiations et les (micro) météorites. Ces protections peuvent prendre la forme de fibres renforcées tissées dans l’enveloppe de l’habitat¹¹¹. Par rapport aux modules “prêts à l’emploi”, les habitats gonflables ou pliables limitent grandement les problématiques de

¹⁰⁷ De plus, les rovers présentent le défaut de remettre en question la définition d’architecture de Vitruve (voir annexe 2), et ne seront donc que mentionnés brièvement dans ce mémoire.

¹⁰⁸ En effet, le principe du module n’est autre que celui de la capsule, partie des lanceurs qui servent d’habitacle depuis le vol de Gagarin. Mais aussi, cette typologie peut être comprise dans sa forme la plus réduite avec les combinaisons spatiales, dont la fonction est plus d’assurer la survie de son occupant que sa vie à proprement parler (même si les avancées ont permis l’apparition de certaines commodités : régulation de la température, accès à l’eau, toilettes sommaires...)¹⁰⁴

¹⁰⁹ KALLIPOLITI, Lydia. *The architecture of closed worlds*

¹¹⁰ NASA, *Source Selection Statement*

¹¹¹ SELIG, Molly M., VALLE, Gerard D. et JAMES, George H. *Creep Burst Testing of a Woven Inflatable Module*

transports (plié ou dégonflé, un habitat nécessite moins de volume sous la coiffe d'une fusée comme l'indique Kenneth Snelson : « pliable, il peut être envoyé dans l'espace, réduit à un petit paquet »¹¹², fig. 20). Cependant, ils demandent en retour une mise en place plus complexe sur site.



Fig. 20 Prototype d'habitat lunaire gonflable de la société Bigelow Aerospace (2013). Un ensemble de modules gonflables sont connectés pour créer un volume habitable important. Source : www.dailymail.co.uk

Les habitats à charpentes et à éléments standardisés

Ils sont construits à partir de petits éléments légers envoyés et assemblés en orbite basse terrestre ou directement sur site (fig. 21). Particulièrement testée, cette classe typologique ne requiert pas l'intervention d'un saut technologique pour sa mise en place (elle n'emploie que des procédés technologiques existants), elle est au contraire déjà réalisable. Les assemblages, par soudure, collage ou emboîtement réalisés sur place, nécessitent une main-d'œuvre non délocalisable sur Terre (et de qualité, de façon à assurer l'étanchéité du produit fini). Les habitats à charpentes et éléments standardisés demandent de ce fait le recours à un abri préexistant pour la période de travaux. Il est à noter que la frontière avec les habitats prêts à l'emploi est floue, c'est le niveau de découpe des modules (et donc la complexité d'assemblage) qui définira la limite entre les habitats dans une typologie ou l'autre¹¹³.

¹¹² RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

¹¹³ En particulier, les habitats prêts à l'emploi et ceux à charpentes et éléments standardisés diffèrent par leurs éléments de construction unitaire (le module dans le cas d'habitats prêts à l'emploi, la poutre pour l'autre). Ainsi, le module peut être utilisé comme tel, sans aucune manipulation, alors que la charpente nécessite obligatoirement un assemblage pour assurer sa fonction d'abri.

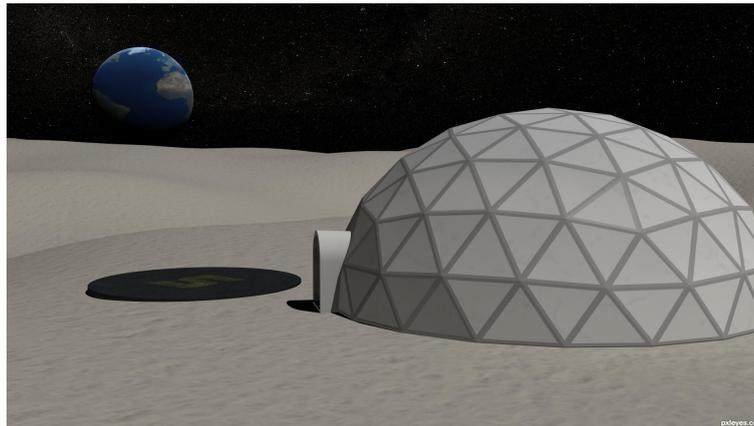


Fig. 21 Modélisation sommaire d'un habitat à éléments standardisés. Ici, c'est un maillage en triangles d'aluminium soudés sur place qui forme la coque externe du bâtiment. Source : www.pxleyes.com

Les habitats enterrés

Comme décrit plus haut, très nombreux sont les défis qui seront à relever pour pouvoir espérer dans les prochaines décennies coloniser la Lune de manière permanente. L'un d'entre eux auquel seront confrontés est le bombardement permanent des rayonnements cosmiques et solaires (voir partie plus haut). Il est possible qu'il soit recherché pour déployer les futures bases lunaires un endroit présentant une protection naturelle autour des ses problématiques en particulier. Le champ des possibles inclut des grottes comme d'anciens tunnels de lave ou le fond de cratères proches des pôles comme imaginé par les ingénieurs russes Serge Gouchtchev et Michel Vassiliev¹¹⁴. L'épaisseur de roche présente alors des propriétés absorbantes en rayonnements cosmiques suffisantes pour assurer la sécurité des futurs colons de manière efficace. En effet, l'idée de profiter de la protection a depuis peu été validée par des relevés d'absorption des rayonnements cosmiques par des structures analogues sur Terre¹¹⁵.

« Ce n'est pas sur la Terre, mais sur les autres corps du système solaire, que surgiront les villes en verre à l'atmosphère artificielle, avec des serres immenses. C'est sur la Lune qu'apparaîtra la première de ces villes. Tous les cirques, tous les cratères, ont l'air d'avoir été destinés par la nature à la création de villes recouvertes de cloches de verre gigantesques comme des serres. »¹⁰⁸

Se reposant sur l'utilisation du réseau de grottes naturellement présentes dans le manteau de l'astre lunaire (canaux naturellement présents sur la Lune dont la lave s'est évacuée avec l'arrêt de l'activité volcanique il y a plusieurs milliards d'années)¹¹⁶, cette typologie constructive est donc ainsi significativement limitée dans ses possibilités quant au choix offert d'emplacement des futures bases. Même si les relevés satellites indiquent tubes de laves comme présents en quantité et sous différents formats, ils n'offrent pas la même souplesse dans le placement des futures bases que les autres typologies constructives décrites dans cette partie. Les habitats seront donc dépendant de la découverte de tunnels aux bonnes caractéristiques et à l'endroit voulu. Pour pallier ce défaut, l'utilisation de cavités creusées artificiellement est envisageable (fig. 22). Or, il est à fournir un effort

¹¹⁴ GOUCHTCHEV, Serge et VASSILIEV, Michel. *La vie au XXIe siècle*

¹¹⁵ PARIS, Antonio J., DAVIES, Evan T., TOGNETTI, Laurence, et al. *Prospective lava tubes at Hellas Planitia*

¹¹⁶ KOKH, Peter et ARMSTRONG, Doug. The Potential of Lunar Lavatubes. Dans : *Settling into a Lavatube : brainstorming an Early Lavatube Town*

constructif important pour étanchéifier et aménager intérieur des tubes de lave, en réemployant par exemple les techniques inhérentes aux autres typologies constructives (habitats gonflables dans le tunnel, habitats assemblés à l'intérieur du tunnel...). Ainsi, la mise en place d'habitats lunaires enterrés soulève d'importantes questions de faisabilité.



Fig. 22 Illustration de principe d'une base lunaire souterraine imaginée en 1962. Ici, la cavité dans laquelle est construite l'habitat est creusée artificiellement au moyen d'explosifs. Source : dreamsofspace.blogspot.com

Les habitats basés sur l'utilisation de matériaux locaux

Ils représentent quant à eux l'opposé des Habitats en charpentes et modules, dont les éléments de construction sont importés depuis la Terre. Leur construction repose sur l'emploi de matériaux indigènes récoltés et mis en forme directement sur site : il faut comprendre les matériaux disponibles sur site, sans import depuis la Terre. Ils peuvent être employés directement sous leur forme naturelle, ou bien sous formes plus complexes à condition de mettre en place un processus manufacturier de transformation. Par exemple, le régolithe lunaire (la matière pulvérulente qui recouvre la surface lunaire) peut être utilisée par simple déplacement et amasement sous forme de remblais, ou bien il en être extrait des minéraux et métaux pour la construction de matériaux plus complexes comme

le béton lunaire¹¹⁷. Ces habitats peuvent être compris comme similaires aux habitats enterrés, dans la mesure où ils utilisent les ressources offertes sur la Lune (ressources qui sont topographiques pour les habitats enterrés). Entre autres, les technologies de fabrication additive (d'impression 3D en régolithe lunaire) sont représentatives de cette typologie d'Habitat, et semblent même selon le directeur de la *National Space Society* Al Globus indispensable à développer :

« L'utilisation de régolithe comme matériaux de construction fait partie des choses qui semblent évidentes dans l'édification d'une base lunaire, dans la mesure où elle est abondante. Importer des matériaux de construction depuis la Terre est une option ridiculement onéreuse. Le développement des techniques de transformation de la régolithe est donc nécessaire, et beaucoup de recherches sont en cours en ce sens »¹¹⁸

Des recherches récentes démontrent la possibilité de produire localement une grande variété de produits de construction, notamment d'un équivalent de béton et un autre du verre¹¹⁹. La construction d'habitats lunaires à base de matériaux locaux nécessite cependant un accès à grande échelle aux ressources par l'industrialisation des moyens de production (ce qui implique le recours à une main-d'œuvre importante ou robotisée, *fig. 23*). En retour, cet investissement permettrait de pérenniser la colonie et de rendre la présence humaine sur la Lune durable¹²⁰.



Fig. 23 Représentation de la construction d'une base lunaire par impression 3D (2016). Outre la main-d'œuvre, des moyens robotisés et des engins d'excavation sont nécessaires. Source : *theconversation.com*

Les cinq typologies nécessitent dans leur utilisation pour la colonisation de la Lune des moyens différents, de transport, de main-d'œuvre et d'accès aux ressources. La classification proposée ici est donc une mise en opposition sur le critère de mise en œuvre de l'habitat (de ce qui est plus couramment appelé *chantier* sur Terre, d'où le terme de *typologie constructive*), où les typologies telles que dans l'ordre présenté (*prêt à*

¹¹⁷ KESTELIER, Xavier De, DINI, Enrico, CESARETTI, Giovanni, et al. *3D printing regolith as a construction technique for environmental shielding on the moon*

¹¹⁸ GLOBUS, Al. Interview [TDA]. Texte Original : « If you want to build a Moon base, the sort of obvious thing you want to use lunar regolith as your basic lunar material, because there's a lot of it. If you have to import your construction material from Earth, it's just a ridiculously expensive thing to do. So you need to develop the capacity to turn regolith into something useful, and there's been a lot of proposals »

¹¹⁹ TUCKER, Dennis, ETHRIDGE, Edwin et TOUTANJI, Houssam. *Production of Glass Fibers for Reinforcement of Lunar Concrete*

¹²⁰ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

l'emploi, gonflable, à assemblage, étanchéification de souterrain, utilisant les ressources locales), seraient classées selon une technicité croissante. Ce principe de hiérarchisation entre typologies est par ailleurs justifié par Marc Mitchell Cohen, dont les travaux de classification sont présentés plus haut (qui elle est basée sur des critères de phases temporelles, et non de technicité de mise en œuvre comme ici).

Ainsi développée, cette démarche de classification vient alors en addition de celles déjà existantes, (comme celle de Marc Mitchell Cohen¹²¹ et reprise par Bernaroyat Hyam et de Leonhard Bernhold¹²¹) qui se basent plutôt sur des critères d'identification morphologiques, volumétriques. Elle permet ainsi de mettre en évidence les implications des contraintes et opportunités propres à la construction en milieu sélénite¹²².

Réduction de l'expression architecturale lunaire au principe de déterminisme géographique

Au regard des parties précédentes, il semblerait possible de statuer favorablement sur l'incidence des principes sécuritaires, économiques, politiques et temporels dans l'expression de l'architecture lunaire. Plus particulièrement, ces éléments qui semblent la définir tendent à avoir comme point commun leur implication au site. D'autres éléments semblent également avoir une influence à moindre échelle, comme ceux relevant de la question écologique¹²³.

Les cinq classes typologiques présentées plus haut (qui devraient correspondre peu ou prou à ce que devrait être construit prochainement sur la Lune) seraient le résultat d'applications successives de filtres. Ces filtres correspondent aux premières parties de ce mémoire, et traduisent les nombreuses exigences qui devraient pragmatiquement façonner l'architecture lunaire. C'est pour ces raisons qu'ils ont été à la base de la méthode prospective initiée ici : ils permettent d'estimer grossièrement les constructions sélénites à venir. Il est par ailleurs possible que l'ordre dans lequel sont considérés ces filtres ait une certaine importance qu'il faudrait alors déterminer, mais une telle approche semble ne pas répondre au cadre restreint d'un mémoire de recherche. Même, il est plus que probable que les éventuels filtres correspondant aux éléments négligés dans le raisonnement mené (notamment ceux qui tiennent de la sociologie, eux aussi nécessaires à la méthode prospective selon Michel Ragon¹²⁴) amènent à une conclusion similaire par effet de recoupement ; il est alors raisonnable d'estimer que ceux non considérés n'aient qu'une faible importance, ou du moins qu'une importance partagée avec les autres filtres présentés (*fig 24*).

¹²¹ BENAROYA, Haym et BERNOLD, Leonhard. Engineering of lunar bases. *Acta Astronautica*

¹²² Notamment dans le discours des auteurs des projets respectifs, qui expriment dans la mise en œuvre de leur projet la volonté de répondre aux contraintes propres à la Lune. En retirant une des contraintes du milieu lunaire, la mise en place de leur projet aurait été foncièrement différente (par exemple, la typologie d'habitats gonflables n'aurait pas lieu d'être sans l'absence d'atmosphère).

¹²³ Comme indiqué, les travaux présentés ici se basent sur le corpus de projet établi en amont. Or, ces projets ne reflètent que peu voir pas de volonté écologique forte de par leurs concepteurs. C'est d'ailleurs ce qui est montré ici : la prédominance des contraintes économiques, scientifiques et politiques devant d'autres, dont celle écologique. Sur la base de ce constat, et au regard des conclusions portées plus haut, il est donc montré l'importance que pourraient avoir les architectes (de ne pas être complètement subjugués par ces prédominances mais plutôt de présenter des alternatives architecturales qui prendraient en compte la question écologique). Cependant, il est à noter que développer une proposition d'architecture lunaire écologique forte impliquerait un travail de définition substantiel ; de façon à définir l'écologie et pollution sur la Lune.

¹²⁴ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

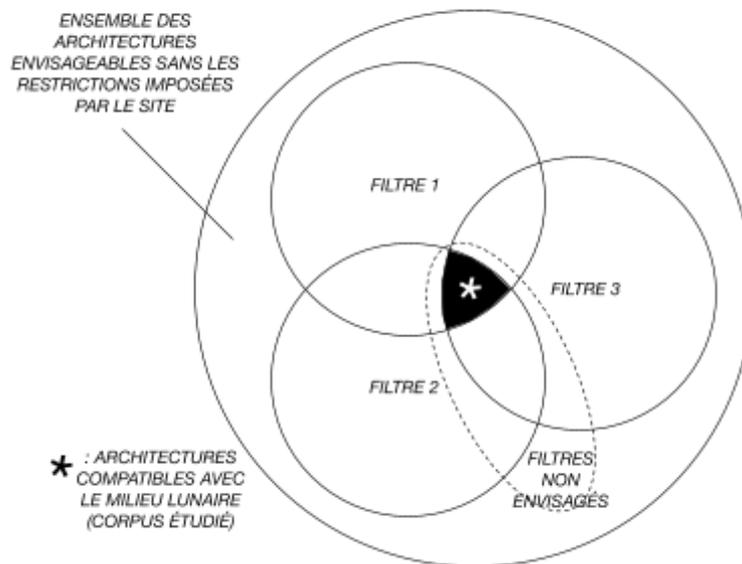
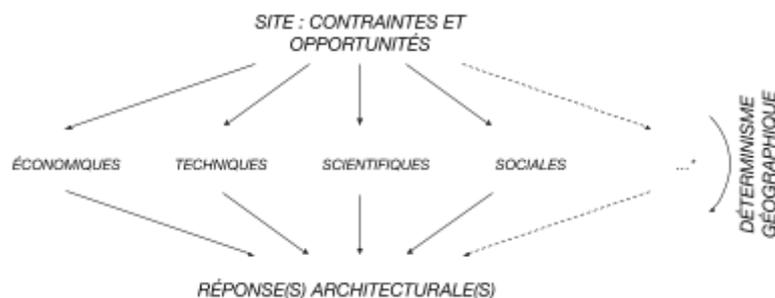


Fig. 24 Schéma du principe des filtres pragmatiques imposés par le site à ses architectures. Source : *Image de l'auteur*

Or, tous les éléments ainsi exposés tendent à démontrer la prédominance du site lunaire.

L'étude du corpus de projets prospectifs lunaires (voir plus haut), met en évidence des stratégies constructives distinctes qui répondent toutes aux spécificités du milieu sélénite : la réduction à seulement cinq classes typologiques sont le résultat des contraintes et opportunités de ce milieu. Les autres architectures qui ne rentrent pas dans ce système de classification ne seraient alors pas compatibles avec le milieu lunaire. Il s'agit ainsi de traduire plus formellement ce phénomène d'implication *site*→*architecture* au travers de schèmes. Ce mémoire n'a pas pour but leur développement *ex nihilo*, mais plutôt, et ce dans un objectif reconnu de gain de temps, de réemployer des courants de pensée déjà existants. Il peut pour cela se baser sur l'expression d'un déterminisme géographique. Ce dernier appelle au postulat de l'influence prépondérante des facteurs liés au site (*id est* liés aux caractéristiques lunaires) sur le développement de l'architecture à venir de celui-ci (*fig. 27*). Il s'agit donc d'une adaptation au cadre architectural des travaux des théoriciens déterministes de la fin du XIX^e s., dont ceux de Friedrich Ratzel¹²⁵ (spécialisé de la géographie colonialiste). Il serait cependant peu facile de développer plus en détail ce mémoire avec ce courant, qui reste assez distant du domaine de recherche architectural, et qui présente le défaut d'être relativement ancien par rapport aux thématiques spatiales abordées.



¹²⁵ UNIVERSALIS, Encyclopædia. FRIEDRICH RATZEL

Fig. 25 Schéma du principe de déterminisme géographique lunaire : le site implique le développement de contraintes et opportunités multiples qui doivent nécessairement amener à une architecture en réponse à celles-ci. Source : *Image de l'auteur*

Autrement, ces premiers éléments pourraient aussi se résumer dans l'expression d'autres courants de pensée. Notamment, le déterminisme géographique est une composante vraisemblablement fondatrice de ce qui semble être l'architecture vernaculaire d'un site. Il sera donc dans une seconde partie questionné les apports de l'étude des architectures lunaires colonisatrices à travers le spectre du vernaculaire.

* ensemble des autres filtres non abordés

Vers une architecture lunaire vernaculaire

Le déterminisme géographique est-il la seule caractérisation possible pour définir les futures architectures lunaires ? Existe-t-il des influences autres que celles des contraintes liées au site dans la conception de colonies spatiales ?

Les contraintes singulières présentes à la surface de la Lune témoignent de la spécificité de ce milieu. Rayonnements ionisants, bombardements de micrométéorites et variations de températures extrêmes y sont monnaie courante. Par un effet de causalité, toute construction lunaire doit admettre pragmatiquement des éléments typologiques consécutifs de cette spécificité et ce indépendamment de sa fonction¹²⁷. Sur la Lune, un élément d'habitation et un atelier doivent par exemple offrir une protection contre le vide extérieur. Plus encore, chacune de ces contraintes étant très spécifique, elles permettent, regroupées collectivement, de considérer le milieu lunaire comme unique. Ensemble, elles admettent des stratégies de protection nécessaires valables que pour des habitats à la surface de la Lune. Par exemple, des protections contre des micrométéorites ne seraient pas nécessaires sur Mars. Ces stratégies se traduiront dans leurs architectoniques, offrant différentes formes typologiques admissibles pour les éléments constitutifs de l'architecture lunaire. Ces éléments typologiques sont autant de points communs entre les productions architecturales et leur site unique. Ce phénomène de causalité, implication du site sur les formes typologiques, qu'est le déterminisme géographique peut être un premier argument témoignant d'une architecture lunaire comme vernaculaire. Les thèses du CERAV¹²⁸ (*Centre d'études et de recherche sur l'architecture vernaculaire*), et notamment celles d'Éric Mercer¹²⁹, semblent corroborer la thèse d'une telle vernacularité : du site est dépendante une typologie constructive^{130,131}. Par l'étude d'Habitats lunaires dans le cadre d'une production « *d'architecture sans architectes* », les thématiques abordés par le professeur Paul Olivier¹³² et de Bernard Rudofsky¹³³ tendent à justifier elles aussi ces premières conclusions.

À partir de ce constat, il est raisonnable de se placer dans le postulat initial que l'architecture lunaire colonisatrice, telle que développée dans la partie précédente, sera étroitement liée à la notion de vernaculaire. De ce fait, il sera ainsi possible d'établir une définition de vernaculaire qui correspond à ce cas d'étude, et enfin de comparer cette définition avec celle(s) qui est (sont) utilisée(s) aujourd'hui.

Quels intérêts à s'interroger sur la vernacularité des architectures lunaires ?

La définition de vernaculaire est tout sauf universelle. Populaire, rurale, spontanée, régionale sont autant de points de caractérisation potentiels que de limites à sa définition. Son apparition récente dans le vocabulaire architectural peut expliquer les disparités dans son utilisation linguistique¹³⁴. Il est proposé dans cette partie de faire un retour sur la définition d'architecture vernaculaire par le prisme de l'étude de la colonisation de la Lune, de façon à en mettre en avant les fondements. En somme, s'interroger sur le caractère vernaculaire des futures colonies lunaires revient à questionner la position des concepteurs pour la construction dans des environnements extrêmes. Quelles libertés décisionnelles sont laissées aux architectes dans le cadre d'architectures fatalement pragmatiques, inéluctablement vernaculaires ?

¹²⁷ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

¹²⁸ LASSURE, Christian. *Qu'est-ce que le CERAV ?*

¹²⁹ MERCER, Eric et ROYAL COMMISSION ON HISTORICAL MONUMENTS (ENGLAND). *English vernacular houses : a study of traditional farmhouses and cottages*

¹³⁰ si bien que le terme de fatalisme géographique, emprunté du domaine géopolitique¹³², semble justifié dans son emploi ici.

¹³¹ LE MONDE. *Que reste-t-il du communisme à Cuba ?*

¹³² KLOS, Sheila. The Encyclopedia of vernacular architecture of the world

¹³³ LEBOURG, Bernard Rudofsky. *Architecture sans architectes*

¹³⁴ ROMAN, Andras. *La définition du champ notionnel des monuments populaires en Hongrie*

« Une connaissance d'architecture "vernaculaire" bien que importante, n'est pas donc un but en soi-même seulement ; elle est aussi un moyen d'arriver à un but plus grand, la compréhension du développement de la société [...] et surtout de ses aspects »¹³⁵

Dans cette partie, et au regard des avancées étymologiques apportées par le Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS), un retour aux problématiques imposé par la multiplicité de définitions de vernaculaire sera fait. De cette façon, la compatibilité du milieu lunaire avec les concepts de l'architecture vernaculaire soulevés pourra être ensuite interrogée.

Différentes définitions de vernaculaire

La définition d'architecture vernaculaire, telle que basée sur l'étude des futures colonies lunaires et en accord avec l'hypothèse formulée plus haut, se résume à l'application pragmatique du principe de déterminisme géographique (voir première partie). Or, la caractérisation de vernaculaire en architecture amène bien d'autres notions sémantiques.

Étymologiquement, le mot vernaculaire est associé à la notion d'appartenance, à celles des origines¹³⁶. Il était par exemple employé sous sa forme latine *vernaculum* pendant l'Antiquité pour désigner un élément qui, étant étranger et déjà possédé par autrui, est impossible à s'approprier (c'est-à-dire avec un sens proche des mots contemporains *indigène* et *autochtone*). Plus récemment, le terme vernaculaire a été utilisé pour désigner ce qui est en marge, notamment les habitats désertiques qui ont fait suite au mouvement Hippie¹³⁷. L'utilisation de ce terme dans le cadre architectural n'a vraiment commencé qu'à la fin des années 1970, date à laquelle l'emploi du mot s'est fortement développé dans la langue française (voir fig. 26). La récente considération des « œuvres monumentales des peuples »¹³⁸ (c'est-à-dire des bâtiments alors visés par le terme *vernaculaire*) par la charte de Venise de 1964 peut en partie au moins expliquer ce développement linguistique.



Fig. 26 Histogramme de référencement du mot vernaculaire en langue française (courbe en rouge) et anglaise (courbe en bleu). L'utilisation de ce mot ne s'est démocratisée qu'à partir des années 1970'. Source : *image de l'auteur*

Comme l'a été indiqué plus haut, la notion de vernaculaire est tout sauf universelle dans le domaine architectural. Elle l'était d'autant plus à la fin des années 1970'. Ainsi, à partir de cette période face à l'emploi grandissant de cette nouvelle notion, et en l'absence de consensus sur sa définition, plusieurs organisations se sont employées à mieux en préciser les principes sémantiques. La participation à ce dessein du Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS) reste aujourd'hui l'une des manifestations les plus

¹³⁵ MERCER, Eric. *L'architecture vernaculaire en Angleterre*

¹³⁶ Architecture vernaculaire, définition et étymologie. Dans : *Dictionnaire sensagent leParisien*

¹³⁷ TRAUCHESSEC, Pierrick. *L'interprétation de l'architecture vernaculaire par les architectes*

¹³⁸ *Charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites*

marquantes de la volonté de s'emparer et de cadrer ces notions à l'échelle internationale^{139,140}. En effet, l'ICOMOS et la charte de Venise sont deux des résolutions issues du deuxième Congrès international des architectes et techniciens des monuments historiques ; l'ICOMOS devant s'assurer de l'application de cette charte¹⁴¹. De ce fait, ce groupement d'architectes, d'historiens et de chercheurs portent leurs actions soutenus par les différents États qu'ils représentent, et plus généralement par l'UNESCO¹⁴². Plus particulièrement, les études préalables aux différents travaux du Conseil International des Monuments et des Sites ont été développées lors de son second colloque¹⁴¹ (session qui s'est étalée sur la période septembre 1979 - août 1979 à la ville de Plovdiv en Bulgarie, l'ICOMOS ayant été fondée en 1964). Les rapports qui en sont tirés balayent l'ensemble des principes parallèles voire intrinsèques au vernaculaire ; et peuvent conséquemment être considérés comme une des premières approches de définition de l'architecture vernaculaire¹⁴³.

Si l'étude de l'ensemble des treize rapports de la seconde session des colloques de l'ICOMOS est nécessaire pour l'argumentation soulevée par ce mémoire, seule l'analyse de celui de Rachelle Anguelova (présidente de ce colloque ; *Rapport généralisateur sur le thème de la deuxième réunion du Comité International d'architecture vernaculaire de l'ICOMOS*¹⁴¹) sera présentée ici. Les autres rapports seront développés plus en détail en annexe 3 par souci de concision.

Principes notionnels de l'architecture vernaculaire soulevés par l'ICOMOS

Il s'agit du compte rendu qui fait suite à la session annuelle de 1979 de l'ICOMOS. En ce sens, Rachelle Anguelova y fait un résumé des différents rapports présentés en annexe. Plus particulièrement, elle met en parallèle les résultats de ses collègues¹⁴⁴ par rapport à la définition d'architecture vernaculaire, et l'avancée certaine qui sont à incomber à ce colloque : à partir de l'étude de l'architecture vernaculaire/populaire de douze pays européens, l'ICOMOS a été en capacité d'en tirer des éléments de validité universelle. Mais aussi, ce compte rendu tend à mettre en avant les différentes interprétations qui persistent dans cette notion. En ce sens, toute généralisation est à proscrire sans l'intention particulière qu'elle nécessiterait.

Tel que défini globalement par les douze autres rapports, l'architecture vernaculaire est l'architecture propre à une zone, établie dans celle-ci depuis suffisamment longtemps pour avoir développé des connaissances techniques de manière empirique. De ce fait, l'architecture vernaculaire n'est pas limitée à une zone discrète comme un pays, mais peut au contraire correspondre à des régions plus ou moins grandes (pouvant s'étendre sur plusieurs pays parfois). De même, les indicateurs temporels qui la cadrent sont difficiles à cerner, en particulier ceux qui définissent les début de période

¹³⁹ Bien que la portée de cet organisme se veuille mondiale, elle restera européenne tout au plus. Les travaux du second colloque de l'ICOMOS se limitent par exemple à l'étude de l'architecture vernaculaire en Europe de l'Ouest¹⁴¹. L'hypothèse de définitions de l'architecture vernaculaire autres que celle européenne est donc fondée, mais ne sera pas plus poussée ici dans la mesure où la grande majorité des travaux de recherche semblent se baser sur le modèle issu d'exemples occidentaux.

¹⁴⁰ ANGUELOVA, Rachelle. *Rapport généralisateur sur le thème de la deuxième réunion du Comité international d'architecture vernaculaire de l'ICOMOS*

¹⁴¹ Ce n'est pas l'absence de consensus sur la définition de vernaculaire qui poussa à la création de l'ICOMOS, mais plus le risque qu'amenait cette absence pour la conservation et la restauration des bâtiments vernaculaires. (sans consensus sur la définition de vernaculaire, et donc sans consensus sur quels bâtiments le sont, le risque de sous-estimer les besoins pour la conservation de certains de ceux-ci était présent).

¹⁴² *Historique - International Council on Monuments and Sites*

¹⁴³ TRAUCHESSE, Pierrick. *L'interprétation de l'architecture vernaculaire par les architectes*

¹⁴⁴ Gnedovsky Boris V., Gschwend Max, Kaila Panu, Laenen Marc, Mercer Eric, Moustopoulos N. C., Novacova Milada, Pavlovitch D. St., Roman Andras, Sezgin Aluk et Stoica Georgeta.

vernaculaire (certains s'autorisent à employer à le placer dans « *des temps immémoriaux* »¹⁴⁵). L'ère industrielle peut autrement signifier parfois la fin d'une ère vernaculaire.

En somme, le terme le plus proche de celui de vernaculaire, déjà qu'employé jusqu'alors, est celui d'architecture populaire (« *comme le résultat de l'évolution séculaire de la tendance populaire de l'art des peuples, existante dans toutes sociétés dotées de classes, en opposition de la ligne officielle, dirigée par les classes dominantes et mises en leur service* »¹³⁴), et ce même si toutes les subtilités du vernaculaire ne sont pas incluses dans ce dernier. Par effet de conséquence, l'architecture vernaculaire emprunte aussi (en partie du moins) des caractéristiques de l'architecture rurale, cette dernière étant liée à l'architecture populaire.

Plusieurs questions restent cependant sans réponse à la suite du colloque de 1979 de l'ICOMOS. Notamment, il reste à statuer de l'importance du programme (construction d'une habitation, construction d'un bâtiment public...) dans la caractérisation de vernaculaire. De même, le statut des bâtisseurs est encore sujet de débat (dans quelle mesure un édifice construit par un technicien peut être vernaculaire ?) : « *architecture vernaculaire : tous les bâtiments de la ville et du village, sans faire différence de leur destination, à condition qu'ils sont construits à l'aide des manières et formes traditionnelles pour l'architecture et la construction pour un pays donné, par des artisans bâtisseurs, issus du peuple et qui ont construit des bâtiments pour les besoins du peuple [...] Cette architecture est oeuvre de représentants qui ont acquis leur qualification grâce à l'expérience accumulée au cours des siècles et transmise de génération en génération, et non d'architectes érudits ou de techniciens autorisés.* »¹³⁴. En effet, l'expérience démontre que même les plus simples constructions nécessitent un savoir-faire important (à comprendre qu'elles ne sont pas primitives, pas innées), qui met en avant l'existence de compétences spécifiques des bâtisseurs, qu'ils soient professionnels ou non.

L'étude de la notion de vernaculaire, en mettant en avant de nombreuses problématiques de définitions, démontre son importance d'après Rachele Anguelova. En questionnant ces constructions, sous le regard du vernaculaire, celles-ci gagnent en importance (dans une appréciation de leur valeur esthétique, historique, environnementale, fonctionnelle et de leurs matériaux) et les sortent de l'oubli. Leur prise en compte doit donc nécessairement passer par une étape d'étude sémantique, qui pourra aboutir vers un protocole de conservation, ou, dans le cas de l'architecture lunaire à venir, un protocole pour sa conception.

Ainsi, Rachele Anguelova témoigne dans son rapport des différentes pistes d'études menées en 1979 par l'ICOMOS. De façon succincte, elle met en avant les nombreuses disparités sémantiques qu'impose le recours au terme de vernaculaire dans le cadre architectural. Des premiers indices de définitions ressortent comme étant communs à plusieurs des membres de ce colloque. D'autres points semblent eux moins faire l'unanimité parmi les treize membres du colloque. Dans la mesure où aujourd'hui encore il n'est pas possible de formuler clairement la définition de l'architecture vernaculaire, il est envisageable de comprendre que ces débats sont encore d'actualité. Il est par conséquent proposé par la suite d'étudier ces différents indices, au regard de l'hypothèse de l'architecture lunaire vernaculaire.

Il est par ailleurs à noter que ce mémoire ne tient d'intérêts dans cette thématique qu'à l'identification du principe de conception d'architectures vernaculaires. En effet, il est envisageable au regard des rapports ci-dessus qu'il existe des procédés pour l'identification de bâtiments vernaculaires déjà existants (c'est d'ailleurs sur les indices de l'existence d'un tel procédé, basés sur les travaux de M. Schwesistahl¹⁴⁶, que sont fondés ces rapports). Cependant, l'analyse de ces rapports tend à démontrer que la classification

¹⁴⁵ ANGUELOVA, Rachele. *Rapport généralisateur sur le thème de la deuxième réunion du Comité international d'architecture vernaculaire de l'ICOMOS*

¹⁴⁶ SCHWESITAH, M. *Histoire de la maison rurale en Belgique*

vernaculaire/non-vernaculaire est majoritairement issue des premières étapes de la vie du bâtiment (de sa conception à sa réalisation), les étapes d'utilisation du bâtiment et de sa fin de vie n'intervenant pas dans cette classification (ou seulement pour le maintien dans cette classification : l'entretien et la sauvegarde de ces bâtiments pour qu'ils restent vernaculaires). De même, la mise en parallèle de ces questionnements de classification avec la colonisation de la Lune prend sens aujourd'hui dans les étapes de conception (il serait prématuré de statuer des questions de la sauvegarde de constructions lunaires alors que les premières étapes de leur conception n'ont été qu'initiées aujourd'hui). Plus encore, il est possible de comprendre en ces termes le nouveau regard apporté par ce mémoire. Là où l'ICOMOS cherche à mettre en place une grille de lecture pour l'identification de la définition de vernaculaire à partir d'exemples déjà construits, il est tenté ici d'identifier les principes de conception vernaculaires (pour les constructions à venir). Les éventuelles disparités qui pourraient exister entre ces rapports et les arguments amenés ci-dessous n'auraient pas valeur à opposer ces deux modèles mais à justifier leurs existences (car fondés avec deux objectifs différents).

Critères de l'architecture vernaculaire

Les treize rapports issus du second colloque de l'ICOMOS démontrent d'après leurs auteurs respectifs l'existence d'éléments récurrents dans l'étude d'architectures vernaculaires. Pour chacun de ceux-ci, ces éléments devraient donc pouvoir servir d'outil d'identification de l'architecture vernaculaire, et donc d'une première base pour la définir clairement. Or, certains des critères d'identification sont incompatibles entre-eux. Par exemple, vernaculaire n'aurait de place qu'en milieux ruraux selon Milada Novacova¹⁴⁷, alors que d'après D. St. Pavlovitch, il est possible d'observer de telles architectures même en ville¹⁴⁸.

Il est donc proposé dans cette partie de reprendre les différentes pistes de définition de l'architecture vernaculaire, sous le postulat de l'architecture lunaire comme vernaculaire. De cette manière, il sera possible d'en faire le recoupement par rapport aux éléments d'analyse de la partie I de ce mémoire. Dans les parties suivantes, il sera ainsi tenté d'établir une nouvelle approche pour l'établissement d'éléments d'identification du vernaculaire, au regard du principe de déterminisme géographique, et plus généralement de ce que devraient être les futures colonies lunaires.

Vernaculaire comme architecture spontanée, sans architectes

Les futurs habitats lunaires semblent devoir être nécessairement pragmatiques pour les diverses raisons développées en première partie. Ainsi, il n'y aurait pas à comprendre de téléologie aux typologies qu'ils pourront prendre : les habitats devront adapter leurs morphologies aux contraintes et non l'inverse. En conséquence, l'hypothèse de l'architecture lunaire vernaculaire tend à faire penser que l'architecture vernaculaire ne serait pas une finalité en soi. Les personnes qui sont amenées à concevoir, mettre en œuvre et vivre dans de tels ouvrages ne chercheraient pas volontairement à correspondre aux critères de celle-ci. Plutôt, c'est la façon dont ces personnes arrivent à recourir à l'acte de construire en réponse à leurs besoins qui amènerait à une production, involontairement vernaculaire. En conséquence, l'architecture vernaculaire serait le processus spontané de réponse fonctionnaliste à un besoin. Cette thèse, initiée en 1977 par les travaux de Bernard Rudofsky¹⁴⁹, est soulevée par Eric Mercer, Milada Novacova, D. St. Pavlovitch et Stoica Georgeta parmi les treize membres de l'ICOMOS¹⁵⁰.

¹⁴⁷ NOVACOVA, Milada. *L'architecture vernaculaire en Tchécoslovaquie*

¹⁴⁸ PAVLOVITCH, D. St. *L'architecture vernaculaire dans les cadres Yougoslaves*

¹⁴⁹ LEBOURG, Bernard Rudofsky. *Architecture sans architectes*

¹⁵⁰ voir annexe 3

Répondre à un besoin nécessite de se conformer aux ressources allouables au projet correspondant. Plusieurs barrières peuvent être limitantes, avec entre autres les contraintes économiques, mais aussi temporelles (temps disponible pour l'acte de concevoir et de construire) ou encore l'accessibilité à des matériaux de construction. En particulier, ces limites en moyens amènent parfois à outrepasser le recours à des tiers. En effet, les architectes et autres professionnels de la construction peuvent être perçus comme des intermédiaires coûteux (voir dont la production est trop en déconnexion avec les besoins initiaux) quand la conception et construction peuvent être directement conduites par les habitants¹⁵¹. Bernard Rudofsky retient en ce sens le terme « *d'architecture sans architectes* »¹³⁸. Ce nonobstant, la participation de professionnels de la construction (ingénieurs, économistes, architectes...) semble indéniable pour la conception des futures colonies lunaires au vu des nombreuses contraintes impliquées par un tel projet (voir partie I). Or, il est probable que cette participation se fasse qu'au travers de professionnels totalement intégrés dans les effectifs des organismes (agences spatiales, multinationales comme *SpaceX*...) qui financeront, géreront et habiteront ces colonies. Cela laisse donc croire que l'identification du vernaculaire se fait dans la non-distinction des différents rôles de maîtrise d'ouvrage, de maîtrise d'œuvre et de construction. Ainsi, l'hypothèse de l'architecture lunaire vernaculaire tend à préférer les thèses de Roman Andras¹⁵² à la formule de Bernard Rudofsky.

De même, la circonscription des moyens et ressources impose l'économie de toute expression esthétique volontaire : le besoin artistique ne serait pas celui qui mène à la production d'architecture vernaculaire. Ce raisonnement n'interdit néanmoins pas de considérer l'architecture lunaire et vernaculaire comme esthétiques (les valeurs artistiques pourraient être considérées *a posteriori* de la construction)¹⁵³.

Vernaculaire comme architecture rurale, en marge

La considération des principes fondamentaux de l'architecture lunaire tend à faire remonter l'importance du site dans la recherche d'une définition de vernaculaire. Parallèlement, l'architecture vernaculaire fait souvent référence au rural¹⁵⁴, et donc au travers des problèmes qui sont liés à une telle localisation. En particulier, à l'inverse des zones de populations denses (les villes), il n'y aurait en campagne pas ou peu accès à certains matériaux de construction. Ceux-ci, notamment ceux d'origine industrielle, nécessitent la présence de chaînes de fabrication et des méthodes de transport adaptées. À défaut d'y avoir accès, l'acte de construire imposerait d'outrepasser ce manque, en réquisitionnant par exemple des matériaux locaux, indigènes, et les techniques constructives associées. Un tel développement est porté par Milada Novacova¹⁵⁵, et peut faire écho aux difficultés d'approvisionnement liées à la Lune (voir *plus haut*). Il est malgré cela difficile de justifier pleinement le terme de rural pour des paysages extraterrestres. Plus encore, il s'agit au final de problématiques qui peuvent aussi avoir lieu en milieux urbains (en période de pénurie à titre d'illustration). La distinction du vernaculaire sur un critère de ruralité semble donc inappropriée, et son incompatibilité avec des constructions en ville ne saurait être retenue.

À ce titre, certains membres de l'ICOMOS, Panu Kaila et Halûk Sezgin, proposent de définir la distinction du vernaculaire comme architecture marginale^{156,157}. L'architecture vernaculaire serait alors le

¹⁵¹ par *habitants*, il sera retenu les futurs usagers du bâtiment en question.

¹⁵² ROMAN, Andras. *La définition du champ notionnel des monuments populaires en Hongrie*

¹⁵³ PAVLOVITCH, D. St. *L'architecture vernaculaire dans les cadres Yougoslaves*

¹⁵⁴ voir partie *Quels intérêts à s'interroger sur la vernacularité des architectures lunaires ?*

¹⁵⁵ NOVACOVA, Milada. *L'architecture vernaculaire en Tchécoslovaquie*

¹⁵⁶ KAILA, Panu. *On vernacular architecture in Finland*

¹⁵⁷ SEZGIN, Haluk. *A propos de l'architecture vernaculaire*

fruit d'un développement en marge de la société et de ses codes (liturgiques en particulier)¹⁵⁸. Ce développement en marge pourrait aussi se traduire par une certaine indépendance économique et industrielle. De prime abord, l'exemple de la colonisation lunaire peut témoigner dans son dessein d'un tel décalage (qui s'il n'était pas soutenu par les éléments développés en introduction serait considéré comme utopique). Par exemple, l'utilisation de régolithe comme matériau de construction offrirait la capacité aux futures colonies de s'autonomiser, de ne plus être assujetties aux ressources importées depuis la Terre¹⁵⁹. Néanmoins, la dépendance des programmes spatiaux (notamment sur le plan économique, voir partie ci-dessus) aux infrastructures terrestres tend à nuancer cette thèse.

La distinction du vernaculaire par son caractère marginal est donc aussi exclue par l'assomption de l'architecture lunaire vernaculaire. Seules les difficultés d'approvisionnement, et les stratégies constructives qui en résultent peuvent correspondre au modèle vernaculaire sélénite pris en référence. En somme, l'architecture vernaculaire serait une réponse proportionnée au site, c'est-à-dire en réponse aux contraintes et opportunités imposées par le site.

Vernaculaire comme architecture populaire, traditionnelle

Le critère d'identification de l'architecture vernaculaire comme purement fonctionnaliste ou spontanée n'est pas suffisant selon N. C. Moustopoulos, Milada Novacova, D. St. Pavlovitch et Georgeta Stoica¹⁶⁰. En écho aux travaux de l'anthropologue Amos Rapoport, il semblerait que des facteurs socioculturels interviennent dans la production vernaculaire.

« Mon hypothèse de base est donc que la forme de la maison n'est pas simplement le résultat de forces physiques ou de tout autre facteur causal unique, mais que c'est la conséquence de toute une série de facteurs socioculturels considérés dans leur extension la plus large. »¹⁶¹

Ainsi, se limiter à l'étude des ressources physiques (site, climat, matériaux) pour la définition de vernaculaire serait incongru. Plutôt, d'après Haluk Sezgin¹⁶², le savoir populaire (c'est-à-dire issu de ce principe d'échange : connaissance sur les matériaux locaux, sur les techniques locales...) serait ce qui caractérise l'architecture vernaculaire. Il est en conséquence nécessaire de prendre en compte l'importance d'autres facteurs pour la définition de l'architecture vernaculaire : de façon simplifiée, ils pourront être condensés sous le terme de *traditions*, de *culture populaire*. L'individu, par manque de connaissances, de savoir-faire ou de main-d'œuvre peut être voir doit être amené à collaborer dans l'acte de concevoir et de construire. Cette collaboration équivaut à un échange, qui répétée dans le temps est la source de la production et la transmission d'un savoir¹⁶³. Les traditions culturelles, et plus particulièrement constructives, seraient donc la traduction directe du processus de transmission de génération en génération de connaissances techniques (il est donc possible de parler de modèle empirique). En somme, l'architecture lunaire qui peut de prime abord sembler ne pas correspondre à ces notions de culture, de tradition (dans la mesure où aucune construction n'a pour l'heure été bâtie

¹⁵⁸ LEBOURG, Bernard Rudofsky. *Architecture sans architectes*

¹⁵⁹ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

¹⁶⁰ voir *annexe 3*

¹⁶¹ RAPOPORT, Amos. *Pour une anthropologie de la Maison*

¹⁶² SEZGIN, Haluk. *A propos de l'architecture vernaculaire*

¹⁶³ SEZGIN, Haluk. *A propos de l'architecture vernaculaire*

sur la Lune), peut en réalité se comprendre comme telle. Même si aucune construction n'y est présente à ce jour, la conception¹⁶⁴ d'habitats spatiaux se perpétue sur Terre depuis près de 50 ans. En se plaçant dans l'hypothèse où elle prendra en compte cette expérience accumulée, l'architecture lunaire pourra être considérée comme traditionnelle. Plus encore, il existe sous d'autres formes (non constructives cette fois-ci) des indices de l'existence d'une culture architecturale lunaire. Cette forme naît en effet d'un imaginaire commun, issu de la pop-culture et de la science-fiction.

Trois grands principes d'identification de l'architecture vernaculaire ressortent de l'analyse croisée des treize rapports de l'ICOMOS avec celle des futures colonies lunaires. Ils peuvent très sommairement être résumés de la sorte :

- L'architecture vernaculaire comme **réponse directe, fonctionnaliste à un besoin**, où un unique acteur possède tous les rôles de concepteur, financeur, constructeur et d'habitant ;
- L'architecture vernaculaire comme une **adaptation au site**, aux contraintes et opportunités qu'il implique ;
- L'architecture vernaculaire comme suivant un **savoir empirique**, où les connaissances techniques nécessaires à l'acte de construire se transmettent par mimétisme.

Ces trois principes sont directement issus de l'hypothèse de l'architecture lunaire vernaculaire, et empruntent donc naturellement des éléments de définition du déterminisme géographique qui donne origine à celle-ci. Tels que développés, ces principes permettent d'englober plus généralement les subtilités imposées par la non-universalité de l'architecture vernaculaire. Il peut ainsi être posé la question des implications de ceux-ci sur le métier de concepteur d'espaces.

L'architecture vernaculaire comme principe de conception déductif

Avec une mise en parallèle avec la formule « *projet = programme + site* »¹⁶⁵, il est possible d'extraire de l'analyse de ce que devrait être l'architecture lunaire colonisatrice¹⁶⁶ et des treize rapports issus du second colloque de l'ICOMOS un raisonnement découpé en questions simples concernant l'identification du principe de conception vernaculaire. Ces dernières sont pour cela directement inspirées de la méthode de raisonnement aristotélicienne¹⁶⁷. Un projet architectural (dans ces étapes de la conception à la réalisation, les questions d'utilisation et de fin de vie sont moins évidentes) devrait alors valider les points suivants pour être considéré comme vernaculaire :

- **Pourquoi ?** : correspond aux ambitions programmatiques du projet. L'acte de construire doit se placer en réponse directe et proportionnée à un besoin^{168,169,170} (besoin d'une structure d'habitation pour vivre, d'entrepôts pour le stockage de nourriture...);
- **Combien ?** : les contraintes économiques, qui découlent directement des ambitions programmatiques. Dans le cas d'architectures vernaculaires les contraintes économiques

¹⁶⁴ et même la construction ; il n'y a à ce jour aucun habitat spatial qui ne fut construit à même l'espace (tout au plus, certains n'ont nécessité que quelques dernières étapes d'assemblages)

¹⁶⁵ BIGARNET, Marc et JOLY, Sidonie. *Analyse architecturale*

¹⁶⁶ Avec en particulier, l'hypothèse de l'architecture lunaire comme étant vernaculaire (elle-même basée sur la réduction de l'expression architecturale lunaire au principe de déterminisme géographique, voir partie I)

¹⁶⁷ Méthode empirique QQOQCCP : *Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Combien ? Pourquoi ?*

¹⁶⁸ Les travaux de l'ICOMOS, notamment ceux de Milada Novacova¹⁷⁰ et de Panu Kaila¹⁷¹, mettent en avant le fait que la construction d'architectures qui auront le statut de vernaculaire peut être aussi bien une réponse directe d'individus seuls ou de petits groupes (ambitions programmatiques individuelles), mais aussi de collectifs (ambitions programmatiques politiques).

¹⁶⁹ NOVACOVA, Milada. *L'architecture vernaculaire en Tchécoslovaquie*

¹⁷⁰ KAILA, Panu. *On vernacular architecture in Finland*

modulent, et très souvent limitent, les ressources employables et leurs méthodes de mise-en oeuvre de façon à contenir le projet dans une enveloppe budgétaire¹⁷¹ ;

- **Où ?** : correspond au site, imposé par les ambitions programmatiques. Le site amène à pouvoir profiter de ressources qu'il apporte (matériaux de construction à proximité, utilisation de la topographie ou de ressources renouvelables comme solaire par exemple...) mais impose aussi de répondre aux contraintes qu'il implique. Il peut être aussi bien rural qu'urbain ;
- **Quand ?** : dans le cas d'architecture vernaculaire, les capacités constructives, obtenues empiriquement, sont fonction du temps (de nouvelles compétences constructives sont mises au point par succession d'essais, d'autres moins employées s'érodent par oubli). En conséquence, le projet doit uniquement soulever des méthodes constructives en accord avec le moment où il est édifié pour être vernaculaire ;
- **Comment ?** : dans le modèle de l'architecture vernaculaire, la morphologie que prend le projet est en accord avec le site, le moment où il est construit et avec les capacités économiques du commanditaire (respectivement les réponses aux questions *Où ?*, *Quand ?* et *Combien ?*). Tel que le souligne Andras Roman, l'architecture doit donc être conçue et construite comme une fonction des ces éléments pour être vernaculaire¹⁷², c'est-à-dire comme une fonction des ambitions programmatiques qui les inclut.

Il est à remarquer par ailleurs le rejet de certaines autres questions du raisonnement aristotélicien dans cette recherche de mise en place de définition de l'architecture vernaculaire, notamment de celle *Qui ? (Pour Qui ?/Par qui ?)*. Au regard des travaux de l'ICOMOS, cette question n'apporte pas de résultats probants pour l'identification du vernaculaire, dans la mesure où une grande liberté est laissée sur l'implication des différents acteurs amenés à intervenir dans un projet architectural. En particulier, le principe d'architecture vernaculaire n'interdit ni le recours à des professionnels pour la conception (à des architectes entre autres), ni pour la construction (artisans...)¹⁵⁹. De même, il semble peu judicieux ici de développer la question *Quoi ?*. En effet, deux bâtiments partageant les mêmes caractéristiques visuelles (le même style architectural par exemple) peuvent être indépendamment considérés comme vernaculaires ou non¹⁷³. Leur identification en tant que tel dépendrait alors de la façon dont ils ont été conçus et construits, en accord ou non avec les questions plus haut. Enfin, il a été omis de mentionner les multiples interconnexions entre les questions *Combien ?*, *Où ?* et *Quand ?*. En effet, chacune de ces questions amène à des variations des deux autres. Le choix du site (question *Où ?*) implique par exemple en plus du recours nécessaire à certaines typologies constructives (question *Comment ?*) d'adapter en conséquence l'enveloppe budgétaire allouée au projet (question *Combien ?*) ainsi que d'adapter le moment de la construction (question *Quand ?*). Sur la figure 27, les phénomènes de répercussion sont symbolisés par des inclusions.

¹⁷¹ L'existence de la question économique est issue de l'hypothèse de prédominance du modèle capitaliste. Les limites de ce raisonnement sont donc à attendre en se plaçant au-delà de cette méthode de pensée.

¹⁷² ROMAN, Andras. *La définition du champ notionnel des monuments populaires en Hongrie*

¹⁷³ MERCER, Eric. *L'architecture vernaculaire en Angleterre*

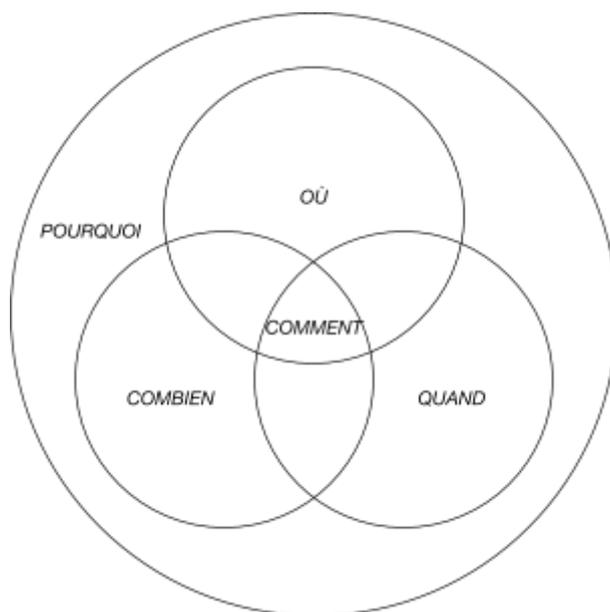


Fig. 27 Diagramme représentant les répercussions des ambitions programmatiques initiales (question *Pourquoi ?*) sur le choix du site, sur les ressources économiques nécessaires et les exigences temporelles (questions *Où ?*, *Combien ?* et *Quand ?*) dans le modèle du principe de conception vernaculaire. *Image de l'auteur*

Il s'agit tel qu'exprimé d'un modèle en accord avec la définition d'architecture vernaculaire, en accord avec les trois principes déterminés dans la partie précédente. Un sens de lecture apparaît alors dans la caractérisation du processus de conception (fig 28). Les contraintes et les ressources (économiques, technologiques, temporelles, politiques...) du site sont directement issues du choix de celui-ci, et sont donc à imputer au programme (ambitions) initialement formulé. Les formes architecturales, c'est-à-dire l'architectonique (typologies constructives et méthodes de construction entre autres) sont alors le résultat de ces contraintes et ressources.

Ce sens de lecture pourra être arbitrairement nommé *sens direct* de la conception. À noter que d'autres interprétations du vernaculaire existent et sont employées en architecture : architecture sans architectes, architecture traditionnelle... Bien qu'elles soient différentes dans leurs formulations, elles restent fondamentalement en accord avec celle présentée ici dans le sens où cette dernière est issue de l'analyse de ces différentes formulations.

$$\text{POURQUOI} = \text{OÙ} + \text{QUAND} + \text{COMBIEN} = \text{COMMENT}$$

—————→
Vernaculaire : méthode de déduction logique

Fig. 28 Diagramme de principe du modèle de conception de l'architecture vernaculaire, comme étant une méthode de déduction à partir de contraintes initiales issues d'un besoin/programme. *Image de l'auteur*

Le principe d'une méthode de déduction implique pour le métier de concepteur une première étape d'identification des contraintes ; c'est-à-dire une analyse de site qui répertorie les contraintes à outrepasser et ressources disponibles, additionné de l'établissement des besoins (qui peut prendre la forme d'un cahier des charges ou du programme du projet). Cette étape d'identification est, dans le cadre de l'architecture colonisatrice lunaire, fortement liée à sa première phase d'exploration (étape initiale nécessaire pour l'établissement d'une

colonie, voir première partie). En conséquence, le caractère vernaculaire de l'architecture lunaire colonisatrice n'est pas remis en question par cette nécessité d'identification ainsi que par ce principe de sens direct.

Modèle bijectif : l'architecture non-vernaculaire

La mise en évidence d'un tel modèle déductif implique l'existence de son opposé¹⁷⁴. En d'autres termes, il est possible de considérer un cheminement inverse pour la création d'un projet architectural. Il reviendrait à considérer la morphologie typologique du projet en première étape, sur laquelle seraient adaptés les autres questionnements programmatiques : nombre de pièces, matériaux, méthodes de mise en oeuvres, coûts... (voir fig. 29). Ainsi, s'il est possible de considérer l'architecture vernaculaire comme le produit d'une méthode de conception déductive, c'est-à-dire en réponse "directe" de contraintes (sens *direct* de la conception), alors l'architecture non-vernaculaire correspondrait au sens indirect de la conception, au produit d'une conception inversée. L'existence d'une telle bijection est par ailleurs validée par Éric Mercier¹⁶⁵, mais aussi par les travaux sur les modèles de conception de Christopher Alexander¹⁷⁵.

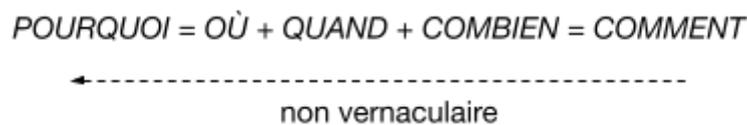


Fig. 29 Diagramme de principe du modèle de conception de l'architecture non-vernaculaire, comme étant une méthode imposant la forme architectonique aux contraintes plutôt que l'inverse. *Image de l'auteur*

Dans la culture occidentale, les notions *d'indirect* peuvent apporter avec elle une connotation qui peut être perçue comme péjorative. Le choix du terme *d'indirect*, au même titre que le choix d'un diagramme dont la lecture se fait de la droite vers la gauche en opposition aux habitudes occidentales, n'a en rien l'intention de transmettre une connotation négative. Au contraire, elle a pour intention de mettre en relief les avancées que propose un tel modèle par rapport à son homologue au sens direct. En effet, les résultats précédents montrent que l'architecture vernaculaire peut être comprise comme l'application primitive d'un modèle de conception : établissement d'un programme (*id est* analyse des besoins), puis analyse des moyens techniques et technologiques puis phases de conception. L'emploi de ce modèle primitif peut par exemple assurer l'obtention relative d'un résultat correspondant à un objet programmatique initial, à un cahier des charges. Les premières étapes d'un processus de colonisation sont en ce sens en accord avec ce principe : la mauvaise connaissance du monde nouveau où construire et de ses contraintes, de ses risques, adjoint à des ressources technologiques et économiques limitées, oblige les colons à suivre une formule qui leur assurera un lieu où vivre. Il est exclu dans les premières phases temporelles de la colonisation de mettre en danger les colons en prenant le risque de produire une architecture non adaptée. Ces intentions de sécurité s'illustrent ici particulièrement bien pour la colonisation de la Lune, comme il s'est tout autant illustré lors de la colonisation de l'Amérique du Nord au XVI^e s.

Il n'y a donc pas à comprendre ici un jugement de valeur entre les deux modèles opposés (vernaculaire/non-vernaculaire, direct/indirect) : Les deux modèles impliquent des contraintes qui leur sont spécifiques. Par exemple, le modèle vernaculaire impose une étude approfondie des composantes du contexte,

¹⁷⁴ MERCER, Eric. *L'architecture vernaculaire en Angleterre*

¹⁷⁵ GHOLIPOUR, Vida, BIGNON, Jean-claude et GUIMARAES, Morel. *Un outil pour la conception d'édifices durables*

une analyse. En d'autres termes, une préparation poussée et généralement chronophage. À l'opposé, le modèle non-vernaculaire tel qu'exprimé ici oblige à se séparer de ses étapes initiales d'analyse, au profit d'une spontanéité créative. Mais aussi, le modèle indirect peut témoigner d'une avancée technique faite au travers du détachement sentimental envers le modèle plus classique (fig 30). Il est alors laissé libre aux acteurs de la conception, au métier d'architecte en particulier, d'essayer de suivre le modèle direct ou indirect¹⁷⁶, voire même de suivre d'autres modèles hybrides qui peuvent être évoqués plus en détail.



Fig. 30 Photographie du musée des confluences à Lyon (2014 , architecte : Coop Himmelblau). De façon à obtenir un visuel de « nuage flottant », les contraintes économiques initiales ont été largement modifiées en démultipliant l'enveloppe budgétaire du projet¹⁷⁷. Source : www.amcsti.fr

Modèle hybride : régionalisme critique

L'ensemble de la production architecturale ne peut sûrement pas se réduire à la somme des productions architecturales vernaculaires et de celles non-vernaculaires. Il existe probablement des modèles dans cet entre-deux, des modèles hybrides. Ces modèles, dans leur construction autour du même schéma que plus haut (d'une représentation temporelle des étapes de la conception), amènent à considérer une non-linéarité dans le processus suivi. Le mouvement régionaliste critique peut à ce titre servir d'exemple (fig. 31). En effet, ce mouvement cherche à se détacher volontairement du mimétisme archétypal du mouvement régionaliste (celui-ci *non* critique) qui recopie visuellement des architectures vernaculaires sans adaptation¹⁷⁸. Les formes reprises (question Comment ?) sont alors réadaptées aux nouvelles contraintes (question Quand ?, Où ? et Combien ?) et donne lieu à une remise en question des modèles vernaculaires initiaux (question Pourquoi ?).

¹⁷⁶ Comme évoqué plus haut, certains cas d'étude semblent orienter systématiquement vers l'utilisation d'un modèle de conception. En particulier, l'étude d'architecture en milieu extrême ne semble principalement que compatible avec le modèle direct (*id est* modèle vernaculaire).

¹⁷⁷ UNIVERSALIS, Encyclopædia. MUSÉE DES CONFLUENCES. Dans : *Encyclopædia Universalis*

¹⁷⁸ FRAMPTON, Kenneth. *Vers un régionalisme critique : pour une architecture de résistance*

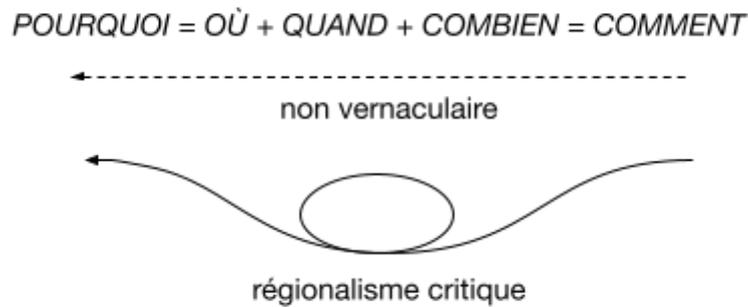


Fig. 31 Diagramme de principe du modèle de production de l'architecture régionaliste critique en comparaison à celui non-vernaculaire : reprise de l'image populaire (stéréotypée) et l'adaptation au site (*id est* aux contraintes). *Image de l'auteur*

Il serait néanmoins très réducteur de simplifier la volonté des architectes du mouvement régionaliste critique au travers du modèle hybride de conception. Il ne faut donc pas comprendre le modèle de conception hybride comme le résumé de ce mouvement, mais plutôt comme une de ses caractéristiques. De ce fait, l'étude du mouvement régionaliste critique semble être une piste d'intérêt dans l'étaiement des thèses proposées dans ce mémoire, dans la mesure où de nouveaux éléments de définition de l'architecture vernaculaire pourraient en être déduits.

Conclusion

Dans cette dernière partie pourront être évoqués une nouvelle fois les différents résultats d'analyse et d'argumentation de ce mémoire, mais aussi sera évaluée la validité des hypothèses et méthodes soulevées plus haut. Il est à rappeler à cet effet les deux grandes questions qui ont façonné ce document :

- *Quelles formes pourra et devra prendre l'architecture lunaire dans l'éventualité de sa réalisation ? ;*
- *Dans quelle disposition l'architecture lunaire peut-elle modifier la définition de vernaculaire ?*

Les conclusions menées par ce mémoire sont volontairement ouvertes, dans la mesure où elles pourront être amenées à évoluer dans des étapes de réflexions ultérieures. Une telle approche fait référence à une phase de développement supplémentaire offerte par la mention recherche (avec par exemple une mise en questionnement du modèle typologique constructif proposé ici au travers du projet de fin d'étude), mais aussi à une poursuite plus lointaine comme thèse de doctorat.

La méthode prospective, telle que décrite par Michel Ragon en 1978, permet d'identifier des premiers éléments pour la définition de ce que devrait être la future architecture lunaire. Fortement influencée par les contraintes inhérentes au milieu lunaire, mais aussi par une recherche de sécurité pour ses habitants, les futures colonies sélénites se limiteront probablement dans leur mise en œuvre sur site qu'à quelques classes typologiques. Ces dernières devraient selon toute vraisemblance être en correspondance avec leur contexte économique, politique, économique et sécuritaire, et plus généralement être une fonction directe des raisons qui pousseront l'Homme à les déployer. La prédominance du site amène ainsi à considérer la future architecture lunaire comme suivant le principe de déterminisme géographique.

De ce fait, les habitats sélénites se rapprocheraient en de nombreux points aux différentes notions d'architecture vernaculaire. Au regard de cette comparaison, qui donne lieu d'hypothèse fondamentale à ce mémoire, il est rendu possible de proposer une nouvelle approche pour l'analyse des travaux d'étude sémantique du Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS). La production architecturale vernaculaire serait alors identifiable au moyen de trois indices, qui ensemble se traduisent en un modèle de conception déductif. Il s'agit alors d'une nouvelle approche pour définir l'architecture vernaculaire, basée sur l'étude prospective des futures colonies lunaires. Alors, et bien qu'il soit difficile de statuer sur de la justesse du postulat de nécessaire vernacularité de la future architecture lunaire, les résultats de ce mémoire laissent entrevoir la possibilité d'existence de libertés décisionnelles à la conception pour les architectes en milieu extrêmes, sans pour autant se détacher du principe de déterminisme géographique. Alors, le processus de conception resterait permissif quant à l'action de l'architecte, à condition qu'il ait en tête ce tel processus de déduction. Autrement, il se retrouverait passif dans son travail de conception. Tel que mis en avant, l'architecte pourrait alors avoir plusieurs postures face à l'importance des contraintes lunaires ; passive ou active. Elles correspondent respectivement à une position vernaculaire ou non. Des entre-deux sont aussi envisageables.

Retours sur le modèle de conception déductif vernaculaire

Tel qu'énoncé, la définition de vernaculaire comme méthode de conception déductive semble correspondre à de nombreuses constructions, sur la Lune mais aussi sur Terre. La plupart des projets architecturaux contemporains, à quelques rares exceptions, semblent se placer dans une production pragmatique en réponse à des besoins ; vernaculaire en somme au regard de la définition apportée ici. Deux conclusions peuvent alors être émises de ce constat :

- La méthode d'identification présentée ne "filtre" pas assez les projets étudiés, et en reconnaît trop comme étant vernaculaires (trop dans le sens où selon l'ICOMOS, la proportion de

bâtiments vernaculaires par rapport à ceux qui ne le sont pas devrait être faible¹⁷⁹). Plusieurs éléments peuvent justifier cette disparité entre la méthode d'identification ainsi obtenue et les constats de l'ICOMOS. Notamment, il a été rejeté implicitement la condition de grande ancienneté du bâti dans l'établissement d'une nouvelle définition du vernaculaire. Dans ce cas, la proportion de bâtiments vernaculaires par rapport aux autres serait alors beaucoup plus faible. Par effet de conséquence, il serait alors impossible de considérer l'architecture lunaire colonisatrice comme vernaculaire (ou du moins, pas avant un certain délai après sa construction si elle a effectivement lieu).

- La notion de vernaculaire commune, sur laquelle sont basés les rapports de l'ICOMOS (architecture spontanée, rurale, par le peuple...) amène à considérer bien plus de bâtiments comme vernaculaires qu'il est initialement laissé penser.

Ce dernier point fait écho à l'objectif de remise en question de la définition de vernaculaire. Cependant, il est probable que le modèle d'identification construit ici, trop simpliste, soit à l'origine de ce constat. Le recours à la méthodologie prospective et sa mise aux limites sur un site nouveau (la Lune) peuvent en partie l'expliquer.

Retours sur la méthode prospective

L'emploi de la futurologie dans le cadre de ce mémoire semble justifié de par les résultats qu'elle amène. Plus que de définir ce que seront les futures architectures lunaires, la futurologie permet de mettre en avant des éléments de définitions de l'architecture vernaculaire. Par transposition, ces éléments sont applicables (au prix d'une certaine adaptation) à l'architecture terrestre, en dégagant de nouveaux éléments de compréhension. Elle se base pour cela d'exemple du passé qui sont projetées après adaptations au futur proche que devrait être la colonisation de la Lune. À cette fin, la méthode prospective développée ici fait recours à de nombreuses reprises aux exemples issus de la période de la course à l'espace (1957-1975), et plus particulièrement du programme lunaire américain Apollo.

« Il est de nature des administrations et des experts de fonder leurs perspectives sur des données rétrospectives. »¹⁸⁰

En effet, ce programme est souvent cité comme exemple d'un imaginaire commun. Mais aussi, il est dans une certaine mesure le témoin d'une première expérience réussie dans le dessein de la colonisation de la Lune (dépôt du LM, architecture bien que temporaire, proposant un espace de vie sur la surface lunaire). Il s'agit néanmoins d'un exemple daté, qui ne saurait être employé sans impliquer d'imprécisions sur les conclusions de ce mémoire.

Ainsi, il est à nuancer les résultats ici issus de l'emploi de la méthode prospective : la prospective et la futurologie reposent elles deux sur l'établissement d'hypothèses initiales qui dans leur expression impliquent des résultats très variés. Les résultats présentés dans ce mémoire ne sauraient être réemployés sans les nuances qu'ils impliquent.

« Sauf exceptions marginales et généralement somptuaires, l'urbanisme pensé n'est pas celui qui se fait, et celui qui se fait n'est pas celui qui est pensé. »¹⁸¹

¹⁷⁹ voir annexe 3

¹⁸⁰ GOTTMANN, Jean. *Revue Prospectives*

¹⁸¹ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

Retours sur le choix de la Lune

L'étude du spatial et de la colonisation de la Lune, au travers d'essais d'identification du vernaculaire, tend à démontrer l'existence de plusieurs modèles de conception architecturale. *A posteriori*, ces avancées sur les plans sémantiques (et même s'il est difficile de statuer sur leur totale validité) justifient le choix d'orienter ce mémoire à l'étude de la future architecture sélénite. Un tel cadre admet certes de nombreuses zones floues, qui se retranscrivent en la nécessité de poser de nombreuses assomptions, mais permet avant tout de se détacher des travaux de recherche existants en proposant une approche nouvelle et fructueuse en réflexions.

En étudiant les différentes prospectives offertes par la colonisation de la Lune dans un avenir plus ou moins proche, il est rendu possible l'analyse des débouchés architecturaux offertes par celle-ci. Ainsi, il est possible d'anticiper les éventuelles problématiques qui y sont liées, et donc par la même occasion d'anticiper les solutions qu'elles pourraient nécessiter. Telle qu'employée, la prospective, la futurologie, est une critique d'avenir selon Gaston Berger¹⁸².

« Contrairement à l'utopie humaniste qui ne concevait qu'un seul monde idéal possible, la futurologie se propose de constituer un dossier de tous les futurs imaginables, des meilleurs aux pires. [...] Il ne faut jamais oublier que nous les présentons comme "scénarios possibles", et qu'un scénario prospectif est fait pour être lu, déchiffré et, s'il se révèle oppressif, combattu. »¹⁷¹

« Il existe une nécessité de prise en compte des problèmes environnementaux dans les phases amonts du processus de conception des bâtiments. Mais la plupart des méthodes actuelles évaluent le bâtiment en tant que "construit" plutôt que le bâtiment en tant que "conçu" »¹⁸³

Plus encore, le développement numérique de concours (par la fondation Jacques Rougerie¹⁸⁴,...) de semestre d'études (HB2¹⁸⁵, MS¹⁸⁶...) et d'écoles (International Space University¹⁸⁷, Sasakawa International Center for Space Architecture¹⁸⁸,...) spécialisés démontre l'existence et l'accroissement de l'intérêt du corps architectural à l'étude du spatial. Plus foncièrement, les différents organismes étatiques et privés témoignent de l'importance de mieux introduire les architectes dans le processus de conception des futurs habitats spatiaux¹⁸⁹. Il n'est pas à douter de la qualité de synthèse des problématiques de gestions de l'espace construit des architectes¹⁹⁰, et il est probable qu'ils arrivent à exporter celle-ci jusqu'aux milieux lunaires pour compléter avec ses compétences un milieu parfois trop techno-centré¹⁷⁹.

¹⁸² RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

¹⁸³ GHOLIPOUR, Vida, BIGNON, Jean-claude et GUIMARAES, Morel. *Un outil pour la conception d'édifices durables*

¹⁸⁴ BADEN BADEN, Edgar et YEMELI, Franklin. *Fondation Jacques Rougerie : Toujours plus loin, toujours plus haut*

¹⁸⁵ *HB2 Destination Moon* [en ligne]. Department of Building construction and Design

¹⁸⁶ Dual M.S. Degree in Aerospace Engineering and Space Architecture. Dans : *UH Department of Mechanical Engineering*

¹⁸⁷ International Space University. Dans : *International Space University*

¹⁸⁸ Cullen College of engineering, SICSA. Dans : *SICSA*

¹⁸⁹ YEĞEN, Ece. *An inquiry of space architecture: design considerations and design process*

¹⁹⁰ FRANCE, MENRATH, Marie-Jeanne et VETTER, Pierre. *La qualité des constructions publiques*. Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques. Paris : MIQCP, 1999. ISBN 978-2-11-091778-2.

« Lorsque le projet modèle avec art les espaces, les volumes, les proportions, règle leurs relations, [l'architecte] prend une dimension culturelle qui transcende la dimension fonctionnelle. L'espace, les volumes, les matières, la lumière sont les véritables matériaux de l'architecture. L'architecte construit, avec tous ces ingrédients et à partir d'un programme essentiellement utilitaire, une œuvre culturelle, expression de la pensée humaine. »¹⁹¹

Indirectement, ce mémoire tend à apporter des pistes de réflexion sur la démarche de conception et de construction sur la base de l'étude des architectures en milieu lunaire. Par analogie, il est possible d'imaginer que ces mêmes conclusions peuvent être soulevées, moyennant adaptation, dans le cas des milieux extrêmes : spatiaux bien sûr, mais également désertiques, pélagiques, de haute-montagne... Mais aussi, si l'hypothèse où le processus de construction sur Terre est lui aussi très contraint (par les finances des bâtisseurs, par le savoir-faire des entreprises, par un cadre administratif struct...) est faite, alors de telles conclusions pourraient être également élargies au cadre plus général de l'architecture quotidienne¹⁹².

Remerciements à Mr Kévin Jacquot, responsable de l'encadrement de ce mémoire.

¹⁹¹ FRANCE, MENRATH, Marie-Jeanne et VETTER, Pierre. *La qualité des constructions publiques*. Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques

¹⁹² Il s'agit là des limites des propos soutenus dans ce mémoire : à force de généralisation, on tend à diluer les résultats obtenus jusqu'à obtenir des généralités évidentes.

Bibliographie

Ce chapitre regroupe les différentes sources employées dans le cadre de ce rapport d'étude.

1. ADAMS, Constance. *(Aero)Space Architecture takes flight*. Houston, TX., 10 décembre 2002. Disponible à l'adresse : Spacearchitect.org
2. ALLEN, Christopher S et COOPER, David W. *Proposal for a lunar tunnel boring machine*. Mai 1988, p. 67
3. ANDERSEN, Dale, MCKAY, C, WHARTON, R et RUMMEL, John. An Antarctic research outpost as a model for planetary exploration. *Journal of the British Interplanetary Society*. Février 1990, Vol. 43, p. 499-504
4. ANGUELOVA, Rachelle. *Rapport de l'activité du Comité International d'architecture vernaculaire de l'ICOMOS pendant la période 1.09/1978-31.08.1979*. Rapport n°10. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
5. ANGUELOVA, Rachelle. *Rapport généralisateur sur le thème de la deuxième réunion du Comité international d'architecture vernaculaire de l'ICOMOS*. Rapport n°10. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
6. ANGUELOVA, Rachelle. *Résolution de la réunion du Comité international de l'architecture vernaculaire*. Rapport n°12. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
7. APOLLO RELIABILITY AND QUALITY ASSURANCE OFFICE. *Quarterly status report*. 9 juillet 1965. Disponible à l'adresse : archive.org
8. BACHMAN, Justin. *New Space Race Shoots for Moon and Mars on a Budget*. 28 novembre 2020. Disponible à l'adresse : www.bloomberg.com
9. BADEN BADEN, Edgar et YEMELI, Franklin. *Fondation Jacques Rougerie : Toujours plus loin, toujours plus haut*. Institut de France, 17 janvier 2019
10. BANNOVA, Olga. *Terrestrial Analogs for Planetary Surface Facility Planning and Operations*. Long Beach, California, United States : American Society of Civil Engineers, 4 septembre 2008, p. 8. ISBN 978-0-7844-0988-6. DOI 10.1061/40988(323)111
11. BENAROYA, Haym et BERNOLD, Leonhard. Engineering of lunar bases. *Acta Astronautica*. Février 2008, Vol. 62, n° 4, p. 277-299. DOI 10.1016/j.actaastro.2007.05.001
12. BIGARNET, Marc et JOLY, Sidonie. *Analyse architecturale : synthèse de travaux étudiants*, 2017, p. 114
13. BOUHALLIER, Hughes. *Evolution structurale et métamorphique de la croûte continentale archéenne (craton de Dherwar, Inde du Sud)* Université Rennes 1, 25 mars 1994. Disponible à l'adresse : tel.archives-ouvertes.fr
14. COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress – 2002 10-19 Oct 2002/Houston, Texas*. Janvier 2002, p. 29
15. FERRALL, J. F., GANAPATHI, G. B., ROHATGI, N. K. et SESHAN, P. K. Life support systems analysis and technical trades for tieta lunar outpost. *NASA TM 109927, Washington DC: NASA*. 1994. Disponible à l'adresse : ntrs.nasa.gov
16. FITCH, James Marston et BOBENHAUSEN, William. *American Building: The Environmental Forces that Shape it*. : Oxford University Press, 1999. ISBN 978-0-19-511040-1
17. FRAMPTON, Kenneth. *Vers un régionalisme critique : pour une architecture de résistance*. Hal Foster. Port Townsen, 1983. ISBN 978-2-912261-80-9
18. FRANCE, MENRATH, Marie-Jeanne et VETTER, Pierre. *La qualité des constructions publiques*. Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques. Paris : MIQCP, 1999. ISBN 978-2-11-091778-2

19. GHIDINI, Thomas. *Interview*. 28 février 2019. Disponible à l'adresse : [/www.youtube.com](http://www.youtube.com)
20. GHOLIPOUR, Vida, BIGNON, Jean-claude et GUIMARAES, Morel. *Un outil pour la conception d'édifices durables.*, p. 13
21. GLOBUS, Al. *Interview*. 28 février 2019. Disponible à l'adresse : www.youtube.com
22. GNEDOVSKY, Boris V. *Les voies de formation de la notion « monument de l'architecture populaire »*. Rapport n°7. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
23. GOTTMANN, Jean. *Revue Prospectives*
24. GOUCHTCHEV, Serge et VASSILIEV, Michel. *La vie au XXIe siècle*. Trad. du russe par C. de Neubourg. Buchet Chastel, 1 janvier 1964. B003WTQPN2
25. GROPIUS, Walter. *The Bauhaus Book n°7*. 1920. ISBN 978-3-95905-058-6
26. GROUPE DE TRAVAIL et « QUALITÉ ARCHITECTURALE ET TRANSITION ÉCOLOGIQUE ». *Principes pour une architecture au temps du développement durable*. Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques – Ministère de la Culture et de la Communication, novembre 2013, p. 35.
27. GRUMMAN. *Lunar Module quick reference data*. 1966. Apollo news reference. Disponible à l'adresse : www.hq.nasa.gov
28. GSCHWEND, Max. *Architecture vernaculaire*. Rapport n°1. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
29. HOME, NASA Responsible Official: Melvin J. Ferebee Page Curator: Kevin R. Antcliff Privacy Policy NASA. *Lunar Gateway | SACD*. Disponible à l'adresse : sacd.larc.nasa.gov
30. JOHANNES WEPPLER, BANDER, Ashley et SABATHIER, Vincent G. Costs of an International Lunar Base. *Center for strategic international studies*. Septembre 2009. Disponible à l'adresse : <https://www.csis.org/analysis/costs-international-lunar-base>
31. JONES, Harry W. NASA's understanding of risk in Apollo and Shuttle. Dans : *2018 AIAA SPACE and Astronautics Forum and Exposition*. Orlando, FL : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 17 septembre 2018. ISBN 978-1-62410-575-3. DOI 10.2514/6.2018-5235
32. JPL. 20 Inventions we wouldn't have Without space travel. Dans : *JPL Infographics*. Disponible à l'adresse : www.jpl.nasa.gov
33. KAILA, Panu. *On vernacular architecture in Finland*. Rapport n°8. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
34. KALLIPOLITI, Lydia. *The architecture of closed worlds*. Zürich : Lars Müller Publishers, 2018. ISBN 978-3-03778-580-5
35. KAREN S. BERNSTEIN. *Structural Design Requirements and Factors of Safety for Spaceflight Hardware For Human Spaceflight*. Octobre 2011. Disponible à l'adresse : ntrs.nasa.gov
36. KESTELIER, Xavier De, DINI, Enrico, CESARETTI, Giovanni, COLLA, Valentina et PAMBAGUIAN, Laurent. *3D printing regolith as a construction technique for environmental shielding on the moon*, p. 4
37. KLOS, Sheila. The Encyclopedia of vernacular architecture of the world. OLIVIER, Paul (dir.), *Art Libraries Journal*. 1997, Vol. 23, n° 2, p. 45-48. Cambridge University Press. DOI 10.1017/S0307472200011019
38. KOKH, Peter et ARMSTRONG, Doug. The Potential of Lunar Lavatubes. Dans : *Settling into a Lavatube : brainstorming an Early Lavatube Town*. Copernicus Construction Company, 1996. Disponible à l'adresse : strabo.moonsociety.org
39. LABEAGA-MARTÍNEZ, N., SANJURJO RIVO, Manuel, DÍAZ-ÁLVAREZ, José et MARTÍNEZ-FRÍAS, Jesús. Additive manufacturing for a Moon village. *Procedia Manufacturing*. Décembre 2017, Vol. 13, p. 794-801. DOI 10.1016/j.promfg.2017.09.186
40. LAENEN, Marc. *A propos de l'architecture vernaculaire en Belgique*. Rapport n°13. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
41. LAMUNIÈRE, Jean-Marc. *Le classement typologique en architecture*. 1988, p. 7. DOI <http://doi.org/10.5169/seals-128866>

42. LASSURE, Christian. *Qu'est-ce que le CERAV ?* Disponible à l'adresse : [/www.pierreseche.com](http://www.pierreseche.com)
43. LEBOURG, Bernard Rudofsky. *Architecture sans architectes*. Paris : Chêne, 1977. ISBN 978-2-85108-150-6
44. LEPIC, Ruth Slavid. *Architecture des limites*. Paris : Seuil, 2009. ISBN 978-2-02-099412-5
45. MAYMONT, Paul. *Prospective et futurologie*. 1961
46. MERCER, Eric. *L'architecture vernaculaire en Angleterre*. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
47. MERCER, Eric et ROYAL COMMISSION ON HISTORICAL MONUMENTS (ENGLAND). *English vernacular houses : a study of traditional farmhouses and cottages*. London : H.M.S.O. 1979. Disponible à l'adresse : archive.org
48. MODLIN, C T et ZIPAY, J J. *The 1.5 & 1.4 Ultimate Factors of Safety for Aircraft & Spacecraft – History, Definition and Applications.*, p. 26
49. MORRISON, Hugh. *Early american architecture : from the first colonial settlements of the national period*. New York : Dover, 1987. ISBN 0-486-25492-5
50. MOUSTOPOULOS, N.C. *Les notions et les limites de l'architecture traditionnelle en Grèce*. Rapport n°6. Plovdiv, Bulgarie
51. NASA, *Source Selection Statement*, 16 avril 2021, p. 24. Disponible à l'adresse : www.nasa.gov
52. NEUMAN, Scott. *China, Russia Announce Plan To Build Moon Research Station*. Disponible à l'adresse : text.npr.org
53. NGUYEN, Viet Chu Danh. *De la Lumière dans l'Espace-Temps: « L'architecture thérapeutique comme aide psychologique aux astronautes »*. Lyon : Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, 2018
54. NOVACOVA, Milada. *L'architecture vernaculaire en Tchécoslovaquie*. Rapport n°4. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
55. PARIS, Antonio J., DAVIES, Evan T., TOGNETTI, Laurence et ZAHNISER, Carly. *Prospective lava tubes at Hellas Planitia*. 2019, p. 16
56. PAVLOVITCH, D. St. *L'architecture vernaculaire dans les cadres Yougoslaves*. Rapport n°2. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
57. RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*. 3 : Prospective et futurologie. Paris : Casterman, 1978. ISBN 978-2-203-23137-5
58. RAGON, Michel, FRIEDMAN, Yona, MAYMONT, Paul, PATRUX, Georges et SCHÖFFER, Nicolas. *Manifeste du Groupe International d'Architecture Prospective*. Paris, mai 1965
59. RAPOPORT, Amos. *Pour une anthropologie de la Maison*. Dunod. 1 janvier 1996. Aspects de l'urbanisme
60. ROMAN, Andras. *La définition du champ notionnel des monuments populaires en Hongrie*. Rapport n°5. Plovdiv, Bulgarie :
61. ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
62. ROTTIER, Guy. *Lettre à Michel Ragon*. Damas , 18 juin 1975
63. SCHLEPPI, Juergen, GIBBONS, Joseph, GROETSCH, Alexander, BUCKMAN, Jim, COWLEY, Aidan et BENNETT, Nick. *Manufacture of glass and mirrors from lunar regolith simulant*. *Journal of Materials Science*. Mars 2019, Vol. 54, n° 5, p. 3726-3747. DOI 10.1007/s10853-018-3101-y
64. SCHWESITAH, M. *Histoire de la maison rurale en Belgique*. Bruxelles : Am. Soc. arch. Brux., 1905
65. SELIG, Molly M., VALLE, Gerard D. et JAMES, George H. *Creep Burst Testing of a Woven Inflatable Module*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2014. Disponible à l'adresse : ntrs.nasa.gov

66. SEZGIN, Haluk. *A propos de l'architecture vernaculaire*. Rapport n°14. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979
67. SHERWOOD, Brent. Organizing Ourselves: Schema to Build the International Space Architecture Community. Dans : *Space 2006*. San Jose, California : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 19 septembre 2006. ISBN 978-1-62410-049-9. DOI 10.2514/6.2006-7471
68. STANLEY ROBINSON, Kim. *La trilogie martienne*. Omnibus, 2012. ISBN 2-258-09253-1
69. STOICA, Georgeta. *Qu'est-ce que l'architecture vernaculaire ?* Rapport n°9. Plovdiv, Bulgarie : ICOMOS Comité international d'architecture vernaculaire, octobre 1979. Disponible à l'adresse : openarchive.icomos.org
70. TAYLOR, Stuart Ross et MCLENNAN, Scott M. *Planetary crusts: their composition, origin and evolution*. New York : Cambridge University Press, 2009. Cambridge planetary science. ISBN 978-0-521-84186-3. QB603.C78 T39 2009
71. THIMMESH, Catherine. *How 400,000 People Landed Apollo 11 on the Moon*. Houghton Mifflin Harcourt, 26 juin 2006. ISBN 978-0-547-34969-5
72. THORSTEN, Bürklin et JÜRGEN, Reichardt. *Albert Kahn's industrial architecture*. Basel : Birkhäuser, 2019. ISBN 978-3-0356-1809-9. Disponible à l'adresse : www.archires.archi.fr
73. TIETZ, Dale. Mining the Moon becomes a serious prospect. *Physics world*. Février 2015, p. Im0. Science Daily
74. TOUCHAIS, Maurice. *Le Soleil et les habitations lunaires*. bulletin du COMPELS, avril 1970
75. TRAUCHESSEC, Pierrick. *L'interprétation de l'architecture vernaculaire par les architectes*. Mai 2014, p. 116. dumas-01148254
76. TRUMP, Donald J. *Executive Order 13914*. Encouraging International Support for the Recovery and Use of Space Resources. 6 avril 2020. Disponible à l'adresse : www.govinfo.gov
77. TUCKER, Dennis, ETHRIDGE, Edwin et TOUTANJI, Houssam. *Production of Glass Fibers for Reinforcement of Lunar Concrete*. 9 janvier 2006. ISBN 978-1-62410-039-0. DOI 10.2514/6.2006-523
78. UNIVERSALIS, Encyclopædia. FRIEDRICH RATZEL. Dans : *Encyclopædia Universalis*. Disponible à l'adresse : www.universalis.fr
79. UNIVERSALIS, Encyclopædia. MUSÉE DES CONFLUENCES. Dans : *Encyclopædia Universalis*. Disponible à l'adresse : www.universalis.fr
80. USGS ASTROGEOLOGY SCIENCE CENTER. *Unified Geologic Map of the Moon*. 2020. Disponible à l'adresse : astrogeology.usgs.gov
81. VENTURI, Scott Brown. *L'enseignement de Las Vegas*. Wavre : Mardaga, 2008. ISBN 978-2-8047-0007-2
82. VITRUVÉ. *Les dix livres d'architecture de Vitruve*. Paris : J.-B. Coignard, 1673. Disponible à l'adresse : data.bnf.fr
83. WEIR, Andy. *Artemis*. Bragelonne. 2018. ISBN 1-02-810722-6
84. WEIR, Andy. *The Martian*. Vintage USA, 2015. ISBN 1-101-90555-7
85. WILLIAM P. ROGERS. *Report of the presidential commission on the Space Shuttle Challenger Accident*. Washington D.C. 6 juin 1986. Chapter VII: The silent safety program. Disponible à l'adresse : [/history.nasa.gov](http://history.nasa.gov)
86. YEĞEN, Ece. *An inquiry of space architecture: design considerations and design process*. Décembre 2019, p. 163
87. Architecture vernaculaire, définition et étymologie. Dans : *Dictionnaire sensagent leParisien*. Disponible à l'adresse : dictionnaire.sensagent.leparisien.fr
88. *Charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites*. Conseil International des Monuments et des Sites, 1964. Disponible à l'adresse : www.icomos.org
89. Dual M.S. Degree in Aerospace Engineering and Space Architecture. Dans : *UH Department of Mechanical Engineering*. 31 mai 2017. Disponible à l'adresse : www.me.uh.edu
90. *Eurocodes: Building the future - The European Commission website on the Eurocodes 130*. Disponible à l'adresse :

eurocodes.jrc.ec.europa.eu

91. *Historique - International Council on Monuments and Sites*. Disponible à l'adresse : www.icomos.org
92. La Futurologie. Dans : *Revue interne des sciences sociales*. Unesco. 1969, XXI, p. 391. 220
93. *Mars500: study overview*. Disponible à l'adresse : www.esa.int
94. *Traité sur les principes régissant les activités des Etats en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la lune et les autres corps célestes*. 27 janvier 1967. Disponible à l'adresse : www.fedlex.admin.ch

Iconographie

Ce chapitre regroupe les différentes illustrations employées dans le cadre de ce rapport d'étude. Elles sont classées par ordre d'apparition.

Fig.1 PACQUELET François, *Histogramme des grandes étapes de l'exploration de la Lune*, 2021

Fig.2 NASA, *Moon trip*, 2017, <https://www.sciencealert.com/images/2017-05/moon-trip-2.jpg> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.3 LUNAR AND PLANETARY INSTITUTE, *Apollo panorama JSC2004e20304*, 1972,
<https://www.lpi.usra.edu/resources/apollopanoramas/> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.4 CASTRO Fernanda, *Säynätsalo Town Hall*, 2016,
<https://www.archdaily.com/783392/ad-classics-saynatsalo-town-hall-alvar-aalto> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.5 PACQUELET François, *Diagramme représentant les deux modèles du lien d'inclusion entre architecture terrestre et spatiale existant*, 2021

Fig.6 ATKINSON Nancy, *Apollo 1 fire*, 2010, <https://www.universetoday.com/wp-content/uploads/2010/04/apollo-1-fire.jpg> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.7 DYMOKE Ned, *sans titre*, 2018,
<https://bigthink.com/news/heres-the-damage-a-tiny-speck-of-space-debris-can-do-at-15000mph> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.8 KOKH Peter et ARMSTRONG Doug, *sunshine*, 1996, http://strabo.moonsociety.org/mmm/whitepapers/images/lt_sunshine.gif [consulté le 21 Février 2021]

Fig.9 NASA, *Space shuttle Challenger 30 years anniversary*, 2016,
<https://audismnegatsurdi.files.wordpress.com/2018/01/space-shuttle-challenger-disaster-30-anniversary-facebook1.jpg> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.10 SCRIPTUNAS Walter, *Inside NASA's secret rubber room*, 2012,
<https://scriptunasimages.wordpress.com/2012/11/23/inside-nasas-rubber-room/> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.11 PACQUELET François, *Fresque photographique des rares exemples d'architectures spatiales pérennes réalisés*, 2021

Fig.12 CSIS, *NASA's budget authority from 1959 to 2016 and the two most recent presidential budget requests*, 2018,
<https://spacenews.com/president-trump-wants-his-moonshot-without-paying-for-it/> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.13 PACQUELET François, *Graphique des coûts d'envoi d'un kilogramme de fret (en euros) selon les lanceurs actuels et leurs dates de mise en service*, 2021

Fig.14 HISTORY, *Christopher Columbus*, 2009, <https://www.history.com/topics/exploration/christopher-columbus> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.15 MITCHELL Edgar, *Flags on the Moon and the Men Who Put Them There*, 2016,
<https://www.collinsflags.com/blog/archives/flags-on-the-moon-and-the-men-who-put-them-there-a-tribute-to-edgar-mitchell> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.16 JET PROPULSION LABORATORY, *Apollo Moon Map*, 2010,
<https://www.jerseysbest.com/wp-content/uploads/2019/07/Apollo-Moon-Map-768x769.jpg.webp> [consulté le 21 Février 2021]

Fig.17 IMGUR INC., *Rockets compared by size and payload*, 2016, <https://imgur.com/BziuudT> [consulté le 21 Février 2021]

- Fig.18 PACQUELET François, *Fresque d'éléments représentatif du corpus de projet de colonie lunaire établie à partir de travaux préexistants*, 2021
- Fig.19 KKNEWS, *sans titre*, 2020, <https://kknews.cc/zh-cn/science/pbyrmy2.html> [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.20 PROIGG Mark, *The MOON set to get its own space station made of inflatable modules in 2022*, 2017, <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4994114/> [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.21 PALAEKMAN, *Moon Base*, 2015, <http://www.pxleyes.com/3D-contest/14785/moon-base.html> [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.22 McNALLY Rank, *Man to the Moon: The Wonderful World of Project Apollo*, 1962, 96p. Rush, Hanniford, <http://dreamsofspace.blogspot.com/2015/07/man-to-moon-1962-part-2.html> [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.23 THE CONVERSATION, *Want to build a moon base? Easy. Just print it*, 2016, <https://theconversation.com/want-to-build-a-moon-base-easy-just-print-it-59070> [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.24 PACQUELET François, *Schéma du principe des filtres pragmatiques imposés par le site à ses architectures*, 2021
- Fig.25 PACQUELET François, *Schéma du principe de déterminisme géographique lunaire*, 2021
- Fig.26 PACQUELET François, *Histogramme de référencement du mot vernaculaire*, 2021
- Fig.27 PACQUELET François, *Diagramme représentant les répercussions des ambitions programmatiques initiales*, 2021
- Fig.28 PACQUELET François, *Diagramme de principe du modèle de conception de l'architecture vernaculaire*, 2021
- Fig.29 PACQUELET François, *Diagramme de principe du modèle de conception de l'architecture non-vernaculaire*, 2021
- Fig.30 AMCSTI, *Musée des Confluence*, 2014, <https://www.amcsti.fr/fr/membres/musee-des-confluences/> [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.31 PACQUELET François, *Diagramme de principe du modèle de production de l'architecture régionaliste critique*, 2021
-

Références iconographiques des annexes :

- Fig.A1 NORTHROP GRUMMAN, *scheme micrometeoroid protection installation (outer shell) on the thermal insulation coating*, 1969, <https://sudonull.com/post/114279> [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.A2 ESA, *Lunar 3D printing*, 2013, https://www.esa.int/Highlights/Lunar_3D_printing [consulté le 21 Février 2021]
- Fig.A3 KORNFELD Laurel, *NASA researcher provides overview of science on the ISS*, 2020, <https://www.spaceflightinsider.com/missions/iss> [consulté le 21 Février 2021]

Table des matières

Résumé	1
Sommaire	1
Introduction	3
Pourquoi la Lune comme cadre d'étude	4
Peut-on parler d'architecture lunaire ?	6
Quelle architecture lunaire ?	11
Contraintes à la surface de la Lune	12
Absence d'atmosphère	13
Gravité faible	13
Micrométéorites	14
Absence de champ magnétique et radiations	15
Températures extrêmes	16
Absence de diffusion de l'éclairage solaire	16
Ressources locales très limitées et difficultés d'approvisionnement	18
Poussières dangereuses omniprésentes	18
Étude préalable des besoins en sécurité de l'architecture lunaire	20
Approche économique des futures architectures lunaires	23
Découpage temporel de la colonisation de la Lune	26
Vers une étude typologique	32
Les modules "prêt à l'emploi" et les rovers.	34
Les habitats gonflables et pliables	34
Les habitats à charpentes et à éléments standardisés	35
Les habitats enterrés	36
Les habitats basés sur l'utilisation de matériaux locaux	37
Réduction de l'expression architecturale lunaire au principe de déterminisme géographique	39
Vers une architecture lunaire vernaculaire	43
Quels intérêts à s'interroger sur la vernacularité des architectures lunaires ?	43
Différentes définitions de vernaculaire	44
Principes notionnels de l'architecture vernaculaire soulevés par l'ICOMOS	45
Critères de l'architecture vernaculaire	47
Vernaculaire comme architecture spontanée, sans architectes	47
Vernaculaire comme architecture rurale, en marge	48
Vernaculaire comme architecture populaire, traditionnelle	49
L'architecture vernaculaire comme principe de conception déductif	50
Modèle bijectif : l'architecture non-vernaculaire	53
Modèle hybride : régionalisme critique	54
Conclusion	57
Retours sur le modèle de conception déductif vernaculaire	57
Retours sur la méthode prospective	58
Retours sur le choix de la Lune	59
Bibliographie	61
Iconographie	66
Annexe 1 : Lexique des acronymes employés	71
Annexe 2 : Autre approche pour statuer du caractère architectural des futures colonies lunaires	73
Annexe 3 : Analyses des rapports du second colloque de l'ICOMOS	79

Annexe 1

Lexique des acronymes employés

Liste des acronymes utilisés, et pages d'apparition dans le mémoire :

- *CIP* : Centre International de Prospective *p11*
- *CERAV* : Centre d'études et de recherche sur l'architecture vernaculaire *p41*
- *CNSA* : China National Space Administration
- *DATAR* : Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale *p2*
p11
- *ESA* : European Space Agency
- *EVA* : Extra Vehicular Activity *p26*
- *ICOMOS* : International Council on Monuments and Sites *p15,16*
p9, 42 à 49, 55, 56, 59 à
- *ISS* : International Space Station *63, 68, 68, 74, 77 à 80*
- *LM* : Lunar Module *p22, 26, 31, 33, 72*
- *LRO* : Lunar Reconnaissance Orbiter *p33, 56, 70, 71*
- *NASA* : National Air and Space Agency *p18*
- *UNESCO* : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization *p21, 24 à 26*
p43

Annexe 2

Autre approche pour statuer du caractère architectural des futures colonies lunaires

Le développement proposé ici fait écho aux arguments soulevés plus haut pour justifier le caractère architectural des futures colonies lunaires. Il se base pour cela sur la définition d'architecture telle que proposée par Vitruve.

Même s'il est laissé libre à chacun de statuer la Lune comme propice ou non à l'établissement d'architecture(s), nombreuses sont les approches dont les arguments tendent en ce sens. Il est par exemple possible de suivre à cette fin les principes liés à la conception classique de ce qu'est l'architecture, c'est-à-dire dans le sens précisé par la définition écrite par Vitruve au premier siècle avant notre ère. Sa définition d'architecture peut être comprise comme fondatrice des valeurs universelles de l'architecture¹⁹³, ayant été appliquée pendant plus de 2 000 ans. C'est précisément son ancienneté qui justifie son utilisation ici. Aujourd'hui encore, elle est toujours considérée comme pertinente plus de deux millénaires après sa formulation par l'architecte romain. Autrement dit, elle s'est révélée être à l'épreuve du temps, au prix d'une adaptation, et ce en considération du développement important des pratiques et connaissances constructives développées les deux derniers millénaires (utilisation de matériaux composites, méthodes de conception assistée par ordinateur...). En comparaison, la colonisation de la Lune n'est que le fruit de l'adaptation de techniques et de technologies, anciennes et récentes, dans un environnement inédit. Il en résulte l'absence de réelle discontinuité (autrement appelé de saut technologique) dans les pratiques de conception du projet sur la Lune par rapport à sur Terre. Pour ces raisons, l'utilisation des valeurs de Vitruve comme référentiel est considérée pertinente ici pour le cadre nouveau qu'est le milieu lunaire.

Plus que de ne juger des constructions comme des objets finis, la définition de l'architecture de Vitruve permet aussi de prendre en considération le processus global de projet, notamment de conception, mais aussi de construction (autrement appelée "phase chantier")¹⁹⁴. De façon très simplifiée, elle se présente sous la forme d'une grille de lecture, précisant les trois points à valider pour vérifier le caractère architectural d'une construction donnée¹⁹⁵. Elle est appliquée ici aux formes que pourra prendre la colonisation de la Lune de manière spéculative, mais n'en reste pas moins valable :

- **Utilitas** (nécessité d'utilité, d'habitabilité) : Cette exigence peut être validée dans un premier temps par les conclusions amenées par partie précédente. Que la colonisation de la Lune se fasse à des fins de prospection minière ou pour d'autres visées (objectifs militaires, scientifiques, touristiques...), elle impliquera toujours un fonctionnalisme inhérent aux constructions qui seront implantées à sa surface. Il est en ce sens difficilement pensable que des bâtiments puissent y être établis sans que ceux-ci répondent clairement à un ou plusieurs besoins, c'est-à-dire sans que ceux-ci soient utiles. Comme sur Terre, des fonctions de vie (et de survie) primaires doivent être assurées, avec l'accès aux habitants à l'air et l'eau à titre d'illustration. Les éléments constitutifs des futures colonies lunaires présenteront donc a minima cette utilité.

- **Firmitas** (nécessité de pérennité) : Il est à remarquer que sont ici étudiés les tenants et aboutissants d'une éventuelle colonisation de la Lune. Ainsi, les arguments et conclusions qui seront énumérés dans

¹⁹³ GROUPE DE TRAVAIL et « QUALITÉ ARCHITECTURALE ET TRANSITION ÉCOLOGIQUE ». *Principes pour une architecture au temps du développement durable* [en ligne]. Mission Interministérielle pour la Qualité des Constructions Publiques – Ministère de la Culture et de la Communication

¹⁹⁴ Ces phases se révèlent être ici tout aussi importantes en considération des difficultés inhérentes au milieu lunaire (voir partie plus haut)

¹⁹⁵ VITRUVÉ. *Les dix livres d'architecture de Vitruve*

ce mémoire seront à prendre en compte dans un contexte d'appropriation de ces territoires sur le long terme. Même si des questionnements similaires auraient pu être amenés pour des missions de court-terme (avec par exemple l'étude du LM - *Lunar Module* - du programme Apollo ne pouvant servir que d'abri précaire pour deux astronautes pendant quelques dizaines d'heures à la surface de la Lune, voir *fig. A1 et A2*), il n'en est rien ici : toute implantation se voudra pérenne dans le temps. La Lune ne doit donc pas être considérée comme un lieu de passage, mais véritablement comme un site valable à un programme architectural pérenne¹⁹⁶. Pour ces raisons, les colons prendront possession non pas d'un lieu de manière éphémère, mais ils s'établissent dans un site permanent. De ce fait, il est mis de côté les questions faisant le lien entre architecture et les structures errantes. Seules seront étudiées ici les bases sédentaires, vouées à rester indéfiniment au même endroit sur la Lune. La nécessité de pérennité peut donc être elle aussi validée.

¹⁹⁶ Par ailleurs, en raison de l'absence d'atmosphère; donc en absence d'érosion ou de saison, aucun phénomène climatique n'est à attendre à la surface du satellite autre que la chute de bolides (météorites et micro-météorites). La fréquence de celle-ci permet néanmoins de négliger ses effets sur la sélénologie de par le faible rapport surface impactée/surface lunaire. Il en résulte une permanence du paysage appropriée (par rapport à l'échelle de temps humaine), *a contrario* des sites terrestres.

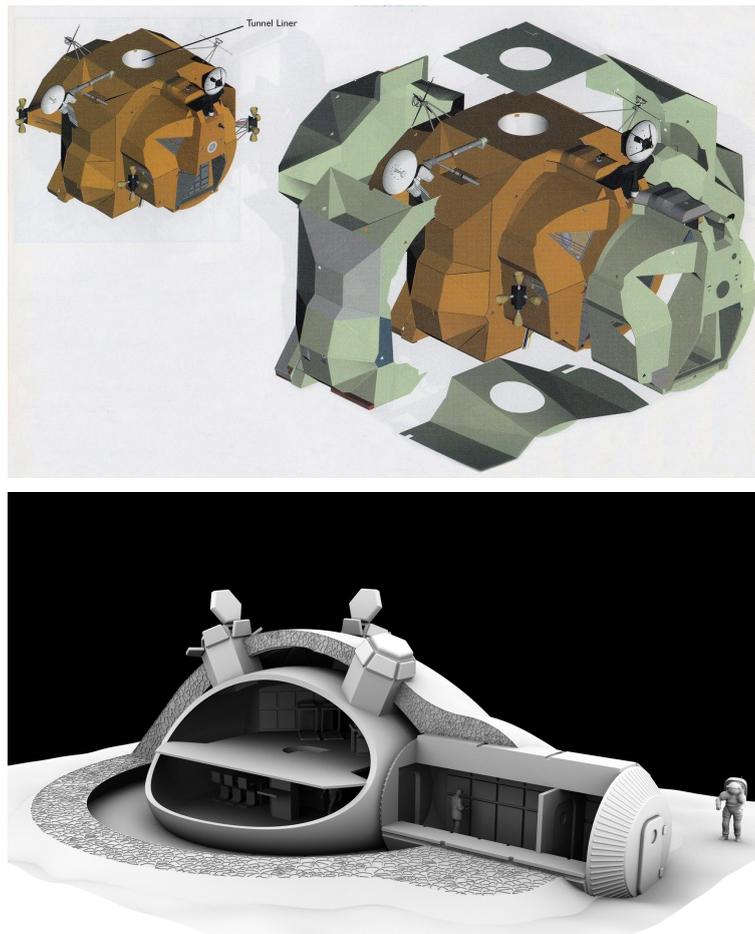


Fig. A1 et A2 Images comparant l'épaisseur de la coque externe du module lunaire LM (en haut, de 0,1 à 0,2 millimètres¹⁹⁷, 1968-1972), à celle du projet d'habitat colonial Moon Village (en bas, environ 1 mètre d'épaisseur nécessaire, 2013)¹⁹⁸. Sources : www.hq.nasa.gov et www.esa.int

- **Venustas** (*nécessité de beauté*) : La validation de cette condition est plus difficile à juger objectivement que les deux précédentes. Elle pourrait même, dans une certaine mesure, remettre en question de la convenance de l'utilisation de la définition d'architecture de Vitruve ici. Autrement étudiée, l'exigence de beauté permet d'introduire la nécessité de participation des architectes dans le processus de colonisation de la Lune. Le rôle des architectes dans la conception de colonies spatiales est en ce sens très limité selon Michel Ragon¹⁹⁹.

« Avec un programme aussi vaste [habitation lunaire], aussi inconnu encore aujourd'hui pour nous, on ne pourra que très modestement tâtonner, toute proposition de synthèse devant se faire avec l'idée d'un échec à 90%. Dans un domaine où l'on ne peut avancer que par éliminations successives, il faut bien se garder de toute "solution d'architecte" (j'entends par là toute solution pensée par un seul homme ou par un groupe d'hommes qui se croit seul capable), axée plus ou moins sur un fonctionnalisme, une esthétique ou une philosophie erronés ou sectaires. L'enjeu est important, tellement important même qu'en cas d'échec

¹⁹⁷ GRUMMAN. *Lunar Module quick reference data*

¹⁹⁸ COHEN, Marc. Selected precepts in lunar architecture. *53rd International Astronautical Congress The World Space Congress*

¹⁹⁹ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

c'est la catastrophe à l'échelon national ou international. L'architecte ne peut, ne doit, sous aucun prétexte, jouer dans ce mécanisme un rôle autre que celui de la petite roue dentée, moteur ou frein (dans ce cas à éliminer immédiatement). Les plus beaux diplômés n'y auront aucune valeur, mais seulement son ouverture d'esprit, puis éventuellement ses connaissances. »²⁰⁰

Même si leur rôle ne se limite pas dans la nécessité de beauté (voir fig 36, il faut plutôt comprendre que seul eux sont en mesure de statuer), il est possible de traiter le problème de subjectivité inhérente à la notion de beauté en présence d'architectes dans le cycle de conception, ceux-ci devant être en mesure de manipuler de telles problématiques (selon la définition du métier d'architecte, toujours selon Vitruve). En somme, il peut être fait l'hypothèse qu'il est possible d'assurer la validation de cette condition *sine qua non*. D'autres apports peuvent être aussi envisagés par la présence d'architectes, avec à titre d'illustration leur importante faculté de conseil pour la conception d'espaces viables d'un point de vue sociologique, démontré lors d'expérimentations à grande échelle²⁰¹ (fig. A3). Dans un premier temps, ces apports seront négligés.



Fig. A3 Photographie de la Station Spatiale Internationale *ISS* (telle qu'en 2011), expérience à grande échelle qui a démontré l'importance de la participation de l'architecte David Nixon lors de sa conception²⁰².
Source : www.spaceflightinsider.com

Il est à noter que d'autres critères, issus d'une mise à jour de ceux initialement pensés par Vitruve, peuvent parfaire cette grille. À titre d'exemple, les critères d'opportunité, de localité, de spécificité, de frugalité et d'écologie peuvent être mentionnés²⁰³. Ceux-ci étant directement liés au pragmatisme inhérent aux constructions d'habitats pour des programmes spatiaux, ils pourront être considérés dans un premier temps comme validés.

²⁰⁰ RAGON, Michel. *Histoire mondiale de l'architecture et de l'urbanisme modernes*

²⁰¹ NGUYEN, Viet Chu Danh. *De la Lumière dans l'Espace-Temps: L'architecture thérapeutique comme aide psychologique aux astronautes*

²⁰² LEPIC, Ruth Slavid. *Architecture des limites*

²⁰³ FRANCE, MENRATH, Marie-Jeanne et VETTER, Pierre. *La qualité des constructions publiques*. Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques

Un développement plus poussé des ces questions devrait en être fait au regard des différentes parties de ce mémoire pour parfaire ce raisonnement.

Ainsi, les trois exigences définies par Vitruve peuvent être validées au prix de certaines assumptions. La Lune n'invoque pas foncièrement de contre-indications à cette définition, aussi atypique est-il le choix de s'intéresser à l'astre lunaire dans le cadre d'une réflexion tournée autour de l'architecture.

Annexe 3

Analyses des rapports du second colloque de l'ICOMOS

L'analyse faite des différents rapports de la seconde session de l'ICOMOS (1978-1979) est présentée ici. Dans la mesure où celle-ci sert d'élément de comparaison avec les résultats de la *partie I* portant sur l'architecture lunaire ; les éléments ci-dessous ont été produits dans l'objectif de pouvoir les réemployer dans le cadre prospectif lunaire.

Les rapports sur lesquels se basent ces analyses sont disponibles sous l'url suivante :

<http://openarchive.icomos.org/view/international/vernacular=5Farchitecture.html>

Rapport de Rachel Anguelova : *Rapport de l'activité du Comité International d'Architecture Vernaculaire de l'ICOMOS*²⁰⁴

Plus qu'un rapport, ce document résume la partie administrative sous-jacente aux travaux du Comité international d'architecture vernaculaire. Ce dernier, pendant trois ans (période 1978-80), s'est retrouvé annuellement sous la forme de colloques à Plovdiv (Bulgarie) présidés par le docteur en architecture Rachel Anguelova pour échanger sur les nouvelles notions d'architecture vernaculaire et populaire. Les treize rapports présentés ci-dessous sont ceux clôturant la session de juin 1979.

Rapport de Georgeta Stoica : *Qu'est-ce que l'architecture vernaculaire*²⁰⁵

Plus que de reconnaître les différentes significations que peut prendre le terme d'architecture vernaculaire (comme étant l'architecture indigène, spécifique à un pays, à une ethnie ; mais aussi une architecture populaire, spontanée, sans architecte) et les compromis qu'apporte l'utilisation d'une définition spécifique devant les autres, ce rapport cherche à démontrer les nombreux intérêts qui résident dans son étude.

En effet, les intérêts de l'étude de l'architecture vernaculaire prennent source dans la reconnaissance tardive de l'existence de celle-ci, mise en avant par les changements de villes et villages avec l'apparition de l'ère industrielle²⁰⁶. Même si les bâtiments dits vernaculaires sont par essence plus modestes que les édifices imposants de même époque, leur conception sans la participation d'architectes, témoignent grandement les tenants et aboutissants des cultures qui les ont construits. Ils témoignent par leur architectonique la transmission des connaissances nécessaires à l'acte de concevoir et de construire. De même, leur caractère fonctionnel, directement issu de la retranscription des besoins des sociétés et de leur capacité (emploi de certains matériaux devant d'autres, etc.) implique des connaissances en construction, transmises et transformées sur de longues périodes de génération en génération. La persévérance au fil des siècles d'une même typologie d'architecture, donc d'une architecture vernaculaire, témoigne la continuité de ce phénomène de transmission de ces connaissances. Mais aussi, l'appropriation de techniques constructives étrangères démontre une capacité par l'architecture vernaculaire d'assimiler des concepts culturels extérieurs.

²⁰⁴ ANGUELOVA, Rachel. *Rapport de l'activité du Comité International d'architecture vernaculaire de l'ICOMOS pendant la période 1.09/1978-31.08.1979*

²⁰⁵ STOICA, Georgeta. *Qu'est-ce que l'architecture vernaculaire ?*

²⁰⁶ Ce point n'interdit pas l'existence d'architecture vernaculaire contemporaine cependant.

« Nulle autre architecture n'est si bien plantée dans un paysage comme l'architecture vernaculaire, les constructions exprimant la relation entre la nature et les besoins de la vie humaine, dans les étapes diverses de l'évolution sociale. »²⁰⁷

Rapport de Max Gschwend : Architecture vernaculaire²⁰⁸

L'architecture vernaculaire n'est pas tout à fait populaire dans la mesure où sa production peut prendre origine un petit groupe de professionnels qui eux seuls possèdent les qualifications nécessaires (et non la population globale du site). Cependant, une collaboration est courante avec les non-sachant qui sont liés directement ou indirectement au projet du projet (commanditaire, famille, voisins...).

Rapport de D. St. Pavlovitch : L'architecture vernaculaire dans les cadres Yougoslaves²⁰⁹

L'architecture vernaculaire est la réponse directe à une problématique : « Ces créations matérielles [vernaculaires] résultent d'un besoin spontané des maîtres populaires de s'exprimer. Leur forme du bâtiment est une fonction directe des matériaux de construction de la région en question, des conditions climatiques et des besoins pratiques de l'homme ». Ainsi, l'architecture vernaculaire n'est pas liée à un seul style, à un seul lieu ou à une seule époque, mais correspond à une méthode de résolution de ce problème initial.

En somme, le vernaculaire est à l'architecture ce que le folklore est à l'art. Son moyen de transmission est principalement oral (« l'art de construire par la tradition »), de génération en génération. Pavlovich exclut donc la possibilité que le corps savant (architectes, ingénieurs, techniciens plus ou moins formés) soient capables de construire des architectures vernaculaires : il faut comprendre le vernaculaire comme une création populaire en ce sens. Cependant, la destinée du bâtiment ou sa position (ville/campagne) n'importe pas (il peut être construit pour des paysans, des aristocrates en ville...) tant que le principe de conception déductif susnommé est respecté. Mais aussi, comme art populaire, l'architecture vernaculaire est une partie ethnologique qui disparaît avec l'apparition de l'industrialisation (industrialisation des techniques de construction, de conception et des matériaux).

Rapport d'Éric Mercier : L'architecture vernaculaire en Angleterre²¹⁰

Plusieurs hypothèses tendent à être mise en porte-à-faux par le rapport d'Éric Mercier :

- L'architecture vernaculaire n'est pas nécessairement l'architecture de la populace, mais au contraire peut être compatible avec les bâtisses des hautes classes (dites « *polies* ») ;
- L'aspect traditionnel des constructions ne permet pas de juger du caractère vernaculaire d'une construction, dans la mesure où aussi bien les classes populaires que riches ont eu construites dans l'histoire des bâtiments d'apparence traditionnel (en somme, il ne faut pas comprendre les mots vernaculaire et traditionnel comme synonyme, seul un lien direct existe : vernaculaire donc traditionnel, mais pas traditionnel donc vernaculaire) ;
- Pour les mêmes raisons que précédemment, le caractère régional n'est pas capable de faire déterminer la vernacularité d'un édifice ;

²⁰⁷ STOICA, Georgeta. *Qu'est-ce que l'architecture vernaculaire ?*

²⁰⁸ GSCHWEND, Max. *Architecture vernaculaire*

²⁰⁹ PAVLOVITCH, D. St. *L'architecture vernaculaire dans les cadres Yougoslaves*

²¹⁰ MERCER, Eric. *L'architecture vernaculaire en Angleterre*

- Le caractère rude (voire misérable) d'une construction n'est pas non plus un élément de distinction du vernaculaire ;
- De son analyse de la définition faite par l'*English Vernacular Houses*²¹¹ (« celles qui appartiennent à un genre fréquent dans une certaine région à une certaine période »), il conclut « qu'un genre d'édifice peut être "vernaculaire" dans une région et, au même temps, "non-vernaculaire" dans une autre et dans une région unique peut changer, avec le temps de "non-vernaculaire" à "vernaculaire". »
- Il semble exister un lien d'implication fort entre architecture vernaculaire et solidité de l'édifice, dans la mesure où les bâtiments vernaculaires qui subsistent datent parfois de plusieurs siècles²¹².

Néanmoins, Éric Mercer tire de son analyse deux moyens d'identification de l'architecture vernaculaire. En effet, les constructions qui se veulent comme telles ont leur forme déterminée par leur fonction. Mais surtout, le vernaculaire n'est pas un style architectural (c'est-à-dire qu'il ne peut pas se vérifier par l'identification de critères architecturaux), mais est en réalité plus sociologique. Ce faisant, un bâtiment « ne s'appelle pas vernaculaire à cause de ses propres qualités mais seulement à cause de celles qu'elle partage avec beaucoup d'autres et l'identification d'édifices "vernaculaires" s'agit donc fortement de nombres relatifs ».

Rapport de Milada Novacova : L'architecture vernaculaire en Tchécoslovaquie²¹³

L'architecture vernaculaire, comme expression de la culture architecturale rurale, se développe dans les régions agricoles, ou du moins dans les zones où un lien direct (ou indirect : avec l'artisanat rural, à titre d'illustration) de subordination entre les bâtiments et une fonction rurale peut être trouvé. L'architecture vernaculaire n'est donc pas incompatible avec les petites villes et faubourgs en campagne. De même, les bâtiments publics peuvent être vernaculaires. Par effet de conséquences, les édifices vernaculaires admettent une certaine autonomie dans leurs principes (principes de construction, principes de fonctionnement, dans l'utilisation des matériaux, dans la mise en relation avec la nature environnante). Une certaine unité naît ainsi de ces principes. Si l'architecture vernaculaire est un phénomène culturel, elle reste donc régie par les conditions naturelles : « Leur synthèse, exprimée dans l'unité organique des matériaux de construction, des mesures et proportions des masses ainsi que des formes et éléments esthétiques, en fait en même temps une partie intégrante de l'image du paysage ». À noter que sont utilisés les matériaux disponibles, donc pas nécessairement locaux. Ils doivent cependant être exploités par le bâtisseur (qui peut être différent du propriétaire) en accord avec la culture locale, sur la base d'expériences transmises de génération en génération.

Deux grandes pistes peuvent servir de critère de classification des bâtiments vernaculaires. La première est l'utilisation de « matériaux de construction populaires », qui implique le recours à des techniques de construction elles-mêmes populaires. La seconde est la réduction de tout emploi de traitement artistique lors de la construction, ou du moins de sa réduction à un usage purement dans les traditions folkloriques²¹⁴ (toute originalité artistique est proscrite). Ces éléments artistiques, s'ils sont

²¹¹ MERCER, Eric et ROYAL COMMISSION ON HISTORICAL MONUMENTS (ENGLAND). *English vernacular houses : a study of traditional farmhouses and cottages*

²¹² Cependant, ce dernier point semble être assimilable au biais du survivant.

²¹³ NOVACOVA, Milada. *L'architecture vernaculaire en Tchécoslovaquie*

²¹⁴ Milada Novaka sépare alors bien l'architecture vernaculaire du folklore, ce dernier ayant admis une forte capacité à s'emparer de motifs artistiques nouveaux (appropriation de ces motifs généralement étrangers à la culture local)

employés (rarement), sont alors le sujet d'un traitement bien secondaire devant l'importance de la réponse aux besoins de l'habitant, notamment économique.

En ce sens, « *l'architecture vernaculaire, en tant qu'expression et synthèse d'un certain style de vie, [...] reflète également les conditions de leur développement* ».

Rapport d'Andras Roman : *La définition du champ notionnel des monuments populaires en Hongrie*²¹⁵

L'origine de l'emploi contemporain du terme d'architecture vernaculaire peut se comprendre comme une intention initiale de regrouper plusieurs termes de langues différentes (française : *populaire, rurale* ; anglaise : *rurale* ; allemande : *du peuple...*). Si c'est bien le terme de vernaculaire qui a été choisi (notamment à la suite du colloque de l'ICOMOS de 1979), celui de folklorique aurait pu correspondre, en partie au moins. C'est la notion de populaire qui est développée plus en détail dans ce rapport.

Un grand critère de définition de l'architecture vernaculaire émane de ce rapport. Le processus de réalisation amène à un découpage des acteurs impliqués en trois pôles : l'édificateur (qui finance, et qui porte en son rôle les décisions finales propres à la construction), l'auteur du plan (qui répond à la question « *Comment ?* »), et le réalisateur (qui édifie le bâtiment)²¹⁶. Dans le cadre d'une architecture populaire, l'ensemble des trois pôles est porté par une unique personne, qui peut être tout ou plus aidé, par des proches par exemple. Ainsi, cette personne seule décide ou non des dispositions du bâtiment construit, et délaisse par la même occasion toute approche esthétique²¹⁷. Il est donc possible de comprendre dans la volonté de production d'un monument ou non le caractère populaire d'un édifice. Par exemple, un bâtiment industriel construit purement sans division sociale peut être considéré comme populaire.

Rapport de N.C. Moustopoulos : *La notion et les limites de l'architecture traditionnelle en Grèce*²¹⁸

Rapport plus long que les précédents qui reprend la charte de Venise de 1964 comme point de départ : « *En disant "modeste", est-ce qu'on entend "dépouillé de qualités artistiques ?"* ». Il est entendu ici que les œuvres modestes sont celles qui ne se veulent pas admirables, que ce soit dans leurs idéologies, leurs dimensions, leurs programmes ou leurs techniques (donc cette catégorie peut inclure les ouvrages d'art, etc.)²¹⁹. Ces œuvres admirables, nommées par la charte de Venise « *monuments* », prennent généralement pour origine une volonté des classes dirigeantes au pouvoir, et représentent la société de leurs époques. Plus particulièrement, ils témoignent de la culture folklorique. En somme, un monument peut se comprendre comme un édifice du passé qui fut justifié par la suite, par son usage ou par sa symbolique. Cette définition n'est donc pas incompatible avec celle d'architecture vernaculaire, et peut au contraire même être un des éléments constitutifs de celle-ci (en particulier par rapport à l'usage qu'il en est tiré).

De façon à pouvoir distinguer les monuments vernaculaires de ceux qui ne le sont pas, il est possible de prendre en considération la mise en parallèle de la culture officielle (dite *classique*), de celle populaire (*vulgaire*). De la même manière, il est possible de classer l'architecture *somptueuse*, de celle plus *simple*. Plus tard, cette dernière a été nommée *traditionnelle*, dans la mesure où elle est plus conservatrice en ce qui concerne les moyens soulevés. Dans un processus lent de réappropriation, les

²¹⁵ ROMAN, Andras. *La définition du champ notionnel des monuments populaires en Hongrie*

²¹⁶ Ce découpage en pôles se comprendrait en France aujourd'hui en celui de Maîtrise d'ouvrage/Maîtrise d'Oeuvre/Entreprises.

²¹⁷ Il est à noter que l'esthétique du bâtiment correspond à une fonction, celle de fonction esthétique. Si son besoin s'en fait ressentir, elle peut donc être soulevée dans le processus purement fonctionnaliste décrit de la sorte.

²¹⁸ MOUSTOPOULOS, N.C. *Les notions et les limites de l'architecture traditionnelle en Grèce*

²¹⁹ Ce qui peut être considéré comme une limite à la caractérisation de l'architecture populaire comme vernaculaire, dans l'hypothèse où sa mise en place pourrait être comprise comme une prouesse technique en soi.

éléments qui auparavant ne se trouvaient que dans l'expression de la culture populaire apparaissent dans l'architecture traditionnelle. Le procédé inverse existe lui aussi.

Pour l'architecture traditionnelle comme pour l'architecture populaire, des personnes instruites sont réquisitionnées pour les construire (personnes qui possèdent des connaissances en dessin, en génie civil, en science des matériaux, et sur les idéologies transmises par leur production architecturale). L'architecture populaire est néanmoins marquée par une anonymisation de ses concepteurs, qui sont de plus non distingués de la classe sociale du réalisateur des ouvrages construits.

Plusieurs pistes d'étude pour la caractérisation d'un édifice comme vernaculaire ou non sont alors à tirer de ces éléments :

- Existe-t'il une distinction entre le propriétaire et le concepteur ? ;
- Dans quel degré les traditions artistiques sont-elles présentes dans l'édifice ? ;
- Y-a-t'il une utilisation d'éléments indigènes pour la construction de l'édifice ? ;

À l'inverse, ce rapport tend à nuancer certaines des autres pistes d'études proposés lors du colloque de l'ICOMOS de 1979 :

- L'architecture vernaculaire n'est pas nécessairement rurale, dans la mesure où des indices de sa présence se trouvent jusque dans les agglomérations urbaines ;
- L'utilisation de produits industriels n'est pas proscrite dans le cadre de l'architecture vernaculaire ;
- Aucune architecture n'étant anonyme (du moins à sa réalisation), le terme d'architecture vernaculaire comme "anonyme" semble erroné ;
- Il est à différencier l'architecture traditionnelle de celle de vernaculaire ;
- L'architecture vernaculaire peut être définie (du moins en partie) comme étant une architecture populaire, mais le sens de ce terme reste alors à préciser.

Rapport de Boris V. Gnedovsky : Les voies de formation de la notion "monument de l'architecture populaire"²²⁰

Théoriser de l'architecture vernaculaire impose de s'intéresser plus en détail à l'architecture populaire, dont les fondements mêmes sont peu statués. Celle-ci peut en effet se comprendre comme à la fois un phénomène d'expression culturelle, mais aussi de l'histoire. Les constructions "d'amateurs" et de professionnels y ont toutes deux place, seuls les progrès industriels tendent à l'inverse à s'opposer à ces pratiques exclusives à ces régions (voir même à y mettre fin). Construits comme la réponse nécessaire à des problèmes du quotidien, les bâtiments populaires n'admettent pas dans leur programme les questions d'esthétisme. Il est néanmoins possible avec le recul d'en apprécier la beauté spécifique, issue de leur conception pragmatique (les questions d'esthétiques étant exclues par les commanditaires/réalisateurs, ce sont aujourd'hui les métiers "savants" qui sont plus aptes à en juger la beauté : journaliste, architectes, écrivains, restaurateurs...). Les connaissances nécessaires pour la réalisation (*id est* pour la conception et la construction) de bâtiment dit d'architecture populaire nécessitent des qualités parfois sous-estimées en connaissances (sciences des matériaux, utilisation d'un outillage spécifique...). Ces connaissances peuvent être mises en application de façon empirique, par la simple intuition, ou par phénomènes de projection plus complexes (par le dessin notamment).

Dans son rapport, Gnedovsky tend à développer les tenants et aboutissants de l'architecture populaire, alors que la charte de Venise de 1964 ne donne que très récemment de justification de l'intérêt qu'il peut être porté cette typologie d'architecture. En somme, quelques notions peuvent être

²²⁰ GNEDOVSKY, Boris V. *Les voies de formation de la notion « monument de l'architecture populaire »*

comprises comme caractéristiques de l'architecture vernaculaire en accord avec ce rapport : l'architecture populaire comme authentique, ancienne, exclusive, ethnographique et historique. Comprendre ces notions permet de mettre en valeur les bâtiments issus d'une production populaire, et donc de mieux les conserver des destructions, ainsi que de ne pas renier une partie de l'histoire des sociétés humaines.

Rapport de Panu Kaila : *On vernacular architecture in Finland*²²¹

Si la notion générale d'architecture vernaculaire peut être comprise dans le sens de l'architecture folklorique, ce rapport démontre néanmoins la difficulté à définir avec précision les limites de ces termes. En particulier, plusieurs éléments de définition contradictoire sont soulevés ici par Panu Kaila :

- L'architecture vernaculaire se veut conçue et construite par les habitants même, mais n'interdit pas l'utilisation en grande proportion de main-d'œuvre étrangère ou au moins allogène. De façon similaire, les bâtiments conçus par des architectes ne peuvent être considérés comme vernaculaires, alors que ceux construits par des maîtres charpentiers le peuvent (même si seule une différence administrative existe entre ces deux statuts) ;
- L'architecture vernaculaire est le témoin de procédés de construction locaux, régionaux, mise en place empiriquement sur la base d'innovations techniques « étape par étape » étalées sur plusieurs décennies. Cependant, l'architecture vernaculaire emprunte parfois aussi dans les techniques employées pour la construction des procédés importés et assimilés. La copie de références extérieures au mouvement est donc elle aussi possible ;
- Seules les constructions à but agricole peuvent être considérées comme vernaculaires, quand bien même d'autres bâtiments sont construits selon les mêmes procédés (techniques, matériaux, acteurs, formes...) en zones urbaines ;
- Identiquement, les bâtiments publics ne peuvent être considérés comme vernaculaires, qu'ils soient en campagnes ou en ville (même si des églises partageant les mêmes procédés architecturaux le sont). De même, les bâtiments industriels ne peuvent être vernaculaires.

Rapport de Marc Laenen : *A propos de l'architecture vernaculaire en Belgique*²²²

Ce rapport tend à démontrer que l'intérêt porté à l'architecture populaire et à l'architecture vernaculaire est assez récent, bien que plus ancien que la charte de Venise de 1964. En effet, cet intérêt ne commence guère avant la fin du XIXe siècle, et il est alors exclusif à quelques érudits (auteurs, architectes...). À la même époque, quelques musées d'extérieurs apparaissent, reproduisant les constructions populaires.

L'architecture populaire, alors opposée à la « *grande architecture* », est basée sur son caractère populaire, folklorique, et ce même si l'interprétation de cette distinction ne peut être que floue. En effet, ces deux types d'architectures peuvent toutes deux employer les mêmes matériaux de construction, être construits dans les mêmes facteurs socio-économiques et dans les mêmes régions. La distinction ethnologique ne semble pas valable aussi. Ce néanmoins, sur l'exemple de A. Flébus en 1906, il semble possible de construire une grille de lecture (sous le format du questionnaire) avant de juger du caractère vernaculaire ou non d'un bâtiment²²³.

Rapport de Haluk Sezgin : *A propos de l'architecture vernaculaire*²²⁴

²²¹ KAILA, Panu. *On vernacular architecture in Finland*

²²² LAENEN, Marc. *A propos de l'architecture vernaculaire en Belgique*

²²³ SCHWESITAH, M. *Histoire de la maison rurale en Belgique*. Bruxelles : Am. Soc. arch. Brux., 1905.

²²⁴ SEZGIN, Haluk. *A propos de l'architecture vernaculaire*

Trois grandes étapes peuvent décrire le développement d'une société, notamment en fonction des capacités de construction des individus qui la compose :

- Lorsque tous les individus de cette société possèdent des compétences en construction égales entre eux, les compétences techniques leur permettant alors l'édification d'abris (autrement dit d'habitations pour leur propre usage) ;
- Lorsque les propriétaires d'un futur édifice participent à la construction aidés par des bâtisseurs spécialisés. Les constructions sont alors dites « *indigènes* ». Développée sur plusieurs générations, la transmission du résultat de ces collaborations fonde le niveau culturel et technologique du peuple étudié ;
- Lorsque les progrès technologiques et industriels mettent à disposition des concepteurs (*id est* des architectes) un large choix de matériaux de construction et de techniques associées. La recherche d'originalité (car au profit de l'architecte), ou au contraire la conduite asymptotique vers un style universel amènent à une disparition des traditions constructives, et donc de la perte d'un système de valeurs.

Il est cependant à noter que ce schéma en trois étapes n'est pas universel, certaines sociétés pouvant s'économiser une ou plusieurs de ces étapes dans son développement. Pour chacune de ces étapes, il est possible de trouver des formes d'architecture vernaculaire. Alors, lorsque l'acte de bâtir n'est pas dirigé par des architectes, la construction produite est indigène.

Pour Halûk Sezgin, l'opposition entre architecture indigène et celle de la haute tradition naît du choix de mise en œuvre en grand nombre de technologies pour le confort (électricité, eau courante...), jusqu'au stade de « *l'abus du technique* ». C'est paradoxalement l'absence du recours de ces technologies qui permettent réellement le confort de l'habitant, en retrouvant le calme perdu.

En associant le caractère indigène à celui d'appartenance à une localité, à un pays, il est possible de tendre vers une définition de l'architecture vernaculaire. Elle s'inscrit donc directement dans les nuances impliquées par son emploi : comme architecture populaire, primitive, indigène, sans architecte, spontanée... (même si de tous ces termes se sont ceux de primitif et de populaire qui sont les plus proches selon Halûk Sezgin).

Rapport de Rachelle Anguelova : *Résolution de la réunion du Comité International de l'Architecture vernaculaire*²²⁵

Il s'agit d'un résumé des ordres de mission pour la seconde session de l'ICOMOS, en octobre 1979. Il est à remarquer un nombre important d'autres colloques qui ont suivi à celui de l'ICOMOS (portant sur l'architecture vernaculaire Suisse, Turquie...), ceux-ci faisant référence aux avancés autour de la définition d'architecture vernaculaire.

²²⁵ ANGUELOVA, Rachelle. *Résolution de la réunion du Comité international de l'architecture vernaculaire*

Aujourd'hui encore, l'idée de la colonisation de la Lune reste du domaine de la science-fiction, malgré les avancements certains de la technologie dans le secteur spatial. C'est seulement au moyen de lourds efforts que cet imaginaire pourra prendre réalité. Il en vient un questionnement des réels intérêts qu'a l'Homme de conquérir son satellite, et des ambitions techniques et économiques qu'il est prêt à matérialiser dans la mise en œuvre de ses rêves de colonisation interplanétaire. Au travers d'une étude pragmatiste des possibles habitats, ce mémoire cherche à dépeindre le champ des possibles : à quoi ressemblera les futures constructions lunaires ? Est-il envisageable de dire qu'en raison de la spécificité du milieu lunaire, de ses contraintes, que toute architecture y sera fatalement pragmatique, inéluctablement vernaculaire ? L'utilisation de raisonnements prospectifs et empiriques basés sur des données scientifiques et historiques, inspirée de futurologie, et sur la base des résultats initiaux par comparaison et de la classification par typologies constructives, est en mesure de donner des premiers résultats sur les questions d'architecture lunaire vernaculaire. En outre, il est possible de montrer avec ces outils l'existence de multiples typologies viables sur les plans technologiques et économiques. En découle une remise en question de la définition de vernaculaire ; et plus globalement, de la place du concepteur dans le cadre des milieux extrêmes.

Even today, the idea of colonizing the Moon remains a topic of science fiction, despite the late technological advancements in the space sector. It is only through heavy effort may this imaginary may take place. There comes the question of real interest that humans have to conquer its satellite, and both technical and economical ambitions they are ready to materialize in the fulfillment of their interplanetary colonization dreams. Through a pragmatic study of possible habitats, this memoir seeks to portray the range of possibilities: what will future lunar constructions look like? Is it conceivable to say due to the specificity of the lunar environment, of its constraints, that any architecture there will be fatally pragmatic, inevitably vernacular? The use of prospective and empirical reasoning based on scientific and historical data, inspired by futurology, and based on initial results by comparison and classification of constructive typologies, is able to give first results on the topic of vernacular lunar architecture. Furthermore, it is possible to show with these tools the existence of multiple viable typologies on the technological and economic levels. The result is a questioning of the definition of vernacularity; and more generally, the place of the designer in the context of extreme environments.